

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude
Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

Etude de l'influence du vent sur l'arrosage par pivot

Devant le jury composé de :

Dr. KHECHANA Mohammed Président
Mme. BERKAN Houda Examineur
Dr. Guerrah Ayoub Encadreur
Mr. Hadji Mohammed Salah Co-Encadreur

Présenté par :

- GHERAISSA Fathi
- KHAMMES Abdelhafid
- ABADI Oussama

2019-2020

Remerciement

Par-dessus tout, nous remercions ALLAH pour ses bienfaits.

Nous adressons également nos sincères remerciements aux membres de nos familles qui n'ont jamais hésité à nous offrir le meilleur d'eux-mêmes, et surtout les parents.

En guise de gratitude, je voudrais exprimer mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement au bon déroulement de notre étude et au développement de ce modeste ouvrage.

Ma sincère gratitude à notre professeur Dr. Guerrah Ayoub pour la qualité de son enseignement, ses conseils et son intérêt. Nous remercions également Labbi Ibrahim, le propriétaire de la ferme, pour notre aide et l'étudiant Hadji Mohammed Salah, HENKA Ali et Namousa Mohcen.

Nous remercions l'ensemble des professeurs du Département du Génie Mécanique à L'université "Echahid Hamma Lakhdar" El-oued, pour leur patience, leurs conseils plein de sens et pour le suivi et l'intérêt qu'ils ont montré. Et, nous remercions aussi l'ensemble des étudiants.

Sommaire

<i>Remerciement</i>	i
<i>Liste des figures</i>	v
<i>Liste des tableaux</i>	vii
Introduction générale:	1

Chapitre I: Description hydraulique d'un pivot d'irrigation artisanal

I.1	Introduction:	2
I.2	Définition de l'irrigation:	2
I.3	Irrigation par pivot:	2
I.4	Fabrication du pivot artisanal :	4
I.5	Composants d'un pivot artisanal :	5
I.5.1	Le point central du pivot :	5
I.5.2	Le bras du pivot :	6
I.5.3	La tour mobile:	7
I.5.4	Câbles:	7
I.5.5	Réducteur de vitesse:	8
I.5.6	La buse:	8
I.6	Arrosage par pivot artisanal :	9
I.7	Conclusion:	9

Chapitre II: Recherche bibliographique

II.1	Introduction :	10
II.2	Configuration des asperseurs:	10
II.3	Coefficient d'uniformité:	13
II.4	Influence du vent sur l'arrosage :	16

II.5	Conclusion:.....	24
------	------------------	----

Chapitre III: Etude expérimentale

III.1	Introduction :	25
III.2	Description de la zone d'étude :	25
III.3	Influence du vent sur l'arrosage dans un pivot	29
III.3.1	Matériels :	29
III.3.2	Méthode:	32
III.3.3	Résultats :	33
III.3.4	Discussion :	39
III.4	Influence du vent sur l'arrosage dans un asperseur :	42
III.4.1	Méthode :	42
III.4.2	Résultats :	42
III.4.3	Discussion :	43
III.5	Conclusion :	44

Chapitre IV: Modèle mathématique

IV.1	Introduction	45
IV.2	Modèles de régression linéaire	45
IV.2.1	La méthode des moindres carrés (Least-Squares fit):.....	46
IV.2.2	La méthode robuste (Robust fit):	46
IV.2.3	L'ajustement par étape (Stepwise fit):	46
IV.3	Facteurs et réponses	47
IV.4	Construction d'un modèle polynômial.....	47
IV.5	Validation.....	49
IV.6	Conclusion.....	52

Conclusion générale :	53
Références Bibliographiques	54
Annexe (A)	58
Annexe (B)	63
Annexe (C)	64

Liste des figures

Chapitre I: Description hydraulique d'un pivot d'irrigation artisanal

Figure I. 1	présentation des zones irriguées par pivot d'irrigation central.....	3
Figure I. 2	Trois étapes dans la fabrication et l'assemblage de pivot artisanal [1].....	4
Figure I. 3	Présentation de point central du pivot.....	6
Figure I. 4	Présentation de bras du pivot.....	6
Figure I. 5	Présentation de la tour mobile.....	7
Figure I. 6	Présentation des câbles.....	7
Figure I. 7	Présentation de moteur électrique et réducteur de vitesse.....	8
Figure I. 8	Présentation de la buse de pulvérisation.....	8

Chapitre II: Recherche bibliographique

Figure II. 1	La répartition des asperseurs.....	10
Figure II. 2	Méthodes de distribution des asperseurs.....	11
Figure II. 3	Comparaison d'espacement avant et après l'étude pour pivot central 50m[13].	12
Figure II. 4	Comparaison d'espacement avant et après l'étude pour pivot central 60m[13].	12
Figure II. 5	Effet du vent sur l'arrosage et l'application d'eau qui en résulte l'uniformité.	16
Figure II. 6	Repérage de la direction du vent.....	19
Figure II. 7	Schéma représentatif des quatre portées dans le vent sur le terrain.....	19
Figure II. 8	Repérage de l'impact au sol d'une goutte d'eau.....	20
Figure II. 9	Déformation du panache de l'asperseur en fonction de la force du vent (Shull et Dylla, 1978) [38].....	21
Figure II. 10	Distribution d'eau mesurée pour des conditions calmes (a-b) et venteuses (c-d) [39]..	23

Chapitre III: Etude expérimentale

Figure III. 1	Situation géographique de pivot d'irrigation qui étudié.....	26
Figure III. 2	Les changements météorologiques de la région de Debila 2019.	27
Figure III. 3	Les changements météorologiques de la région de Debila pendant les expériences.	28
Figure III. 4	Présentation de l'appareil topographique Leica705.....	29
Figure III. 5	Présentation de l'appareil (Station météo pro).	30
Figure III. 6	Collecteurs d'eau conforme à la norme ISO.....	31
Figure III. 7	Le tube gradué utilisé pour mesure les valeurs de pluviométrie.....	31
Figure III. 8	Division du cercle de pivot faite à l'aide de l'appareil topographique.	32
Figure III. 9	Les changements météorologiques au cours des cinq expériences.....	33

Figure III. 10 Présentation des données pluviométriques (mm) dans les expériences 1.2.3	34
Figure III. 11 Présentation des données pluviométriques (mm) dans les expériences 4.5	35
Figure III. 12 Répartition d'eau dans les lignes [0°(E), 90°(N), 180°(W), 270°(S)]	36
Figure III. 13 Répartition d'eau dans les lignes [0° 45° 90° 135° 180° 225° 270° 315°].	38
Figure III. 14 Présentation des zones sélectionnées	39
Figure III. 15 Les changements de pluviométrie pour les expériences par rapport le moyen de vitesse du vent	43

Chapitre IV: Modèle mathématique

Figure IV. 1 Etapes de création de modèle mathématique	48
Figure IV. 2 Comparaison des valeurs pluviométriques d'expérimentation et de modèle mathématique (1).	50
Figure IV. 3 Comparaison des valeurs pluviométriques d'expérimentation et de modèle mathématique (2).	51

Liste des tableaux

Chapitre II: Recherche bibliographique

Tableau II. 1 Repérages de la vitesse du vent [38].....	18
---	----

Chapitre III: Etude expérimentale

Tableau III. 1 Les changements du CUH avec les variations de vitesse et de direction du vent pour les lignes (0°) et (90°).	41
---	----

Tableau III. 2 Les changements du CUH avec les variations de vitesse et de direction du vent pour les lignes (180°) et (270°).	41
--	----

Chapitre IV: Modèle mathématique

Tableau IV. 1 Comparaison des valeurs pluviométriques d'expérimentation et de modèle mathématique	49
---	----

Introduction Générale

Introduction générale:

La production agricole dans de nombreuses régions du monde dépend d'une irrigation efficace, si l'eau nécessaire à la croissance des plantes n'est pas utilisée uniformément, les cultures seront affectées négativement, en outre dans de nombreuses zones l'eau disponible pour l'irrigation est limitée, les systèmes d'irrigation doivent donc bien utiliser l'eau pour que les plantes puissent l'utiliser efficacement.

Le système d'irrigation traditionnel est largement utilisé dans la wilaya d'El-Oued à cause de leurs avantages tels que la facilité de sa construction et la basse coût de son entretien, ce système est souvent conçu sans une prise en compte suffisante des effets du vent, si l'on considère le vent, ce n'est que dans un sens très général. Le vent peut-il donc affecter les performances de l'irrigation à pivot traditionnel ?

Il faut du temps pour évaluer la distribution de l'eau, souvent, il ne peut pas être évalué dans toutes les conditions opérationnelles et environnementales. L'utilisation de modèles mathématiques pour les simulations informatiques permet une combinaison plus variée et plus rapide de l'analyse requise. Un modèle qui prédit l'effet du vent sur le modèle de distribution de l'eau des arroseurs sera un outil utile pour faciliter la conception et le fonctionnement efficace des systèmes d'irrigation. Les conceptions peuvent être testées pour voir leur adéquation dans les conditions de vent dominantes pour une région spécifique. Le modèle peut également être utilisé pour analyser les systèmes existants.

Ce mémoire de fin d'études est comme suit :

Le premier chapitre est une description hydraulique d'un pivot d'irrigation artisanal dans la région d'El-Oued et une identification de ses composants et la fabrication de ce type de pivot.

Le deuxième chapitre présente une recherche bibliographique sur le pivot d'irrigation artisanal, et la configuration des asperseurs et le coefficient d'uniformité.

Le troisième chapitre sera consacré à l'étude expérimentale sur le pivot d'irrigation artisanal, qui contient l'influence du vent dans un pivot et dans un asperseur.

Le quatrième chapitre présente un modèle mathématique qui contient une équation polynomiale pour la prévision des pluviométriques.

Chapitre I

Description hydraulique d'un pivot d'irrigation artisanal

I.1 Introduction:

Dans le Sahara algérien, plusieurs zones de production horticole sont apparues en marge des oasis traditionnelles au cours des vingt dernières années grâce à l'utilisation des eaux souterraines profondes. Les agriculteurs dans la Wilaya d'El Oued (Sahara d'Algérie) produisent généralement des pommes de terre irriguées par des pivots traditionnels (pivot d'irrigation fabriqué par des artisans locaux) [1]. L'objectif de ce chapitre est de décrire le pivot d'irrigation artisanal et de présenter ses composantes afin de mieux comprendre le système et son fonctionnement.

I.2 Définition de l'irrigation:

L'irrigation est le processus d'apport artificiel d'eau aux plantes cultivées pour augmenter la production et permettre leur développement naturel, en cas de pénurie d'eau causée par le manque de pluie, un drainage excessif ou une diminution des eaux souterraines, notamment dans les zones arides. Néanmoins, l'irrigation améliore les rendements des terres agricoles, mais implique l'utilisation de grandes quantités d'eau. La superficie des terres irriguées a beaucoup augmenté pour faire face à l'accroissement de la population et des besoins alimentaires. Avec 70 % de la consommation mondiale d'eau, l'agriculture est sans conteste le secteur d'activité le plus consommateur d'eau [2, 3]. Parmi les types de techniques d'irrigation on peut citer notamment: irrigation de surface, irrigation par aspersion et irrigation au goutte à goutte [4].

I.3 Irrigation par pivot:

L'irrigation axiale a été inventée aux États-Unis à la fin des années quarante, a commencé en France dans les années soixante [5-7]. Le concept de ce type d'irrigation est basé sur l'idée de l'irrigation naturelle par la pluie [8]. Où il représente la chute d'eau des arroseurs sous forme de pluviométriques sur le sol à un taux qui crée une teneur en humidité suffisante dans la zone racinaire avec le moins d'infiltration profonde. En général, le mécanisme d'irrigation par aspersion se fait en pompant l'eau le long d'un réseau de tuyaux vers des arroseurs fixes ou rotatifs qui sont attachés aux points de sortie. La pression force l'eau à pénétrer dans la tête de gicleur et est distribuée sous forme de gouttelettes tombant sur le sol [9, 10].



Figure I. 1 présentation des zones irriguées par pivot d'irrigation central.

Le système de pivot central se compose d'un long pipeline connecté à un point fixe ou pivot central et le pipeline se déplace autour du point de pivot dans un cercle, le pipeline étant transporté sur une tour à roues. La source d'énergie pour déplacer les roues est électrique ou hydraulique. Cela signifie que le point de pivot représente le centre du cercle, tandis que le pipeline représente un rayon du cercle pendant le mouvement [11].

Les principaux avantages des machines d'irrigation à pivot central [7]:

- La distribution de l'eau est simplifiée grâce à l'utilisation d'un point focal fixe.
- La direction et l'alignement sont contrôlés par rapport à un point focal fixe.
- L'uniformité relativement élevée dans l'application d'eau peut être facilement obtenue en déplaçant les buses en continu.
- Une fois l'irrigation terminée, le système est au point de départ de l'irrigation suivante.
- La bonne gestion de l'irrigation car il est facile d'appliquer de l'eau précise et en temps opportun.

I.4 Fabrication du pivot artisanal :

La généralisation de l'utilisation des pivots artisanaux est conditionnée à plusieurs acteurs. Leur enchaînement dans les interventions constitue des prestations de services et de fournitures non négligeables (Figure (I. 2)). On peut discerner trois étapes dans la fabrication et le montage des pivots [1]:

- L'importation ou la récupération de pièces détachées sur des équipements obsolètes ;
- La fabrication locale de composants dans les ateliers ;
- L'opération de montage du pivot sur le terrain et le service après-vente.

Des importateurs fournissent les grossistes du marché d'El Oued en pièces industrielles de Chine : organes d'arrosage, tubes galvanisés, moteurs électriques et réducteurs de vitesse. Ensuite, ces organes sont vendus au détail par des quincailleries. Les automobiles abandonnées forment la 2^{ème} source de composants dans la fabrication des pivots. Ce sont les composants qui assurent le déplacement des pivots, notamment les roues et leurs pièces porteuses ainsi que les roulements [1].

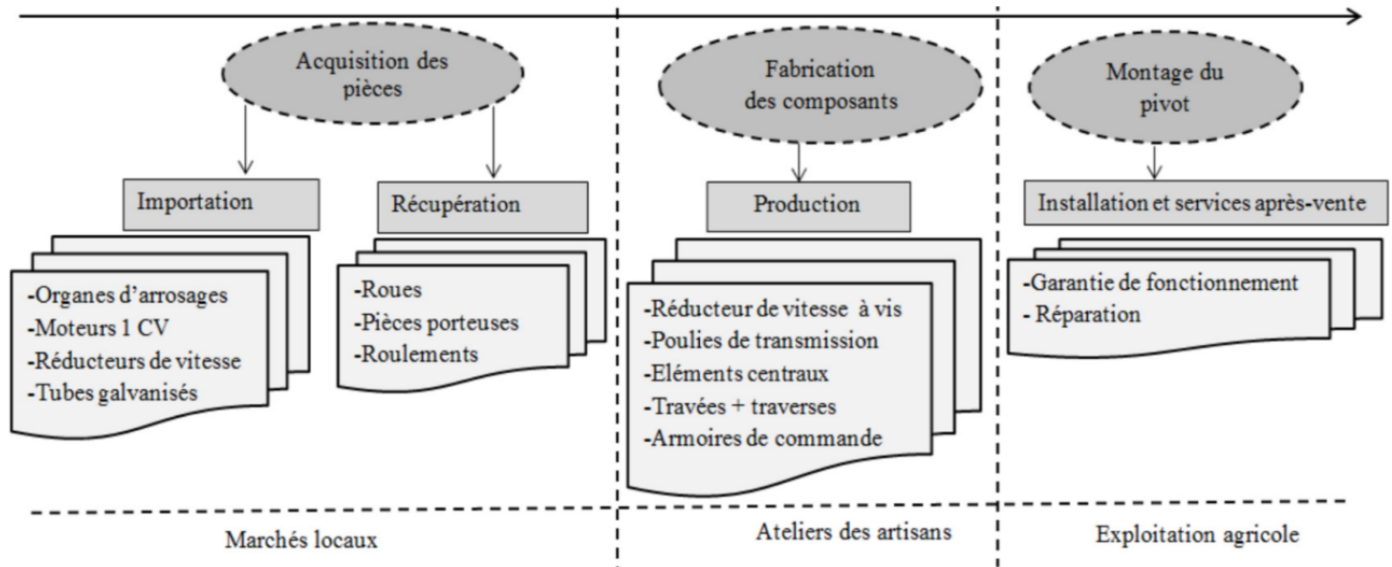


Figure I. 2 Trois étapes dans la fabrication et l'assemblage de pivot artisanal [1].

Ces pièces sont issues du marché d'occasion. Après, les artisans construisent les composants qu'on ne peut pas trouver localement. Ainsi, des tours mécaniques produisent des réducteurs de vitesse. Il y a même un « réducteur à vis » qui a surpassé le modèle importé, à cause de son modeste coût et de sa disponibilité dans la région. Des poulies aussi sont produites, elles assurent la transmission entre le moteur et le réducteur de vitesse. Les « soudeurs » (appellation locale), sont des acteurs centraux car ils sont en relation avec tous les opérateurs: ils reçoivent les commandes des agriculteurs et se procurent les composants et matériaux nécessaires auprès des commerçants et artisans (tourneurs) [1]. Après la fabrication de toutes les parties du pivot, l'agriculteur les transporte sur son terrain. Les « soudeurs » s'y rendent aussi pour procéder au montage et à la mise en route du pivot [1].

Finalement, un électricien procède à l'installation de l'armoire de commande électrique et son raccordement au moteur du pivot [1].

I.5 Composants d'un pivot artisanal :

Cette partie contient des composants de l'appareil étudié (pivot artisanal) sur le terrain et contient également des images en trois dimensions de ces composants obtenues à l'aide du logiciel SolidWorks.

I.5.1 Le point central du pivot :

C'est l'élément autour duquel tourne le bras du pivot, et celui par où arrive l'eau destinée à l'irrigation. Il se compose de trois pieds fixés au sol avec du ciment et d'un tube de fer solide à l'intérieur duquel l'eau passe aux arroseurs, et un petit morceau de tube de fer y est installé entre eux et le Roulement mécanique du mouvement circulaire (Figure (I. 3)). L'ensemble est fixé au sol pour s'opposer au couple de renversement créé par la rampe.

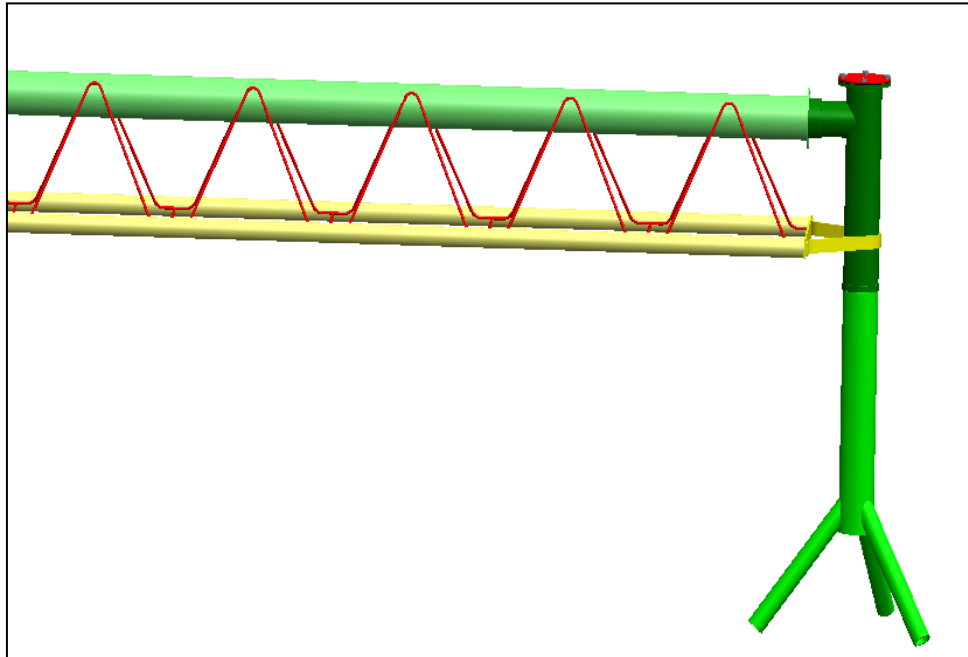


Figure I. 3 Présentation de point central du pivot.

I.5.2 Le bras du pivot :

Le pivot artisanal contient un seul tour mobile et une seule travée. Cette dernière est composée de plusieurs pièces de 12 m de long et 56 mm de diamètre, reliées par quatre vis, leur élément principal est la canalisation dans laquelle circule l'eau, et aussi contient l'ensemble des arroseurs. La conduite est soutenue par deux ou trois lignes de bielles destinées à renforcer l'assemblage [12]. La figure ci-dessous représente les éléments constitutifs de la travée.

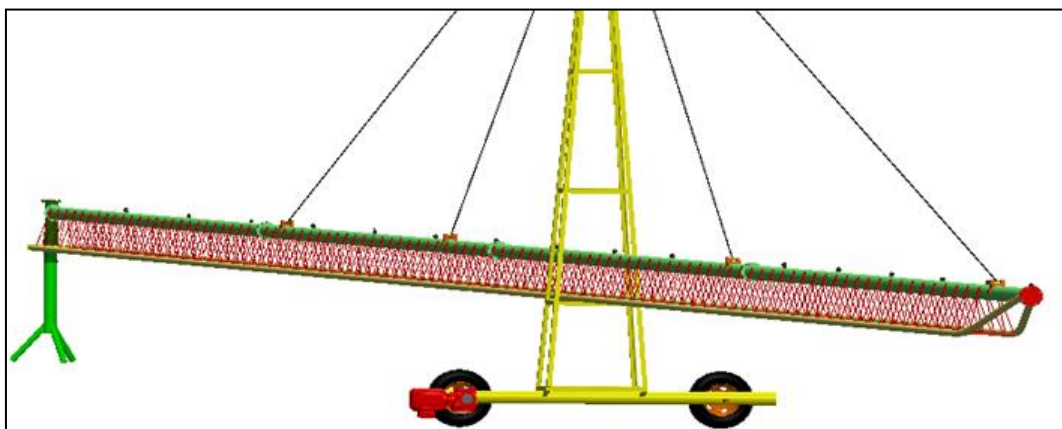


Figure I. 4 Présentation de bras du pivot.

I.5.3 La tour mobile:

La tour mobile possède deux fonctions. La première consiste à soutenir la hauteur au-dessus du sol, qui varie en hauteur (généralement 3 mètres). La deuxième fonction consiste à assurer la mobilité de la rampe grâce à deux-roues commandées par un moteur électrique [3]. La figure (I. 5) représente la tour mobile d'un centre pivot d'irrigation.

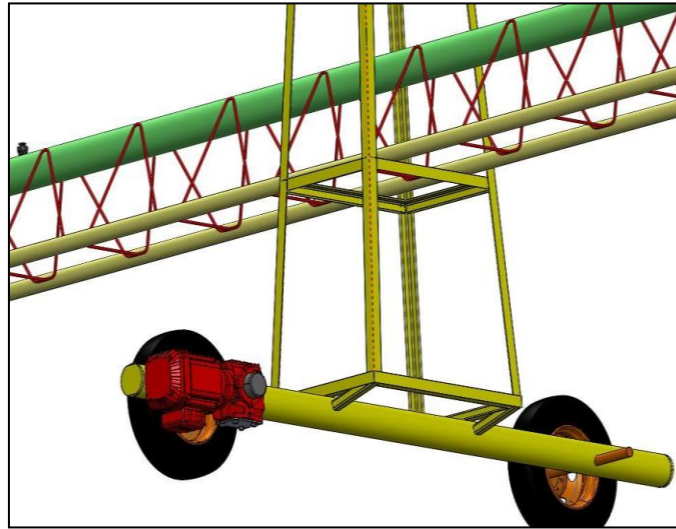


Figure I. 5 Présentation de la tour mobile.

I.5.4 Câbles:

Les câbles permettent les composants les plus importants d'un pivot artisanal, car leur fonction est de donner cohérence et harmonie au corps de l'appareil, de sorte qu'il resserre le bras du pivot avec la tour mobile, en quatre endroits (voir la figure (I. 6) sous dessous).

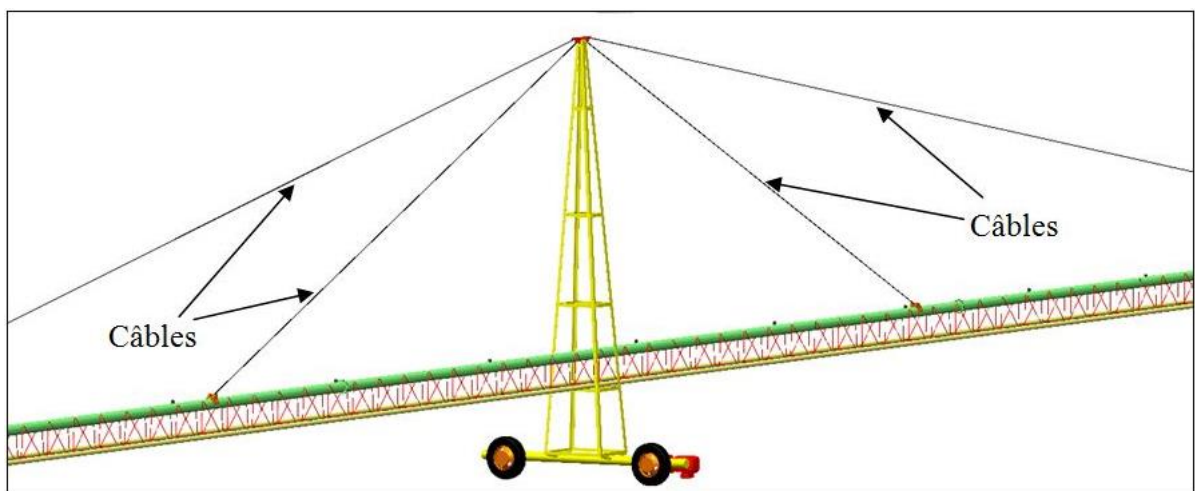


Figure I. 6 Présentation des câbles.

I.5.5 Réducteur de vitesse:

C'est la base du mouvement dans ce système, c'est un moteur électrique relié à la courroie avec une boîte de vitesses pour réduire la réduction. Une fois le mouvement modifié, il se déplace vers la roue (voir la figure (I.7)).

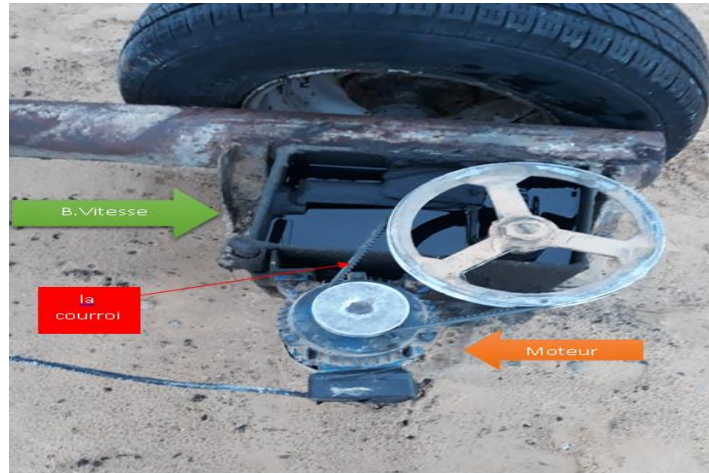


Figure I. 7 Présentation de moteur électrique et réducteur de vitesse.

I.5.6 La buse:

La buse de pluviométriques est le dispositif de précision qui facilite la dispersion de l'eau dans un pulvérisateur. Les principes des buses sont : La distribution régulière de l'eau, l'augmentation de la surface irriguée. Dans le pivot artisanal d'El Oued les gicleurs sont espacés d'environ 4 m près du pivot, puis l'espacement va diminuant à environ 1 m loin de l'axe de pivot [13].



Figure I. 8 Présentation de la buse de pulvérisation

I.6 Arrosage par pivot artisanal :

L'approvisionnement en eau atteint une jonction de voie navigable d'un puits. Elle est poussée vers la canalisation par une station de pompage, avec la pression calculée délivrée (1 bar) en fonction des différences de niveau, des chutes de pression et de la pression de sortie requise. L'irrigation se fait ensuite par les pulvérisateurs basse et moyenne pression (en plastique) installés sur les buses, le débit de ces différents arroseurs varie en fonction de leur emplacement sur la rampe. L'arroseur fournit de l'eau à un débit compatible avec la possibilité d'infiltration et sans provoquer de compression du sol ni de détérioration des produits agricoles arrosés. La figure (I. 8) représente le type d'arroseurs utilisé dans cet pivot traditionnel [14].

Par conséquent, la distribution spatiale de l'eau est fortement déformée, avec une déviation des contributions en fonction de la direction du vent [15], créant des zones sous-dosées et des autres surdosées. La Vitesse du vent qui augmente l'hétérogénéité dans la mesure de la pluviométrie lorsque sa vitesse dépasse 3 m/s. La pression de service ne doit pas être trop faible (pluviométrique insuffisante) ou trop élevée (pluviométrique excessive, très sensible aux vents de jet) [16]. L'irrigation par pivot est une méthode nécessitant une surveillance des conditions climatiques et de pression de fonctionnement pour homogénéité la répartition des pluviométriques [17].

I.7 Conclusion:

Divers composants du système d'irrigation artisanal ont été introduits dans ce chapitre. Aussi, les éléments nécessaires de l'irrigation par pivot artisanal et son caractéristique des éléments du système sont étudiés. Lors de notre visite à certains paysans investisseurs dans ce domaine, nous avons trouvé de nombreuses complications dans la formation du système et de nombreux problèmes rencontrés par les agriculteurs, parmi les problèmes, l'effet du vent sur la cohérence de l'irrigation, pour résoudre ce problème, nous devons mener une étude scientifique approfondie pour une utilisation optimale de ce système traditionnel.

Chapitre II

Recherche bibliographique

II.1 Introduction :

On cherche toujours dans l'irrigation par aspersion à avoir une bonne uniformité de distribution de l'eau et une conduite adéquate des arrosages afin d'améliorer l'efficacité hydraulique et la productivité de l'eau. Pour la technique d'irrigation par aspersion, appliquer l'eau d'une manière uniforme est pratiquement un objectif difficile à atteindre à cause des contraintes opératoires et climatiques. Selon KELLER et BLIESNER en 1990 [18], ces contraintes se rapportent à la pression, l'écartement entre asperseurs, les caractéristiques intrinsèques des asperseurs (courbe de distribution de l'eau, forme et nombre des buses, angle de trajectoire) et les conditions climatiques (essentiellement vitesse et direction de vent). Dans ce chapitre, nous présenterons certaines des études des chercheurs sur ces contraintes.

II.2 Configuration des asperseurs:

Les asperseurs (buses) permettant d'éclater un jet d'eau sous pression en fine gouttelettes. Le diamètre des buses détermine pour une pression donnée, le débit de l'asperseur, la portée du jet et la répartition de l'eau le long du jet (ou pluviométrie) [3].

Souvent l'asperseur va distribuer l'eau en rotation et de façon centrifuge. La pluie qui va arriver au sol ne va pas être répartie régulièrement en tous points de la zone arrosée. Chaque asperseur a sa propre répartition liée à la pression de service et à la (ou aux) buse(s) qui l'équipera d'après la figure ci-dessous [19]:

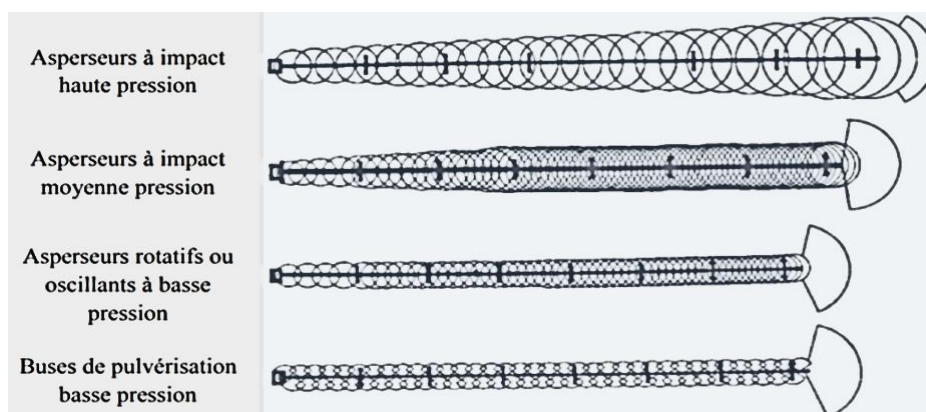


Figure II. 1 La répartition des asperseurs.

Il est également installé sur le bras de pivot, que ce soit par des asperseurs fixes ou rotatifs, et la distance entre ces asperseurs est soit égale ou variable, soit les tailles des asperseurs changent avec des distances égales entre eux, comme indiqué dans la figure suivante:

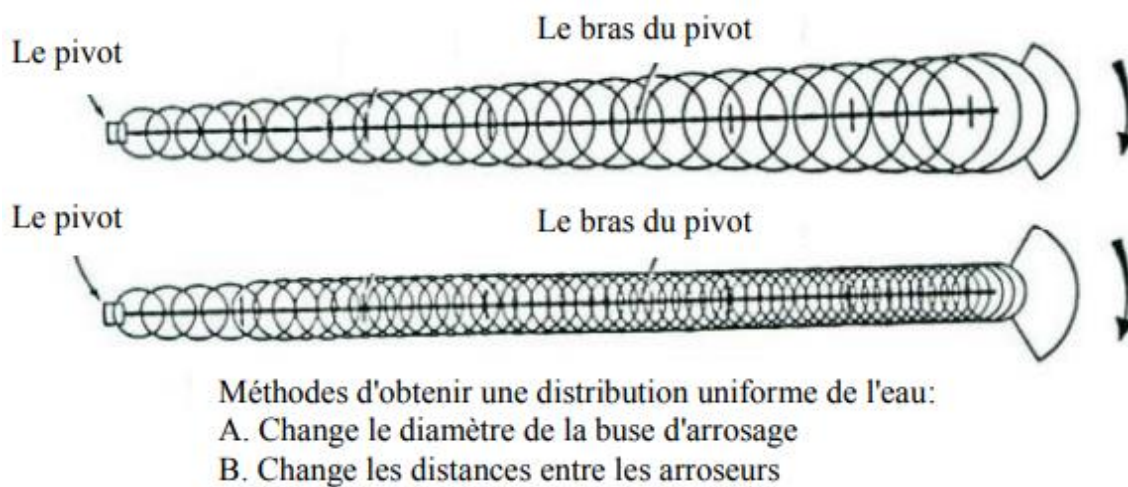


Figure II. 2 Méthodes de distribution des asperseurs.

Le diamètre maximal mouillé par l'asperseur est déterminé par le type d'asperseur, la pression de fonctionnement de système et la vitesse du vent. Donc le diamètre mouillé par un arroseur est en fonction de la taille de la buse et de la pression de fonctionnement. Les fabricants des arroseurs fourniront des informations sur le diamètre mouillé. La zone arrosée par chaque arroseur doit chevaucher sensiblement la zone arrosée par l'arroseur adjacent. Ce chevauchement peut sembler un gaspillage au premier abord, mais c'est une nécessité très importante. Sans ce chevauchement, il serait impossible de concevoir des systèmes d'asperseurs qui fournissent une couverture d'eau uniforme.

Une étude menée sur le système d'irrigation à pivot central de 60 et 50 mètres dans la région d'El Oued, indique une amélioration importante sur le coefficient d'uniformité de HERMANN et HEIN, par le prédominant sur l'espacement entre les asperseurs. L'étude peut augmenter le coefficient d'uniformité d'environ 20% par rapport à la situation original des buses. La distribution des asperseurs originale et calculée par l'étude est indiquée sur les figures sous dessous [13].

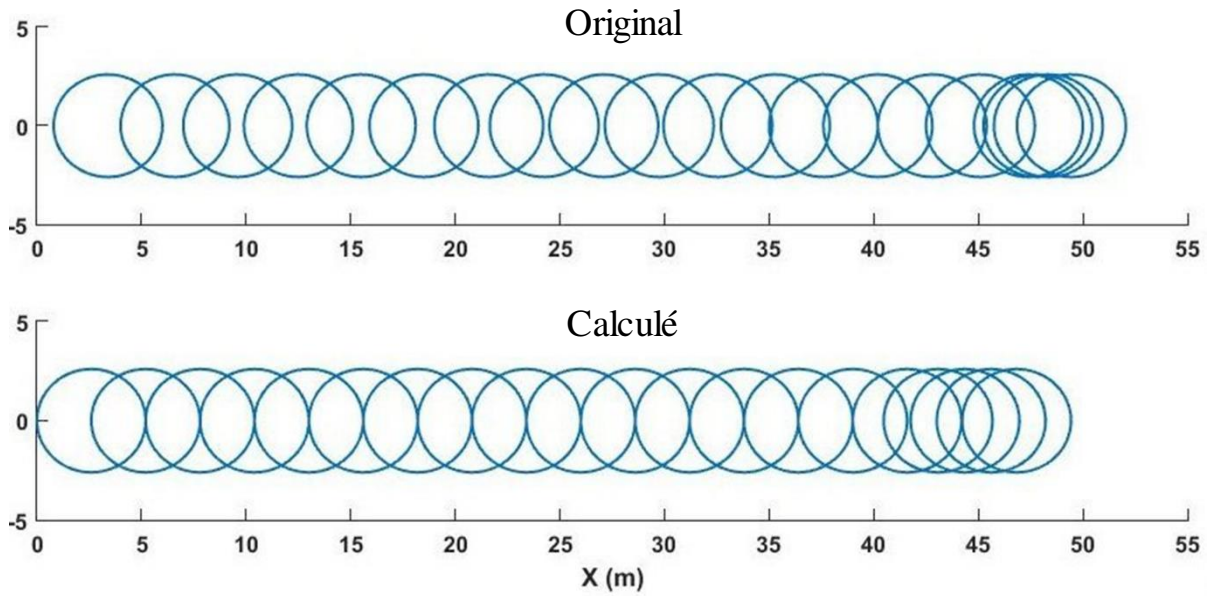


Figure II. 3 Comparaison d'espace avant et après l'étude pour pivot central 50m[13].

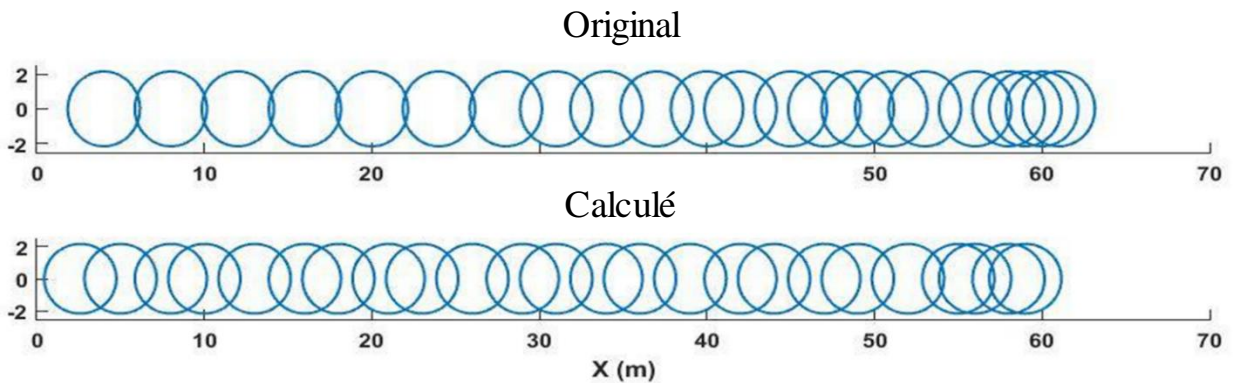


Figure II. 4 Comparaison d'espace avant et après l'étude pour pivot central 60m[13].

C'est à dire la distribution originale des asperseurs avant l'étude devrait être modifiable.

Avec des orifices fixes, tels que des buses en laiton ou plastique, la taille des gouttelettes diminue généralement à mesure que la pression augmente. En général, les gouttelettes plus petites sont distancées plus loin que les gouttelettes plus grosses. Les gouttes plus grosses (plus de masse) sont moins entraînées par l'air que les gouttelettes plus petites. La vitesse du vent joue un rôle important sur le mouvement des gouttes. Lors que la pressions est plus élevée (la vitesse de jet augmente la distance de projection va augmenter [19].

II.3 Coefficient d'uniformité:

L'un des facteurs les plus importants dans le fonctionnement des systèmes d'irrigation par aspersion est l'uniformité de la distribution de l'eau sur un champ. MERRIAM et KELLER [20] ont déclaré que l'évaluation du système d'irrigation par aspersion est nécessaire non seulement pour le système d'irrigation par pivot, mais pour tous les systèmes d'irrigation, tandis que SOLOMAN [21] a expliqué que le coefficient d'homogénéité du système d'irrigation par pivot, se situe entre 70 % à 90% ou plus, selon le climat dominant. Pendant la période d'évaluation. Alors que KELLER et BLIESNER [18] ont constaté que la distribution de l'eau peut être jugée à partir des valeurs d'uniformité du coefficient (CU), c'est-à-dire que lorsqu'elle est inférieure à 80%, la distribution de l'eau est inacceptable, et les chercheurs eux-mêmes ont ajouté [18] les valeurs de coefficient pour le coefficient des systèmes d'irrigation par pivot avec une basse pression, on suppose qu'elle se situe entre 85% et 90%.

Pour mesurer le degré de cohérence de la distribution de l'eau du système d'irrigation par pivot de la zone irriguée, un coefficient de cohérence doit être trouvé, qui est calculé à partir des mesures sur le terrain des profondeurs d'eau collectées dans les récipients de mesure placés à des distances régulières dans la zone affectée par la pluviométries. Les tests d'uniformité ont généralement nécessité de placer plusieurs collecteurs identiques dans une grille équidistante sur le terrain autour d'un arroseur. Le système d'irrigation est ensuite exploité pendant une période de temps (souvent une heure). La quantité d'eau captée dans chaque collecteur est mesurée et enregistrée et puis un coefficient d'uniformité est calculé [22].

Depuis de nombreuses années, de plusieurs équations concernant la mesure du coefficient de cohérence ont été trouvées et développées, et l'étude de CHRISTIANSEN [23] est l'une des premières études à répartir et réguler l'irrigation sur la surface du sol, comme dans l'équation suivante [24]:

$$Cu = 100 \left(1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{N\bar{x}} \right) \quad (\text{II.1})$$

Cu: Coefficient d'uniformité de Christiansen (%).

x_i : Montant du collecteur individuel.

\bar{x} : Montant moyen du collecteur.

N : Nombre de collecteurs.

Il est facile de faire des tests et des mesures de normalisation. Tout d'abord, une zone est choisie (protégée du vent) dont la surface est supérieure à la capacité de pluviométriques testée: Ensuite, Elle est arrosé pendant une heure ou deux heures, puis les hauteurs d'eau sont mesurées, et C_u est calculée à partir des meilleurs résultats qui obtenu en modifiant la distance entre les arroseurs. La normalisation est l'un des principaux critères de recherche d'une bonne asperseur.

Plusieurs chercheurs ont donné après CHRISTIANSEN, différentes expressions mathématiques de l'uniformité, on trouve, WILCOX et SWAILES en 1947, HART en 1961...etc.

Le C.T.G.R.E.F à lui aussi mis en évidence un coefficient d'uniformité dont la relation est [25] :

$$C_u = 100 \frac{h_0}{h_m} \cdot \frac{S_0}{S} \quad (\text{II.2})$$

h_0 : Précipitation minimale dans la maille;

h_m : Précipitation moyenne dans la maille;

S : Surface de la maille;

S_0 : Fraction de la superficie recevant au moins 80 % et au plus 120 % de la précipitation moyenne.

Pour un appareil donné équipé d'une buse donnée et fonctionnant à une pression déterminée, on considère généralement que l'arrosage est satisfaisant au plan de l'uniformité, quand pour une maille donnée :

C_u de CHRISTIANSEN > 85%

C_u de C.T.G.R.E.F > à 50% [25].

C_u est donné par MATEOS et COLL, HEERMANN et HEIN, et BURT [26-28] comme suit:

$$C_{UH} = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i \left| d_i - \frac{\sum_{i=1}^n d_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right|}{\sum_{i=1}^n d_i S_i} \right] \quad (\text{II.3})$$

d_i = [mm] profondeur d'eau appliquée au point;

S_i = [m] distance du point pivot au point que la profondeur est calculée.

CAMP et SADLER [29] ont expliqué que la distribution de l'eau sous les systèmes d'irrigation par aspersion est affectée par de nombreux facteurs, tels que la pression de fonctionnement, la distance entre les asperseurs, la hauteur par rapport à la surface de la terre, la température, la vitesse et la direction du vent [30].

TARJUELO [31] ont constaté que la taille et le type des asperseurs sont parmi les facteurs les plus influents sur l'uniformité d'arrosage et la distribution régulière de l'eau le long de pivot. Quant à AL-GHUBARI [32] il a montré que l'augmentation de la vitesse de rotation du système d'irrigation par pivot augmente les pertes par aspersion, diminuant ainsi l'uniformité avec l'augmentation de la vitesse de rotation.

ZHU [33] ont trouvé la possibilité d'obtenir une uniformité élevée entre les expansions de l'extrudeuse le long de bras de pivot, en réglant les régulateurs de pression pour chaque extrudeuse, tandis que HART [34] a indiqué que la détermination de la distance entre les asperseurs donne un chevauchement suffisant entre les circuits de pluviométriques pour obtenir une meilleure uniformité d'eau d'irrigation, compte tenu de la vitesse, la direction du vent et la hauteur de asperseurs par rapport à la surface du sol pour atteindre une profondeur d'eau égale et une distribution uniforme de la zone la plus grande à irriguer.

Des études ont suggéré que la réduction du rayon du cercle de pluviométriques et de la taille des gouttelettes d'eau quittant les asperseurs dans le système d'irrigation par pivot consiste à placer une ou plusieurs broches dans l'ouverture des asperseurs, pour atteindre différentes charges, afin pour s'adapter aux types de sols le long du bras de pivot [35, 36].

AL GHUBARI a indiqué que les différentes pressions de fonctionnement des asperseurs à pluviométriques, en raison du manque de disposition appropriée de celle-ci, avaient un impact négatif sur la distribution des profondeurs de l'eau sortant de ces asperseurs sur la longueur du bras de pivot, puis cela se reflète dans les valeurs du coefficient de cohérence et de la performance du système d'irrigation par pivot sur la zone irriguée [11, 19, 37].

II.4 Influence du vent sur l'arrosage :

Dans les systèmes d'irrigation par aspersion artisanaux, ils sont souvent conçus sans tenir compte des effets du vent, et si le vent est pris en compte, ce n'est que dans un sens très général. Contrairement aux systèmes d'irrigation modernes à pivot central, il prend en compte les effets du vent. Il a été démontré que le vent peut grandement affecter les performances des arroseurs. Si l'effet de l'amplitude et de la direction de la vitesse du vent n'est pas suffisamment pris en compte dans la conception d'un système d'irrigation par aspersion, les performances du système résultant peuvent être sous-optimales [22].

Les travaux de CHRISTIANSEN en 1942, VORIES et VON BERNUTH en 1986, SEGINER en 1991 et d'autres ont montré comment le modèle d'application d'un seul arroseur est déformé par le vent. Les effets généraux du vent sont illustrés à la figure(II. 5) [27]:

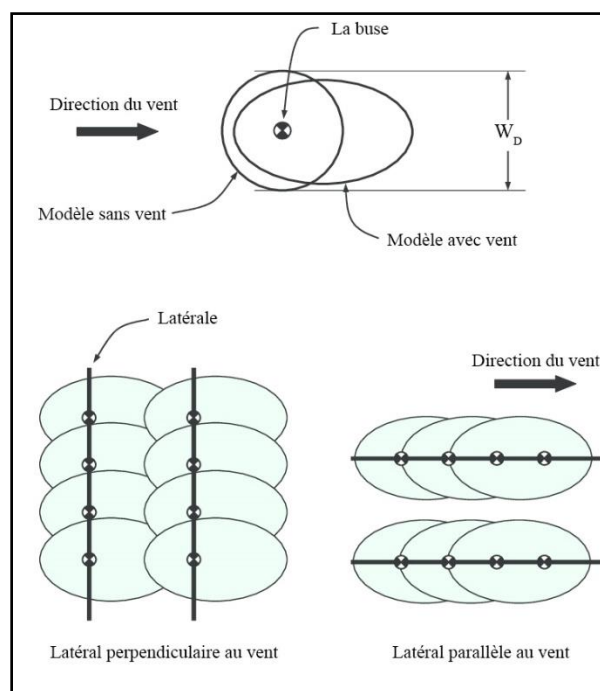


Figure II. 5 Effet du vent sur l'arrosage et l'application d'eau qui en résulte l'uniformité.

De nombreuses études sont effectuées par divers centres de recherche pour évaluer l'effet réel du vent sur la répartition de l'eau hors de la zone d'arrosage. La surface irriguée est déformée et réduite, en fonction de la vitesse et de la direction du vent. Des moyens de lutte et des améliorations technologiques sur le matériel sont aussi étudiés[38].

En fait, le facteur le plus important à prendre en compte dans l'évaluation des pertes est la dérive de l'eau par le vent hors de la zone d'arrosage. La surface irriguée est déformée et réduite, en fonction de la vitesse et de la direction du vent. On peut atteindre des pertes de plus de 40 %.

L'effet aggravant du vent est surtout sensible à partir d'une vitesse de plus de 16 km/h par la modification de la granulométrie des gouttes d'eau. La sensibilité au vent d'un asperseur est fonction:

- De la taille des gouttes : le transport par le vent est d'autant plus facile que les gouttes sont de taille réduite ;
- De la hauteur de l'asperseur et de la hauteur maximale atteinte par le jet (apogée) car la vitesse du vent croît avec l'altitude ;
- Du débit et de la forme du jet (éclatement).

Le vent constitue une des principales difficultés pour l'arrosage en détournant le jet des asperseurs et canons et en déportant une partie de l'eau à l'extérieur de la zone que l'on veut arroser [38].

La vitesse d'un vent, mesurée à l'aide d'un anémomètre, correspond à la vitesse moyenne sur une durée de dix minutes. On l'exprime généralement en km/h mais souvent en m/s en irrigation par aspersion. On utilise aussi l'échelle de Beaufort, imaginée en 1805 par l'amiral britannique Francis Beaufort. Il existe aussi une formule qui met en relation la vitesse du vent en km/h et l'échelle de Beaufort; le degré Beaufort est égal à l'arrondi à l'entier le plus proche de la relation:

$$\text{Degré Beaufort} \approx \sqrt[3]{\frac{V^2}{9}} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

V : vitesse du vent en km/h.

Le tableau (II. 1) présente les différentes façons de repérer la vitesse du vent. On note que la limite d'arrosage se situe en dessous de 4 Beaufort, même si au-delà de 5 m/s il faudrait déconseiller d'arroser pour les systèmes canon [38].

Échelle Beaufort	Terme descriptif	Vitesse limite km/h	Vitesse limite m/s	Observations
0	Calme	1	0,3	La fumée s'élève droit
1	Très légère brise	5	1,4	La fumée indique la direction du vent
2	Légère brise	11	3	Le vent est perçu au visage. Les feuilles bougent.
3	Petite brise	19	5,3	Petites branches agitées.
4	Jolie brise	28	7,8	Soulèvement déjà poussière. Les petites branches plient.
Arrêt d'arrosage				
5	Bonne brise	38	10,6	Les arbustes se balancent.
De 6 à 12 Beaufort, de 39 km/h à 118 km/h ...				

Tableau II. 1 Repérages de la vitesse du vent [38].

Un vent est repéré dans la direction d'où il vient (face au vent), selon une tradition universelle et ancienne.

Un vent qui souffle du nord est évalué à 0°. Les autres directions sont ensuite obtenues en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre, dans le plan vu de dessus. Ainsi, par exemple, un vent soufflant du sud-ouest, dirigé par conséquent vers le nord-est, correspond à une orientation faisant un angle de 225° par rapport à la référence 0° nord, il sera noté : 225°/N. C'est ainsi que les services météorologiques repèrent les vents sur les cartes géographiques.

À partir de ceci, pour des raisons de simplicité on repère sur les documents techniques, évoquant l'influence du vent, la direction du vent en plaçant arbitrairement le nord en haut de la feuille (notamment dans l'axe du canon) [38].

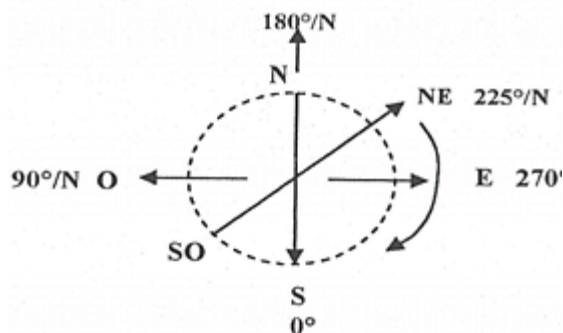


Figure II. 6 Repérage de la direction du vent

La portée au vent (PaV) (Figure II. 7) est la distance maximale que peut atteindre le jet de l'asperseur face au vent, la portée sous le vent (PsV) est la distance atteinte dans la direction du vent et la portée latérale (PIV) est celle atteinte dans la direction perpendiculaire au vent.

Par rapport à la portée sans vent (P), les portées au vent et latérale diminuent et la portée sous le vent augmente. Généralement l'augmentation de la portée sous le vent est plus faible que la diminution de la portée au vent. Tout ceci se traduit par une diminution de la surface arrosée.

Les réductions des portées contre le vent et latérale et l'augmentation de la portée sous le vent sont proportionnelles à la vitesse du vent [38].

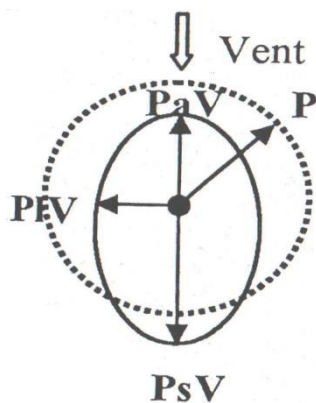


Figure II. 7 Schéma représentatif des quatre portées dans le vent sur le terrain

Pour expliquer les déformations de l'aire arrosée en conditions ventées, un modèle semi empirique (Richards et Weatherhead, 1993) propose que chaque goutte d'eau, quittant la buse, subit une déviation qui peut être considérée comme étant la résultante de deux composantes : la réduction de

portée notée RS pour « range shortening » et la dérive due au vent notée WD pour « wind driftit ». La figure (II. 8) représente d'une part le cas particulier où la trajectoire des gouttes est perpendiculaire à la direction du vent et d'autre part le cas général où cette trajectoire fait un angle θ avec cette direction. Dans les deux cas le repérage de l'impact d'une goutte sur le sol, vecteur OP' , est lié à celui de son impact sans vent, vecteur OP , selon la relation vectorielle: $OP' = OP + PR + RP'$, le module du vecteur PR étant la réduction de portée (RS) et celui du vecteur RP' étant la dérive due au vent (WD)[38].

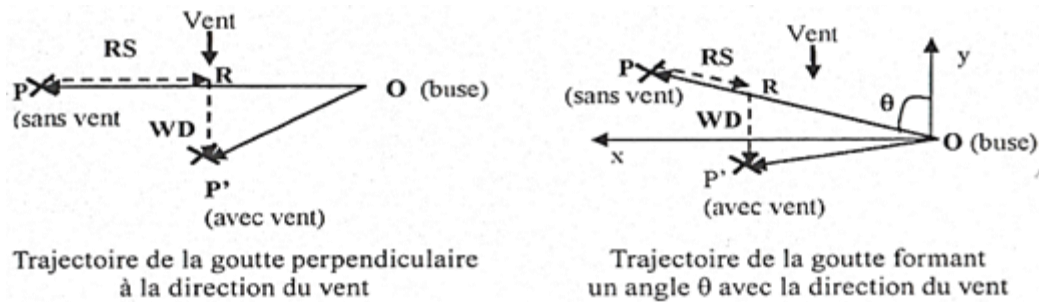


Figure II. 8 Repérage de l'impact au sol d'une goutte d'eau

Pour l'irrigation par couverture intégrale, les arroseurs rotatifs (sprinklers) sont le plus souvent montés en carré. Dans les régions ventées, on préférera disposition en rectangle. Mais la vitesse admissible du vent pour une bonne irrigation par asperseurs est de l'ordre de 9 km/h, bien qu'à partir de 5,4 km/h l'aire arrosée par l'asperseur soit déformée et réduite à 0,92 de la surface normale et à 9 km·h⁻¹ elle est encore plus déformée et réduite à 0,73. À 13 km·h⁻¹ les irrigations sont irrégulières. La surface arrosée est extrêmement déformée et réduite à 0,43 (Figure II. 9). Au-delà de 18 km·h⁻¹ (force 3 Beaufort), les irrigations sont impossibles. La couverture intégrale est plus sensible au vent que l'enrouleur qui a un débit de pression plus important[38].

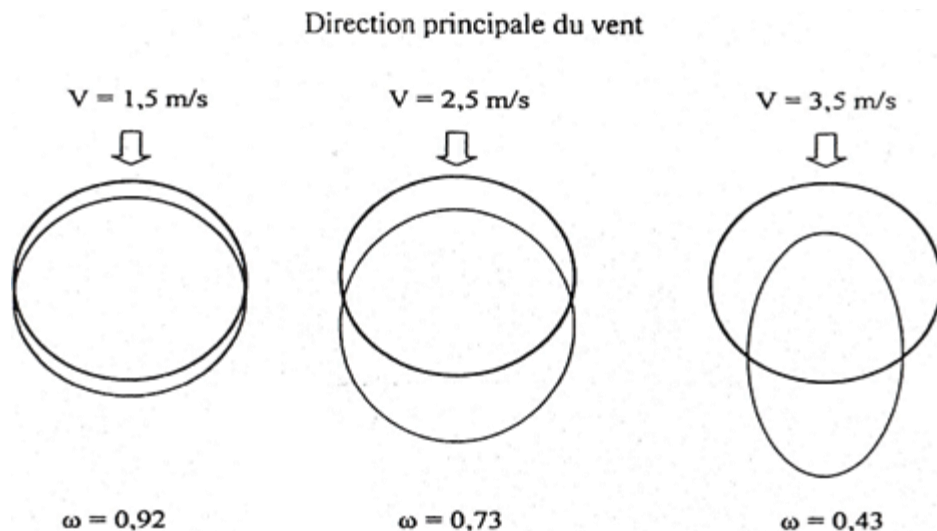


Figure II. 9 Déformation du panache de l'asperseur en fonction de la force du vent (Shull et Dylla, 1978) [38].

V = vitesse du vent

ω = rapport des surfaces arrosées avec ou sans vent

À partir d'une série d'essais, Shull et al. (1976) ont dégagé une équation de régression permettant de calculer les écartements correspondant à un coefficient d'uniformité (Christiansens, 1942) de 85 %. L'équation est de la forme :

$$E = 52.42 - 6.48V + 0.0453P^{-1/2} \quad (\text{II.5})$$

Où: E = la largeur maximale de la bande pour le coefficient d'uniformité de 85% (en m);

V = la vitesse moyenne du vent à une altitude de 4 m (en m/s) ;

e = la direction du vent par rapport à l'axe d'avancement du canon (en degrés);

P = la pression mesurée au canon (en Pa).

Le coefficient de régression des essais était de 0,96. De cette équation on déduit que plus la vitesse du vent croît, plus on doit réduire l'écartement.

En irrigation par rampes pivotantes ou frontales, l'effet du vent est légèrement moindre sur la répartition de l'eau à la parcelle. Cependant, l'évaporation immédiate est élevée du fait de la finesse

des jets d'eau des arroseurs. Pour limiter cet effet évaporant du vent on peut utiliser des cannes de descente permettant d'amener l'asperseur au niveau de la végétation, dans les couches d'air les moins perturbées par le vent (à environ 1,80 m du sol) De même, le fonctionnement des buses à une faible pression (1 à 2 bars) où l'utilisation de buses de plus gros diamètre permet de répandre l'eau sur une faible largeur et limite un trop fort éclatement du jet au sortir de la buse. Les pertes sont limitées [38].

ROVELO et ROYCE [39] et d'autres ont fait une expérience montrant l'effet du vent sur l'arrosage. La figure (II. 10) montre des exemples illustratifs des modèles de distribution d'eau individuels mesurés à 103 kPa avec la buse N12 (figure II. 10 (a, c)) et la buse N44 (figure II. 10 (b, d)) dans des conditions calmes et venteuses. Le taux d'application d'eau (mm/h) est indiqué en échelle de gris pour chaque expérience (notez que la couleur de l'échelle est différente entre les tailles de buse). La dose d'application maximale mesurée sur la buse N12 était de 6,4 mm/h et 3,3 mm/h pour des conditions calmes et venteuses, respectivement. Alors que l'irrigation maximale mesurée sur le N44 était de 41 mm/h et 25 mm/h pour des conditions calmes et venteuses, respectivement.

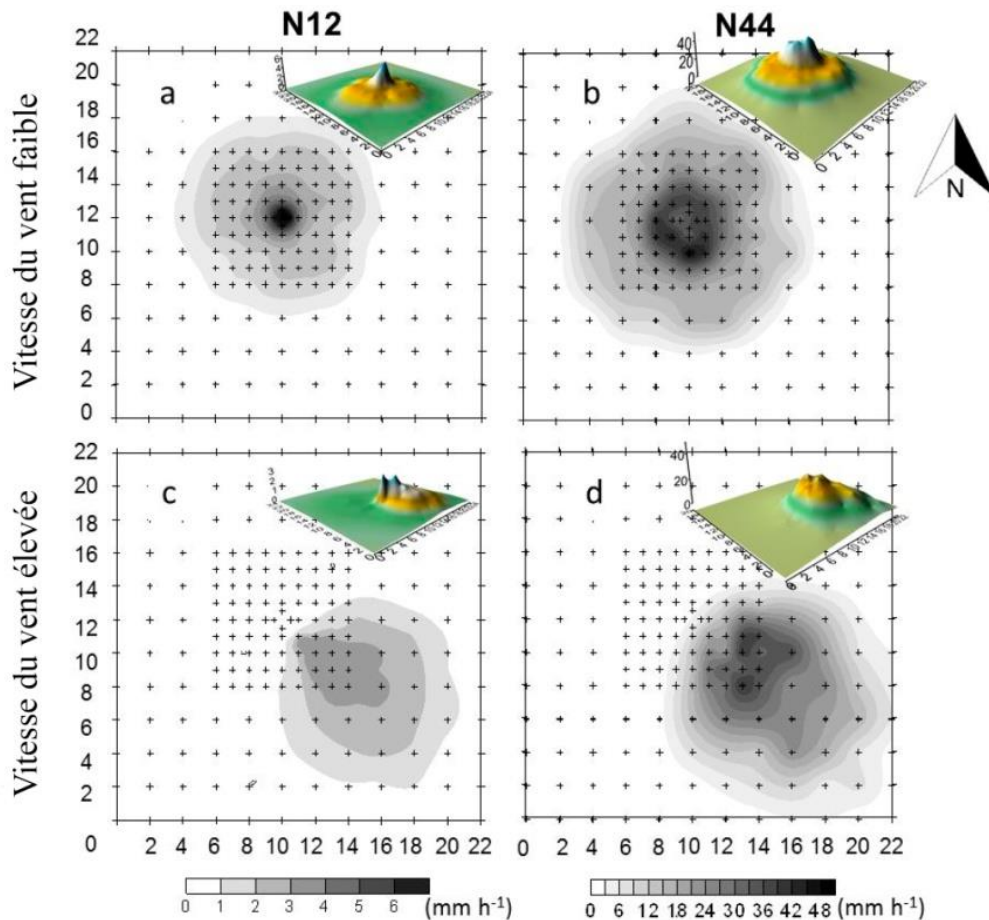


Figure II. 10 Distribution d'eau mesurée pour des conditions calmes (a-b) et venteuses (c-d) [39].

Ces différences sur l'irrigation entre les deux intensités de vitesse du vent pourraient être dues aux variations de la vitesse du vent et de la direction du vent qui faussent le modèle de pluviométrie. De plus, les pertes par évaporation dues au vent et à la dérive (non évaluées dans ce travail) et à la variance d'échantillonnage en raison de la faible densité des pluviomètres aux mesures avec des vitesses de vent élevées modifient les taux d'application maximaux. Sous une faible vitesse du vent, le diamètre mouillé par les tailles de buses N12 et N44 atteint respectivement 14 m et 18 m. Les expériences à faible vitesse du vent (figure (II. 10) (a-b)) ont été réalisées à 1 m/s, l'expérience à haute vitesse du vent pour la buse N12 était 6 m/s.

DIO SEGINER et MORDEKAI KOSTRINSKY ont fait une relation entre la quantité d'eau perdue et l'asperseur et la surface du sol, et les différents facteurs météorologiques. Ils ont trouvé que le seul effet du vent était la dispersion du modèle de distribution. Ils trouvent que de par la dispersion de la quantité d'eau d'irrigation par aspersion sous l'effet du vent, le centre de l'aire mouillée se voit

déplacé de l'asperseur à un autre point, proportionnellement à la vitesse du vent suivant une régression linéaire de la forme [25]:

$$D = KV \quad (\text{II.5})$$

D : Déplacement du centre exprimé en (m);

V : Etant la vitesse exprimée en (m/s);

K : Une constante.

L'augmentation de la traînée résultant des vitesses de vent élevées provoque le déplacement des gouttelettes par le vent. SEGNER en 1991 ont montré que la distribution pouvait être simulée si le coefficient de traînée a été adéquatement décrit. La formulation qu'ils ont utilisée pour la traînée le coefficient était sensible au type d'arroseeur utilisé. L'ajustement du coefficient de traînée nécessite des mesures en extérieur pour une précision acceptable. Le coefficient d'uniformité était assez sensible à l'ajustement apporté au coefficient de traînée. HAN en 1994 ont développé un modèle mathématique des effets du vent sur la distribution sur une jambe. Ils ont utilisé une ellipse pour décrire l'effet du vent sur la forme horizontale du modèle de distribution et les modèles de forme à travers quatre sections principales du modèle pour prédire la profondeur d'application. Ils ont également effectué des tests de nombreuses combinaisons de dispositifs d'arrosage, de types de buses, de pressions de fonctionnement et vitesses du vent. Bien que leur modèle soit plus empirique que les travaux de SEGNER en 1991, il fournit un moyen de prédire la distribution tridimensionnelle de l'eau à propos d'un arroseur par temps venteux [27].

II.5 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude de recherche bibliographique sur certaines des propriétés et des choses qui affectent irrigation par centre pivot. Où nous avons constaté que la configuration des asperseurs et l'effet du vent sur l'irrigation, la plus grande influence sur le facteur d'uniformité (CU) et comme mentionné précédemment est très importante pour obtenir un meilleur rendement des cultures. Nous allons nous concentrer sur l'étude de l'influence du vent sur l'arrosage dans un asperseur par centre pivot type « pivot artisanal ».

Chapitre III

Etude expérimentale

III.1 Introduction :

La performance des systèmes d'irrigation par aspersion est fortement influencée par la direction et la vitesse du vent. Le vent en peut considérer permet les principaux modificateurs qui réduit le diamètre de projection et modifie les profils des arroseurs. La vitesse du vent ainsi que l'espacement des asperseurs jouer un rôle majeur sur l'uniformité des systèmes d'irrigation par aspersion. Cependant, au cours des plusieurs études sur les aptitudes requises pour augmenter l'uniformité d'arrosage des systèmes d'irrigation le changement de vitesse et la direction du vent sont très Mentionné. Un autre phénomène associé à l'état des vents est les «morceaux de vent», qui se produisent lorsqu'il y a une grande différence de vitesse et / ou de direction du vent entre les groupes d'irrigation adjacents. Cela crée des zones sèches temporaires adjacentes aux latéraux des asperseurs du côté du vent.

Dans ce chapitre, il y aura une étude de terrain sur un pivot d'irrigation artisanal et sur un asperseur, en réalisant plusieurs expériences sur le même pivot d'irrigation afin de clarifier l'importance de l'effet du vent sur l'uniformité de l'irrigation.

III.2 Description de la zone d'étude :

Le centre de pivot dans lequel nous avons mené notre étude est située auprès de la ville de Debila dans la Wilaya d'El Oued situé dans le Sahara algérien. L'axe routier est la route nationale N°16, à 20 kilomètres au nord d'El Oued vers Tébessa, et la frontière Tunisienne par la route nationale N°48, avec les coordonnées GPS suivantes [33°29'43.7"N 6°57'38.1"E]. Cette parcelle forme une zone circulaire d'environ 1 hectare, et la figure suivante représente la zone d'étude :

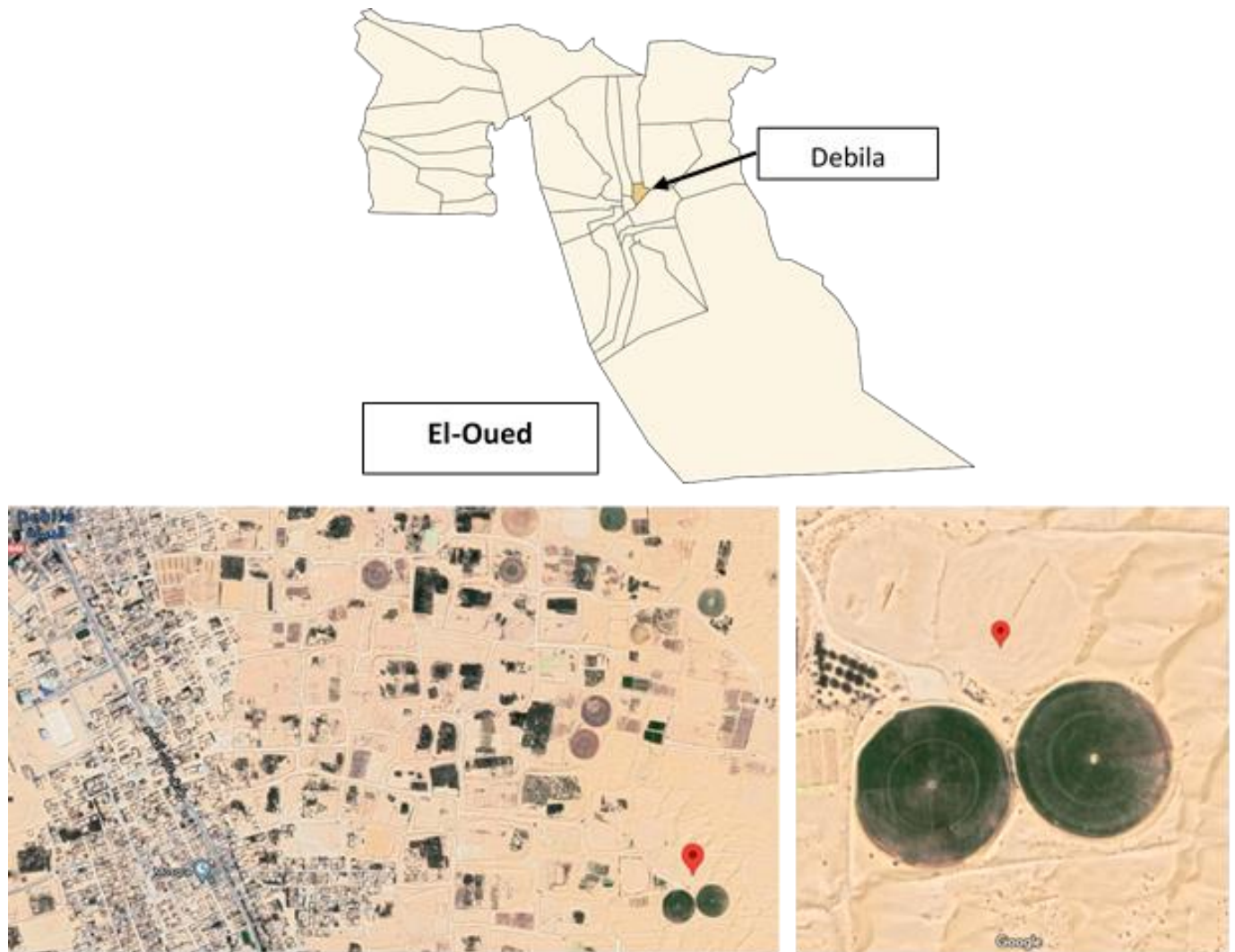


Figure III. 1 Situation géographique de pivot d'irrigation qui étudié.

La zone de Debila a un climat désertique chaud, avec d'été très chauds et d'hiver doux. Les pluviométriques sont légères et sporadiques, et l'été est particulièrement sec. Ci-dessous le graphique représente les changements météorologiques de la région depuis le début de cette année, selon le site web (www.meteoblue.com). Ci-dessus, nous présentons deux diagrammes :

- Les variations météorologiques pour une année.
- Les variations pour la période de nos essais.

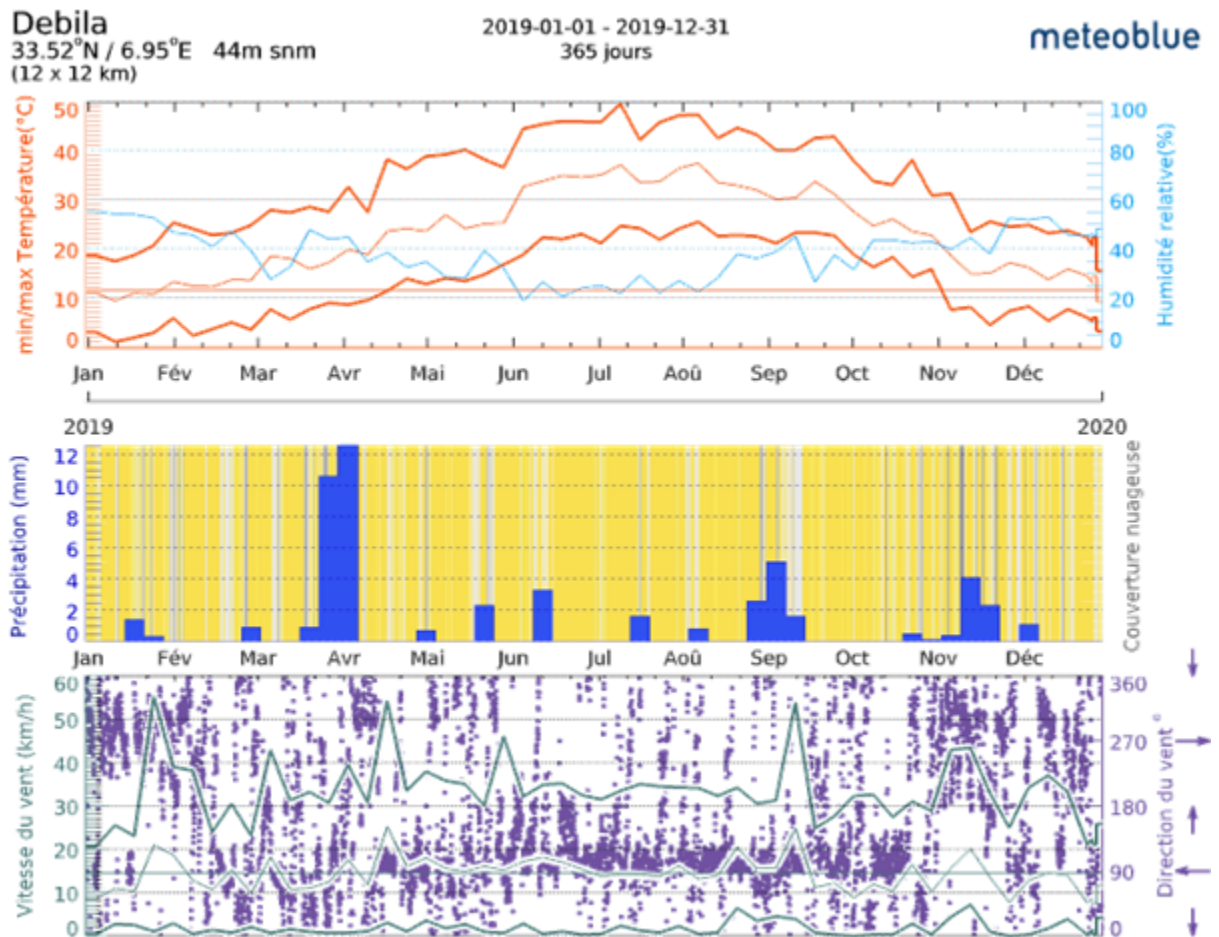


Figure III. 2 Les changements météorologiques de la région de Debila 2019.

La zone de Debila est connue pour sa nature agricole diversifiée, y compris la production agricole et animale. Parmi les produits agricoles: les dattes, les pommes de terre, les tomates, les poivrons, la laitue, la pastèque, les pommes, les oignons, l'ail, le blé et les olives. Pour les produits animaux: le Poulet et le mouton

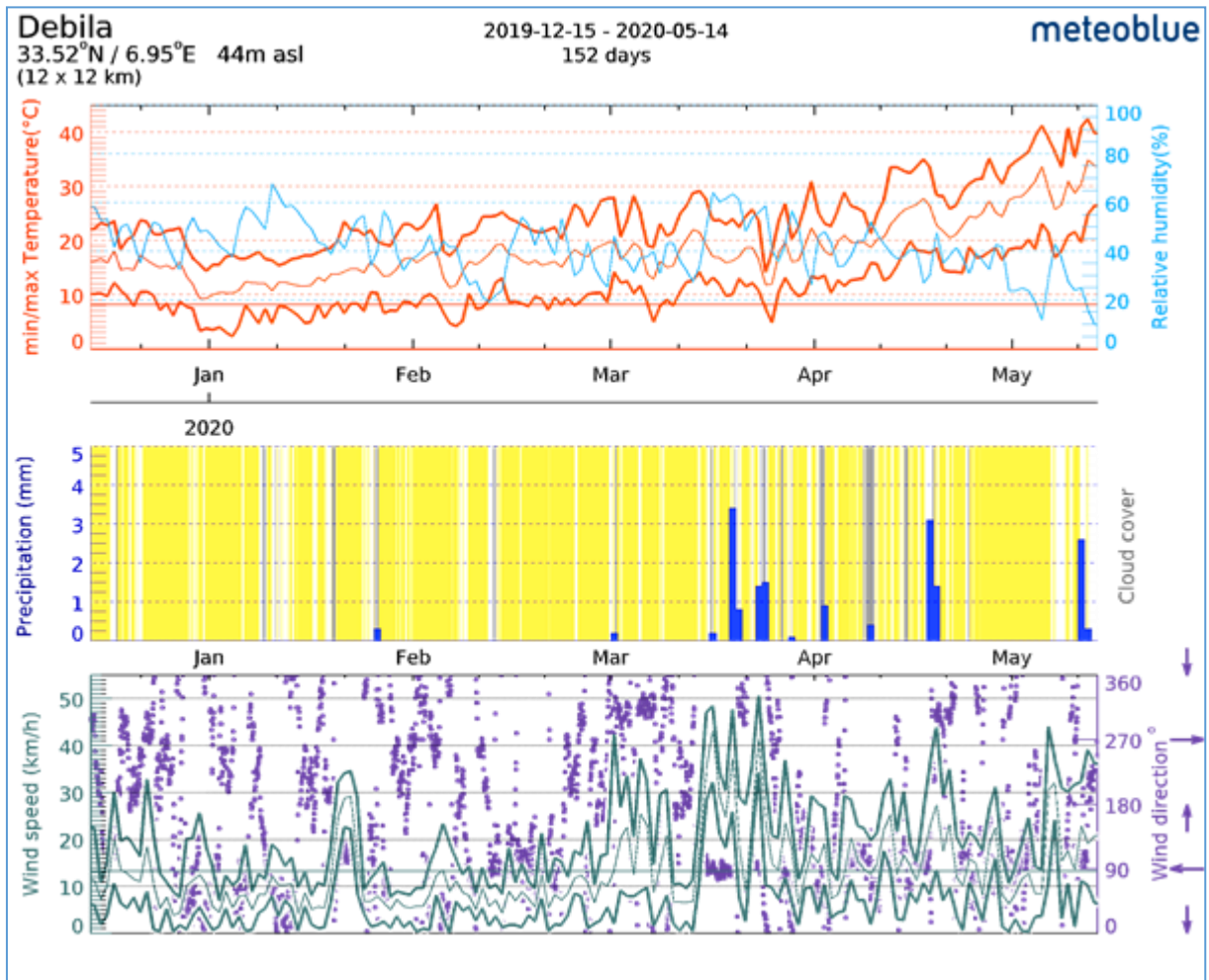


Figure III. 3 Les changements météorologiques de la région de Debila pendant les expériences.

III.3 Influence du vent sur l'arrosage dans un pivot

Dans cette partie, plusieurs expériences seront menées pour connaître l'effet du vent sur l'arrosage dans le pivot étudié

III.3.1 Matériels :

L'utilisation de l'appareil topographique (marque leica705) est pour compenser l'erreur d'inclinaison dans toutes les directions dans les expériences lors de l'emplacement des lignes des collecteurs d'eau. Le bon positionnement des collecteurs permet d'obtenir des résultats très précis. La figure (III.3) représente cet appareil topographique avec ses accessoires.



Figure III. 4 Présentation de l'appareil topographique Leica705.

Dans cette étude, pour la mesure de vitesse et de la direction du vent on utilise (Station météo pro) marque (Otio) constituée par : un capteur extérieur sans fil dispose d'une sonde de température, d'une sonde d'humidité, d'un collecteur d'eau de pluie pour mesurer les pluviométrie, d'un anémomètre et d'une girouette.



Figure III. 5 Présentation de l'appareil (Station météo pro).

Un réceptacle de 8,5 cm de diamètre et 15 cm de longueur dans lequel de l'eau se dépose dans le collecteur (réceptacle) lors le mouvement du system. Le choix de ce type de collecteur est pour conforme aux normes internationale de standardisation ISO [40], voir la figure suivant:



Figure III. 6 Collecteurs d'eau conforme à la norme ISO.

À l'aide d'un tube gradué, la quantité de pluviométriques a été mesurée, la valeur maximale mesurable étant de 250 ml, et la figure suivante représente le model de tube gradué utilisé.

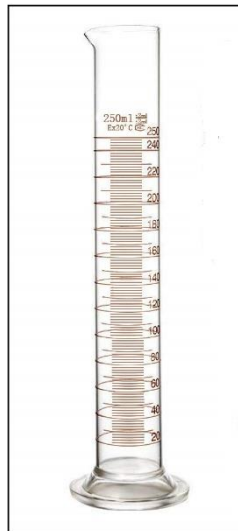


Figure III. 7 Le tube gradué utilisé pour mesure les valeurs de pluviométrique.

III.3.2 Méthode:

À l'aide de l'appareil topographique, la zone étudiée (le cercle de pivot) a été délimitée, puis les points de collecteurs ont été déterminés. Après cela, un réseau de fils (annexe A) a été étendu sur les points désignés pour marquer les capteurs dans une division ($3 \times 3 \text{ m}^2$) sur chaque point dans une zone de diamètre (48 m) comme indiqué sur la figure suivante :

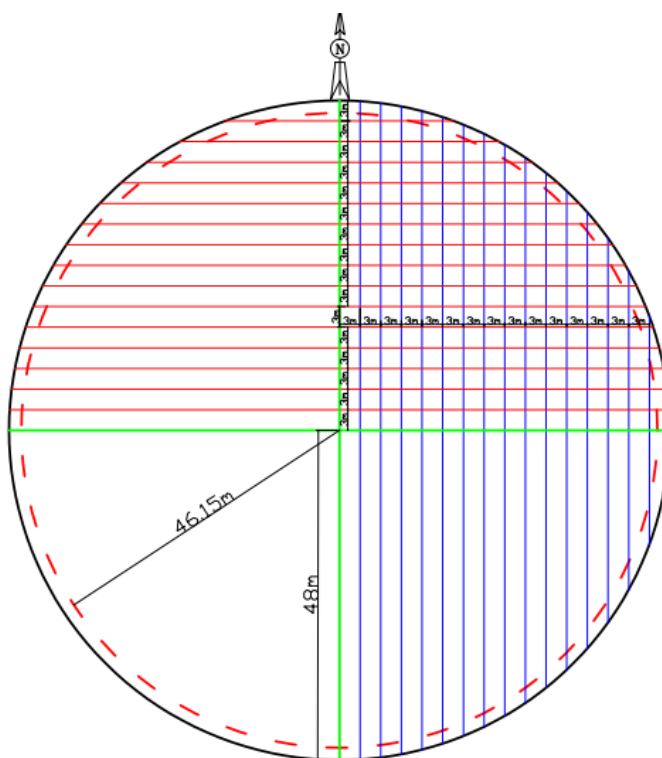


Figure III. 8 Division du cercle de pivot faite à l'aide de l'appareil topographique.

Le jour approprié pour l'expérience est choisi en observant les conditions météorologiques sur le site web (www.windy.com), après avoir déterminé ce jour approprié, les collecteurs sont placés aux endroits spécifiés, puis l'anémomètre est installé après la vérification de bon fonctionnement de pivot d'irrigation.

Le pivot d'irrigation est mis en marche et les informations météorologiques sont prises toutes les 10 minutes, Le pivot est arrêté après une rotation complète puis on mesure toutes les valeurs des collecteurs (808 valeurs) mesurées à travers le tube gradué (Annexe C)

III.3.3 Résultats :

Les expériences ont été réalisées pendant la période du 18/03/2020 au 30/05/2020, la durée d'une rotation de ce pivot était de 200 minutes, et il y avait quelques difficultés, qui est le grand nombre de collecteurs (808) qui ont besoin d'efforts et de temps pour les mettre en place, Ainsi la prise des valeurs des collecteurs ce qui prend plus d'une heure (2 heures jusqu'à 7 heures la durée d'environ de chaque expérience).

Les changements météorologiques ont été enregistrés au cours des cinq expériences toutes les 10 minutes, représentés en température (T), pression (P), humidité (H) et vitesse (V) du vent, comme indiqué dans les courbes suivantes:

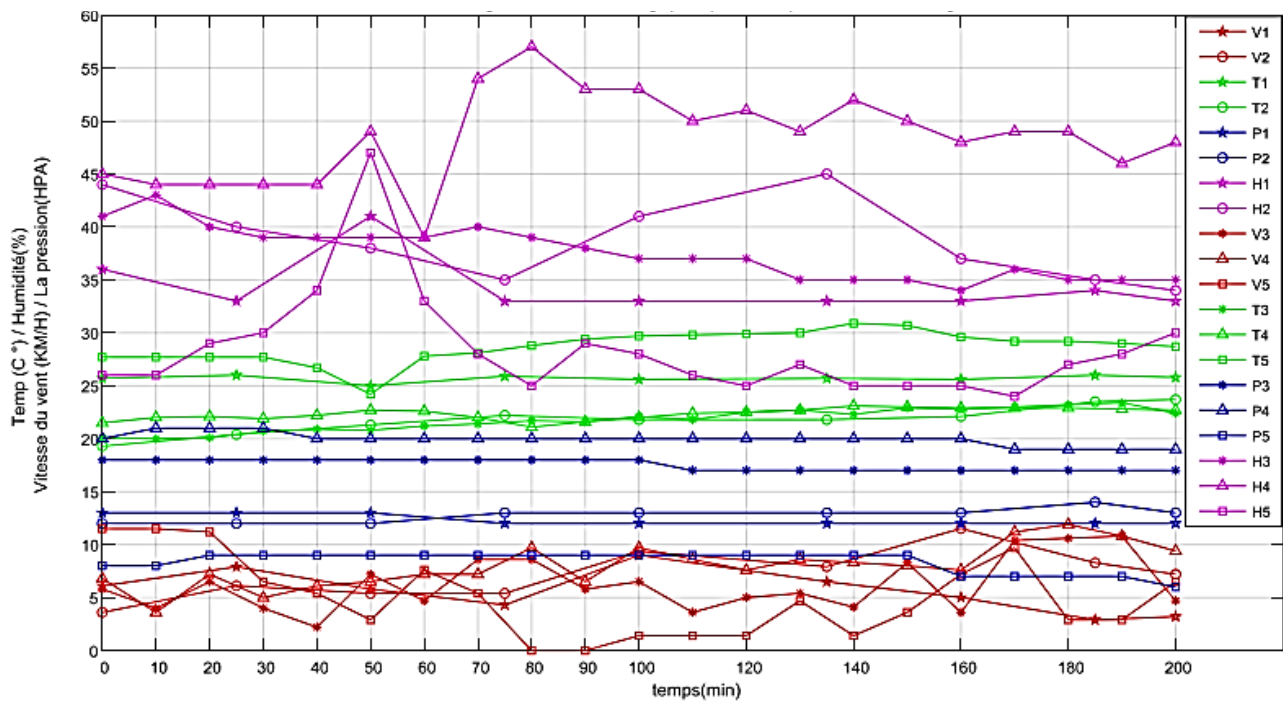


Figure III. 9 Les changements météorologiques au cours des cinq expériences.

En utilisant le programme Matlab, les valeurs de chaque expérience ont été entrées dans l'outil (Curve Fitting) de Matlab et ont obtenus les résultats sous de suite (voir la figure III.9). On observe des grandes perturbations dans La distribution de l'eau (l'uniformité d'arrosage) ainsi que la grande quantité d'eau est concentrée dans le milieu avec d'autres perturbations causées par le vent. (Voir la figure (III.9 et 10)).

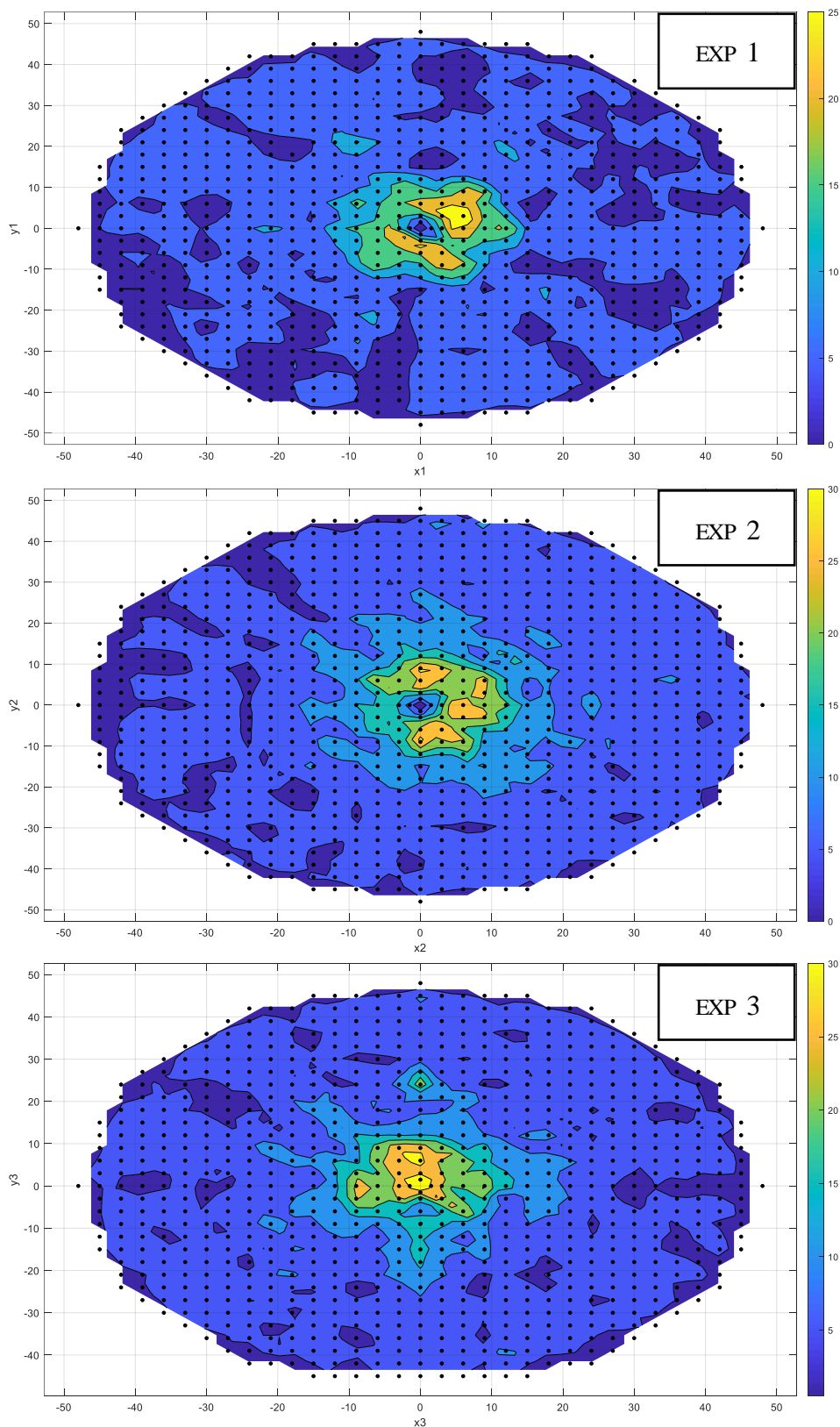


Figure III. 10 Présentation des données pluviométriques (mm) dans les expériences 1.2.3

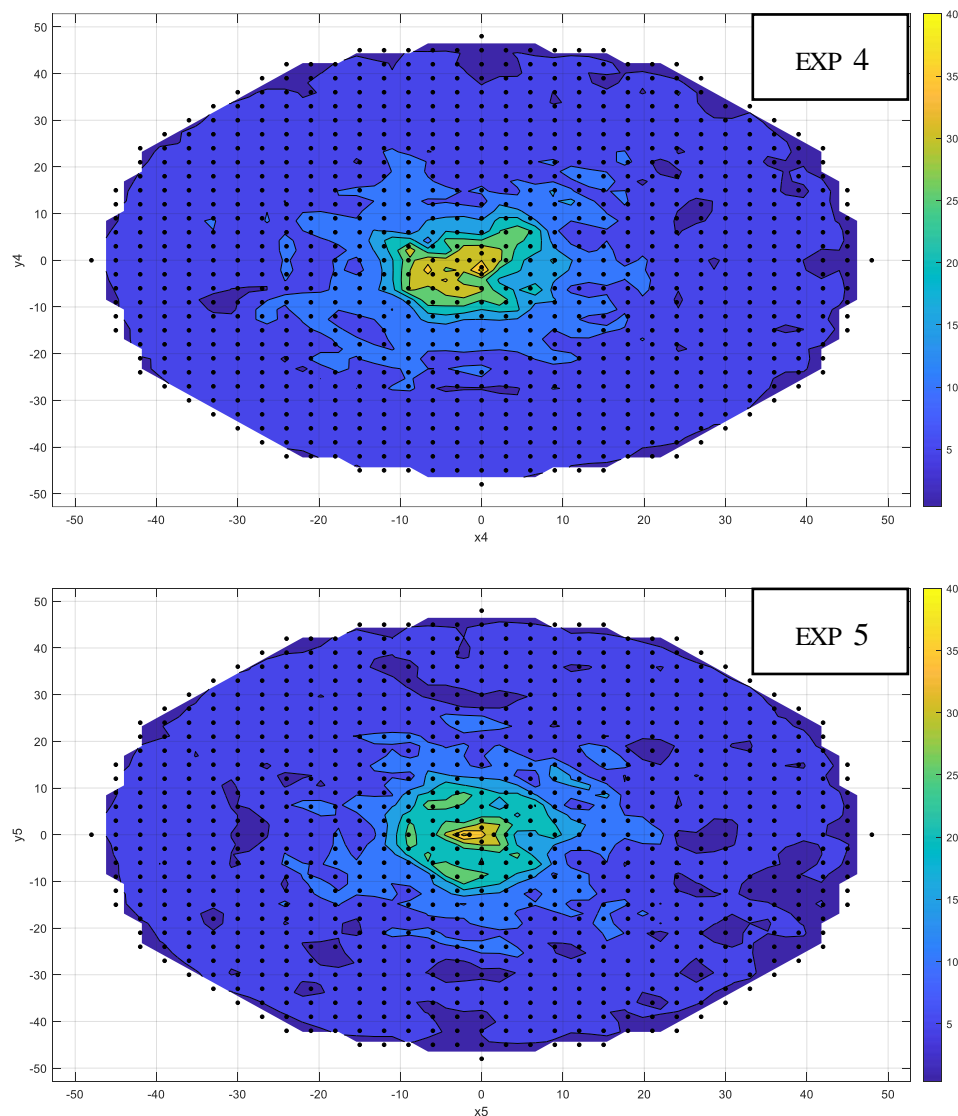


Figure III. 11 Présentation des données pluviométriques (mm) dans les expériences 4.5

Dans les cinq expériences, quatre lignes ont été choisies $[0^\circ(\text{E}), 90^\circ(\text{N}), 180^\circ(\text{W}), 270^\circ(\text{S})]$ pour la comparaison entre les expériences sur les mêmes lignes et dans les mêmes conditions avec seulement le changement de vitesse et de direction du vent. De grands changements des valeurs de distribution ont été observés comme indiqué dans les courbes suivantes :

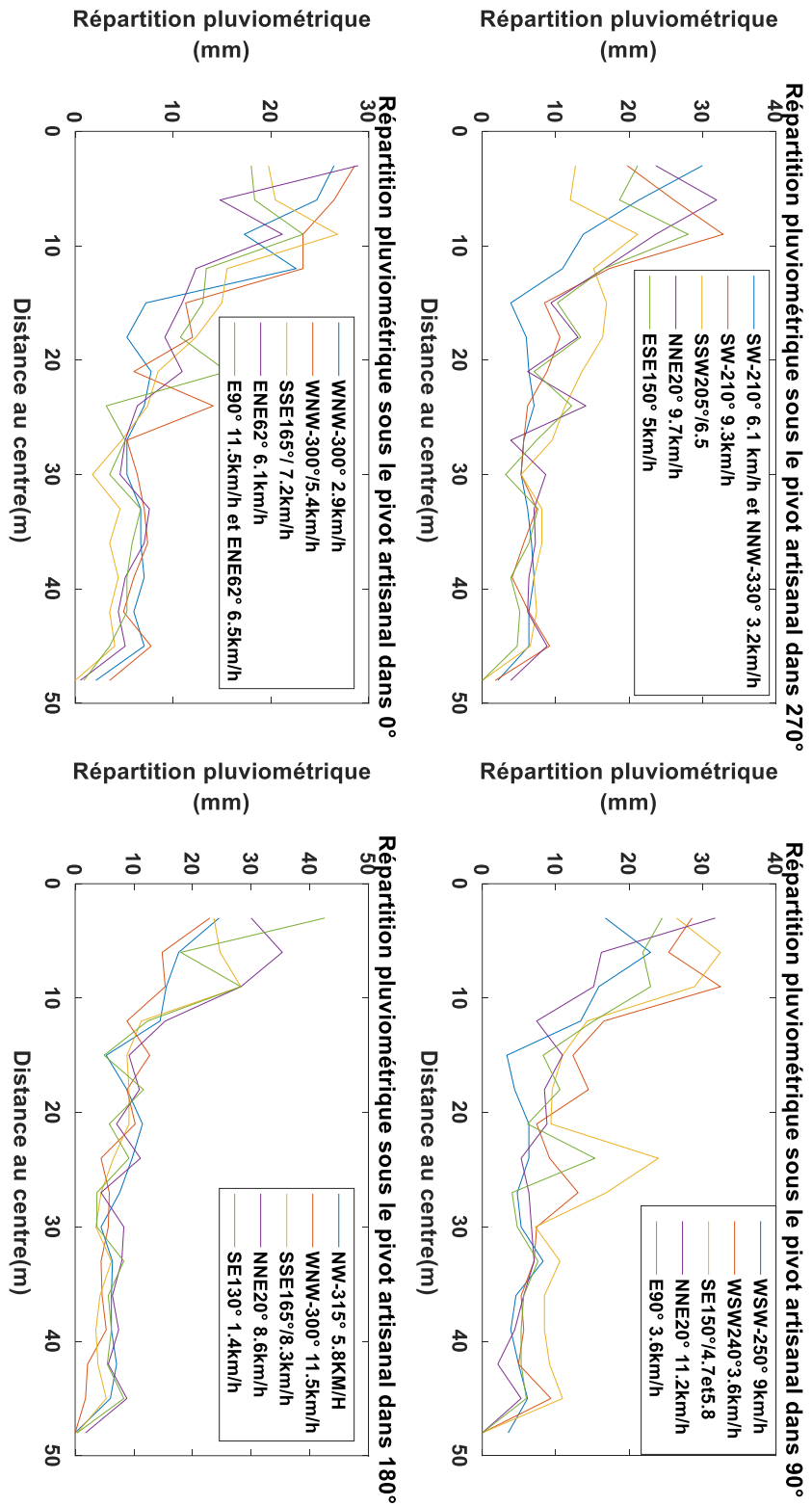


Figure III. 12 Répartition d'eau dans les lignes [0°(E), 90°(N), 180°(W), 270°(S)]

En d'autre part, les lignes angulaires sont sélectionnées [0° (E), 45° (NE), 90° (N), 135° (NW), 180° (W), 225° (WS), 270° (S), 315° (SE)] malgré dans les mêmes conditions avec un seul changement de vitesse et de direction du vent, une grande différence a été observée dans la distribution de l'eau. (Voir la figure ci-dessous).

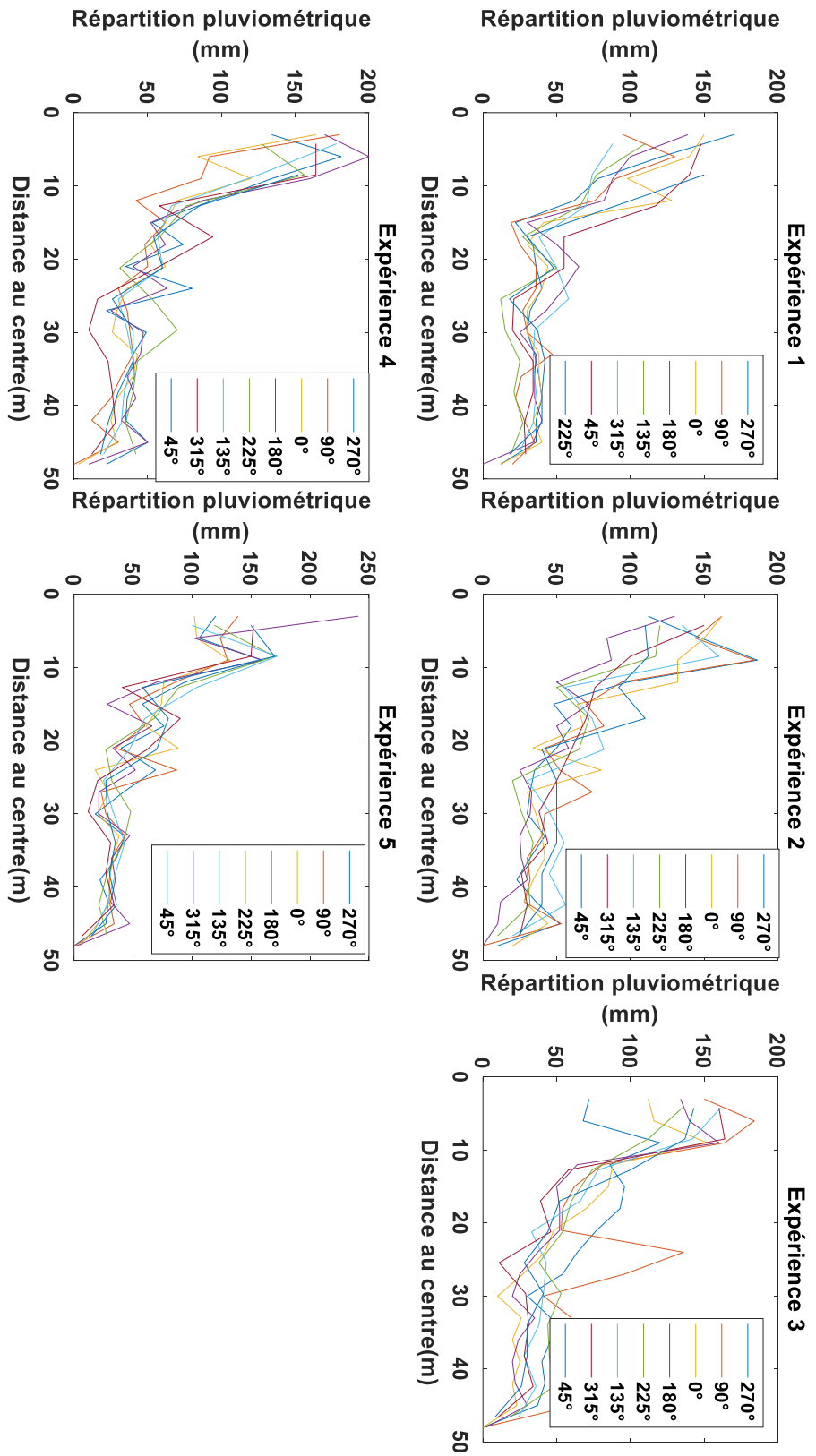


Figure III. 13 Répartition d'eau dans les lignes [0° 45° 90° 135° 180° 225° 270° 315°].

III.3.4 Discussion :

Six régions ont été déterminées (A-B-C-D-E-F) dans le pivot d'irrigation pour simplifier l'étude

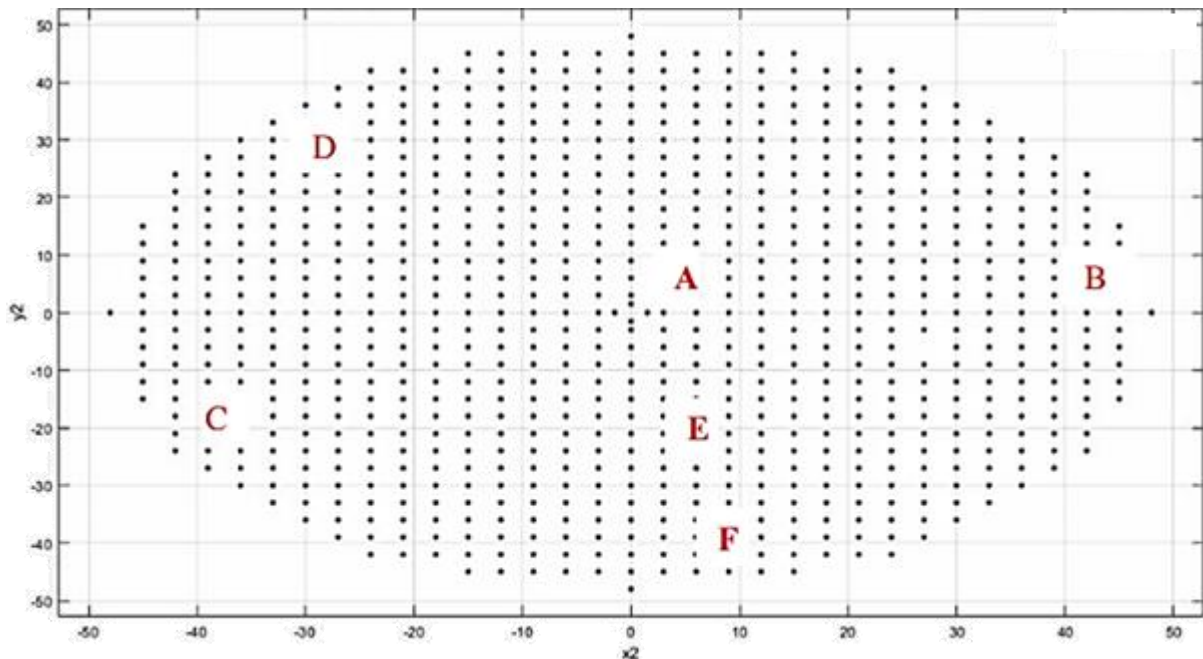


Figure III. 14 Présentation des zones sélectionnées.

En position (A), la pluviométrie est maximale par rapport aux autres zones irriguées, à cause de la conception des asperseurs qui n'est pas conforme aux normes internationales [13], où la quantité de pluviométrie varie entre 14 et 31mm, dans la quatrième expérience (Figure III. 11), On observe que la quantité de pluviométrie s'est éloignée de la position (A) à cause de la vitesse du vent (12 km/h) et sa direction (nord-est).

En position (B), la pluviométrie est globalement faible, à cause de la conception conventionnelle des asperseurs, où la quantité de pluviométrie varie de 1.7 à 5 mm, dans la cinquième expérience (Figure III. 11), la quantité de pluviométrie était d'environ 5 ml à cause de la vitesse du vent (12 km/h) et sa direction nord-est.

Les positions (C D F) sont généralement les mêmes que la position (B) (sans l'influence du vent) mais il y a une différence à cause de la vitesse et la direction du vent, dans la première expérience (Figure III. 10) la pluviométrie était très faible, où la vitesse du vent était 8 km/h et sa direction sud-est

La position (E), le pluviométrique est généralement moyen où la quantité de pluviométrique varie de 5 à 14 mm, certains changements sont observés dans la quantité de pluviométrique dans les cinq expériences (Figure III. 11) de la position (E) à cause de la vitesse et de la direction du vent.

Les figures (III. 12) montrent que le changement de pluviométrique dans les 15 premiers mètres est très important par rapport aux 15 derniers mètres du centre de pivot à cause de l'influence du vent, parce que la pluviométrique dans les 15 premiers mètres sont des gouttelettes plus petites que dans 15 derniers mètres elles sont plus grandes, le vent influence sur les gouttelettes plus petites de poids moindre, par exemple la courbe violette dans la ligne de l'angle 90° où la vitesse de vent était 11.2 km/h et sa direction était nord.

Les figures (III. 12) montrent que la direction du vent, lorsqu'elle est parallèle au bras de pivot, influence sur la pluviométrique car elle forme un déplacement de la position de pluviométrique, comme exemple la courbe violette dans la ligne de l'angle 90° .

D'après les figures (III. 12), on remarque qu'il y a des zones où la valeur des pluviométriques est supérieure à l'état par défaut, parce que le vent transfère les gouttelettes d'une région à une autre, par exemple la courbe orange dans la ligne de l'angle 90° .

Si ne prend pas le vent en considération et puisque c'est la même expérience, probablement d'avoir la rotation de pivot dans n'importe quelle position avec la même pluviométrique, mais avec le vent l'influence apparaît par des changements majeurs sur la pluviométriques dans les zones qui ont la même distance du centre.

En utilisant la relation de Christiansen (II.3) pour calculer le coefficient d'uniformité. Ce coefficient a été calculé dans les cinq expériences, et les tableaux suivants montrent les changements du coefficient d'uniformité avec les changements de vitesse et de direction du vent.

Expérience	Ligne 0°(E)			Ligne 90°(N)		
	% CUH	Vitesse du vent	Direction du vent	% CUH	Vitesse du vent	Direction du vent
1	69,92	2.9km/h	WNW-300°	67,39	9km/h	WSW-250°
2	57,44	5.4km/h	WNW-300°	60,07	7.2km/h	WNW-300°
3	41,06	7.2km/h	SSE 165°	65,03	5,8	SE150°
4	63,99	6.1km/h	ENE 62°	66,67	11.2km/h	NNE20°
5	50,08	11.5km/h	E 90°	57,50	3.6km/h	E90°

Tableau III. 1 Les changements du CUH avec les variations de vitesse et de direction du vent pour les lignes (0°) et (90°).

Expérience	Ligne 180°(W)			Ligne 270°(S)		
	% CUH	Vitesse du vent	Direction du vent	% CUH	Vitesse du vent	Direction du vent
1	70,73	5.8km/h	NW 304°	79,00	6.1 km/h	SW-210°
2	53,86	11.5km/h	WNW-300°	61,47	9.3km/h	SW-210°
3	54,15	8.3km/h	SSE 165°	67,77	6,5	SSW 205°
4	66,32	8.6km/h	NNE 20°	63,66	9.7km/h	NNE 20°
5	60,69	1.4km/h	SE 130°	55,04	5km/h	ESE 150°

Tableau III. 2 Les changements du CUH avec les variations de vitesse et de direction du vent pour les lignes (180°) et (270°).

À partir de ces tableaux, il a été constaté que le coefficient d'uniformité était affecté par la vitesse et la direction du vent [41], Par exemple, dans la première expérience, ligne (270°) la valeur de CUH était de 79 %, et dans la ligne (0°) elle est devenue 67 % dans les mêmes conditions avec un changement de vitesse et de direction du vent, c'est-à-dire que le CUH est affectée par la vitesse et la direction du vent.

III.4 Influence du vent sur l'arrosage dans un asperseur :

Dans cette partie, plusieurs expériences seront menées pour connaître l'effet du vent sur l'arrosage dans un seul asperseur

III.4.1 Méthode :

En utilisant les mêmes matériels des expériences précédentes dans cette partie une zone de 6 mètres carrés autour d'un asperseur a été choisie, elle a été divisée en 0,5x0,5 mètres carrés pour placer les collecteurs (annexe B), ils ont été mis en place, l'anémomètre a été placée, puis le pivot d'irrigation a été allumé sans rotation pendant 15 minutes et les informations météorologiques ont été enregistrées toutes les 5 minutes. À la fin, toutes les valeurs des collecteurs sont mesurées (169 valeurs) à l'aide d'un tube gradué.

III.4.2 Résultats :

Pendant la période du (16/05/2020) au (22/05/2020), les six expériences ont été réalisées sur un seul asperseur, cette asperseur a été choisi pour faciliter l'étude sur le terrain, sachant que le cercle d'arrosage est grand au premier arroseur puis diminue au dernier arroseur, et parce que le dernier asperseur se trouve dans la faible zone de pluviométrie est affectée par la vitesse et la direction du vent selon les expériences précédentes, et les figures suivantes représentent les changements de pluviométriques pour chaque expérience, par l'utilisation de l'outil (Curve Fitting) du logiciel Matlab :

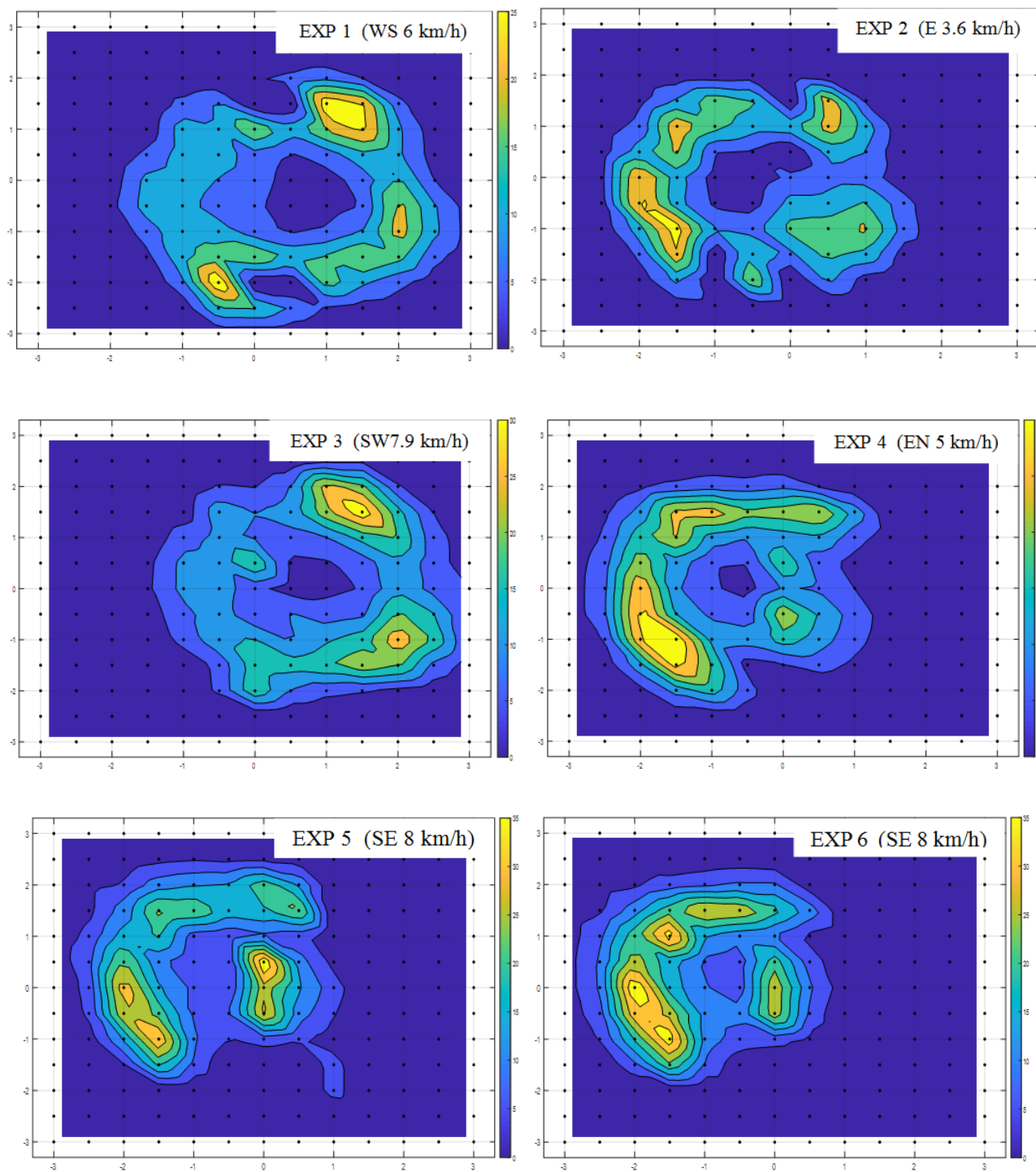


Figure III. 15 Les changements de pluviométrie pour les expériences par rapport le moyen de vitesse du vent

III.4.3 Discussion :

On observe que la conception de la buse influée sur l'opération de pluviométrie, où c'est souvent dans la plupart des cas que la pluviométrie au centre est très faible.

La position de l'arroseur horizontal et vers le haut a provoqué une accumulation de précipitation sous l'asperseur et les endroits sans pluviométrie adéquate comme montré dans (Figure III. 17 EXP 6 et 5).

On sait que la dernière l'asperseur contient de grosses gouttelettes moins affectées par le vent, mais elle a été affectée et a conduit à une déformation de la zone de pluviométrie.

III.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, plusieurs expériences ont été réalisées pour étudier l'effet du vent sur le pivot d'irrigation et sur un asperseur, les conclusions les plus importantes sont:

Le vent déforme et déplace le contour de pluviométrie. De plus, il a affecté sur les premiers arroseurs (près de l'axe de pivot) progressivement plus que les derniers arroseurs (loin de l'axe de pivot). Il entraîne l'assèchement temporaire d'une zone et le sur-arrosage dans une autre. Le vent a affecté aussi le coefficient d'uniformité. Enfin, la conception des asperseurs joue un rôle pour contrer l'impact du vent.

Dans le prochain chapitre, un modèle mathématique sera développé pour prédire l'effet du vent sur les pluviométriques.

Chapitre IV

Modèle mathématique

IV.1 Introduction

Puisque l'étude des résultats expérimentaux dépend de méthodes statistiques pour connaître l'effet des variables et la combinaison entre elle, une méthode statistique sera utilisée pour étudier ces résultats. Dans ce chapitre, un modèle mathématique composé de polynômes sera trouvé pour prédire l'effet du vent sur le pivot d'irrigation à travers les résultats des cinq expériences.

IV.2 Modèles de régression linéaire

Un modèle de régression linéaire décrit la relation entre une variable dépendante y , et une ou plusieurs variables indépendantes X . La variable dépendante est également appelée variable de réponse. Les variables indépendantes sont également appelées variables explicatives ou prédictives. Les variables prédictives continues sont également appelées Co variables, et les variables prédictives catégorielles sont également appelées facteurs. La matrice X des observations sur les variables prédictives est généralement appelée matrice de conception.

Un modèle de régression linéaire multiple est :

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (\text{IV.1})$$

Avec:

(y_i) : la variable réponse;

(β) : les paramètres du modèle, (β_0) : le terme constant du modèle;

(X_{ij}) : la $i^{\text{ème}}$ observation sur la $j^{\text{ème}}$ variable prédictive, $j = 1, \dots, p$;

(ε_i) : l'erreur ou la perturbation.

Si un modèle comprend une seule variable prédictive ($p = 1$), le modèle est appelé modèle de régression linéaire simple.

En général, un modèle de régression linéaire peut être un modèle de la forme suivante:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^k \beta_k f_k (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip}) + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (\text{IV.2})$$

Où f est une fonction scalaire des variables indépendantes X_{ij} s. Les fonctions $f(X)$ peuvent être sous n'importe quelle forme, y compris des fonctions non linéaires ou des polynômes. La linéarité dans les modèles de régression linéaire fait référence à la linéarité des coefficients β_k . Autrement dit, la variable de réponse y est une fonction linéaire des coefficients β_k [42].

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour l'estimation des paramètres :

- La méthode des moindres carrés (Least-Squares fit)
- La méthode robuste (Robust fit)
- L'ajustement par étape (Stepwise fit)

IV.2.1 La méthode des moindres carrés (Least-Squares fit):

En utilisant [42] pour construire un ajustement par moindres carrés d'un modèle aux données. Cette méthode est la meilleure lorsque la forme du modèle est raisonnable et qu'il faut trouver ses paramètres. Cette méthode est également utile lorsque vous souhaitez explorer quelques modèles. La méthode vous oblige à examiner les données manuellement pour éliminer les valeurs irrégulières.

IV.2.2 La méthode robuste (Robust fit):

En utilisant Fitlm [42] avec la paire non-valeur robuste pour créer un modèle peu affecté par les valeurs irrégulières. Un ajustement robuste pour éliminer manuellement les valeurs irrégulières. Cependant, l'étape ne fonctionne pas par régression linéaire avec un ajustement robuste. Cela signifie que lorsqu'on utilise un ajustement robuste, il ne peut pas rechercher par étapes un bon modèle.

IV.2.3 L'ajustement par étape (Stepwise fit):

En utilisant Stepwiselm [42] pour rechercher un modèle et ajuster les paramètres au modèle. Stepwiselm part d'un modèle, comme une constante, et ajoute ou soustrait des termes un à la fois, en choisissant un terme optimal à chaque fois de manière gourmande, jusqu'à ce qu'il ne puisse plus s'améliorer. En utilisant l'ajustement par étapes pour trouver un bon modèle, qui ne contient que des termes pertinents.

Le résultat dépend du modèle de départ. Habituellement, commencer par un modèle constant conduit à un petit modèle. Commencer avec plus de termes peut conduire à un modèle plus

complexe, mais avec une erreur quadratique moyenne plus faible. Il ne peut pas utiliser d'options robustes avec un ajustement par étapes. Ainsi, après un ajustement par étapes [42].

IV.3 Facteurs et réponses

À travers les résultats expérimentaux, nous avons voulu trouver un modèle mathématique qui nous permette de prédire l'effet des vents dans des domaines d'études variables et en tout point de la zone du pivot d'irrigation par l'utilisation de quatre variables [Facteurs: variables géométriques liées à la position (r , $Tita$) et des variables liées aux caractéristiques du vent (vitesse et direction)], et une seule réponse qui est le pluviométrique. Et à travers le modèle mathématique, nous voulons trouver une équation de cette forme:

$$Plv = f(r, Tita, Dvent, Vvent) \quad (IV.3)$$

Plv : Pluviométrique (mm)

r : Rayon (Bras de pivot en mètre)

Tita: L'angle (degré)

Dvent : Direction de vent (°)

Vvent : Vitesse de vent (km/h)

IV.4 Construction d'un modèle polynômial

En utilisant l'outil (stepwiselm) de Matlab, le modèle mathématique (polynômial) a été réalisé, et l'organigramme suivant montre les étapes de ce modèle.

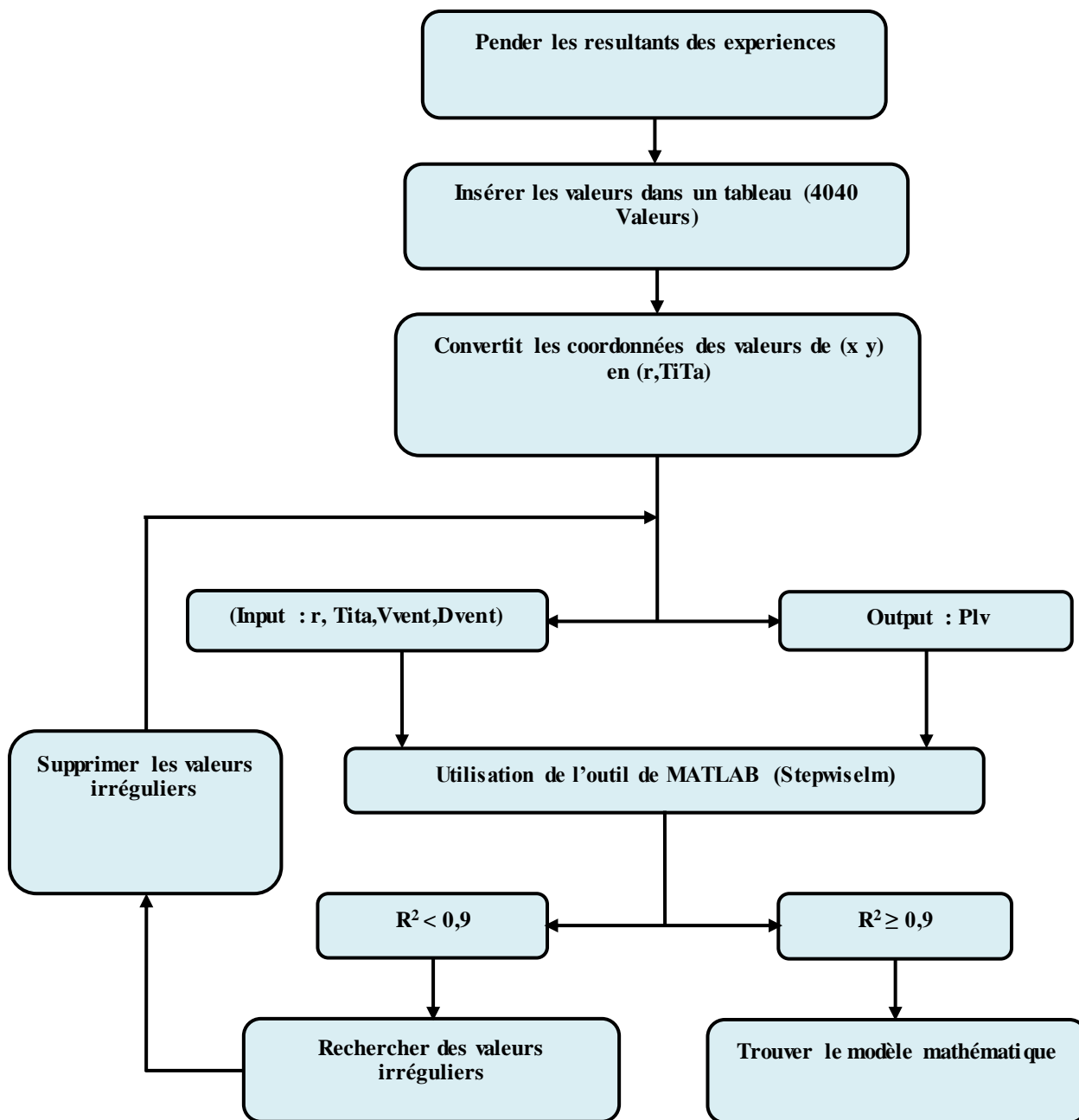


Figure IV. 1 Etapes de création de modèle mathématique

L'équation obtenue est de la forme suivante:

$$\begin{aligned}
 y \sim & 1 + x1^2 + x1*x2 + x2^2 + x1*x3 + x2*x3 + x3^2 + x1*x4 + x2*x4 + x3*x4 + x4^2 + x1^3 \\
 & + (x1^2)x2 + x1(x2^2) + x2^3 + (x1^2)x3 + x1x2x3 + (x2^2)x3 + x1(x3^2) + x2(x3^2) + x3^3 + \\
 & (x1^2)x4 + x1x2x4 + (x2^2)x4 + x1x3x4 + x2x3x4 + (x3^2)x4 + x1(x4^2) + x2(x4^2) + x3(x4^2) \\
 & + x4^3 + x1^4 + (x1^3)x2 + (x1^2)(x2^2) + x1(x2^3) + x2^4 + (x1^3)x3 + (x1^2)x2x3 +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &x_1(x_2^2)x_3 + (x_2^3)x_3 + (x_1^2)(x_3^2) + x_1x_2(x_3^2) + (x_2^2)(x_3^2) + x_1(x_3^3) + x_2(x_3^3) + \\
 &(x_1^3)x_4 + (x_1^2)x_2x_4 + x_1(x_2^2)x_4 + (x_2^3)x_4 + (x_1^2)x_3x_4 + x_1x_2x_3x_4 + (x_2^2)x_3x_4 + \\
 &x_1(x_3^2)x_4 + x_2(x_3^2)x_4 + (x_3^3)x_4 + (x_1^2)(x_4^2) + x_1x_2(x_4^2) + (x_2^2)(x_4^2) + x_1x_3(x_4^2) \\
 &+ x_2x_3(x_4^2) + (x_3^2)(x_4^2) + x_1(x_4^3) + x_2(x_4^3) + x_3(x_4^3) + x_4^4 + x_1^5 + (x_1^4)x_2 + \\
 &(x_1^3)(x_2^2) + (x_1^2)(x_2^3) + x_1(x_2^4) + x_2^5 + (x_1^4)x_3 + (x_1^3)x_2x_3 + (x_1^2)(x_2^2)x_3 + \\
 &x_1(x_2^3)x_3 + (x_2^4)x_3 + (x_1^2)x_2(x_3^2) + x_1(x_2^2)(x_3^2) + (x_1^2)(x_3^3) + x_1x_2(x_3^3) + \\
 &(x_2^2)(x_3^3) + (x_1^4)x_4 + (x_1^3)x_2x_4 + (x_1^2)(x_2^2)x_4 + x_1(x_2^3)x_4 + (x_2^4)x_4 + (x_1^3)x_3x_4 \\
 &+ (x_1^2)x_2x_3x_4 + x_1(x_2^2)x_3x_4 + (x_2^3)x_3x_4 + (x_1^2)(x_3^2)x_4 + x_1x_2(x_3^2)x_4 + \\
 &(x_2^2)(x_3^2)x_4 + x_2(x_3^3)x_4 + (x_1^3)(x_4^2) + x_1(x_2^2)(x_4^2) + (x_2^3)(x_4^2) + (x_1^2)x_3(x_4^2) \\
 &+ x_1x_2x_3(x_4^2) + (x_2^2)x_3(x_4^2) + x_1(x_3^2)(x_4^2) + x_2(x_3^2)(x_4^2) + (x_3^3)(x_4^2) + \\
 &(x_1^2)(x_4^3) + x_1x_2(x_4^3) + x_1x_3(x_4^3) + x_2x_3(x_4^3) + (x_3^2)(x_4^3) + x_2(x_4^4) + x_4^5 + x_1^6 \\
 &+ (x_1^4)(x_2^2) + (x_1^2)(x_2^4) + (x_1^5)x_3 + (x_1^2)(x_2^3)x_3 + x_1(x_2^4)x_3 + x_1(x_2^2)(x_3^3) + \\
 &(x_1^5)x_4 + (x_1^4)x_2x_4 + (x_1^3)(x_2^2)x_4 + x_1(x_2^4)x_4 + (x_1^4)x_3x_4 + (x_1^3)x_2x_3x_4 + \\
 &(x_1^2)(x_2^2)x_3x_4 + (x_2^4)x_3x_4 + x_1(x_2^2)(x_3^2)x_4 + (x_2^2)(x_3^3)x_4 + (x_1^3)x_3(x_4^2) + \\
 &x_1(x_2^2)x_3(x_4^2) + (x_1^2)(x_3^2)(x_4^2) + x_1x_2(x_3^2)(x_4^2) + x_2(x_3^3)(x_4^2) + x_1x_2x_3(x_4^3) \\
 &+ x_1(x_3^2)(x_4^3) + x_2(x_3^2)(x_4^3) + x_2(x_4^5)
 \end{aligned}
 \tag{IV.4}$$

Avec une valeur de ($R^2 = 0,901$) l'équation ci-dessus a une précision suffisante.

IV.5 Validation

La validation du modèle se fait en sélectionnant quelques points aléatoirement. Ensuite, la pluviométrique est comparée dans les expériences avec le modèle mathématique, comme indiqué dans le tableau suivant:

Point	r (m)	Tita (Degré)	Direction de vent (°)	Vitesse de vent (km/h)	Plv exp (mm)	Exp	Plv Matlab (mm)	Erreur relative (%)
805	1,5	3,14	130	1,4	230	5	228,9	0,004
133	24,18	0,12	53,6	5,78	50	5	49,5	0,01
470	17,49	5,74	62	11,29	54	5	53,44	0,01
215	6,70	2,03	163,5	10,7	163	3	159,66	0,02
342	30.59	2.94	269.5	5.8	14	1	35.59	1.54

Tableau IV. 1 Comparaison des valeurs pluviométriques d'expérimentation et de modèle mathématique

Pour la comparaison, la vitesse et la direction moyennes du vent ont été prises, puis les nouvelles variables sont entrées dans le modèle mathématique, les pluviométriques prédites par le modèle mathématique sont obtenues, les figures suivantes montrent une comparaison entre les pluviométriques d'expérimentation et le modèle mathématique :

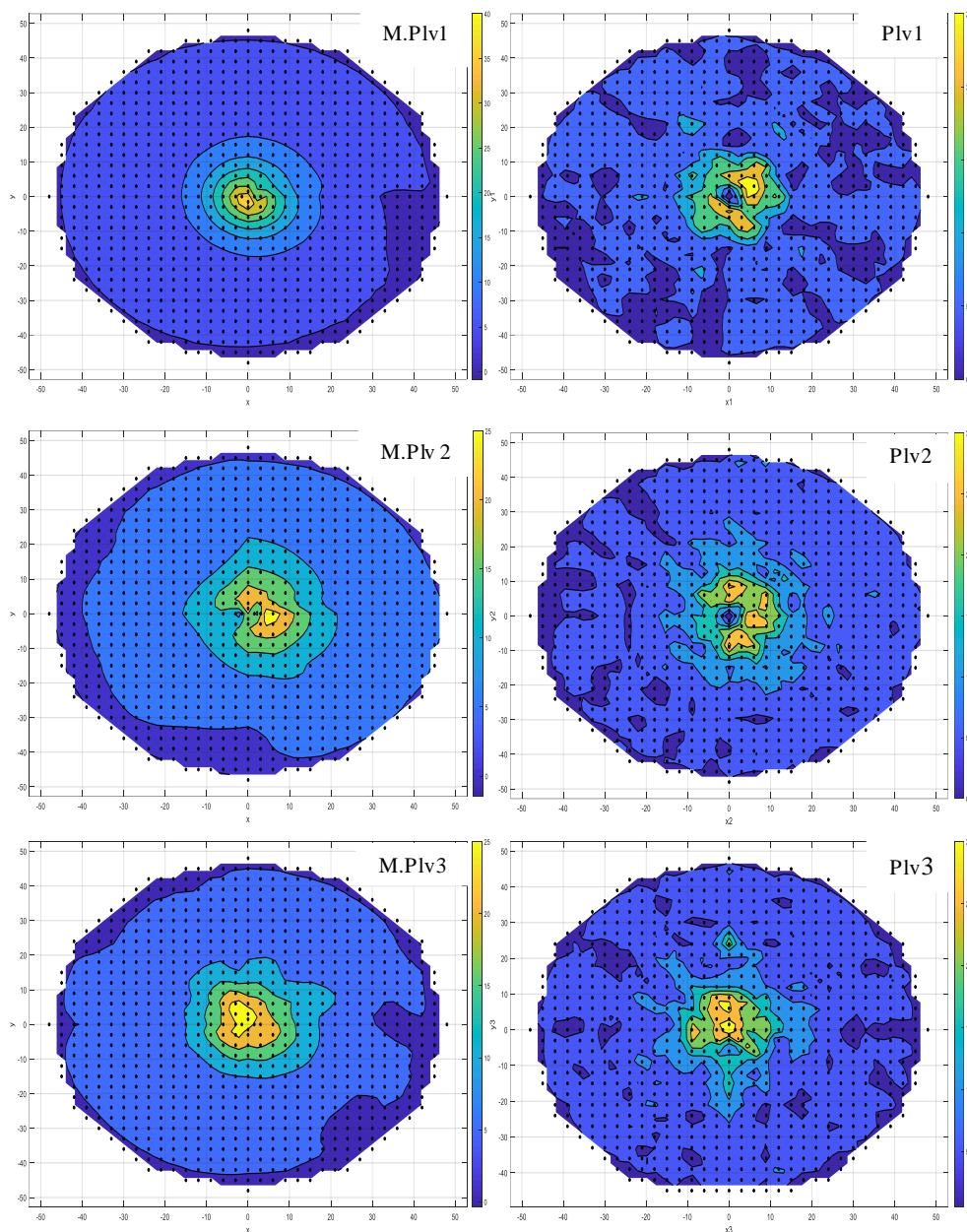


Figure IV. 2 Comparaison des valeurs pluviométriques d'expérimentation et de modèle mathématique (1).

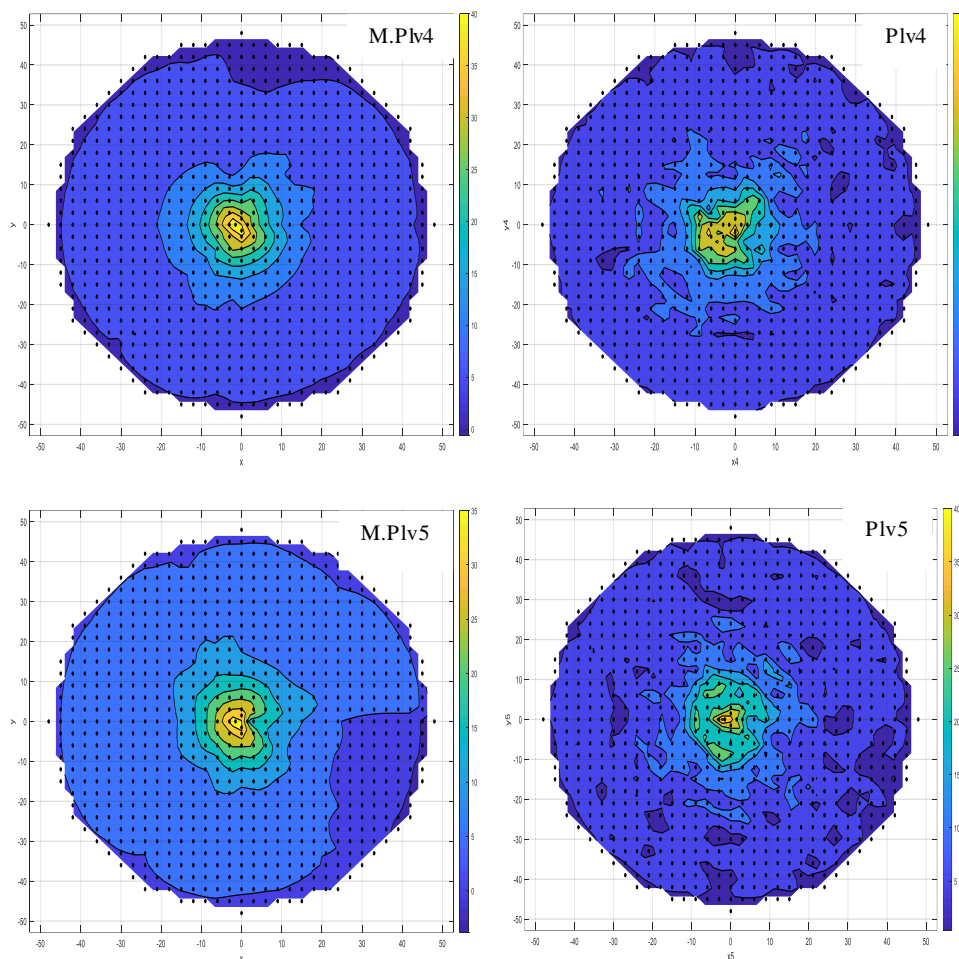


Figure IV. 3 Comparaison des valeurs pluviométriques d’expérimentation et de modèle mathématique (2).

À partir les figures on remarque que :

- Les précipitations au centre sont proches entre l’expérimental et le modèle.
- Les zones ou la précipitation est faible, il y a des similitudes entre les expériences et le modèle sauf pour le premier cas.
- Il y a des zones de précipitation faibles qui n’apparaissent pas sur les figures du modèle.
- La différence entre le modèle mathématique et expérimental est l’élimination des valeurs irrégulières pour obtenir le modèle mathématique.

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a expliqué, les modèles de régression linéaire et les facteurs et les réponses et la construction d'un modèle polynômial et un organigramme montrant les étapes de réalisation de ce modèle mathématique. Les résultats les plus importants sont : la création d'un modèle mathématique (polynomiale) à partir duquel il aidera à prédire l'effet du vent sur le pivot d'irrigation.

Les résultats des essais ont été exploités en tant que facteurs et réponses pour construire un modèle mathématique à l'aide de Matlab. Ce modèle a été affiné jusqu'à obtenir $R^2 = 0,901$ pour lequel nous avons fait la validation du modèle. Ce dernier a donné des résultats satisfaisants puisque l'erreur relative maximale était de 1.5%.

Conclusion Générale

Conclusion générale :

Dans ce travail, l'effet du vent sur le pivot a été étudié, et nous avons fourni une description générale des parties du système, et nous avons traité des études précédentes qui parlaient de l'effet du vent sur le pivot, et nous avons mené des expériences sur le terrain pour clarifier l'étendue de cet effet, puis nous avons utilisé les résultats de ces expériences pour construire un modèle mathématique qui prédit l'effet du vent sur l'irrigation.

D'autre part a prouvé que le vent a un grand effet sur pivot d'irrigation artisanal, il conduit au déplacement du site de pluviométriques d'une zone à une autre. Deuxièmement, il diminue le facteur d'uniformité. Enfin, Le changement de vitesse et de direction du vent entraîne des perturbations dans le processus d'arrosage.

Cette étude a également prouvé qu'il était possible de réaliser des simulations du processus de pluviométriques en présence de vent, ces simulations permettant de prédire la connaissance des pluviométriques en présence de vent. Par conséquent, un modèle mathématique a été créé à l'aide du programme Matlab qui simule le processus de pluviométrique et sa précision était bonne ($R^2 = 0,9$) avec une erreur relative maximale satisfaisante de (1.5%).

Références Bibliographique

Références Bibliographiques

- [1] A. O. Rebai, T. Hartani, M. N. Chabaca, and M. J. C. A. Kuper, "Une innovation incrémentielle: la conception et la diffusion d'un pivot d'irrigation artisanal dans le Souf (Sahara algérien)," vol. 26, no. 3, p. 35005, 2017.
- [2] M. Kessira, "Conception d'un projet d'irrigation," 2013.
- [3] M. Said- and H. Salem, "Contribution à la vulgarisation des systèmes photovoltaïques utiliser pour l'irrigation par pivots traditionnels dans la région d'EL OUED," 2018.
- [4] S. Mus, B. Ali, S. M. Tawfiq, and A. H. Rashid, *Guide d' irrigation*. Maroc: Éducation, Recherche et Développement, 2004.
- [5] Groupe mixte Pilotage de l'irrigation, *Le pivot*. Cemagref : Diff.Tec & doc, 1997.
- [6] M. A. Kendouci, A. Bendida, R. Khelfaoui, and B. J. E. P. Kharroubi, "The impact of traditional irrigation (Foggara) and modern (drip, pivot) on the resource non-renewable groundwater in the Algerian Sahara," vol. 36, pp. 154-162, 2013.
- [7] Y. SOUALAH MOHAMMED and A. KOUKA "Etude hydraulique du système de pivot d'irrigation Type ANABIB," Mémoire de master, Département de génie mécanique, university of Eloued 2018.
- [8] Kincaid and D. C, "Application rates from center pivot irrigation with current sprinkler types," vol. 21, no. 4, pp. 605-610, 2005.
- [9] Martín-Benito, J. M. Tarjuelo, Gómez M. Valiente, Pardo, and J. Lozoya, "Working conditions of sprinkler to optimize application of water," vol. 118, no. 6, pp. 895-913, 1992.
- [10] T. Scherer, "Selecting a sprinkler irrigation system," 2005.
- [11] G. H. Mahmood, "Interactions of soil water run-off with overhead (centre-pivot) irrigation and soil cultivations," Harper Adams University, 2018.
- [12] M. S. Hadji, A. Guerrah, and K. Mansouri, "A Hydraulic Comparison between Center Pivot Irrigation Traditional and Modern Type ANABIB," presented at the International Symposium on Technology & Sustainable Industry Development ISTSID'2019, EL OUED, ALGERIA, 24 - 26 February 2019 ,

- [13] H. M. Salah, G. Ayoub, A. Abdelmalek, M. J. W. Khaled, and E. International, "Theoretical Sprinkler-Spacing Configurations in Center Pivot Irrigation System," vol. 62, no. 9, pp. 54-59, 2019.
- [14] M. S. Hadji, A. Guerrah, A. Atia, and K. Mansouri, "Diagnostic des Différents Pivots D'irrigation Traditionnel Adopté dans la Région d'El-Oued," presented at the 1st International Symposium on Materials, Energy and Environment, El Oued, ALGERIA, January 20-21st, 2020.
- [15] S. Hanafi, "APPROCHE D'EVALUATION DE LA PERFORMANCE DES SYSTEMES IRRIGUES A L'ECHELLE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES. Cas du périmètre irrigué de Borj Toumi (vallée de la Medjerda-Tunisie)," 2011.
- [16] R. Clément and A. Galand, "Irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous pression," 1979.
- [17] C. Mathieu, P. Audoye, and J.-C. Chossat, *Bases techniques de l'irrigation par aspersion*. Éditions Tec et Doc, 2007.
- [18] J. Keller and R. Bliesner, "Sprinkle and Trickle Irrigation van Nostrand Reinhold," pp. 1-652, 1990.
- [19] R. G. Allen, *Center Pivot system design*. The Irrigation Association, 2000.
- [20] Merriam, J. L, Keller, and Jack, "Farm irrigation system evaluation: A guide for management," 1978.
- [21] K. Solomon, "Yield related interpretations of irrigation uniformity and efficiency measures," vol. 5, no. 3, pp. 161-172, 1984.
- [22] E. Vories, R. Von Bernuth, and R. Mickelson, "Simulating sprinkler performance in wind," vol. 113, no. 1, pp. 119-130, 1987.
- [23] J. E. Christiansen, *Irrigation by sprinkling*. University of California Berkeley, 1942.
- [24] L. R. Sobenko *et al.*, "Performance of an Iris Mechanism Equipped with Fixed and Rotating Deflector Plates for Variable Rate Sprinkler Irrigation," *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 145, no. 12, p. 04019027, 2019.

- [25] S. SAIDI, "Analyse hydraulique du fonctionnement du système pivot d'irrigation par aspersion de type ANABIB "Mémoire de magister, Ecole Nationale de l'Hydraulique Blida, 1996.
- [26] El-Wahed, M. Abd, M. Medici, and G. Lorenzini, "Harvesting water in a center pivot irrigation system: Evaluation of distribution uniformity with varying operating parameters," *Journal of Engineering Thermophysics*, vol. 24, no. 2, pp. 143-151, 2015.
- [27] D. L. Martin, D. C. Kincaid, and W. M. Lyle, ". Design and Operation of Sprinkler Systems," in *Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 2nd Edition: American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 2007, pp. 557-631.
- [28] S. A. O'Shaughnessy, Y. F. Urrego, S. R. Evett, P. D. Colaizzi, and T. A. Howell, "Assessing application uniformity of a variable rate irrigation system in a windy location," *Applied engineering in agriculture*, vol. 29, no. 4, pp. 497-510, 2013.
- [29] C. Camp and E. J. P. Sadler, "Center pivot irrigation system for site-specific water and nutrient management," 1994.
- [30] C. Camp, E. Sadler, D. Evans, L. Usrey, and M. Omary, "Modified center pivot system for precision management of water and nutrients," 1998.
- [31] J. Tarjuelo, J. Ortega, J. Montero, and J. J. A. W. M. De Juan, "Modelling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions," vol. 43 ,no. 3, pp. 263-284, 2000.
- [32] H. Al-Ghubari, "The effect of pivot irrigation system, the rotational speed of the losses sprinkler," vol. 8, no. 1, pp. 111-123, 1996.
- [33] H. Zhu, R. Sorensen, C. Butts, M. Lamb, and P. J. A. e. i. a. Blankenship, "A pressure regulating system for variable irrigation flow controls," vol. 18, no. 5, p. 533, 2002.
- [34] Hart and W. E, "Subsurface distribution of nonuniformly applied surface waters," vol. 15, no. 4, pp. 656-0661, 1972.
- [35] K. Ohyama, H. Murase, S. Yokoi, T .Hasegawa, and T. J. T. o. t. A. Kozai, "A precise irrigation system with an array of nozzles for plug transplant production," vol. 48, no. 1, pp. 211-215, 2005.

- [36] B. King and D. Kincaid, "A variable flow rate sprinkler for site-specific irrigation management," vol. 20, no. 6, p. 765, 2004.
- [37] S. M. Al Muhammadi, "Une étude de terrain pour évaluer la performance des systèmes d'irrigation par aspersion à pivot dans les conditions de la région désertique de l'ouest de l'Irak," vol. 46, no. 5, pp. 847-8.2015, 53
- [38] M. CLEMENT, C. JEAN-CLAUDE, and A. J. L. PAUL, Paris p, "Bases techniques de l'irrigation par aspersion," vol. 474, 2007.
- [39] R. Rovelo *et al.*, "Characterization and Simulation of a Low-Pressure Rotator Spray Plate Sprinkler Used in Center Pivot Irrigation Systems," *Water*, vol. 11, no. 8, p. 1684, 2019.
- [40] ISO and 11545:2009(E), "Agricultural irrigation equipment Centre-pivot and moving lateral irrigation machines with sprayer or sprinkler nozzles — Determination of uniformity of water distribution," 2009.
- [41] H. Ibrahim and m. ahmed, "Technical Evaluation of performance of center pivot sprinkler Irrigation System at West Omdurman. Sudan," UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY, 2015.
- [42] Mathworks, "Statistics and Machine Learning Toolbox™ User's Guide R2019b," ed: The MathWorks, Inc Natick, 2019.

Annexe (A)

Des photographies du terrain des cinq essais :

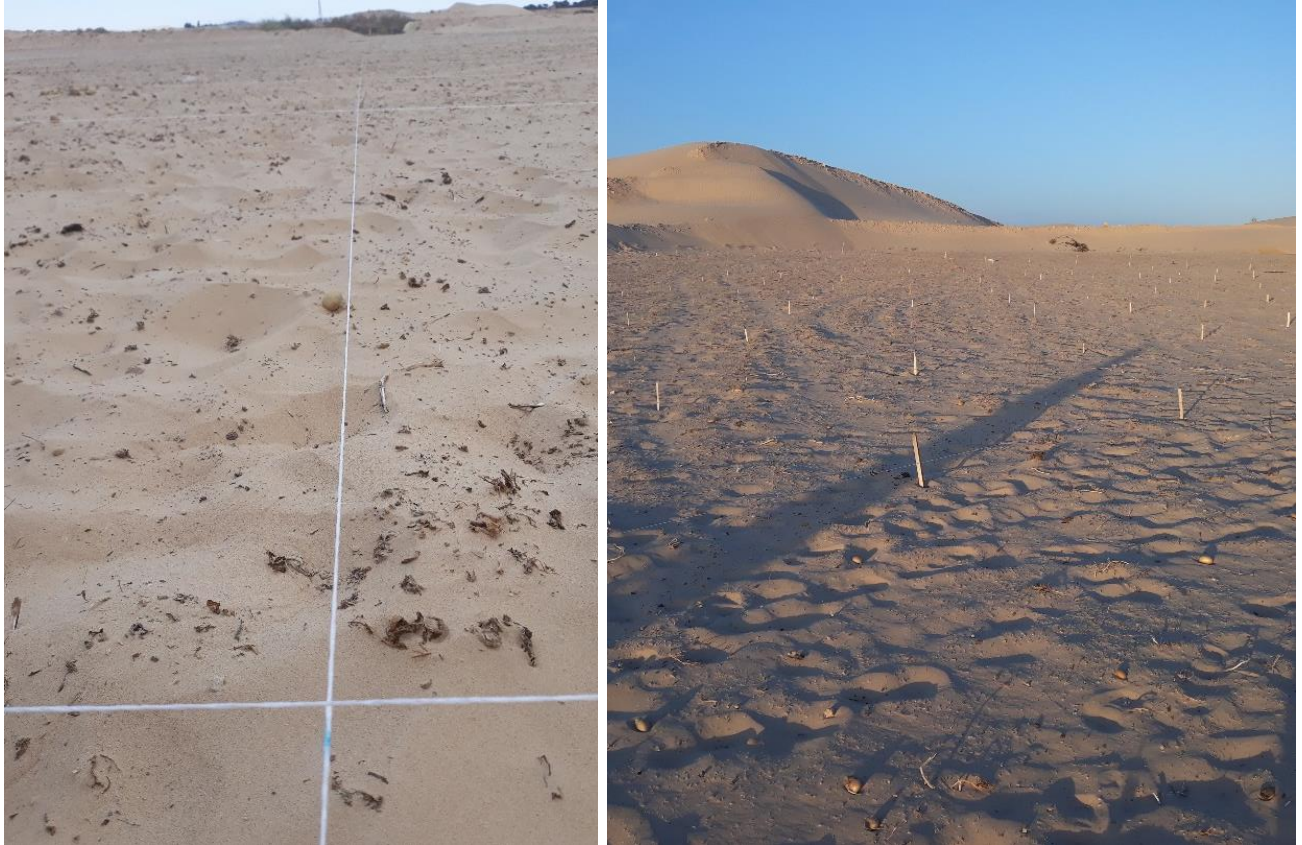


Figure (1) positionnement des collecteurs

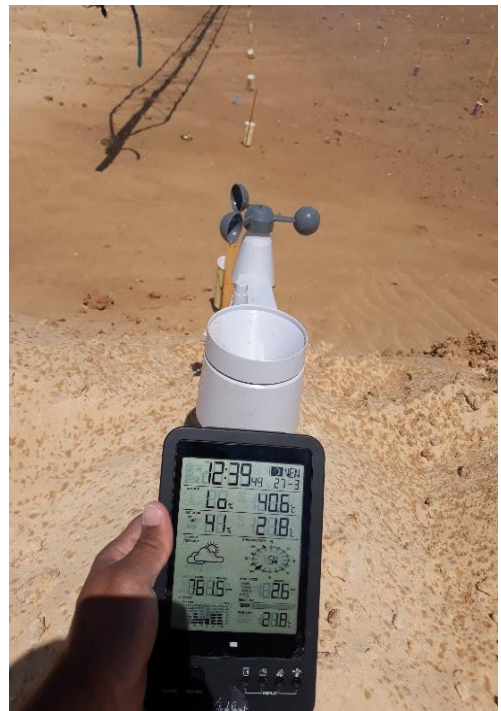


Figure (2) Mise sur terrain des collecteurs. Et, installation de la station météorologique.



Figure (3) Mesure de l'eau dans un collecteur.



Figure (4) Pivot en action

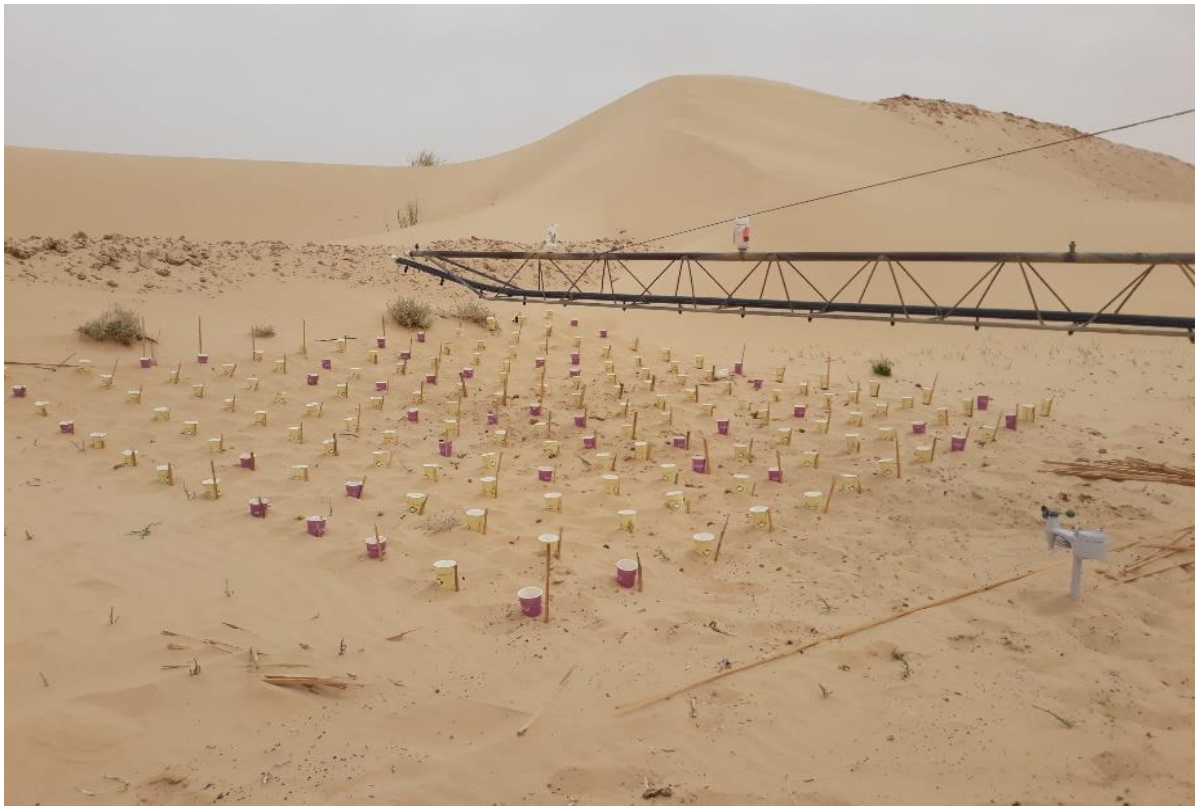


Figure (5) Des photos de terrain d'un asperseur seul

Annexe (B)

Tableaux du coefficient d'uniformité des quatre lignes en cinq expériences.

<i>Ligne 0°</i>			
Expérience	Coefficient d'uniformité (%)	Vitesse du vent (Km/h)	Direction du vent (°)
1	69.92	2.9km/h	WNW-300°
2	57.44	5.4km/h	WNW-300°
3	41.06	7.2km/h	SSE165°
4	63.99	6.1km/h	ENE62°
5	50.08	11.5km/h	E90°
<i>Ligne 90°</i>			
Expérience	Coefficient d'uniformité (%)	Vitesse du vent (Km/h)	Direction du vent (°)
1	67.39	9km/h	WSW-250°
2	60.07	7.2km/h	WNW-300°
3	65.03	5.8	SE150°
4	66.67	11.2km/h	NNE20°
5	57.50	3.6km/h	E90°
<i>Ligne 180°</i>			
Expérience	Coefficient d'uniformité (%)	Vitesse du vent (Km/h)	Direction du vent (°)
1	70.73	5.8km/h	NW 304
2	53.86	11.5km/h	WNW-300°
3	54.15	8.3km/h	SSE165°
4	66.32	8.6km/h	NNE20°
5	60.69	1.4km/h	SE130°
<i>Ligne 270°</i>			
Expériences	Coefficient d'uniformité (%)	Vitesse du vent (Km/h)	Direction du vent (°)
1	79.00	6.1 km/h	SW-210°
2	61.47	9.3km/h	SW-210°
3	67.77	6.5	SSW205°
4	63.66	9.7km/h	NNE20°
5	55.04	5km/h	ESE150°

Annexe (C)

Table d'essai pour l'un des cinq essais

point	X(m)	Y(m)	Exp1(ml)	Exp2(ml)	Exp3(ml)	Exp4(ml)	Exp5(ml)
1	0	48	20	0	0	0	0
2	0	45	35	53	62	30	34
3	0	42	28	28	52	12	30
4	0	39	22	32	48	25	30
5	0	36	26	30	48	32	32
6	0	33	47	40	60	40	43
7	0	30	30	42	41	38	27
8	0	27	27	74	96	36	23
9	0	24	36	52	136	30	87
10	0	21	36	42	53	50	35
11	0	18	25	82	54	48	60
12	0	15	19	70	62	62	47
13	0	12	76	94	81	42	86
14	0	9	90	184	164	86	130
15	0	6	130	144	184	92	124
16	0	3	95	162	150	180	139
17	3	45	37	70	50	28	42
18	3	42	28	60	47	12	34
19	3	39	25	48	36	34	27
20	3	36	28	44	43	38	37
21	3	33	30	60	55	32	42
22	3	30	31	34	35	40	19
23	3	27	14	42	30	28	25
24	3	24	40	77	52	52	64
25	3	21	32	65	50	32	40
26	3	18	20	74	55	60	70
27	3	15	25	80	62	42	66
28	3	12	50	100	80	87	82
29	3	9	74	165	150	128	120
30	3	6	145	145	126	160	87
31	3	3	148	110	143	164	150
32	6	45	30	46	42	22	42
33	6	42	20	36	41	42	36
34	6	39	23	36	28	34	26
35	6	36	20	40	40	32	47
36	6	33	24	50	45	34	50
37	6	30	15	22	22	42	27
38	6	27	45	56	55	50	45
39	6	24	42	46	45	25	30
40	6	21	47	62	71	54	51
41	6	18	34	66	60	32	30
42	6	15	30	56	77	70	58

43	6	12	75	74	68	54	26
44	6	9	150	117	74	94	90
45	6	6	140	112	137	164	170
46	6	3	174	142	104	130	117
47	9	45	28	74	21	22	29
48	9	42	30	50	43	34	33
49	9	39	23	38	38	30	45
50	9	36	32	34	30	28	30
51	9	33	35	33	34	27	33
52	9	30	20	30	37	40	41
53	9	27	32	46	34	42	48
54	9	24	40	22	22	20	19
55	9	21	50	62	65	66	47
56	9	18	36	38	36	36	24
57	9	15	30	78	42	90	90
58	9	12	35	24	56	82	100
59	9	9	117	92	100	58	58
60	9	6	93	163	83	60	78
61	9	3	110	152	118	76	110
62	12	45	12	30	19	25	20
63	12	42	34	30	28	36	30
64	12	39	41	35	32	30	35
65	12	36	30	36	25	32	24
66	12	33	30	38	32	30	31
67	12	30	39	40	40	38	38
68	12	27	31	40	40	32	32
69	12	24	25	30	22	42	30
70	12	21	66	40	43	32	48
71	12	18	63	44	45	80	54
72	12	15	48	60	52	38	30
73	12	12	55	110	52	94	80
74	12	9	30	48	68	64	79
75	12	6	40	88	74	36	29
76	12	3	85	74	84	50	88
77	15	45	10	10	5	0	0
78	15	42	30	55	52	41	44
79	15	39	30	30	34	20	33
80	15	36	22	30	28	30	32
81	15	33	30	28	29	28	39
82	15	30	32	40	38	38	42
83	15	27	29	22	22	40	44
84	15	24	45	56	46	56	64
85	15	21	18	46	25	33	24
86	15	18	48	68	44	80	82
87	15	15	55	40	44	56	70
88	15	12	34	62	64	42	38
89	15	9	36	92	44	72	100

90	15	6	18	44	70	55	70
91	15	3	21	40	78	60	85
92	18	42	20	34	30	16	30
93	18	39	34	25	40	30	31
94	18	36	30	28	30	36	43
95	18	33	36	42	28	34	32
96	18	30	38	40	32	32	30
97	18	27	35	43	34	54	38
98	18	24	12	40	33	50	25
99	18	21	43	32	50	76	37
100	18	18	21	50	28	16	27
101	18	15	48	80	46	58	68
102	18	12	43	40	68	60	15
103	18	9	19	58	40	50	38
104	18	6	23	60	78	40	45
105	18	3	36	62	60	50	59
106	21	42	12	22	20	5	15
107	21	39	35	40	50	42	48
108	21	36	32	36	30	20	24
109	21	33	32	40	30	40	34
110	21	30	40	44	30	54	33
111	21	27	23	40	37	40	38
112	21	24	44	30	32	56	45
113	21	21	20	50	41	10	28
114	21	18	38	54	67	40	10
115	21	15	30	40	22	20	20
116	21	12	32	52	40	37	54
117	21	9	34	62	58	52	50
118	21	6	50	37	62	48	59
119	21	3	34	40	48	55	60
120	24	42	0	0	0	0	0
121	24	39	31	35	36	25	30
122	24	36	32	32	36	64	34
123	24	33	27	36	40	45	30
124	24	30	17	26	40	50	37
125	24	27	17	40	29	38	42
126	24	24	34	50	30	23	35
127	24	21	30	40	47	38	39
128	24	18	30	42	20	18	25
129	24	15	30	52	50	50	50
130	24	12	10	30	25	34	34
131	24	9	30	34	30	22	28
132	24	6	32	34	40	25	24
133	24	3	30	64	52	36	50
134	27	39	-	15	3	0	0
135	27	36	32	50	46	21	38
136	27	33	35	32	44	-	40

137	27	30	30	32	36	37	33
138	27	27	34	40	30	26	30
139	27	24	27	38	35	36	35
140	27	21	23	42	32	30	38
141	27	18	25	34	48	40	35
142	27	15	8	23	25	40	40
143	27	12	35	54	36	16	21
144	27	9	45	55	44	20	48
145	27	6	29	30	60	42	43
146	27	3	15	30	44	31	30
147	30	36	12	20	12	-	15
148	30	33	28	35	45	10	37
149	30	30	28	40	26	28	36
150	30	27	20	32	52	36	37
151	30	24	35	35	42	33	30
152	30	21	38	28	45	32	30
153	30	18	21	35	34	32	28
154	30	15	32	50	30	34	40
155	30	12	30	37	42	30	40
156	30	9	15	34	44	42	45
157	30	6	13	28	30	45	38
158	30	3	24	35	20	39	21
159	33	33	29	24	8	12	15
160	33	30	17	40	35	48	45
161	33	27	30	32	42	36	30
162	33	24	33	33	34	34	29
163	33	21	25	40	32	35	30
164	33	18	24	44	24	37	25
165	33	15	26	40	28	40	38
166	33	12	28	36	37	33	28
167	33	9	32	44	36	36	35
168	33	6	32	58	38	39	35
169	33	3	22	45	36	43	33
170	36	30	20	15	13	8	10
171	36	27	41	48	20	32	29
172	36	24	30	30	32	32	30
173	36	21	50	34	34	23	30
174	36	18	19	30	21	31	45
175	36	15	21	32	30	30	30
176	36	12	34	30	35	32	48
177	36	9	26	38	30	31	32
178	36	6	26	70	40	36	36
179	36	3	30	38	32	44	37
180	39	27	10	12	10	8	12
181	39	24	24	44	32	27	25
182	39	21	30	32	32	33	44
183	39	18	30	40	31	30	30

184	39	15	32	28	24	21	24
185	39	12	34	38	36	32	37
186	39	9	30	30	35	35	36
187	39	6	22	35	34	36	37
188	39	3	30	38	28	37	-
189	42	24	20	10	2	0	0
190	42	21	9	27	10	2	10
191	42	18	20	40	20	27	30
192	42	15	24	34	60	39	44
193	42	12	32	42	30	37	29
194	42	9	32	32	36	32	33
195	42	6	18	32	38	40	39
196	42	3	30	36	30	28	30
197	45	15	15	15	14	10	11
198	45	12	32	30	10	10	10
199	45	9	22	44	18	22	28
200	45	6	-	48	28	30	32
201	45	3	42	25	27	28	25
202	-3	45	38	28	45	32	26
203	-3	42	35	30	43	30	28
204	-3	39	36	28	30	34	25
205	-3	36	36	30	44	45	35
206	-3	33	40	42	53	42	41
207	-3	30	39	20	25	35	11
208	-3	27	22	47	35	35	33
209	-3	24	41	56	51	31	79
210	-3	21	43	65	59	57	56
211	-3	18	36	72	51	50	60
212	-3	15	29	90	53	55	62
213	-3	12	96	82	80	49	86
214	-3	9	95	115	175	100	163
215	-3	6	110	104	163	108	142
216	-3	3	110	135	161	178	100
217	-6	45	38	34	38	32	33
218	-6	42	26	40	38	36	40
219	-6	39	30	32	31	34	28
220	-6	36	35	40	34	45	40
221	-6	33	35	35	45	35	37
222	-6	30	22	28	20	35	20
223	-6	27	45	54	41	55	46
224	-6	24	34	35	55	18	37
225	-6	21	59	70	51	47	46
226	-6	18	37	55	65	41	62
227	-6	15	35	74	41	78	78
228	-6	12	71	30	83	45	96
229	-6	9	62	74	120	82	112
230	-6	6	77	160	142	125	172

231	-6	3	78	80	110	55	115
232	-9	45	23	24	29	33	28
233	-9	42	25	30	51	34	38
234	-9	39	25	40	39	33	35
235	-9	36	34	30	33	31	21
236	-9	33	29	38	35	36	25
237	-9	30	45	35	22	37	31
238	-9	27	55	48	60	44	57
239	-9	24	24	28	27	29	22
240	-9	21	92	76	60	92	71
241	-9	18	54	32	27	72	38
242	-9	15	50	40	60	73	74
243	-9	12	32	75	88	66	32
244	-9	9	66	55	78	66	104
245	-9	6	99	80	73	55	92
246	-9	3	70	70	131	195	148
247	-12	45	20	10	17	10	10
248	-12	42	21	30	29	25	25
249	-12	39	35	30	32	30	31
250	-12	36	41	35	29	32	25
251	-12	33	38	40	31	40	34
252	-12	30	45	52	32	52	40
253	-12	27	56	38	35	45	49
254	-12	24	52	42	17	57	26
255	-12	21	64	25	60	48	70
256	-12	18	56	42	78	52	55
257	-12	15	24	44	86	58	70
258	-12	12	27	74	66	57	60
259	-12	9	30	74	26	75	34
260	-12	6	70	48	95	98	86
261	-12	3	44	38	70	101	62
262	-15	45	12	15	15	14	15
263	-15	42	42	56	52	57	64
264	-15	39	40	35	33	32	30
265	-15	36	30	34	27	40	30
266	-15	33	52	42	27	52	35
267	-15	30	45	38	29	42	46
268	-15	27	40	36	22	38	45
269	-15	24	50	30	61	45	22
270	-15	21	24	20	41	20	60
271	-15	18	33	66	75	54	20
272	-15	15	50	82	33	60	47
273	-15	12	35	44	46	52	40
274	-15	9	45	58	45	54	60
275	-15	6	34	52	62	74	65
276	-15	3	24	50	44	74	50
277	-18	42	20	20	18	32	34

278	-18	39	35	35	30	38	45
279	-18	36	46	36	26	40	41
280	-18	33	42	30	30	34	30
281	-18	30	35	22	40	36	29
282	-18	27	35	28	62	37	45
283	-18	24	41	20	37	36	31
284	-18	21	-	50	60	56	51
285	-18	18	12	30	43	30	25
286	-18	15	40	45	52	58	46
287	-18	12	54	38	32	55	32
288	-18	9	27	48	43	56	29
289	-18	6	36	45	74	72	58
290	-18	3	30	40	40	48	57
291	-21	42	15	12	12	10	11
292	-21	39	45	40	51	40	34
293	-21	36	44	25	40	22	40
294	-21	33	29	22	39	28	33
295	-21	30	29	18	48	36	23
296	-21	27	40	30	51	48	45
297	-21	24	39	42	37	46	40
298	-21	21	15	45	41	36	33
299	-21	18	21	50	31	50	45
300	-21	15	30	18	18	34	45
301	-21	12	64	30	35	52	20
302	-21	9	63	66	92	80	54
303	-21	6	40	40	49	60	70
304	-21	3	42	48	31	48	34
305	-24	42	0	0	0	0	0
306	-24	39	19	20	31	10	30
307	-24	36	32	25	41	34	45
308	-24	33	38	22	42	42	48
309	-24	30	42	25	42	48	40
310	-24	27	38	42	39	44	35
311	-24	24	25	55	38	40	43
312	-24	21	31	42	22	40	40
313	-24	18	49	28	25	50	30
314	-24	15	36	25	50	54	50
315	-24	12	27	44	25	22	15
316	-24	9	31	13	48	42	33
317	-24	6	40	15	55	54	55
318	-24	3	31	22	40	68	55
319	-27	39	18	5	18	10	15
320	-27	36	31	20	46	34	45
321	-27	33	42	35	38	41	40
322	-27	30	35	36	41	44	39
323	-27	27	21	45	28	34	35
324	-27	24	28	36	31	30	37

325	-27	21	40	32	26	54	40
326	-27	18	45	32	23	41	48
327	-27	15	29	36	16	27	20
328	-27	12	50	38	51	60	54
329	-27	9	30	30	55	60	49
330	-27	6	25	40	53	46	47
331	-27	3	33	44	22	35	18
332	-30	36	17	10	17	15	10
333	-30	33	38	45	43	40	50
334	-30	30	27	56	36	32	28
335	-30	27	25	45	36	40	42
336	-30	24	34	40	21	44	41
337	-30	21	49	30	20	34	41
338	-30	18	35	17	23	31	35
339	-30	15	41	40	47	50	44
340	-30	12	47	44	41	40	31
341	-30	9	30	30	23	34	20
342	-30	6	14	46	25	30	20
343	-30	3	16	40	35	46	28
344	-33	33	19	20	24	20	15
345	-33	30	31	46	39	44	52
346	-33	27	34	42	34	44	45
347	-33	24	52	28	26	42	38
348	-33	21	40	25	34	36	40
349	-33	18	39	30	29	38	32
350	-33	15	40	32	31	34	31
351	-33	12	34	28	49	38	28
352	-33	9	42	24	53	60	35
353	-33	6	26	34	40	56	50
354	-33	3	30	34	35	48	45
355	-36	30	29	10	17	12	8
356	-36	27	40	30	30	44	34
357	-36	24	40	26	-	36	40
358	-36	21	38	30	29	35	32
359	-36	18	32	32	34	38	25
360	-36	15	38	36	44	38	36
361	-36	12	35	20	34	40	32
362	-36	9	36	20	45	53	32
363	-36	6	30	34	33	48	34
364	-36	3	30	30	25	46	32
365	-39	27	15	4	11	14	12
366	-39	24	28	10	30	42	34
367	-39	21	39	35	26	44	29
368	-39	18	49	32	43	36	45
369	-39	15	27	34	31	32	30
370	-39	12	36	20	54	45	40
371	-39	9	28	20	33	46	28

372	-39	6	22	42	35	41	30
373	-39	3	-	30	30	38	41
374	-42	24	10	0	6	6	5
375	-42	21	22	0	22	22	12
376	-42	18	42	16	34	36	40
377	-42	15	45	32	47	50	35
378	-42	12	34	25	53	34	41
379	-42	9	45	20	31	40	45
380	-42	6	29	20	32	34	30
381	-42	3	36	28	31	32	31
382	-45	15	17	0	15	10	20
383	-45	12	26	10	30	30	30
384	-45	9	20	10	35	35	38
385	-45	6	23	18	55	48	55
386	-45	3	29	11	47	50	54
387	0	-3	170	112	72	134	120
388	0	-6	121	148	68	181	106
389	0	-9	78	186	120	134	159
390	0	-12	62	98	86	94	94
391	0	-15	22	48	96	53	58
392	0	-18	34	60	93	74	76
393	0	-21	36	50	77	35	40
394	0	-24	40	35	64	80	69
395	0	-27	32	32	54	22	42
396	0	-30	30	30	30	49	18
397	0	-33	35	42	46	40	43
398	0	-36	38	32	46	41	36
399	0	-39	40	23	40	36	22
400	0	-42	36	36	42	35	29
401	0	-45	36	52	37	50	27
402	0	-48	12	10	-	22	0
403	3	0	150	162	112	164	102
404	3	-3	88	150	160	-	152
405	3	-6	136	180	78	90	130
406	3	-9	140	124	102	168	132
407	3	-12	92	70	60	97	82
408	3	-15	34	60	70	58	66
409	3	-18	40	64	50	59	78
410	3	-21	50	48	62	44	52
411	3	-24	55	52	40	51	84
412	3	-27	38	47	38	20	34
413	3	-30	32	26	30	34	21
414	3	-33	41	58	40	45	36
415	3	-36	40	60	44	43	35
416	3	-39	34	34	42	42	31
417	3	-42	34	34	43	34	33
418	3	-45	34	42	30	54	30

419	6	0	140	150	116	84	104
420	6	-3	114	158	95	92	95
421	6	-6	74	100	164	152	150
422	6	-9	132	170	66	78	89
423	6	-12	80	100	40	70	33
424	6	-15	50	72	58	62	56
425	6	-18	58	62	40	80	36
426	6	-21	54	36	41	54	50
427	6	-24	52	53	25	53	24
428	6	-27	50	37	34	38	53
429	6	-30	20	20	32	28	34
430	6	-33	40	35	39	46	50
431	6	-36	36	36	34	36	40
432	6	-39	32	22	32	35	34
433	6	-42	40	38	40	34	36
434	6	-45	32	28	21	54	32
435	9	0	98	132	152	120	132
436	9	-3	88	162	115	102	70
437	9	-6	60	86	78	70	80
438	9	-9	70	76	58	85	41
439	9	-12	27	62	66	62	82
440	9	-15	20	88	70	56	82
441	9	-18	36	52	60	37	34
442	9	-21	60	70	22	80	50
443	9	-24	34	52	21	29	20
444	9	-27	41	52	30	66	40
445	9	-30	26	18	30	30	39
446	9	-33	33	42	27	44	30
447	9	-36	34	35	22	38	28
448	9	-39	34	38	35	36	35
449	9	-42	39	37	29	30	36
450	9	-45	25	30	18	40	24
451	12	0	128	132	88	70	76
452	12	-3	90	88	10	64	46
453	12	-6	46	93	36	36	28
454	12	-9	21	48	25	67	72
455	12	-12	38	70	39	54	90
456	12	-15	34	62	31	61	30
457	12	-18	36	62	39	56	58
458	12	-21	42	64	37	60	30
459	12	-24	30	30	44	28	22
460	12	-27	58	50	44	50	26
461	12	-30	50	28	52	38	36
462	12	-33	50	35	41	38	36
463	12	-36	40	36	37	30	34
464	12	-39	42	40	80	38	38
465	12	-42	31	46	49	38	30

466	12	-45	20	35	70	24	4
467	15	0	41	64	85	62	74
468	15	-3	35	60	66	64	69
469	15	-6	24	70	68	56	60
470	15	-9	21	70	60	64	54
471	15	-12	30	50	42	52	29
472	15	-15	50	60	46	60	62
473	15	-18	46	73	36	52	71
474	15	-21	19	40	15	25	-
475	15	-24	24	46	40	67	54
476	15	-27	15	29	34	28	40
477	15	-30	40	52	42	48	42
478	15	-33	36	40	40	32	33
479	15	-36	30	42	28	33	28
480	15	-39	36	27	30	31	30
481	15	-42	49	30	34	44	46
482	15	-45	18	18	7	12	5
483	18	0	30	68	70	52	61
484	18	-3	41	66	66	60	38
485	18	-6	34	64	68	50	20
486	18	-9	22	50	38	41	31
487	18	-12	29	42	54	62	46
488	18	-15	65	70	46	56	66
489	18	-18	58	50	11	26	20
490	18	-21	47	20	32	62	56
491	18	-24	25	54	20	28	-
492	18	-27	30	38	36	45	35
493	18	-30	32	34	32	34	30
494	18	-33	30	40	28	38	31
495	18	-36	43	40	40	41	33
496	18	-39	47	44	33	40	25
497	18	-42	29	46	21	32	25
498	21	0	44	34	48	62	88
499	21	-3	48	37	58	60	54
500	21	-6	31	30	45	66	50
501	21	-9	29	86	52	62	69
502	21	-12	30	50	48	40	36
503	21	-15	33	34	22	20	20
504	21	-18	21	32	50	64	68
505	21	-21	35	38	29	40	12
506	21	-24	31	22	32	40	40
507	21	-27	32	36	38	30	33
508	21	-30	18	37	36	37	30
509	21	-33	20	46	32	30	30
510	21	-36	32	36	35	36	22
511	21	-39	30	34	36	40	38
512	21	-42	16	12	10	10	10

513	24	0	40	80	42	36	18
514	24	-3	48	60	40	34	31
515	24	-6	36	52	29	28	62
516	24	-9	19	50	20	18	13
517	24	-12	20	20	29	42	30
518	24	-15	33	53	42	52	40
519	24	-18	28	42	26	18	30
520	24	-21	36	25	36	40	39
521	24	-24	34	44	31	40	31
522	24	-27	30	36	26	32	32
523	24	-30	38	34	30	39	29
524	24	-33	27	36	29	36	32
525	24	-36	22	50	32	37	32
526	24	-39	28	15	20	36	28
527	24	-42	2	8	0	3	0
528	27	0	30	30	27	29	29
529	27	-3	30	25	30	32	18
530	27	-6	48	-	43	46	40
531	27	-9	28	60	40	53	44
532	27	-12	42	60	40	28	21
533	27	-15	12	16	42	34	34
534	27	-18	30	27	48	40	35
535	27	-21	25	40	30	30	27
536	27	-24	42	39	30	36	33
537	27	-27	36	26	28	30	27
538	27	-30	36	30	37	42	20
539	27	-33	42	30	36	37	32
540	27	-36	36	40	20	38	32
541	27	-39	13	20	10	9	8
542	30	0	30	36	10	26	20
543	30	-3	38	36	21	27	28
544	30	-6	25	30	30	43	42
545	30	-9	32	33	38	44	38
546	30	-12	38	30	31	30	31
547	30	-15	22	40	41	38	33
548	30	-18	19	30	34	36	25
549	30	-21	19	32	36	37	22
550	30	-24	31	35	33	36	28
551	30	-27	49	22	39	40	40
552	30	-30	34	30	34	23	34
553	30	-33	40	42	40	60	42
554	30	-36	22	20	8	12	8
555	33	0	38	40	26	43	38
556	33	-3	47	48	36	40	34
557	33	-6	46	44	31	38	-
558	33	-9	30	50	35	33	29
559	33	-12	35	30	30	32	22

560	33	-15	19	46	32	40	32
561	33	-18	31	30	30	34	27
562	33	-21	19	62	33	33	31
563	33	-24	20	30	34	32	29
564	33	-27	40	30	40	38	30
565	33	-30	38	48	35	40	40
566	33	-33	24	25	10	18	7
567	36	0	38	42	20	40	33
568	36	-3	36	44	28	37	30
569	36	-6	42	40	36	40	31
570	36	-9	30	30	25	32	18
571	36	-12	22	30	26	35	23
572	36	-15	22	30	19	27	29
573	36	-18	24	36	38	43	28
574	36	-21	32	42	32	28	28
575	36	-24	32	40	27	32	21
576	36	-27	40	32	30	31	19
577	36	-30	15	22	10	9	1
578	39	0	40	34	25	29	30
579	39	-3	32	20	30	31	-
580	39	-6	39	30	40	35	21
581	39	-9	31	35	38	38	29
582	39	-12	40	50	30	32	21
583	39	-15	34	30	21	23	20
584	39	-18	36	35	30	35	31
585	39	-21	29	32	43	50	37
586	39	-24	21	34	20	34	21
587	39	-27	18	40	8	8	3
588	42	0	34	28	20	25	30
589	42	-3	32	32	30	24	28
590	42	-6	54	30	46	35	30
591	42	-9	43	30	22	40	36
592	42	-12	30	46	38	31	20
593	42	-15	30	40	46	46	32
594	42	-18	30	45	16	34	20
595	42	-21	18	13	9	2	10
596	42	-24	2	2	0	9	0
597	45	0	40	44	23	29	20
598	45	-3	42	48	23	30	36
599	45	-6	42	50	30	35	36
600	45	-9	32	35	12	33	13
601	45	-12	22	36	8	11	9
602	45	-15	18	20	7	13	2
603	48	0	12	20	0	3	5
604	-3	0	139	130	134	170	241
605	-3	-3	-	120	135	127	119
606	-3	-6	98	57	70	205	118

607	-3	-9	76	90	84	166	188
608	-3	-12	42	94	76	95	105
609	-3	-15	30	68	74	69	50
610	-3	-18	16	74	66	79	59
611	-3	-21	22	58	71	40	44
612	-3	-24	12	30	45	66	66
613	-3	-27	10	42	48	22	21
614	-3	-30	10	24	27	46	20
615	-3	-33	20	30	40	32	33
616	-3	-36	20	25	42	32	34
617	-3	-39	19	23	40	40	27
618	-3	-42	21	26	49	39	20
619	-3	-45	-	18	37	47	18
620	-6	0	100	84	140	200	102
621	-6	-3	100	96	115	222	120
622	-6	-6	105	117	112	156	170
623	-6	-9	120	39	53	165	78
624	-6	-12	58	54	34	120	80
625	-6	-15	40	77	54	57	67
626	-6	-18	51	57	42	67	52
627	-6	-21	65	50	50	36	64
628	-6	-24	62	40	20	54	44
629	-6	-27	18	60	40	20	28
630	-6	-30	16	34	28	27	21
631	-6	-33	15	49	29	46	61
632	-6	-36	21	46	29	44	25
633	-6	-39	20	39	30	37	28
634	-6	-42	19	26	35	34	35
635	-6	-45	17	21	28	53	21
636	-9	0	88	87	160	160	160
637	-9	-3	76	74	148	169	150
638	-9	-6	83	68	96	179	71
639	-9	-9	-	50	74	76	89
640	-9	-12	30	65	56	68	30
641	-9	-15	30	48	40	77	69
642	-9	-18	23	35	24	85	31
643	-9	-21	56	52	42	75	64
644	-9	-24	35	21	13	56	17
645	-9	-27	68	20	32	73	61
646	-9	-30	45	34	32	22	31
647	-9	-33	39	40	30	57	30
648	-9	-36	25	40	20	42	30
649	-9	-39	30	54	32	43	30
650	-9	-42	28	60	24	35	35
651	-9	-45	12	23	10	56	29
652	-12	0	82	50	64	87	70
653	-12	-3	65	54	71	76	81

654	-12	-6	37	30	80	84	76
655	-12	-9	27	75	70	47	69
656	-12	-12	30	72	60	58	68
657	-12	-15	29	35	44	58	42
658	-12	-18	34	31	50	43	41
659	-12	-21	38	55	49	89	71
660	-12	-24	28	45	30	29	35
661	-12	-27	29	45	38	66	48
662	-12	-30	-	35	39	33	42
663	-12	-33	10	20	28	39	39
664	-12	-36	40	22	30	49	31
665	-12	-39	45	30	32	40	38
666	-12	-42	-	28	31	48	30
667	-12	-45	15	16	30	49	20
668	-15	0	30	72	50	52	28
669	-15	-3	30	64	74	48	50
670	-15	-6	32	58	60	82	55
671	-15	-9	35	52	50	82	72
672	-15	-12	21	44	60	55	70
673	-15	-15	48	65	54	31	27
674	-15	-18	50	44	44	73	28
675	-15	-21	6	15	29	53	16
676	-15	-24	30	25	25	51	68
677	-15	-27	15	30	32	20	28
678	-15	-30	30	42	30	59	40
679	-15	-33	23	41	60	42	38
680	-15	-36	24	20	30	39	31
681	-15	-39	42	18	32	39	35
682	-15	-42	50	35	30	40	42
683	-15	-45	15	10	10	17	5
684	-18	0	50	50	52	62	66
685	-18	-3	38	43	54	61	62
686	-18	-6	23	30	64	60	72
687	-18	-9	30	51	47	79	28
688	-18	-12	34	47	46	33	66
689	-18	-15	52	45	62	72	65
690	-18	-18	18	20	38	53	32
691	-18	-21	31	25	68	-	30
692	-18	-24	9	23	22	63	16
693	-18	-27	25	34	36	37	-
694	-18	-30	28	36	21	50	32
695	-18	-33	30	36	28	41	29
696	-18	-36	28	53	36	38	42
697	-18	-39	26	40	30	32	37
698	-18	-42	21	17	20	60	38
699	-21	0	65	58	52	40	33
700	-21	-3	51	47	45	40	36

701	-21	-6	38	50	46	42	51
702	-21	-9	34	60	84	82	66
703	-21	-12	40	24	41	82	67
704	-21	-15	17	23	24	53	20
705	-21	-18	38	44	51	25	38
706	-21	-21	37	26	53	70	48
707	-21	-24	38	35	35	19	22
708	-21	-27	32	30	30	60	28
709	-21	-30	22	23	43	44	31
710	-21	-33	22	25	21	43	21
711	-21	-36	25	30	25	31	31
712	-21	-39	28	46	40	40	48
713	-21	-42	12	5	8	21	13
714	-24	0	55	25	37	63	52
715	-24	-3	46	23	46	68	54
716	-24	-6	32	24	50	49	67
717	-24	-9	18	22	37	70	25
718	-24	-12	29	32	25	33	17
719	-24	-15	50	40	38	50	68
720	-24	-18	25	25	13	60	18
721	-24	-21	30	35	36	20	38
722	-24	-24	42	34	44	43	42
723	-24	-27	32	39	26	28	38
724	-24	-30	17	26	36	39	38
725	-24	-33	17	33	35	30	29
726	-24	-36	21	28	34	40	33
727	-24	-39	15	22	20	43	30
728	-24	-42	0	0	0	13	1
729	-27	0	43	33	25	25	21
730	-27	-3	42	36	43	25	29
731	-27	-6	34	35	48	20	39
732	-27	-9	36	46	35	62	58
733	-27	-12	36	25	26	89	50
734	-27	-15	30	20	41	19	30
735	-27	-18	30	40	32	35	48
736	-27	-21	32	36	30	52	45
737	-27	-24	29	34	30	32	35
738	-27	-27	40	30	45	40	28
739	-27	-30	33	41	35	32	38
740	-27	-33	40	30	38	43	36
741	-27	-36	15	27	28	45	31
742	-27	-39	10	80	31	15	10
743	-30	0	25	32	20	47	21
744	-30	-3	21	41	17	49	23
745	-30	-6	20	28	23	21	18
746	-30	-9	28	38	22	18	28
747	-30	-12	38	43	40	32	30

748	-30	-15	35	25	35	51	39
749	-30	-18	22	21	30	42	30
750	-30	-21	35	23	50	39	44
751	-30	-24	19	27	30	41	44
752	-30	-27	28	29	37	33	30
753	-30	-30	40	32	48	35	21
754	-30	-33	38	22	38	32	37
755	-30	-36	11	8	7	23	10
756	-33	0	36	25	35	45	47
757	-33	-3	34	35	43	45	50
758	-33	-6	30	30	50	46	46
759	-33	-9	32	30	48	0	36
760	-33	-12	25	31	30	42	34
761	-33	-15	28	30	30	48	31
762	-33	-18	20	27	34	42	21
763	-33	-21	35	30	30	45	30
764	-33	-24	34	22	42	40	33
765	-33	-27	30	34	34	35	41
766	-33	-30	22	34	52	39	41
767	-33	-33	18	10	18	42	28
768	-36	0	35	26	24	36	32
769	-36	-3	37	30	40	42	40
770	-36	-6	30	30	52	45	38
771	-36	-9	12	33	31	45	38
772	-36	-12	28	44	21	44	29
773	-36	-15	25	35	36	45	32
774	-36	-18	28	30	30	37	34
775	-36	-21	25	30	34	30	28
776	-36	-24	22	30	47	40	35
777	-36	-27	20	28	32	51	36
778	-36	-30	8	4	14	35	15
779	-39	0	35	30	20	42	35
780	-39	-3	16	40	30	48	32
781	-39	-6	30	44	36	35	25
782	-39	-9	30	33	28	31	28
783	-39	-12	28	35	46	30	47
784	-39	-15	30	40	40	35	40
785	-39	-18	23	28	41	39	37
786	-39	-21	28	40	30	36	42
787	-39	-24	13	10	25	45	30
788	-39	-27	4	4	19	15	14
789	-42	0	40	12	22	32	31
790	-42	-3	20	28	48	33	29
791	-42	-6	30	32	50	38	40
792	-42	-9	20	30	44	39	38
793	-42	-12	10	42	35	49	33
794	-42	-15	30	36	52	41	51

795	-42	-18	13	10	38	59	28
796	-42	-21	10	2	2	22	9
797	-42	-24	0	0	4	11	0
798	-45	0	34	10	30	50	47
799	-45	-3	10	10	25	41	41
800	-45	-6	21	15	28	41	30
801	-45	-9	15	10	27	30	37
802	-45	-12	10	5	29	21	19
803	-45	-15	5	0	18	11	12
804	-48	0	0	0	2	10	2
805	-1.5	0	0	0	180	210	230
806	0	-1.5	0	0	214	310	210
807	1.5	0	0	0	175	186	204
808	0	1.5	0	0	196	210	210

Titre du mémoire : ETUDE DE L'INFLUENCE DU VENT SUR L'ARROSAGE PAR PIVOT.

Master : Energétique.

Auteur : GHEARAISSA Fathi, KHAMMES Abdelhafid, ABADI Oussama.

Mots clés : Pivot d'irrigation, coefficient d'uniformité, influence du vent, buses.

Résumé :

L'uniformité des systèmes d'irrigation est importante pour l'efficacité, le rendement et l'économie. Le vent affecte fortement cette uniformité. Ce travail est fait pour connaître l'uniformité dans le pivot d'irrigation artisanal et l'impact du vent sur celui-ci, en menant des expériences de terrain soumises à des conditions internationales affiliées à l'ISO, à différentes vitesses et directions de vent. Les résultats de ces expériences ont été insérés dans le logiciel MATLAB, afin de trouver un modèle mathématique capable de prédire les performances de pivot d'irrigation à travers différentes directions et vitesses de vent. L'étude montre l'importance de l'effet du vent sur la pluviométrie dans la région d'El-Oued en particulier. Il a un impact plus important sur l'état du système d'irrigation traditionnel, dont l'architecture n'est pas conforme aux normes internationales de conception de ces systèmes.

Report title: STUDY OF THE INFLUENCE OF WIND ON PIVOT IRRIGATION.

Keywords: Irrigation pivot, coefficient of uniformity, influence of wind, nozzles.

Abstract:

Irrigation systems uniformity on crop yields is a major factor for determine efficiency and minimize the cost of the system. This work aims to evaluate the uniformity and the impact of the wind on the artisanal pivot irrigation system. However, the field experiments were carried out to the International Organization for Standardization (ISO), at different wind speeds and directions. The results of these experiments are introduced into the MATLAB software, in order to find a mathematical model capable of predicting the system's performance through different directions and wind speeds. The study shows the effect of the wind on the rainfall in the region of El-Oued in particular, the greater impact on the traditional irrigation systems, which, its engineering does not appropriate with the international standards of these systems.

عنوان المذكرة : دراسة تأثير الرياح على الرش المحور.

الكلمات المفتاحية : محور الري ، معامل الانتظام ، تأثير الرياح ، الفوهات.

ملخص :

يعد تجانس أنظمة الري أمرًا مهمًا لتحقيق الكفاءة والمحصول والاقتصاد، تؤثر الرياح بشدة على هذا التجانس. هذا العمل لمعرفة التجانس في محور الري الحرفي وتأثير الرياح عليه، من خلال إجراء تجارب ميدانية تخضع للظروف الدولية التابعة لـ "ISO"، في مختلف سرعات واتجاهات الرياح. تم إدراج نتائج هذه التجارب في برنامج "ماتلاب". بحيث يتم إيجاد نموذج رياضي قادر على التنبؤ بأداء الري المحوري من خلال اتجاهات وسرعات مختلفة للرياح. توضح الدراسة أهمية تأثير الرياح على التساقط في محور الري المتواجد في منطقة الوادي بشكل خاص، وهذا يؤثر بشكل أكبر في حالة النظام التقليدي، الذي لا تتوافق هندسته مع المعايير الدولية لتصميم مثل هذه الأنظمة.