

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI OUM EL BOUAGHI
FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUEES
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

MEMOIRE PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER
EN HYDRAULIQUE

OPTION: AMENAGEMENT HYDRAULIQUE ET ENVIRONNEMENT

N° de série: 01 MA HYD 161109

N° d'ordre: 01

INTITULE

**ETUDE SUR L'AMELIORATION DE L'EFFICACITE DE
L'IRRIGATION DES INSTALLATIONS D'ASPERSION TYPE CANON
SUR LES HAUTS PLATEAUX.**

DAIRA DE MESKIANA WILAYA D'OUM EL BOUAGHI

PRESENTE PAR:

Mme: GUERMAT IMENE

SOUTENU LE: 09/06/2014

DEVANT LES JURY:

PRESIDENT: M. KHIARI ABDELKADER (PROF)	Université d'Oum el bouaghi
RAPPORTEUR: M. MEZA NOUREDDINE (MCA)	Université d' Oum el bouaghi
EXAMINATEUR: M. SAHEB MENAOUAR (MCA)	Université d'Oum el bouaghi
EXAMINATEUR: M. BOUTOUTAOU DJAMEL (MCA)	Université de Wargla

2012/2013

ملخص

ضرورة تطوير الشروط الاقتصادية و النمو السريع لعدد السكان تطرح مشكلة زيادة توفر الغذاء و بعض المنتجات الفلاحية الأخرى . و عندما ت كون الأمطار الطبيعية غير كافي لضمان تنمية مثلى للزراعة ، السقي و هو عامل ضروري .

من بين تقنيات السقي المستعملة السقي بالرش المحوري، شائع الاستعمال في عدة مناطق من الجزائر.

يتم تقييم نوعية عملية السقي بالرش المحوري بكثافة الأمطار الصناعية، حجم قطرة المطر، انتظام توزيع الأمطار و كذا كمية السقي الفعلية.

الشروط الفلاحية و الجوية تؤثر كثيرا على فعالية تقنيات الرش المحوري ، عن طريق تبخر الأمطار الصناعية و كذا عدم الانتظام في السقي الناتج عن تأثير الرياح .

التجربة العالمية بينت إن الضياع العام خلال استعمال تقنية الرش المحوري في المناطق السهبية و الشبه سهبية يصل من 2 % إلى 40 % من مياه السقي ، الشيء الذي يؤثر على مردودية الإنتاج و بالتالي يجب معرفة كمية الماء الواجب زيادتها في السقي المحوري.

هدف هذه الدراسة هو تقييم ضياع المياه في السقي المحوري في شروط المناطق السهبية لمنطقة مسكيانة .

Résumé :

La nécessité d'améliorer les conditions économiques et l'accroissement rapide de la population posent un problème d'accroître les disponibilités d'aliments et d'autres produits d'agriculture et quand la pluviométrie naturelle est insuffisante pour assurer un développement optimal des cultures ; l'irrigation est un facteur souvent nécessaire.

Parmi les techniques d'irrigation utilisées, l'irrigation par aspersion est largement répandue dans plusieurs régions de l'Algérie.

La qualité du processus d'irrigation par aspersion est évaluée par l'intensité pluviométrique, la grosseur de la gouttelette de la pluie, l'uniformité de la répartition de la pluie et la dose d'arrosage effective.

Les conditions agro-climatologiques affectent considérablement sur les performances de la technique d'irrigation par aspersion, par le fait qu'ils entraînent des pertes d'eau à partir du nuage de pluie, par entraînement les frontières des limites du périmètre irrigué et par évaporation des couches superficielles du sol après l'arrêt irrigation. L'expérience mondiale a montré que les pertes d'eau globale dans la technique d'irrigation par aspersion dans les conditions arides et semi arides peuvent atteindre 2 à 40 % de la dose d'arrosage qui affecte l'humidité du sol et le rendement de la culture agricole, alors, on doit connaître la quantité d'eau à ajouter pour corriger les doses d'irrigation par aspersion. Cette étude a pour objectif d'évaluer les pertes d'eau dans la technique d'irrigation par aspersion dans les conditions des hauts plateaux de l'est dans la région de Meskiana et de permettre son utilisation avec les performances les meilleurs.

Mots clés : irrigation, aspersion, perte, évaporation, entraînement, rendement, performance, dose d'arrosage, sol.

Summary:

The need to improve economic conditions and rapid population growth are problems of increasing the availability of food and other agriculture products and when natural rainfall is insufficient to ensure optimal crop development; irrigation is often a necessary factor.

Among the techniques used irrigation, sprinkler irrigation is widespread in many parts of Algeria.

The quality of irrigation spray process is evaluated by the rainfall intensity, the size of the drop of rain, the uniformity of the distribution of rain and watering effective dose.

The agro-climatic conditions significantly affect the performance of the technique of spray irrigation, in that they cause loss of water from the rain cloud by training borders boundaries irrigated and evaporation of topsoil after stopping irrigation. Global experience has shown that the loss of water in the comprehensive technical sprinkler irrigation in arid and semi arid conditions can reach 2- 40 % of the dose spray that affects soil moisture and yield of crop production, then we must know how much water to add to correct sprinkler irrigation doses. This study aims to assess the loss of water in the sprinkler technical conditions in the highlands of eastern area Meskiana and to allow its use with the best performance.

Table des matières

Résumé

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des annexes

Nomenclature

CHAPITRE I: CARACTERISATION DE MILIEU NATUREL

Introduction.....	01
I. 1. Présentation d'ensemble.....	01
I.2. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude.....	03
I.2.1. La température.....	03
I.2.2. La pluviométrie.....	07
I.2.3. Estimation de l'évapotranspiration.....	10
I.2.4. la vitesse de vent.....	11
I.3. Aperçu sur l'hydrographie, la géologie et l'hydrogéologie.....	13
I.4. Principales caractéristiques agrologiques	16
I.5. Aperçu sur les activités agricoles en irriguées et en sec.....	17
CONCLUSION.....	21

CHAPITRE II: RAPPEL THEORIQUE

Introduction	22
II.1. Aperçu bref des techniques d'irrigation.....	22
II.2. Evaluation des techniques d'irrigation.....	23
• Possibilités techniques d'utilisation des techniques d'arrosages.....	23
II.3. Types des techniques d'arrosage par aspersion.....	25
• Caractéristiques de l'outil de pulvérisation.....	25
II.4. Facteurs d'une irrigation de qualité.....	28
II.4.1. L'intensité pluviométrique et grosseur de la goutte.....	28
II.4.2. Uniformité d'arrosage.....	30
II.4.3. Dose d'arrosage réelle (effective).....	32
II.4.3.1. Pertes par évaporation pendant l'irrigation par aspersion.....	
A. Méthodes expérimentales.....	33
- Méthode des débits.....	33
- Méthode basée sur la concentration des ions de chlorure.....	33
B. Théorie et méthodes de détermination des pertes par évaporation et entrainement en irrigation par aspersion.....	34
- Théorie.....	34
- Méthodes de détermination des pertes par évaporation et entrainement.....	35
Détermination des pertes par évaporation par la relation de Fedorenko [2].....	36

Détermination des pertes par évaporation par un nomogramme d'évaporation d'un arrosage (de Frost et Schwalen, 1955)	37
Détermination des pertes par évaporation par la méthode de Danil tchenko N.V. 1983 [3].....	38
Estimation des pertes par évaporation et entrainement par la méthode de Yazard [28].....	39
Détermination des pertes par évaporation et par entrainement par la méthode de Sapoukov A. P. 1991 [21].....	40
CONCLUSION.....	41

CHAPITRE III: MATERIELS ET METHODES UTILISEES

I. Matériels.....	42
1. Cadre de l'étude.....	42
2. Equipements utilisés.....	43
II. Méthodes.....	43
Caractéristiques de la pompe utilisée.....	45
Détermination des intensités.....	47
Détermination de coefficient d'uniformité de Christiansen (CU).....	47
Détermination des pertes réelles par évaporation et par dérive par vent de la pluie formé par l'asperseur	48

CHAPITRE IV: TRAITEMENT ET ANALYSE DES RESULTATS

IV.1. Estimation des pertes par évaporation et par entrainement par différents méthodes (E (%)).....	49
IV.1.1. Détermination des pertes par évaporation et par entrainement par la méthode des boites à captures (réelle).....	49
IV.1.2. Estimation des pertes par évaporation et par entrainement par la méthode de Sapoukov A. P. 1991.....	66
IV.1.3. Détermination des pertes par évaporation par la méthode de Danil tchenko N.V. 1983.....	74
IV.1.4. Estimation des pertes par évaporation et entrainement par la méthode de Yazard.....	80
IV.1.5. Comparaison des méthodes utilisées pour l'estimation des pertes par évaporation et entrainement.....	86
IV.2. Estimation de coefficient d'uniformité de Christiansen [1].....	87
CONCLUSION GENERALE.....	93
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	95
ANNEXES.....	98

LISTE DES FIGURES

Figure (01): Situation géographique de la plaine de Meskiana [05].....	02
Figure (02) : Evolution de la température moyenne annuelle à la station de Meskiana sur la période (1985-2006).....	05
Figure (03) : Variation des températures moyennes mensuelles à la station de Meskiana sur la période (1985-2006).....	06
Figure (04): la pluviométrie moyenne mensuelle (1983/84 – 2004/05.).....	08
Figure (05): Courbe ombrothermique de la station de Meskiana [06].....	09
Figure (06): Evolution de P et d'ETP moyenne pour les mois secs.....	11
Figure (07): Distribution mensuelle de la vitesse de vent (1993 jusqu'à 2004) [15].....	12
Figure (08): La structure Litho-Stratigraphique de la Région d'étude.....	14
Figure (09): Carte géologique de la zone d'étude.....	15
Figure (10). Nomogramme d'évaporation d'un arrosage (de Frost et Schwalen, 1955) [3]....	37
Figure (11): Schéma explicatif de l'emplacement des pluviomètres des 3 asperseurs de l'installation d'essai.....	43
Figure (12): Schéma explicatif de toute l'installation.....	44
Figure (13): Disposition de système d'installation: asperseurs et pluviomètres.....	44
Figure (14): disposition explicatif d'un seul asperseur et ses pluviomètres.....	45
Figure (15): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroseur n°1 (E_1) en fonction de la température de l'air T (°C).....	54
Figure (16): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroseur n° 1 (E_1) en fonction de la vitesse de vent V (m/s).....	55

Figure (17): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroseur n° 1 (E_1) en fonction de l'humidité de l'air (%).....	56
Figure (18): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroseur n°2 (E_2) en fonction de la température T (°C).....	57
Figure (19): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroseur n°2 (E_2) en fonction de la vitesse de vent V (m/s).....	58
Figure (20): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroseur n°2 (E_2) en fonction de l'humidité de l'air (%).....	59
Figure (21): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroseur n°3(E_3) en fonction de la température T (°C).....	60
Figure (22): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroseur n°3 (E_3) en fonction de la vitesse de vent V (m/s).....	61
Figure (23): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroseur n°3 (E_3) en fonction de l'humidité de l'air H (%).....	62
Figure (24): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'ensemble des 3 arroseurs E en fonction de la température T (°C).....	63
Figure (25): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'ensemble des arroseurs en fonction de la vitesse de vent V (m/s).....	64
Figure (26): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'ensemble des arroseurs en fonction de l'humidité de l'air (%).....	65
Figure (27): Variation des pertes par évaporation et par entrainement réelles (E_1 %) de l'arroseur 1 en fonction de coefficient d'intensification (ϕ) [18].....	68

Figure (28): Variation des pertes par évaporation et par entrainement (E_2 %) de l'arroseur 2 en fonction de coefficient d'intensification (ϕ) [18].....	68
Figure (29): Variation des pertes par évaporation et par entrainement (E_{r3} %) de l'arroseur3 en fonction de coefficient d'intensification (ϕ) [18].....	69
Figure (30): Variation des pertes par évaporation et par entrainement (E %) de l'ensemble des arroseurs en fonction de coefficient d'intensification (ϕ) [18].....	69
Figure (31): Corrélation entre les pertes par évaporation et entrainement réelles et les pertes déterminées par la méthode de Sapounov pour l'arroseur 1.....	72
Figure (32): Corrélation entre les pertes par évaporation et entrainement réelles et les pertes déterminées par la méthode de Sapounov pour l'arroseur 2.....	72
Figure (33): Corrélation entre les pertes par évaporation et entrainement réelles et les pertes déterminées par la méthode de Sapounov ϕ pour l'arroseur 3.....	73
Figure (34): Corrélation entre les pertes par évaporation et entrainement réelles et les pertes déterminées la méthode de Sapounov de l'ensemble des arroseurs.....	73
Figure (35): variation des valeurs de coefficient d'évaporation de système d'arroseur E_D (%) en fonction de la température de l'air T ($^{\circ}C$) [2].....	76
Figure (36): Variation des pertes par évaporation de système d'arroseur E_D (%) en fonction de la vitesse de vent V (m/s).....	76
Figure (37): La variation des pertes par évaporation et par entrainement (E %) de l'ensemble des 3 arroseurs en fonction des pertes par évaporation déterminées par la méthode de Danil tchenko.....	77
Figure (38): Variation des pertes par évaporation et entrainement de système d'arroseurs (E_y (%)) en fonction de la température T ($^{\circ}C$).....	81

Figure (39): variation des valeurs des pertes par évaporation et entrainement de système d'arroseurs E_y (%) [26] en fonction de la vitesse de vent V (m/s).....	81
Figure (40): Les variations des pertes par évaporation en irrigation par aspersion [26] en fonction de la vitesse de vent V (m/s).....	83
Figure (41): Corrélation entre les valeurs des pertes par évaporation et entrainement réelles E (%) et $E_{\text{évaporation}}$ (%), D_r (%) et E_y (%).....	85
Figure (42): Evaluation des pertes par évaporation et entrainement par différents méthodes.	86
Figure (43): Evolution des coefficients d'uniformité de Christiansen de l'arroseur 1 en fonction de la vitesse de vent.....	88
Figure (44): Evolution des coefficients d'uniformité de Christiansen de l'arroseur 2 en fonction de la vitesse de vent.....	88
Figure (45): Evolution des coefficients d'uniformité de Christiansen de l'arroseur 3 en fonction de la vitesse de vent.....	89
Figure (46): Evolution des coefficients d'uniformité de Christiansen des 3 arroseurs en fonction de la vitesse de vent.....	89
Figure (47): variation des pertes par évaporation et entrainement de l'arroseur n° 1 E_1 (%) en fonction des coefficients d'uniformité CU_1 (%).....	90
Figure (48): variation des pertes par évaporation et entrainement de l'arroseur n° 2 E_2 (%) en fonction des coefficients d'uniformité CU_2 (%).....	91
Figure (49): variation des pertes par évaporation et entrainement de l'arroseur n° 3 E_3 (%) en fonction des coefficients d'uniformité CU_3 (%).....	91
Figure (50): variation des pertes par évaporation et entrainement de système des arroseurs E (%) en fonction des coefficients d'uniformité CU (%).....	92

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (01): Températures enregistrées à la station d'El djazia sur la période de 1985 jusqu'à 2006 [15].....	04
Tableau (02): Températures moyennes mensuelles (1972/73 – 2004/05) [18].....	06
Tableau. (03): Inventaire des stations pluviométriques du bassin de Meskiana [05].....	07
Tableau (04): Variation des précipitations (en mm) au niveau de la station de Meskiana.....	08
Tableau (05) : Valeurs de l'ETP mensuelle de la région d'étude [5].....	10
Tableau (06): Variation des vitesses de vent (1993 – 2004) [18].....	11
Tableau (07): Superficies agricoles totales et utiles pour les communes de la zone d'étude [11].....	17
Tableau (08): Surfaces des différentes cultures [03].....	18
Tableau (09): Les rendements des différentes cultures de 2004/2005 jusqu'à 2011/2012.....	18
Tableau (10): Etat des ressources mobilisées.....	19
Tableau (11): superficies irriguées et volume d'eau utilisé à partir de chaque type d'ouvrages.....	19
Tableau (12): Superficies irriguées par système d'irrigation en 2008.....	20
Tableau (13): Superficies irriguées par types de cultures et système d'irrigation en ha [03]..	20
Tableau (14): principaux facteurs pédologiques et géomorphologiques.....	24
Tableau (15): principaux facteurs de choix de la technique d'arrosage.....	25
Tableau (16): intensités admissibles (en mm/min), sols, culture et pentes (Sapouncov).....	29
Tableau (17) : Données météorologiques prises au moment de l'expérimentation.....	46

Tableau (18): Débits des différents arroseurs sous la même pression de travail ($P=3\text{bar}$)....	50
Tableau (19): Les hauteurs moyennes des doses d'arrosage pour les trois arroseurs pour une durée d'irrigation de 3 heures sur une pression de travail constante $P = 3 \text{ bar}$	51
Tableau (20): Les débits moyens calculés pour les trois arroseurs et l'ensemble de l'installation.....	52
Tableau (21): Les pertes par évaporation et par entraînement calculées pour les trois arroseurs et l'ensemble de l'installation.....	53
Tableau (22): Représentation des pertes par évaporation et entraînement réelles moyennes par intervalle des paramètres climatiques pour l'arroseur 1.....	55
Tableau (23): Représentation des pertes par évaporation et entraînement réelles moyennes par intervalle des paramètres climatiques pour l'arroseur 2.....	58
Tableau (24): Représentation des pertes par évaporation et entraînement réelles moyennes par intervalle des paramètres climatiques pour l'arroseur 3.....	61
Tableau (25): Représentation des pertes par évaporation et entraînement réelles moyennes par intervalle des paramètres climatiques pour les trois arroseurs.....	64
Tableau (26): Les valeurs des coefficients d'intensification ϕ	67
Tableau (27): Valeurs des coefficients a et b pour chaque arroseur et pour l'ensemble de l'installation.....	70
Tableau (28): Valeurs des pertes par évaporation en se basant de coefficient d'intensification ϕ	71
Tableau (29): Les valeurs des pertes par évaporation E_D [2].....	75
Tableau (30): Les coefficients d'évaporation par aspersion E_j et E_n	78
Tableau (31): Correction des débits de chaque arroseur à partir des coefficients d'évaporation B_j	79

Tableau (32): Détermination des pertes par évaporation et entrainement par la méthode de Yazard [26].....	80
Tableau (33): Détermination des pertes par évaporation par la méthode de Yazard [26].....	82
Tableau (34): Les pertes par entrainement par la méthode de Yazard [26].....	84
Tableau (35): Détermination de coefficient d'uniformité de Christiansen CU (%).....	87

LISTE DES ANNEXES

Tableau (36): Les précipitations moyennes annuelles enregistrées à la station de Meskiana [3].....	98
Tableau (37): Valeurs des mesures brutes et h_i (mm) calculées.....	99

NOMENCLATURES:

P : précipitations moyennes annuelles en mm ;

T : températures moyennes annuelles en °C;

V: la vitesse de vent en m/s;

H: l'humidité de l'air en %.

ETP: évapotranspiration potentielle en mm.

q : Débit par asperseur en m³/min;

S: Superficie de la maille élémentaire en m².

D : Dose d'arrosage en mm ;

i : Intensité moyenne d'arrosage en mm/min;

E: Les pertes par évaporation et par entrainement de cette masse par vent en % de volume.

E_D: les pertes par évaporation en % en volume d'eau sorti des appareils d'aspersion par la méthode de Danil tchenco;

E_s: les pertes par évaporation et entrainement en % en volume d'eau sorti des appareils d'aspersion par la méthode de Sapouncov;

E_y: les pertes par évaporation et entrainement en % en volume d'eau sorti des appareils d'aspersion par la méthode de Yazard;

CU: Le coefficient de l'uniformité de distribution développé par Christiansen;

Q_a: Débit de l'asperseur en l/h;

Q_p: Débit des pluviomètres en l/h;

C_i: dépenses annuelles d'exploitation;

I: la pente de terrain en %;

K_i: investissement, a: coefficient d'efficacité des investissements;

D₁: revenu net avant et D₂ après;

t : Temps en heures ;

D_p: coefficient de diffusion en cm/s²;

C_k : concentration de la vapeur sur la surface de l'air;

C_0 : concentration de la vapeur dans l'air.

R_e : nombre de Reynolds;

σ : caractéristique de l'évaporation d'un fluide, pour l'eau: $\sigma = 1.68$.

CE_c : Concentration des ions de chlorure de la source.

CE_s : Concentration des ions de chlorure de l'eau récupérée dans les boîtes de captures.

D_p : déficit de pression saturé en mm;

d : diamètre de la gouttelette en m.

$(e_s - e_a)$: le déficit de pression de vapeur en mb;

e_s : le déficit de pression de vapeur saturée correspondante à la température de l'air en mb;

CHAPITRE I

CARACTERISATION DE MILIEU

NATUREL

I. CARACTERISATION DE MILIEU NATUREL

INTRODUCTION

La caractérisation de milieu naturel est un préalable indispensable à toute recherche axée sur les pertes par évaporation et entrainement en irrigation par aspersion, car les conditions agro-climatologiques affectent considérablement les performances de la technique d'irrigation par aspersion, en fait, la quantification de ces différents facteurs est imposée.

I. 1. PRESENTATION D'ENSEMBLE

Le bassin de Meskiana se situe au Nord-est du territoire algérien, se localisant à mi-chemin entre la Méditerranée et le début du domaine saharien, ce qui lui confère un climat se caractérisant par un régime climatique aride et semi aride.

Le bassin de Meskiana s'étend sur une superficie de 1680 km² et se localise au Nord-est du territoire Algérien, à 80 km de la frontière Algéro-Tunisienne et à 250 km au Sud de la ville de Annaba. Il se situe à l'extrême Est de la wilaya d'Oum el bouaghi. Autrement dit, il se situe à mi-chemin entre la mer méditerranée et le sahara algérien (figure 01) et fait partie du bassin de l'Oued Mellègue. Plusieurs agglomérations existent, à savoir Bellala, Meskiana, Rehia et Bhir chergui, comptant plus de 37000 habitants selon un recensement fait en 1998.

Les limites géographiques du bassin de Meskiana sont présentées comme suit :

- Limite Nord : Djebel Mesloula, Argoub El Mnachir et Djebel Khannaga ;
- Limite Nord-ouest : Djebel Chettaya, Djebel Bou Thokhma, et Djebel Ahmar ;
- Limite Nord-est : Djebel Belkfif ;
- Limite Sud-est : Djebel Gouriguer, Djebel Esstih, et Djebel Khemalal ;
- Limite Sud-ouest : Djebel Bou Toukhma et Chott Esbikha.

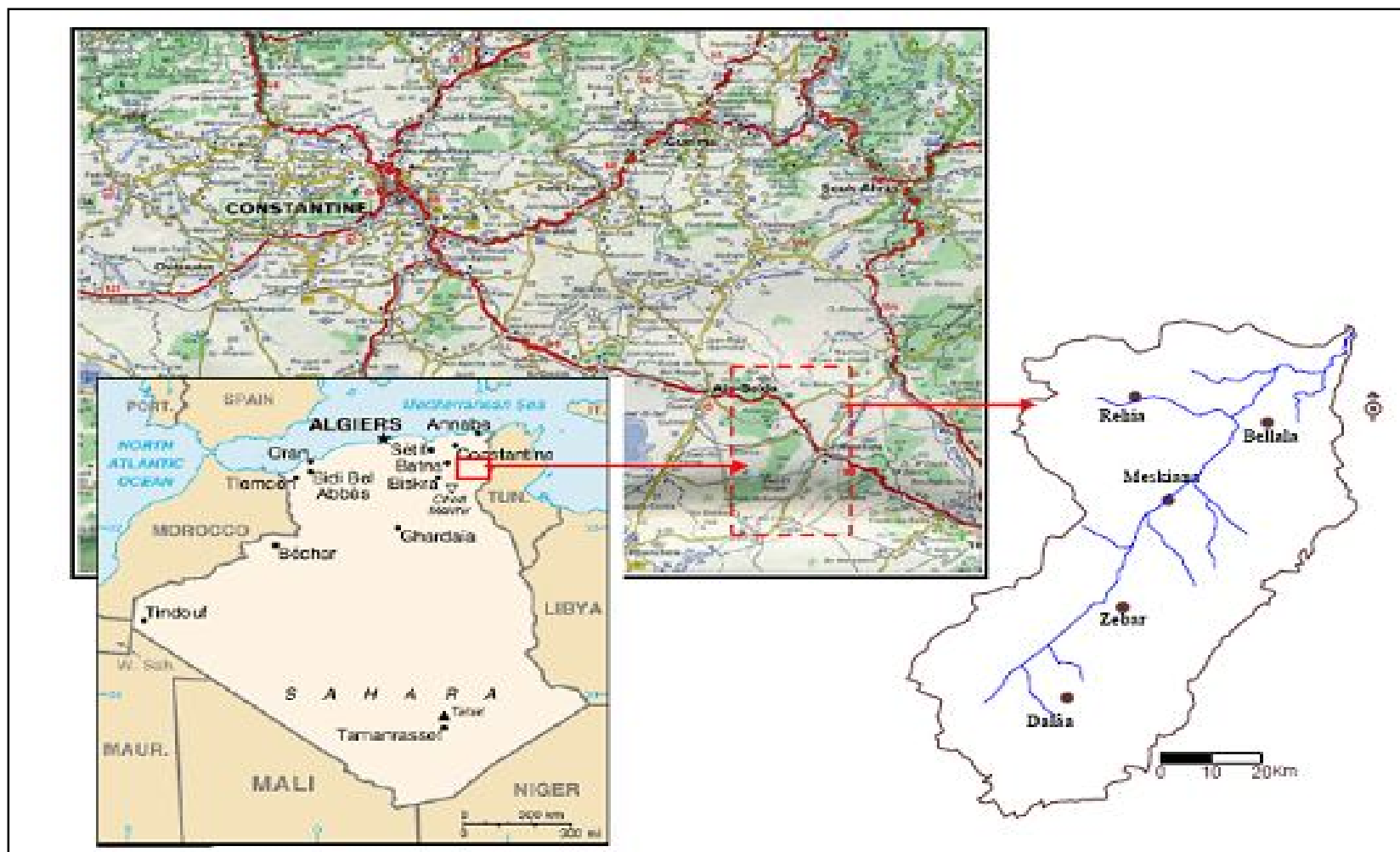


Figure (01): Situation géographique de la plaine de Meskiana [06].

I.2. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

I.2.1. La température

La température est un élément fondamental du climat. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur. De ce fait, elle influe sur le degré d'évaporation et par conséquent elle agit sur le rendement de la culture.

Les températures moyennes annuelles pendant la période de 33 ans (1972/73 jusqu'à 2004/05) sont données dans le tableau 1 [18]

Tableau (01): Températures enregistrées à la station d'El djazia sur la période de 1972/73 jusqu'à 2004/05 [18].

	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avri	mai	jui	juill	août
72/73	19.8	13.7	10.7	5.7	4.4	4.8	5.6	10.5	19.9	23.1	26.9	23.6
73/74	21.7	17.1	9.3	6.3	6.2	6.4	9.8	10.8	15.6	23.5	23.9	24.1
74/75	20.8	13.3	9.1	5.9	5.9	6.0	8.5	11.9	16.4	21.3	25.4	23.2
75/76	22.7	14.2	9.2	7.4	5.2	6.6	7.4	11.8	16.0	20.0	23.6	23.8
76/77	19.9	15.4	7.8	8.2	8.0	9.8	11.8	12.9	17.5	21.8	27.8	24.6
77/78	19.8	16.6	11.0	7.9	5.1	9.8	9.2	12.7	17.0	23.1	25.5	24.6
78/79	20.4	12.6	7.9	9.6	9.8	8.6	10.5	10.2	16.7	22.0	26.1	25.2
79/80	18.8	17.6	8.4	7.4	5.8	7.3	9.0	10.3	14.9	22.4	24.9	25.7
80/81	21.7	14.2	11.0	4.3	3.9	6.3	12.4	15.2	19.0	23.3	24.5	24.1
81/82	20.7	17.3	9.2	9.7	7.7	7.4	9.2	11.8	17.0	24.2	28.0	25.9
82/83	21.5	15.9	10.8	5.7	4.7	6.7	9.3	15.3	18.9	22.5	27.1	26.0
83/84	21.6	15.0	12.2	7.2	6.1	6.0	8.5	13.0	17.0	23.1	26.1	25.2
84/85	20.6	14.5	12.0	6.4	5.4	10.4	8.3	14.2	16.9	25.1	27.7	25.6
85/86	20.4	15.7	13.0	8.0	6.3	8.1	9.4	13.7	19.9	22.0	25.0	26.8
86/87	21.0	16.6	10.2	6.4	6.3	7.7	8.8	14.3	16.7	24.3	26.7	27.9
87/88	23.6	19.3	10.7	10.5	8.2	7.4	9.9	14.8	20.5	22.5	28.0	26.7
88/89	20.6	18.2	11.6	5.8	5.4	7.2	11.5	13.7	18.2	20.9	25.6	26.1
89/90	22.2	15.5	13.4	10.7	6.1	10.4	10.4	12.7	17.2	25.1	24.9	22.5
90/91	24.1	20.0	11.5	5.5	5.5	6.8	11.6	10.4	14.2	21.9	26.3	25.6
91/92	21.8	16.7	10.6	5.5	4.7	6.7	9.4	11.8	16.3	20.9	23.9	25.7
92/93	21.9	18.0	12.1	7.8	5.2	5.6	8.7	13.9	19.2	24.8	26.8	27.0
93/94	22.3	19.1	11.1	7.7	7.5	8.9	11.9	11.8	21.9	24.2	27.0	28.6
94/95	23.6	16.7	13.2	8.1	5.7	10.3	9.2	12.7	20.1	22.9	27.1	24.6
95/96	21.1	16.3	11.3	9.8	9.0	6.3	10.1	12.4	18.2	20.8	25.9	26.6
96/97	20.3	15.0	12.4	10.2	8.7	9.3	9.3	11.2	20.4	26.6	27.5	25.2
97/98	20.5	17.0	11.8	8.5	7.2	8.2	9.8	15.1	17.7	24.6	27.8	25.7
98/99	23.2	15.0	10.2	6.3	7.1	5.8	10.2	14.9	22.1	25.8	26.2	28.9
99/00	23.6	19.2	11.1	7.1	3.8	7.2	11.2	15.8	20.8	20.0	27.0	26.4
00/01	21.9	15.6	12.2	9.2	8.0	7.8	15.2	14.5	19.2	25.5	28.4	27.5
01/02	22.9	21.5	11.2	6.2	6.2	8.5	12.6	14.6	19.6	25.6	26.8	24.2
02/03	21.6	17.2	11.2	8.2	6.4	6.2	10.6	14.1	18.5	24.4	29.8	27.6
03/04	21.9	19.4	12.5	7.2	6.8	9.6	11.2	13.0	15.5	22.4	26.2	27
04/05	20.2	20.2	10.6	8.5	4.7	4.9	11.5	14.6	21.5	23.9	28.5	25.8

La représentation graphique des températures moyennes annuelles est montrée dans la figure suivante:

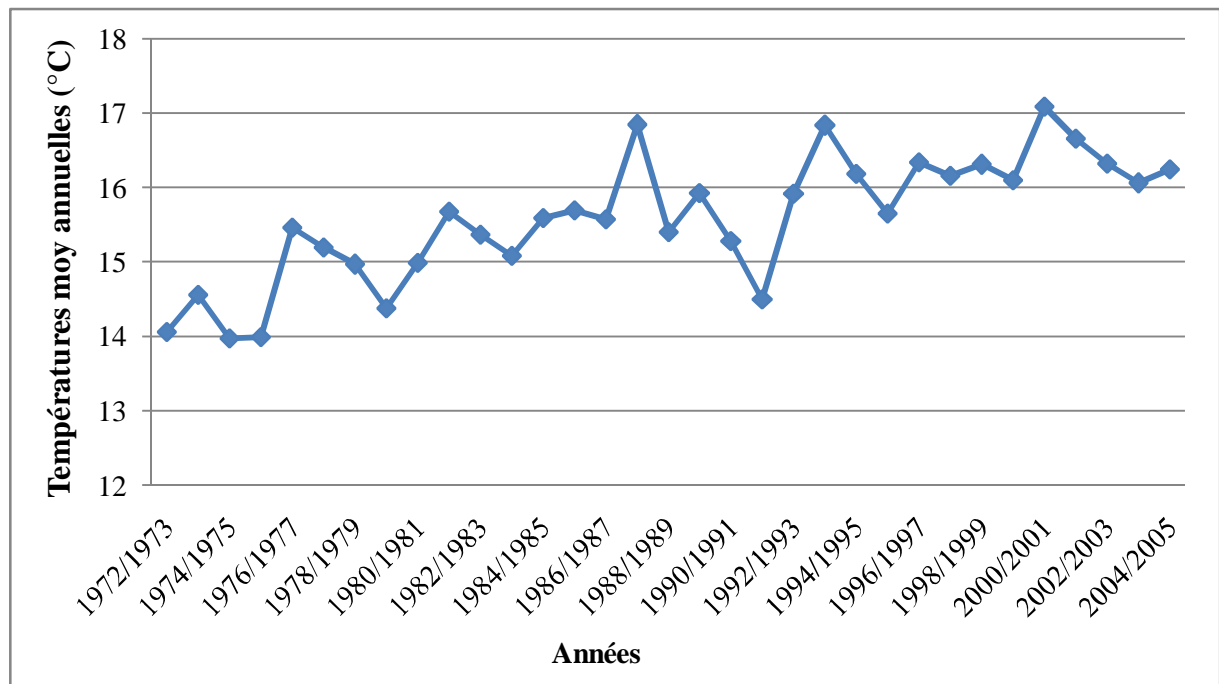


Figure (02) : Evolution des températures moyennes annuelles à la zone d'étude sur la période (1972/73 – 2004/05).

Les histogrammes représentant la variation annuelle de la température, sur une période de 33 ans (1972/73 – 2004/05) (Figure 02), montrent les années les plus chaudes: 1987/88 et 2000/01 avec des moyennes de 16.8 °C et 17.1 successivement, et les années les plus froides qui sont les années 1974/75 et 1975/76, avec une moyenne de 14.0 °C. Signalons que la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 15,6 °C.

Les températures moyennes mensuelles pendant la période de 33 ans (1972/73 - 2004/05) sont données dans le tableau 03 [18]

Tableau (02): Températures moyennes mensuelles (1972/73 – 2004/05) [18].

Mois	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
T_{moy} (°C)	6.3	7.5	10.1	13	18.2	23.2	26.5	25.7	21.5	16.7	10.9	7.5

La présentation graphique des données de tableau 03 est donnée dans la figure ci-dessous:

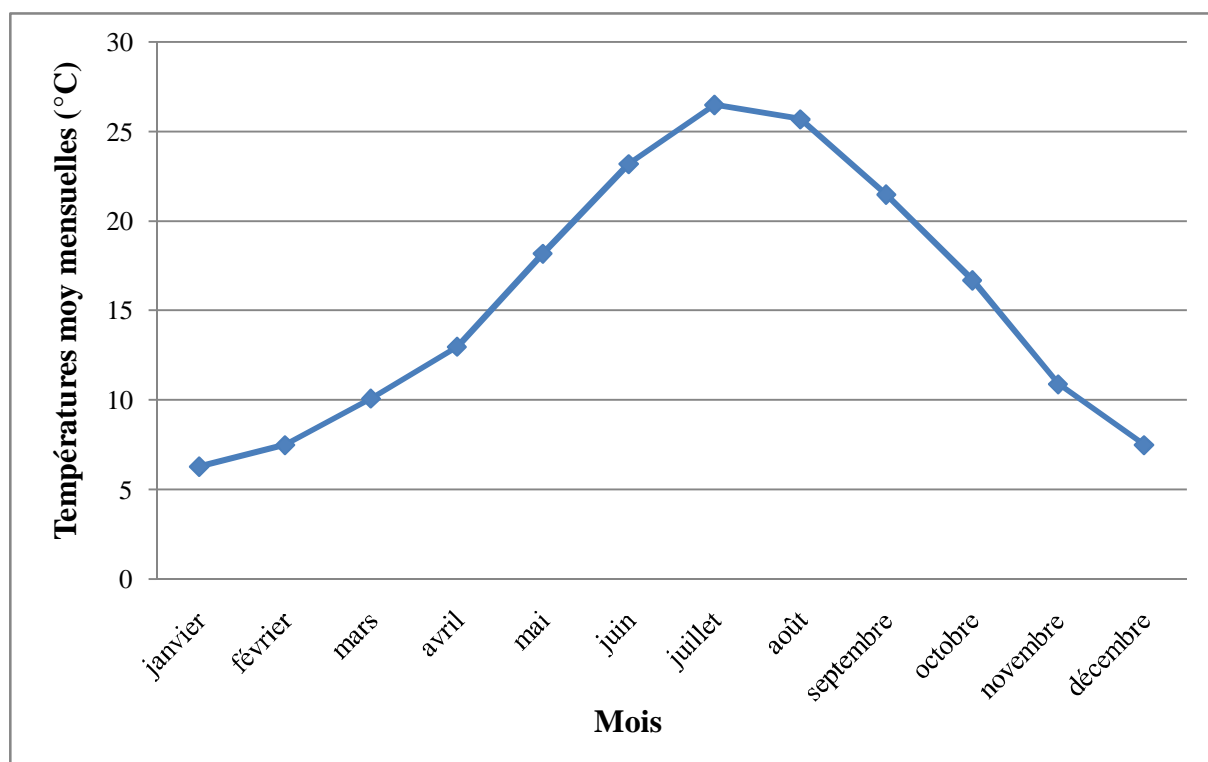


Figure (03) : Variation des températures moyennes mensuelles de la zone d'étude sur la période (1972/73-2004/05).

L'analyse de la courbe de variation de la température moyenne mensuelle, sur une période de 33 ans (1972/73 – 2004/05) (Figure 03), montre les valeurs les plus élevées qui sont observées pendant l'été (juin- septembre) avec des températures allant de 23.2 à 21.5 °C. Les valeurs les plus basses, qui varient de 6,3 à 10.1 °C, sont observées durant la période hivernale (de décembre à mars), avec un minimum pendant le mois de janvier (6,3 °C).

L'influence de la température sur l'irrigation par aspersion se fait sentir pendant la période d'été, où on a une évaporation au niveau de la gouttelette d'eau qui va sortir de l'arroseur et de la couche supérieur du sol. On peut dire que la température est un facteur climatique limitant pour l'irrigation par aspersion dans la zone d'étude parce qu'elle influe sur l'efficacité de

l'irrigation par aspersion en provoquant l'évaporation des gouttelettes au cours de son parcours de la sortie d'asperseur jusqu'à la surface de sol ainsi que l'évaporation de la couche supérieure de sol.

I.2.2. La pluviométrie

En raison de l'importance des précipitations dans les études de climat, la plaine de Meskiana a été dotée de quatre (03) stations pluviométriques implantées à Meskiana, Rehia et Ain Sedjera. Ces stations sont réparties selon des altitudes qui varient entre 860 à 1085 m. Malheureusement, la majorité des stations comporte des lacunes dans les séries d'observation (Tableau n° 04).

Tableau. (03): Inventaire des stations pluviométriques du bassin de Meskiana [06].

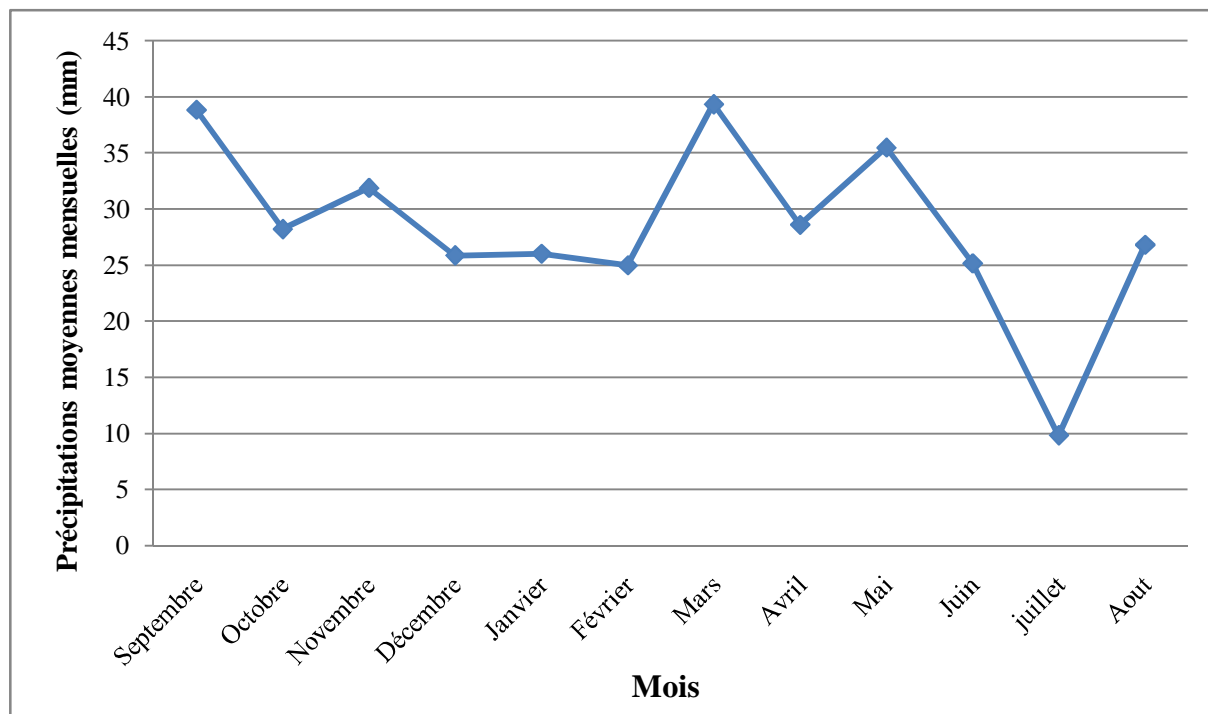
Station	Cordonnées Lambert		Altitude (m)	Année de la mise en service
	X	Y		
Meskiana	950.050	270.750	850.000	1904
Rehia	943.250	279.750	906.000	1973
Ain Sedjra	940.700	284.900	1085.000	1970

Les valeurs moyennes, maximales et minimales des précipitations mensuelles pour une période de 33 ans (1972/73 – 2004/05) sont montrées dans le tableau suivant:

Tableau (04): Variation des précipitations (en mm) au niveau de la station de Meskiana [06].

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	juill	Aout
Moy	38.9	28.2	31.9	25.9	26.0	25.0	39.3	28.6	35.5	25.2	9.8	26.8
Max	117.80	93.3	119.5	122.5	88.0	60.9	122.1	64.5	83.7	95.1	36.5	115.0
Min	7.0	3.3	4.2	3.6	3.9	2.0	5.5	2.5	11.4	00	00	2.5
Ecart	26.6	20.1	24.5	23.1	18.1	15.4	24.5	16.0	19.6	18.5	8.1	26.1
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	98.9			76.8			103.4			61.8		

La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 340.99 mm. La présentation graphique des précipitations moyennes mensuelles est donnée dans la figure suivante:

**Figure (04):** la pluviométrie moyenne mensuelle (1972/73 – 2004/05).

L'analyse de la courbe de variation de la pluviométrie moyenne mensuelle, sur une période de 33 ans (1972/73 – 2004/05) (Figure 04), montre que les valeurs les plus élevées sont observées pendant les mois: septembre et mars avec 38.9 et 39.3 mm successivement. La valeur la plus basse est observée en mois de juillet avec 9.8 mm. L'étude de la pluviométrie nous montre les périodes où l'irrigation est indispensable.

- **Diagramme ombrothermique :**

Un mois sec se définit, selon (Bagnouls et Gaussen, 1953, 1957) comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) égal ou inférieur au double de la température ($P \leq 2T^\circ$). Ainsi, on constate que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs. Le diagramme de Gaussen (figure suivante) permet de mettre en évidence une saison humide débutant au mois de novembre qui se termine au mois de mai, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois d'octobre.

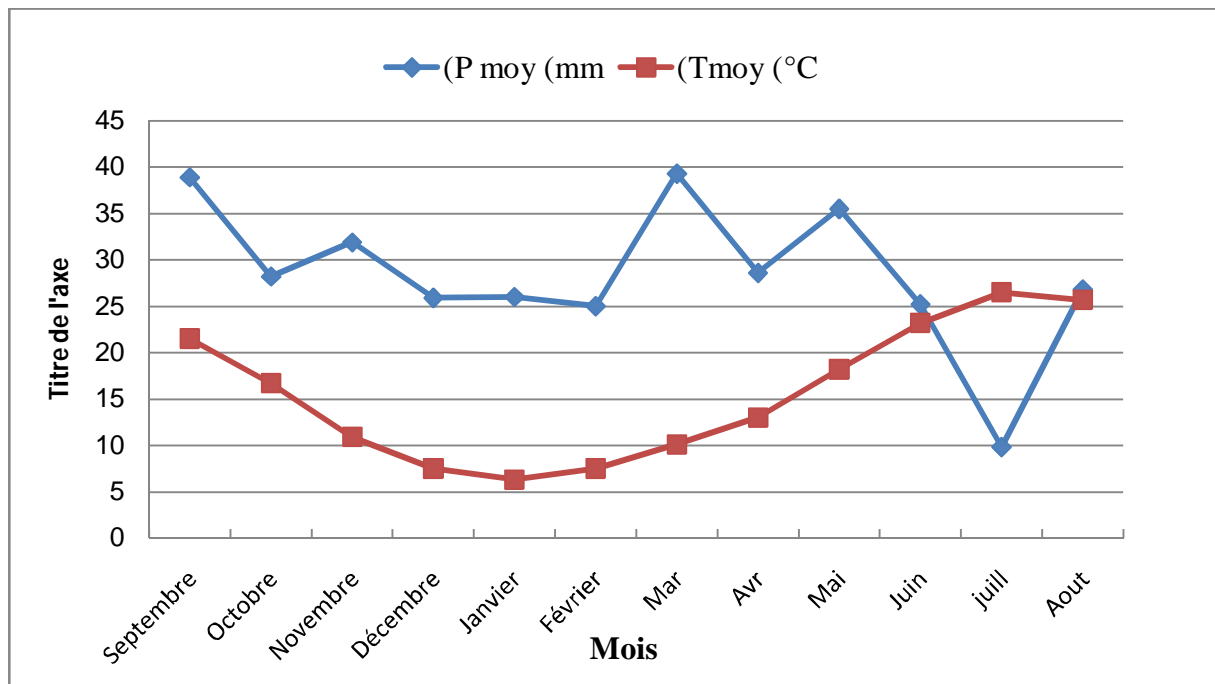


Figure (05): Courbe ombrothermique de la station de Meskiana [06].

La figure (05) montre la période de la saison sèche où l'irrigation est indispensable.

I.2.3. Estimation de l'évapotranspiration

L'évaporation représente le processus au cours duquel l'eau se transforme en vapeur. L'ensemble des processus d'évaporation et de transpiration est connu sous le nom d'évapotranspiration. La comparaison de l'évapotranspiration ETP et la pluviométrie P pendant un intervalle de temps donné conduit à caractériser des périodes excédentaires ou déficitaires en pluie.

Tableau (05) : Valeurs de l'ETP mensuelles de la région d'étude [06]

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	juill	Aout
P (mm)	38.86	28.21	31.88	25.86	26.02	24.96	39.35	28.60	35.48	25.15	9.81	26.81
ETP (mm)	99.10	61.30	26.80	14.90	10.90	14.50	28.30	46.00	88.70	132.00	167.00	150.00
P - ETP	- 60.24	- 33.09	+ 5.08	+ 10.9	+ 15.12	+ 10.46	+ 11.05	- 17.40	- 53.22	- 106.85	- 157.19	- 123.19

Les valeurs de l'ETP moyennes mensuelles de la zone d'étude sur une période de 33 ans (72/73 - 2004/2005) sont très élevées pour les mois de mai, juin, juillet, aout, septembre et octobre, allant de 61.3 mm pour le mois d'octobre jusqu'à 167 mm pour le mois de juillet. Ces valeurs élevées représentent 83 % de la valeur total d'ETP.

La figure suivante représente l'évolution moyenne mensuelle de l'ETP et de P observée au cours des années (1972/73 – 2004/05) pour les mois secs (de mai jusqu'à septembre):

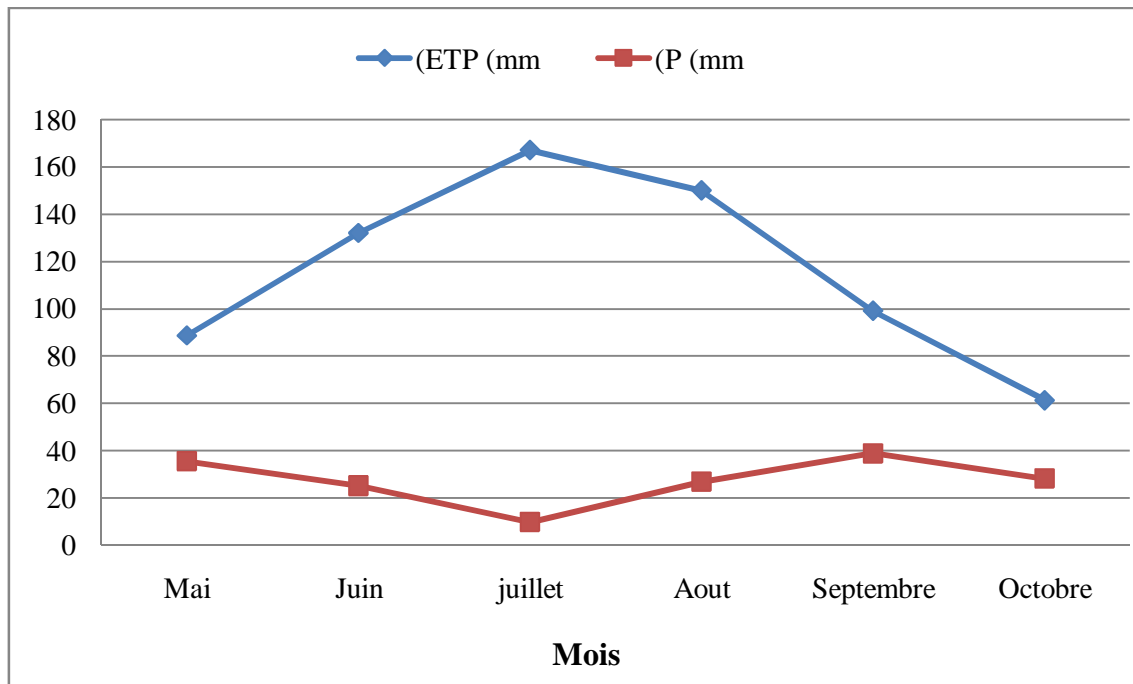


Figure (06): Evolution de P et d'ETP moyenne mensuelle pour les mois secs.

On remarque un déficit élevé entre les valeurs de l'ETP et P pendant la saison sèche de l'ordre de 33.09 mm en mois d'octobre jusqu'à 157.19 mm en mois de juillet. Ces résultats reflètent la nécessité de l'irrigation pendant cette période.

I.2.4. la vitesse de vent

La vitesse de vent est un paramètre très important qui affecte sur l'uniformité de distribution alors sur l'efficacité de l'irrigation par aspersion, car les gouttelettes sont tombées hors de la zone qu'on doit arroser.

Tableau (06): Variation des vitesses de vent (1993 – 2004) [18]

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Octo	Nov	Déc
V (m/s)	1.4	1.7	1.9	1.7	1.5	1.7	1.6	1.4	1.4	1.2	1.4	1.4

La figure suivante montre la variation des vitesses de vent au cours sur la période de 11 ans (de 1993 jusqu'à 2004)

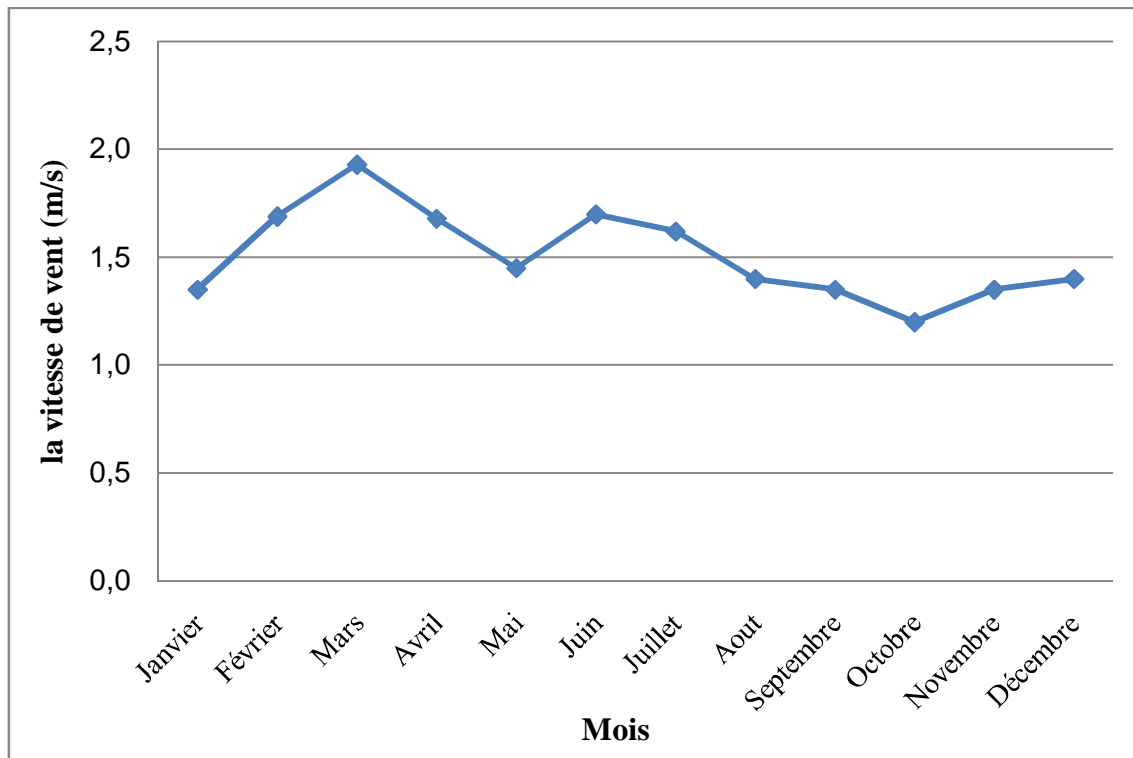


Figure (07): Distribution mensuelle de la vitesse de vent (1993 jusqu'à 2004).

La valeur moyenne de la vitesse de vent est de 1.51 m/s, signalant que les vents dominants sont de deux types: les vents de nord sont froids et humides, ils soufflent durant l'automne et l'hiver et les vents de sud-est sont très chauds.

Les résultats montrent des valeurs considérables d'ETP pendant la période allant de mai jusqu'à octobre et des valeurs faibles à modérées des vitesses de vent, alors, on peut déduire que les pertes par évaporation seront dominantes par rapport aux pertes par entrainement dues au vent.

I.3. APERCU SUR L'HYDROGRAPHIE, LA GEOLOGIE ET L'HYDROGEOLOGIE

Le réseau hydrographique de Meskiana fait partie du bassin hydrographique de la Medjerda - Mèllegue. Dont l'oued Meskiana, de longueur avoisine de 54 Km, constitue le principal cours d'eau de la région. Il prend sa source au Sud ouest de Dhalaà et se déverse dans l'Oued Mèllegue, au niveau de la ville d'El Aouinet au Nord est, et donc traverse la zone de Meskiana dans une direction Sud-ouest Nord-est, il couvre donc une distance de 26 Km à l'intérieure du périmètre communal de Meskiana.

Quant à son débit, il reste lié aux conditions pluviométriques, il collecte la majorité des oueds secondaires et ruisseaux de la région. Une mince fraction seulement de ce débit est utilisée pour l'irrigation des terres agricoles aux environs immédiats de la ville.

La coupe géologique présentée sur la figure 08 et qui montre les formations successives du sol, permet de donner une idée sur la structure litho-stratigraphique de la région. Bordé par les contreforts septentrionaux des Aurès, le plateau de Meskiana est recouvert par les dépôts quaternaires différents. On peut estimer selon des affleurements exceptionnels, que leur substratum est constitué par une série de couches d'argilites (nio-phocène) avec des insertions et des intercalations plus au moins nombreuses de calcaire et surtout de gypses (Figure 09). Deux grands ensembles représentent la litho-stratigraphie du bassin de Meskiana :

- Le premier est constitué essentiellement par les formations crétacées et tertiaires qui affleurent dans les bordures ;
- Le second est formé, en général, par un recouvrement mio-plio-quaternaire qui se dépose dans la plaine.

En ce qui concerne la sismicité, la région de Meskiana est en dehors des zones reconnues sismiques en Algérie.

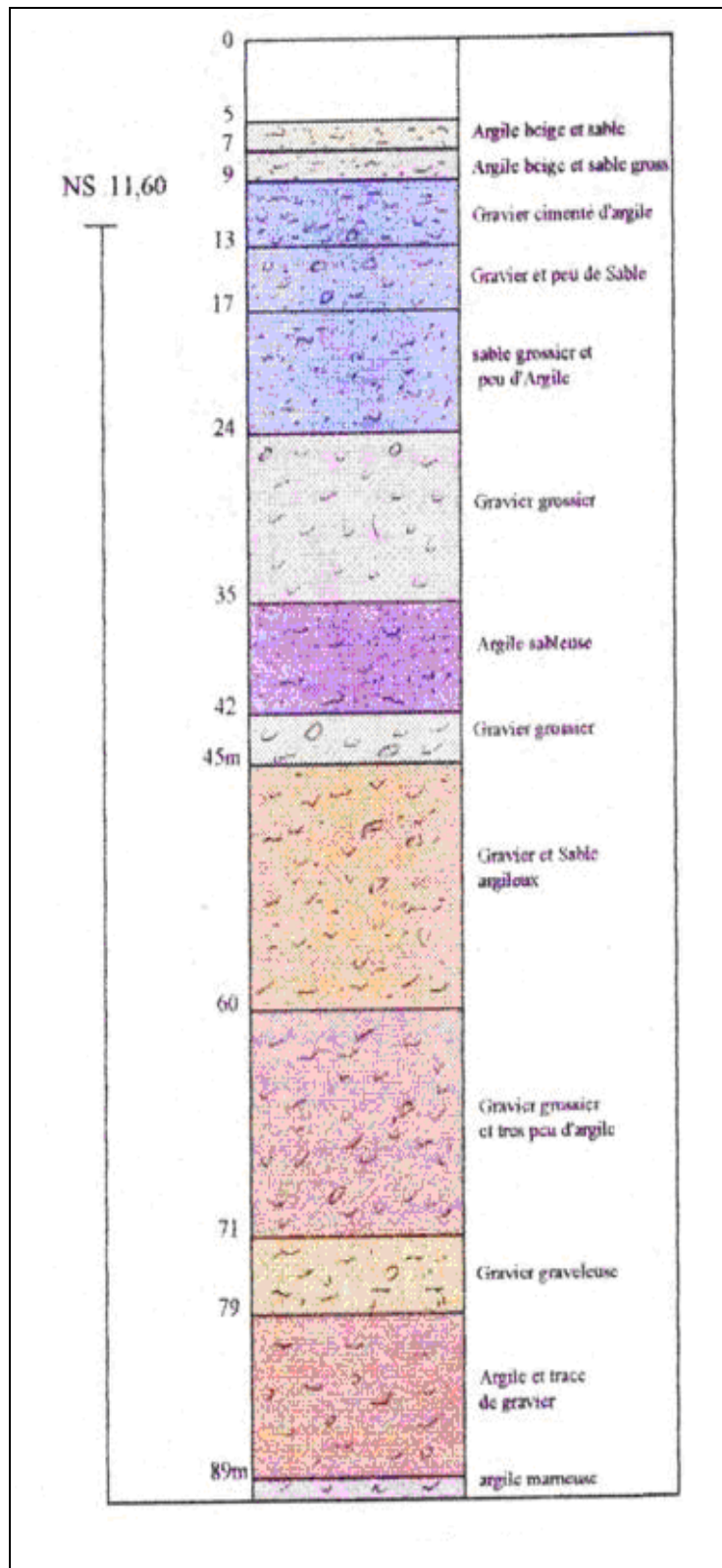


Figure (08): La structure litho-stratigraphique de la zone d'étude [06].

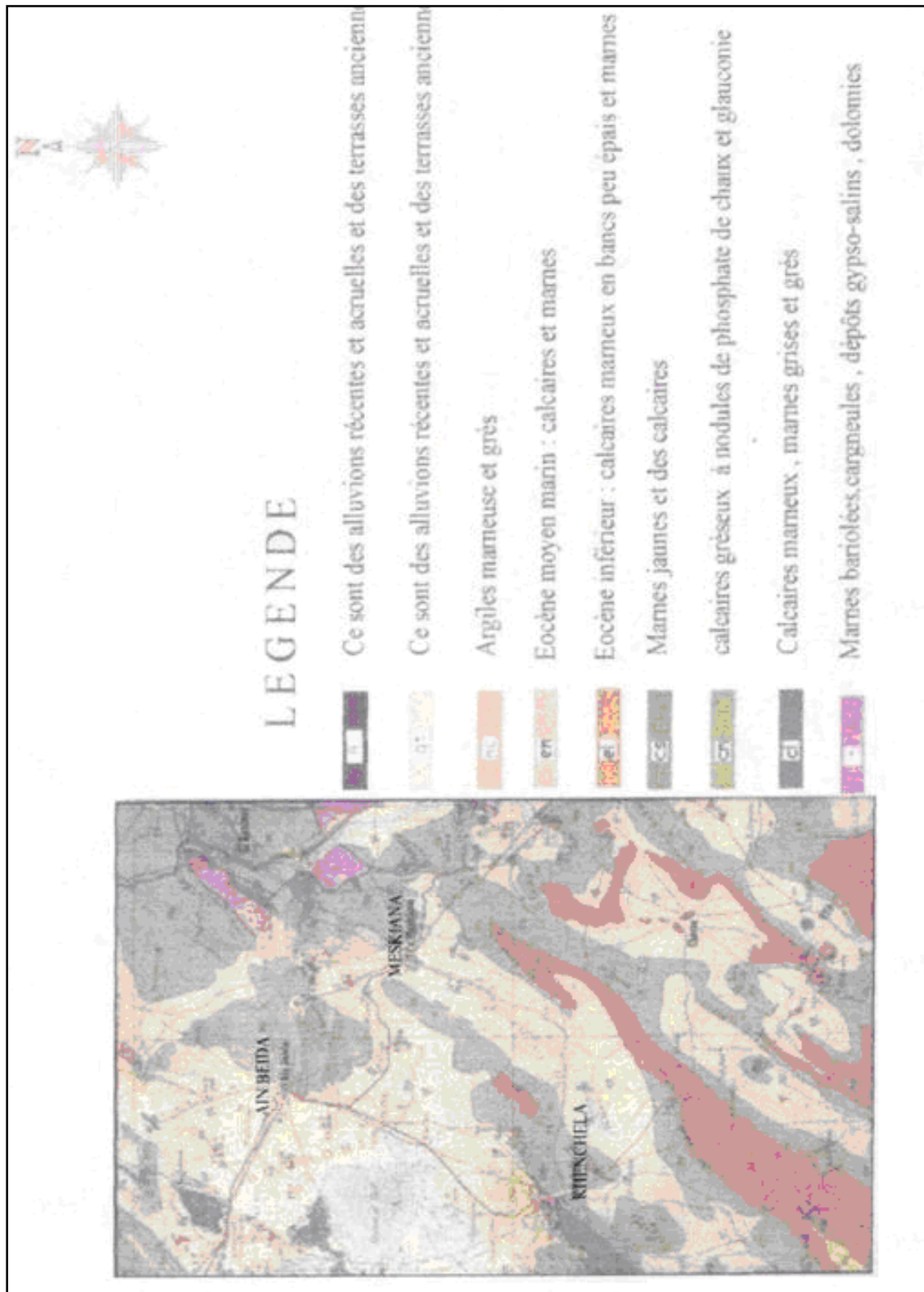


Figure (09): Carte géologique de la zone d'étude [06].

I.4. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES AGROLOGIQUES [04]

Les sols de la zone d'étude ont été classés suivant la classification française adoptée par DEMRH 1970. L'échelle de la carte des sols de 1/100 000.

La zone d'étude est constituée des sols peu évolués d'apport alluvial en amont des oueds associés avec de petites séguias descendant directement de la montagne où des collines environnantes.

Le matériel fin (limons et argiles) repose sur un lit composé d'éléments grossiers (graviers et cailloux). Ces sols sont profonds, se caractérisant par: une couleur brun clair à l'état sec, une texture moyenne avec des stratifications granulométriques en profondeur, une structure motteuse ou polyédrique moyenne lamellaire à la surface et une activité biologique moyennement prononcée.

Les sols peu évolués d'apport alluvial sont caractérisés par une teneur de calcaire total constant ou variable à travers le profil dont le taux est fréquemment entre 20 et 35 % dans les premiers 80 cm, les sols à texture moyenne et grossière ont une teneur réduite (entre 10 et 15 %). Pour la capacité d'échange, la teneur est satisfaisante en bases échangeables (atteint 41.6 méq / 100 g) dans la couche superficielle du profil. Ce type de sol considéré comme pauvre en matière organique, sa teneur varie de 1.29 à 2.18 % dans la couche de 0 - 30 cm, la teneur en azote très faible à faible, varie entre 0.80 à 1.37 % dans la couche de 0 - 30 cm du profil, il est très riche en potassium échangeable (plus au moins équivalent à potassium assimilable) varie entre 2 à 4 % à travers les profils, il est pauvre à moyennement riche en phosphore assimilable. La réaction du milieu est légèrement jusqu'à moyennement alcaline, le PH varie légèrement en profondeur.

Les sols peu évolués d'apport alluvial sont classés comme très bons à bons pour toutes les cultures en sec et en irrigué. Leur productivité pourrait augmenter par la pratique agricole rationnelle (irrigation, labour hersage, rotation et fertilisation). L'engrais azoté et les phosphates sont recommandés mais il faut tenir compte de l'état hydrique du sol. L'apport de fumier diminuera l'effet nocif des sels, redonnera aux sols une structure favorable et évitera le lessivage des éléments fertilisants par l'irrigation. Cependant, il faudrait signaler que l'irrigation mal adaptée pourrait entraîner une accumulation des sels dans le sol.

I.5. APERCU SUR LES ACTIVITES AGRICOLES EN IRRIGUE ET EN SEC [04]

La zone d'étude a une vaste superficie agricole (83 %) mais seulement 62 % de cette surface est exploitée. Le tableau suivant montre les surfaces totales, agricoles totales et agricoles utiles.

Tableau (07): Superficies agricoles totales et utiles pour les communes de la zone d'étude [12].

Communes	Superficie totale (ha)	Superficie agricole totale		Superficie agricole utile	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)
Meskiana	19549	18036	92.26	13656	75.72
R'hia	16184	16184	100.00	11599	71.67
Belalla	17910	12109	67.61	5411	44.69
Behir chergui	11406	11392	99.88	8672	76.12

La zone d'étude célèbre par plusieurs cultures: les céréales d'hiver (le blé dur, blé tendre, orge, avoine), les oliviers, la pomme de terre d'arrière saison et les fourrages naturelles et artificielles. En général, les surfaces des cultures pour toute la wilaya d'Oum el bouaghi sont montrées dans le tableau ci-dessous:

Tableau (08): Surfaces des différentes cultures [04].

Années	Surfaces des cultures (ha)				
	pomme de terre d'arrière saison	Olivier	céréales d'hiver	fourrages naturelles	fourrages artificiels
2004/2005	150.75	141.92	142176.00		
2005/2006	103.50	285.87	117522.25	3080.00	19047.50
2006/2007	152.00	374.83	177755.00	3597.00	10981.50
2007/2008	111.50	423.70	192389.00		
2009/2010	153.00	441.56	203818.50	3830.00	18980.50
2010/2011	173.00	488.50	213873.00		11789.00
2011/2012	266.00	829.52	215190.00		

Les cultures les plus répandues dans toute la région d'Oum el bouaghi son les céréales d'hiver avec une surface de 215190 ha en 2011/12 et les fourrages artificiels avec une superficie de 11789 ha en 2010/11.

Tableau (09): Les rendements des différentes cultures de 2004/2005 jusqu'à 2011/2012 [04].

Années	pomme de terre d'arrière saison (Q _x)	Oliviers (hl)	céréales d'hiver (Q _x)	fourrages naturelles (Q _x)	fourrages artificiels (Q _x)
2004/2005	17460.0	05.30	1578768		
2005/2006	12085.0	07.50	956887	31670	605491
2006/2007	15671.0	21.25	1868695	51919	570336
2007/2008	14075.0	36.52			
2009/2010	20604.5	43.60	193760	54315	406306
2010/2011	28390.0	60.28	247848		688982
2011/2012	37875.0	127.57			

Tableau (10): Etat des ressources mobilisées [04].

Nature de l'ouvrage	nombre	Capacité (hm ³ /an)	Superficie irrigable (ha)	Superficie irriguée en 2010/11 (ha)
Forage	339	85.600	15607	6384.00
Puits	3449	108.800	10000	11664.00
Barrage	00	00	00	00
Retenue	09	06.307	500	80.59
Source	05	-	15	00
Oueds	02	-	08	00
Step	01	6	180	00
autres	-	-	96	00

Tableau (11): Volume d'eau utilisé à partir de chaque type d'ouvrages [04].

Type d'ouvrage	Nombre	Volume (hm ³ /an)
forage	339	22.00
Puits	3449	63.00
Barrage	00	00
R. collinaire	09	0.16
Source	05	0.30
Pompage au fil de l'eau	00	00
Epanchage de crue	01	-

Tableau (12): Superficies irriguées par système d'irrigation en 2008 [04].

Système d'irrigation	Superficies irriguées (ha)
Gravitaire	14735.62
Aspersion	2404.00
Localisée	163.35

Tableau (13): Superficies irriguées par types de cultures et système d'irrigation en ha [04]

Système d'irrigation	Cultures maraichères	Arbo	Cultures fourragères	Cultures industrielles	céréales	Superficie irriguée totale
Gravitaire	4067.25	1055.37	5800	811	3002	14735.62
Aspersion	526.00	00	922	00	956	2404.00
Localisée	10.00	152.35	00	01	00	163.35
Totale	4603.25	1207.70	6722	812	3958	17302.97

La majorité des cultures sont irriguées (environ de 16887.97 ha) par les puits et les forages. L'évolution de l'utilisation de la technique d'arrosage par aspersion est apparente par l'accroissement de la superficie irriguée par cette technique (environ de 14 %) surtout pour les céréales et les cultures maraichères et fourragères. cette technique pose des sérieux problèmes des pertes par évaporation et entraînement.

CONCLUSION

La plaine de Meskiana possède un climat méditerranéen de type semi-aride, avec un hiver froid et peu pluvieux, et un été chaud et sec. Sur une période de 33 ans (1972/73- 2004/05), la température moyenne annuelle, qui y règne est de 15,6 °C, les précipitations moyennes annuelles sont estimées à 341 mm et l'évapotranspiration est estimée à 839.5 mm. On remarque la concentration des valeurs d'ETP dans la saison sèche où elle est importante à partir du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre, avec des valeurs maximales atteignant 160 mm au mois d'août qui se fait un déficit entre les précipitations et l'évapotranspiration, rendant nécessaire l'irrigation.

La zone d'étude est constituée des sols peu évolués d'apport alluvial (limon et sable) qui sont classés comme très bons pour toutes les cultures en sec et en irrigué. Leur productivité pourrait augmenter par la pratique agricole rationnelle (irrigation, labour hersage, rotation et fertilisation). La plupart de la zone d'étude est agricole, mais seulement 62 % de cette superficie est effectivement utile. Les cultures les plus répandues dans toute la région d'Oum el bouaghi sont les céréales d'hiver avec une surface de 215190 ha en 2011/12 et les cultures maraichères avec une petite surface, mais en augmentation constante chaque année, sa majorité est irriguée par la technique d'irrigation par aspersion.

Ces conditions climatiques et agrologiques favorisent le développement rapide de la technique d'arrosage par aspersion dans la zone d'étude ce qui pose les problèmes des pertes par évaporation et entraînement.

CHAPITRE II

RAPPEL THEORIQUE

II. RAPPEL THEORIQUE

INTRODUCTION

Quand la pluviométrie naturelle est insuffisante pour assurer un développement optimal des cultures, l'irrigation est un facteur souvent nécessaire. Mais le choix d'un équipement d'irrigation ne doit pas se faire de manière impulsive: il doit être réfléchi techniquement et économiquement.

II.1. APERCU BREF DES TECHNIQUES D'IRRIGATION

Parmi les techniques d'irrigation, l'irrigation de surface est la plus utilisée, cette technique englobe l'irrigation par épandage des crues et ruissellement qui est la forme la plus primitive de l'irrigation, celle qui est pratiquée dans les zones arides. L'épandage s'effectue généralement par eau courante. Cependant, on utilise parfois le système des bassins pour recueillir les eaux de crue ou de ruissellement, on peut distinguer l'irrigation par déversement par arrosage uniforme en amenant l'eau dans les rigoles de niveau parce que l'un des bords, situé du côté aval du terrain et moins élevé que l'autre, est presque horizontal, de façon à obtenir un écoulement régulier tout le long de la rigole, l'eau débordant par-dessus cette berge. Cette méthode est d'un usage courant pour l'arrosage des prairies naturelles des régions tempérées.

L'irrigation souterraine est un mode d'arrosage qui a été proposé surtout pour les plantes maraîchères capable de supporter des investissements très élevés. Le procédé le plus simple consiste à placer, à 50 ou 60 cm de profondeur, les lignes de tuyaux de drainage à 3 ou 4 m de distance, qui sont alimentées par de petits bassins régulateurs à l'amont.

La technique d'irrigation localisée (goutte à goutte) ne peut être efficace et performant que si la filtration est correcte et, plus encore si l'automatisation est poussée, en irrigation localisée, chaque plante est alimentée par un ou plusieurs goutteurs.

L'irrigation par aspersion est utilisée depuis les temps les plus reculés par les horticulteurs, c'est vers 1930 seulement que ce système d'arrosage est passé en grande culture. En irrigation par aspersion chaque plante doit disposer une certaine quantité d'eau correspondante à son état physiologique.

II.2. EVALUATION DES TECHNIQUES D'IRRIGATION

Pour les régions arides: les sols sableux; limon-sable, l'irrigation de surface peut s'utiliser avec succès, elle dépend du planage, choix de longueur des rigoles et des planches en combinaison avec la valeur du débit à la tête et du temps d'arrosage. Un rapport optimal permet une uniformité de l'humidification des sols avec minimum de pertes par percolation. La distance entre les rigoles de 60 à 70 cm avec une longueur de 70 m. Les pertes par percolation de l'ordre de (10 à 15) % (pour l'irrigation par aspersion et de surface).

L'évaporation de surface du sol pendant l'irrigation de surface est habituellement inférieure que pendant l'aspersion (15 à 20) %.

Dans les conditions de sécheresse, l'effet de l'humidification de l'air en aspersion est de 65 à 75 % le jour et 85 à 90 % la nuit.

La comparaison des deux techniques sur la base des pertes d'eau est presque la même pour les deux, (10 à 15) % de la dose donnée.

Le microclimat créé par l'aspersion est meilleure pendant l'arrosage et quelques heures après l'arrosage. Après, le microclimat est le même pour les deux techniques.

- **Possibilités techniques d'utilisation des techniques d'arrosages**

Plusieurs facteurs sont contribues au choix de technique d'arrosage, on distingue:

- **Facteurs pédologiques et géomorphologiques:**

Les principaux facteurs sont: la vitesse de filtration, la profondeur de sol, la salinité des sols et la profondeur de la nappe.

L'irrigation de surface non recommandée pour des profondeurs de sol limitée et une vitesse de filtration supérieure à 15 cm/h pour la première heure car les pertes par percolation sont très importantes.

L'irrigation par aspersion est non recommandée pour les vitesses de filtration inférieures à 5 cm/h pour la première heure, les sols salés (création d'un stock d'eau sur la surface de sol et un régime de lessivage difficile à réaliser).

La pente et le relief limitent l'utilisation de certaines installations d'aspersion et éliminent l'irrigation de surface.

Tableau (14): principaux facteurs pédologiques et géomorphologiques (CHTEPA B.G) [02].

Techniques d'arrosages	sols			Relief accidenté	pentes fortes	n.n.p (salée) peu profonde	deficit des eaux d'irrigation	eaux d'irrigation salées
	salés	légers	lourds					
superficielle	+	*	+	*	*	*	*	+
aspersion	*	+	-	+	+	-	+	-
dispersion	*	+	+	+	+	*	+	+
goutte à goutte	-	*	+	*	+	-	+	+

n. n. p: niveau de la nappe phréatique.

+: utilisée; -: ne peut être utilisée; *: en partie.

- Facteurs agronomiques et économiques

Utilisation limitée de certaines installations d'irrigation par aspersion pour: hauteur de culture supérieure à 1.1 m, doses d'arrosages supérieures à 800 m³/ha. Utilisation limitée de certaines installations d'irrigation de surface pour des doses d'arrosages inférieures à 400 m³/ha.

L'estimation économique, pour comparer deux ou plusieurs variantes:

$$C_{\min} = C_i + ak_i$$

$$T = \frac{K}{D_2 - D_1}$$

Avec:

C_i: dépenses annuelles d'exploitation;

K_i: investissement;

a: coefficient d'efficacité des investissements;

D₁: revenu net avant et D₂ après;

T: délai d'amortissement des investissements (min).

L'évolution de l'utilisation de la technique d'arrosage par aspersion surtout dans les régions semi-arides et sols sableux exige l'étude des pertes par évaporation et entrainement.

Le choix de la technique d'arrosage dépend de plusieurs facteurs qui sont cités dans le tableau suivant:

Tableau (15): principaux facteurs de choix de la technique d'arrosage [02].

Techniques d'arrosage	Humidification de sol	Humidification de l'air	Arrosage des réserves	Lessivage	Apport engrais	Irrigation eaux usées	Irrigation antigel	Arrosages provoqué les mauvais herbes	Vents fortes
Superficielle	+	*	+	+	*	-	-	+	+
Aspersion	+	+	*	*	+	+	+	+	-
Dispersion	-	+	-	-	*	-	-	-	+
Goutte à goutte	+	-	*	-	+	-	-	-	+

+: utilisée; -: ne peut être utilisée; *: en partie.

II.3. TYPES DE TECHNIQUE D'ARROSAGE PAR ASPERSION

- **Caractéristiques de l'outil de pulvérisation**

Le choix de praticien se porte vers les arroseurs rotatifs qui sont les plus employés grâce Aux sérieux progrès accomplis dans leur construction. On peut distinguer 2 modèles des arroseurs rotatifs:

- Les asperseurs à rotation lente: dont les plus couramment utilisés. Il existe des modèles fonctionnant à très faible pression de 1 à 1.3 bar, qui peuvent être espacés de 6 à 9 m et donnent une pluviométrie assez élevée. L'asperseur est caractérisé par le diamètre de sa buse, qui définit, pour une pression déterminée, le débit de l'asperseur, la portée du jet et la répartition de l'eau (pluviométrie) le long du jet. Il existe des asperseurs équipés d'une seule buse (mono buse) de diamètres différents, ce qui améliore l'homogénéité de la répartition pluviométrique sur la surface arrosée. L'asperseur peut être monté directement sur la rampe

par l'intermédiaire d'une allonge (canne) rigide de 0.5 à 2 m que l'on emboîte dans un té à clapet fixé sur une plaque stabilisatrice. Le choix et l'implantation des asperseurs dépendent de la quantité d'eau qui tombe sur le sol (ou pluviométrie) le long du jet d'un asperseur diminue lorsqu'on s'éloigne de celui-ci. La décroissance de la pluviométrie s'aggrave par le fait que la surface arrosée par mètre linéaire de jet au cours de la rotation de l'asperseur augmente avec la distance par rapport à l'arroseur. Pour obtenir une répartition de l'eau homogène, on doit disposer les asperseurs de manière à avoir un recouvrement des jets. Les asperseurs sont usuellement disposés en carré, en rectangle ou triangle, dont les dimensions les plus courantes sont : 12*12m, 18*18m, 18*24m, 21*21m. Les dimensions adoptées pour la grille doivent permettre un recouvrement suffisant des surfaces arrosées par des asperseurs voisins, pour obtenir une uniformité d'arrosage correcte.

- Les canons: sont des appareils puissants fonctionnant à partir de 3 bars de pression et composés d'une lance principale avec buse de fort diamètre (8 à 36 mm), dont le jet vient se briser sur une roue à aubes réglables permettant de modifier la finesse de la pluie. Certains canons peuvent arroser en carré afin de réduire les pertes en bordures. Les canons présentent l'inconvénient d'être lourds, coûteux à l'achat comme pour leur fonctionnement et leurs répartitions. Mais ils permettent d'arroser de grandes surfaces en seule station (jusqu'à plus d'un hectare).

Les types des techniques d'arrosage par aspersion comportent:

- **Le quadrillage total en petits arroseurs:** Le champ est entièrement couvert de rampes semi-fixes (c'est-à-dire fixes pendant la saison d'arrosage, et déplaçables entre deux saisons). Au cours de saison, on déplace manuellement les cannes munies de leurs arroseurs d'un poste à l'autre le long de la rampe. Cette technique d'arrosage est de moins en moins employée en raison des contraintes de main d'œuvre qu'il impose la mise en place du quadrillage en début de campagne, le déplacement des arroseurs et de leur support en cours d'irrigation et l'enlèvement du quadrillage en fin de campagne, en plus, plusieurs avantages présentent dans cette technique d'arrosage: la qualité excellente d'arrosage, les investissements modérés et les besoins limités en énergie et les inconvénients sont distingués par le système non déplaçable en cours d'irrigation, les contraintes de main d'œuvre, la pose et l'enlèvement du quadrillage et le déplacement des arroseurs au cours d'irrigation.

- **La couverture intégrale en petits arroseurs:** Le champ est cette fois couvert en permanence, durant la saison d'irrigation, non seulement par les canalisations, mais par les cannes et les asperseurs. La seule manipulation à effectuer en cours de saison consiste alors à ouvrir et fermer des vannes, qui alimentent successivement les rampes ou ensembles de rampes constituant chaque poste d'arrosage. Les contraintes de main d'œuvre en cours d'irrigation sont très allégées par rapport au quadrillage total mais les investissements sont beaucoup plus élevés.

- **Le système pivot:** est un appareil d'irrigation automatique arrosant un cercle ou une portion de cercle réservé à des parcelles de grandes dimensions. Le pivot se compose de travées porte-arroseurs de longueur variable selon les fabricants et les modèles; de tours montées sur roues supportant les travées à l'une de leurs extrémités et assurant le déplacement de celles-ci autour le pivot central; d'un pivot central autour duquel tournent les travées, et qui assure l'alimentation de l'ensemble et d'un porte à faux situé après la dernière travée et qui supporte la plupart du temps un canon d'arrosage.

- **La rampe frontale:** est dérivée du pivot dont elle conserve les travées, les tours, éventuellement la porte à faux et le canon d'extrémité. On peut distinguer deux types de rampe frontale, le premier est celle qui fonctionne uniquement en va et vient et le deuxième celle qui fonctionne en aller et retour et éventuellement en pivot.

- **L'enrouleur,** le plus utilisé qui se compose essentiellement d'un asperseur canon, un flexible d'alimentation, une bobine d'enrouleur et d'un moteur hydraulique. L'asperseur se déplace au cours d'arrosage à une vitesse réglable en fonction de la dose d'eau que l'on veut adopter:

$$V = \frac{500 Q}{D \cdot P_r} \quad [11]$$

Avec:

V: vitesse d'avancement en m/h;

Q: débit de l'asperseur en m³/h;

D: dose d'irrigation en mm;

P_r: portée de l'asperseur en m.

Pour obtenir un bon arrosage avec un enrouleur, la première condition est que le canon fonctionne à une pression suffisante. Les différents modèles d'enrouleurs sont le plus souvent définis par le diamètre (extérieur) de leur flexible d'alimentation, le débit

admissible d'un enrouleur est d'autant plus élevé que la pression admissible à l'entrée de l'appareil est plus grande, le diamètre du flexible est plus important et le flexible d'alimentation est plus court.

II.4. FACTEURS D'UNE IRRIGATION DE QUALITE

L'utilisation de l'irrigation par aspersion donne le plus important avantage qui est la meilleure répartition de l'eau d'irrigation sur la surface du sol afin d'atteindre une uniformité de l'humidité de sol dans l'espace et la profondeur.

II.4.1. L'intensité pluviométrique et grosseur de la goutte

- **L'intensité pluviométrique**

L'intensité pluviométrique est donnée par la formule suivante:

$$i = \frac{q}{S} \quad [11]$$

Avec

i : Intensité moyenne d'arrosage [mm/min];

q : Débit par asperseur [m^3/min];

S : Superficie de la maille élémentaire [m^2].

Les pertes par évaporation peuvent être diminuées par l'augmentation de l'intensité (1.5 à 2) mm/min à faible vitesse de vent. cela peut aussi diminuer le temps d'arrosage et élever le rendement de l'installation (admissible pour les sols légers jusqu'à 0.8 mm/min).

Tableau (16): Intensités admissibles (en mm/min), sols, culture et pentes (Sapounov) [21].

sol	I = 0.05		I = (0.05 à 0.08)		I = (0.08 à 0.12)		I = 0.12	
	cultivé	non cultivé	cultivé	non cultivé	cultivé	non cultivé	cultivé	non cultivé
sableux	0.85	0.85	0.85	0.64	0.64	0.44	0.42	0.21
limon-sable	0.74	0.42	0.53	0.34	0.42	0.28	0.32	0.17
limon	0.42	0.21	0.34	0.17	0.25	0.13	0.17	0.09
argileux	0.09	0.07	0.07	0.04	0.05	0.034	0.04	0.025

- Le débit nécessaire par arroseur sera alors donné par la relation suivante [11] :

$$q = \frac{D \times I}{t \times 1000}$$

Avec:

q : Débit par arroseur en m³/h ;

D : Dose d'arrosage en mm ;

t : Temps en heures ;

I: Implantation de quadrillage en m².

- Grosseur de la gouttelette

La surface totale des gouttelettes d'eau influe fortement sur le taux des pertes par évaporation. Pour une unité de volume de l'eau, le taux d'évaporation augmente quand la taille des gouttelettes diminue, si d'autres facteurs restent constants, et les facteurs qui causent la diminution de la taille des gouttelettes, on va avoir une augmentation des pertes par évaporation. Les pertes par évaporation à partir d'une installation d'irrigation par aspersion peuvent être réduites, en changeant les conditions de fonctionnement des arroseurs pour augmenter la taille des gouttelettes d'eau ou par l'irrigation lorsque les exigences climatiques sont faibles. En irrigation par aspersion 90 % de nuage des gouttelettes est de l'ordre de 2 mm.

Des résultats expérimentaux montrent que les diamètres des gouttelettes inférieures ou égales à 1 mm donnent des pertes par évaporation excessives, par contre, on observe pour les

diamètres des gouttelettes supérieures à (1 à 1.5) mm une diminution brusque des pertes par évaporation. La détermination de la grosseur de la gouttelette et l'intensité permet d'estimer les pertes par évaporation (régions sahariennes et hauts plateaux.).

II.4.2. Uniformité d'arrosage

L'efficacité de l'irrigation par aspersion dépend des pertes qui ont lieu pendant et après l'irrigation. Lorsque les conditions de l'eau, quelques-uns des gouttelettes sont réalisées hors de la zone arrosée, où une partie de celui-ci est interceptée par la végétation ou par le sol dehors de la zone arrosée. L'évaluation des performances de l'irrigation par aspersion a fait l'objet de plusieurs travaux qui ont abouti au coefficient développé par Christiansen (1942 [1]) et Merriam et Keller (1978 [17]), caractérisant statiquement le degré d'uniformité de distribution de l'eau. Il varie de 0 à 100 %, plus le coefficient est proche de 100 %, plus l'uniformité est bonne.

Christiansen [1] a déterminé les pertes par évaporation en utilisant la méthode des pluviomètres à attraper (catch- can) et il a constaté que les pertes allaient de 19 à 42 %. Frost et Schwalen (1955 [5]) ont constaté que les pertes varient approximativement proportionnelle à la vitesse du vent et la pression et d'exploitation et inversement proportionnelle au taux d'humidité relative de l'air et taille de la buse.

En ce qui concerne l'efficience de l'irrigation, la littérature offre plusieurs résultats concernant l'évaluation de l'irrigation en fonction de la distribution de l'eau et le pourcentage de surface adéquatement irriguée devant recevoir une dose nette supérieure ou égale à la dose requise par la culture (Hart et Reynolds, 1965 [8] ; Hart et al., 1979 [7]; Heermann et al., 1990 [9] ; Wolters, 1992 [26]).

Letey et al. (1984 [15]) 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 le rendement prévu.

- Le coefficient d'uniformité de Christiansen

Le coefficient de l'uniformité de distribution développé par Christiansen est donné par la formule suivante :

$$CU (\%) = 100 \left(1 - \sum \frac{|h_i - h_m|}{N \cdot h_m} \right)$$

Où :

h_i : Hauteur d'eau au niveau du pluviomètre i (mm) ;

h_m : Hauteur d'eau moyenne appliquée sur la zone arrosée (mm) ;

N : nombre d'observations.

Les pertes d'irrigation par aspersion dans les zones arides et semi arides peuvent être équivalentes à une partie considérable de l'eau rejetée par les arroseurs.

- Le coefficient d'uniformité par la formule [11]

Le coefficient de l'uniformité de distribution par la formule de [11] est donné par :

$$CU = \frac{h_0}{h_m} \cdot \frac{1}{S} \cdot 100$$

Avec:

h_0 : hauteur pluviométrique minimale (mm);

h_m : hauteur pluviométrique moyenne (mm);

S : surface totale (mm²);

II.4.3. Dose d'arrosage réelle (effective)

Besoins en eau d'irrigation: On peut résumer les besoins en eau d'irrigation par la relation suivante:

$$\text{Besoins des plantes} - \text{Apport d'eau naturelle} = \text{Besoins d'eau d'irrigation}$$

- La dose d'arrosage réelle (M_c) est l'ensemble de la dose d'arrosage théorique en ajoutant une quantité d'eau qui représente les pertes totales par évaporation et entrainement par vent.
- La correction de la dose d'arrosage M est donnée par la formule suivante:

$$M_c = \frac{100 \cdot D}{(100 - E)}$$

M_c : La dose d'arrosage réelle en mm;

D : La dose d'arrosage en mm;

E : Les pertes par évaporation du nuage des formé par l'asperseur et par entrainement de cette masse par vent en % de volume.

II.4.3.1. Pertes par évaporation pendant l'irrigation par aspersion

Lors de l'application de l'irrigation par aspersion, on peut diviser les pertes dans l'atmosphère, en deux composants:

- L'évaporation: le pouvoir évaporant de l'air provoque une évaporation directe des particules lors de leur trajet de la buse jusqu'au sol.
- L'entrainement: sous l'effet du vent qui entraine hors la parcelle les gouttelettes de plus petites tailles.

Les deux derniers modes, que l'on appellera "évaporation et dérive" (souvent appeler aussi évaporation et transport), représentent suivant les auteurs la forme la plus importante des pertes pour les systèmes d'irrigation par aspersion. Des estimations rapportées dans la littérature font état de valeurs variant de 2 à 50 % (Hermsmeier, 1973, et Arshad et al. 1982 [10]).

Plusieurs facteurs contribuent aux pertes d'eau à partir d'un arroseur que ce soit par évaporation ou par entrainement:

- Les facteurs liés à la nature de l'équipement (diamètre de la buse ...), les conditions hydrauliques de fonctionnement (la pression, le débit...).
- Les facteurs climatiques: la température de l'air, l'humidité relative de l'air et la vitesse de vent.

Sous certaines conditions, il peut être souhaitable d'augmenter la quantité des pertes par évaporation à partir des arroseurs. Ces augmentations seraient souhaitables quand les arroseurs sont utilisés pour refroidissement des cultures, comme c'est le cas au cours de la mise en place des greffes. On peut estimer les pertes par évaporation et entrainement par des plusieurs méthodes:

A. Méthodes expérimentales

- Méthode des débits

En l'absence de moyens de calcul adéquats, la plupart des évaluations des pertes en aspersion, sont faites à partir d'un échantillonnage des volumes apportés en différents points d'une parcelle au moyen de pluviomètres. Pour les tests réalisés avec des boîtes de capture, les pertes varient de 2% à 40% (principalement de 10 % à 20 %) (Yazar, 1984 [28]; Kolh et al, 1987 [14]; Kincaid, 1996; Kincaid et al, 1996 [13]). Les pertes par évaporation et entrainement sont estimées comme étant la différence entre la quantité d'eau évacuée par aspersion et la quantité d'eau recueillie par les boîtes de capture (pluviomètres). Dans le cas des tests de laboratoire, les pertes ont varié de 0,5 à 2 % (Kohl et al, 1987 [14]). Les pertes par évaporation et par entrainement réelles (E (%)) sont déterminées par la formule suivante:

$$E = \frac{Q_a - Q_p}{Q_a} \cdot 100$$

Avec:

E: Les pertes par évaporation et par entrainement (en %);

Q_a: Débit de l'asperseur (en l/h);

Q_p: Débit des pluviomètres (en l/h);

- Méthode basée sur la concentration des ions de chlorure

Pour pouvoir séparer ces deux composantes de pertes, Frank E. Robinson (1973) [20] et McLean et al (2000) [16] ont utilisé une méthode se basant sur la mesure de la conductivité

électrique (CE) de l'eau récupérée dans les collecteurs. Une eau d'irrigation présente initialement une faible salinité ; pendant le vol des gouttelettes dans l'atmosphère, leur volume est réduit par évaporation, ce qui augmente la concentration de cette eau et par conséquent sa CE.

En comparant la CE de l'eau appliquée à la sortie de la buse à celle récupérée dans les collecteurs, on peut estimer le pourcentage des pertes d'eau par évaporation seule (selon McLean et al (2000) [16]) par la formule suivante:

$$E (\%) = \frac{CE_s - CE_c}{CE_s} \cdot 100$$

Où:

CE_s : Concentration des ions de chlorure de la source.

CE_c : Concentration des ions de chlorure de l'eau récupérée dans les boites de captures.

B. Théorie et méthodes de détermination des pertes par évaporation et entrainement en irrigation par aspersion

- Théorie:

En irrigation par aspersion, pendant le parcours de la gouttelette de pluie de l'arroseur jusqu'au sol, une partie d'un volume de la gouttelette est évaporée.

La formulation de la loi de la cinétique de l'évaporation à partir de la gouttelette à été donnée par Steznevski B.I. celle-ci est basée sur les hypothèses suivantes:

- La vitesse d'évaporation à partir de l'unité de surface de la gouttelette est proportionnelle au diamètre de la gouttelette.
- La vitesse de variation de la surface de la gouttelette est une grandeur constante:

$$\frac{ds}{dt} = \text{constant}$$

- Le temps de l'évaporation total de la gouttelette est proportionnel au carré de son diamètre.

En 1980, dans ces travaux, Maxwell a étudié le cas simple de l'évaporation d'une gouttelette isolée dans l'air et il a proposé la relation suivante:

$$\frac{dm}{dt} = 4. \pi. R. D (C_k - C_0)$$

Avec:

R: rayon de la gouttelette en cm;

D: coefficient de diffusion en cm/s^2 ;

C_k : concentration de la vapeur sur la surface de l'air;

C_0 : concentration de la vapeur dans l'air.

La relation de Maxwell ne prend pas en considération plusieurs facteurs et en particulier le déplacement de la gouttelette par le vent et la modification de la formule est mise en évidence par Steznevski B. I qui fait intervenir facteur vent, il a proposé la formule suivante:

$$\frac{dm}{dt} = 4. \pi. R. D (C_k - C_0). F$$

Avec:

F: coefficient caractérisant la vitesse de vent;

$$F = f (R_e , \sigma)$$

R_e : nombre de Reynolds;

σ : caractéristique de l'évaporation d'un fluide, pour l'eau: $\sigma = 1.68$.

- Méthodes de détermination des pertes par évaporation et entrainement:

L'étude de pertes par évaporation et entrainement pendant l'application de l'eau au moyen de l'irrigation par aspersion a été rapportée dans plusieurs études. Quand ces études ne sont pas définies dans les mêmes conditions, les résultats obtenus varient beaucoup.

Hermesmeier (1973 [10]), dans les conditions de l'impérial Vallée (Californie) en été, a trouvé que l'évaporation mesurée à partir de la variation de CE sur des jets des arroseurs, peut varier de 0 à 50 %. Il a travaillé sur des périodes d'arrosage courtes et il a trouvé que l'évaporation est de 3 à 4 fois plus importante pour l'irrigation en périodes diurnes qu'en périodes nocturnes. Il a trouvé en outre que la température de l'air et l'intensité d'application de l'eau

(pluviométrie, mm/h) sont les facteurs qui expliquent mieux statistiquement l'évaporation des arroseurs, mieux en tout cas que la vitesse du vent ou l'humidité relative.

Spurgeon et al. (1983 [22]) ont trouvé que dans des conditions de haute température, d'air sec et en présence de vent, l'évaporation dans une installation d'irrigation par aspersion peut atteindre 30% du volume total appliqué. Conjointement et sous des conditions climatiques aussi hautement évaporantes, des mesures réalisées par Steiner et al. (1983) [23] au moyen de pluviomètres, ont abouti à des valeurs de pertes totales d'environ 15 %. En temps d'arrosage, la création d'une ambiance humide limite l'évapotranspiration du couvert végétal mouillé (Thompson et al, 1986) [25].

Yazar (1984 [28]) a trouvé, avec cette même méthode, par des séries d'expériences menées au Nebraska (conditions arides) que les pertes par évaporation représentent un pourcentage qui varie entre 1.5 et 16.8 % du volume total appliqué par l'arroseur. Il a conclu que le vent et le déficit de pression de vapeur sont les facteurs influant le plus significativement sur l'évaporation. En effet, la lame d'eau libre sur le couvert végétal tempère le microclimat en s'évaporant ce qui fait augmenter les pertes globales du couvert (Steiner et al. 1983 [23]). Cette idée que les pertes par évaporation et entraînement en irrigation par aspersion ne constituent pas des pertes effectives ont été avancées par certains auteurs, qui supposent qu'elle permet de diminuer la demande évaporatoire au niveau du couvert végétal (Tarjuelo et al. 1994 [24]) ; ceci a été mis en doute récemment par Playan et al (2004 [19]) qui ont pu mesurer des pertes par évaporation allant de 8.5 % la nuit à 15.4 % le jour (conditions climatiques semi-arides de Zaragoza en Espagne) et les pertes par entraînement par vent étaient estimées de 9.8 % le jour et de 5 % pendant la nuit.

- Détermination des pertes par évaporation par la relation de Fedorenko [2]

Fedorenko I. D utilisant les résultats de Steznevski B.I et Izaka E.G est arrivé à la relation suivante:

$$E = 100 \left[1 - \left(1 - \frac{e_s \cdot t (1 + 1.92 V)}{10584 \cdot d^2} \right) \right]$$

Avec:

e_s : déficit de pression saturé (mm);

t: temps de parcours de la gouttelette (s);

V: la vitesse de vent (m/s);

d: diamètre de la gouttelette (m).

- **Détermination des pertes par évaporation par un nomogramme d'évaporation d'un arrosage (de Frost et Schwalen, 1955 [5])**

De nombreuses études des pertes par évaporation au cours de l'irrigation par aspersion ont été menées, et certains sont cités comme des références à cette publication. L'ancien travail extensif a été fait par Frost et Schwalen (1955, 1960) [5], en Arizona. Dans leur article en 1960, Frost et Schwalen [5] ont résumé les résultats de 700 essais sur le terrain menés en vertu d'une variété de conditions climatiques. Ils ont développé un nomogramme (Il a été publié dans plusieurs manuels d'irrigation qui permet à l'utilisateur d'estimer le pourcentage des pertes par évaporation au cours l'irrigation par aspersion en fonction des caractéristiques de l'arroseur, la pression de fonctionnement, et les facteurs climatiques. Ils ont conclu que les pertes par évaporation pourraient être estimées avec précision en utilisant trois facteurs climatiques: température de l'air, l'humidité relative et la vitesse du vent. (Figure 10).

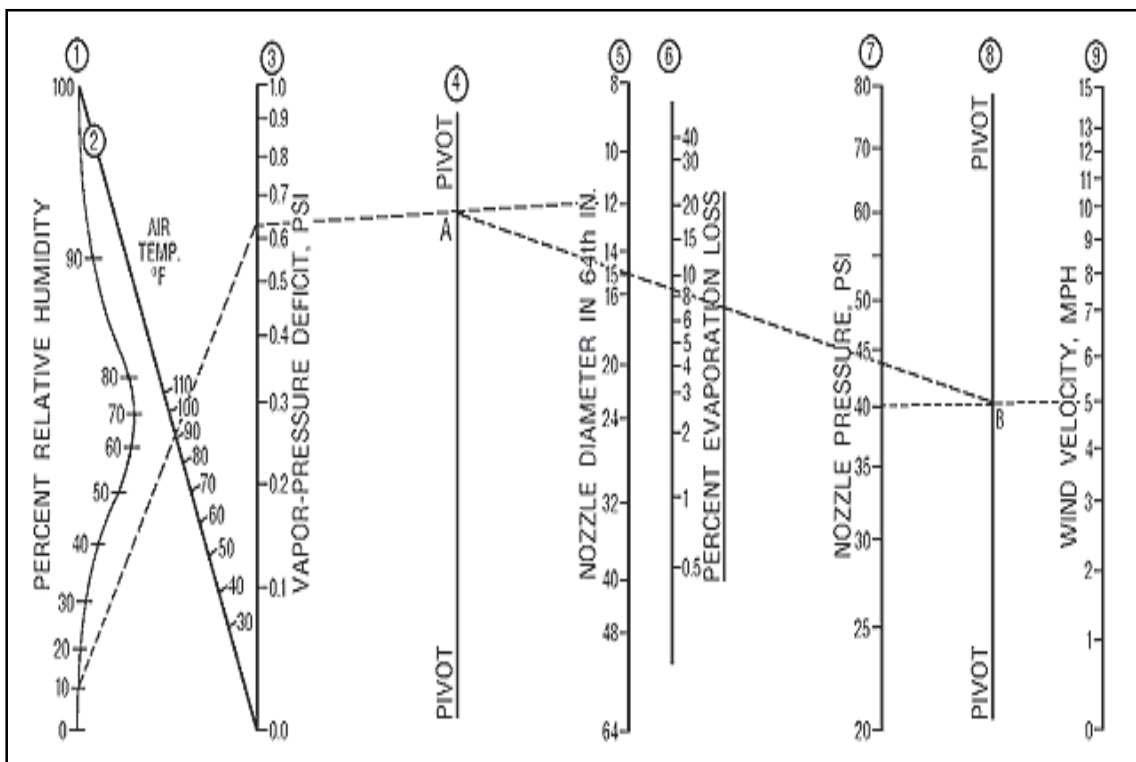


Figure (10). Nomogramme d'évaporation d'un arrosage (de Frost et Schwalen, 1955) [5].

- **Détermination des pertes par évaporation par la méthode de Danil tchenko N.V. 1983 [3]:**

Dans le processus de déterminer les pertes par évaporation, Danil tchenko [3] a constaté des résultats pour les régions arides et semi arides en fonction d'un coefficient d'évaporation E (%), il peut être déterminé par la formule suivante:

$$E_D = \frac{0.71 T (e_s - e_a) (1 + 0.21 \cdot V)}{e_s}$$

E_D : les pertes par évaporation en % en volume d'eau sorti des appareils d'aspersion;

T: la température de l'air en °C;

V: la vitesse de vent en m/s;

$(e_s - e_a)$: le déficit de pression de vapeur en mb;

e_s : le déficit de pression de vapeur saturée correspondante à la température de l'air en mb;

Danil tchenko N.V [3] a déterminé les pertes par évaporation réelles par la formule suivante:

- Pour un seul asperseur:

$$E = 1 + 0.01 E_0;$$

- Pour une couverture intégrale en aspersion et pour les conditions de climat aride de Kazakhstan de sud pendant la période de demande maximale en eau d'irrigation, [3] a déterminé les pertes par évaporation réelles par les formules suivantes:

$$E_j = 1 + 0.014 E_0, \text{ pour le jour};$$

$$E_n = 1 + 0.006 E_0, \text{ pour la nuit};$$

E_0 : les pertes par évaporation et entrainement estimées par la formule de Danil tchenko.

- **Estimation des pertes par évaporation et entrainement par la méthode de Yazard [28]**

Dans une approche statistique, les mesures des pertes par évaporation sont liées à l'environnement et à des paramètres opérationnels. Yazar (1984) [28], a obtenu pour un essai de plusieurs arroseurs et dans un climat semi aride:

$$E_y = 0.389 \exp^{(0.18 V)} (e_s - e_a)^{0.7}$$

Où:

E_y : le pourcentage du débit déchargé perdu à cause de l'évaporation et entrainement (%);

V : la vitesse du vent (m/s);

$(e_s - e_a)$: le déficit de pression de vapeur (kPa). Il peut être calculé au moyen de l'expression suivante (Murray, 1967):

$$(e_s - e_a) = e_s \left[1 - \frac{H}{100} \right] = 0.611 e^{\left[\frac{17.27T}{237.3+T} \right]} \left[1 - \frac{H}{100} \right]$$

Où:

e_s, e_a : sont la pression de vapeur saturante et la pression de vapeur réelle de l'air (kPa);

T : la température de l'air ($^{\circ}$ C),

H : l'humidité relative (%).

La pression de vapeur saturante peut être également obtenue comme suit (Wright, 1982) [27]:

$$e_s = 6.15 + 4.44 \cdot 10^{-1}T + 1.4 \cdot 3 \cdot 10^{-2}T^2 + 2.62 \cdot 10^{-4}T^3 + 2.9510^{-6}T^4 + 2.56 \cdot 10^{-8}T^5$$

Où:

e_s et e_a : la pression de vapeur saturante et la pression de vapeur réelle de l'air (kPa);

T : la température de l'air ($^{\circ}$ C),

Les valeurs de Kohl et al. (1987) [14] qui ont obtenu 60 % des pertes dues à l'évaporation par pulvérisation et de 40 % des pertes dues à l'entrainement due au vent.

Considérant que le vent comme le seul facteur à estimer les pertes par évaporation, Yazar (1984) [28] a obtenu, en testant avec plusieurs arroseurs, l'équation de régression suivante:

$$E = 1.68 \exp^{0.29.V}$$

De la même manière, Yazar (1984) [28] a estimé les pertes par entrainement (D_r) au moyen de la régression des données expérimentales en fonction de la vitesse du vent:

$$D_r = 0.25 V^{2.15}$$

Où:

D_r : le débit déchargé en pourcentage due aux pertes par entrainement (%).

- **Détermination des pertes par évaporation et par entrainement par la méthode de Sapounkov A. P. 1991 [21]:**

Dans le processus de déterminer les pertes par évaporation et pertes par entrainement, Sapounkov [21] a constaté des résultats pour les régions arides et semi arides. et il a proposé une relation en fonction d'un coefficient d'intensification qui relie des paramètres climatiques:

$$E = a \varphi^b$$

E: les pertes par évaporation et entrainement par vent en pourcentage de volume;

φ : coefficient d'intensification (φ); il peut être calculé par la formule suivante:

$$\varphi = T (V + 1) (1 - 0.01. H)$$

Avec:

T: la température de l'air en °C;

V: la vitesse de vent en m/s;

H: l'humidité de l'air en %.

Il a proposé aussi des relations pour chaque type d'installation d'irrigation par aspersion:

Pivot 100: $E = 0.206 \varphi^{0.81}$

Pivot 70: $E = 0.51 \varphi^{0.65}$

Rampe à déplacement frontal: $E = 2.26 \varphi^{0.54}$

Arroseur automoteur: $E = 8.75 \varphi^{0.2}$

Parmi les méthodes citées précédemment, on peut utiliser seulement quatre méthodes afin de déterminer les pertes par évaporation et entrainement dans les régions arides utilisant plusieurs arroseurs: la méthode des boîtes à captures (pertes par évaporation et entrainement réelles), la méthode de Danil tchenco, la méthode de Sapouncov et celle de Yazard.

CONCLUSION

La connaissance des facteurs agronomiques, économiques, pédologiques et géomorphologiques de la zone de Meskiana nous permet de déterminer les possibilités techniques d'utilisation des techniques d'arrosages. L'évolution de l'utilisation de la technique d'arrosage par aspersion surtout dans les régions semi-arides et sols sableux exige l'étude des pertes, par évaporation sous l'effet de la température et l'entrainement des gouttelettes du au vent, provoquées par des facteurs climatiques (la température de l'air et la vitesse de vent élevées et l'humidité de l'air...). Plusieurs études sont faites pour l'estimation des pertes par évaporation et entrainement pour un ensemble des arroseurs.

Dans cette étude, on va essayer d'étudier les pertes par évaporation et entrainement en utilisant plusieurs méthodes pour corriger les doses d'arrosage données aux cultures afin d'obtenir une efficacité maximale et atteindre le rendement prévu.

CHAPITRE III

MATERIELS ET METHODES

UTILISEES

I. MATERIELS

L'étude d'efficience des performances des systèmes d'irrigation par aspersion est définie par le taux des pertes par évaporation et par entrainement. Ce travail est fondé sur un essai qui sert à déterminer l'apport d'eau optimal par l'irrigation en tenant compte la perte par évaporation et l'uniformité de distribution.

1. Cadre de l'étude

– Situation géographique et climat de la zone d'étude

La parcelle d'étude se situe au nord ouest de la région de Meskiana (la commune de R'hia) à l'aval de la retenue collinaire de Ahmed Ben Mohamed. La parcelle d'étude est caractérisée par un climat continental de type semi-aride, avec un hiver froid et peu pluvieux, et un été chaud et sec.

- La valeur de la température moyenne est de 16.3 °C, dont la valeur maximale est enregistrée pendant le mois de juillet avec une valeur de 31.3 °C et la valeur minimale est de 6.2 °C pendant le mois de janvier.
- L'humidité relative de l'air est généralement plus élevée en saison hivernale, dont les valeurs maximales sont atteintes jusqu'à (75.3 et 77.3 %) et les valeurs minimales sont enregistrées en été (41.3 et 47.1 %).
- La valeur moyenne de la vitesse de vent est de 1.51 m/s, signalant que les vents dominants sont de deux types: les vents de nord sont froids et humides, ils soufflent durant l'automne et l'hiver et les vents de sud-est sont très chauds.
- Les valeurs de l'ETP moyennes mensuelles de la zone d'étude sur une période (1972/73-2003/04) sont très élevées pour les mois de mai, juin, juillet, aout, septembre et octobre, allant de 67.2 mm pour le mois d'octobre jusqu'à 223.3 mm pour le mois de juillet. Ces valeurs élevées sont importantes par rapport aux valeurs de précipitations ce qui traduit la nécessité de l'irrigation.

2. Equipements utilisés

La parcelle d'essai est équipée d'une installation d'irrigation par aspersion classique. On utilise trois asperseurs disposés sur un même tertiaire. Le diamètre de la rampe d'arrosage est de 20 mm. L'eau est pompée au moyen d'une électropompe à axe horizontal de type Pentax. L'eau pour l'irrigation provient de la retenue collinaire d'Ahmed Ben Mohamed dans la commune de Meskiana, wilaya d'Oum El Bouaghi. Sur la parcelle d'essai, les asperseurs, tout identique, sont des asperseurs rotatifs à mono-buse, de diamètre de 20 mm de marque R.C. FARM (R.C. 160-N) monté sur des tiges verticales de 1 m de longueur. La pression de fonctionnement dans la buse a été maintenue constante au cours la saison.

II. METHODES

Le protocole expérimental comprend la détermination des intensités pluviométriques des trois (3) arroseurs rotatifs qui sont définis comme étant la hauteur d'eau de la pluie artificielle tombée sur la surface arrosée en un temps "t" et qui s'exprime en (mm/h) ou (mm/min) tenant compte la zone de recouvrement entre deux asperseurs. Pour chaque asperseur, on utilise 40 pluviomètres de diamètre de 12 cm, et une hauteur de 18 cm, ils sont disposés à une distance de 2 m l'un par rapport à l'autre.

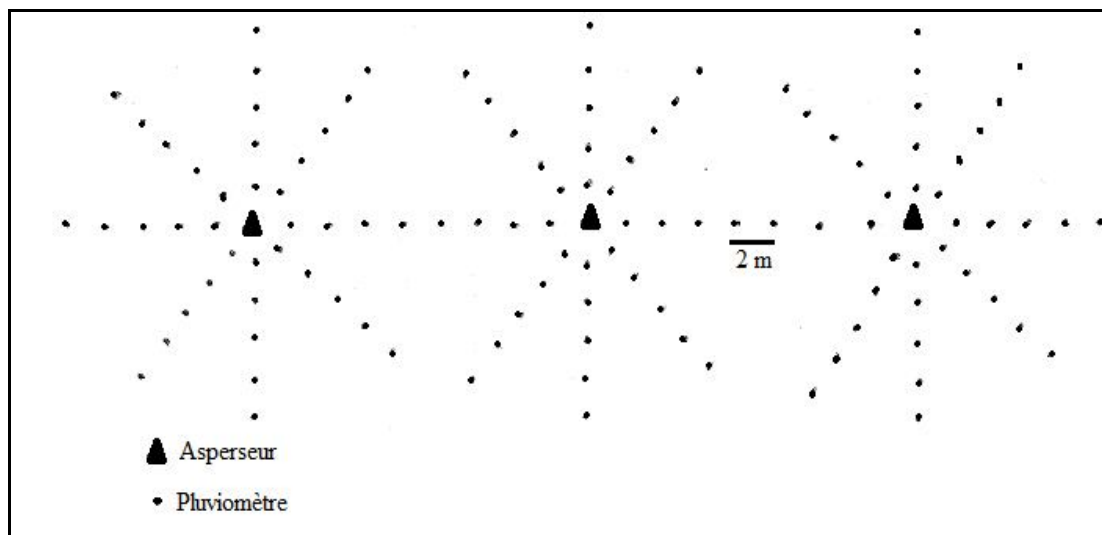


Figure (11): Schéma explicatif de l'emplacement des pluviomètres des 3 asperseurs de l'installation d'essai.

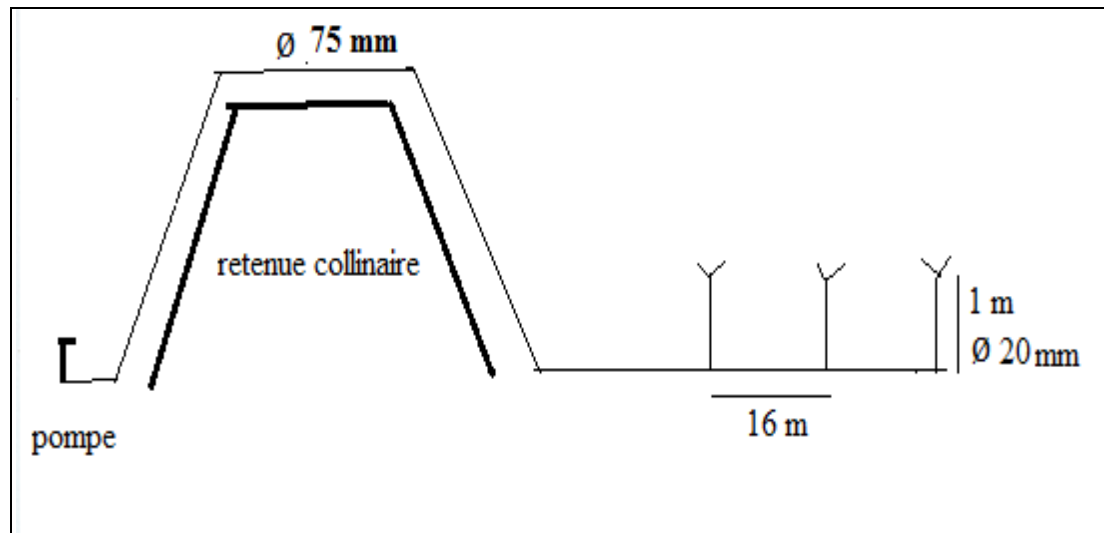


Figure (12): Schéma explicatif de toute l'installation.



Figure (13): Disposition de système d'installation: asperseurs et pluviomètres



Figure (14): disposition explicatif d'un seul asperseur et ses pluviomètres.

L'alimentation en eau de l'asperseur doit se faire sous une charge connue et constante. Le temps d'expérience est compté à partir du moment où l'arrosage commence avec une durée de 3 heures.

- **Caractéristiques de la pompe utilisée:**

La pompe utilisée est de marque: PENTAX: VERONELLA (VR) Italie de type: CM40-2503 (pompe électrique à axe horizontale)

$Q = 150 - 700$ (l/min); $H = 74.6 - 56$ (m); $H_{\min} = 56$ (m); $H_{\max} = 75.5$ (m);

$HP = 15$; $KW = 11$; $KW_{\text{abs}} = 14.4$; $Hz = 50$.

L'essai est fait à la fin de mois de septembre (19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 et 30 matin et après midi) et le début de mois d'octobre (1 matin et après midi, 2, 4 et 5 matin et après midi).

Tableau (18) : Données météorologiques prises au moment de l'expérimentation

Jours	début	fin	T _{moy} (°C)	V _{moy} (m/s)	H _{moy} (%)
19-9	12:30	15:30	33	5.37	30
20-9	12:20	15:20	33.2	2.22	36.7
21-9	12:20	15:20	28.8	4.07	50.3
22-9	12:20	15:20	33.2	4.26	34.3
23-9	11:20	14:20	34.5	3.52	26
24-9	12:15	15:15	33.7	5.28	35.7
25-9	12:15	15:15	32.7	5.37	31
30-9	8:45	11:45	29.7	3.15	46.7
30-9	13:25	16:25	29.7	3.15	46.7
1-10	8:50	11:50	27.8	2.87	63
1-10	13:25	16:25	27.8	2.87	63
2-10	12:30	13:30	28.5	2.59	55
4-10	12:15	15:15	30.3	1.3	35
5-10	7:55	10:55	32.2	2.59	28.7
5-10	13:45	16:45	32.2	2.59	28.7

- Détermination des intensités (doses d'arrosage)

Avec des pluviomètres, on mesure les volumes d'eau recueillis à l'aide d'une burette gradué de 0 à 250 ml, l'erreur de cet instrument est de l'ordre de ± 1.5 ml. Le calcul des intensités (les doses d'arrosage h_i (mm)) est fait par la formule suivante:

$$h_i = \frac{10 V_i}{S}$$

Avec :

V_i : volume recueilli dans le pluviomètre en cm^3 .

S : surface du pluviomètre en cm^2 , elle est calculée par:

$$S = \pi * r^2 = \pi * 6^2$$

La dose d'irrigation moyenne est calculée par :

$$h_m = \frac{\sum h_i}{n}$$

n : Nombre des pluviomètres, pour chaque asperseur $n = 40$, pour toute l'installation $n = 120$.

- Détermination de coefficient d'uniformité de Christiansen (CU) [1]

La répartition de l'eau sous les asperseurs a été évaluée en calculant le coefficient d'uniformité de Christiansen (CU).

$$CU (\%) = 100 \left(1 - \sum \frac{|h_i - h_m|}{N \cdot h_m} \right)$$

Où :

h_i : Hauteur d'eau au niveau du pluviomètre i (mm) ;

h_m : Hauteur d'eau moyenne appliquée sur la zone arrosée (mm) ;

N : nombre d'observations.

Pour la Détermination de CU d'un seul asperseur: $N = 40$;

Pour la Détermination de CU de tout le système: $N = 120$.

- Détermination des pertes réelles par évaporation et par entrainement par vent de la pluie formé par l'asperseur: est faite à partir de la formule suivante:

$$E_i (\%) = 100. \frac{Q_{a i} - Q_{p i}}{Q_{a i}}$$

$Q_{p i}$: Débit des pluviomètres de l'asperseur i ($i = 1, 2, 3$), qui est calculé par:

$$Q_{p i} = \frac{V_{p i}}{t} = \frac{S \cdot h_{m i}}{t} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot h_{m i}}{t} = \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot h_{m i}}{3}$$

S : surface irriguée par l'asperseur caractérisée par un $r = 10$ m et $t = 3$ heures;

$h_{m i}$: dose d'arrosage moyenne pour l'asperseur i ($i = 1, 2, 3$).

Pour l'asperseur 1: $q_{asp 1} = 2665.362$ l/h;

Pour l'asperseur 2: $q_{asp 2} = 2344.234$ l/h;

Pour l'asperseur 3: $q_{asp 3} = 2203.883$ l/h;

Pour l'ensemble de l'installation: $Q = 7213.479$ l/h;

CHAPITRE IV

TRAITEMENT ET ANALYSE DES RESULTATS

IV. TRAITEMENT ET ANALYSE DES RESULTATS

Au cours de l'irrigation par aspersion, le volume d'eau donné aux cultures va diminuer en fonction des pertes par évaporation des gouttes d'eau au cours leur parcours et de la première couche de 15 cm supérieur du sol après l'arrêt de l'irrigation, et les pertes par entrainement de nuage de pluie par l'effet du vent. Cette diminution de quantité d'eau affecte sur le rendement des cultures, pour cela, il faut estimer ces pertes pour donner la dose d'arrosage réelle.

- Estimation de la dose d'arrosage réelle (M_c)

La correction de la dose d'arrosage M est donnée par la formule suivante:

$$M_c = \frac{100 \cdot m}{(100 - E)}$$

IV.1. Estimation des pertes par évaporation et par entrainement par différentes méthodes (E (%))

L'estimation des pertes par évaporation et par entrainement peut être réalisée par plusieurs méthodes, dans ce travail on utilise quatre méthodes.

IV.1.1. Détermination des pertes par évaporation et par entrainement par la méthode des débits (des boîtes à captures ou réelle):

Les pertes par évaporation et par entrainement E (%) par la méthode des boîtes à capture sont déterminées par la formule suivante:

$$E = \frac{Q_a - Q_p}{Q_a} \cdot 100$$

Avec:

E : perte par évaporation et par entrainement (en % de débit);

Q_a : débit de l'arroseur (l/h);

Q_p : débit des pluviomètres (l/h);

- Les mesures des volumes et la détermination des débits des trois arroseurs sont donnés dans le tableau ci-dessous:

Tableau (18): Débits des différents arroseurs sous la même pression de travail ($P=3\text{bar}$).

	Volume de recipient (l)	Temps (s)	$Q = V/t$ (l/s)	Q (l/h)
Arroseur 1	11.35	15.33	0.7404	2665.362
Arroseur 2	11.35	17.43	0.6512	2344.234
Arroseur 3	11.35	18.54	0.6122	2203.883

- Les valeurs de la hauteur de l'eau dans les pluviomètres des trois arroseurs sont réalisées à partir des volumes collectés.

$$V_i = h_i \cdot S_p$$

Où:

V_i : le volume collecté dans chaque pluviomètre (en ml);

h_i : la hauteur de la lame d'eau dans chaque pluviomètre (dose d'arrosage en cm);

S_p : la surface de la base pluviomètre (en cm^2), elle est calculée par:

$$S_p = \pi \cdot R_p^2 = \pi \cdot 6^2 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Avec:

R_p : le rayon de la base circulaire du pluviomètre (6 cm).

Les valeurs des doses d'arrosage moyennes (h_i) sont données dans le tableau suivant:

Tableau (19): Les doses d'arrosage moyennes pour les trois arroseurs pour une durée d'irrigation de 3 heures sur une pression de travail constante $P = 3$ bar.

	h_{1m} (mm)	h_{2m} (mm)	h_{3m} (mm)	h_m (mm)
19-9	14.78	14.50	12.50	13.91
20-9	18.44	17.70	15.58	17.24
21-9	17.93	17.58	15.13	16.881
22-9	17.29	17.07	14.84	16.40
23-9	16.56	17.75	15.04	16.45
24-9	15.76	15.85	14.08	15.23
25-9	15.30	15.80	13.19	14.76
30-9	22.11	20.42	18.01	20.18
30-9s	18.10	18.09	15.68	17.29
1-10m	22.45	20.66	18.74	20.62
1-10s	19.56	20.17	16.05	18.59
2-10	18.36	18.72	15.96	17.68
4-10	19.24	19.42	16.45	18.37
5-10m	20.38	20.37	17.32	19.36
5-10s	17.53	18.29	15.04	16.95

- La détermination des débits moyens des pluviomètres est réalisée à partir de la formule suivante:

$$q = \frac{h_{i m} \cdot S_a}{1000 \cdot t} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

Où:

$h_{i m}$: la dose d'arrosage moyenne de chaque arroseur (mm):

t: le temps d'arrosage (3 heure);

S_a : la surface occupée par les pluviomètres (m^2), elle est calculée par:

$$S_a = \pi \cdot R_a^2 = \pi * 10^2$$

R_a : la surface occupée par un arroseur.

La détermination des débits de chaque arroseur et de l'ensemble de l'installation est donnée dans le tableau suivant:

Tableau (20): Les débits moyens calculés pour les trois arroseurs et l'ensemble de l'installation.

Jours	q₁ (l/h)	q₂ (l/h)	q₃ (l/h)	Q (l/h)
19-9	1548.01	1513.97	1309.23	4371.20
20-9	1931.08	1853.95	1631.39	5416.42
21-9	1877.81	1840.98	1584.60	5303.40
22-9	1810.64	1787.48	1554.03	5152.16
23-9	1733.98	1858.35	1574.88	5167.21
24-9	1650.38	1659.64	1474.83	4784.84
25-9	1602.44	1652.00	1381.26	4635.69
30-9	2314.84	2138.36	1886.38	6339.57
30-9s	1895.87	1894.48	1642.27	5432.63
1-10m	2351.43	2163.14	1962.34	6476.91
1-10s	2047.80	2111.96	1680.95	5840.71
2-10	1922.97	1960.49	1671.22	5554.68
4-10	2014.92	2033.67	1723.10	5771.69
5-10m	2134.65	2132.80	1814.12	6081.57
5-10s	1835.89	1914.82	1575.34	5326.05

La détermination des pertes par évaporation et par entrainement est présentée dans le tableau ci-dessous à partir de la formule:

$$E = \frac{Q_a - Q_p}{Q_a} \cdot 100 = \frac{\frac{V_a}{T} - \frac{V_p}{T}}{\frac{V_a}{T}} \cdot 100 = \frac{V_a - V_p}{V_a} \cdot 100$$

Avec:

E: les pertes par évaporation et par entrainement (en % de volume);

V_a: le volume éjecté par l'arroseur (l/h);

V_p: le volume recueilli dans les pluviomètres (l/h);

Tableau (21): Les pertes par évaporation et par entrainement calculées pour les trois arroseurs et l'ensemble de l'installation.

Jours	E₁ (%)	E₂ (%)	E₃ (%)	E (%)
19-9	41.92	35.42	40.60	39.40
20-9	27.55	20.91	25.98	24.91
21-9	29.55	21.47	28.10	26.48
22-9	32.07	23.75	29.49	28.58
23-9	34.94	20.73	28.54	28.37
24-9	38.08	29.20	33.08	33.67
25-9	39.88	29.53	37.33	35.74
30-9	13.15	8.78	14.41	12.11
30-9s	28.87	19.19	25.48	24.69
1-10m	11.78	7.73	10.96	10.21
1-10s	23.17	9.91	23.73	19.03
2-10	27.85	16.37	24.17	23.00
4-10	24.40	13.25	21.81	19.99
5-10m	19.91	9.02	17.69	15.69
5-10s	31.12	18.32	28.52	26.17

- La relation entre les pertes par évaporation et entrainement réelles de l'arroseur 01 (E_1 (%)) avec la température de l'air ($^{\circ}\text{C}$) peut être expliquée par le graphique suivant:

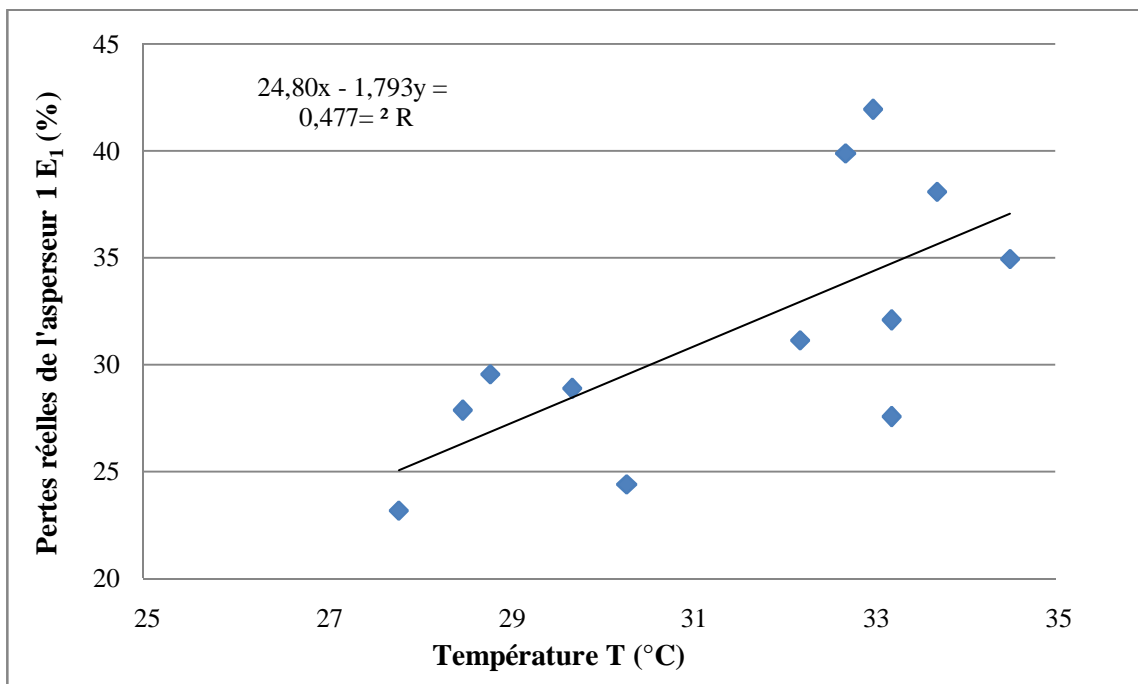


Figure (15): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroseur n°1 (E_1) en fonction de la température de l'air T ($^{\circ}\text{C}$).

Le tableau suivant représente les pertes par évaporation et entrainement moyennes de l'arroseur n° 1 en fonction des paramètres climatiques:

Tableau (22): Représentation des pertes par évaporation et entrainement réelles moyennes par intervalle des paramètres climatiques pour l'arroiseur 1.

T (°C)	Humidité relative de l'air (%)					
	0- 40			40- 60		
	Vitesse de vent (m/s)					
	0- 2	2- 4	4- 6	0- 2	2- 4	4- 6
27- 29	-	-	-	-	22.66	29.55
29- 31	-	-	-	-	21.01	-
31- 33	24.4	25.52	39.88	-	-	-
33- 35	-	31.25	37.36	-	-	-

- La relation entre les pertes par évaporation et entrainement réelles de l'arroiseur 01 (E_1 (%)) avec la vitesse de vent et l'humidité de l'air (°C) peut être expliquée par les graphiques suivants:

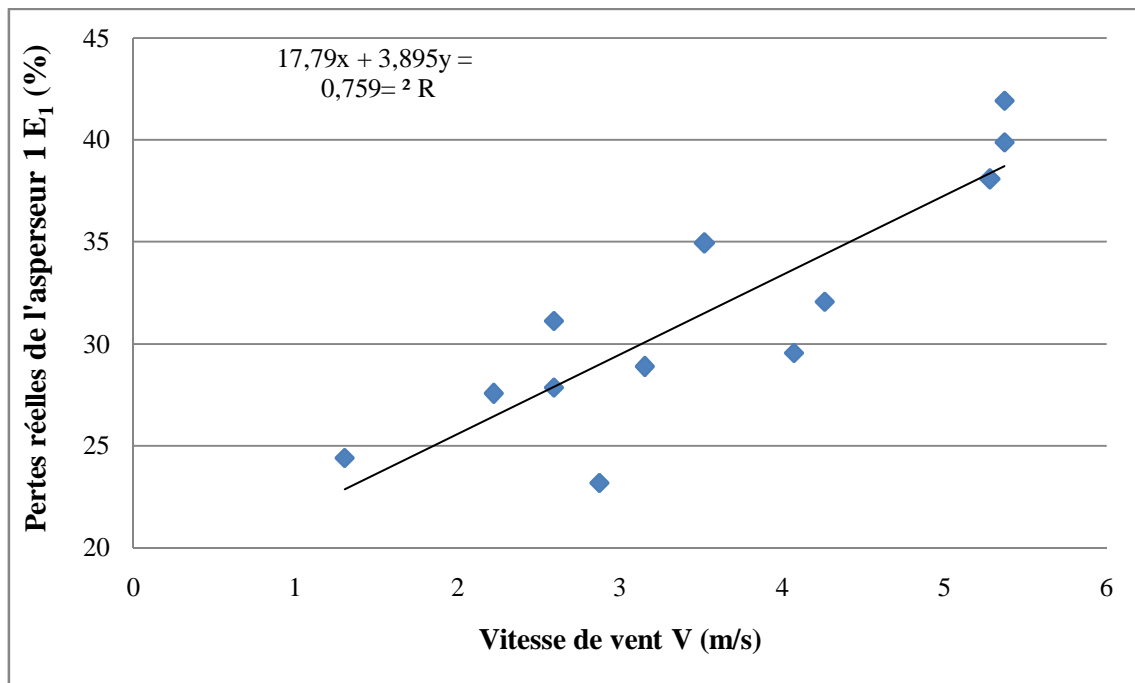


Figure (16): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroiseur n° 1 (E_1) en fonction de la vitesse de vent V (m/s).

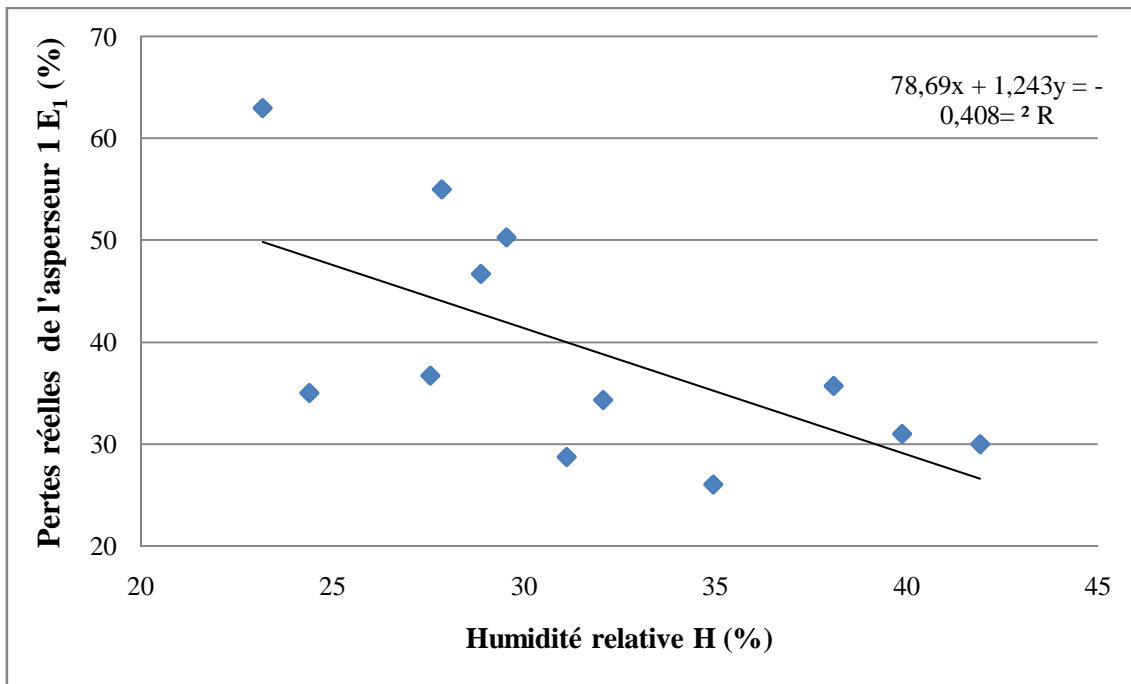


Figure (17): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroseur n° 1 (E₁) en fonction de l'humidité de l'air (%).

- Concernant le premier arroseur:
 - Pour des valeurs de la température au delà de 31 °C où les vitesses de vent sont comprises entre 0 et 2 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air sont inférieures à 40 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 24.4 %.
 - Pour des valeurs de la température supérieures à de 31°C où les vitesses de vent sont comprises entre 2 et 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air sont inférieures à 40 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 25.52 % et 31.25 %.
 - Pour des valeurs de la température au delà de 31 °C et les vitesses de vent delà 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air inférieures à 40 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 39.88 % et 37.36 %. Cela peut être expliqué par la température élevée et notamment la non-uniformité de distribution de l'eau sur la surface arrosée et la quantité d'eau qui tombe hors cette surface, c'est-à-dire, cette élévation des pertes représente les pertes par entrainement dues au vent.
 - Pour des valeurs de la température comprises entre de 27 et 31 °C et les vitesses de vent comprises entre 2 et 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air comprises entre 40 à 60 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 39.88 % et 37.36 %.

on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 22.66 % et 21.01 %.

- Pour des valeurs de la température comprises entre de 27 et 29 °C et les vitesses de vent supérieures à 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air comprises de 40 à 60 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 29.55 %. Cela peut être expliqué par la non-uniformité de distribution de l'eau sur la surface arrosée et la quantité d'eau qui tombe hors cette surface, c'est-à-dire, cette élévation représente les pertes par entrainement dues au vent.
- La relation entre les pertes par évaporation et entrainement réelles de l'arroiseur 02 (E_2 (%)) avec la température de l'air (°C) peut être expliquée par le graphique suivant:

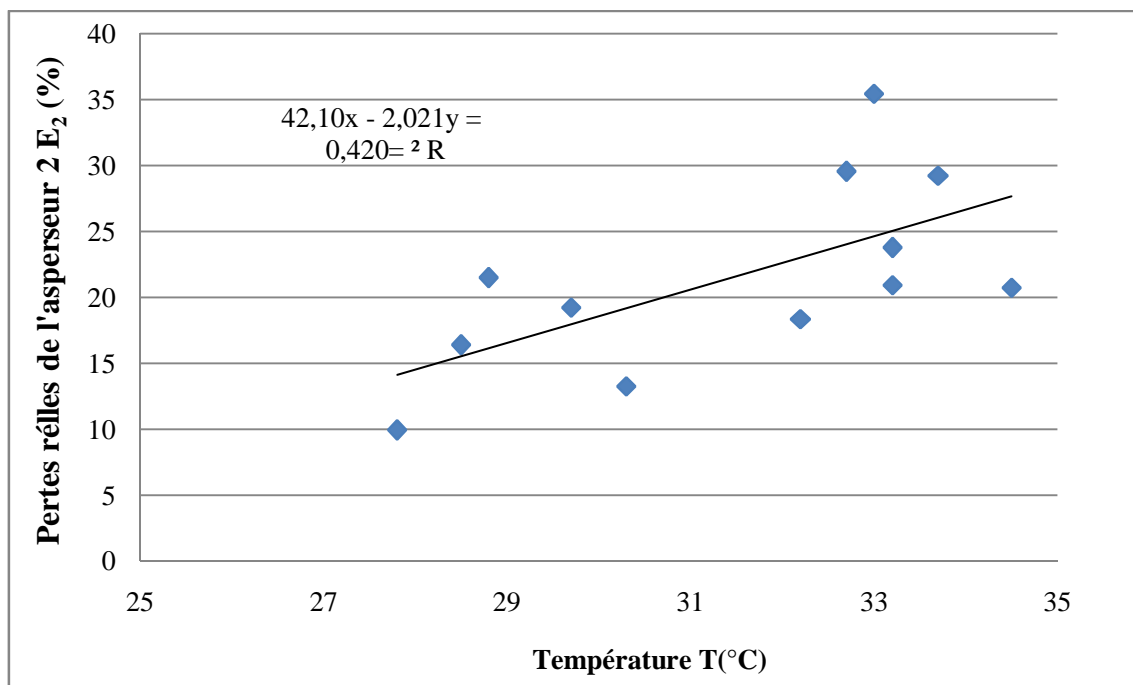


Figure (18): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroiseur n°2 (E_2) en fonction de la température T (°C).

Le tableau suivant représente les pertes par évaporation et entrainement moyennes de l'arroiseur n° 2 en fonction des paramètres climatiques:

Tableau (23): Représentation des pertes par évaporation et entrainement réelles moyennes par intervalle des paramètres climatiques pour l'arroiseur 2.

T (°C)	Humidité relative de l'air (%)					
	0 - 40			40 - 60		
	Vitesse de vent (m/s)					
	0 - 2	2 - 4	4 - 6	0 - 2	2 - 4	4 - 6
27 - 29					12.6	21.47
29 - 31					13.98	
31 - 33	13.25	13.67	29.53			
33 - 35		20.82	29.46			

- La relation entre les pertes par évaporation et entrainement réelles de l'arroiseur 02 (E_2 (%)) avec la vitesse de vent et l'humidité de l'air (°C) peut être expliquée par les graphiques suivants:

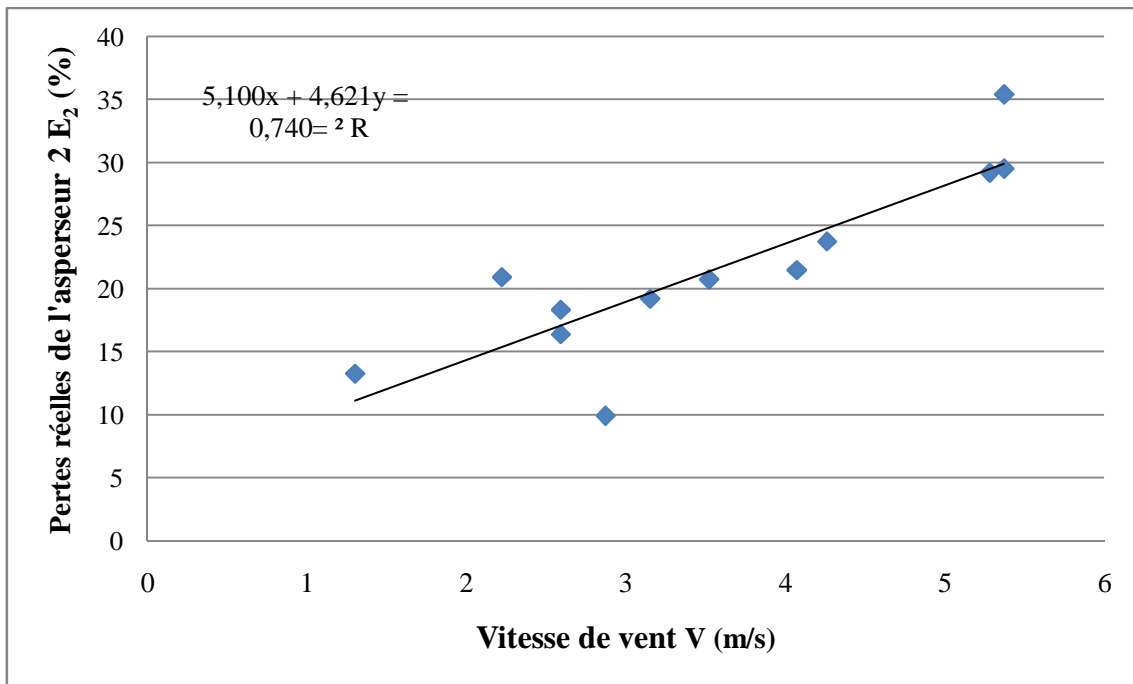


Figure (19): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroiseur n°2 (E_2) en fonction de la vitesse de vent V (m/s).

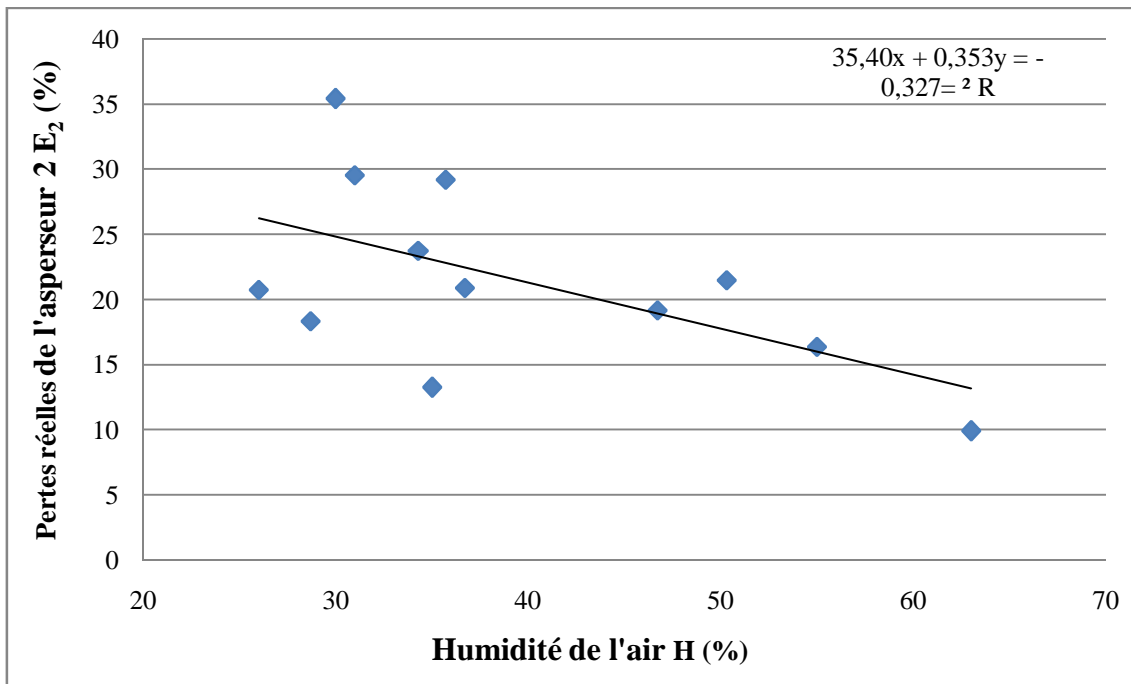


Figure (20): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroseur n°2 (E₂) en fonction de l'humidité de l'air (%).

- Concernant le deuxième arroseur:
 - Pour des valeurs de la température au delà de 31 °C où les vitesses de vent comprises entre 0 et 2 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air inférieures à 40 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 13.25 %.
 - Pour des valeurs de la température supérieures à de 31°C et les vitesses de vent comprises entre 2 et 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air inférieures à 40 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 13.67 % et 20.82 %.
 - Pour des valeurs de la température au delà de 31 °C et les vitesses de vent au delà 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air inférieures à 40 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 29.53 % et 29.46 %. Cela peut être expliqué par la température élevé et notamment la non-uniformité de distribution de l'eau sur la surface arrosée et la quantité d'eau qui tombe hors cette surface, c'est-à-dire, cette élévation des pertes représente les pertes par entrainement dues au vent.
 - Pour des valeurs de la température comprises entre de 27 et 31 °C et les vitesses de vent comprises entre 2 et 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air comprises entre 40 à 60 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 12.6 % et 13.98 %.

- Pour des valeurs de la température comprises entre de 27 et 29 °C et les vitesses de vent supérieures à 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air comprises de 40 à 60 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 21.47 %. Cela peut être expliqué par la non-uniformité de distribution de l'eau sur la surface arrosée et la quantité d'eau qui tombe hors cette surface, c'est-à-dire, cette élévation représente les pertes par entrainement dues au vent.
- on remarque pour l'arroseur 2 des pertes par évaporation et entrainement faibles par rapport à l'arroseur 1. Cette diminution des pertes de l'arroseur qui se dépose au milieu de l'installation peut être expliquée par le fait que la nappe d'eau de deuxième arroseur génère un microclimat crée par les deux autres arroseurs ce qui produit des conditions qui provoque une diminution de l'évaporation.
- La relation entre les pertes par évaporation et entrainement réelles de l'arroseur 03 (E_3 (%)) avec la température de l'air (T (°C)) peut être expliquée par les graphiques suivants:

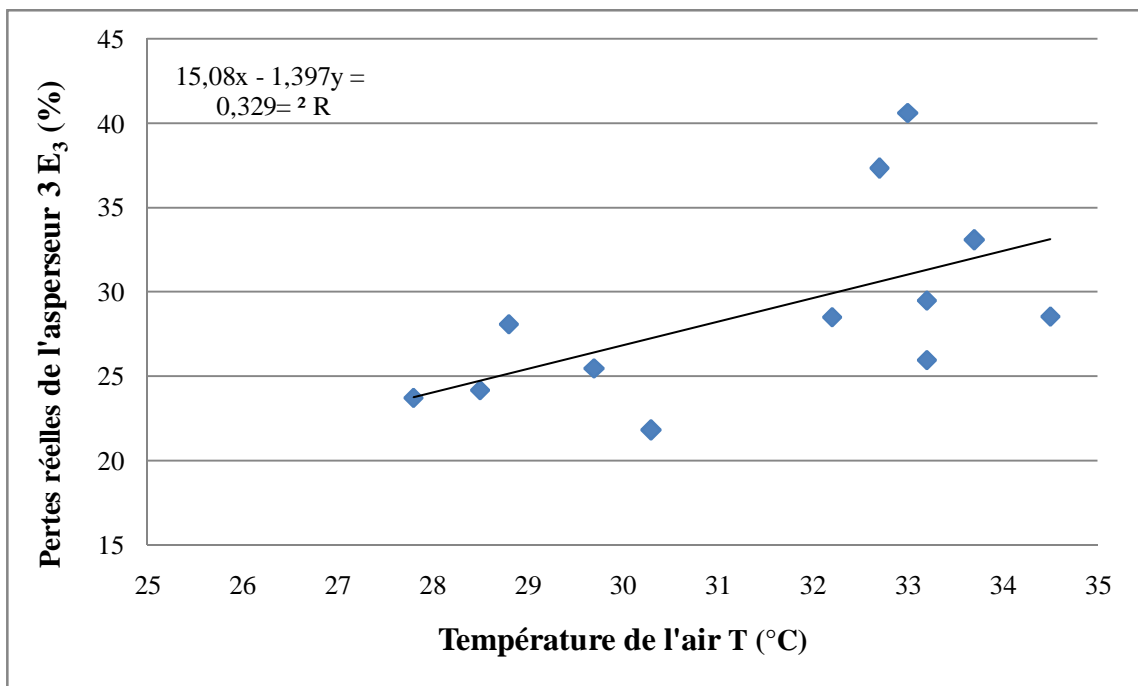


Figure (21): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroseur n°3(E_3) en fonction de la température T (°C).

Le tableau suivant représente les pertes par évaporation et entrainement moyennes de l'arroseur n° 3 en fonction des paramètres climatiques:

Tableau (24): Représentation des pertes par évaporation et entrainement réelles moyennes par intervalle des paramètres climatiques pour l'arroiseur 3.

T (°C)	Humidité relative de l'air (%)					
	0 - 40			40 - 60		
	Vitesse de vent (m/s)					
	0 - 2	2 - 4	4 - 6	0 - 2	2 - 4	4 - 6
27 - 29					20.76	28.1
29 - 31					19.94	
31 - 33	21.81	23.11	37.33			
33 - 35		27.26	34.39			

- La relation entre les pertes par évaporation et entrainement réelles de l'arroiseur 03 (E_3 (%)) avec la vitesse de vent et l'humidité de l'air (°C) peut être expliquée par le graphique suivant:

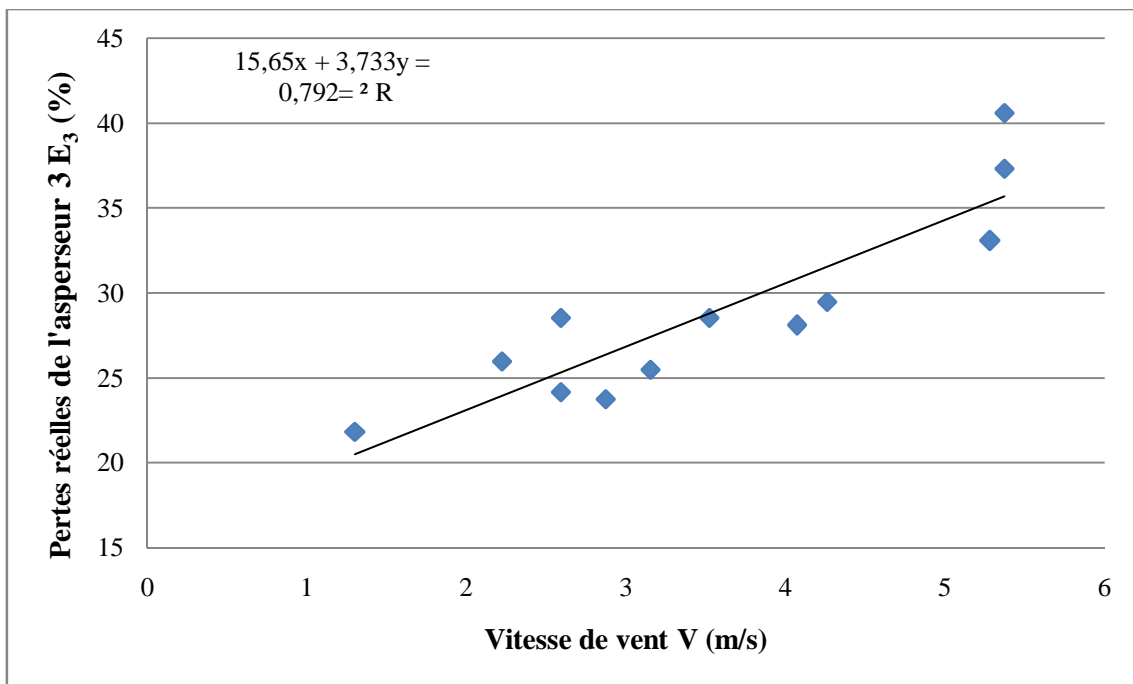


Figure (22): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroiseur n°3 (E_3) en fonction de la vitesse de vent V (m/s).

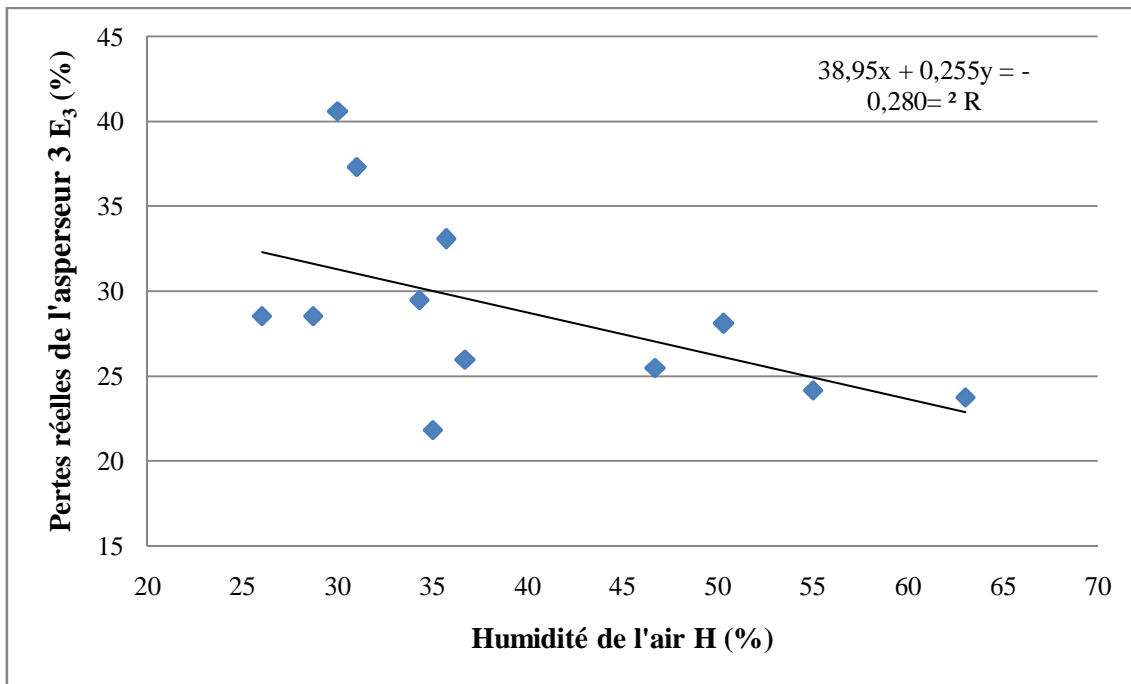


Figure (23): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'arroseur n°3 (E_3) en fonction de l'humidité de l'air H (%).

- Concernant le troisième arroseur:
 - Pour des valeurs de la température au delà de 31 °C et les vitesses de vent comprises entre 0 et 2 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air inférieures à 40 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 21.81 %.
 - Pour des valeurs de la température supérieures à de 31°C et les vitesses de vent comprises entre 2 et 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air inférieures à 40 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 23.11 % et 27.26 %.
 - Pour des valeurs de la température au delà de 33 °C et les vitesses de vent au delà 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air inférieures à 40 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 37.33 % et 34.39 %. Cela peut être expliqué par la température élevée et notamment la non-uniformité de distribution de l'eau sur la surface arrosée et la quantité d'eau qui tombe hors cette surface, c'est-à-dire, cette élévation des pertes représente les pertes par entrainement dues au vent.
 - Pour des valeurs de la température comprises entre de 27 et 31 °C et les vitesses de vent comprises entre 2 et 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air comprises entre 40 à 60 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 20.76 % et 19.94 %.

- Pour des valeurs de la température comprises entre de 27 et 29 °C et les vitesses de vent supérieures à 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air comprises de 40 à 60 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 28.1 %. Cela peut être expliqué par la non-uniformité de distribution de l'eau sur la surface arrosée et la quantité d'eau qui tombe hors cette surface, c'est-à-dire, cette élévation représente les pertes par entrainement dues au vent.
- La relation entre les pertes par évaporation et entrainement réelles de l'installation (E (%)) avec la température de l'air (°C) peut être expliquée par les graphiques suivants:

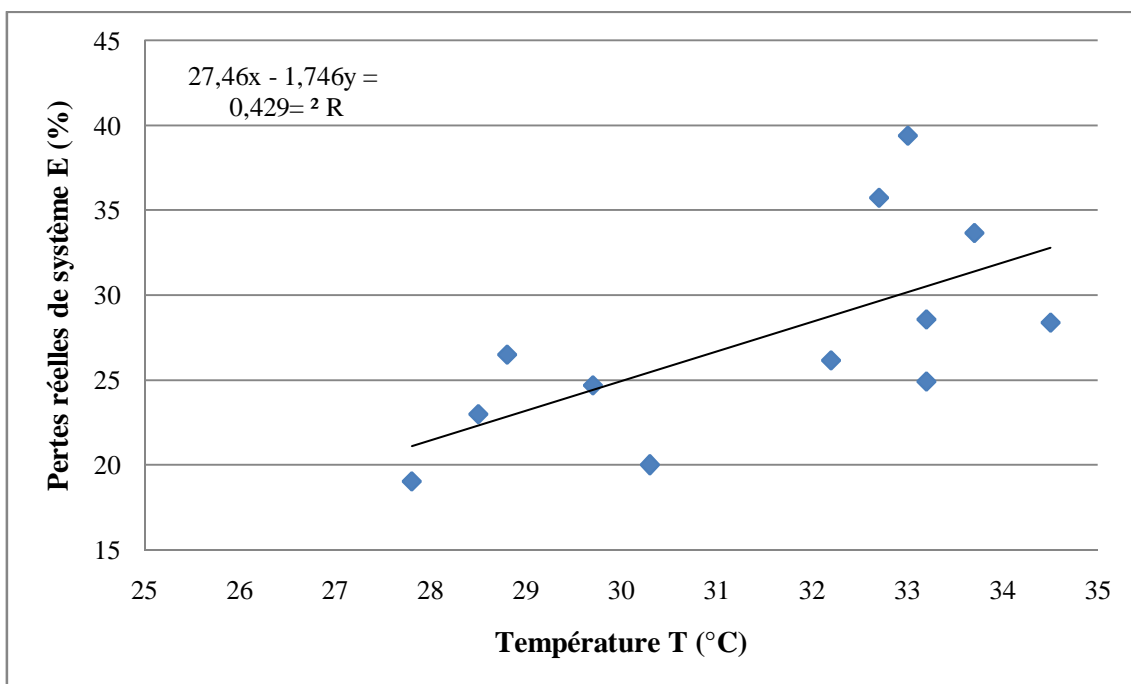


Figure (24): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'ensemble des 3 arroseurs E en fonction de la température T (°C).

Le tableau suivant représente les pertes par évaporation et entrainement moyennes de système d'installation en fonction des paramètres climatiques:

Tableau (25): Représentation des pertes par évaporation et entrainement réelles moyennes par intervalle des paramètres climatiques pour les trois arroseurs.

T (°C)	Humidité relative de l'air (%)					
	40			60		
	Vitesse de vent (m/s)					
	0	2	4	0	2	4
27					18.81	26.48
29					18.4	
31	19.99	20.93	35.74			
33		26.64	33.88			

- La relation entre les pertes par évaporation et entrainement réelles des 3 arroseurs (E (%)) avec la vitesse de vent et l'humidité de l'air (°C) peut être expliquée par le graphique suivant:

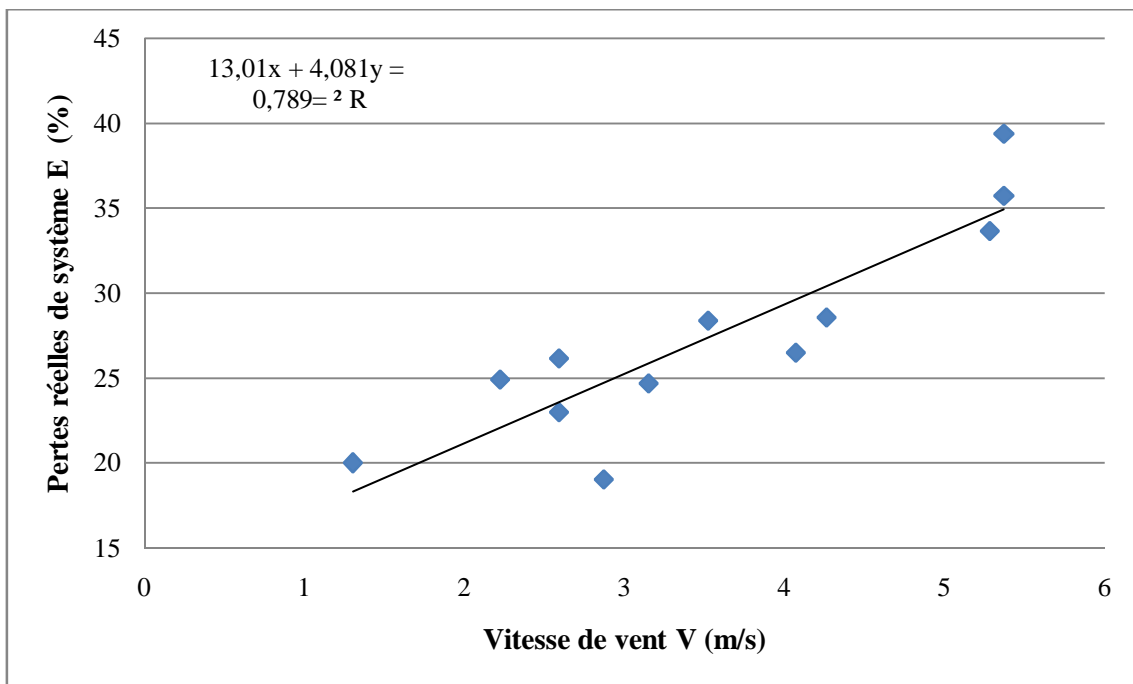


Figure (25): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'ensemble des arroseurs en fonction de la vitesse de vent V (m/s).

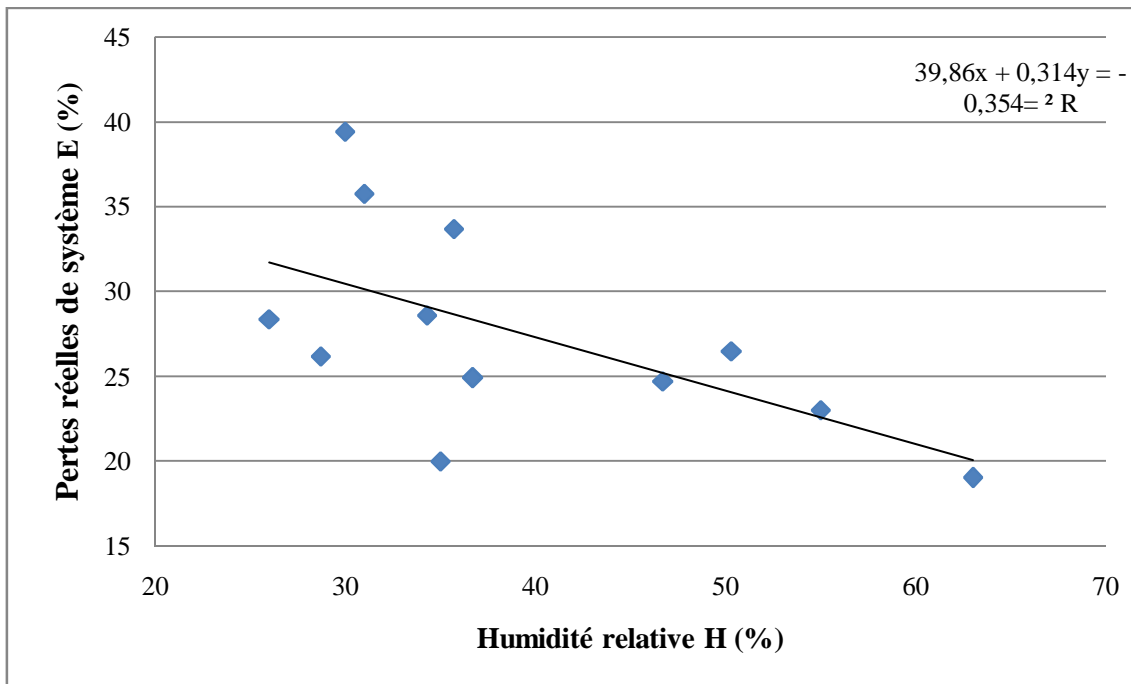


Figure (26): Variation des pertes réelles par évaporation et par entrainement de l'ensemble des arroseurs en fonction de l'humidité de l'air (%).

- Concernant le système d'installation:
 - Pour des valeurs de la température au delà de 31 °C et les vitesses de vent comprises entre 0 et 2 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air inférieures à 40 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 19.99 %.
 - Pour des valeurs de la température supérieures à de 31°C et les vitesses de vent comprises entre 2 et 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air inférieures à 40 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 20.93 % et 26.64 %.
 - Pour des valeurs de la température au delà de 33 °C et les vitesses de vent au delà 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air inférieures à 40 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 35.74 % et 33.88 %. Cela peut être expliqué par la température élevée et notamment la non-uniformité de distribution de l'eau sur la surface arrosée et la quantité d'eau qui tombe hors cette surface, c'est-à-dire, cette élévation des pertes représente les pertes par entrainement dues au vent.
 - Pour des valeurs de la température comprises entre de 27 et 31 °C et les vitesses de vent comprises entre 2 et 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air comprises entre 40 à 60 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 20.93 % et 26.64 %.

on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 18.81 % et 18.4 %.

- Pour des valeurs de la température comprises entre de 27 et 29 °C et les vitesses de vent supérieures à 4 m/s et les valeurs de l'humidité de l'air comprises de 40 à 60 %, on remarque des valeurs moyennes des pertes par évaporation et entrainement de l'ordre de 26.48 %. Cela peut être expliqué par la non-uniformité de distribution de l'eau sur la surface arrosée et la quantité d'eau qui tombe hors cette surface, c'est-à-dire, cette élévation représente les pertes par entrainement dues au vent.

Pour les expérimentations qui ont été fait à 7^h du matin, on remarque une diminution remarquable des pertes par évaporation et entrainement, il peut être expliqué par les valeurs de la température et l'humidité de l'air peu élevées et les valeurs basses des vitesses de vent dans le matin.

On déduit que les pertes par évaporation et entrainement sont provoquées par les trois paramètres climatiques: la température, la vitesse de vent et l'humidité relative de l'air, en effet, ils affectent sur l'efficience de l'irrigation par aspersion.

IV.1.2. Estimation des pertes par évaporation et entrainement par la méthode de Sapoukov A. P. 1991 [21]:

Les pertes par évaporation et entrainement estimées par la méthode de Sapoukov sont réalisées par la formule suivante:

$$E = a \varphi^b$$

- La détermination de coefficient d'intensification φ est faite par la formule suivante:

$$\varphi = T (1 - 0.01H) (V + 1)$$

Où:

T: la température de l'air en °C;

H: l'humidité relative de l'air en %;

V: la vitesse de vent en m/s;

Les valeurs de coefficient d'intensification calculées sont données dans le tableau suivant:

Tableau (26): Les valeurs des coefficients d'intensification ϕ .

T_{moy} (°C)	V_{moy} (m/s)	H_{moy} (%)	ϕ	jours
33	5.37	30	147.16	19-9
32.7	5.37	31	143.59	25-9
33.7	5.28	35.7	135.97	24-9
34.5	3.52	26	115.36	23-9
33.2	4.26	34.3	114.54	22-9
32.2	2.59	28.7	82.43	5-10
28.8	4.07	50.3	72.66	21-9
33.2	2.22	36.7	67.68	20-9
29.7	3.15	46.7	65.63	30-9
28.5	2.59	55	46.08	2-10
30.3	1.3	35	45.28	4-10
27.8	2.87	63	39.86	1-10

Les valeurs maximales des coefficients d'intensification ϕ (supérieures à 100) sont interprétées par les valeurs de la température supérieures à 32.7 °C, les vitesses de vent allant de 3.52 m/s jusqu'à 5.37 m/s et des valeurs de l'humidité de l'air inférieures à 35.7 %.

Les valeurs des coefficients d'intensification ϕ comprises entre 50 et 100 sont interprétées par des valeurs de la température 32.2 °C et 33.2 °C, les vitesses de vent de l'ordre de 2.59 m/s et 2.22 m/s et des valeurs de l'humidité de l'air de 28.7 % et 36.7. Pour la valeur de coefficient d'intensification ϕ de 72.66, la température est de 28.8 °C, la vitesse de vent est de 4.07 m/s et l'humidité de l'air est de 50.3 %.

Les valeurs des coefficients d'intensification ϕ minimales (inférieures à 50) sont interprétées par les valeurs de la température inférieures à 30.3 °C, les vitesses de vent allant de 1.3 jusqu'à 2.87 m/s et des valeurs de l'humidité de l'air comprises entre 35 % et 63 %.

Les relations entre les pertes par évaporation et entraînement réelles avec le coefficient d'intensification ϕ sont montrées dans les figures suivantes:

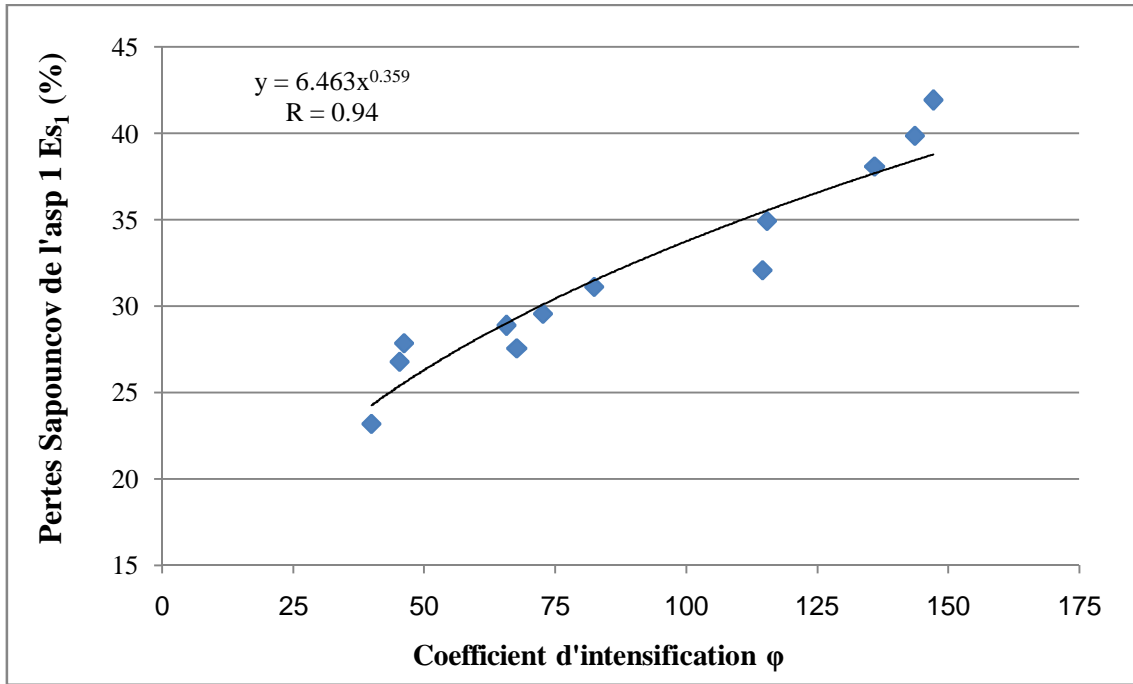


Figure (27): Variation des pertes par évaporation et par entrainement réelles ($E_1\%$) de l'arroiseur 1 en fonction de coefficient d'intensification (ϕ).

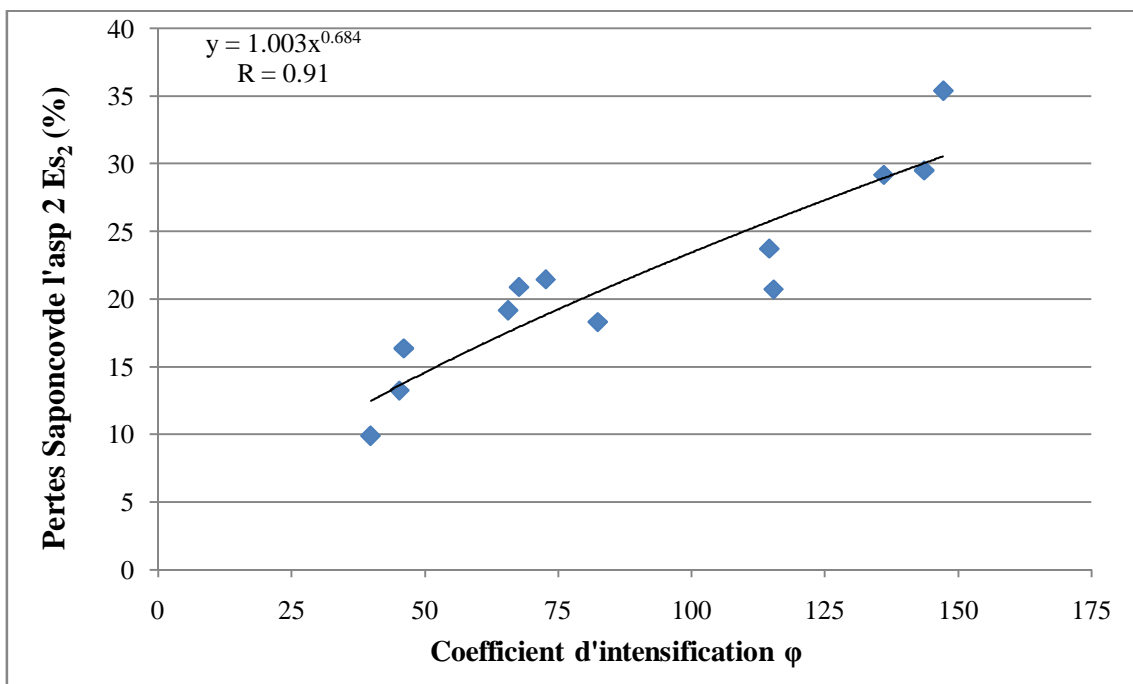


Figure (28): Variation des pertes par évaporation et par entrainement ($E_2\%$) de l'arroiseur 2 en fonction de coefficient d'intensification (ϕ).

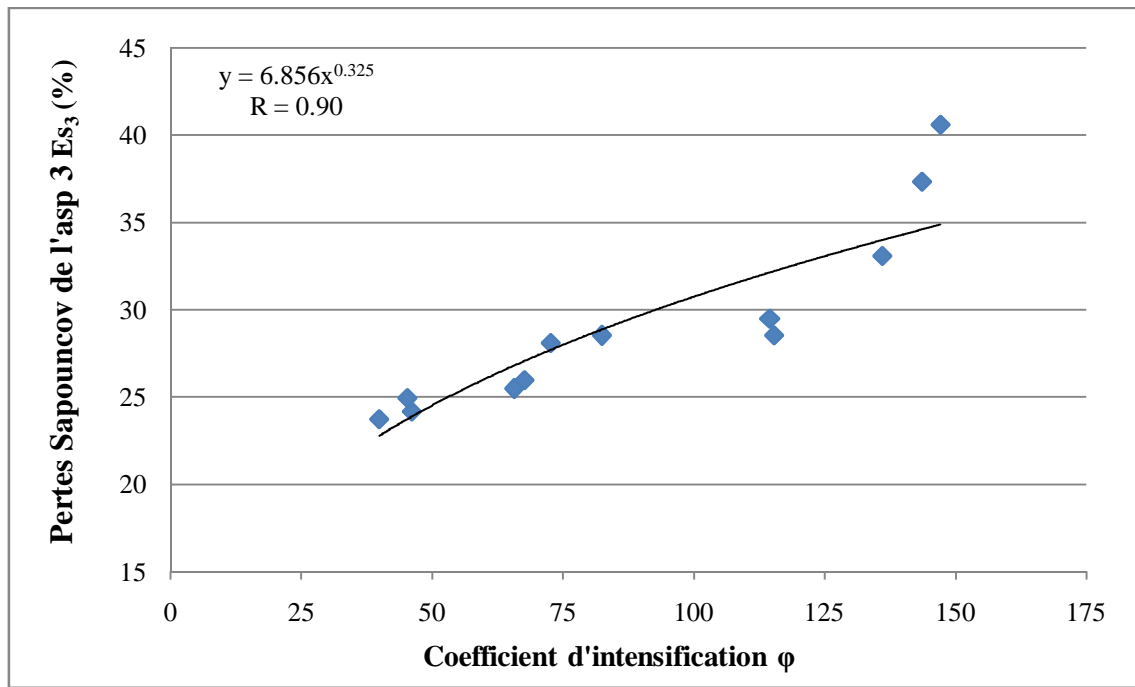


Figure (29): Variation des pertes par évaporation et par entrainement (E_{r3} %) de l'arroseur3 en fonction de coefficient d'intensification (ϕ).

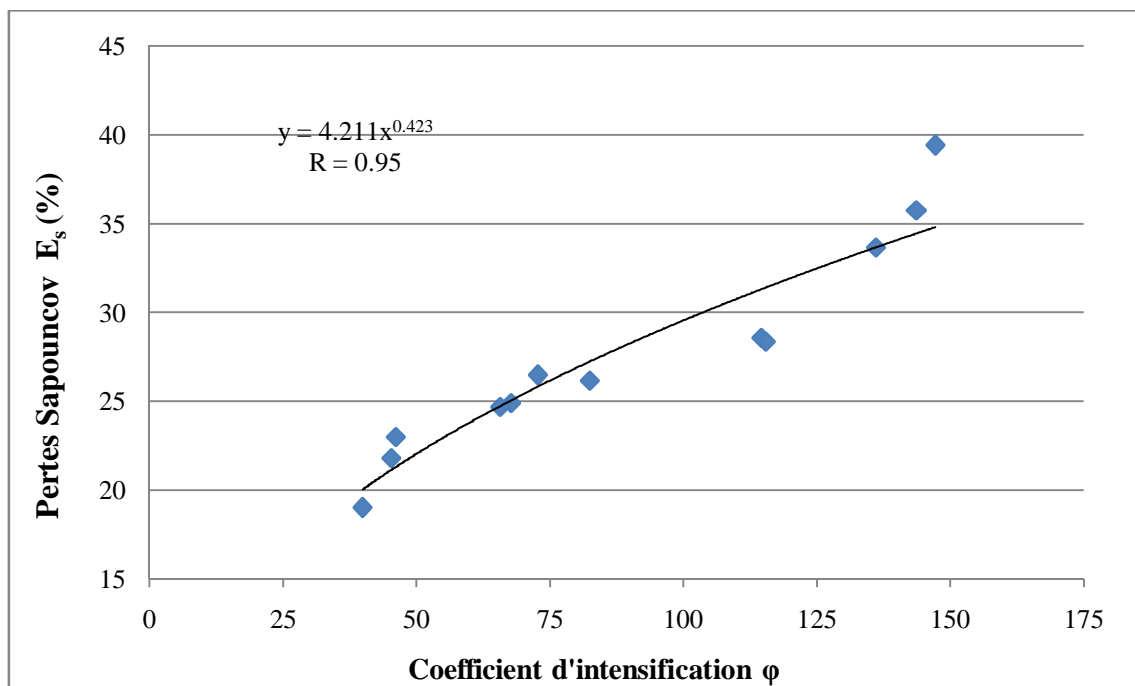


Figure (30): Variation des pertes par évaporation et par entrainement (E %) de l'ensemble des arroseurs en fonction de coefficient d'intensification (ϕ).

En éliminant les valeurs des pertes calculées pour les observations de matin. On remarque le coefficient de détermination R supérieur à 0.90, alors, une bonne corrélation des valeurs des pertes par évaporation et par entraînement avec le coefficient d'intensification φ qui relie les trois paramètres climatiques: la température de l'air, la vitesse de vent et l'humidité relative de l'air,

Pour une valeur maximale de φ ($\varphi = 147.16$); $E_1 = 41.92 \%$, $E_2 = 35.42 \%$, $E_3 = 40.60 \%$ et $E = 39.40 \%$.

Pour une valeur minimale de φ ($\varphi = 39.86$); $E_1 = 11.78 \%$, $E_2 = 7.73 \%$, $E_3 = 10.96 \%$ et $E = 10.21 \%$.

Tableau (27): Valeurs des coefficients a et b pour chaque arroseur et pour l'ensemble de l'installation.

	a	b
Arroseur 1	6.463	0.359
Arroseur 2	1.003	0.684
Arroseur 3	6.856	0.325
Installation	4.211	0.423

- Détermination des pertes par évaporation et entrainement en se basant sur la méthode de Sapounkov [21].

Tableau (28): Valeurs des pertes par évaporation en se basant de coefficient d'intensification

φ .

Jours	φ	E_{s1} (%)	E_{s2} (%)	E_{s3} (%)	E_s (%)
19-9	147.16	38.8	30.5	34.7	34.8
20-9	67.68	29.3	17.9	27.0	25.0
21-9	72.66	30.1	18.8	27.6	25.8
22-9	114.54	35.4	25.7	32.0	31.3
23-9	115.36	35.5	25.8	32.1	31.4
24-9	135.97	37.7	28.9	33.8	33.6
25-9	143.59	38.4	30.0	34.4	34.4
30-9	65.63	29.0	17.5	26.7	24.7
30-9s	65.63	29.0	17.5	26.7	24.7
1-10m	39.86	24.3	12.5	22.7	20.0
1-10s	39.86	24.3	12.5	22.7	20.0
2-10	46.08	25.6	13.8	23.8	21.3
4-10	45.28	25.4	13.6	23.7	21.1
5-10m	82.43	31.5	20.5	28.8	27.2
5-10s	82.43	31.5	20.5	28.8	27.2

- Les corrélations entre les pertes par évaporation et entraînement réelles et les pertes déterminées par cette méthode sont montrées par les figures suivantes:

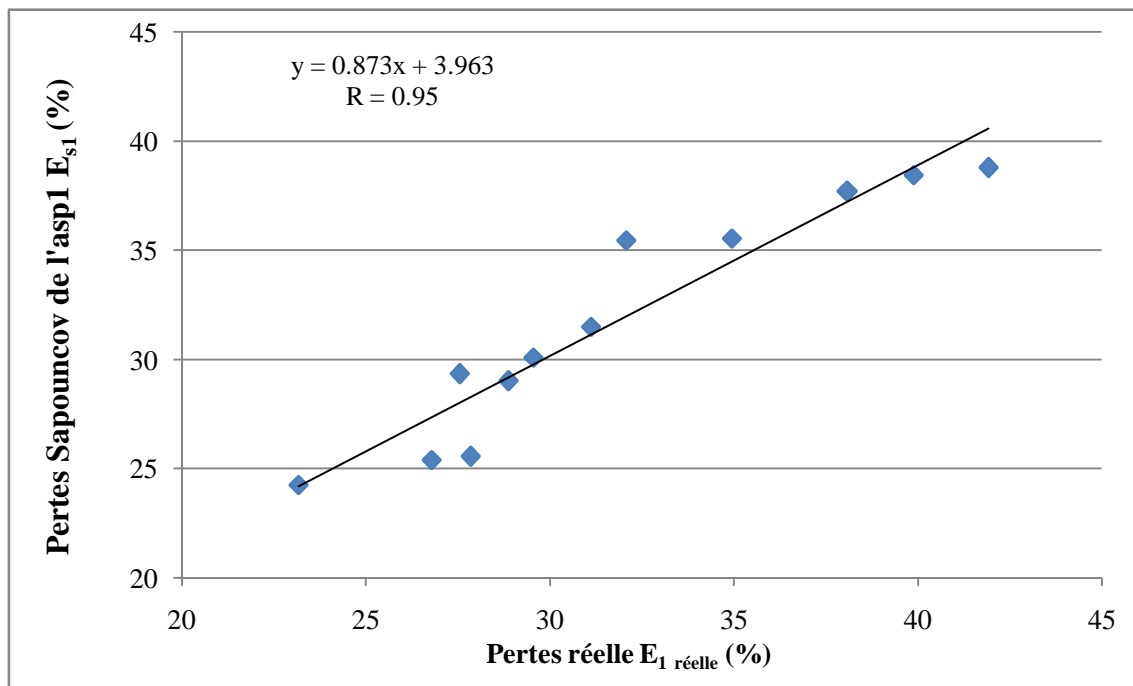


Figure (31): Corrélation entre les pertes par évaporation et entraînement réelles et les pertes déterminées par la méthode de Sapouncov pour l'arroiseur 1.

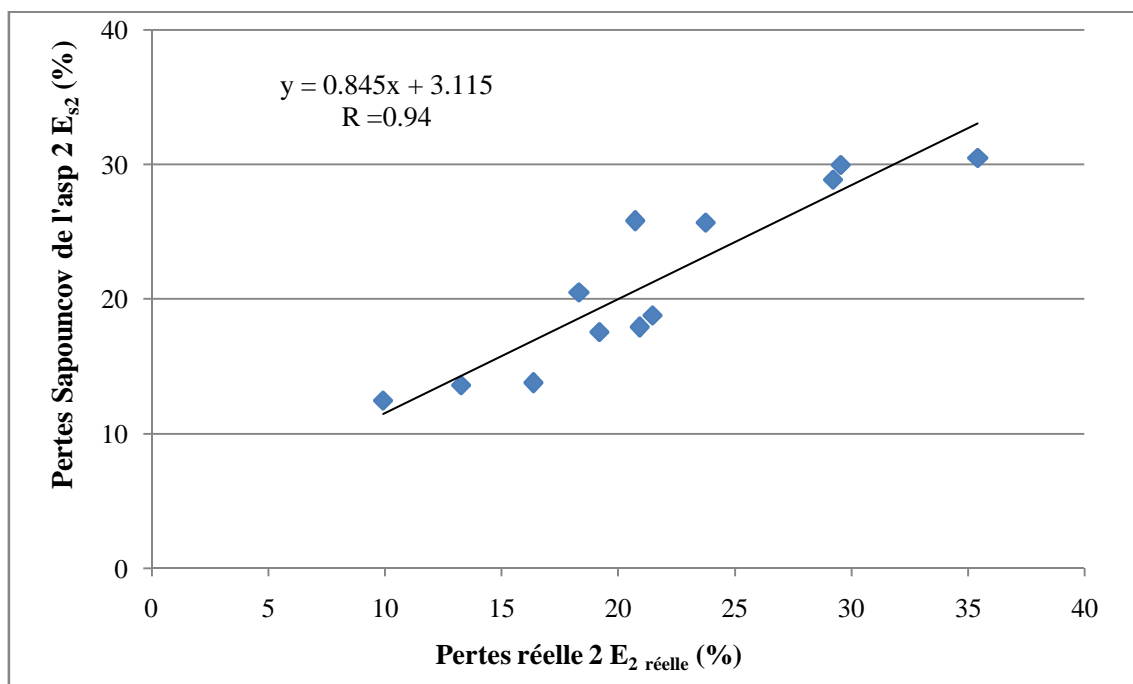


Figure (32): Corrélation entre les pertes par évaporation et entraînement réelles et les pertes déterminées par la méthode de Sapouncov pour l'arroiseur 2.

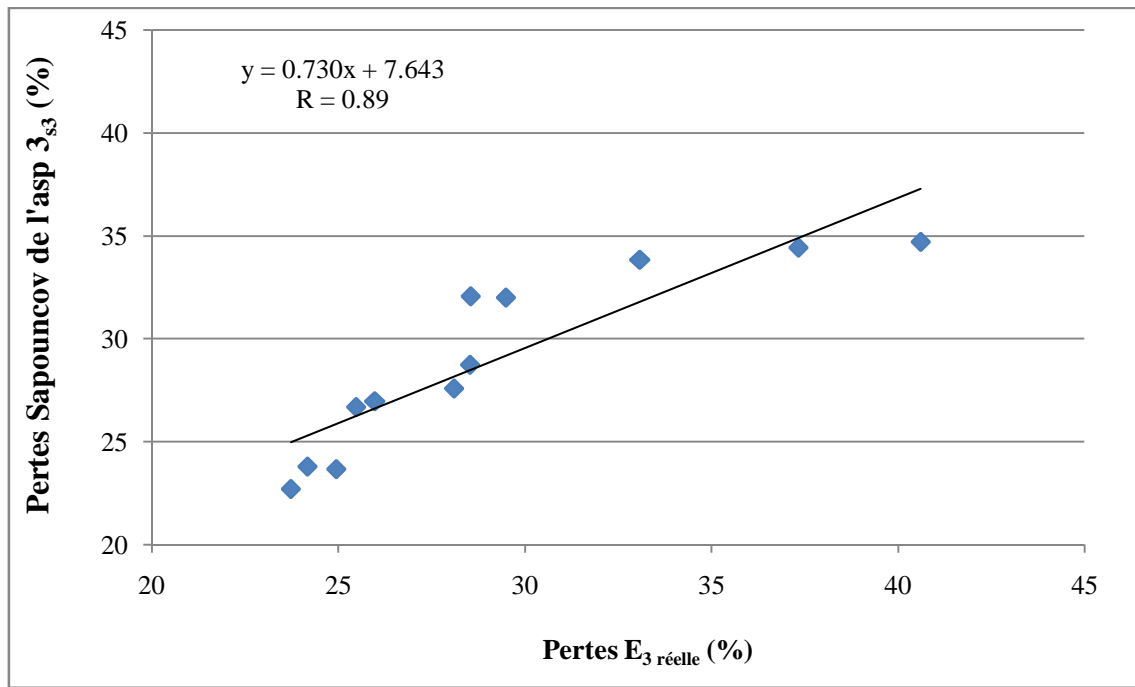


Figure (33): *Corrélation entre les pertes par évaporation et entrainement réelles et les pertes déterminées par la méthode de Sapounkov φ pour l'arroiseur 3.*

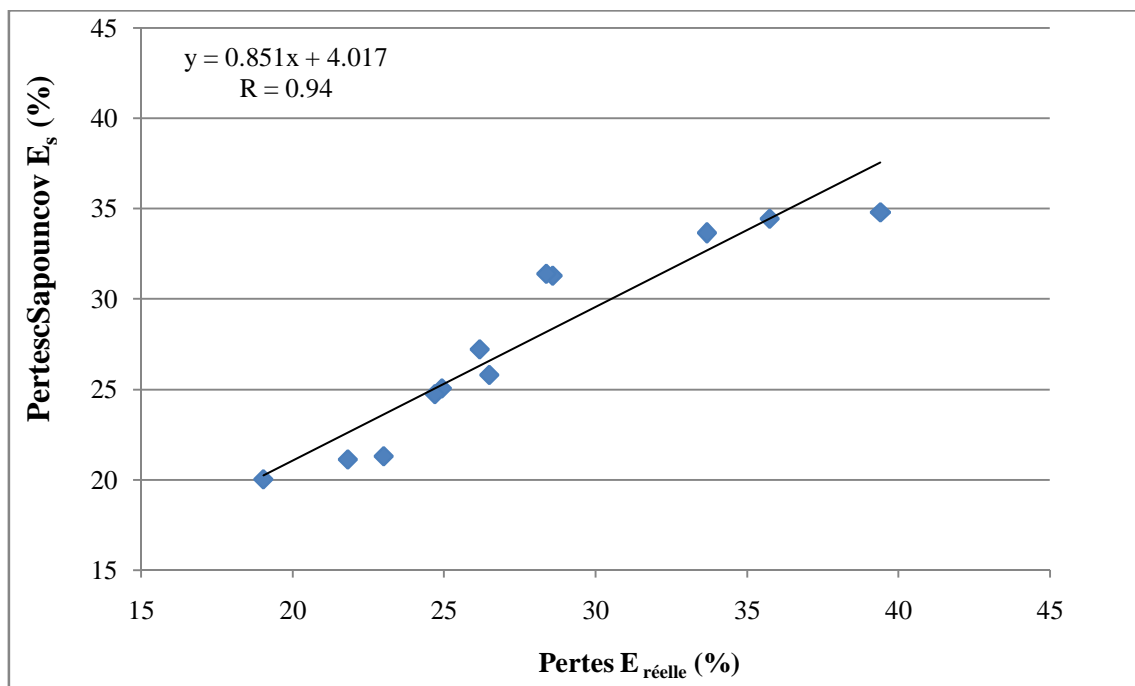


Figure (34): *Corrélation entre les pertes par évaporation et entrainement réelles et les pertes déterminées la méthode de Sapounkov de l'ensemble des arroseurs.*

Les pertes par évaporation et entrainement estimées par la méthode de Sapounov sont bien corrélées avec les pertes réelles cela peut être expliqué par les coefficients de détermination des graphiques supérieures à 0.89 (pour une valeur de $E_{réelle} = 25 \%$ la valeur de $E_S = 25 \%$), alors, les paramètres climatiques (la température de l'air, la vitesse de vent et l'humidité de l'air) peuvent expliquer parfaitement les pertes par évaporation et entrainement. Pour cela, on peut adopter cette méthode qui relie les paramètres climatiques dans les régions semi arides en spécifiant la zone d'étude Meskiana.

IV.1.3. Détermination des pertes par évaporation par la méthode de Danil tchenko N.V. 1983 [3]:

Les pertes par évaporation peuvent être déterminées par la formule suivante:

$$E_D = \frac{0.71 T (e_s - e_a) (1 + 0.21 .V)}{e_s}$$

Les valeurs des pertes par évaporation E_D sont montrées dans le tableau suivant:

Tableau (29): Les valeurs des pertes par évaporation (E_D) calculées par [2].

Jours	T (°C)	V (m/s)	H (%)	E_D (%)
19-9	33.0	5.37	30.0	34.90
20-9	33.2	2.22	36.7	21.88
21-9	28.8	4.07	50.3	18.85
22-9	33.2	4.26	34.3	29.34
23-9	34.5	3.52	26.0	31.53
24-9	33.7	5.28	35.7	32.44
25-9	32.7	5.37	31.0	34.09
30-9m	29.7	3.15	46.7	18.67
30-9s	29.7	3.15	46.7	18.67
01-10m	27.8	2.87	63.0	11.70
01-10s	27.8	2.87	63.0	11.70
2-10	28.5	2.59	55.0	14.06
4-10	30.3	1.30	35.0	17.80
5-10m	32.2	2.59	28.7	25.17
5-10s	32.2	2.59	28.7	25.17

- La variation de coefficient d'évaporation avec les paramètres est déterminée dans les figures suivantes:

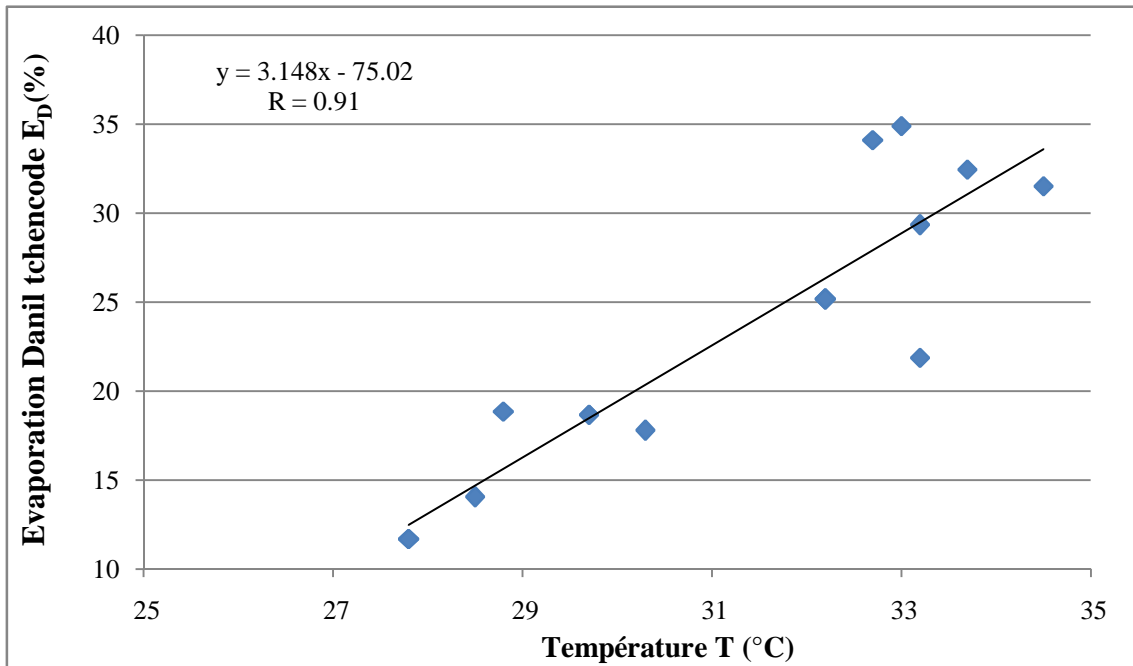


Figure (35): variation des valeurs de coefficient d'évaporation de système d'arroseur E_D (%) en fonction de la température de l'air T (°C) [2].

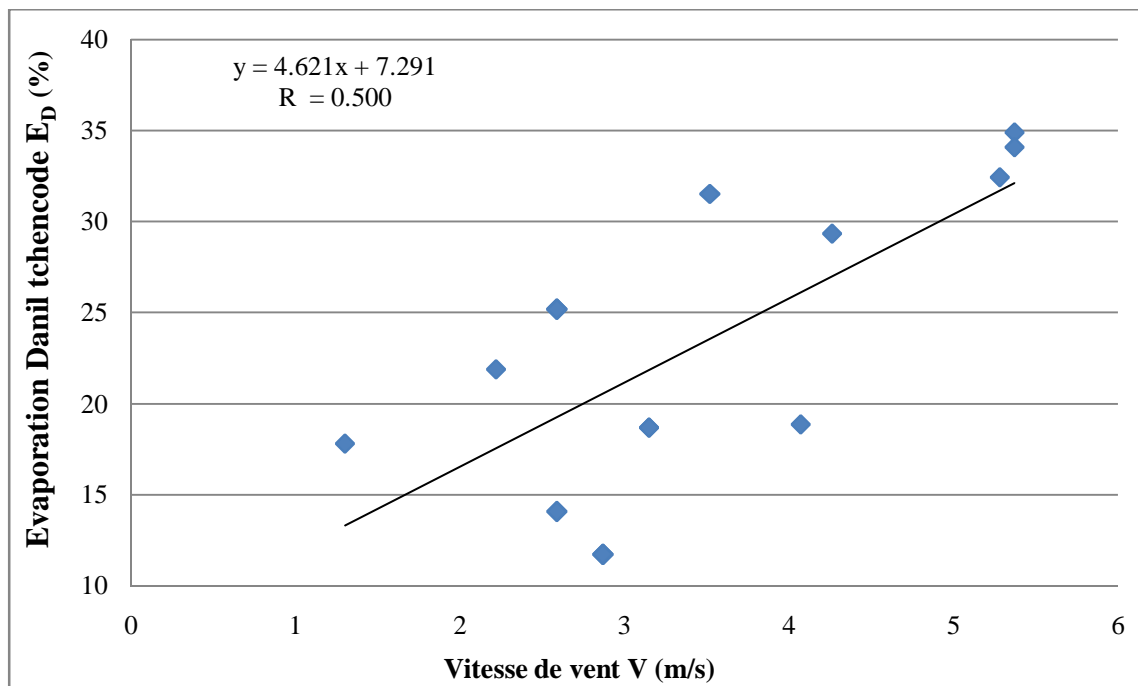


Figure (36): Variation des pertes par évaporation de système d'arroseur E_D(%) en fonction de la vitesse de vent V (m/s).

Utilisant la méthode de Danil tchenco [3], on remarque une bonne corrélation des pertes par évaporation avec la température de l'air ($R = 0.91$). Cependant, la température est le facteur important dans cette méthode. Par contre, on remarque une mauvaise corrélation des pertes par évaporation avec la vitesse de vent ($R = 0.50$), alors cette méthode explique convenablement les pertes par évaporation..

- La relation entre les valeurs des pertes par évaporation et par entrainement réelle en ($E\%$) et les celles définies par cette méthode ($E_D(\%)$) est déterminée dans la figure suivante:

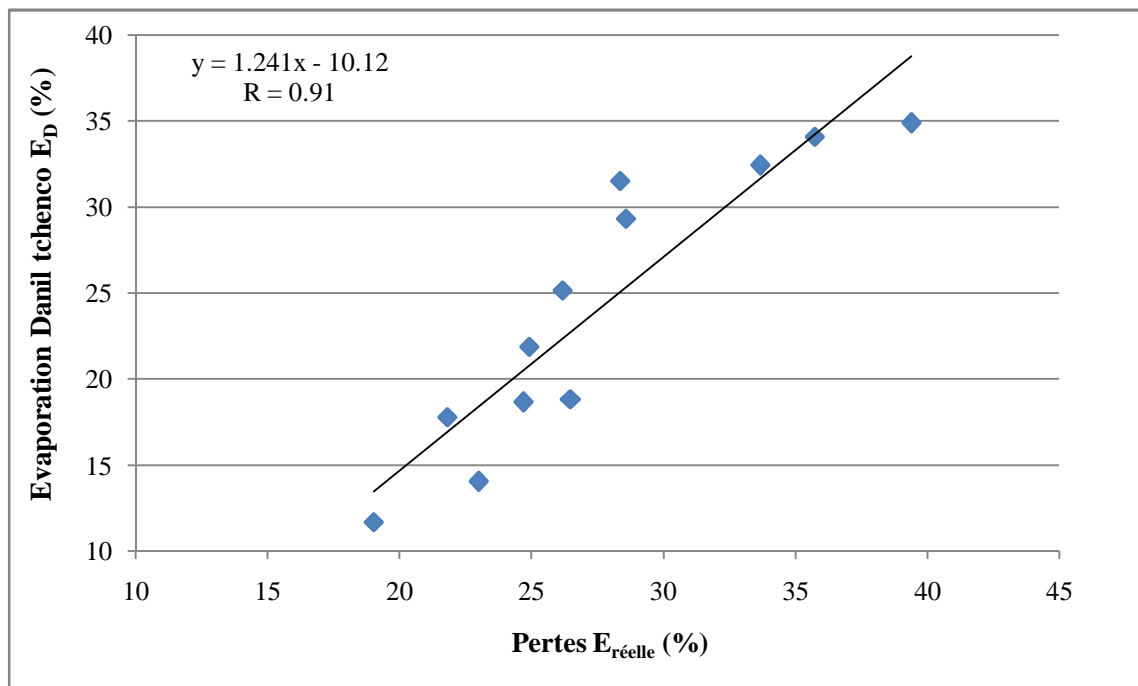


Figure (37): La variation des pertes par évaporation et par entrainement ($E\%$) de l'ensemble des 3 arroseurs en fonction des pertes par évaporation déterminées par la méthode de Danil tchenco.

Pour une valeur de $E_{réelle} = 30\%$, la valeur de $E_D = 27\%$, cela peut être expliqué par la formule de $E_D(\%)$ qui exprime seulement les pertes par évaporation et la différence remarquée due aux pertes par entrainement. On remarque une proportion dominante des pertes par évaporation sous l'effet de la température par rapport aux pertes par entrainement sous l'effet de vent.

Les coefficients d'évaporation en irrigation par aspersion sont représentées dans le tableau suivant:

Tableau (30): Les coefficients d'évaporation par aspersion, E_j et E_n .

	E_j	E_n
19-9	1.49	1.21
20-9	1.31	1.13
21-9	1.26	1.11
22-9	1.41	1.18
23-9	1.44	1.19
24-9	1.45	1.19
25-9	1.48	1.20
30-9m	1.26	1.11
30-9s	1.26	1.11
01-10m	1.16	1.07
01-10s	1.16	1.07
2-10	1.20	1.08
4-10	1.25	1.11
5-10m	1.35	1.15
5-10s	1.35	1.15

La correction des débits est faite en multipliant le coefficient d'aspersion E_j et le volume de chaque arroseur et en divisant par le temps (3 heures), les résultats sont montrés dans le tableau ci-dessous:

Tableau (31): Correction des débits de chaque arroseur à partir des coefficients d'évaporation E_j .

Jours	E_j	q_1 (l/h)	q_2 (l/h)	q_3 (l/h)	Q (l/h)
19-9	1.49	2304.3	2253.6	1948.9	6506.7
20-9	1.31	2522.5	2421.8	2131.1	7075.4
21-9	1.26	2373.3	2326.8	2002.7	6702.9
22-9	1.41	2554.4	2521.7	2192.4	7268.6
23-9	1.44	2499.3	2678.5	2270.0	7447.8
24-9	1.45	2400.0	2413.5	2144.7	6958.2
25-9	1.48	2367.1	2440.3	2040.4	6847.8
30-9m	1.26	2920.0	2697.4	2379.6	7997.0
30-9s	1.26	2391.5	2389.8	2071.6	6852.9
01-10m	1.16	2736.7	2517.6	2283.9	7538.2
01-10s	1.16	2383.4	2458.0	1956.4	6797.8
2-10	1.20	2301.4	2346.3	2000.1	6647.9
4-10	1.25	2437.8	2540.5	2066.6	7044.9
5-10m	1.35	2886.8	2884.3	2453.3	8224.3
5-10s	1.35	2482.7	2589.5	2130.4	7202.6

Les pertes par évaporation estimées par cette méthode sont extraordinaires peuvent arriver à 50 % de débit donné par l'arroseur, pour le 19/09/2013 le $E_j = 1.49$ et la valeur minimale est observée pour 01/10/2013 avec $E_j = 1.16$. On peut adopter la méthode de Danil tchenko [3] pour définir seulement les pertes par évaporation pour les régions semi-arides spécifiant la zone de Meskiana. Pour l'application de la technique d'irrigation par aspersion pour la zone d'étude il faut corriger les débits donnés aux cultures en ajoutant la moitié de débit.

IV.1.4. Détermination des pertes par évaporation et entrainement par la méthode de Yazard [28]:

Dans une approche statistique, les mesures des pertes par évaporation sont liées à l'environnement et à des paramètres opérationnels. Pour plusieurs arroseurs, Yazard (1984) [28], a obtenu:

$$E_y = 0.389 \exp^{(0.18V)} (e_s - e_a)^{0.7}$$

Les résultats sont montrés dans le tableau ci-dessous:

Tableau (32): Détermination des pertes par évaporation et entrainement par la méthode de Yazard [26].

jours	T (°C)	V (m/s)	H (%)	E _y (%)
19-9	33.0	5.37	30.0	12.37
20-9	33.2	2.22	36.7	6.59
21-9	28.8	4.07	50.3	6.51
22-9	33.2	4.26	34.3	9.77
23-9	34.5	3.52	26.0	9.77
24-9	33.7	5.28	35.7	11.79
25-9	32.7	5.37	31.0	12.10
30-9m	29.7	3.15	46.7	6.01
30-9s	29.7	3.15	46.7	6.01
01-10m	27.8	2.87	63.0	4.10
01-10s	27.8	2.87	63.0	4.10
2-10	28.5	2.59	55.0	4.60
4-10	30.3	1.30	35.0	5.07
5-10m	32.2	2.59	28.7	7.36
5-10s	32.2	2.59	28.7	7.36

Les résultats de tableau sont montrés dans les figures suivantes:

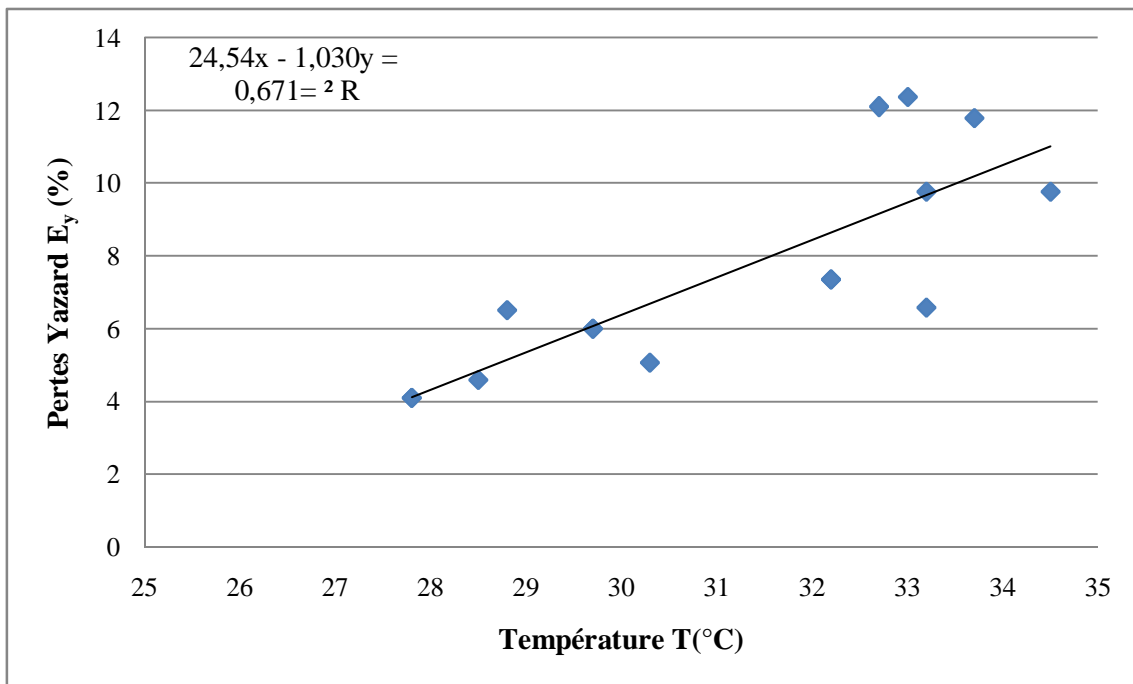


Figure (38): Variation des pertes par évaporation et entrainement de système d'arroseurs (E_y (%)) en fonction de la température T (°C).

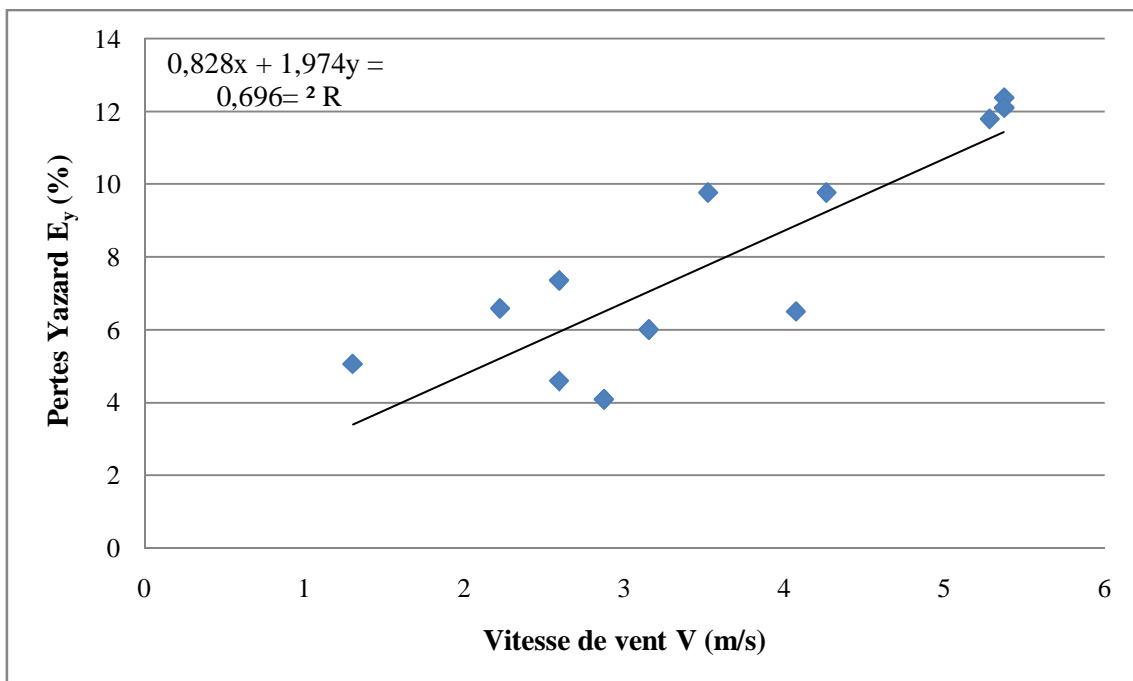


Figure (39): variation des valeurs des pertes par évaporation et entrainement de système d'arroseurs E_y (%) en fonction de la vitesse de vent V (m/s).

Considérant que le vent comme le seul facteur à estimer les pertes par évaporation, [28] a obtenu, en testant avec plusieurs arroseurs, l'équation suivante:

$$E_{\text{évaporation}} = 1.68 \exp^{0.29V}$$

Les résultats sont montrés dans le tableau ci-dessous:

Tableau (33): Détermination des pertes par évaporation par la méthode de Yazard .

jours	V_{moy} (m/s)	E_{évaporation} (%)
19-9	5.37	7.97
20-9	2.22	3.20
21-9	4.07	5.47
22-9	4.26	5.78
23-9	3.52	4.66
24-9	5.28	7.77
25-9	5.37	7.97
30-9	3.15	4.19
30-9s	3.15	4.19
1-10m	2.87	3.86
1-10s	2.87	3.86
2-10	2.59	3.56
4-10	1.30	2.45
5-10m	2.59	3.56
5-10s	2.59	3.56

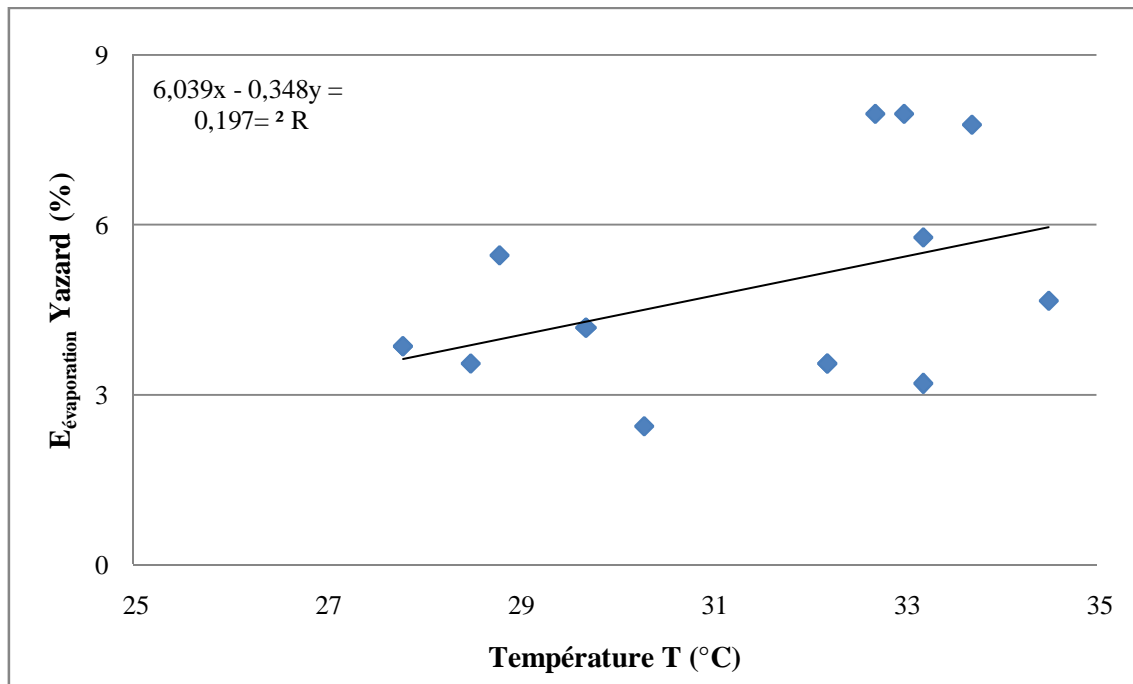


Figure (40): Les variations des pertes par évaporation en irrigation par aspersion par la méthode de Yazard en fonction de la vitesse de vent V (m/s).

Cette figure représente une mauvaise corrélation des pertes par évaporation par la méthode de Yazard avec la température moyenne de l'air.

De la même manière, Yazar [28] estime les pertes par entrainement ($D_r(\%)$) au moyen de la régression des données expérimentales en fonction de la vitesse du vent:

$$D_r = 0.25 V^{2.15}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau (34): Les pertes par entraînement par la méthode de Yazard.

jours	V_{moy} (m/s)	D_r (%)
19-9	5.37	9.28
20-9	2.22	1.39
21-9	4.07	5.11
22-9	4.26	5.64
23-9	3.52	3.74
24-9	5.28	8.95
25-9	5.37	9.28
30-9	3.15	2.95
30-9s	3.15	2.95
1-10m	2.87	2.41
1-10s	2.87	2.41
2-10	2.59	1.93
4-10	1.30	0.44
5-10m	2.59	1.93
5-10s	2.59	1.93

Les corrélations entre les valeurs des pertes par évaporation et entraînement réelles E (%) et E_y (%), $E_{\text{évaporation}}$ (%) et D_r (%) sont déterminées dans la figure suivante:

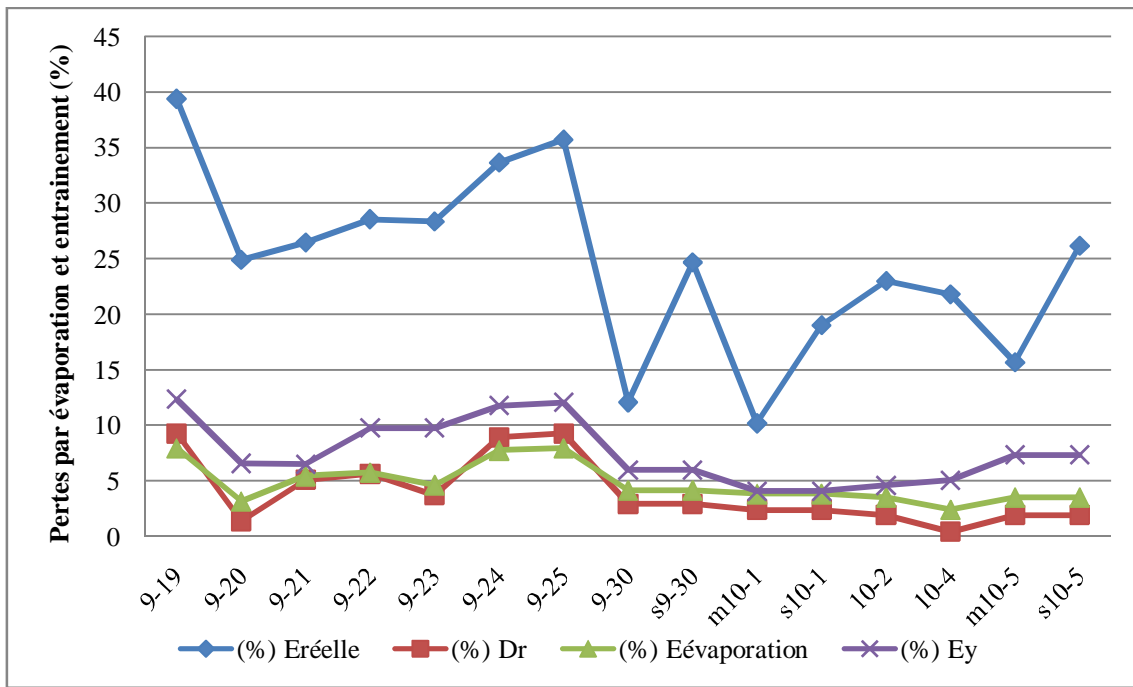


Figure (41): Corrélation entre les valeurs des pertes par évaporation et entrainement réelles $E_r(\%)$ et $E_{\text{évaporation}}(\%)$, $D_r(\%)$ et $E_y(\%)$.

La détermination des pertes par évaporation et entrainement par la formule de Yazard dépend des paramètres climatiques. Les résultats des pertes ($E_y(\%)$) par cette méthode sont très faibles par rapport les autres méthodes. L'estimation des pertes par évaporation est basée sur la vitesse de vent. Pour une perte réelle de 25 %, la formule de Yazard nous donne des pertes de l'ordre de 8 %, ce qui fait une sous estimation des débits à donner, pou cela, on ne peut pas utiliser cette méthode pour la zone d'étude de Meskiana.

IV.1.5. Comparaison des méthodes utilisées pour l'estimation des pertes par évaporation et entraînement

La comparaison est faite à partir des résultats obtenus dans chaque méthode, on peut la montrer dans la figure suivante:

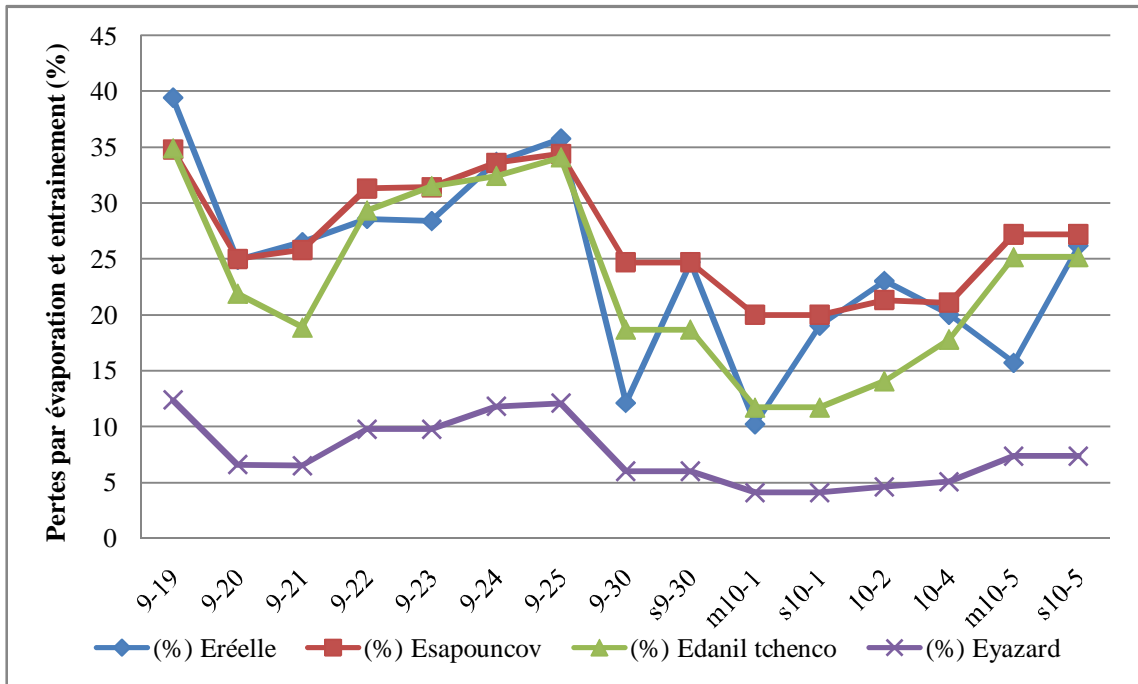


Figure (42): Evaluation des pertes par évaporation et entraînement par différent méthodes.

Cette figure montre la méthode la plus adéquate pour estimer les pertes par évaporation et entraînement qui est celle de Sapouncov. On peut utiliser la méthode de Danil tchenco pour estimer seulement les pertes par évaporation, les résultats de la méthode de Yazard sont très loin aux valeurs réelles.

IV.2. Estimation de coefficient d'uniformité de Christiansen [1]:

Ce coefficient est largement utilisé comme indicateur des performances des systèmes d'irrigation. Il varie, suivant les performances des systèmes d'irrigation, de 0 à 100 %, plus le coefficient est proche de 100 %, plus l'uniformité est bonne.

On peut déterminer le coefficient d'uniformité de Christiansen [1] par la relation suivante:

$$CU = 100. \left(1 - \frac{\sum |h_m - h_i|}{n \cdot h_m} \right)$$

h_i : hauteur d'eau au niveau du pluviomètre i (mm) ;

h_m : hauteur pluviométrique moyenne de h_i (mm) ;

n : nombre d'observations.

Les valeurs de coefficient de Christiansen sont montrées dans le tableau:

Tableau (35): Détermination de coefficient d'uniformité de Christiansen CU (%).

Jours	V_{moy} (m/s)	CU ₁ (%)	CU ₂ (%)	CU ₃ (%)	CU (%)
19-9	5.37	49.28	58.40	65.21	56.19
20-9	2.22	72.91	78.15	73.22	74.39
21-9	4.07	63.53	68.49	59.90	64.00
22-9	4.26	60.37	54.71	61.58	58.33
23-9	3.52	57.08	58.26	60.20	58.29
24-9	5.28	54.87	55.64	53.69	55.47
25-9	5.37	56.85	53.49	58.35	56.07
30-9	3.15	69.86	73.87	64.62	69.28
30-9s	3.15	63.38	67.19	61.37	62.04
1-10m	2.87	70.95	74.09	75.04	76.86
1-10s	2.87	76.86	82.82	62.90	74.71
2-10	2.59	71.81	66.96	66.49	68.30
4-10	1.30	75.24	80.90	75.56	76.00
5-10m	2.59	72.59	71.50	70.46	71.36
5-10s	2.59	67.49	59.31	63.10	63.50

Les figures ci dessous montrent la relation entre les coefficients d'uniformité de Christiansen en fonction des différents facteurs climatiques.

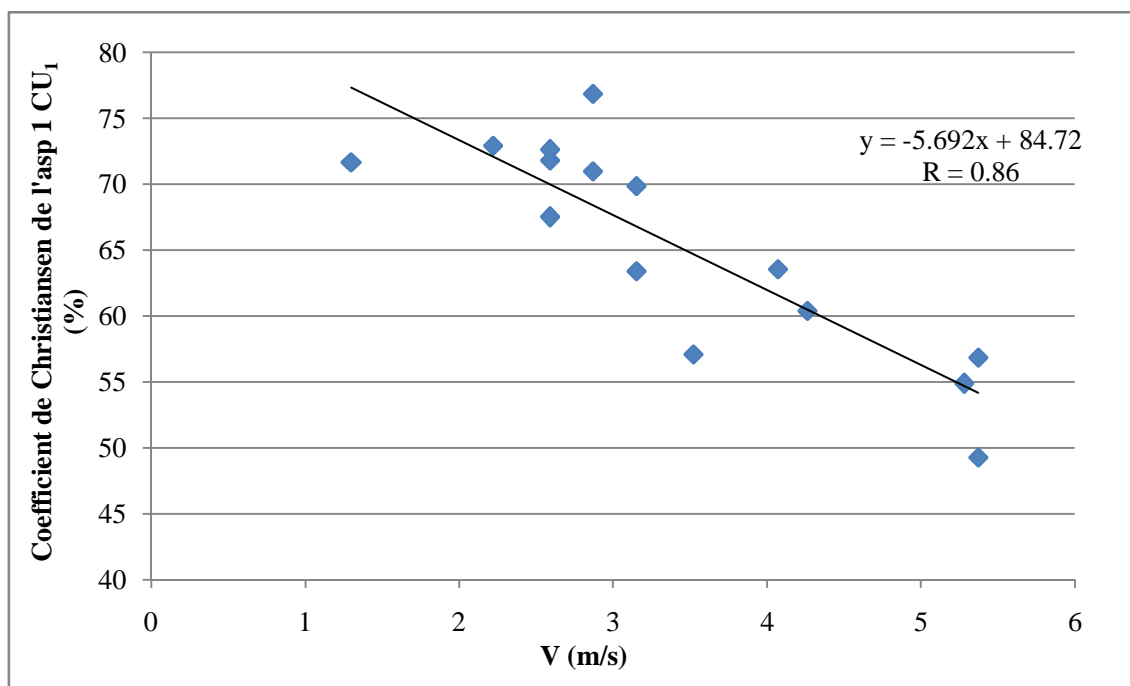


Figure (43): Evolution des coefficients d'uniformité de Christiansen de l'arroiseur 1 en fonction de la vitesse de vent.

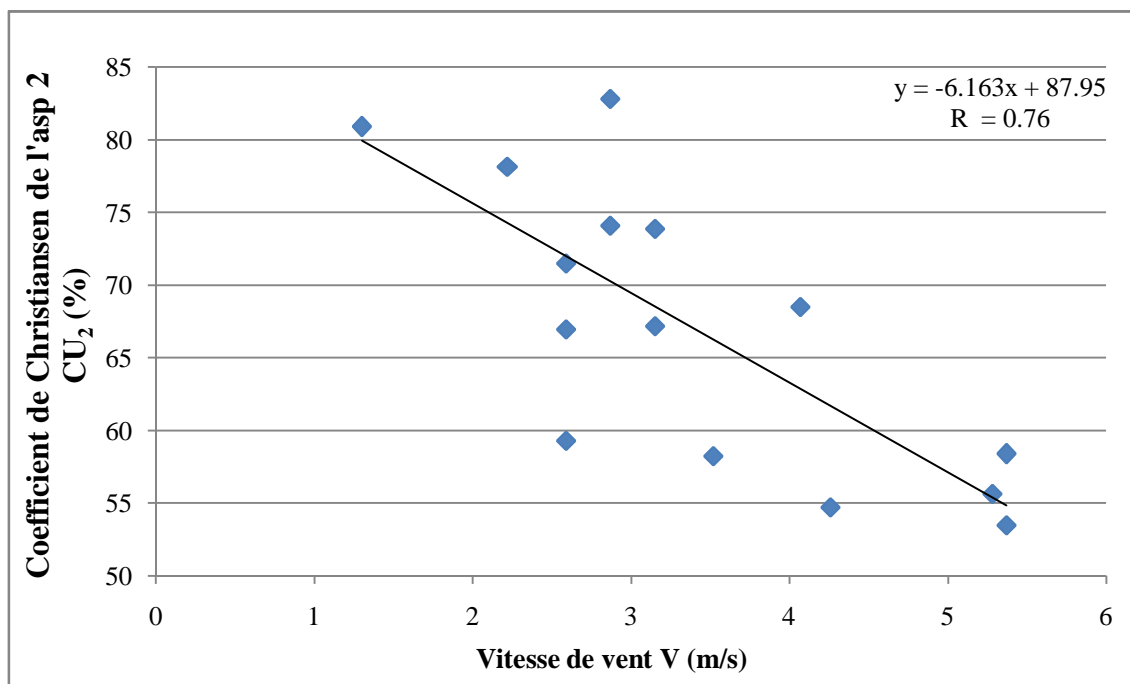


Figure (44): Evolution des coefficients d'uniformité de Christiansen de l'arroiseur 2 en fonction de la vitesse de vent.

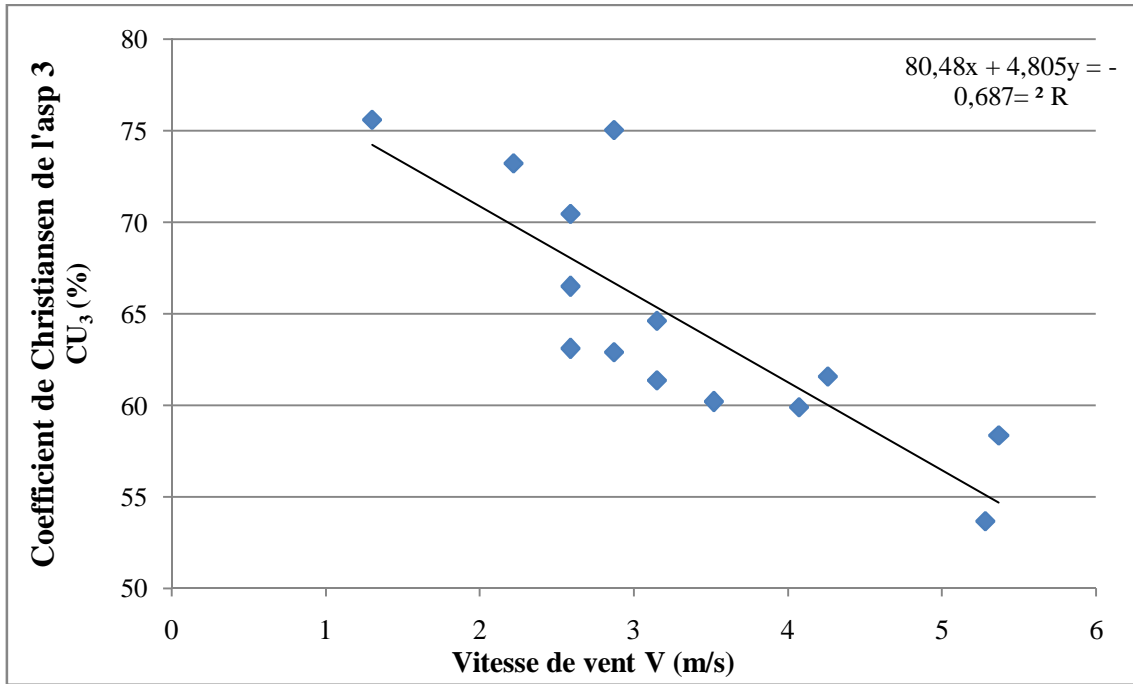


Figure (45): Evolution des coefficients d'uniformité de Christiansen de l'arroseur 3 en fonction de la vitesse de vent.

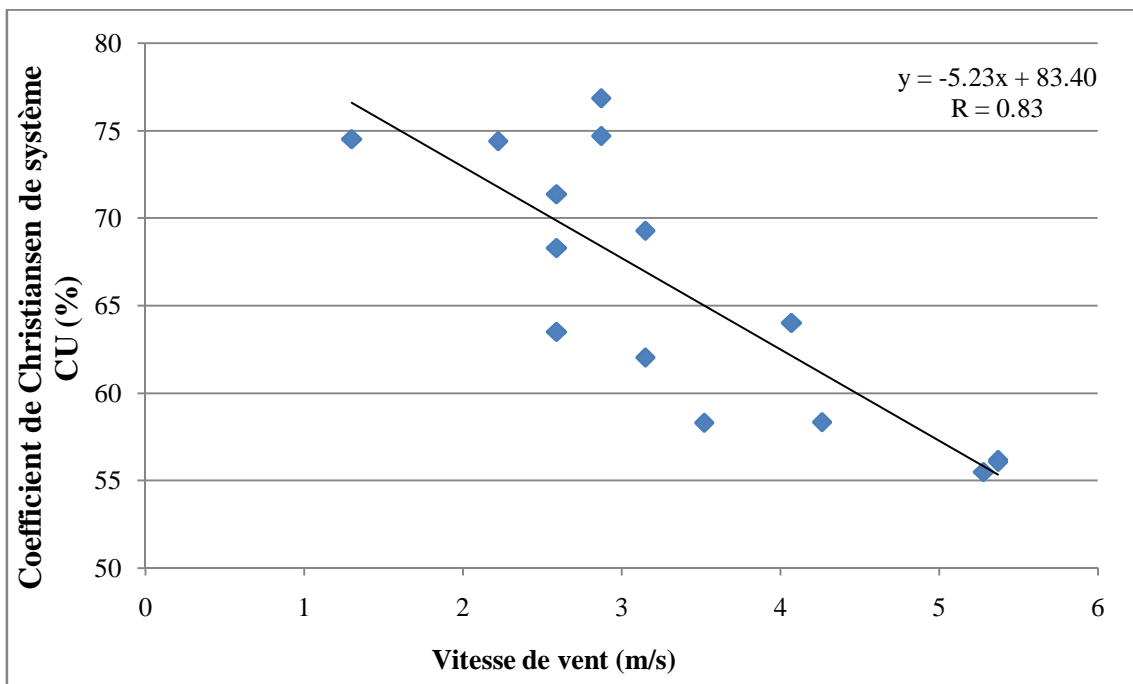


Figure (46): Evolution des coefficients d'uniformité de Christiansen des 3 arroseurs en fonction de la vitesse de vent.

Concernant l'arroiseur 1 et 3, pour une vitesse de vent comprise entre 2 à 4 m/s, le coefficient d'uniformité de Christiansen varie de 60 à 70 %.

Concernant l'arroiseur 2, pour une vitesse de vent comprise entre 2 à 4 m/s, le coefficient d'uniformité de Christiansen varie de 60 à 80 %, cette légère augmentation de l'uniformité de distribution due à la zone de recouvrement.

Les valeurs minimales des coefficients de Christiansen sont toujours liées aux vitesses de vent supérieures à 5 m/s.

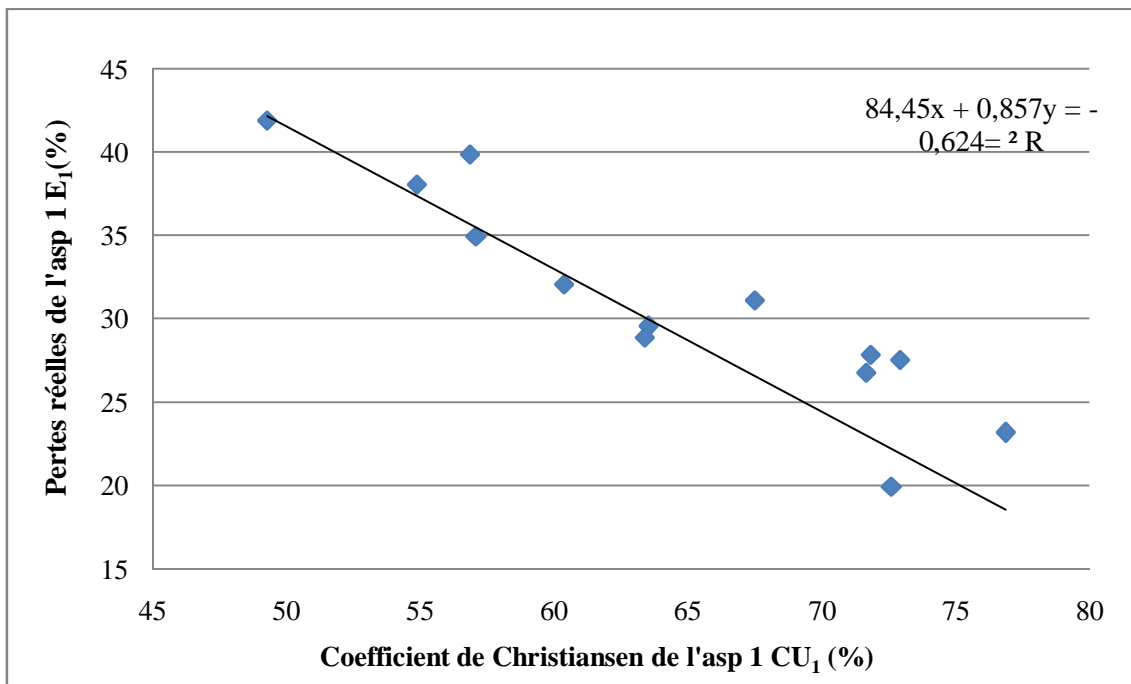


Figure (47): variation des pertes réelles par évaporation et entrainement de l'arroiseur n° 1 E_1 (%) en fonction des coefficients d'uniformité CU_1 (%).

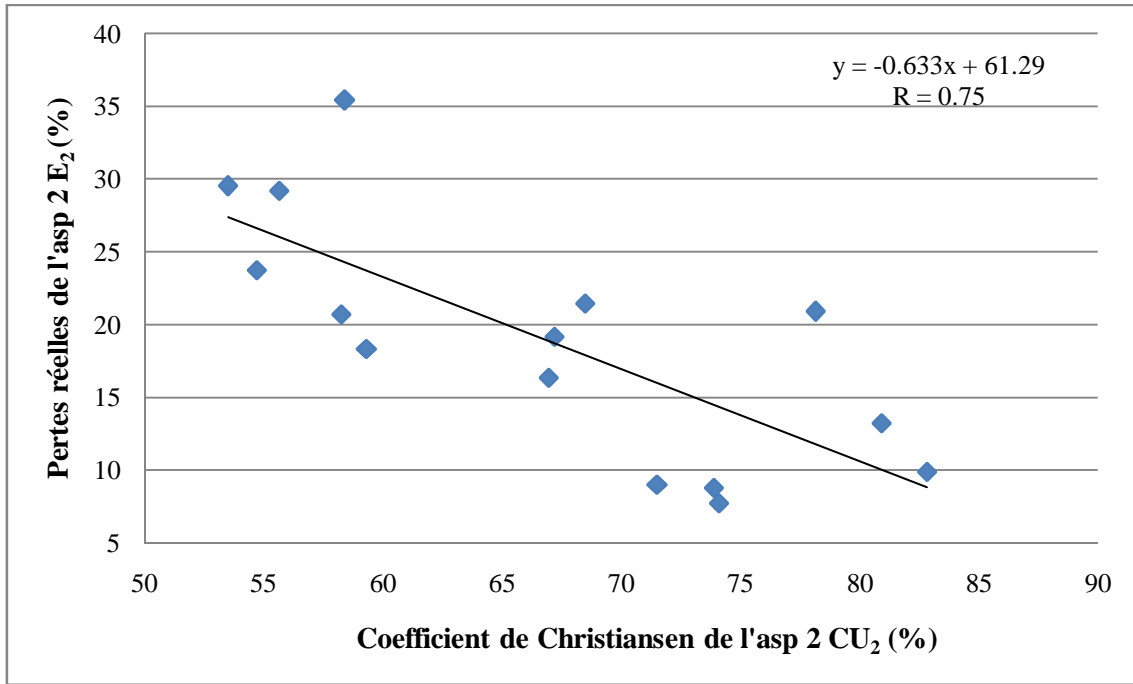


Figure (48): variation des pertes réelles par évaporation et entrainement de l'arroseur n° 2 E₂ (%) en fonction des coefficients d'uniformité CU₂ (%).

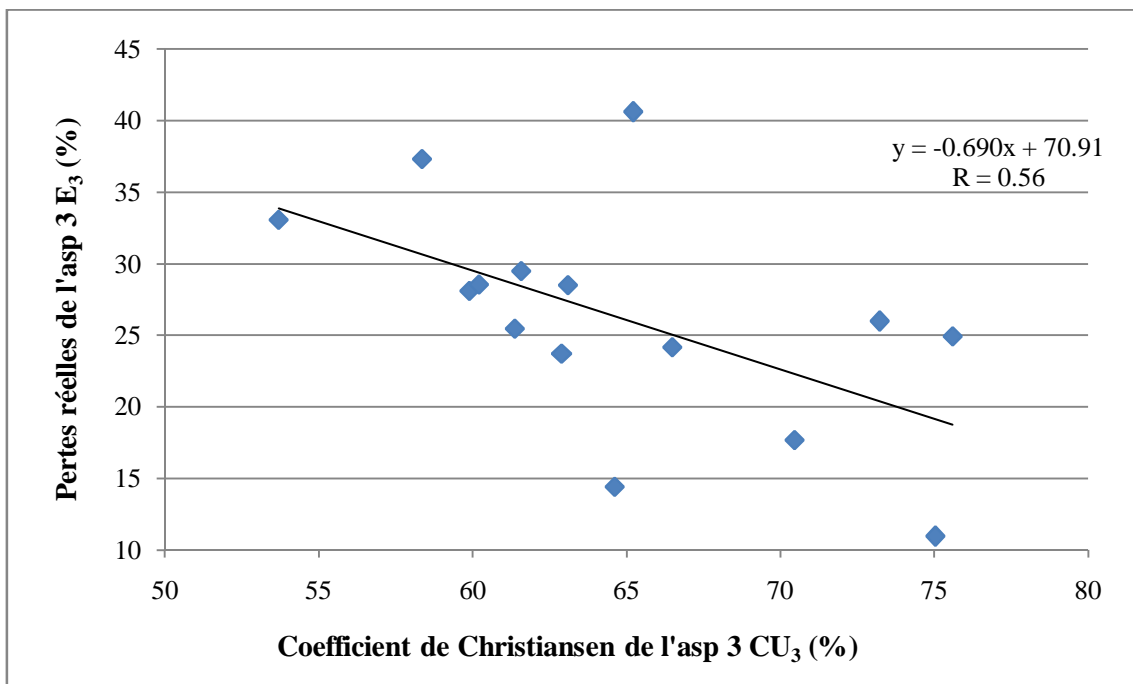


Figure (49): variation des pertes réelles par évaporation et entrainement de l'arroseur n° 3 E₃ (%) en fonction des coefficients d'uniformité CU₃ (%).

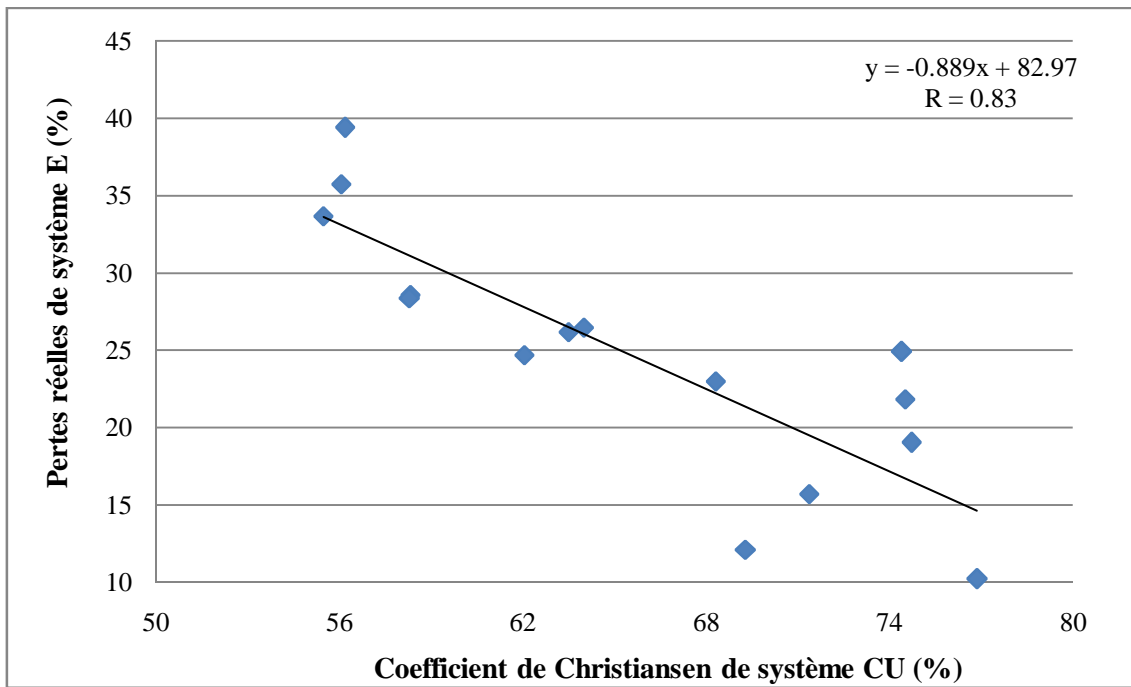


Figure (50): variation des pertes réelles par évaporation et entrainement de système des arroseurs E (%) en fonction des coefficients d'uniformité CU(%).

Pour les arroseurs 1 et 3, la majorité des valeurs des pertes par évaporation et entrainement (11 observations) est correspondantes aux valeurs des coefficients de Christiansen supérieures à 60 %. Par contre, les valeurs des coefficients de Christiansen sont moins regroupées par le fait de la zone de recouvrement.

On remarque aussi que les valeurs de l'uniformité calculées par la formule de Christiansen varient entre 60 à 75 % pour des vitesses de vent de 2 à 4 m/s. alors l'effet de vent n'est pas considérable dans cette étude. On déduit que les pertes par évaporation et entrainement sont inversement proportionnelles à l'uniformité de distribution. c-à-dire, le facteur vent est limitant pour l'utilisation de cette technique d'arrosage car les pertes par évaporation et entrainement vont diminuer par l'augmentation de coefficient d'uniformité. On conclut que l'évaporation est le facteur qui affecte beaucoup plus sur l'efficience de l'irrigation par aspersion.

CONCLUSION GENERALE

La plaine de Meskiana possède un climat méditerranéen de type semi-aride, elle est constituée des sols peu évolués d'apport alluvial (limon et sable) qui sont classés comme très bons pour toutes les cultures en sec et en irrigué. La plupart de la zone d'étude est agricole, mais seulement 62 % de cette superficie est effectivement utile. Les cultures les plus répandues dans toute la région d'Oum el bouaghi sont les céréales et l'utilisation de la technique d'irrigation par aspersion commence à développer. Les conditions climatiques et agrologiques favorisent le développement rapide de la technique d'arrosage par aspersion dans la zone d'étude ce qui pose les problèmes des pertes par évaporation et entraînement.

La connaissance des facteurs agronomiques, économiques, pédologiques et géomorphologiques nous permet de déterminer les possibilités techniques d'utilisation des techniques d'arrosages. L'évolution de l'utilisation de la technique d'arrosage par aspersion surtout dans les régions semi-arides et sols sableux exige l'étude des pertes, par évaporation sous l'effet de la température et l'entraînement des gouttelettes du au vent, provoquées par des facteurs climatiques (la température de l'air et la vitesse de vent élevées et l'humidité de l'air...) et pédologiques (type de sol...). Plusieurs études sont faites pour l'estimation des pertes par évaporation et entraînement pour un ensemble des arroseurs.

Cette étude a pour objectif d'évaluer les pertes d'eau dans la technique d'irrigation par aspersion, dans les conditions des hauts plateaux de l'est dans la région de Meskiana, et de permettre son utilisation avec les performances les meilleures. Les expérimentations ont montré que les pertes d'eau globale dans la technique d'irrigation par aspersion dans les conditions arides et semi arides peuvent atteindre 10 à 40 % de la dose d'arrosage. Le facteur vent est limitant pour l'utilisation de cette technique d'arrosage car les pertes par évaporation et entraînement vont diminuer par l'augmentation de coefficient d'uniformité. La détermination des pertes par évaporation et par entraînement permet de corriger les débits à donner aux cultures afin de garantir le rendement prévu.

Afin d'estimer les pertes par évaporation et entraînement dans le processus d'irrigation par aspersion, on peut adopter pour les régions arides telles que la zone d'étude la méthode de Sapounov qui présente des pertes par évaporation et entraînement jusqu'à 40 % en utilisant des coefficients a et b, et la méthode de Danil tchenko pour déterminer seulement les pertes

par évaporation, par contre la méthode de Yazard présente sous-estimation des pertes par évaporation et entrainement.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] Christiansen J.E., 1942.

Irrigation by sprinkling. California Agric. University of California. Agric. Exp. Sta. Bulletin, 670, Berkeley, Etats-Unis.

- [02] Chtepa B.J et al., 1990.

Traité de mécanisation des arrosages. Edition agro promisad, Moscow.

- [03] Danil tchenkov N.V. 1983.

Irrigation par aspersion en régions oasis à l'aide des eaux souterraines. Moscow, Russie.

- [04] DSA Oum el bouaghi.

- [05] Frost, K.R., Schwalen, H.C.,

Sprinkler evaporation losses. Agricultural. Transactions of the ASAE 3. 1955. Page: 526-528.

- [06] Gouaidia Layachi., 2008

Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana nord-est algérien. Page: 4, 20, 21, 23, 27, 28, 29, 30, 31.

- [07] Hart W.E., Peri G., Skogerboe G.V., 1979.

Irrigation Performance - an evaluation. Trans ASAE 5(4). Page: 275, 288.

- [08] Hart W.E., Reynolds W.N., 1965.

Analytical design of sprinkle systems. ASAE Transaction. Page: 83, 85, 89.

- [09] Heermann D. F., Wallander W.W., Bos M.G., 1990.

Irrigation efficiency and uniformity, Etats-Unis. Page: 125, 149.

- [10] Hermsmeier, L.F., 1973.

Evaporation during sprinkler application in a dessert climate. ASAE. Page: 2, 15, 21.

- [11] I.G.E.R., B.C.M.E.A., 1987.

Materiel et installations d'irrigation par aspersion.

- [12] INSID. Institut national des sols, irrigation et drainage.

- [13] Kincaid, D.C., Solomon K.H., and Oliphant J.C. 1996.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Drop size distributions for irrigation sprinklers. Trans ASAE 39(3). Page: 457, 463.

- [14] Kohl K.D., Kohl R.A., and de Boer D.W. 1987.

Measurement of low pressure sprinkler evaporation loss. Trans. ASAE 30. Page: 1071, 1074.

- [15] Letey J., Vaux H.J., Feinerman E., 1984.

Optimum crop water application as affected by uniformity of water infiltration. Agron. J. Page: 435-441.

- [16] McLean R. K, SRI Ranjan R. et Klassen G., 2000.

Spray evaporation losses from sprinkler irrigation systems. Canadian agricultural engineering. Page: 15-20-23-29.

- [17] Merriam J.L., Keller J., 1978.

Farm Irrigation System Evaluation. Utah State University, Logan. Utah, USA.

- [18] Onm. Office national météorologique.
- [19] Playán, E., Garrido, S., Faci, J. M., Galán, A., 2004.

Characterizing pivot sprinklers using and experimental irrigation machine. Agric. Wat. Manage. Page: 139.

- [20] Robinson, Frank E., 1973.

Increase in Conductivity of Irrigation Water during Sprinkling. Agronomy Journal, Page: 130.

- [21] Sapounkov A. P. 1991

Utilisation de la technique d'aspersion, Agropromizdat. Moscow.

- [22] Spurgeon, WE, Thompson T. L. and Gilley J. R., 1983.

Irrigation management using hourly spray evaporation loss estimates. ASAE.

- [23] Steiner J. L., Kanemasu E. T., Clark R. N., 1983.

Spray losses and portioning of water under center pivot sprinkler system. Transaction of the ASCE. Page: 1128-1134

- [24] Tarjuelo JM, Carrión P, Valiente M (1994)

Simulación de la distribución del riego por aspersion en condiciones de viento. In: investigación agraria. Prod Pro Veg 9. Page: 263.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [25] Thompson A. L., Gilley J. R., Norman J.M., 1993.

A Sprinkler Water Droplet Evaporation and Plant Canopy Mode II. ASAE. Page: 735-741.

- [26] Wolters W., 1992.

Influences on the Efficiency of Irrigation Water Use. JLRI Publication n° 51, JLRI, Wageningen, Pays-Bas.

- [27] Wright, C. 1982.

New evaporation crop coefficients. J. Irrig. Drain. Div. ASCE. Page: 57-74

- [28] Yazar, A. 1984.

Evaporation and drift losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions. Agricultural Water Management. Page: 439-449.

ANNEXES

ANNEXE I

Tableau (36): Les précipitations moyennes annuelles enregistrées à la station de Meskiana

[6].

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
70/71	117.8	49.8	8.9	10.8	48.7	10.4	31.3	45.7	20.3	95.1	7.5	8.7
71/72	18.8	58.5	5.2	31.0	51.1	51.0	51.0	102.0	51.6	25.0	1.6	21.3
72/73	36.9	91.3	9.0	20.1	30.8	32.7	122.1	15.2	37.4	44.9	0.3	30.4
73/74	10.3	10.9	6.0	85.4	12.5	48.3	36.2	50.2	30.4	14.8	8.5	22.1
74/75	18.5	28.9	13.5	19.2	13.4	54.8	31.4	27.6	55.6	0	25.4	20.7
75/76	23.1	11.0	37.3	6.2	14.7	30.2	41.1	22.4	31.8	43.5	27.3	33.3
76/77	23.1	20.1	119.5	8.3	10.8	5.6	40.1	30.4	33.2	8.7	15.0	14.8
77/78	11.2	3.3	36.7	3.9	3.9	38.7	77.5	23.0	19.9	23.9	0	32.7
78/79	25.4	23.0	16.4	3.6	17.5	34.6	61.3	59.4	46.7	17.7	0	9.9
79/80	98.1	10.5	31.3	31.7	16.7	29.8	49.8	21.1	33.0	27.3	1.0	10.8
80/81	49.8	14.0	16.8	26.5	14.2	22.2	15.3	41.7	33.6	49.4	6.7	4.5
81/82	42.7	44.2	43.8	15.6	18.4	35.6	22.4	36.2	59.21	14.8	4.8	26.7
82/83	7.0	33.2	46.3	12.8	42.2	48.6	22.7	17.6	13.6	17.9	7.8	28.3
83/84	11.4	32.7	4.3	32.9	13.7	41.4	41.3	19.0	21.0	6.8	0	15.4
84/85	23.7	21.2	16.8	43.0	25.7	15.9	64.5	15.4	57.4	22.2	15.9	6.0
85/86	66.5	12.6	16.7	36.4	10.5	19.0	60.9	2.5	26.8	13.2	36.5	23.0
86/87	15.8	25.4	36.6	16.7	10.2	17.4	42.6	19.2	33.3	34.2	13.7	5.0
87/88	14.4	22.6	30.2	27.5	12.7	2.0	23.8	27.6	56.1	41.4	11.5	36.5
88/89	18.0	13.5	23.9	25.4	43.3	10.4	34.7	26.3	19.0	45.3	8.7	101.3
89/90	38.6	7.8	31.6	18.7	43.0	19.5	40.6	50.8	48.3	17.1	13.2	115.6
90/91	37.6	29.4	60.1	34.5	32.4	31.3	44.3	25.0	54.9	14.4	8.5	35.6
91/92	58.9	52.4	39.6	14.2	20.3	24.9	22.3	25.6	71.7	23.2	13.4	24.5
92/93	44.1	28.4	61.1	48.4	5.3	27.9	19.4	14.5	22.4	12.8	7.1	2.3
93/94	16.1	26.2	9.9	19.5	44.2	20.9	9.4	13.3	31.7	50.6	14.5	6.7
94/95	82.0	36.8	7.4	5.7	88.0	23.5	52.4	30.2	12.7	15.8	7.6	3.5
95/96	94.9	33.7	28	8.2	10.5	60.9	39.3	30.5	13.83	27.6	7.5	15.5
96/97	56.0	5.0	42.6	22.9	27.6	4.0	27.8	50.7	12.06	12.0	0	19.4
97/98	32.1	40.5	26.7	13.5	51.5	2.0	15.7	9.9	18.51	36.3	13.0	13.3
98/99	42.1	51.7	36.3	27.9	23.7	11.7	31.8	15.4	80.0	22.0	5.0	13.6
99/00	20.3	48.7	39.5	23.2	20.0	14.8	6.1	12.0	51.0	36.5	10.0	8.5
00/01	41.2	32.7	13.5	13.9	22.8	16.0	5.5	11.1	31.6	28.0	6.0	46.7
2001/2002	35.84	6.0	56.0	6.8	12.3	16.0	33.5	26.0	11.4	5.0	15.0	85.0
2002/2003	32.6	77.9	59.3	36.5	53.5	25.5	31.0	64.5	83.7	30.9	16.2	36.8
2003/2004	48.8	35.4	80.7	122.5	12.5	13.4	41.8	13.7	20.8	4.5	6.3	13.5
2004/2005	46.5	18.3	4.2	31.8	32.1	15.0	35.5	55.5	23.9	21.0	9.5	46.6

Annexe II

Tableau (37): Valeurs des mesures brutes et h_i (mm) calculées

	Mesures brutes (ml)				h_i (mm)			
19-9	207	215	237	221	18.31	19.02	20.97	19.55
	233	236	205	239	20.61	20.88	18.14	21.14
	232	227	285	321	20.52	20.08	25.21	28.40
	291	117	288	299	25.74	10.35	25.48	26.45
	217	27	230	278	19.20	2.39	20.35	24.59
	161	205	135	163	14.24	18.14	11.94	14.42
	93	243	135	152	8.23	21.50	11.94	13.45
	53	215	56	60	4.69	19.02	4.95	5.31
	0	135	5	21	0.00	11.94	0.44	1.86
	0	247	0	0	0.00	21.85	0.00	0.00
20-9	152	208	215	200	13.45	18.40	19.02	17.69
	230	229	289	200	20.35	20.26	25.57	17.69
	149	187	237	147	13.18	16.54	20.97	13.00
	240	111	178	81	21.23	9.82	15.75	7.17
	198	48	122	29	17.52	4.25	10.79	2.57
	189	289	216	200	16.72	25.57	19.11	17.69
	222	325	375	200	19.64	28.75	33.17	17.69
	275	357	302	200	24.33	31.58	26.72	17.69
	301	198	233	214	26.63	17.52	20.61	18.93
	320	120	131	221	28.31	10.62	11.59	19.55
21-9	311	315	278	294	27.51	27.87	24.59	26.01
	284	266	212	215	25.12	23.53	18.75	19.02
	222	209	191	150	19.64	18.49	16.90	13.27
	113	158	152	136	10.00	13.98	13.45	12.03
	98	122	68	28	8.67	10.79	6.02	2.48
	286	298	311	315	25.30	26.36	27.51	27.87
	223	286	298	255	19.73	25.30	26.36	22.56
	241	166	284	165	21.32	14.69	25.12	14.60
	246	123	158	112	21.76	10.88	13.98	9.91
	289	78	78	74	25.57	6.90	6.90	6.55
22-9	302	278	285	299	26.72	24.59	25.21	26.45
	258	230	233	220	22.82	20.35	20.61	19.46
	135	201	148	138	11.94	17.78	13.09	12.21
	111	138	101	110	9.82	12.21	8.93	9.73
	63	96	81	75	5.57	8.49	7.17	6.63
	449	288	288	283	39.72	25.48	25.48	25.04
	212	247	225	249	18.75	21.85	19.90	22.03
	159	215	284	123	14.07	19.02	25.12	10.88
	133	291	208	101	11.77	25.74	18.40	8.93
	62	304	128	67	5.48	26.89	11.32	5.93

Annexe II

	Mesures brutes (ml)				h (mm)			
23-9	258	236	212	185	22.82	20.88	18.75	16.37
	201	290	229	194	17.78	25.65	20.26	17.16
	120	216	139	144	10.62	19.11	12.30	12.74
	79	231	87	178	6.99	20.44	7.70	15.75
	25	135	64	162	2.21	11.94	5.66	14.33
	402	220	414	162	35.56	19.46	36.62	14.33
	326	187	364	125	28.84	16.54	32.20	11.06
	378	122	268	116	33.44	10.79	23.71	10.26
	273	78	161	95	24.15	6.90	14.24	8.40
	264	24	72	51	23.35	2.12	6.37	4.51
24-9	170	220	225	201	15.04	19.46	19.90	17.78
	105	270	208	220	9.29	23.89	18.40	19.46
	43	215	278	286	3.80	19.02	24.59	25.30
	23	175	268	305	2.03	15.48	23.71	26.98
	0	102	254	287	0.00	9.02	22.47	25.39
	198	250	160	170	17.52	22.12	14.15	15.04
	225	298	157	165	19.90	26.36	13.89	14.60
	270	248	78	102	23.89	21.94	6.90	9.02
	301	115	56	65	26.63	10.17	4.95	5.75
	322	56	13	22	28.49	4.95	1.15	1.95
25-9	195	220	236	222	17.25	19.46	20.88	19.64
	95	270	215	198	8.40	23.89	19.02	17.52
	68	215	222	269	6.02	19.02	19.64	23.80
	41	125	248	255	3.63	11.06	21.94	22.56
	14	103	124	128	1.24	9.11	10.97	11.32
	220	221	231	222	19.46	19.55	20.44	19.64
	215	258	137	147	19.02	22.82	12.12	13.00
	270	302	111	126	23.89	26.72	9.82	11.15
	296	125	78	89	26.19	11.06	6.90	7.87
	298	25	27	58	26.36	2.21	2.39	5.13
30-09 m	315	301	285	356	27.87	26.63	25.21	31.49
	246	258	233	296	21.76	22.82	20.61	26.19
	199	211	198	199	17.60	18.67	17.52	17.60
	151	189	158	170	13.36	16.72	13.98	15.04
	98	122	115	152	8.67	10.79	10.17	13.45
	311	352	358	354	27.51	31.14	31.67	31.32
	258	298	296	289	22.82	26.36	26.19	25.57
	198	215	201	211	17.52	19.02	17.78	18.67
	148	291	208	199	13.09	25.74	18.40	17.60
	130	314	189	145	11.50	27.78	16.72	12.83

Annexe II

	Mesures brutes (ml)				h _i (mm)			
30/09 s	278.	323	356	311	24.59	28.57	31.49	27.51
	253	286	278	223	22.38	25.30	24.59	19.73
	173	154	228	197	15.30	13.62	20.17	17.43
	115	196	160	138	10.17	17.34	14.15	12.21
	73	78	98	87	6.46	6.90	8.67	7.70
	248	278	356	323	21.94	24.59	31.49	28.57
	179	225	275	295	15.84	19.90	24.33	26.10
	153	279	223	173	13.54	24.68	19.73	15.30
	110	291	179	111	9.73	25.74	15.84	9.82
	77	263	77	66.	6.81	23.27	6.81	5.84
1/10 m	302	330	349	287	26.72	29.19	30.87	25.39
	291	364	271	366	25.74	32.20	23.97	32.38
	256	222	158	396	22.65	19.64	13.98	35.03
	236	187	132	220	20.88	16.54	11.68	19.46
	211	120	115	123	18.67	10.62	10.17	10.88
	224	312	283	313	19.82	27.60	25.04	27.69
	223	332	401	299	19.73	29.37	35.47	26.45
	308	205	436	226	27.25	18.14	38.57	19.99
	320	142	302	180	28.31	12.56	26.72	15.92
	287	110	185	129	25.39	9.73	16.37	11.41
1/10 s	298	265	256	371	26.36	23.44	22.65	32.82
	256	179	201	256	22.65	15.84	17.78	22.65
	194	188	191	244	17.16	16.63	16.90	21.59
	203	136	184	205	17.96	12.03	16.28	18.14
	168	98	146	175	14.86	8.67	12.92	15.48
	289	245	395	272	25.57	21.67	34.94	24.06
	235	218	254	229	20.79	19.29	22.47	20.26
	309	206	222	226	27.34	18.22	19.64	19.99
	311	167	173	180	27.51	14.77	15.30	15.92
	290	99	154	154	25.65	8.76	13.62	13.62
2-10	255	258	276	302	22.56	22.82	24.42	26.72
	204	231	212	245	18.05	20.44	18.75	21.67
	178	220	180	182	15.75	19.46	15.92	16.10
	126	195	119	226	11.15	17.25	10.53	19.99
	57	200	68	208	5.04	17.69	6.02	18.40
	236	296	301	296	20.88	26.19	26.63	26.19
	294	264	272	256	26.01	23.35	24.06	22.65
	288	198	232	181	25.48	17.52	20.52	16.01
	305	102	189	132	26.98	9.02	16.72	11.68

Annexe II

	Mesures brutes (ml)				h (mm)			
4-10	256	325	314	292	22.65	28.75	27.78	25.83
	230	258	253	254	20.35	22.82	22.38	22.47
	198	232	192	206	17.52	20.52	16.99	18.22
	156	190	145	216	13.80	16.81	12.83	19.11
	116	135	111	203	10.26	11.94	9.82	17.96
	311	322	285	270	27.51	28.49	25.21	23.89
	224	258	226	246	19.82	22.82	19.99	21.76
	281	205	178	196	24.86	18.14	15.75	17.34
	291	175	146	150	25.74	15.48	12.92	13.27
	299	125	114	116	26.45	11.06	10.08	10.26
5/10 m	302	330	301	223	26.72	29.19	26.63	19.73
	291	364	271	389	25.74	32.20	23.97	34.41
	256	198	158	401	22.65	17.52	13.98	35.47
	236	111	122	263	20.88	9.82	10.79	23.27
	211	78	90	182	18.67	6.90	7.96	16.10
	224	362	283	313	19.82	32.02	25.04	27.69
	223	301	365	298	19.73	26.63	32.29	26.36
	308	225	424	226	27.25	19.90	37.51	19.99
	330	178	315	189	29.19	15.75	27.87	16.72
	287	110	146	111	25.39	9.73	12.92	9.82
5/10 s	265	236	323	330	23.44	20.88	28.57	29.19
	165	169	289	303	14.60	14.95	25.57	26.80
	112	122	178	176	9.91	10.79	15.75	15.57
	135	111	131	207	11.94	9.82	11.59	18.31
	98	45	105	157	8.67	3.98	9.29	13.89
	263	249	252	301	23.27	22.03	22.29	26.63
	165	266	178	255	14.60	23.53	15.75	22.56
	247	178	172	156	21.85	15.75	15.22	13.80
	341	149	207	136	30.17	13.18	18.31	12.03
	343	126	175	111	30.34	11.15	15.48	9.82