

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Kasdi Merbah Ouargla



FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES

Département Génie civil et hydraulique

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de  
Master, Filière : hydraulique

**Spécialité : Ressources hydriques**

**Thème**

Détermination des besoins de quelques cultures irriguées au « Goutte-à-goutte » avec les eaux épurées de la station d'épuration de Sidi Khouiled (Ouargla)

*Présenté par :*

- ❖ AZIZI Khaoula
- ❖ DEROUICHE Hibate El Rahmane

*Soumis au jury composé de :*

<b>BOUTOUOAOU Djamel</b>	<b>Pr</b>	<b>UKM Ouargla</b>	<b>Président</b>
<b>EL FERGOUGUI Meryem</b>	<b>MCA</b>	<b>UKM Ouargla</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>OULHACI Dalila</b>	<b>MCA</b>	<b>UKM Ouargla</b>	<b>Encadreur</b>
<b>ZAHAF Mohamed</b>	<b>Doctorant</b>	<b>UKM Ouargla</b>	<b>Co-encadreur</b>
<b>MEKHOLOUFI Smail</b>	<b>Responsable</b>	<b>ONA Ouargla</b>	<b>Invité</b>
<b>CHETTOUH Abdeslam</b>	<b>Responsable</b>	<b>ONA Ouargla</b>	<b>Invité</b>

*Année Universitaire: 2021 / 2022*



**Résumé :** La réutilisation des eaux usées est une action volontaire et planifiée qui vise la production de quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques. L'étude des techniques d'irrigation a conduit au choix de la procédure la plus économique avec plusieurs avantages qui est l'irrigation localisée. Comme cultures, on a opté pour le tournesol, gombo, melon et palmier dattier qui sont résistants aux conditions sèches des régions sahariennes et s'adaptent aux sols sableux et aux eaux épurées.

Les résultats des paramètres des eaux épurées montrent un rabattement de la DCO avec un rendement de 75%, ainsi qu'un rabattement des MES avec un rendement moyen de 55%. La DCO, à la sortie de la station, est inférieure à la norme d'irrigation Algérienne (J.O.N41. 15Juillet 2012), par contre la quantité des MES égale à 46mg/l est faiblement supérieure à la norme (30mg/l). La deuxième étape de ce travail consiste à la détermination du régime d'irrigation par une évapotranspiration mensuelle de 251.36 mm, 221.51mm, 263.32mm et 227.42 mm respectivement pour les tournesol, gombo, melon et palmier dattier et des besoins mensuels en eau égaux à 276.50mm pour le tournesol, 199.36mm pour le gombo, 263.32mm pour le melon et 136.45mm le palmier dattier. On irrigue donc tous les jours pendant environ 4h en ce qui concerne le palmier, 2h pour le tournesol, 2h le gombo et 4h le melon avec respectivement une dose d'arrosage quotidienne de 4.40mm 8.92mm, 6.65mm et 9.34mm. Le débit caractéristique est 0.67 l/s/ha pour le palmier, 1.35 l/s/ha pour le tournesol, 1.01 l/s/ha pour le gombo et 1.41 l/s/ha pour le melon. La longueur totale des rampes est 2860 m avec 26480 goutteurs.

**ملخص :** تعتبر إعادة استعمال المياه المستعملة عملية إرادية ومخططة تهدف إنتاج كميات مياه إضافية لمختلف الاستعمالات قصد سد العجز المائي. سمحت دراسة تقنيات السقي باختيار الوسيلة الأقل تكلفة ذات المزايا المتعددة ألا وهي السقي الموضوعي. فيما يخص المنتجات الزراعية لقد اخترنا عباد الشمس، والبامية، والبطيخ ونخلة التمر التي تحتمل الظروف الجافة للمناطق الصحراوية وتتكيف مع الأراضي الرملية والمياه المعاد تطهيرها. تبين معايير المياه المطهرة انخفاض الطلب الكيميائي للأكسجين بمرودود 75% وكذا انخفاض المواد العالقة في الماء بمرودود متوسط يقدر بـ 55%.

عند الخروج يكون الطلب الكيميائي للأكسجين أدنى من مقاييس السقي الجزائرية (الجريدة الرسمية رقم 41 المؤرخة في 15 يوليو 2012). غير أن كمية المواد العالقة في الماء المساوية لـ 46 ملغ/ل

تعلو قليلا المقاييس (30 ملغ/ل). تتمثل المرحلة الثانية لهذا العمل في تحديد نظام السقي بالنسبة للتبخر الشهري مقدر بـ 251.36 مم، و 221.51 مم، و 263.32 مم و 227.42 مم على التوالي بالنسبة لعباد الشمس، والبامية، والبطيخ ونخلة التمر والحاجيات الشهرية من الماء المعادلة لـ 276.50 مم بالنسبة لعباد الشمس، و 199.36 مم بالنسبة للبامية، و 263.32 مم بالنسبة للبطيخ و 136.45 مم بالنسبة لنخلة التمر. إذن نسقي يوميا تقريبا أربع ساعات فيما يخص النخلة، وساعتين عباد الشمس، وساعتين البامية و أربع ساعات البطيخ بجرعة سقي يومية مقدرة على التوالي بـ 4.40 مم و 8.92 مم، و 6.65 مم، و 9.34 مم. يقدر التدفق المميز بـ 0.67 ل/ث/ه بالنسبة لنخلة التمر، و 1.35 ل/ث/ه بالنسبة لعباد الشمس، و 1.01 ل/ث/ه بالنسبة للبامية و 1.41 ل/ث/ه بالنسبة للبطيخ. فالطول الإجمالي للأنابيب يقدر بـ 2860 م و 26480 ناقطة .

## ***Remerciements***

Nous remercions Allah, le tout puissant, le miséricordieux, de nous avoir appris ce que nous ignorions et donné la santé, la persévérance ainsi que tout ce dont nous avons besoin afin de réaliser le travail requis et rédiger ce mémoire.

Nos vifs remerciements et nos respects les plus distingués vont à notre encadreur Dr. OULHACI Dalila pour avoir proposé le thème, apporté son savoir et son expérience aussi bien en irrigation, en épuration des eaux usées qu'en de nombreux autres domaines. Nous tenons également à saluer sa disponibilité durant cette période difficile. Enfin nous la remercions pour la confiance qu'elle nous a accordée, elle nous a été d'un grand soutien sans lequel il nous aurait été difficile d'achever ce travail.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance au vice doyen de la faculté des sciences Pr. SEGGAI Sofiane pour ses orientations, ses conseils et surtout pour nous avoir facilité le contact avec les responsables de plusieurs institutions pour effectuer nos analyses et expérimentations. Nous lui devons beaucoup.

Nous remercions également chaleureusement, M. MEKHLOUFI Smail, responsable de la Station d'Épuration de Sidi Khouiled pour ses conseils judicieux, ses orientations, son encouragement et pour toutes ses précieuses informations fournies tout au long de ce travail. Grâce à lui nous avons pu accéder à la station d'épuration pour réaliser nos expérimentations et au laboratoire pour effectuer nos analyses.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et sincère reconnaissance à M. CHETTOUH Abdeslam, responsable de la Station d'Épuration de Said Otba pour son chaleureux accueil, sa compréhension et nous avoir fait profiter de ses connaissances et son expérience.

N'oublions pas non plus l'ensemble du personnel des équipes des deux Stations d'Épuration qui ont contribué grandement à l'accomplissement de nos expérimentations.

Nous tenons à remercier également tout le personnel du laboratoire Génie civil de la Faculté des Sciences Appliquées, Université Kasdi Merbah Ouargla, particulièrement M<sup>me</sup> ABBA Allia Asma qui nous a beaucoup aidés aux cours des analyses des eaux épurées.

Nous adressons nos sincères remerciements au Pr. BOUTOUTAOU Djamel qui nous a fait l'immense honneur d'accepter de présider le jury et d'évaluer notre travail.

Il nous est agréable d'adresser nos vifs remerciements et l'expression de notre profonde gratitude au Dr. EL Fergougui Meryem Marie qui nous a honorées en acceptant d'examiner ce travail et de l'enrichir à travers ses suggestions avisées.

Nos sincères remerciements vont également à l'ensemble des enseignants du département de génie civil et hydraulique de l'Université de Ouargla pour la formation qu'ils nous ont assurée au long de notre cursus universitaire.

Enfin, notre sympathie va vers tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



# *Dédicaces*

*Je rends grâce à ALLAH le TOUT PUISSANT pour tous les bienfaits dont il m'a comblée.*

*Ce mémoire ayant été rédigé, je le dédie à :*

*Ma source de tendresse, l'être qui m'est le plus cher au monde,  
la dame la plus patience, ma très chère maman ;*

*Mon idéal, l'être le plus généreux, mon très cher papa  
pour tous ses sacrifices ;*

*Ma grand-mère ;*

*Mon cher frère Hamza*

*Ma très chère sœur Meriem*

*Mon beau-frère Amar*

*Toute ma famille .*

*Mes amies Moufida, Ikram, Zineb, Yamina, Haiat, Meriem, Affaf et Hoda*

*✍ Khaoula*



*Listes d'es abréviations*

- DBO** : Demande Biochimique en Oxygène  
**DCO** : Demande Chimique en Oxygène  
**EE** : Eau Epurée  
**EUE** : Eau Usée Epurée  
**FAO** : Food Agriculture Organisation (Organisation Mondiale de l'Alimentation et de l'Agriculture).  
**MES** : Matières En Suspension  
**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé  
**ONA** : Office National de l'Assainissement  
**ONM** : Office National Métrologique  
**STEP** : Station d'Épuration  
**ETP** : Evapotranspiration  
**pH** : potentiel d'Hydrogène  
**NTK**: Azote Total kjeldhal.  
**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**: Azote ammoniacal.  
**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>**: Nitrite.  
**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**: Nitrate.  
**NTU**: Nephelometric Turbidity Unit.  
**PT**: Phosphore total.  
**REUE**: Réutilisation des Eaux Usées Epurées.  
**ERU** : Eaux Résiduaire Urbaines.

## *Table des Matières*

Remerciements	ii
Dédicaces	iii
Abréviations	iv
Table des matières	v
Listes des figures	vii
Liste des tableaux	viii
Listes de photos	xi
Introduction générale	1
<b>CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	5
Introduction	6
I.1 Réutilisation des eaux usées	6
I.1.1 Notion d'Eau Résiduaire ER	6
I.1.2 Principaux paramètres de pollution	6
I.1.2.1 Paramètres physiques	6
I.1.2.2 Paramètres chimiques	7
I.1.3 Irrigation avec les eaux épurées	8
I.1.4 Conditions d'utilisation des eaux épurées	9
I.1.4.1 Contrôle des risques sanitaires	10
I.1.4.2 Risques agronomiques majeurs	10
I.2 Choix des cultures	11
I.2.1 Niveaux de risques	11
I.2.2 Caractéristiques des cultures	12
I.2.2.1. Palmier dattier	12
I.2.2.2 Tournesol	13
I.2.2.3 Gombo	14
I.2.2.4 Melon	16
I.3 Irrigation	18
I.3.1 Irrigation par aspersion	18
I.3.2 Irrigation de surface (ruissellement)	19
I.3.2.1 Irrigation par planches	19
I.3.2.2 Irrigation par bassins	20
I.3.2.3 Irrigation par sillons/à la raie	20
I.3.2.4 Irrigation souterraine	21
I.3.2.5 Irrigation au Goutte-à-goutte	22
Conclusion du chapitre I	23
<b>CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES</b>	24
Introduction	25
II.1 Présentation de la zone d'étude	25
II.1.1 Situation géographique	25
II.1.2 Etude climatique de la région	26
II.1.2.1 Température	26
II.1.2.2 Humidité relative	26
II.1.2.3 Vitesse du vent	26
II.1.2.4 Précipitations	27
II.1.2.5 Insolation	27
II.1.2.6 Evaporation	28
II.1.2.7 Synthèse climatique	28
II.1.3 Hydrogéologie	30
II.2. Site expérimental	30
II.2.1 Station d'épuration	31
II.2.1.1 Regard de dégazage	31



II.2.1.2 Prétraitement	32
II.2.1.3 Traitement	32
II.2.1.4 Lits de séchage	35
II.3 Caractéristiques du sol et des eaux	36
II.3.1 Caractéristiques des eaux	36
II.3.2 Caractéristiques du sol	38
II.3.2.1 Analyse granulométrique	38
II.3.2.2 Coefficient d'uniformité	39
II.3.2.3 Densité apparente	40
II.3.2.4 Salinité, conductivité et pH	40
Conclusion du chapitre II	41
<b>CHAPITRE III : REGIME D'IRRIGATION</b>	42
Introduction	43
III.1 Caractéristiques des données de bases	43
III.2 Besoins en eau d'irrigation	44
III.2.1 Besoins des cultures en irrigation localisée	48
III.2.2 Dose pratique	49
III.3 Fréquence d'arrosage	50
III.4. Durée de l'arrosage	51
III.5 Dispositions pratiques	53
Conclusion du chapitre III	54
<b>CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DU RESEAU D'IRRIGATION</b>	55
Introduction	56
IV.1 Débit caractéristique	57
IV.2. Nombre de Goutteurs et rampes	57
IV.2.1 Palmier	57
IV.2.2 Tournesol	57
IV.2.3 Gombo	58
IV.2.4 Melon	58
Conclusion du chapitre IV	59
Conclusion générale	60
Recommandations	63
Références bibliographiques	i
Annexes	x

## *Listes des figures*

<b>CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>		
Figure I.1	Plant de Gombo	15
Figure I.2	Gombo	15
Figure I.3	Gousse Gombo	15
Figure I.4	Irrigation par aspersion	18
Figure I.5	Alimentation des planches par siphon	20
Figure I.6	Irrigation sillon	20
Figure I.7	Irrigation souterraine	21
<b>CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES</b>		
Figure II.1	Situation géographique de Ouargla	24
Figure II.2	Diagramme ombrothermique de Gaussen	25
Figure II.3	Coupe hydrogéologique à travers le Sahara	29
Figure II.4	Schéma de la STEP de Sidi Khouiled	30
<b>CHAPITRE IV: AMENAGEMENT DU RESEAU D'IRRIGATION</b>		
Figure IV.1	Aménagement au réseau d'irrigation	53

## Liste des Tableaux

<b>CHAPITRE II: MATERIELS ET METHODES</b>		
Tableau II.1	Températures moyennes mensuelles enregistrée dans la région de Ouargla	25
Tableau II.2	Humidités moyennes mensuelles enregistrée dans la région de Ouargla	25
Tableau II.3	Vitesses moyennes mensuelles des vents enregistrés dans la région de Ouargla	26
Tableau II.4	Précipitations moyennes mensuelles enregistrées dans la région de Ouargla	26
Tableau II.5	Insolation moyenne mensuelle enregistrée dans la région de Ouargla	26
Tableau II.6	Évaporation moyennes mensuelles enregistrée dans la région de Ouargla	27
Tableau II.7	Classification des climats selon l'indice De Martonne	27
Tableau II.8	Paramètres analysés	35
Tableau II.9	Résultat d'analyses (Salinité, conductivité et pH)	38
<b>CHAPITRE III : REGIME D'IRRIGATION</b>		
Tableau III. 1	Répartition des sols relative aux cycles culturaux	40
Tableau III.2	L'ETP mensuelle	41
Tableau III. 3	Pluie efficace	42
Tableau III. 4	Besoins en eau de palmier	43
Tableau III. 5	Besoins en eau de gombo	43
Tableau III. 6	Besoins en eau de tournesol	44
Tableau III. 7	Besoins en eau de melon	44
Tableau III. 8	Besoins en eau de toutes les cultures	44
Tableau III. 9	Coefficient Kr	46
Tableau III. 10	Détermination de toutes les doses et temps d'arrosage	47
Tableau III. 11	Paramètre des arrosages	48
Tableau III. 12	Déterminations des débits caractéristiques	50
<b>CHAPITRE IV: AMENAGEMENT DU RESEAU D'IRRIGATION</b>		
Tableau IV. 13	Caractéristiques générales du périmètre	56

## *Liste des Photos*

<b>PREMIER CHAPITRE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>		
<b>Photo N°01</b>	<b>Melon</b>	17
<b>Photo N°02.a</b>	Irrigation par planches	19
<b>Photo N°02.b</b>	Irrigation par planches	19
<b>Photo N°03</b>	Irrigation au goutte à goutte	22
<b>CHAPITRE I : MATERIELS ET METHODES</b>		
<b>Photo N°04</b>	Prétraitement	31
<b>Photo N°05</b>	Dégrilleur	31
<b>Photo N°06</b>	Dessableur	31
<b>Photo N°07</b>	Benne	31
<b>Photo N°08</b>	Bassin d'aération et Aérateur	32
<b>Photo N°09</b>	Arrivée des eaux dans le bassin d'aération	32
<b>Photo N°10</b>	Bassin de finition	33
<b>Photo N°11</b>	Sortie des eaux pour l'irrigation	33
<b>CHAPITRE III : REGIME D'IRRIGATION</b>		
<b>Photo N°12</b>	Agitateur magnétique	35
<b>Photo N°13</b>	Multi-paramètre	35
<b>Photo N°14</b>	Tamis	36
<b>Photo N°15</b>	Balance	36
<b>Photo N°16</b>	Balance électronique	38
<b>Photo N°17</b>	Fiole erlenmeyer	38
<b>Photo N°18</b>	Agitateur	38
<b>Photo N°19</b>	Multi- paramètre	38



***Introduction générale***

Le contexte climatique des régions arides est principalement influencé par une irrégularité annuelle et une variabilité interannuelle très marquées des précipitations et une hétérogénéité de leur distribution. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air [14] A cela s'ajoute la rareté des ressources en eau et leur mauvaise qualité.

Du fait de l'extrême faiblesse des précipitations dans ces zones, l'eau nécessaire à la végétation des plantes est fournie à partir des ressources superficielles (cours d'eau, oueds, crues ....) et souterraines (sources résurgentes, nappes phréatique, nappes profondes ....) [56] Les pays en voie de développement (pays du Maghreb en particulier) sont de plus en plus concernés par des conflits d'usage en raison d'un accroissement de la population urbaine et de son niveau de vie. Les conditions climatiques font que l'irrigation est quasiment nécessaire dans ces pays bien souvent confrontés aux problèmes de pénuries d'eau. [30]

Au Sahara septentrional malheureusement aucune plante domestiquée par l'homme ne peut végéter sans apport d'eau [14]. Et c'est une entreprise paradoxale que de vouloir cultiver dans le désert qui exige plus que n'importe quelle autre terre ailleurs une irrigation en toutes saisons car en plus de son climat chaud et sec l'eau y est rare. [65]

Le recours à l'irrigation est dans bien des cas nécessaire pour garantir le maintien d'un niveau de production suffisant dans de nombreuses régions arides et semi-arides. La pratique de l'irrigation est même un aspect essentiel de l'agriculture en milieu saharien. On sait aujourd'hui calculer et prévoir les paramètres fondamentaux qui la régissent mais il n'y a pas de recette miracle, en fait les solutions adoptées sont toujours des compromis. De nombreux facteurs doivent intervenir qui tiennent compte des conditions naturelles, du savoir-faire local, du niveau de développement industriel du pays et des performances économiques de la production agricole envisagée. [68] Dans ce contexte, il a été décidé de déterminer le régime d'irrigation de quelques cultures.

Les techniques d'irrigation sont nombreuses mais, dans la réalité, l'efficacité de l'irrigation est à déplorer. Il est indispensable de pratiquer des techniques efficaces et peu consommatrices d'eau, en particulier dans le cas des zones semi-arides et arides dont le potentiel de ressources en eau mobilisées est faible. L'eau douce est devenue rapidement l'une des ressources les plus rares du XXI<sup>e</sup> siècle. En augmentant la productivité totale de l'eau et l'efficacité de la multitude des systèmes irrigués, particulièrement en Afrique, on peut optimiser l'utilisation de cette ressource très recherchée. [22]. L'irrigation superficielle a été pendant des siècles la seule méthode d'application de l'eau dans les terres cultivées puis des techniques d'irrigation modernes et très perfectionnées telles que l'irrigation par aspersion et l'irrigation goutte-à-goutte ont été développées durant ce siècle. Mais les pertes d'eau par évaporation surtout dans les régions arides sont abondantes et diminuent de l'efficacité de ces techniques.

Une irrigation insuffisante ou excessive est préjudiciable aux cultures ; Il faut donc déterminer exactement la dose d'arrosage adéquate à leurs besoins. C'est dans ce but que cette recherche a pour objectif la détermination du régime d'irrigation c'est-à-dire la dose, la fréquence et la durée des arrosages de quelques cultures. Pour se faire, il faudra d'abord calculer les besoins en eau.

Pour la méthodologie d'irrigation qui conduit à une humidification uniforme à proximité de la culture avec le minimum de pertes d'eau par évaporation, on a opté pour le « Goutte-à-goutte». D'un autre côté en Algérie, l'irrigation par les eaux usées se généralise dans plusieurs régions du pays, par manque d'eau d'irrigation, surtout pendant la saison sèche. Les eaux usées traitées peuvent être réutilisées pour l'arrosage de certains vergers (oliviers, figuiers...) et espaces verts [7]

En Algérie, la réutilisation des eaux usées épurées fait partie intégrante de la stratégie nationale de la gestion de l'eau. Elle a connu ces dernières années une évolution considérable, notamment avec la publication, en 2012, des premiers textes officiels pour encadrer cette pratique et l'existence d'un potentiel important de production d'eaux non conventionnelles qui constituent donc une ressource en eau prometteuse, en particulier en milieu aride. La réutilisation des eaux usées en irrigation constitue donc une nouvelle approche intégrée dans la planification et la gestion des ressources en eau. Le rejet des eaux usées brutes perturbe l'équilibre du milieu récepteur, la quantité de pollution rejetée est devenu incompatible avec les capacités d'autoépuration des cours d'eau et entraînent des conséquences néfastes telles que la dégradation du milieu naturel et le risque de contamination des eaux souterraines.

Il en est de même pour Ouargla qui est connue pour son climat aride et un excès d'eaux utilisées qui polluent l'environnement. La rareté de la ressource en eau en zone aride qui engendre une pénurie chronique et structurelle sur la disponibilité en eau [32].

La wilaya de Ouargla se caractérise par la culture du palmier-dattier comme la plupart des zones oasiennes du Sud algérien. On a donc opté pour cette culture. Pour les autres, le choix s'est porté sur le melon, gombo et tournesol qui ont déjà donné un bon rendement avec les eaux épurées.

L'utilisation intensive en eau d'irrigation dans la région de Ouargla présente un impact pour l'économie de l'eau d'une part, et sur la détérioration de l'environnement d'autre part vu que le surplus de l'eau provoque la remontée de la nappe et la formation de marécages qui polluent la région.

Dans ce cadre et afin d'exploiter les eaux épurées de la Station d'Épuration (Step) de Sidi Khouiled de la Wilaya de Ouargla, on a mené cette étude sur un périmètre d'une superficie de 2Ha, localisé à proximité de la Step. Il s'agit de concevoir un réseau d'irrigation sur ce périmètre en utilisant les eaux épurées de la Step.

Le second objectif de ce travail consiste à dimensionner un réseau d'irrigation localisée. Pour ce faire, il faudra déterminer les doses d'arrosage à l'aide de l'évapotranspiration et des besoins en eau des cultures.

Le plan de travail est structuré comme suit :

- On commence par une recherche bibliographique dans laquelle on donne dans un aperçu général sur la réutilisation des eaux usées ainsi que quelques caractéristiques des cultures choisies pour ce travail. Puis on définira quelques techniques de l'irrigation.
- Dans le deuxième chapitre, on donnera des généralités sur la région d'étude et sur la station d'épuration. On présentera aussi les matériels et les méthodes utilisés pour la détermination des caractéristiques des eaux épurées de la station de Sidi Khouiled et de celles du sol du périmètre irrigué.

## INTRODUCTION GENERALE

- Le troisième chapitre sera consacré à la détermination du régime d'irrigation, c'est-à-dire la durée, la fréquence et la dose d'arrosage. Pour cela, on devra d'abord déterminer les besoins des cultures choisies pour ce travail.
- Le quatrième chapitre sera réservé pour la conception le réseau d'irrigation.
- On terminera par une conclusion générale et quelques recommandations





***CHAPITRE I  
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE***

## **Introduction**

Pour la réalisation de ce travail c'est-à-dire l'utilisation des eaux épurées pour l'irrigation, la détermination du régime d'irrigation et l'aménagement du périmètre, quelques connaissances sur la réutilisation des eaux résiduaires, de l'irrigation et des cultures utilisées sont nécessaires et résumées dans ce chapitre.

### **I.1 Réutilisation des eaux usées**

L'eau est un élément très important dans la mesure où elle est intimement liée à toute activité humaine (activités économiques, industrielles ou sociales). Elle est essentielle pour le maintien de tous les écosystèmes et toute forme de vie. La réutilisation des eaux usées traitées (REUT) pour l'irrigation des cultures ou l'arrosage d'espaces verts présente un intérêt vis-à-vis de la préservation de la ressource en eau notamment en cas de conditions climatiques défavorables (période de sécheresse prolongée) ou dans des zones de faible disponibilité des ressources en eau.

#### **I.1.1 Notion d'Eau Résiduaire ER**

Sous la terminologie d'« Eau Résiduaire », on regroupe des eaux d'origines très diverses qui ont subi une détérioration après usage et ont perdu leurs puretés c'est-à-dire leurs propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles).

Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels.[19] Les eaux résiduaires urbaines (ERU), qu'on appelle aussi « effluents » sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine.[46]

La pollution des eaux dans son sens le plus large est définie comme « Tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines ». [1]

#### **I.1.2 Principaux paramètres de pollution**

On peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaines constituées d'eaux ménagères et eaux vannes. Toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie et les eaux pluviales.[50] Peuvent s'y ajouter éventuellement les eaux d'origine industrielle (parfois agricoles).

Les eaux usées résultent de la pollution tant physico-chimique que bactériologique des eaux de consommation de bonne qualité du fait des activités humaines domestiques, industrielles ou agricoles soient-elles.

##### **I.1.2.1 Paramètres physiques**

###### **a) Température:**

La température est un paramètre dont le contrôle est indispensable essentiellement en présence d'effluents industriels. C'est un paramètre important pour le bon fonctionnement des systèmes d'épuration dans la mesure où il peut influencer de différentes manières sur la solubilité des sels et des gaz.

Il est établi que la solubilité d'un gaz diminue avec l'augmentation de la température. Ce phénomène est particulièrement important dans le cas de l'oxygène dissous.

Aussi, plus l'eau est chaude, plus la concentration de saturation de l'oxygène devra diminuer ce qui conduit à la diminution de la réserve d'oxygène mis à la disposition des micro-organismes intervenant dans les processus d'autoépuration, la multiplication des micro-organismes affectant ainsi l'épuration biologique.

**b) Conductivité**

Elle donne une idée sur la salinité de l'eau ; des variations de cette dernière peuvent influencer le traitement biologique et la décantation.

**c) Matières en suspension (MES)**

Elles représentent la partie solide de la pollution, les MES sont la pollution non dissoute la plus facile à éliminer.

**d) Matières volatiles sèches (MVS)**

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension ; elles constituent environ **70-80 %** de MES.

**e) Couleur et odeur**

Dans les eaux usées brutes la couleur est due à la présence de matières organiques dissoutes ou colloïdes par des composés chimiques solubles qui sont colorés. L'odeur est due à une fermentation des matières organiques.

**f) Turbidité**

Elle tient compte de la présence plus ou moins importante des matières en suspension d'origine minérale ou organique.

**I.1.2.2 Paramètres chimiques**

**a) pH (potentiel hydrogène) :**

Le pH joue un rôle capital dans le traitement biologique. Il exprime le degré d'acidité ou d'alcalinité des eaux usées. Ce paramètre joue un rôle primordial:

- Dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité);
- Dans les processus biologiques dont certains exigent des limites de pH très étroites situées entre 6,5 et 8,5.

**b) Demande biologique en oxygène en 5 jours (DBO5) :**

Consommation d'oxygène en **5 jours** à **20°C**, à l'obscurité, résultant de la métabolisation de la pollution biodégradable par les microorganismes de contamination banale des eaux. Ces matières sont de nature dissoute ou particulaire. Elle représente la fraction biodégradable de la DCO.

Les charges en DBO apportées par les eaux brutes par jour et par habitant sont estimées

suivant le type de réseau comme suit:

- Réseau séparatif 54g/hab./j ;
- Réseau pseudo-séparatif 60g/hab./j ;
- Réseau unitaire 74g/hab./j.

**c) Demande chimique en oxygène (DCO) :**

Consommation d'oxygène dans les conditions d'une réaction d'oxydation, en milieu sulfurique, à chaud et en présence de catalyseurs, par les matières oxydables de l'eau. Ces matières oxydables sont dissoutes ou particulaires et de nature minérale ou organique.

**d) Relation entre DCO et DBO<sub>5</sub> :**

Le rapport **DCO/DBO<sub>5</sub>** donne une estimation de la biodégradabilité des eaux usées.

La notion de la biodégradabilité représente la capacité d'une substance ou son aptitude à être décomposée par les micro-organismes (bactérie champignons) :

- Si DCO/DBO<sub>5</sub> < 2: Le traitement se fait biologiquement.
- Si 2 < DCO/DBO<sub>5</sub> < 3: Le traitement biologique avec adaptation de souches.
- Si DCO/DBO<sub>5</sub> > 3: Traitement physico-chimique ; l'eau est pratiquement non traitable par voie biologique.

**Eléments toxiques :**

Il y a présence de métaux lourds (plomb, mercure, ...) et des substances toxiques (phénols) dans l'eau usée ce qui peut la rendre toxique ; ceux-ci sont évalués par des tests biologiques.

**e) Les nutriments (Azote, phosphore) :**

Le phosphore est présent dans les eaux usées sous forme de sels minéraux (ortho et poly phosphates) provenant surtout des poudres à lessive et sous forme organique provenant des matières fécales.

**1.1.3. Irrigation avec les eaux épurées**

L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option bénéfique, en particulier dans les zones arides et semi-arides car elle représente une source d'eau et d'engrais additionnels renouvelables et fiables. Mais la pollution du sol et des eaux souterraines est parmi les inconvénients potentiels les plus importants de l'utilisation d'eau usée traitée. De meilleurs rendements peuvent être obtenus lorsqu'on emploie de façon appropriée les systèmes d'irrigation modernes [18][43]. Cependant, du point de vue rigoureusement scientifique, la planification rigoureuse et la gestion efficace des régimes d'irrigation ou de fertilisation peuvent réduire au minimum ces inconvénients à un niveau dont les effets environnementaux sont insignifiants. Pour cette raison, il est important de fournir aux agriculteurs l'information requise pour les aider à améliorer la gestion de l'eau usée traitée utilisée pour l'irrigation et des déchets solides servant à la fertilisation.

- Les cultures doivent être irriguées selon leurs besoins en eau. On pourrait noter, que puisque la quantité d'eau d'irrigation diffère d'un endroit à un autre, à cause des conditions

climatiques, les nutriments dans l'eau usée peuvent s'y trouver en excès ou en concentration inadéquate pour une même culture dans des conditions de fertilité du sol identiques ;

- De même, des eaux usées de même qualité peuvent avoir des impacts environnementaux défavorables en un endroit et être adéquats dans un autre. Pour cette raison, il est difficile de donner des valeurs absolues pour la fertilisation avec l'eau usée, contrairement à ce qui se passe avec l'eau claire ;
- Les agriculteurs doivent également savoir qu'en pleine période de croissance, la quantité d'eau d'irrigation doit toujours être identique et atteindre la profondeur où les racines actives sont concentrées. Cependant, comme la quantité absolue d'eau d'irrigation change en fonction des conditions climatiques, la fréquence des irrigations doit varier alors que la dose d'irrigation doit rester constante ;
- Pour éviter la pollution par les nitrates, le système d'irrigation doit appliquer l'eau uniformément. Évidemment, plus l'efficacité du système d'irrigation est élevée, plus grande sera l'efficacité d'absorption de N par les cultures et plus faible sera le potentiel de pertes et de pollution par les nitrates. [78]

La micro-irrigation, conçue, installée et contrôlée de façon appropriée, fournit l'efficacité d'irrigation la plus élevée.

#### **1.1.4 Conditions d'utilisation des eaux épurées**

La réutilisation des eaux usées traitées doit être encadrée réglementairement afin de prévenir les risques sanitaires liés à cette pratique. En effet, les eaux résiduaires urbaines, même traitées par une station d'épuration (STEP), contiennent divers micro-organismes pathogènes et des éléments organiques et minéraux potentiellement toxiques.

Les principaux risques liés à la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation peuvent être classés en trois catégories :

- Risques sanitaires :
- Risques agronomiques et environnementaux ;
- Risques opérationnels de dégradation de la qualité de l'eau recyclée dans les systèmes de distribution et de colmatage des équipements d'irrigation.

Par principe, la majorité des normes plus récentes exigent au minimum un traitement biologique des eaux usées destinées à la réutilisation de l'eau pour l'irrigation. Dans certains cas, la priorité peut être donnée à la préservation de la valeur fertilisante des eaux usées par un traitement primaire avancé (ex. coagulation, floculation et décantation lamellaire) suivi de filtration ou/et de désinfection pour l'élimination prioritaire de la pollution microbiologique, tout en préservant le carbone et les nutriments pour les cultures irriguées. Un traitement tertiaire complémentaire est souvent indispensable pour les usages à haut risque sanitaire, comme par exemple l'irrigation des cultures maraîchères consommées crues et l'irrigation d'espaces verts.

Une filtration complémentaire est également nécessaire pour éviter les dépôts dans le système de distribution et/ou de réduire le risque de colmatage des dispositifs d'irrigation notamment les buses d'aspersion et les systèmes goutte-à-goutte.

Le développement et la mise en place de nouvelles filières de traitement des eaux usées pour l'irrigation a contribué également à l'amélioration de la qualité esthétique de l'eau recyclée avec l'élimination des problèmes d'odeurs et de coloration des eaux recyclées ce qui a freiné plusieurs projets en raison d'une perception négative de la part des usagers.

#### **1.1.4.1 Contrôle des risques sanitaires**

Le risque majeur pour la santé publique associé à l'irrigation avec de l'eau recyclée est la contamination par des microorganismes pathogènes notamment des virus, bactéries, helminthes et protozoaires.

Les principales mesures de contrôle des risques sanitaires pour l'irrigation avec de l'eau recyclée comprennent les quatre groupes de bonnes pratiques suivants:

- Traitement des eaux usées et contrôle de la qualité lors de la distribution et du stockage ;
- Contrôle de l'application des eaux usées par le choix de méthodes d'irrigation appropriées et des pratiques culturales ;
- Restriction du type de cultures irriguées et restriction de l'accès public notamment pour l'irrigation des espaces verts ;
- D'autres mesures, y compris le contrôle de l'exposition humaine (e.g. mesures de protection des ouvriers agricoles avec des gants, masques, etc.), des mesures de récolte, l'éducation du public concerné et la promotion des bonnes pratiques d'hygiène. Le traitement des sanitaires associé à l'utilisation de l'eau recyclée pour l'irrigation.

#### **1.1.4.2 Risques agronomiques majeurs se présentent comme suit :**

- Salinité excessive du sol qui affecte la transpiration et la croissance des cultures sensibles. Le risque de salinisation des sols est important dans les zones arides et peut être évalué par le suivi de la concentration des matières dissoutes, de la conductivité électriques et des chlorures ;
- Excès de sodium qui dégrade la structure des sols argileux et qui peut provoquer une diminution de sa perméabilité. En plus d'une quantité excessive de sodium échangeable, cet effet nocif est favorisé aussi par un ph élevé et une faible conductivité électrique ;
- Toxicité pour les cultures liée surtout aux concentrations élevées de bore, de sodium et des chlorures, ainsi que parfois de certains éléments traces (y compris des métaux lourds) apportés le plus souvent par des effluents industriels. La toxicité affecte la croissance des plantes, comme en témoigne l'apparition de brûlures et/ou la perte des feuilles ;
- Excès d'azote qui peut affecter l'équilibre de nutriments des cultures et la qualité des eaux de surface ou souterraines.

### **1.2 Choix des cultures**

#### **1.2.1 Niveaux de risques**

Pour la sélection des cultures la banque Mondiale a défini trois niveaux de risques qui facilitent la sélection des cultures à irriguer.

### **1.2.1.1 Risque faible**

Pour le consommateur mais protection requise pour les travailleurs aux champs :

- Cultures industrielles non destinées à la consommation humaine (coton, sisal, etc.).
- Cultures transformées par la chaleur ou séchage avant la consommation (graines, huiles, sucres).
- Légumes et fruits cultivés exclusivement pour la conserve ou autres produits séchés au soleil et récoltés avant la consommation animale efficace contre les pathogènes.
- Cultures fourragères et autres cultures destinées à l'alimentation.

### **1.2.1.2 Risque moyen**

- Pour les consommateurs et les manutentionnaires ;
- Pâturages et fourrages verts ;
- Cultures pour la consommation humaine qui ne sont pas directement en contact avec les eaux recyclées (arboriculture et cultures pour la consommation humaine normalement consommées après cuisson (pommes de terre, betteraves, asperges, etc.) ;
  - Cultures pour la consommation humaine dont la pelure n'est pas consommée (agrumes, bananes, noix, etc.) ;
- Toute culture non identifiée comme étant à haut risque si l'irrigation par aspersion est utilisée, vignes, etc.).

### **1.1.1.3 Risque élevé**

Pour les consommateurs, les travailleurs et les manutentionnaires ;

- Toutes les cultures consommées sans cuisson et cultivées en contact avec les eaux recyclées (légumes frais tels laitue, carotte, etc.) ;
- Irrigation par aspersion quelle que soit la culture à une distance de moins de 100 mètres des aires résidentielles ou des places publiques.

Seulement les habitants de Ouargla, comme partout ailleurs en Algérie, n'acceptent pas encore l'idée d'utiliser pour la consommation directe des cultures irriguées avec les eaux épurées pourtant, certaines cultures sont plus adaptées que d'autres à cette technique en fonction des risques inhérents aux produits irrigués avec de l'eau recyclée.

Parmi les cultures où la REU s'applique, on trouve l'orge, le maïs, l'avoine, le coton, l'avocat, le chou, la laitue, la betterave à sucre, la canne à sucre, l'abricot, l'orange, la prune, la vigne, les fleurs et les bois.

## **1.2.2 Caractéristiques des cultures**

Dans ce travail on a opté pour les cultures suivantes :

- Palmier dattier ;
- Tournesol ;
- Melon ;
- Gombo.

On présente dans ce qui suit les caractéristiques principales des cultures choisies nécessaires à la détermination des besoins en eau (distances des rampes, goutteurs et plantes, période végétative, types de sol, profondeur des racines...).

### 1.2.2.1 Palmier dattier

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) constitue le pilier des écosystèmes oasiens. Il joue un rôle très important sur le plan écologique, du fait qu'il permet de limiter les dégâts d'ensablement et protège les cultures sous-jacentes, contre le rayonnement solaire intense [5]. Sur le plan socio-économique, la datte constitue la principale production des régions sahariennes. En effet, la production des dattes contribue aux revenus agricoles des populations de ces régions [6].

Le palmier dattier, est une monocotylédone qui très souvent ne possède pas de branches. L'arbre peut atteindre une hauteur d'environ 30 mètres. Ses feuilles longues de 4 à 5 mètres contournent le tronc. Le palmier dattier est caractérisé par des racines fasciculées et fibreuses caractéristiques des graminées.

Les racines du palmier peuvent se trouver à 25 m de l'arbre en surface et à 6 m en profondeur. La distribution des racines chez le palmier, caractérisée par une densité faible en surface et forte en profondeur permet au palmier d'accéder à l'eau en profondeur.[10]

Un palmier dattier commence à produire des dattes à partir de 3 ans et peut rester vivant et productif pendant 150 ans environ.

**Type de sol :** Le palmier dattier est une plante relativement tolérante au sel avec une absence d'effet sur sa croissance avec une salinité d'environ 60 m mol/litre.

**Besoin en eau :** Le palmier dattier, bien établi, est capable de tolérer de longues périodes de stress hydrique, mais répond bien à un arrosage régulier. Pour maintenir une croissance maximale, le sol doit être bien humecté à une profondeur de 2 à 2,6 m, une fois durant l'hiver et le printemps. Cependant, le palmier doit être irrigué à des intervalles de 20 à 25 jours pendant l'été.

**Semis :** Le palmier dattier est une espèce thermophile. Sa végétation s'arrête à partir de 10°C (zéro de végétation). L'intensité maximale de végétation est atteinte à des températures de 30 à 40°C. La période de maturation des fruits correspond aux mois les plus chauds de l'année.

Vu que la croissance du palmier est faible en hiver, il est recommandé de planter les rejets entre Avril et Mai pour tirer profit des conditions favorables de croissance en été.

### 1.2.2.2 Tournesol

Le tournesol est une plante annuelle de la famille des Astéracées (Composées) et originaire du Pérou. La plante est à port dressé, à tige unique ou peu ramifiée, d'une hauteur variant de 1 à 1.2 m, les fleurs jaunes sont groupées en capitule à l'extrémité de la tige. Les graines portées sont ovales, aplaties, de couleur noire ou grise. [77] Si le système racinaire ne rencontre pas d'obstacle, il peut explorer le sol jusqu'à 2mètres. [75]



Le tournesol est une des cultures de printemps les plus tolérantes aux conditions sèches grâce à son système racinaires qui lui permet d'extraire mieux que d'autres l'eau du sol. Le tournesol résiste à la sécheresse, à condition d'éviter les stress hydrique au moment de la floraison (phase critique).

Quand le tournesol est jeune, il pousse très vite au cours de la journée. Au fur et à mesure de sa croissance, il se tourne vers le soleil.

Le côté à l'ombre poussant plus vite que le côté qui reçoit la lumière, sa tige se courbe en fonction du mouvement du soleil, donnant l'impression que la fleur suit le soleil. Cela est lié à l'auxine contenue dans la région apicale de la plante. Cette hormone, responsable de l'élongation cellulaire chez le végétal, migre vers le côté opposé à celui exposé au soleil. Les cellules sont donc plus grandes du côté ombragé que du côté ensoleillé.

Le tournesol est surtout cultivé pour ses graines oléagineuses dont le taux d'huile varie de 25 à 40% selon les variétés.[77] [75] La plante entière récoltée avant maturité est utilisée comme fourrage. Les graines sont appréciées pour nourrir les perroquets et autres oiseaux de volière. Ils sont aussi utilisés dans la fabrication des aliments concentrés des volailles.

Les graines de tournesol sont aussi utilisées dans la fabrication de biocarburants. [75]

Les tiges de tournesol ont les qualités pour faire de bons isolants pour le bâtiment. Leurs fibres ont une bonne résistance mécanique et leur moelle poreuse une bonne résistance thermique.

**Type de sol :** Le tournesol s'adapte à tous les types de sol mais préférant les sols argilo-sableux, frais et profond. Il vient après tout précédent. L'importance des résidus laissés sur le sol, après la récolte et leur qualité (matière sèche, azote, phosphore et potasse) font du tournesol un précédent de grande valeur. [77]

**Semis :** En fonction des bassins de production et des conditions pédoclimatiques de l'année, le semis est réalisé début avril. Une variété précoce sera récoltée, en moyenne, entre le 20 et le 25 août. Une variété mi-précoce sera **récoltée** entre le 25 août et le 04 septembre. Dans certains cas, le semis s'effectue entre février et début mars.

**Ecartement et Densité de semis du tournesol :** Lors du semis, le choix de l'écartement et de la densité de semis sont déterminants car ils conditionnent la couverture du sol et par conséquent l'alimentation du tournesol. Les buts sont :

- d'éviter la concurrence entre les plantes ;
- de mieux exploiter les réserves du sol ;
- de capter au maximum l'énergie solaire.

L'écartement idéal est de 40 à 60 cm néanmoins un semis de 80 cm permet d'utiliser le matériel existant sur l'exploitation notamment pour le binage [66]

**Besoins en eau :** La quantité et la période d'apport d'eau d'irrigation de complément sont raisonnées en fonction des besoins de la culture, des réserves en eau du sol, de l'évapotranspiration au niveau de la zone de la culture [75] et de l'état végétatif du tournesol avant la floraison. Le stress hydrique en phase végétatif, provoque le durcissement des plantes et un meilleur comportement par la suite, un feuillage important fonctionnant longtemps après la floraison, est la clé de la réussite de la culture du tournesol. [75]

Du début de la floraison à la fin du remplissage de la graine, le tournesol est dans une phase de sensibilité maximale à la sécheresse ; c'est en effet durant cette période que le taux de nouaison et le PMG (Poids de Mille Grains) sont déterminés. Durant cette phase il doit consommer 230 à 250 mm (Réserve utile + Pluie + Irrigation) d'eau pour assurer un rendement de 30q/ha [63].

Les besoins optimums en eau du tournesol sont : [75]

- 160-180mm au stade bouton floral de diamètre 3cm ;
- 70mm au stade du début à la fin de floraison ;
- 200-230mm en phase remplissage du grain.

### 1.2.2.3 Gombo

Le gombo est une plante du genre *Atriplex* soit des halophytes, appartenant à la famille des Chénopodiacées, poussant dans toutes les régions du globe ; extrêmement bien dans le bassin méditerranéen, sur les sables maritimes du littoral ou à l'intérieur du pays, sur les étendues salées autour des sebkhas, et en Alaska, de la Norvège à l'Afrique du Nord [17] ; [28] Ils se trouvent aussi en Afrique septentrionale, Sud-ouest de l'Asie et en Europe[1]

Le gombo est riche en de nombreuses molécules biologiquement actives (nutriments, antioxydants).[26] C'est une plante exceptionnelle et originale car toutes ses parties (racines, tiges, feuilles, fruits, graines) sont valorisées sur les plans alimentaire, médicinal, artisanal et même industriel .[39] En médecine traditionnelle, les plantes du genre *Astragalus* sont utilisées depuis des millénaires par les Hindous et les Chinois.[10] En Inde, la pâte de feuilles est utilisée pour réduire le taux de sucre dans le sang. D'autres études bibliographiques ont confirmé qu'ils présentent des propriétés antituberculeuses, antitussives et de purification du sang. [59]

L'*astragalus gombo* est une espèce vigoureuse au port dressé de 10 à 50 cm de haut. Le Plant (Figure I.1) a de très nombreuses tiges bien développées avec de grandes fleurs de 25 mm, ou petites fleurs de 12 à 15mm, [41]. Les fleurs papilionacées sont jaunes, regroupées en grappes compactes, axillaires et denses. [45] ;[41]. Les feuilles sont de grandes tailles, de couleur vert clair, à très nombreuses petites folioles et à pétioles robustes, en perdant leurs folioles celles-ci deviennent coriaces et piquant à l'extrémité. [11]; [27].

Le gombo a des gousses divisées complètement en deux loges par une cloison longitudinale, à parois épaisses, ligneuses, renflées, très dures, ornées de grosses nervures et terminées en bec robuste et long, les gousses sont couvertes d'un duvet soyeux dépassant 1 cm de diamètre commun dans tout le Sahara endémique. (Figure I.3)([45] ;[41].

La culture du gombo (plus connu chez le consommateur algérien sous le nom de "**gnaouia**"), expérimentée sur des surfaces dans les régions arides a donné des résultats positifs du point de vue qualité et quantité. [76]. Malgré sa rentabilité financière, la gnaouia demeure cultivée à petite échelle par des familles sur des petites superficies irriguées.

Le gombo (*Astragalus gombo* Bunge (Fabaceae) est une plante bien représentée dans le Sahara Septentrional Est Algérien (région de Ouargla, Algérie) et couramment utilisée comme fourrage pour les animaux ou en médecine traditionnelle.



**Figure I.1: Plant de Gombo**



**Figure I. 2 : Gombo**



**Figure I.3 : Gousse de Gombo**

**Irrigation :** Les besoins en eau du Gombo sont élevés durant la végétation et à l'approche de la récolte. Il faut lui maintenir une humidité constante dans le sol avec des irrigations modérées. Deux à trois binages-sarclages sont nécessaires ainsi que des arrosages réguliers le long du cycle cultural. Au moins 3 cm d'eau par semaine sont nécessaires. Le gombo peut supporter modérément la sécheresse mais il pousse davantage avec une irrigation surtout en été.

L'arrosage tous les deux jours en période froide comme en période chaude est économique aussi bien sur le plan de gain de travail que de quantité totale d'eau utilisée et convient, donc à la culture du gombo. [47].

**Sol / Climat :** La plante est de saison chaude, très exigeante en chaleur, lumière et humidité. Les semences ne germent pas au-dessous de 15°C (optimum de la température du sol: 20°C). La germination nécessite 17 jours à 20°C, 13 j à 25°C et 7 j à 30°C. L'optimum pour la croissance est de 26-28°C. Les exigences en sol sont faibles; la culture préfère un sol sableux. Les terrains silico-argileux, ni trop humides ni froids, conviennent aussi à la culture. Le pH optimal du sol est de 6-6,8.

Une étude comparative entre le semis direct du gombo et le semis hors sol des plants élevés en pépinière a montré que les résultats du semis direct du gombo reste encore la meilleure alternative de production sans pour autant avoir recours au stade pépinière[29]

Le gombo ne peut pousser en pleine terre que dans les zones méditerranéennes chaudes et ensoleillées [82] ; [85] ;[23] ;[102]. Généralement le Gombo est cultivé dans un sol plutôt pauvre et sableux[47]et [85].

**Profondeur d'enracinement :** Les racines ont une profondeur de 60 cm [85] et peuvent atteindre 100 à150 cm[86]

**Cycle végétatif :** La recherche bibliographique a montré les différents cycles végétatifs sont les suivants :

- On ne les installe en pleine terre qu'à la mi-mai dans la région méditerranéenne ; [82]
- La récolte commence quelques jours après la nouaison c'est-à-dire 5-6 jours après l'apparition de la fleur. Le premier fruit est récolté 2 mois après la plantation ; [83 ]
- Période de récolte est de 60 à 70 jours à partir des semis ;[47]
- Deux essais réalisés respectivement pendant les périodes froide (décembre-mars) et chaude (avril-juillet) de l'année 2005 montrent que la période de contre-saison favorable à la culture du gombo est la période chaude qui occasionne les meilleurs rendements ; [37]
- Le cycle végétal est compris entre 45 et 50jours ; [37]
- La plantation est entre début mars et fin juin, la floraison du début mai à la fin juillet et la récolte du début juin à la fin septembre ; [84]
- La période de semis/plantation est entre début mars et la fin avril et la période récolte/floraison du début juin à la fin octobre. Le temps d'occupation du terrain de la plantation à la fin de culture est de 110 jours et la durée de la récolte d'environ 60 jours. La récolte intervient 3 mois après les semis soit l'été à partir de juillet [47]
- On sème sur place en mai et juin dans les régions les plus chaudes. [85]

**Espacement :** L'espace entre les plants est de 60 à 90 cm [80]. L'interligne est entre 60 et 90 cm et l'inter-plant entre 40 et 60 cm [81]. La plantation se fait sur les planches avec un écartement de 50 cm entre les lignes et 50 cm sur la ligne.[47] ; [23] ; [82]

#### 1.2.2.4 Melon

Le terme « melon » vient du latin *melo*, *melonis*. Ce terme provient d'une racine grecque signifiant « pomme », « fruit » (« pomme » se dit *malum* en latin). Nom scientifique du melon cultivé : *Cucumis melo* L. *subsp. Melo*. C'est une plante originaire d'Afrique appartenant à la famille des cucurbitacées.[102]

Le melon est une plante herbacée annuelle à tiges rampantes assez longues munies de vrilles. Les feuilles sont entières ou légèrement lobées [98].[102]

Le melon existe sous différentes formes dans le monde entier. Chaque espèce possède des caractéristiques précises et se décompose en un nombre plus ou moins important de variétés, comme le melon Galia ou le Charentais brodé. Certains melons sont jaunes, d'autres verts mais, dans tous les cas, il ne faut pas les confondre avec le melon-poire, qui n'appartient pas à la même famille. Une pastèque (aussi appelée melon d'eau) ainsi que différentes variétés de melons.

Le melon est une plante des climats semi-arides, avec des journées ensoleillées, des nuits chaudes et un air sec. Dans les régions humides et de faible ensoleillement se produisent des baisses dans la maturation et la qualité du fruit.

Il s'adapte à différents types de sols, bien que les idéaux soient ceux qui sont bien drainés et un peu acides (pH = 6). Le melon est sensible à l'absence de macroéléments.

La densité de plantation dépend de la variété et du calibre du fruit. Le plus souvent ce sont des plantations avec un espace entre rangées de 2m.

Les exigences en eau de la plante dépendent de l'environnement, étant le coefficient autour de 0,8, il n'est pas recommandé d'arroser pendant les derniers jours de culture car on a constaté que ce stress provoquait une plus grande concentration de sucre dans la plupart des variétés de melons.

Le meilleur système d'irrigation pour le melon est l'irrigation goutte-à-goutte avec une ligne d'irrigation par rangée. L'espace entre les émetteurs dépend de la texture du sol, les plus fréquents varient entre **20 et 30cm**. Les lignes d'arrosage sont généralement installées sous le plastique. [88]

Les distances de plantation sont de 0,50 m entre plants dans le rang et 2 m d'interligne, soit 10.000 plants par hectare. Parfois, on opte pour 7.000 pieds/ha (selon la vigueur de la variété).[92]



**Photo N° 01 : Melon [AZIZI K;2022]**

Planter 2 à 3 graines par poquets, tous les mètres dans un emplacement chaud, ensoleillé et un sol riche (fumier) ;[102]

La distance entre les rangs est 1 m à 1.20 entre les rangs ;[89] L'**espacement est de 80 cm à 1 m** entre chaque plant ;[89] [90] La distance entre goutteurs est de 50 centimètres. [92]

**Irrigation :** L'irrigation au goutte-à-goutte est une méthode extrêmement appropriée pour la culture du melon car l'eau joue un rôle majeur dans sa croissance. Lorsqu'elle est correctement alimentée, cette méthode peut apporter de nombreuses améliorations tant au niveau de la croissance des fruits que du rendement final. [92]. Le melon a des besoins importants en eau, un arrosage deux fois par semaine directement au pied de la plante est nécessaire.[91]. L'irrigation commence juste après la plantation. L'irrigation est pilotée en fonction des conditions climatiques. Les besoins en eau s'élèvent à 300-400 mm selon les régions. [92]

**Profondeur des racines :** Le melon possède des racines profondes entre 80 cm et 1m [90]. Quelques-unes peuvent descendre à plus d'un 1 m de profondeur mais c'est surtout dans les 30 à 40 premiers centimètres du sol que la plante développe la majorité de ses racines. [93]

Le cycle végétatif du melon est de 120 jours. Généralement le melon est semé de **mars à juin**, sous un tunnel au départ ou en intérieur, pour une récolte de mi-juillet à mi-octobre[94]. En Algérie, la période de semis au Sud est de décembre jusqu'à février et au Nord de mars à juin [95]

### **1.3 Irrigation**

L'irrigation est l'activité qui consomme le plus d'eau, elle absorbe plus de 85 % de l'eau maîtrisée par l'homme ;[24] [44] Elle joue un rôle essentiel dans l'accroissement et la stabilité des rendements des cultures. Dans les régions arides et semi-arides, l'irrigation est essentielle

pour une agriculture économiquement viable, alors que dans des régions semi-humides l'irrigation est souvent apportée sur certaines cultures en complément de la pluviométrie. Le choix du système d'irrigation approprié dépend de la qualité de l'eau usée, de la culture, des coutumes, de l'expérience, de la compétence, de la capacité des agriculteurs à gérer les différentes méthodes et du risque potentiel sur l'environnement et sur la santé des agriculteurs et du public.

Il existe actuellement plusieurs méthodes d'irrigation pour la desserte en eau des cultures. Chaque méthode présente en même temps des avantages et des inconvénients qui doivent être pris en considération lors de la sélection de la méthode qui s'adapte le mieux aux conditions locales. Les quatre techniques les plus couramment utilisées sont:

- L'irrigation par aspersion ;
- L'irrigation de surface (ruissellement) ;
- L'irrigation au goutte-à-goutte ;
- L'irrigation par infiltration. [8]

### 1.3.1 Irrigation par aspersion

Irrigation qui projette l'eau en l'air pour tomber à la surface du sol sous forme de fines gouttelettes. C'est un réseau de conduites sous pression portant des asperseurs ou des buses, conçus pour projeter des jets ou pulvériser de l'eau sous forme de fines gouttes à la surface du sol. [71]. C'est un moyen polyvalent pour arroser n'importe quels types de cultures, de sols et de topographies [54] ;[62]

Parmi les techniques d'irrigation utilisées en Algérie, l'irrigation par aspersion est largement répandue dans plusieurs régions du pays. Grâce aux efforts consentis en matière de mobilisation des ressources en eau et aux projets d'aménagements hydro-agricoles, l'irrigation par aspersion ne cesse de se développer surtout avec les encouragements financiers pour économiser l'eau d'irrigation. [35]

L'irrigation par aspersion s'est rapidement développée dans les régions arides et semi-arides. L'eau est transportée dans des réseaux de conduites sous pression puis délivrée au niveau de la parcelle par des bornes qui régulent la pression et le débit. L'eau est ensuite dirigée dans d'autres conduites qui alimentent sous pression des asperseurs qui répandent l'eau en pluie. (Figure I.4)



**Figure I.4 : Irrigation par aspersion**

Il existe deux types d'irrigation par aspersion : l'aspersion traditionnelle et l'aspersion mécanisée.

#### ❖ Avantages

- Possibilité d'arroser tous types de sols ;

- Possibilités de réaliser des installations mobiles, susceptible d'être déplacées suivant la nature des cultures, ce qui facilite la rotation culturales ;
- Avec les matériels entièrement automatiques, possibilité de réaliser des arrosages à faible dose et à cadence rapide.

❖ **Inconvénients**

- Difficulté d'utilisation et efficacité réduite en région ventées et réduction des possibilités pour l'arrosage avec des eaux résiduaires (formation des aérosols) ;
- Déplacement des matériels difficile dans les zones à culture haute.
- Mauvaise adaptation aux sols.

### 1.3.2 Irrigation de surface (ruissellement)

L'irrigation de surface ou irrigation gravitaire consiste à répartir l'eau directement sur la parcelle cultivée par ruissellement sur le sol dans des sillons (méthode d'irrigation à la raie), par nappe (il est question d'irrigation par planche ou calant) ou encore par submersion contrôlée (irrigation par bassin). Il s'agit du mode d'irrigation le plus ancien (assez rudimentaire) mais il est peu coûteux en investissement et il s'agit de la méthode la plus utilisée à travers le monde.[53]

#### 1.3.2.1 Irrigation par planches

L'irrigation par planches est l'apport d'eau sur de longues parcelles en pente et rectangulaires avec des conditions de drainage à l'extrémité basse du champ. En agriculture, une planche désigne une portion longue et étroite d'un jardin ou d'un champ. Le principe de l'irrigation par planches est de faire couler une mince couche d'eau sur des planches longues et étroites sur un sol à pente faible (0.1 jusqu'à 5% selon les cultures). [53] (photos n° 02 a et 02.b) [8]



**Photo N°02.a : Irrigation par planches**  
(OULHACI .D;2003)



**Photo N°02.b : Irrigation par planches**  
(AZZIZI Khaouala 2022)

#### 1.3.2.2 Irrigation par bassins

Les bassins sont constitués de cuvettes en terre, à fond à peu près plat, entourées de diguettes de faible hauteur ou levées. Ces levées sont conçues pour empêcher le passage de l'eau aux champs adjacents. Quelques cultures et types de sol ne se prêtent pas à l'irrigation par bassins et cette dernière convient mieux aux sols peu filtrants et aux cultures denses à enracinement profond [62]. Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation des rizières sur terrain plat ou des terrasses à flanc de coteau. (Figure I.5)

La méthode par bassins est également utilisée pour l'irrigation des arbres fruitiers; dans ce cas une petite cuvette (bassin) est aménagée autour de chaque arbre. En général, cette technique d'irrigation s'applique à toutes les cultures qui peuvent tolérer la submersion par les eaux pour une longue durée (12-24 heures). [53]



Figure I. 5 : Planches alimentées par siphon

### 1.3.2.3 Irrigation par sillons/à la raie

Elle consiste à couvrir partiellement le sol par l'eau qui, ensuite, s'infiltrate latéralement et remonte par capillarité. Au lieu de s'étendre sur toute la surface, l'eau quittant le canal d'amenée ruisselle puis s'infiltrate dans les rigoles bordant les billons sur lesquels sont implantées les cultures. S'infiltrant latéralement et remontant par capillarité, elle atteint les racines.

On l'utilise idéalement pour des sols composés de sable de texture grossière et de limon sableux avec une pente de 0.2 à 3 %. Cette technique est valable pour l'irrigation de toutes les cultures en lignes et pour toutes les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux de leur feuillage ou de leur collet pour une longue durée (12-24 heures).[53]

#### ❖ Avantages

- Coût d'investissement est relativement faible ;
- Besoin en énergie faible ou nul ;
- Technique éprouvée

#### ❖ Inconvénients

- Inadaptation aux sols très filtrants ;
- Surface consommée par les canaux et rigole.
- Planage nécessaire à la parcelle



Figure I. 6: Irrigation par sillons

### 1.3.2.4 Irrigation souterraine

L'irrigation souterraine peut être définie comme étant l'action de fournir l'eau aux plantes en dessous de la surface du sol, en maintenant une nappe d'eau artificiellement élevée, de façon à maintenir la meilleure combinaison d'eau et d'air dans la zone des racines pour des rendements maximaux

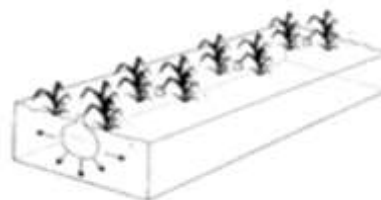


Figure I. 71 : Irrigation souterraine



Il faut bien distinguer l'irrigation souterraine ("subirrigation") de la micro-irrigation localisée ("subsurface irrigation") qui est aussi un système qui fournit de l'eau sous la surface du sol mais à chaque plan de façon individuelle, telle l'irrigation goutte-à-goutte.

L'irrigation souterraine peut se faire à l'aide de tuyaux perforés enterrés ou de canaux ouverts. [31](Figure I.7)

Parfois, dans ce cas on combine l'irrigation et le drainage mais cela uniquement dans un nombre très limité de cas particuliers.[12]

### 1.3 .2.5 Irrigation au goutte-à-goutte

L'irrigation "goutte-à-goutte" est une des techniques de l'irrigation localisée (micro irrigation) qui consiste à apporter à chaque plante et arbre, individuellement, la quantité d'eau dont ils ont exactement besoin, en fonction des types de sol, des spécificités du climat et de son développement, sans ruissellement appréciable. [61]. L'eau circule dans des tuyaux souples de petits diamètre disposés à la surface du sol et munis de dispositifs "goutteurs" qui apportent l'eau au pied des végétaux; les systèmes d'irrigation localisée les plus répandus sont le goutte-à-goutte (indiqué pour le maraîchage) et le micro-jet (indiqué pour l'arboriculture).[34]

Dans l'irrigation goutte-à-goutte, l'eau est livrée à la plante à faible dose entraînant ainsi l'humidification d'une fraction du sol. Ceci permet de limiter les pertes par évaporation et percolation. Elle permet aussi de réduire le développement des mauvaises herbes. Elle met également en œuvre des équipements fixes et légers et permet la fertigation. Dans la plupart des cas, elle exige une automatisation à travers des contrôleurs associés à des vannes volumétriques et/ou hydrauliques et des électrovannes.

Dans la pratique, on utilise souvent des goutteurs de 2 l/h pour les cultures maraîchères et de 4 l/h pour les cultures pérennes (arbres fruitiers et vignes). Selon le type de goutteur, le mode de fixation sur la rampe peut être soit en dérivation, en ligne ou intégré. Actuellement, on tend de plus en plus vers le mode intégré vu son faible coût de fabrication ainsi que sa facilité d'installation sur le terrain. En effet, il suffit de dérouler la rampe alors que pour les autres modes, les goutteurs sont à installer un par un, suivant les espacements désirés. Dans la fixation en dérivée, on peut trouver des circuits courts ou des circuits longs. Ces derniers ont l'avantage de couvrir une grande surface et peuvent être disposés en formant un cercle, pour couvrir une surface plus grande.



Photo N°03: Irrigation au goutte-à-goutte [Oulhaci D, Hafsi.M et Boudjema.S(2020)]

Dans certains projets d'irrigation goutte-à-goutte pour des cultures pérennes, on peut volontairement employer une rampe de faible diamètre lorsque les plants sont petits pour ensuite rajouter une deuxième rampe lorsque les besoins en eau sont plus importants.[18]

L'irrigation au goutte-à-goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC ; cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations. La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. Par conséquent, cette méthode d'irrigation a un haut degré d'efficacité de distribution d'eau (photo N°03). L'irrigation au goutte-à-goutte est aussi appelée micro-irrigation ou irrigation localisée.[8]

#### ❖ **Avantages**

- Economie de l'eau : permet d'éviter l'évaporation superficielle et le ruissellement avec une efficacité de 95% ;
- Economie et amélioration de la fertilisation : application directe de l'eau et des nutriments sur le système racinaire ;
- Economie du coût énergétique par rapport à l'aspersion ;
- Possibilité d'utiliser les eaux marginales (saline ou/et résiduelle) ;[36]
- Avec des mini-arroseurs et des goutteurs de faible débit, la formation de croûtes en surface est réduite, la durée de l'irrigation est prolongée et l'eau peut pénétrer lentement dans le sol [43]

#### ❖ **Inconvénients**

- Le colmatage des ajutages par des débris physiques, des éléments chimiques et du matériel biologiques ;
- L'équipement spécial utilisé pour contrôler le colmatage peut augmenter fortement le coût unitaire d'une installation ;
- La limitation du volume de sol mouillé pourrait entraîner un stress hydrique pour la culture dans le cas de dysfonctionnement de l'installation d'irrigation ;
- L'installation du système requiert une attention toute particulière.[25]

### **Conclusion du chapitre I**

La réutilisation des eaux usées présente l'avantage majeur d'assurer une ressource alternative permettant de limiter les déficits en eau, de mieux préserver les ressources naturelles et de palier les pénuries d'eau engendrées par les changements climatiques.

Pour éviter tout risque sur la santé avec l'utilisation des eaux épurées, toutes les réglementations nationales ou internationales fixent ou recommandent un niveau de qualité que le traitement des eaux usées doit assurer en fonction de l'usage prévu et du degré de risque.

Le choix des cultures s'est porté sur le palmier dattier car la région de Ouargla est une zone potentielle de production des **dattes**, le tournesol qui est une culture tolérante aux conditions sèches et qui s'adapte à tous les types de sol, le Gombo qui est une plante de saison chaude, très exigeante en chaleur et lumière et préférant un sol sableux et le melon qui a souvent donné un bon rendement à Ouargla même irrigué avec les eaux épurées.

Le choix du système d'irrigation doit être fait en croisant plusieurs critères et doit s'envisager sur le long terme. On a opté pour le « Goutte-à-goutte ».



***CHAPITRE II***  
***MATERIELS ET METHODES***

## Introduction

Les besoins en eau des cultures dépendent des paramètres climatiques et des caractéristiques du sol et de l'eau épurée.

### II.1 Présentation de la zone d'étude

Le site expérimental et les caractéristiques climatiques jouent un rôle important pour le choix de la technique d'irrigation, la détermination de la quantité d'eau nécessaire pour avoir un bon rendement et pour la détermination des besoins en eau.

#### II.1.1 Situation géographique

Ouargla est située dans le sud-est algérien à 800 km environ de la capitale Alger (Figure II.1) couvrant une superficie de 163,230 Km<sup>2</sup>. Elle se trouve à une altitude de 157 m, sa latitude est de 32° 45' Nord et 31° 45' Sud ; la longitude est de 5° 20' Est et 5° 45' Ouest.

Cette ville, située au fond d'une vaste dépression dépourvue d'exutoire où la nappe phréatique est souvent à fleur de sol, est ainsi entourée de grandes étendues de sebkhas et de chotts .[25]

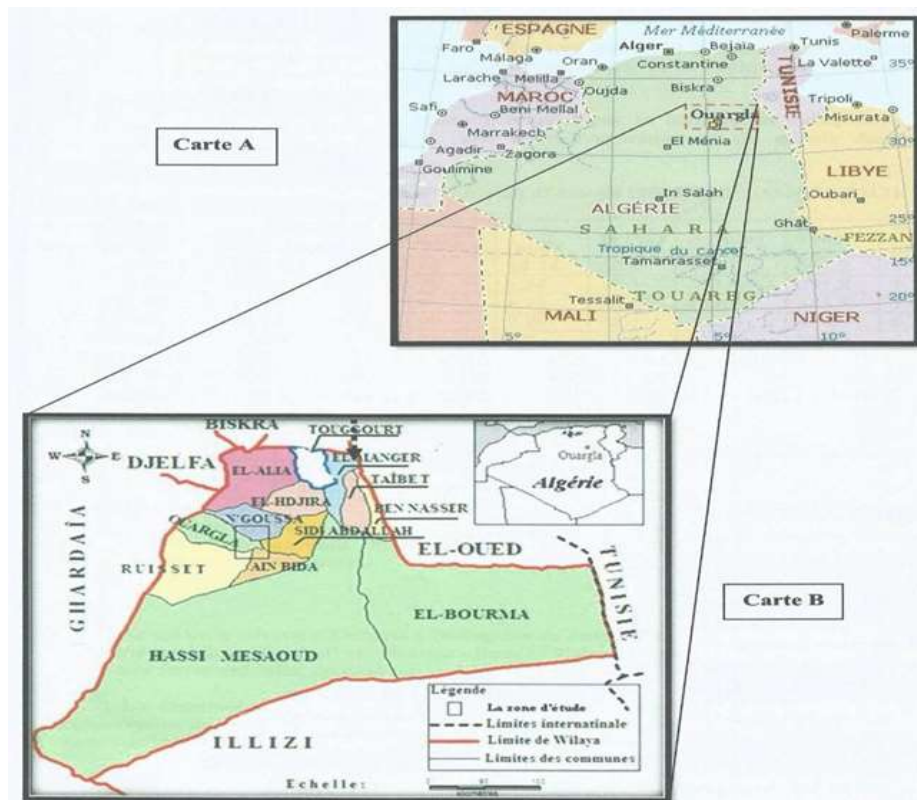


Figure II.1: Situation géographique de Ouargla

Ouargla est limitée par la wilaya de Touggourt au Nord-Est, la wilaya de Djelfa au Nord-Ouest, les wilayate d'Illizi et Tamanrasset au Sud-Est et la wilaya de Ghardaïa à l'Ouest et la Tunisie à l'Est. (Figure II.1). (N.B les échelles ne sont pas mentionnées). La population qui réside dans toute la cuvette est de 254 411 habitants pour l'année [67]

#### II.1.2 Etude climatique de la région

Les paramètres météorologiques sont des facteurs clés dans la distribution saisonnière de l'irrigation et dans l'évaporation et certains d'entre eux sont retrouvés dans toutes les formules de la détermination de la dose d'arrosage et dans la détermination de l'évaporation.

Les données climatiques considérées concernent essentiellement les précipitations, les températures et d'autres phénomènes climatiques (vent, insolation, humidité, etc.).

### II.1.2.1 Température

La température étant étroitement reliée au taux de radiation, lui-même directement corrélé à l'évaporation, il s'ensuit une certaine relation existant entre l'évaporation et la température de la surface évaporant. [52]

Les températures mensuelles moyennes pour une période d'observation de 10 ans (2008-2017) sont présentées dans le (Tableau II.1) suivant :

**Tableau II.1 Températures moyennes mensuelles enregistrée dans la région de Ouargla entre (2008 –2017 O.N.M, 2018) [56]**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
T(C°)	30,8	24,6	17,4	12,8	12,2	14,1	18,1	23,1	27,8	32,6	35,9	35	23,7

Les températures à Ouargla sont caractéristiques du climat saharien avec des valeurs très élevées en été ; la température moyenne est de l'ordre de 23,7°C, avec une moyenne mensuelle du mois le plus chaud (juillet) dépassant 35,9°C et celle du mois le plus froid (janvier) égale à 12,2°C.

### II.1.2.2 Humidité relative

L'humidité relative du cycle hydrologique contrôle l'évaporation du sol et la couverture végétale, elle correspond au rapport de la pression partielle de la vapeur d'eau.[20]

Les données d'humidité relative mensuelles moyennes de la station de Ouargla sont présentées dans le (Tableau II.2) suivant :

**Tableau II. 2 : Humidités moyennes mensuelles enregistrée dans la région de Ouargla entre (2008 –2017 O.N.M, 2018) [56]**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
H(%)	36,4	43,5	52,7	59	57	48,4	43,6	36,5	30,9	28	24,1	26,9	40,83

Les valeurs de l'humidité relative de la région d'étude sont relativement homogènes. Les moyennes mensuelles varient entre 24,1 % et 59 %, sachant que la moyenne annuelle est de l'ordre de 40,83%. Juillet est le mois le plus sec et décembre le plus humide.

### II.1.2.3. Vitesse du vent

Le vent joue un rôle essentiel dans les processus d'évaporation car c'est lui qui permet, par le mélange de l'air ambiant, de remplacer au voisinage de la surface évaporante, l'air saturé par de l'air plus sec. [52]

Les vents fréquents sont des vents Nord-Nord Est et Sud-Sud Est avec une vitesse pouvant atteindre et parfois dépasser 20 m/s. Le sirocco (vent chaud et sec) peut être observé à toute époque de l'année.

**Tableau II. 3 : Vitesses moyennes mensuelles des vents enregistrés dans la région de Ouargla entre (2008 –2017 O.N.M, 2018) [56]**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
V(m/s)	9,17	7,89	7,25	7,06	7,97	8,81	9,33	10,07	10,39	9,94	8,84	8,61

Ce tableau montre une vitesse moyenne annuelle de 8,8 m/s, un maximum de 10,39 m/s en mai et un minimum de 7,06 m/s en décembre.

#### II.2.2.4 Précipitations

Les précipitations jouent un rôle important dans l'irrigation et c'est en fonction de leurs quantités qu'on irrigue. Ce sont les eaux qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que solide (neige, grésil, grêle).

Quelle que soit la forme de la précipitation, généralement on exprime la quantité d'eau mesurée tombée durant un certain de temps en millimètres (mm).

**Tableau II. 4 : Précipitations moyennes mensuelles enregistrées dans la région de Ouargla entre (2008 –2017 O.N.M, 2018) [56]**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Cumul
P(mm)	5,16	6,2	2,69	3,8	8,51	3,15	5,19	1,48	1,58	0,81	0,35	0,27	39,19

Les précipitations sont très rares et irrégulières (irrégularités mensuelles et annuelles), La période pluviale de l'année est très restreinte, elle est de 3 à 4 mois, par contre la période sèche s'étale sur le reste de l'année. Avec un maximum annuel au mois de janvier de 8,51 mm. Le cumul des précipitations annuelles sur 10 ans (2008-2017) est de 39,19 mm le (Tableau II.4).

#### II.1.2.5 Insolation

La région de Ouargla est caractérisée par une forte insolation. Cette dernière correspond à la durée d'éclairement du sol par le soleil. Le maximum est atteint au mois d'Août avec une durée de 340 heures et le minimum au mois de décembre avec une durée de 231 heures le (Tableau II.5).

**Tableau II. 5 : Insolation moyenne mensuelle enregistrée dans la région de Ouargla entre (2008 –2017 O.N.M, 2018) [56]**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
I (h)	264	267	250	231	248	241	268	289	309	234	320	340

#### II.1.2.6 Evaporation

La région de Ouargla est caractérisée par une évaporation importante est très forte surtout durant les mois les plus chauds. Avec une moyenne annuelle de 225,4 mm, le maximum remarqué pour le mois de Juillet (433 mm) et le minimum pour le mois de décembre (83,4mm).

**Tableau II. 6 : Évaporation moyennes mensuelles enregistrée dans la région de Ouargla entre (2008 – 2017 O.N.M, 2018)[56]**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
<b>E(mm)</b>	271	204	122	83,4	93,5	125	182	234	307	366	433	384	225,4

### II.1.2.7 Synthèse climatique

La synthèse climatique est une étape indispensable pour la détermination de l'évapotranspiration nécessaire à la détermination de la dose d'irrigation. Elle consiste à la détermination des indices climatiques afin d'aboutir aux tendances du climat, ses caractéristiques et décrire ces variations.[2] La littérature en la matière est très riche en indices climatiques, spécifiques à chaque région. Pour les zones arides on fait souvent appel à l'utilisation de l'indice d'aridité de De Martonne et au diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls et celui d'Emberger qui illustre la relation existante entre la température et la précipitation pour la détermination des périodes de sécheresse.[21]

#### A. Indice d'aridité de Martonne

En se basant sur des considérations essentiellement géographiques, De Martonne a défini comme fonction climatologique nouvelle l'indice d'aridité du climat par le quotient  $IDM = P/(T+10)$ . Cet indice permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température ; l'évaporation étant considérée comme une fonction linéaire de la température.[33]

Pour calculer l'indice d'aridité annuelle on utilise la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T+10} \quad (II.1)$$

**P** : Précipitations totales annuelles en mm ;

**T** : Température moyenne annuelle en °C.

Cet indice prend des valeurs d'autant plus élevées que le climat est plus humide et d'autant plus faibles que le climat est plus sec.

De Martonne a proposé la classification des climats en fonction des valeurs de l'indice comme présentés dans le (Tableau II.7) suivant :

**Tableau II. 7 : Classification des climats selon l'indice De Martonne.[33]**

Valeur de l'indice d'aridité De Martonne	Type de climat	Type de végétation potentielle
0 à 5	Hyper aride	Désert absolu
5 à 10	Aride	Désert
10 à 20	Semi-aride	Steppe
20 à 30	Semi-humide	Prairies naturelles, forêts
30 à 40	Humide	Forêts
40 à 55	Humide	Forêts

On détermine l'indice d'aridité annuel avec la température moyenne annuelle de 23,7°C (tableau II.1) et la précipitation annuelle de 39,19 mm (tableau II.4),

$$I = 1,16$$

L'indice d'aridité annuelle est compris entre 0 et 5 ; le climat de Ouargla est, donc de type hyper aride.

### B. Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèches et humides de l'année où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (**P**) et les températures (**T**).

Si les précipitations moyennes mensuelles d'un mois sont inférieures ou égales au double des températures mensuelles de même mois ( $P \leq 2T$ ), la période est dite sèche. [9]

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations et des températures (2008-2017) sont portées respectivement dans les tableaux II.4 et II.1.

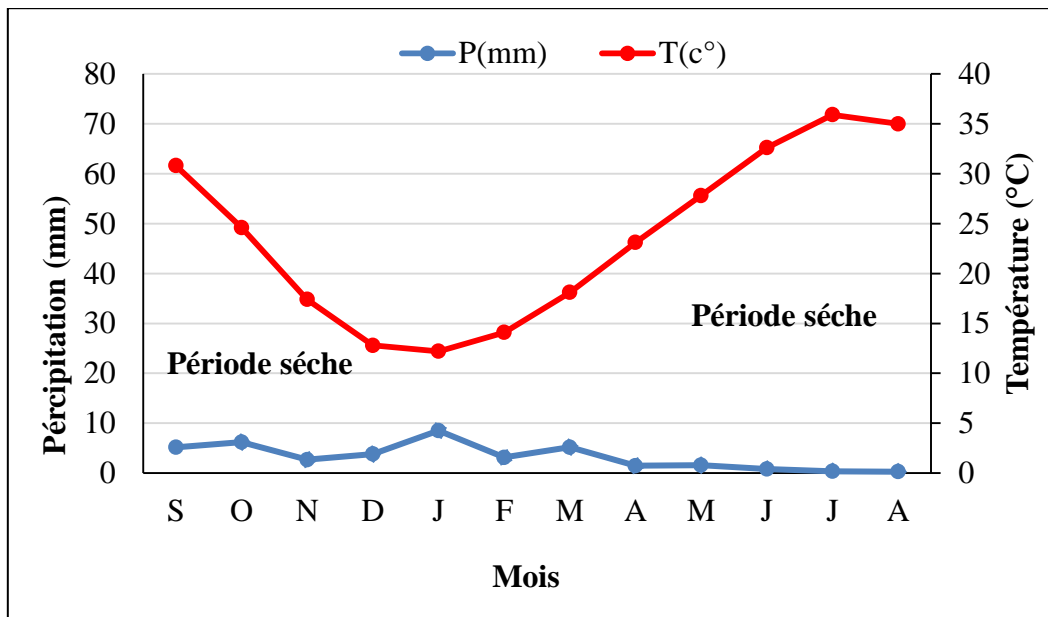


Figure II.2 : Diagramme ombrothermique de Gaussen de Ouargla dans la période (2008- 2017)

D'après ce diagramme, (Figure II.8) on remarque que de la région d'étude est caractérisée par une période sèche toute l'année.

### II.1.3 Hydrogéologie

Au Sahara, il existe deux ensembles aquifères séparés par d'épaisses séries évaporitiques ou argileuses de la base du crétacé supérieur : l'ensemble inférieur appelé le complexe intercalaire (CI) ou "Albien" et l'ensemble terminal « CT ». [68]



Dans les oasis de Ouargla, il y a des nappes souterraines captives et phréatiques, donc on peut dire que le grand bassin sédimentaire du Sahara septentrional contient trois principaux aquifères:

### II.1.3.1 Nappe du continental intercalaire

L'exploitation de cette nappe à Ouargla remonte à 1960. Les forages atteignent la nappe entre 1100 et 1400 m de profondeur et leurs eaux sont faiblement minéralisés (de l'ordre de 1,9 g.l<sup>-1</sup>). Ils ont un débit de 250 à 400 l/s.[68]

### II.1.3.2 La nappe du complexe terminal (CT)

Les nappes du continental terminal sont moins profondes que celles du continental intercalaire (moins de 400m) et couvrent une superficie de 350000 km<sup>2</sup> leur eaux sont généralement plus chargées en sels. Ce complexe est constitué de deux nappes à savoir :

- ✓ La nappe du miopliocène.
- ✓ La nappe du sénonoien.

L'écoulement de ces deux aquifères s'effectue du Sud-Ouest vers le Nord-Est.[25]

### II.1.3.3 Nappe phréatique

La nappe phréatique repose sur une épaisse couche imperméable qui s'étend tout au long de vallée de l'Oued M'ya. Sa profondeur varie de 1 à 3 m dans les zones urbaines et de 0.5 à 0.9 m dans les zones agricoles. Elle affleure dans les zones hotteuses et peut atteindre 15 m de profondeur dans certaines zones, les parties les plus hautes sont situées au sud et sous la ville de Ouargla et les parties les plus basses sont situées au niveau de sebkhat Sefioune pour les plus basses. Léau s'écoule librement des points hauts vers les points bas. C'est-à-dire, du Sud vers le Nord suivant la pente générale de la vallée.[63]

La qualité des eaux de la nappe phréatique est très dégradée, la conductivité est très forte. Elle augmente en allant du Sud vers le Nord. Les températures des eaux de cette nappe varient généralement entre 15 et 20°C.

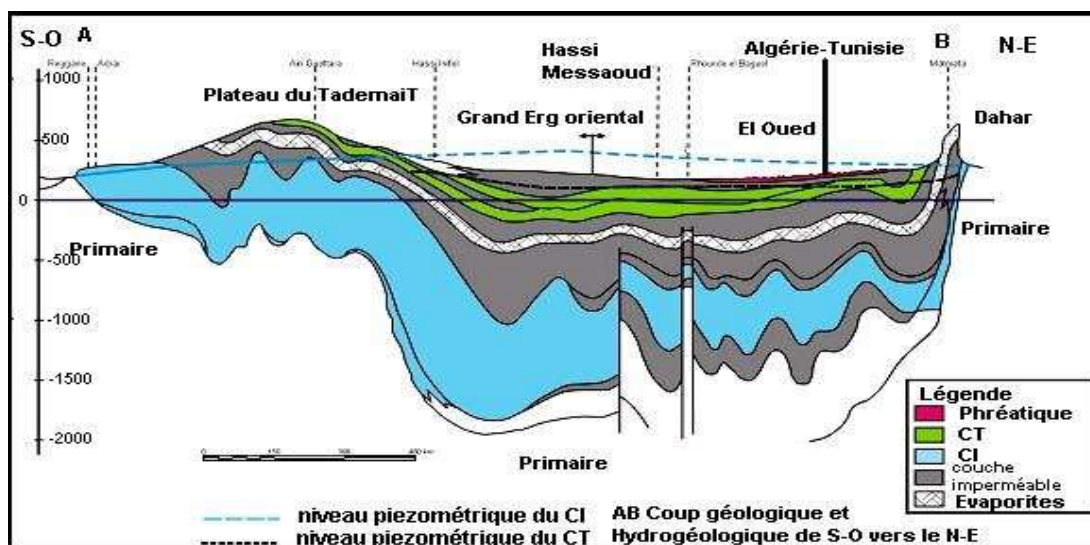


Figure II.3: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972)

Les deux nappes, CI et CT sont actuellement, les deux principales ressources hydriques disponibles dans la région de Ouargla mais la nappe phréatique (nappe superficielle) peut être considérée actuellement comme ressource hydrique à forte salinité non exploitée.

## II.2 Site expérimental

Le site expérimental est la station d'épuration de Sidi Khouiled et un périmètre irrigué à proximité.

### II.2.1 Station d'épuration

La station d'épuration située au Nord-est de la ville Ouargla. Le site d'implantation est limité :

- A l'Est et au Nord, par des dunes ;
- A l'ouest et au sud, par des palmeraies.

La superficie de la station d'épuration est de l'ordre de 3,5 ha. La forme géométrique du site s'apparente à un rectangle dont les dimensions sont : (Figure II.4)

- Largeur : environ 130 m ;
- Longueur : environ 300 m.

La capacité totale : 7165 Equivalent habitants

La station de lagunage aéré est conçue pour traiter les effluents urbains de l'agglomération de Sidi Khouiled jusqu'à l'horizon 2030. Elle est constituée des éléments suivants : le relevage et prétraitement des effluents bruts (poste de relevage, dégrillage et dessablage), le premier étage de lagunage aéré, le deuxième étage de lagunage aéré, les lagunes de finition et le traitement des boues par lits de séchage.



Figure II.4: Schéma de la station d'épuration de Sidi Khouiled [4]

#### II.2.1.1 Regard de dégazage

Cet ouvrage a pour rôle d'assurer un dégazage naturel des effluents bruts provenant des conduites de refoulement d'amenée des eaux usées à la station d'épuration.

L'aération des effluents bruts est réalisée en instaurant une chute de 50 cm entre les conduites d'arrivée et de départ.

### II.2.1.2 Prétraitement

A partir du regard de dégazage, les eaux usées sont dirigées vers l'ouvrage de prétraitement. Cet ouvrage est constitué d'une étape de dégrillage et d'une étape de dessablage. (Photo N°04)

#### a) Dégrillage :

Le système comprend un ensemble de 2 dégrilleurs (01 dégrilleur mécanique 01 dégrilleur manuel) disposés en parallèle, l'espacement entre les barreaux est de 25 mm associé à une grille manuelle, l'espacement entre les barreaux est de 40 mm . (Photo N°05)

Ces ouvrages sont encastrés dans des chenaux en béton. Un canal de secours équipé d'une grille statique disposée en parallèle permettra d'y passer complètement l'ensemble des prétraitements en cas de problème sur les dégrilleurs automatiques.



Photo N°04: Prétraitement



Photo N°05 : Dégrilleur

#### b) Dessablage :

Le dessablage permet la décantation des résidus les plus denses (sable). L'élimination du sable évite l'ensablement des bassins.

Le dessablage est réalisé par l'intermédiaire de deux canaux en parallèle de 0,5m de largeur et 4,6 m de long. (Photo n°06)

Chaque ouvrage est équipé d'un pont racleur permettant de ramener les sables décantés en font d'ouvrage au niveau d'une fosse a sable, deux 02 pompes à l'extraction des sables vers un classificateur qui permet l'égouttage des sables avant stockage dans une benne. (Photo N°07)



Photo N°06 : Dessableur



Photo N°07: Benne

### II.2.1.3 Traitement

A la suite de ces prétraitements, la filière est constituée de deux étages d'aération et d'un étage de finition.

Les effluents sont repartis entre les deux 02 lagunes du premier étage (niveau A) (**Photo N°08**) grâce à un répartiteur.



**Photo N°08 : Bassin d'aération A (et Aérateur)**

Les eaux en cours de traitement transitent de façon gravitaire des lagunes aérées 1 avec une profondeur de 2,8m vers les lagunes aérées 2 (niveau B) avec une profondeur de 2,5m puis vers les lagunes de finition (niveau C) avec une profondeur de 1,5m. Il y a, à la sortie de chaque lagune, un ouvrage muni d'une crête déversante permettant de contrôler le niveau d'eau dans les lagunes.(Photo n°09 )

L'étage aéré n°2 est constitué de 2 lagunes.

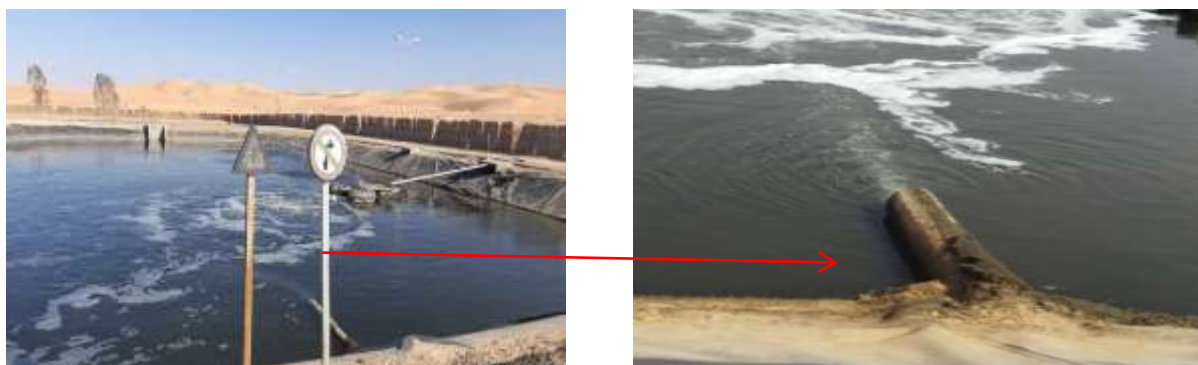
L'étage de finition est constitué de 1 lagune. (Photo n°10)

La liaison entre deux lagunes se fait grâce à des canalisations gravitaires de liaison.

Les eaux épurées (sortie lagune de finition) seront reprises par un collecteur de restitution auquel seront raccordés tous les ouvrages de sortie.

A l'entrée et sortie, un canal venturi associé à une sonde ultrason de mesure de la hauteur d'eau en amont permettra de mesurer de manière continue le débit.

Les lagunes d'aération sont pourvues d'un système d'aération artificiel qui assure l'oxygénation des eaux usées ; il s'agit d'aérateurs flottants. (deux 02 aérateurs par bassins au niveau A) et (un 01 aérateur par bassin niveau B).



**Photo N°09 : Arrivée des eaux dans le bassin d'aération**

Les répartiteurs des débits entre les 2 lagunes de l'étage n°1 et ceux entre les 2 lagunes de l'étage aéré n°2 sont constitués de deux seuils d'une largeur de 1,5m.

Les seuils des ouvrages de sortie des eaux des lagunes ont une largeur de 3m



**Photo N°10: Bassin de finition**



**Photo N°11 : Sortie des eaux pour l'irrigation**

#### **II.2.1.4 Lits de séchage**

Le fonctionnement épuratoire de ces lagunes se traduit par l'accumulation des boues au fond. Régulièrement quand le volume (utile) de lagune, c'est-à-dire le volume totale moins celui occupé par les boues, devient trop faible et se traduit par des temps de séjour trop courts il est nécessaire d'extraire ces boues.(Photo n°07)

Le fonctionnement épuratoire de ces lagunes se traduit par l'accumulation des boues au fond. Régulièrement quand le volume (utile) de lagune, c'est-à-dire le volume totale moins celui occupé par les boues, devient trop faible et se traduit par des temps de séjour trop courts, il devient nécessaire d'extraire ces boues.

Cette extraction a lieu lors des opérations de curage. Les boues extraites sont acheminées et épandues sur quatre lits de séchage d'une surface de 525m<sup>2</sup> chacun.

Ces boues voient leur siccité augmentées grâce à l'évaporation naturelle couplée à un système de drainage, ce dernier favorise l'évaporation des plus grandes parties de l'eau par simple ressuyage. Cette eau sera évacuée en tête de la station d'épuration par l'intermédiaire d'un poste de refoulement. A l'issue de ce séchage les boues évacuées constituent un amendement organique intéressant.

Les eaux épurées non utilisées pour l'irrigation sont évacuées à Sbkhat « Oum R'Neb.

## II.3 Caractéristiques du sol et des eaux

Les caractéristiques physiques et chimiques d'un sol et celles des eaux jouent un rôle important dans le choix du système d'irrigation et des cultures.

### II.3.1 Caractéristiques des eaux

Compte-tenu donc des éléments présents dans les eaux usées, la réutilisation d'une eau de mauvaise qualité peut présenter des risques pour la santé et l'environnement, et poser des problèmes d'ordre technique en bouchant les conduites et les systèmes d'irrigation par exemple et altérer le milieu récepteur dans lequel elles se déversent. Ces altérations sont diverses selon les paramètres physiques engagés. Parmi les principales, on peut citer :

- la turbidité tenant à la présence plus ou moins importante de matières en suspension, d'origine minérale ou organique ;
- la couleur, liée au déversement de composés chimiques solubles présentant une coloration marquée (effluent de teinturerie par exemple) ;
- la tension superficielle associée à des produits tensioactifs (détergents essentiellement) ;
- la température : l'exemple typique est celui du déversement de refroidissement [3]

La pollution des eaux résiduaires urbaines est généralement évaluée par la mesure des matières en suspension (MES, turbidité), de la pollution organique carbonée (DCO, DBO5, COT), des différentes formes d'azote (NK, N-NH4+, N-NO2-, N-NO3-) et des principales formes de phosphore (PT, orthophosphates, polyphosphates), ainsi que les hydrocarbures et certains métaux lourds (Pb, Zn, Cu, Cd...) pourront être aussi détectés et quantifiés.[49]

Le but de la détermination des différents paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux usées épurées est :

- de déterminer le pouvoir épuratoire de la station en comparant les résultats des analyses à l'entrée et à la sortie après un temps de séjour égal à huit (8) jours ;,
- d'apprécier la qualité de ces eaux pour leur utilisation dans l'irrigation en comparant les résultats des analyses à la sortie avec les normes Algériennes.

Afin de bien illustrer la qualité de traitement des eaux usées de la station d'épuration de Ouargla, plusieurs prélèvements mensuelles auraient dû être réalisés à l'entrée des eaux brute et à la sortie des eaux épurées. Les paramètres à la sortie de la station d'épuration doivent être comparés aux Normes Algériennes des eaux épurées utilisées à des fins d'irrigation (J.O.N41.15Juillet 2012).Ce qui a été impossible à réaliser à cause du manque de produits chimiques.

D'après les responsables de la station d'épuration les résultats obtenus montrent généralement que la STEP permet une bonne diminution de la majorité des paramètres à part la DCO et les MES sont un peu supérieurs aux normes. Les agriculteurs confirment aussi que la qualité est favorable et permet leur utilisation dans le domaine agricole (irrigation). Cette eau épurée collectée à la sortie de la station représente donc une eau renouvelable non conventionnelle

Les seules analyses qu'on a pu effectuer sont celles réalisés au laboratoire « traitement » du département génie civil de l'université de Ouargla. On a donc prélevé des échantillons d'eau à l'entrée et à la sortie de la station. L'opération de prélèvement s'est faite manuellement à l'aide de bouteilles en plastique. Les appareils utilisés au laboratoire sont :

Les seules analyses qu'on a pu effectuer sont celles réalisés au laboratoire « traitement » du département génie civil de l'université de Ouargla. On a donc prélevé des échantillons d'eau à l'entrée et à la sortie de la station. L'opération de prélèvement s'est faite manuellement à l'aide de bouteilles en plastique. Les appareils utilisés au laboratoire sont :

**a) Matériels utilisés au laboratoire**

Pour réaliser les analyses des eaux, on a effectué le prélèvement des échantillons d'eau à l'entrée et à la sortie de la station. L'opération de prélèvement s'est faite manuellement à l'aide de bouteilles en plastique. (Photo 13). Les appareils utilisés sont :

- Agitateur Magnétique (Photo 12) ;
- Multi-paramètre (Photo 13) ;
- Bécher.



**Photo N°12 : Agitateur Magnétique**



**Photo N°13 : Multi-paramètre**

**b) Mode opératoire :**

- On lave l'électrode du multi-paramètre et un bécher avec l'eau distillée ;
- On met dans le bécher l'eau à analyser ;
- On place le bécher quelques minutes dans un agitateur pour homogénéiser l'eau ;
- On met l'électrode du multi-paramètre dans le bécher (l'électrode ne doit pas être en contact avec les parois du bécher pour éviter de fausser les résultats ;
- On règle le multi-paramètre en sélectionnant les paramètres à analyser ;
- On attend quelques minutes la stabilisation des résultats ;
- On lit les résultats et on porte les lectures dans le tableau II.8.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau II.8

**Tableau II.8: Paramètres analysés**

paramètre	unités	Entrée	Sortie
<b>PH</b>		5.08	7.22
<b>T</b>	F	78.94	79.5
<b>Salinité</b>	Psu	5.30	5.04
<b>Turbidité</b>	fnu	214	180
<b>Conductivité</b>	Us/cm	9032	9474

Le tableau montre que la salinité diminue ce qui est dû au dépôt des sels dans les bassins de finition. La turbidité diminue et la conductivité augmente.

### II.3.2 Caractéristiques du sol

Les caractéristiques physiques et chimiques d'un sol jouent un rôle important dans le choix du système d'irrigation et des cultures.

Les principales caractéristiques physiques et chimiques qu'on a pu déterminer sont:

- Granulométrie ;
- coefficient d'uniformité ;
- densité apparente ;
- salinité ;
- conductivité ;
- pH.

Les échantillons ont été prélevés en février 2022. Les analyses ont été effectuées au laboratoire d'hydraulique à la faculté des sciences appliquées de l'université Kasdi Merbah –Ouargla-

#### II.3.2.1 Analyse granulométrie du sol

C'est la détermination du pourcentage en poids des éléments de différents diamètres.

##### a) Mode opératoire

L'essai consiste à classer les différents grains qui constituent l'échantillon en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau analysé est placé dans le tamis supérieur et le classement des grains s'obtient par vibration de l'ensemble de la colonne des tamis. La pesée des refus des tamis permet de tracer la courbe granulométrique et de déterminer le type de sol. Les valeurs du tamisage sont portées en (annexe 1). Et la courbe granulométrique en (annexe2)



Photo N°14 : Tamis [AZIZI K;2022]



Photo N° 15: Balance [ AZIZI K;2022]

D'après le diamètre des particules, on discerne les groupes granulométries sur le graphique en annexe 2 : (d'après Association Internationale)

- Colloïdes..... < 2 $\mu$
- Limon ..... 2 $\mu$  < 20 $\mu$
- Sable fin ..... 0.02 ÷ 0.2 mm
- Sable grossier.....0.2 ÷ 2 mm
- Gravier..... > 2 mm



D'après les résultats de l'annexe 2, on déduit que le sol est composé de 20 % de sable fin, 78% de sable moyen et 2% de sable gros.

Le sol du site expérimental a donc une texture sableuse, caractérisée par un sol bien aéré, facile à travailler, mais emmagasinant difficilement l'eau et les éléments nutritifs.

### 2.3.2.2 Coefficient d'uniformité Cu

Le coefficient d'uniformité caractérise la répartition en taille des éléments qui composent l'échantillon. Il se calcule de la façon suivante :

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Où :

**D<sub>60</sub>**: Correspond au diamètre qui laisse passer 60 % de l'échantillon ;

**D<sub>10</sub>**: Correspond au diamètre qui laisse passer 10 % de l'échantillon.

D'après graphes de l'analyse granulométrique, on trace la projection du point d'intersection de la courbe aux pourcentages de 60 % et 10 % sur l'axe (x), correspondant aux diamètres des tamis, et on déduit  $D_{60}=0.62$  et  $D_{10}=0.2$

le coefficient d'uniformité est **Cu = 3.1**

Or selon la valeur du coefficient d'uniformité, classes comme suit :

- Pour  $Cu \leq 2$  : granulométrie uniforme
- Pour  $Cu > 2$  : granulométrie étalée

Donc le sol du site classe dans une répartition étalée

### II.3.2.3 Densité apparente :

La densité apparente est nécessaire pour le calcul de la dose d'irrigation. Elle est égale au rapport de la masse de l'échantillon sec sur le volume apparent (c'est-à-dire il correspond à l'enveloppe externe de l'échantillon considéré).

Pour la détermination de la densité apparente, des échantillons ont été prélevés délicatement à l'aide de petits cylindres métalliques (de volume V et de masse M<sub>v</sub>) dans sol.

Le poids du cylindre rempli est M<sub>r</sub>

La détermination de la densité apparente  $\frac{M_r - M_v}{V}$  au Laboratoire a donné le résultat suivant :

La densité apparente moyenne :  $Da = 1.151 \text{ (g/cm}^3\text{)}$

### 2.3.2.4 Salinité, conductivité et pH

#### a) Matériels utilisés

- Balance électronique (Photo 16)
- Entonnoir
- Bécher
- Fiole Erlenmeyer (Photo 17)
- Filtre papier
- Spatule de laboratoire
- Agitateur (Photo 18)

- Eprouvette graduée
- Multi-paramètre (Photo 19)
- Eaux distillée



**Photo N°16:**  
Balance électronique



**Photo N°17:**  
Fiole Erlenmeyer



**Photo N°18 :**  
Agitateur



**Photo 19 :**  
Multi-paramètre

### b) Mode opératoire

- On pèse 5 grammes de sable fin
- On met les 5g de sable dans le bécher et on y ajoute 100ml d'eaux distillée
- On met dans un agitateur pendant 20minutes
- Après agitation on verse l'eau dans la fiole Erlenmeyer à l'aide en la faisant passer par un papier filtre
- Après filtration on mesure à l'aide d'un multi-paramètre
- On porte sur le tableau les résultats des paramètres mesurés de l'eau distillée et de l'eau filtrée

Les résultats sont récapitulés dans le tableau II.9

**Tableau II.9: Résultats des analyses et normes algériennes**

	pH	Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	Salinité (psu)	T $^{\circ}\text{C}$
Eau distillée	7.32	8	0	27.6
Eau filtrée	6.60	1078	0.53	27.98

Le pH est compris entre 6.5 et 8.5 donc admissible. La salinité de l'eau de 0.53psu (1g de sel par kg d'eau) permet de conclure que le sol n'est pas salé.

### Conclusion du chapitre II

L'étude climatologique permet de déduire que Ouargla est caractérisée par un climat hyperaride. Le diagramme caractérise la région par une période sèche toute l'année, d'où la nécessité d'une irrigation.

L'analyse granulométrique a permis de conclure que le sol est sableux (moyen) avec une répartition étalée (coefficient d'uniformité  $C_u = 3.1$ ) et une densité apparente est 1.15. Le pH est compris entre 6.5 et 8.5 donc admissible. La salinité de l'eau de 0.53psu (1g de sel par kg d'eau) permet de conclure que le sol n'est pas salé.



***CHAPITRE III  
REGIME D'IRRIGATION***

## Introduction

En tenant compte des conditions climatiques de la région d'étude de la nature du sol, de l'aptitude culturale et du volume d'eau disponible on a opté pour le « goutte à goutte » comme technique d'irrigation et pour le « palmier, tournesol, gombo et melon » comme cultures. Pour dimensionner le réseau d'irrigation il est nécessaire de déterminer les besoins en eau des cultures auxquels on ajoute la dose de lessivage.

### III.1 Caractéristique des données de bases

Toutes les caractéristiques suivantes sont déduites du chapitre I paragraphe II.2.

#### \*Espacements

Pour le palmier dattier :

- Espacement entre les arbres :  $E=8m$  [104]
- Espacement entre les rangs des Palmiers:  $E_r= 8m$  [105]
- Espacement des goutteurs :  $e=1m$  [106]

Pour le tournesol :

- Ecartement entre les cultures :  $E = 1m$  [107]
- Ecartement entre les rangs du Tournesol :  $E_r= 0.5 m$  [108].
- Espacement des goutteurs  $e = 0.5m$  [109]

Pour le gombo

- Ecartement entre les cultures :  $E = 1.5m$  [110]
- Ecartement entre les rangs du Gombo :  $E_r = 0.8m$  [111]
- Espacement des goutteurs  $e = 1m$  [112]

Et pour le melon

- Ecartement entre les cultures :  $E = 2m$  [113]
- Ecartement entre les rangs du Melon:  $E_r = 2m$ . [114]
- Espacement des goutteurs :  $e = 1m$  [115]

#### \*Caractéristiques du sol :

- Densité apparente du sol  $d_a = 1.15 \text{ g/m}^3$  (Déterminée au laboratoire)
- Capacité de rétention pondérale  $H_{pr}= 21 \%$  [40]
- Humidité au point de flétrissement pondérale  $H_{pf} = 7 \%$  [40]

**\*Pour la période végétative** c'est à dire la répartition d'occupation des sols relatifs aux cycles culturaux retenus d'après la recherche bibliographique ( on a pour le:

- palmier toute l'année
- tournesol du début Avril à la fin Aout
- Gombo du début Mars à la fin septembre
- Melon du début Mars à la fin juin

Le tableau III.1 exprime la répartition d'occupation des sols relatifs aux cycles culturaux retenus.

**Tableau III.1: Répartition des sols relative aux cycles culturaux.**

Mois	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	A
Palmier												
Gombo												
Tournesol												
Melon												

\*Le taux de couverture égale à 50% pour palmier et 80% pour le Gombo et 100% pour tournesol et melon

\*Les données climatiques nécessaires sont récapitulées dans les tableaux du II.1 au II.5 du chapitre II

### III.2 Besoins en eau d'irrigation

Le bilan hydrique d'une culture donnée est la différence entre d'une part, le besoins en eau des cultures et d'autre part, la somme des apports effectifs.

$$B = Kc \cdot ETP - (Pe + X RFU) \text{ en (mm/mois)} \text{ ( III.1)}$$

**ETM = Kc.ETP** correspond à la consommation maximale de la plante. Mais des raisons physiologiques ou plus souvent économiques peuvent conduire à envisager un certain rationnement de la plante.

\***Kc** est le coefficient cultural spécifique d'une culture donnée qui prend des valeurs différentes selon le stade végétatif de la culture. ( **Annexes 3** )

\***ETP** : L'évapotranspiration représente la quantité d'eau perdue sous forme de vapeur à partir d'une surface couverte de végétation. Cette quantité est généralement exprimée par unité de surface et par unité de temps, en m<sup>3</sup>/ha/jour, en m<sup>3</sup>/ha/mois ou en m<sup>3</sup>/ha/an. Bien entendu, l'évapotranspiration peut également s'écrire en mm/jours par mois ou par an [16]

La méthode la plus utilisée en Algérie pour déterminer l'Evapotranspiration est celle de H.BLANNEY et W.CRIDDLE (1945) :

$$ETP = 0.457 P (17.8 + t) \text{ (mm/mois)} \text{ ( III.2 )}$$

Avec

- P : le pourcentage de la durée d'éclairement pendant la période considérée en fonction de la latitude en%. La latitude de Ouargla est de 32° 45' Nord et 31° 45' Sud. On lit sur le tableau en annexe les valeurs de P (**Annexe 4**).
- t : température moyenne mensuelle en °C.

On détermine l'ETP à l'aide de cette formule et on récapitule les valeurs dans le tableau III.2

**Tableau III.2 : l'ETP mensuelle estimée par la méthode de BLANNEY – CRIDDLE**

Mois	Tmoy °C	P%	ETP( mm)	Mois	Tmoy °C	P%	ETP( mm)
<b>Janvier</b>	12.625	7.2	<b>100.11</b>	<b>Aout</b>	35.16	9.3	224.60
<b>Février</b>	14.08	7.0	101.55	<b>Septembre</b>	31.17	8.3	186.64
<b>Mars</b>	18.035	8.4	137.07	<b>Octobre</b>	24.875	7.9	154.65
<b>Avril</b>	23.045	8.8	163.33	<b>Novembre</b>	17.46	7.1	114.57
<b>Mai</b>	27.715	9.6	200.31	<b>Décembre</b>	12.84	7.1	98.72
<b>Juin</b>	32.69	9.6	221.51	<b>Moyenne</b>	23.80	8.3	161.87
<b>Juillet</b>	35.815	9.8	<b>239.39</b>	<b>Année</b>		100.0	1942.45

Les valeurs d'ETP varient d'un mois à un autre. ETP prend une valeur minimale en janvier de 100.11mm/mois et une valeur maximale de 239.39 mm/mois en juillet, l'ETP moyenne mensuelle est de 161.87 mm/mois avec le total annuel de l'ordre de 1942.45 mm

**\*La pluie efficace (Pe) :**

La pluie efficace ne représente qu'une partie de la précipitation totale réellement tombée. En pratique, étant donnée l'extrême difficulté d'évaluer la part des pluies efficaces contenues dans les précipitations totales, on procède par approximations. [9]

La méthode proposée par l'I.R.A.T (Institut de Recherches Agronomiques Tropical) intègre les paramètres suivants :

- ❖ Si  $P < 20 \text{ mm}$   $R = 0 \rightarrow Pe = P$
- ❖ Si  $P > 20 \text{ mm}$   $R = 0,15 (P - 20) \rightarrow Pe = P - R$

- P : Pluie mesurée en mm.
- R : Ruissellement en mm.
- Pe : Pluie efficace en mm.

On détermine R en fonction des précipitations P et on calcule la pluie efficace Pe. Les résultats sont récapitulés dans le tableau.III.3

**Tableau III.3 : Pluie efficace en mm.**

Mois	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	Année
<b>P (mm)</b>	3.1	1.8	1.6	0.8	0.4	0.6	3.9	4.1	1.2	4.2	9.4	3.2	34.3
<b>R (mm)</b>	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Pe(mm)</b>	3.1	1.8	1.6	0.8	0.4	0.6	3.9	4.1	1.2	4.2	9.4	3.2	34.3

Le ruissellement est toujours nuls vu que les précipitations sont inférieures à 20mm.

Ce tableau montre que l'apport annuel des pluies efficaces est de l'ordre de 34.3mm réparties irrégulièrement durant l'année, la valeur maximale est enregistrée au mois de janvier qui atteint 9.4 mm, et valeur minimale de l'ordre de 0.4 mm enregistrée au mois de juillet.

**\*X :** Pourcentage utilisable de la réserve initiale, compte tenue de la profondeur d'enracinement atteint.(on prend X=1)

**Réserve facilement utilisable (RFU) :**

La réserve facilement utilisable (RFU) par les plantes, pour un sol de profondeur (Z) et de superficie égale à 1 ha est déterminée par la relation :

$$RFU=y. RU \quad (m^3 /ha). \quad ( III.3 )$$

Y=2/3 sol sableux [74]

RU est la Réserve Utile en ( $m^3 /ha$ ) est déterminée par la formule :

$$RU = 10^4 \times h \times da \times (H_{pr} - H_{pf}). \quad ( IV.4 )$$

Avec :

Z : profondeur d'enracinement en m; 1m pour le palmier et 0.35m pour le tournesol et 0.6m pour legombo et 0.8m pour le melon (culture industrielle)

da : densité apparente du sol (1.15g/m<sup>3</sup>)  
 H<sub>pr</sub> : capacité de rétention pondérale (21%) [117]  
 H<sub>pf</sub> : humidité au point de flétrissement pondérale (7 %) [118]

**\*Fraction lessivante**

En zone aride et semi-aride, l'irrigation des sols salés nécessite un apport d'eau supérieur du besoin des cultures [57] qui peut permettre le lessivage des sels. Pour évaluer la fraction lessivante, on doit connaître à la fois la salinité de l'eau d'irrigation et la tolérance de la culture vis-à-vis de la salinité du sol. Généralement on utilise la formule de [48] ; [57]

la formule de Rhoades est présentée comme suit:

$$FL = \frac{CE_i}{5CE_e + CE_i} \text{ ( IV.5 )}$$

Avec :

CE<sub>i</sub> : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation (mS/cm)

CE<sub>e</sub> : conductivité électrique d'extrait saturé moyenne sur la zone racinaire (mS/cm).

L'application de la formule de Rhoades exige la détermination de la salinité de l'eau d'irrigation, ainsi que la salinité moyenne dans le profil de sol [48]

La dose de lessivage peut D<sub>L</sub> être estimée pour les sols sableux à 15% des besoins en eau B<sub>n</sub>

On détermine les besoins pour chaque culture que l'on récapitule dans les tableaux III.4 à III.7

**Tableau III.4 : Besoins en eau de Palmier**

Palmier												
Mois	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F
CoefKc	0.8	0.8	0.9	0.95	0.95	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ETP (mm)	137.07	163.33	200.31	221.51	239.39	224.6	186.64	154.65	114.57	98.77	100.11	101.55
ETM (mm)	109.66	130.66	180.28	210.43	227.42	202.14	149.31	123.72	91.65	78.97	80.09	81.24
Pe (mm)	3.1	1.8	1.6	0.8	0.4	0.6	3.9	4.1	1.2	4.2	9.4	3.2
Z(m)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RFU	107.34	107.34	107.34	107.34	107.34	107.34	107.34	107.34	107.34	107.34	107.34	107.34
B (mm)	-	21.52	71.34	102.3	119.68	94.20	38.08	12.29	-	-	-	-

**Tableau III.5 : Besoins en eau de Gombo**

Gombo							
Mois	M	A	M	J	J	A	S
CoefKc	0.58	0.67	0.79	0.93	0.95	0.76	0.46
ETP (mm)	137.07	163.33	200.31	221.51	239.39	224.60	186.64
ETM (mm)	79.50	109.43	158.24	206.004	227.42	170.69	85.85
Pe (mm)	3.1	1.8	1.6	0.8	0.4	0.6	3.9
Z(m)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
RFU	64.40	64.40	64.40	64.40	64.40	64.40	64.40
B (mm)	11.99	43.23	92.24	140.80	162.61	105.69	17.55

**Tableau III.6: Besoins en eau de Tournesol**

Tournesol					
Mois	A	M	J	J	A
CoefKc	0.5	0.8	1.05	1.05	0.6
ETP(mm/mois)	163.33	200.31	221.51	239.39	224.60
ETM(mm/mois)	81.66	160.25	232.59	251.35	134.76
Pe(mm)	1.8	1.6	0.8	0.4	0.6
Z(m)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
RFU	37.57	37.58	37.57	37.57	37.57
B(mm)	42.30	121.08	194.27	213.39	96.59

**Tableau III.7 : Besoins en eau de Melon**

Melon				
Mois	M	A	M	J
Coef Kc	0.6	0.6	0.8	0.5
ETP (mm)	137.07	163.33	200.31	221.51
ETM (mm)	82.24	166.25	243.66	263.32
Pe (mm)	3.1	1.8	1.6	0.8
Z(m)	0.8	0.8	0.8	0.8
RFU	85.87	85.87	85.87	85.87
B (mm)	-	10.33	72.77	24.08

On récapitule les besoins totaux des quatre (4) cultures , auxquels on ajoute la dose de lessivage  $D_L$  et on détermine les besoins mensuels B en mm. On porte tous les résultats dans le tableau III.8.

**Tableau III.8 : Besoins en eau de toutes les cultures**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
Palmier	38.08	12.29	-	-	-	-	-	21.52	71.34	102.3	119.7	94.2	459.4
Gombo							1.033	48.13	134.3	156.31	150.64		490.41
Tournesol								42.296	121.1	194.2	213.4	96.59	667.57
Melon							-	10.33	72.77	24.08			107.19
Mensuel	38.08	12.29	-	-	-	-	1.03	69.65	399.5	476.9	483.7	190.8	1671.9
DL (mm)	5.71	1.843	-	-	-	-	0.16	10.45	59.92	71.54	72.56	28.62	250.79
B (mm)	43.79	14.13	-	-	-	-	1.19	80.1	459.4	548.4	556.3	219.4	1922.7

**Kc**→ coefficient cultural  
**ETP**→ Evapotranspiration  
**ETM** →Evapotranspiration maximale  
**Pe**→ Pluie efficace  
**Z** →Profondeur racinaire  
**RFU** →Réserve Facilement Utilisable  
**B** →Besoins en eau  
**D<sub>L</sub>**→Dose de lessivage



La demande de pointe de chaque culture est en juillet avec un total de 556.3 mm On dimensionne donc le réseau d'irrigation à partir du débit correspondant. Le débit fourni par la station d'épuration est 399310 m<sup>3</sup>. Ce débit est supérieur aux besoins donc suffisant.

### III.2.1 Besoins des cultures en irrigation localisée

Les arrosages obéissent à des lois, au point de vue doses, fréquences et durées qu'on détermine pour le dimensionnement du réseau.

Les besoins quotidiens totaux en eau en irrigation traditionnelle sont égaux à 556.3 mm et correspondent pour le mois de juillet, avec :

Pour le:

- palmier au moins de juillet B= 119.68mm, Donc: ajour= 3.86 mm / jour.
- Tournesol au moins de juillet 213.39 mm, Donc: ajour = 6.88 mm / jour
- Gombo au moins de juin 156.31 mm, Donc: ajour = 5.25mm / jour.
- Melona u moins de Mai 72.77mm, Donc: ajour = 2.35mm / jour

Mais il est préférable de dimensionner le réseau avec les besoins maximums c'est-à-dire :

ETM de pointe. Pour le mois de juin ou juillet on a:

ETM du palmier = 227.42 mm pour le mois de juillet

ETM du tournesol = 251.36 mm pour le mois de juin

ETM de Gombo= 221.51 mm pour le mois de juillet

ETM de melon = 263.32mm pour le mois de juin

On détermine le besoin journaliers correspondants a (mm/j) comme suit :

Principalement avec l'irrigation localisée pour les cultures en ligne où une partie seulement de la surface occupée par les plantes est irriguée.

Donc : les chiffres des besoins en eau déterminés par les méthodes ou toute la surface est considérée à irriguée doivent être multipliés par un coefficient de réduction «K<sub>r</sub>» dépendant du taux de couverture «C<sub>r</sub>».

Donc en irrigation localisée, les besoins journaliers se réduisent comme suit :

$$B_r = ETM_{\text{pointe}} * K_r \quad \text{(III.6)}$$

Le coefficient K<sub>r</sub> est donné par plusieurs formules comme:

La formule de Keller et Karmeli (1974):

$$K_r = \frac{C_s}{0.85} \quad \text{(III.7)}$$

La formule de Freeman et Garzoli:

$$K_r = C_s + 0,5 (1 - C_s) \quad \text{(III.8)}$$

La formule de Decroix (CTGREF):

$$K_r = 0,1 + C_s \quad \text{(III.9)}$$

Dans notre cas on considère un taux de couverture égale à 50% pour palmier et 80% pour le Gombo et 100% pour tournesol et melon[118] ;[119] ;[120] ;[121]. On récapitule les valeurs des coefficients Kr dans le tableau III.9.

**Tableau III.9: Coefficient Kr**

Cultures	Cs	Coefficient Kr		
		KelleretKarmeli	Freemanet Garzoli	Decroix
<b>Palmier</b>	0.5	0.59	0.75	0.6
<b>Gombo</b>	0.8	0.94	0.9	0.9
<b>Tournesol</b>	1	1.18	1	1.1
<b>Melon</b>	1	1.18	1	1.1

On choisit la méthode de Decroix:

Kr= 0.6 pour Palmier

Kr= 0.9 pour Gombo

Kr= 1.1 pour tournesol

Kr= 1.1 pour le melon

On détermine les pour l'irrigation localisée les besoins mensuels Bl et les besoins journaliers al. Les valeurs sont portées sur le tableau III.10

### III.2.2 Dose pratique

La dose pratique est déterminée par la formule par la formule :[38]

$$dp = 2/3 \times h \times P(H_{pr} - H_{pt}) \quad (III.10)$$

\*Pest la fraction de la surface à humidifier. L'optimum de P dépend de nombreuses variables :

Nature de la culture :

- Débit et espacement des goutteurs
- Nature du sol arrosé
- Pluviométrie de la région.

Il est compris entre 0.20 et 1.

Le tableau en (annexe 5) extrait de l'étude américaine « trickle irrigation design » de J.KELLER et D.KARMELI donne les valeurs de P en fonction de :

- Ecartement entre les rampes
- Débit des goutteurs
- Espacement optimal des goutteurs déterminés par la texture du sol ( G sol à texture grossière, M texture moyenne, F texture fine).

Pour les cultures faiblement espacées, on peut être amené à humidifier une grande partie du sol ( $0.80 < P < 1$ ) pour assurer de façon certaine l'alimentation de chaque plante.

Pour palmier on a :

- Ecartement entre les rangées des arbres : Er = 8m.
- Espacement des goutteurs e = 1m
- On a le choix entre différents goutteurs de débits varie q = (1 :2 :4 :6 :8) l/h. q=2l/h  
Donc P= 40%

Pour le tournesol :

- Ecartement entre les lignes Er=0.6 m

- Espacement des goutteurs  $e= 0.5m$
- On a le choix entre différents goutteurs de débits varie  $q = (1 :2 :4 :6 :8) l/h$ .  $q=2l/h$   
Donc  $P = 44\%$

Pour le Gombo :

- Ecartement entre les lignes  $Er=0.8m$
- Espacement des goutteurs  $e=1m$
- On a le choix entre différents goutteurs de débits varie  $q = (1 :2 :4 :6 :8) l/h$ .  $q=2l/h$   
Donc  $P= 40\%$

Pour Le melon :

- Ecartement entre les lignes  $Er=2m$
- Espacement des goutteurs  $e=0.5m$
- On a le choix entre différents goutteurs de débits varie  $q = (1 :2 :4 :6 :8) l/h$ .  $q=2l/h$   
Donc  $P= 46\%$

Même sur cette fraction P du sol l'humidification n'est pas parfaitement uniforme. On note :

- $d_{min}$  la dose reçue dans les zones les moins bien arrosées
- $d_{moy}$  la dose moyenne.

Le coefficient d'uniformité  $Cu$  est défini comme suit :

$$Cu = \frac{d_{min}}{d_{moy}} \quad (III.11)$$

Il est généralement pris égal à 90 %

D'autre part, une fraction livrée, souvent estimée à 15%, se perdra par évaporation, lessivage, percolation profonde.

Le rendement R est donc de 85%.

La dose nette  $dn$  effectivement consommée par les plantes n'est donc qu'une fraction de la dose pratique réelle.

$$dn = dp * cu * R \quad (IV.12)$$

### III.3 Fréquence d'arrosage

La fréquence ou espacement entre deux arrosages dépend des besoins (réduits) de la culture en eau d'appoint de ladose nette appliquée à chaque arrosage ;

$$T = \frac{dn}{al} \quad (III.13)$$

On arrondit le nombre de jours à  $Tc$  et on corrige la dose nette pour avoir la dose réelle

$$dr = al * Tc \quad (III.14)$$

Cette dose réelle  $dr$  est inférieure à la dose pratique  $dp$

Pour satisfaire les besoins en eau de palmier en irrigation localisée, il est nécessaire d'irriguer 30 heures tous les 7 jours, pour ceux du tournesol 8 heures tous les 4 jours, pour ceux du Gombo 7 heures tous les 3 jours et pour ceux du melon 18 heures tous les 4 jours.

**Tableau III.10 : Détermination de toutes les doses et temps d'arrosage**

	<b>B(mm/mois)</b>	<b>a(mm/j)</b>	<b>Kr</b>	<b>Br(mm/mois)</b>	<b>al (mm/j)</b>	<b>P (%)</b>
<b>Palmier</b>	119.68	3.86	0.6	136.45	4.40	0.4
<b>Gombo</b>	156.31	5.21	0.9	199.36	6.66	0.4
<b>Tournesol</b>	213.39	6.88	1.1	276.50	8.92	0.44
<b>Melon</b>	72.77	2.35	1.1	289.66	9.34	0.46

**Tableau III.10 (suite): Détermination de toutes les doses et temps d'arrosage**

	Hpr-Hpf (%)	dp (mm)	dn(mm)	T (jours)	Tc(jours)	Dr
<b>Palmier</b>	14	37.34	28.56	6.49	7	30.81
<b>Gombo</b>	14	22.40	17.14	2.58	3	19.94
<b>Tournesol</b>	14	14.37	10.99	1.23	4	35.68
<b>Melon</b>	14	34.35	26.28	2.81	4	37.37

On arrose donc :

- tous les 7 jours le palmier ;
- tous les 4 jours le tournesol ;
- tous les 3 jours le gombo ;
- tous les 4 jours le melon.

### III.4. Durée de l'arrosage

Si on arrose en une seule fois, la durée de l'arrosage en heures est calculée comme suit :

$$\Theta = \frac{V}{q} \quad \text{(III.15)}$$

On a un Ecartement des lignes :

- ✚ pour Le palmier E =8 m,
- ✚ pour le tournesol E=0.5m ;
- ✚ pour gombo E=0.8 m
- ✚ pour melon E= 2m

Avec :

Parmi le choix entre différents goutteurs de débits varie q =(1 :2 :4 :6 :8) l/h, on opté pour 2l/h.

V : est Volume à fournir par le goutteur :

$$V = G * d_{r1} \quad \text{(III.16)}$$

dr : dose réelle =30.81 mm pour le palmier et= 35.68 pour le tournesol, et pour gombo =19.94 mm, pour melon =37.37 mm

G est la surface desservie par un goutteur.

$$G = E * e \quad \text{(III.17)}$$

- **Pour le palmier**

On a

- E= Ecartement entre les lignes 8m
- e= Espacement entre les goutteurs est 1m

$$G = 1 * 8 = 8 \text{ m}^2.$$

$$V = 8 \text{ m}^2 * 30.81 * 10^{-3} \text{ m} = 246.49 * 10^{-3} \text{ m}^3 = 246.49 \text{ litres}$$

q est le débit fourni par le goutteur 8 l/h

$$\Theta = \frac{246.49}{8} = 30.81 \text{ heures}$$

C'est-à-dire  $\frac{30.81 \text{ heures}}{(7 \cdot 24) \text{ heures}} = 0.18$  soit 18% de la durée totale de la période T= 7j

- **Pour le tournesol**

On a

- E= Ecartement entre les rampes = 0.5m
- e = Espacement entre les goutteurs est 1m

$$G = 0.5 \cdot 1 = 0.5 \text{ m}^2.$$

$$V = 0.5 \text{ m}^2 \cdot 35.68 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 17.83 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 17.83 \text{ litres}$$

q est le débit fourni par le goutteur 2 l/h

$$\Theta = \frac{17.83}{2} = 8.92 \text{ heures}$$

C'est-à-dire  $\frac{8.11 \text{ heures}}{(4 \cdot 24) \text{ heures}} = 0.09$  soit 9% de la durée totale de la période T= 4j

- **Pour le gombo**

On a

- E= Ecartement entre les rampes = 1.5m
- e = Espacement entre les goutteurs est 0.5m

$$G = 1.5 \cdot 0.5 = 0.75 \text{ m}^2.$$

$$V = 0.75 \text{ m}^2 \cdot 19.94 \cdot 10^{-3} = 14.95 \cdot 10^{-3} = 14.95 \text{ litres}$$

q est le débit fourni par le goutteur 2 l/h

$$\Theta = \frac{14.95}{2} = 7.68 \text{ heures}$$

C'est-à-dire  $\frac{7.68 \text{ heures}}{(3 \cdot 24) \text{ heures}} = 0.10$  soit 10% de la durée totale de la période T= 3j

- **Pour le melon**

On a

- E= Ecartement entre les rampes = 2m
- e = Espacement entre les goutteurs est 0.5m

$$G = 0.5 \cdot 2 = 1 \text{ m}^2$$

$$V = 1 \text{ m}^2 \cdot 37.37 = 37.37 \cdot 10^{-3} = 37.37 \text{ litres}$$

q est le débit fourni par le goutteur 2 l/h

$$\Theta = \frac{37.37}{2} = 18.69 \text{ heures}$$

C'est-à-dire  $\frac{18.69 \text{ heures}}{(4 \times 24) \text{ heures}} = 0.19$  soit 19% de la durée totale de la période  $T = 4j$

**Tableau III.11: Paramètres des arrosages**

	$a_l$ (mm/j)	Dr	T(jours)	E(m)	e(m)	G(m <sup>2</sup> )
<b>Palmier</b>	4.40	30.81	7	8	1	8
<b>Gombo</b>	6.66	19.94	3	1.5	0.5	0.75
<b>Tournesol</b>	8.92	35.68	4	1	0.5	0.5
<b>Melon</b>	9.34	37.37	4	2	0.5	1
	V(m <sup>3</sup> )	Q(l/h)	Θ(h)	Θ%		Θ'(h/jour)
<b>Palmier</b>	246.49	8	30.81	18.34	0.18	4.40
<b>Gombo</b>	14.95	2	7.48	10.38	0.10	2.49
<b>Tournesol</b>	17.84	2	8.92	9.29	0.09	2.23
<b>Melon</b>	37.37	2	18.69	19.47	0.19	4.67

### III.5 Dispositions pratiques

On irrigue donc pendant 18% de la période d'arrosage et 82% de cette période le sol ne recevra pas d'eau. Mais en réalité il est préférable de maintenir le sol constamment très proche du point de rétention et, pour ce faire, « arroser un peu chaque jour ».

On fractionne la durée totale  $\Theta$  ( de 30.81h pour le palmier et 8.92 pour le tournesol et 7.48 heures pour gombo et 18.69 heures pour le melon ) en T(de 7 pour le palmier et 4 pour le tournesol et 3 pour gombo et 4 pour melon ) fois une durée quotidienne :

- Pour le palmier  $\Theta' = 30.81 / 7 = 4.40$  heures/j. C'est-à-dire presque le cinquième de la durée totale de la journée ;
- Pour le tournesol  $\Theta' = 8.92 / 4 = 2.23$  heures /j. C'est-à-dire seulement deux heures pendant la journée ;
- Pour le gombo  $\Theta' = 7.48 / 3 = 2.49$  heures /j. C'est-à-dire seulement trois heures pendant journée ;
- Pour le melon  $\Theta' = 18.69 / 4 = 4.67$  heures /j. C'est-à-dire presque le cinquième de la durée totale de la journée.

On irrigue donc tous les jours pendant :

- $\Theta' = 4h$  et 24mn le palmier.
- $\Theta' = 2h$  et 18mn le tournesol.
- $\Theta' = 2h$  et 29mn le Gombo
- $\Theta' = 4h$  et 40 mn le melon

### Conclusion du chapitre III

L'objectif de ce chapitre est la détermination du régime d'irrigation. On a d'abord déterminé pour chaque culture l'évapotranspiration potentielle maximale. On a obtenu pour le palmier 227.42 mm au mois de juillet, pour le tournesol 251.36 mm au mois de juin pour le gombo

## CHAPITRE II : REGIME D'IRRIGATION

221.51 mm au mois de juillet et pour le melon 263.32mm au mois de juin. L'Evapotranspiration a permis de déterminer les besoins mensuels en eau : 119.68mm, 156.31mm, 213.39mm et 72.77mm pour respectivement le palmier, le gombo, le tournesol et le melon

Concernant le régime d'irrigation, on a obtenu une durée d'arrosage égale à 4.40mm, 8.92mm, 6.65mm et 9.34mm et un temps d'arrosage de 4h et 24mn, 2h et 18mn, 2h et 29mn et 4h et 40 mn pour respectivement le palmier, le tournesol, le Gombo et le melon. La meilleure fréquence est l'irrigation journalière pour ne pas humidifier le sol une période et le dessécher une autre période.



***CHAPITRE IV  
AMENAGEMENT RESEAU D'IRRIGATION***



## Introduction

Pour l'aménagement de la superficie des 2 ha ( $L=200m, l=100m$ ), on a choisi de la diviser en quatre ilots de : (Figure IV.1)

- 0.8ha ( $L=80m$  et  $l=100m$ ) pour le palmier ;
- 0.4 ha ( $L=40m$  et  $l=100m$ ) pour le tournesol ;
- 0.4 ha ( $L=40m$  et  $l=100m$ ) pour le Gombo ;
- 0.4 ha ( $L=40m$  et  $l=100m$ ) pour le melon.

La source d'eau est à proximité du périmètre.

Les écartements entre les rampes et les goutteurs ont été choisis d'après les caractéristiques des cultures et récapitulés dans le chapitre III.

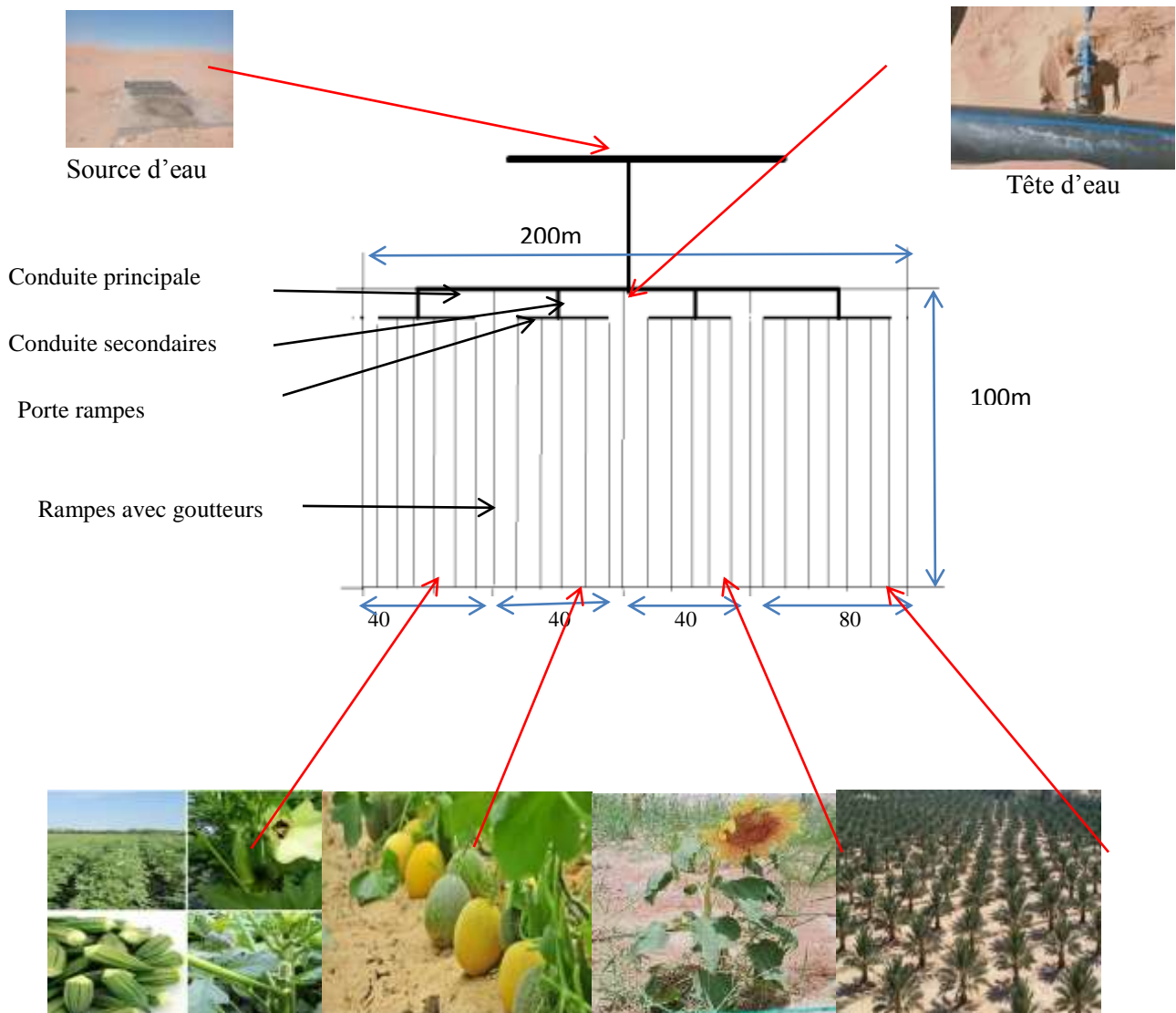


Figure IV.1 : Aménagement du réseau d'irrigation Goutte à Goutte

### IV.1 Débit caractéristique

Il est d'abord nécessaire de déterminer le débit caractéristique :

$$q_c = \frac{(al * 10^{-3} * 10^4)}{(3600 * 24 * Cu * R)} \quad \text{l/s/ha (IV.1)}$$

Avec :

\*al sont les besoins journaliers

4.40mm pour le palmier ;

8.92mm pour le tournesol ;

6.65mm pour le gombo ;

9.34mm pour le melon.

\* Cu est le coefficient généralement pris égal à 90 % ;

\*R est le rendement R égal à 85% (15%, perdu par évaporation, lessivage, percolation profonde.

On obtient pour le débit caractéristique

$0.67 * 10^{-3}$  l/s/ha pour le palmier ;

$1.35 * 10^{-3}$  l/s/ha pour le tournesol ;

$1.01 * 10^{-3}$  l/s/ha pour le gombo ;

$1.41 * 10^{-3}$  l/s/ha pour le melon.

### IV.2 Nombre de Goutteurs et rampes

On détermine donc le nombre des goutteurs et des rampes ainsi que la longueur totales de ces dernières

#### IV.2.1 Palmier

La surface pour le palmier est de 0.8 ha ( L= 80m , I=100m)

- on utilise 4 goutteurs pour chaque palmier de débits de 2 l/s ;
- Pour le palmier, on place la rampe au pied des arbres. Sachant que l'écartement entre les palmiers est 8m, donc l'espacement entre les rampes est  $E_r = 8m$  ;
- La longueur de la porte rampe 80 m ;
- La longueur de la rampe 96m.

Le nombre de rampe sera alors égal à la longueur du porte rampe divisé par l'écartement

$$\text{entre les rampes : } N_{\text{rampe}} = \frac{L_{\text{pr}}}{E_r} = \frac{80}{8} = 10 \text{ rampes}$$

La longueur de la rampe ou rangée des palmiers est 96m et l'écartement entre les arbres est

8m. On aura donc sur chaque rangée  $N_{\text{arbre/rampe}} = \frac{96}{8} = 12$  arbres

Le nombre total de palmiers sera égal à  $N_{\text{arbre}} = N_{\text{rampe}} * N_{\text{arbre/rampe}} = 10 * 12 = 120$  arbres.

Au pied de chaque palmier, on place 4 goutteurs. Le nombre total des goutteurs sera égal à  $N_g = n * N_{\text{arbre}} = 4 * 120 = 480$  goutteurs

#### IV.2.2 Tournesol

La surface consacrée au tournesol est de 0.4 ha ( L= 40m , I=100m). On utilise des goutteurs de débits de 2 l/s. On a :

- Ecartement entre les rangées des cultures  $E_r=1$  m ;
- Espacement des cultures sur une rangée  $E=0.5$ m ;
- Espacement des rampes  $E=1$  m ;
- Espacement des goutteurs sur une rampe  $e=0.5$ .

La longueur de la porte rampe 40 m.

La longueur de la rampe 100 m Le nombre de rampes est égal au nombre de rangées des

cultures :  $N_{rampe} = \frac{L_{pr}}{E_r} = \frac{40}{1} = 40$  rampes (et rangées)

Le nombre de cultures par rangée sera :  $N_{cultures / rangées} = \frac{L_r}{E} = \frac{100}{0.5} = 200$  cultures/ rangées

Et le nombre de cultures total sera :  $N_{cultures} = N_{rangées} * N_{culture / rangée} = 40 * 200 = 8000$  cultures

Le nombre de goutteurs est égal au nombre des cultures  $N_g = 8000$  goutteurs

### IV.2.3 Gombo

La surface consacrée au Gombo est de 0.4 ha (  $L=40$ m ,  $I=100$ m). On utilise des goutteurs de débits de 2 l/s. Et on a :

- Ecartement entre les rangées des cultures  $E_r=0.8$  m
- Espacement des cultures sur une rangée  $E=0.5$
- Espacement des goutteurs sur une rampe  $e=0.5$ m

Le nombre des rampes est égal au nombre des rangées des cultures à :  $N_{rampe} = \frac{L_{pr}}{E_r} = \frac{40}{0.8} = 50$  rampes.

Le nombre de cultures sur une rangée est égal à :  $N_{cultures / rampe} = \frac{L_r}{E} = \frac{100}{0.5} = 200$  cultures/ rampe

Le nombre des goutteurs est égal au nombre total des cultures :  $N_{cultures} = N_{rampe} * N_{culture / rampe} = 50 * 200 = 10000$  cultures et 10000 goutteurs

### IV.2.4 Melon

La surface de 0.4 ha (  $L=40$ m ,  $I=100$ m)

- On utilise des goutteurs de débits de 2 l/s
- Les espacements entre rangées des cultures  $E_r = 1$ m[89]
- L'espacement entre les plantes sur une rangée 0.5m[92]
- Un goutteur au pied de chaque culture La longueur de la porte rampe 40 m.
- La longueur de la rampe 100 m

Le nombre de rampes est égal au nombre de rangées des cultures [88]

Le nombre des rampes sera donc égal au nombre des rangées :  $N_{rampe} = \frac{L_{pr}}{E_r} = \frac{40}{1} = 40$  rampes

Pour le melon, l'espacement des cultures sur une rangée est 0.5 m. Le nombre de culture sera donc égal :  $N_{culture / rampe} = \frac{L_r}{E} = \frac{100}{0.5} = 200$  cultures/ rampe.

Le nombre total des cultures sera :  $N_{culture} = N_{rampe} * N_{culture / rampe} = 40 * 200 = 8000$  cultures

On met un goutteur pour chaque culture. Le nombre de goutteurs sera égal au nombre de cultures  $N_g = N_{culture} = 8000$  goutteurs

On récapitule tous les résultats dans le tableau IV.1

**Tableau IV.1: Caractéristiques générales du périmètre**

Poste	S(ha)	s(m <sup>2</sup> )	qc l/s/ha	Rampe		Longueur totale	Nombre de cultures	Nombre de goutteurs
				Nombre	Longueur			
<b>Palmier</b>	0.8	8	0.67	10	96	960	120	480
<b>Gombo</b>	0.4	1.5	1.01	50	100	500	10000	10000
<b>Tournesol</b>	0.4	0.8	1.35	80	100	800	8000	8000
<b>Melon</b>	0.4	1	1.41	40	100	400	8000	8000
<b>Annuel</b>	2	8				2860		26480

**S** : la surface (espace de zone d'étude) pour chaque culture m<sup>2</sup>

**s** : la surface desservie par un goutteur

### **Conclusion du chapitre IV**

Le débit caractéristique nécessaire pour le dimensionnement du réseau d'irrigation est égal à  $0.67 \cdot 10^{-3}$  l/s/ha pour le palmier,  $1.35 \cdot 10^{-3}$  l/s/ha pour le tournesol,  $1.01 \cdot 10^{-3}$  l/s/ha pour le melon.  
La longueur totale des rampes est 2860 m avec 26480 goutteurs.



*Conclusion générale*

## CONCLUSION GENERALE

La réutilisation des eaux usées a non seulement pour objet de fournir des quantités supplémentaires d'eau mais également d'assurer la protection du milieu environnant. Par définition, cette réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques. A cet effet, la surexploitation des ressources en eaux souterraines et l'augmentation de la pollution de l'environnement dans la région de Ouargla ont donné naissance à l'étude de l'utilisation des eaux épurées à partir des stations d'épuration pour l'irrigation des terrains agricoles avoisinants.

Dans l'étude bibliographique on s'est intéressé aux eaux usées comme une ressource hydrique appréciable, aux pratiques actuelles d'épuration et à leur réutilisation comme technique en pleine expansion qui permet non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité pour combler les déficits hydriques pour différents usages mais aussi d'assurer la protection du milieu environnant.

L'étude des techniques d'irrigation a conduit au choix de la procédure la plus économique avec plusieurs avantages qui est l'irrigation localisée. Cette dernière, permet l'apport de l'eau et d'engrais directement aux racines des plantes, et empêche les pertes d'eau par évaporation, par ruissellement et par infiltration souterraine. L'irrigation au « Goutte à Goutte » semble donc être la plus adaptée à la réutilisation des eaux usées.

Comme cultures, on a opté dans ce modeste travail pour le tournesol, gombo, melon et palmier dattier qui sont tolérantes aux conditions sèches des régions sahariennes et s'adaptent aux sols sableux et aux eaux épurées.

L'examen des données climatiques montre que la zone d'étude est définie par un climat aride caractérisé par un été chaud et un hiver frais avec une période sèche s'étalant sur toute l'année, une évaporation importante est accentuée par les vents chauds en été (Sirocco) et une insolation importante. Tous ces paramètres engendrent un stress hydrique pour les cultures ce qui nécessite donc une irrigation. L'analyse granulométrique a permis de conclure que le sol est sableux (moyen) avec une répartition étalée (coefficient d'uniformité  $C_u = 3.1$ ) et une densité apparente est 1.15. Le pH est compris entre 6.5 et 8.5 donc admissible. La salinité de l'eau de 0.53psu (1g de sel par kg d'eau) permet de conclure que le sol n'est pas salé.

Dans ce travail on irrigue avec les eaux traitées récupérées à la sortie de la station d'épuration de Sidi Khouiled, après avoir subies un prétraitement, un traitement primaire et un traitement secondaire. On a donc tenté dans la première étape à travers ce travail de montrer que la station de Sidi Khouiled de Ouargla a un bon pouvoir épurateur et que les eaux épurées puissent être utilisées pour l'irrigation. Ceci résoudra le problème de pollution de l'environnement et du stress hydrique dans cette région aride. Les résultats de janvier 2022 fournis par l'ONA montrent un rabattement de la DCO avec un rendement de 75%, ainsi qu'un rabattement des MES avec un rendement moyen de 55%. La DCO à la sortie de la station est inférieure à la norme d'irrigation Algérienne (J.O.N41. 15Juillet 2012), par contre la quantité des MES égale à 46mg/l est faiblement supérieure à la norme (30mg/l). L'enquête réalisée auprès des irrigants et personnels de la station a révélé que les eaux épurées de la station d'épuration de Sidi Khouiled sont d'une qualité favorable permettant de les utiliser pour l'irrigation avec un bon rendement de certaines cultures (melon, betterave, olive, dattes...) surtout que la station est située au cœur de vastes terrains agricoles.

## CONCLUSION GENERALE

La deuxième étape de ce travail consiste à la détermination du régime d'irrigation qui est l'ensemble des doses, des fréquences et des durées d'arrosage qu'il faut appliquer aux plantes cultivées au cours de toute leur période de végétation, dans le but de compenser le déficit hydrique dans la couche active du sol.

Pour cela, on a d'abord déterminé l'évapotranspiration mensuelle qui est 251.36 mm, 221.51 mm, 263.32mm et 227.42mm respectivement pour tournesol, gombo, melon et palmier dattier. Ceci a permis la détermination des besoins mensuels en eau égaux à 251.36mm pour le tournesol, 199.36mm pour le gombo, 263.32mm pour le melon et 136.4mm le palmier dattier.

Les besoins totaux en eaux de toutes les cultures choisies 1923 mm/an sont inférieurs au volume mensuel égal à  $10000 \text{ m}^3$  de la station d'épuration égal  $399310 \text{ m}^3$ . Le volume fourni par la station est donc suffisant pour l'irrigation du périmètre choisi. Les besoins en eau ont permis déterminer le régime d'irrigation : On donne une dose d'arrosage égale à 30.81mm tous les 7 jours pendant 30.81 heures au palmier, 19.94 mm tous les 3 jours pendant 7.48heures au gombo, 35.68mm tous les 4 jours pendant 8.92heures au tournesol et 37.37mm tous les 4 jours pendant 18.69heures au melon. On irrigue donc pendant une partie de la période végétative et l'autre partie de cette période le sol ne recevra pas d'eau. Alors qu'en réalité il est préférable de maintenir le sol constamment très proche du point de rétention et, pour ce faire, « arroser un peu chaque jour » est la meilleure solution. On irrigue donc tous les jours pendant 4h et 24mn le palmier, 2h et 18mn le tournesol 2h et 29mn le gombo et 4h et 40 mn le melon avec respectivement une dose d'arrosage quotidienne de 4.40mm, 8.92mm, 6.65mm et 9.34mm.

La façon de distribuer l'eau aux plantes, ou régime d'irrigation, c'est-à-dire durée, fréquence et dose d'arrosage, représente la base de données pour le calcul du réseau d'irrigation pour un îlot : le débit caractéristique est 0.67 l/s/ha pour le palmier, 1.35l/s/ha pour le tournesol, 1.01/s/ha pour le gombo et 1.41l/s/ha pour le melon. La longueur totale des rampes est 2860m avec 26480 goutteurs.

Cette recherche contribue d'une part, à l'étude de la réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation et d'autre part, à approfondir la recherche dans le domaine de l'irrigation localisée qui utilise une quantité d'eau nécessaire à la plante en évitant la remontée de la nappe et cerner de près les lois qui réagissent la détermination des doses d'irrigation et de l'évapotranspiration.

Le but de ce travail est la réutilisation des eaux usées pour fournir des quantités supplémentaires d'eau dans le domaine agricole afin de combler des déficits hydriques.

Dans ce travail on irrigue donc avec les eaux traitées récupérées à la sortie de la station d'épuration de Sidi Khouiled, ayant subies, au préalable, un prétraitement, un traitement primaire et un traitement secondaire.

Cette recherche contribue, d'une part à l'étude de la réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation et d'autre part, à approfondir la recherche dans le domaine de l'irrigation superficielle dans les régions arides.



***RECOMMENDATIONS***



## *Recommandations*

A la lumière de ce modeste travail, pour que cette réutilisation qui est encore à l'état «embryonnaire» et ne se pratique que sur de très faibles superficies et souvent à titre expérimental soit optimale quelques recommandations sont proposées :

Eliminer tous les éléments microbiologiques ;  
Adapter des systèmes d'irrigation à la qualité de l'eau employée ;  
Irriguer des cultures résistantes à ces eaux et de préférence celles qui ne se consomment pas crues.

A l'aube des changements climatiques attendus pour ce demi-siècle, il faut prévoir ses investissements en connaissance de cause et des études doivent être orientées sur la maîtrise de l'irrigation générale et celle localisée particulièrement qui est une technique simple pouvant s'adapter aux petits débits et facilement admise par les agriculteurs.

Les bonnes pratiques d'irrigation avec de l'eau recyclée pour le contrôle des risques agronomiques consistent dans la combinaison de plusieurs mesures préventives ou correctives y compris la sélection d'une méthode d'irrigation adéquate, le choix approprié des cultures irriguées qui ont une tolérance adéquate du sel, du bord, du sodium et des chlorures, une pratique de gestion des sols appropriées (préparation, amendements, etc.), un lessivage et drainage suffisants du sol pour drainer l'eau et évacuer les sels en excès et une bonne utilisation des engrais. Généralement on recommande des cultures destinées à ne pas être consommées crues,

Afin de compléter cette étude et de cerner de près les lois qui régissent la détermination des doses d'irrigation et de l'évapotranspiration, on recommande pour le futur d'améliorer cette méthode d'irrigation qui utilise une quantité d'eau nécessaire à la plante et évite la remontée de la nappe.

Il est nécessaire de poursuivre les expérimentations avec plusieurs autres combinaisons des doses et fréquences d'arrosage pour arriver à une méthodologie technico-économique hydrique et environnementale qui s'adapte aux conditions locales.



***REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES***

**-A-**

1. ABOURA R., 2006. Comparaison phytoécologique des atriplexaies situées au nord et au sud de Tlemcen. Thèse de Magistère en Biologie Option: EV, Univ, Tlemcen, 2,64 pp
2. ALLAM.Salah., 2014.Contribution à une étude écologique de genre Phillyrea dans la région de Tlemcen..PhDThesis.

**-B-**

3. BECHAC J.P. BOUTIN P. MERCIER.B . NUER P., 1984 .Traitement des eaux usées. Edition EYROLLES.
4. BENABADJ N.BOUAZZAM.,2000 .Quelques modifications climatiques intervenues dans le Sud-Ouest de l'Oranie (Algérie-occidentale). Rev. Energ. Ren, , 3: 117-125.
5. BOUGUEDOURA N. BENNACEUR M. et BENKHALIFA A., 2010 .Le palmier dattier en Algérie : situation, contraintes et apports de la recherche. In .Biotechnologies du palmier dattier. Edition IRD, Paris, 261 p.[1D]
6. BOUGUEDOURA N.BENNACEUR M. BABAHAANI S. et BENZIOUCHE S., 2015. Date Palmier Status and Perspective in Algeria. Date Palmier GeneticResources and Utilization. 1: 125-168.
7. BOUZIANI M., 2000.L'eau de la pénurie aux maladies .édition Ibn khaldoun , Tiaret.
8. BROUWER, C. et al., 1990.Méthodes d'irrigation. Gestion des Eaux en Irrigation. Manuel de Formation.

**-C-**

9. CHARRE, Joël .,1997.Dessine-moi un climat. Que penser du diagramme ombrothermique. Mappemonde, 2,97: 29-31
10. CHAUDHARYL B. RANA T.S. ANAND K.K., 2008. Current status of the systematics of Astragalus L. (Fabaceae) with special reference to the Himalayan species inIndia. Taiwania, 53: 338-355
11. CHEHMA A.,2006.Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional algérien. Edi, dar El Houda, uni d'Ouargla, 140.p.
12. CHIALI G . L'irrigation, Matériel Hydraulique Tubes et Accessoires Pvc, 2.p.
13. COSANDEY C. ROBINSON M. ,2000. Hydrologie continentale. Édité. Armand Colin, Paris, 353 p.

**-D-**

14. DUBIEF J., 1953.Essai sur l'hydrologiesuperficielle au shara.institut de météorologie et de physique du Glob de l'Algérie Service des Etudes scientifiques : Alger, Algérie, 451.
15. DUBOST D., 1991. Le blé du sahara peut-il contribuer à l'autosuffisance de l'Algérie.Bulletin de l'Association de Géographes Français 4 :311-230.
16. DUCROCQ M., 1990. Les bases de l'irrigation. Paris: Tec et Doc. Techniques agricoles et méditerranéennes, Nouv. Ed.: 117 p .

**-F-**

17. FRANCLETA. HOUEROUN., 1971. Les Atriplex en Tunisie et en Afrique du Nord. Document F.A.O, Rome, 249. p.

**-G-**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

18. GOLDBERGD. BORNATB et BAR-YOUSEF., 1971. Distribution of roots, water and minerals as a result of trickle irrigation. J. Am. Soc. Hort. Sci., 96:645-648.
19. GROSCLAUDE., 1999. Milieu naturel , maîtrise .Editions Quae, - 204. p.

-H-

20. HADJOU.Smir.CHOGUEUR.Amine.,2018. Etude technico-économique de l'irrigation par pompage solaire photovoltaïque, d'une palmeraie de palmiers. Etude de cas..PhDThesis.
21. HAFIANE Ahmed.Amine.HADJRIOUA Bilal.,2015. Ressource en eau et aménagement hydroagricole dans la zone de Sidi-Khouiled. mémoire de master, Université de Bejaia
22. HALWART M.DAM A.A., 2010.Intégration de l'irrigation et l'aquaculture en Afrique del'Ouest : concepts, pratiques et perspectives d'avenir.FAO,Rom,199.p.
23. HAMA O. ADAMOU M.M. BARRAGE M.,2018. «EVALUATION DES SYSTEMES D'IRRIGATION DES CULTURES DE *Abelmoschus esculentus* (L.) MOENCH ET *Cucumis sativus* L. SUR LE SITE MARAÎCHER DE BOUGOUM, AU 5ème ARRONDISSEMENT DE NIAMEY (NIGER, AFRIQUE DE L'OUEST » Article :Agronomie Africaine 30 (1) : 29 - 44 (2018)
24. HORING H M., 1973. Rôle de l'aménagement rationnel de l'eau d'irrigation au niveau des exploitations. Séminaire régional Fao/pnud damas. 7-13 décembre 1971. 10-21 p.

-I-

25. IDDER, Med T., 2005 .Contribution à l'étude des principaux facteurs de dégradation de l'oasis du Ksar de Ouargla. Mémoire de fin d'étude, université de Ouargla, Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur, 79p.,
26. ITOUA OYS . ELENGA M. MOUTSAMBOTE JM. MANANGA V. MBEMBA F., 2015. Évaluation de la consommation et de la composition nutritionnelle des légumes feuilles de *Phytolacca dodecandra* L'Herit consommés par les populations originaires des districts d'Owando et de Makoua. Journal of Animal & Plant Sciences, 27(1): 4207-4218.

-K-

27. KHERRAZE M.E.H. LAKHDARI K. KHERFI Y. BENZAOUI T. BERRoussi S. Bouhanna M. Sebaa A., 2010. Atlas floristique de la vallée de l'oued righ par écosystème, centre de recherche scientifique et technique sur les région aride « Omar Elbarnaoui »,48 pages.
28. Kinet J. M., Benrebaha F. Z., Bouzid S., Lahacars S., Dutuit P.,1998. Le réseau Atriplex, Atelier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en région arides et semi-aride. Ed Rev cahiers d'agricultures vol 7 (6) : 505-509

M

29. M'SADAK Youssef, ELOUAER, Mohamed Aymen et DHAHRI, Moez.,2018.« Croissance comparée des plantes de gombo en culture de pleine terre selon les modes semis direct et repiquage ». Publisher : Université Kasdi Merbah.
30. MAILHOL et al. ,1990 a 2004. Guide pratique de l'irrigation.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

31. MAILHOL, J. C., et al ., 2009. Systèmes d'irrigation et économies d'eau sous climat méditerranéen: Etude expérimentale et modélisation. In: Symposium international" Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGDUMED) p. 156-165.
32. MARGAT J., 1981.Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine a la pollution. Ground water Vulnerability to Contamination. Bases de al cartographie (Doc).68 SGC 198 HYD,BRGM,Orleans.
33. MEDJERAB A. ,2013.Les situations météorologiques extrêmes, signe d'un éventuel changement climatique : cas des vagues de froid sur le nord de l'Algérie .[48]
34. MESSAHEL, M., (1988) .l'irrigation « goutte à goutte » (irrigation et drainage), office des publications universitaires place centrale de Ben Aknoun, (Alger) :10-88 codifications : 2.02.3111.
35. MESSAITFA, M., 2007. Les indicateurs de performances en irrigation gravitaire, localisée et par aspersion à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation : Cas de deux exploitations du périmètre de la Mitidja-ouest. Mémoire de fin d'études, INA Alger, Algérie, p .136
36. MOSHE Sné. ,2007. L'irrigation au Goutte-à-Goutte .Edition Ministère de l'agriculture et du développement rural, Centre de coopération internationale pour le développement agricole.

-N-

37. NANA Rasmata ,ZOMBRE Gérard, TAMINI Zoumbiessé. SAWADOGO Mahamadou. , 2009.« Effet du régime hydrique sur les rendements du gombo en culture de contre-saison » Article : Sciences & Nature Vol. 6 N°2 : 107 - 116

-O-

38. OLLIER CH .POIREE M ., 1971. Irrigation- les réseaux d'irrigation :, théorie, technique et économie des arrosage .Editions Eyrolles, Collection " Bibliothèque de l'Institut de Topométrie, .455. p
39. OUEDRAOGO ZA.,2009. Caractérisation agromorphologique comparée de cinq variétés de Gombo .Abelmoschusesculentus (L.) Moench). Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural, Université Polytechnique
40. OULHACI D .,2003. Evaluation de l'infiltration dans l'irrigation par planches dans la région de Ouargla. Thèse de magistère. Université Mohzmed Khider-Biskra.
41. OZENDA P.,1991.flore et végétation du Sahara. Ed, CNRS (3ème édition augmentée), Paris, 662P.

-P-

42. PAPADOPOULOS I. StylianouY., 1988. Treated effluent as a source of N for trickle irrigated sudax. Plant and Soil 110: 145-148.
43. PAPADOPOULOS I. STYLIANOUY.,1991. Trickle irrigation of sunflower with municipal wastewater. Agric. Water Manag. 19:67-75
44. PLAUCHU., 2004.Economies de l'environnement

-Q-

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

45. QUEZEL P.SANTA S.,1962.Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome I. Edi . CNRS, Paris, p .636.

### -R-

46. REJSEK F., 2002. Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques. Ed CRDP, Aquitaine. France.
47. REKSON Jean-Pierre .DIOUF Ilioussa ., 1983.« FICHES TECHNIQUES CULTURALES DES PRINCIPAUX LEGU/!ES EXPERIMENTES EN CASAMAME (L)JIBELOR) » REPUBLIQUE DU SENEGAL MINISTERE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIWE ET TECHNIQUE INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES
48. RHOADES JD., 1971. - Quality of water for irrigation. Soil Science, vol. 113, no 4 : 227-284.]
49. RODIER et al., 2009L'analyse de l'eau.9<sup>ème</sup>. édition . Ed. Dunod 1579.p
50. RODIER et al ,2005. L'Analyse de l'eau - Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer.
51. RODIER, J,(1996). L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer.6<sup>ème</sup> édition: Dunod, Paris. 557-570p et 968-1079p

### -S-

52. SAGGAI, Sofiane.,2008 .Réduction de l'évaporation des plans d'eau par les films mono moléculaires en zones arides. Mémoire de Magistère, Université de Ouargla.
53. SAIYOURI, Nadia., 2012.Méthodes d'irrigation en milieu aride.
54. SCHWAB, G. O., D. D. FANGMEIER, W. J. ELLIOT R. K. FREVERT. ,1993. Soil and Water Conservation Engineering. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.)
55. SIBOUKEUR, Abdellah., 2016.L'eau et l'espace agraire dans la cuvette de Ouargla: cas de la palmeraie du Ksar. PhDThesis.

### -T-

56. TOUTAIN Georges, .1979 . Elément d'agronomie saharienne. De la recherche au développement. I mp JOUVE, Paris, 276.p

### -V-

57. VALLES V, BOURGEAT F, GUIRESSE M., 1988. Calcul des doses d'irrigation pour les sols salés. Application d'une méthode géochimique de calcul à un sol tunisien. Cahier ORSTOM, Pédologie 24, 2, 115 – 122.]
58. VALLES V., VALLES A.M., DOSSO M., 1983. Irrigation des sols salés et doses de lessivage Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pedol., vol. XX, no 2, 119-127.
59. VERBEKEN D., Dierckx S., Dewettinck K., (2003). Exudategums: occurrence, production, and applications.AppliedMicrobiologyBiotechnology. (2003) 63:10–21
60. VERBEKEN et al., 2003)
61. VESCHAMBRE D., VAYSSE P., 1980. Mémento goutte à goutte, guide pratique de la micro irrigation par goutteurs et diffuseurs. Edition C.T.I.F.L, INRA.156 P.

-W-

62. Walker, W. R.,1989. *Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems.*

Sans noms des auteurs :

63. Agricultures Territoires .Irrigation du tournesol : comment la valoriser.  
 64. *Caractérisation structurale et activités biologiques des polysaccharides d'Astragalus gombo bunge.*,2022.Availablefrom: .accessedApr 25.  
 65. Cemagref.Eddition 1990 . Guide pratique de l'irrigation  
 66. Cultures de diversification.,2020.Chambre d'Agriculture Landes  
 67. D.P.A., 2012.)  
 68. Direction de l'hydraulique et de l'équipement .service des études scientifiques.,1959. Dans ce contexte, il a été décidé de déterminer le régime d'irrigation de quelques cultures.  
 69. FAO . PNUE.,1991. "Environmental guidelines for wastewaterreuse in the MediterraneanRegion"  
 70. FAO ., 1995."Wastewater management and environmental protection in the Near East Region" Caire  
 71. FAO, 2008).  
 72. FAO.,1992, sur le traitement des eaux résiduaires et leur emploi en l'agriculture "WastewaterTreatment and Use in Agriculture"  
 73. FAO.,2003..IRRIGATION AVEC DES EAUX USEES TRAITEES MANUEL D'UTILISATION .  
 74. Illustration des limites haute et basse de la réserve utile .GCHP2E., 2016)]  
 75. INA. P-G .Département Alger-2003  
 76. INRA de Touggourt. Institut National de la Recherche Agronomique.  
 77. Institut Technique des Grandes Cultures.,2013« Culture du tournesol. Helianthus annuus L.)  
 78. Manuel d'utilisation .,2003« Irrigation avec des eaux usées traitées » ; Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture ; Bureau Régional pour le Proche-orient et Bureau sous-régional pour l'Afrique du Nord Septembre  
 79. OMM .1994 . Guides des pratiques hydrologiques : acquisition et traitement des données, analyses, prévision et autres applications. Édit. Organisation Météorologique Mondiale, Genève (Suisse), vol.°168, 5ème édition, 793 p.

### Sites internet :

79. <https://www.fermedesaintemarthe.com/okra-gombo-clemson-spineless-nt-p-6827>  
 80. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/23965/Tropileg-Gombo>  
 81. <https://jardinage.ooreka.fr/plante/voir/593/gombo>  
 82. <https://www.fellah-trade.com/fr/filiere-vegetale/fiches-techniques/gombo#:~:text=Les%20besoins%20en%20eau%20sont,le%20long%20du%20cycle%20cultural>  
 83. <https://jardinage.ooreka.fr/plante/voir/593/gombo>

84. <http://jaime-jardiner.ouest-france.fr/gombo/#:~:text=Sur%20place%20dans%20les%20r%C3%A9gions%20chaudes%20et%20ensoleill%C3%A9es%20%3A&text=Le%20combo%20est%20cultiv>
85. <https://www.google.com/search?q=https%3A%2F%2Fwww.abidjansolution.biz%2Ffla-profondeur-normale-des-racines-d-une-plante-adulte&oq=https%3A%2F%2Fwww.abidjansolut>
86. <https://www.france-arrosage.fr/img/cms/pdf/TECH%20IRRI/irrigationmelon.pdf>
87. <https://azud.com/fr/aplicacion/agriculture/cultures/melon/#:~:text=Le%20meilleur%20syst%C3%A8me%20d'irrigation,g%C3%A9n%C3%A9ralement%20install%C3%A9es%20sous%20le%20plastique>
88. <https://www.fermedesaintemarthe.com/reussir-la-culture-des-melons-p-7692#:~:text=Distan%C3%A7age%20%3A,Profondeur%20%3A%201%20cm%20de%20profondeur>
89. <https://www.jardiner-malin.fr/fiche/culture-melon.html>
90. <https://www.rustica.fr/legumes-et-potager/arrosage-melon,5714.html>
91. <https://www.fellah-trade.com/fr/filiere-vegetale/fiches-techniques/melon>
92. <http://bacteries-champignons.blogspot.com/2012/03/le-melon-botanique-les-varietes-les.html>
93. <https://jardinierparesseux.com/2020/05/21/profondeur-des-racines-des-legumes/>
94. <https://www.aci-algerie.com/melon/>
95. <https://www.jardiner-malin.fr/fiche/culture-melon.html>
96. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Melon\\_\(plante\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Melon_(plante))
97. <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/botanique-melon-7575/>
98. <https://www.fermedesaintemarthe.com/melon-jaune-canari-2-ab-p-17015>
99. [https://www.brl.fr/phototheque/photos/memento/partie5\\_irrigation\\_fiches\\_cultures\\_legumieres.pdf](https://www.brl.fr/phototheque/photos/memento/partie5_irrigation_fiches_cultures_legumieres.pdf)
100. [https://gironde.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Nouvelle-Aquitaine/100\\_Inst-Gironde/Documents/pdf\\_grandes-cultures\\_accompagnement-technique\\_mieux-irriguer/Messages\\_irrigation\\_2019/message\\_1/Tableau\\_Coefficients\\_](https://gironde.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/100_Inst-Gironde/Documents/pdf_grandes-cultures_accompagnement-technique_mieux-irriguer/Messages_irrigation_2019/message_1/Tableau_Coefficients_)
101. <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/botanique-melon-7575/>
102. <https://fac.umc.edu.dz/fst/pdf/cours/ame/Touati/G%20R%20irrigation.pdf>
103. [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http%3A%2F%2Fdocumentation.2ie-edu.org%2Fcdi2ie%2Fopac\\_css%2Fdoc\\_num.php%3Fexplnum\\_id%3D951&ved=2ahUKEwiA68Ddrb3AhXKg\\_0HHUWcDl8QFnoECAoQAQ&usg=AOvVaw3sIG0ex-MBFGoC\\_Wc7bOta&fbclid=IwAR2CZJ-ByGd0-8SAuARfMUL2JZ4WVnPeauUqnal1TOckECQjS3S1wcZaqeE](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http%3A%2F%2Fdocumentation.2ie-edu.org%2Fcdi2ie%2Fopac_css%2Fdoc_num.php%3Fexplnum_id%3D951&ved=2ahUKEwiA68Ddrb3AhXKg_0HHUWcDl8QFnoECAoQAQ&usg=AOvVaw3sIG0ex-MBFGoC_Wc7bOta&fbclid=IwAR2CZJ-ByGd0-8SAuARfMUL2JZ4WVnPeauUqnal1TOckECQjS3S1wcZaqeE)
104. [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https%3A%2F%2Fjardinegrandmere.com%2Ffastuces%2Ffla-methode-moderne-de-plantation-de-palmiers%2F&ved=2ahUKEwjwcvMjrH3AhXuSvEDHYRvB0oQFnoECC0QAQ&usg=AOvVaw28W\\_4rYwB3Iq\\_RND-nmx\\_z&fbclid=IwAR1f2SK7JoclQIevbYqQ6tjXL8IHAcVn\\_QXVYEkCiNomQWSP5FqvZOg5X0](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https%3A%2F%2Fjardinegrandmere.com%2Ffastuces%2Ffla-methode-moderne-de-plantation-de-palmiers%2F&ved=2ahUKEwjwcvMjrH3AhXuSvEDHYRvB0oQFnoECC0QAQ&usg=AOvVaw28W_4rYwB3Iq_RND-nmx_z&fbclid=IwAR1f2SK7JoclQIevbYqQ6tjXL8IHAcVn_QXVYEkCiNomQWSP5FqvZOg5X0)
105. [https://www.agricultureegypt.com/Agenda/Articles/389/%D8%B2%D8%B1%D8%A7%D8%B9%D8%A9\\_%D9%88%D8%A7%D9%86%D8%AA%D8%A7%D8%AC\\_%D9%86%D8%AE%D9%8A%D9%84\\_%D8%A7%D9%84%D8%A8%D9%84%D8%AD\\_%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%B2%D8%A1\\_%D8%A7%D9%84%D8%B1%D8%A7%D8%A8%D8%B9/](https://www.agricultureegypt.com/Agenda/Articles/389/%D8%B2%D8%B1%D8%A7%D8%B9%D8%A9_%D9%88%D8%A7%D9%86%D8%AA%D8%A7%D8%AC_%D9%86%D8%AE%D9%8A%D9%84_%D8%A7%D9%84%D8%A8%D9%84%D8%AD_%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%B2%D8%A1_%D8%A7%D9%84%D8%B1%D8%A7%D8%A8%D8%B9/)



106. <https://regaber.com/blog/canal-de-l-aragon-et-de-la-catalogne-sont-en-train-de-chercher-les-methodes-les-plus-efficaces-d-irrigation-et-economie-d-energie/>
107. <https://www.terresinovia.fr/-/tournesol-les-regles-d-un-semis-reussi>
108. <https://regaber.com/blog/canal-de-l-aragon-et-de-la-catalogne-sont-en-train-de-chercher-les-methodes-les-plus-efficaces-d-irrigation-et-economie-d-energie/>
109. <https://agronomie.info/%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%A7%D9%85%D9%8A%D8%A7-okra/>
110. <https://amp.lefigaro.fr/jardin/fiche-plante/gombo-gare-aux-gelees-tardives-20190416>
111. <https://agronomie.info/%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%A7%D9%85%D9%8A%D8%A7-okra/>
112. <https://azud.com/fr/aplicacion/agriculture/cultures/melon/#:~:text=Le%20meilleur%20syst%C3%A8me%20d'irrigation,g%C3%A9n%C3%A9ralement%20install%C3%A9s%20sous%20le%20plastique>
113. <https://www.fellah-trade.com/fr/filiere-vegetale/fiches-techniques/melon>
114. <https://www.fellah-trade.com/fr/filiere-vegetale/fiches-techniques/melon>
115. <https://www.supagro.fr/ress-pepites/processusecologiques/co/CAcalculRU.html | et>
116. [https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9serve\\_utilitaire\\_en\\_eau\\_d'un\\_sol](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9serve_utilitaire_en_eau_d'un_sol)
117. [https://kiaai.ae/sites/default/files/book\\_files/%D9%83%D8%AA%D8%A7%D8%A8%20%D8%B2%D8%B1%D8%A7%D8%B9%D8%A9%20%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%AE%D9%8A%D9%84%20%D9%88%D8%AC%D9%88%D8%AF%D8%A9%20%D8%A7%D9%84%D8%AA%D9%85%D9%88%D8%B1.pdf](https://kiaai.ae/sites/default/files/book_files/%D9%83%D8%AA%D8%A7%D8%A8%20%D8%B2%D8%B1%D8%A7%D8%B9%D8%A9%20%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%AE%D9%8A%D9%84%20%D9%88%D8%AC%D9%88%D8%AF%D8%A9%20%D8%A7%D9%84%D8%AA%D9%85%D9%88%D8%B1.pdf)
118. <https://ar.stuklopechat.com/domashniy-uyut/8088-kogda-sazhat-podsolnuh-v-otkrytyy-grunt-kak-sazhat-podsolnuh-semenami.html>
119. [https://pdfs.semanticscholar.org/7ce4/126bdef1de5518f6a322f4410fca2d6d6653.pdf?fbclid=IwAR2LzlLud-QmmlRoY93Zw3ziOQgyIzsBJ6QEOovQdi-kc-aI2\\_hlOV9dJhU](https://pdfs.semanticscholar.org/7ce4/126bdef1de5518f6a322f4410fca2d6d6653.pdf?fbclid=IwAR2LzlLud-QmmlRoY93Zw3ziOQgyIzsBJ6QEOovQdi-kc-aI2_hlOV9dJhU)
120. <https://charente.chambre-agriculture.fr/actualites-agenda/detail-de-lactualite/actualites/les-regles-des-couvertures-dautomne-2019/>



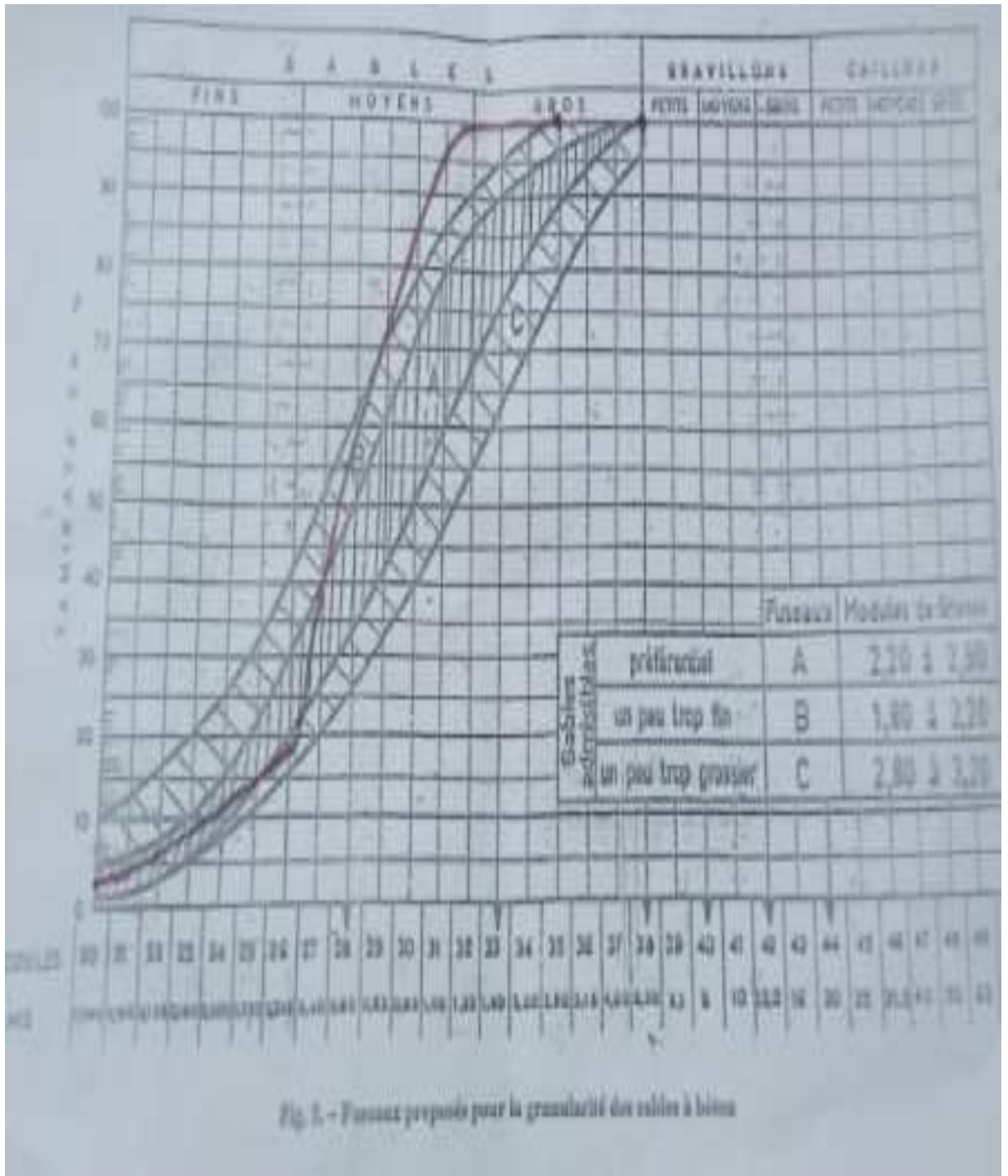
***ANNEXES***

## ANNEXES

**Annexe 1 : Résultats de l'Analyse granulométrique**

Ø (mm)	refus(g)	refus cumulés(g)	refus cumulés (%)	tamisat cumulé(%)
5	0	0	0.00	100.00
2.5	0.01	0.01	0.0016	100.00
1.25	0.65	0.66	0.0125	99.99
0.63	12.65	13.31	2.21	97.79
0.315	518	531.31	88.55	11.5
0.16	25	556.31	92.72	7.28
0.08	29.5	585.81	97.64	2.36
0	585.81			
	600			

Annexe 2 : Courbe granulométrique



## Annexe 3 : Coefficients culturaux pour les culture (palmier, tournesol, gombo, melon)

## Annexe 3.1: Coefficient cultural de palmier dattier

جدول (1) معدل البخرنتح واحتياج النخلة اليومي وكذلك الاحتياج الشهري والموسمي باختلاف المناخ وعمر النخلة														
≥7	5-6	3-4	0-2	≥7	5-6	3-4	0-2	≥7	5-6	3-4	0-2	مدى العمر بالسنة		
27.5	21.4	11.4	3.4	27.5	21.4	11.4	3.4	27.5	21.4	11.4	3.4	المساحة الناتجة 5 (م <sup>2</sup> )		
الاحتياج الشهري أو الموسمي (م <sup>2</sup> / نخلة)				معدل احتياج النخلة (لتر/ نخلة/ يوم)				معدل البخرنتح من النخلة (لتر/ نخلة/ يوم)				Kc	ET <sub>0</sub>	الشهر
264	206	1.10	0.33	85	66	35	11	72	56	30	9	0.85	3.1	يناير
3.26	2.54	1.35	0.40	116	91	48	14	99	77	41	12	0.90	4.0	فبراير
5.42	4.21	2.25	0.67	175	136	72	22	149	116	62	18	1.00	5.4	مارس
6.99	5.44	2.90	0.86	233	181	97	29	198	154	82	24	1.00	7.2	أبريل
8.93	6.95	3.70	1.10	288	224	119	36	245	190	101	30	1.00	8.9	مايو
9.41	7.33	3.90	1.16	314	244	130	39	267	208	111	33	1.00	9.7	يونيو
7.94	6.18	3.29	0.98	256	199	106	32	218	169	90	27	0.80	9.9	يوليو
7.86	6.12	3.26	0.97	254	197	105	31	216	168	89	27	0.80	9.8	أغسطس
6.68	5.20	2.77	0.83	223	173	92	28	189	147	78	23	0.80	8.6	سبتمبر
5.30	4.12	2.20	0.65	171	133	71	21	145	113	60	18	0.80	6.6	أكتوبر
3.42	2.66	1.42	0.42	114	89	47	14	97	75	40	12	0.80	4.4	نوفمبر
2.49	1.94	1.03	0.31	80	62	33	10	68	53	28	8	0.80	3.1	ديسمبر
34.3	26.7	14.2	4.2	279	217	116	34	237	184	98	29	0.90	9.6	الصيف
11.9	9.2	4.9	1.5	99	77	41	12	84	65	35	10	0.84	3.7	الشتاء
24.7	19.2	10.2	3.1	202	157	84	25	172	134	71	21	0.90	7.0	الاعتدالين
69.8	54.3	28.9	8.6	191	149	79	24	163	127	67	20	0.88	6.7	المنة

## Annexe 3.2 : Coefficient cultural de tournesol

.....

	Avril			Mai			Juin			Juillet			Août			Septembre		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Coefficient cultural Kc	-	-	0,5	0,5	0,8	0,8	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	0,6	0,6	-	-	-	-	-
Besoins totaux (Kc x ETP) en mm	-	-	18	21	36	49	57	67	72	74	71	46	39	-	-	-	-	-
Irrigation (en mm)	-	-	-	-	5	22	56	71	74	70	-	18	-	-	-	-	-	-

Pour une RU de 160 mm et une profondeur d'enracinement de 100 à 150 cm

Annexe 3.3: Coefficient cultural de gombo

المحصول	آذار	نيسان	مايس	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت1
باميا	0.58	0.67	0.79	0.93	0.95	0.76	0.46	
الفلفل		0.54	0.61	0.77	0.93	0.80	0.95	0.48
البادنجان	0.58	0.64	0.72	0.90	0.92	0.76	0.62	0.45
اللوبياء	0.54	0.64	0.72	0.84	0.96	0.90	0.67	0.52
الطماطم	0.62	0.55	0.58	0.69	0.90	0.84	0.63	0.44
القرع) الشجر	0.60	0.56	0.61	0.78	0.94	0.81	0.65	
الرقبي		0.55	0.65	0.82	0.69	0.70	0.78	0.63

Annexe 3.4 : Coefficient cultural du melon

	Février			Mars			Avril			Mai			Juin			Juillet		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Coefficient cultural Kc	.	.	.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	.	.	.
Besoins totaux (Kc x ETP) en mm	.	.	.	16	16	20	21	23	21	33	36	49	27	32	34	.	.	.
Irrigation (en mm)	.	.	.	.	.	.	6	12	2	9	18	42	25	17	.	.	.	.

Pour une RU de 80 mm et une profondeur d'enracinement de 50 cm

**Annexe 4 : Pourcentage de la durée d'éclairement pendant la période considérée en fonction de la latitude en%.**

Méthode de BLANEY et CRIDDLE						
Valeurs de p						
(% durées d'éclairement pour chaque mois de l'année du 26° au 48° de latitude Nord)						
Mois	26°	28°	30°	32°	34°	36°
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Janvier .....	7,49	7,40	7,30	7,20	7,10	6,99
Février .....	7,12	7,07	7,03	6,97	6,91	6,86
Mars .....	8,40	8,39	8,38	8,37	8,36	8,35
Avril .....	8,64	8,68	8,72	8,75	8,80	8,85
Mai .....	9,38	9,46	9,53	9,63	9,72	9,81
Juin .....	9,30	9,38	9,49	9,60	9,70	9,83
Juillet .....	9,49	9,58	9,67	9,77	9,88	9,99
Août .....	9,10	9,16	9,22	9,28	9,33	9,40
Septembre .....	8,31	8,32	8,34	8,34	8,36	8,36
Octobre .....	8,06	8,02	7,99	7,93	7,90	7,85
Novembre .....	7,36	7,27	7,19	7,11	7,02	6,92
Décembre .....	7,35	7,27	7,14	7,05	6,92	6,79
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mois	38°	40°	42°	44°	46°	48°
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Janvier .....	6,87	6,72	6,62	6,49	6,33	6,17
Février .....	6,79	6,52	6,65	6,58	6,50	6,42
Mars .....	8,34	6,76	8,31	8,30	8,29	8,27
Avril .....	8,98	6,73	9,00	9,05	9,12	9,18
Mai .....	9,92	8,33	10,14	10,26	10,39	10,53
Juin .....	9,95	8,95	10,21	10,38	10,54	10,71
Juillet .....	10,10	10,02	10,35	10,49	10,64	10,80
Août .....	9,47	10,08	9,62	9,70	9,79	9,89
Septembre .....	8,38	10,22	8,40	8,41	8,42	8,44
Octobre .....	7,80	9,54	7,70	7,63	7,58	7,51
Novembre .....	6,82	8,38	6,62	6,49	6,36	6,22
Décembre .....	6,66	7,75	6,38	6,22	6,04	5,86
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

## Annexes 5: Fraction P du sol à humidifier

Débit des goutteurs	Fraction P du sol à humidifier														
	≤ 1,5 l/h			2 l/h			4 l/h			5 l/h			≥ 12 l/h		
Espace- ment des goutteurs	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
	0,2 m	0,5 m	0,9 m	0,3 m	0,7 m	1 m	0,6 m	1 m	1,3 m	1 m	1,3 m	1,7 m	1,3 m	1,6 m	2 m
Ecarte- ment entre rampes															
	0,8 m	.38	.88	1	.50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	.33	.70	1	.40	.80	1	.80	1	1	1	1	1	1	1	1
1,2	.25	.58	.92	.33	.67	1	.67	1	1	1	1	1	1	1	1
1,5	.20	.47	.73	.26	.53	.80	.53	.80	1	.80	1	1	1	1	1
2	.15	.35	.55	.20	.40	.60	.40	.60	.80	.60	.80	1	.80	1	1
2,5	.12	.28	.44	.16	.32	.48	.32	.48	.64	.48	.64	.80	.64	.80	1
3	.10	.23	.37	.13	.26	.40	.26	.40	.53	.40	.53	.67	.53	.67	.80
3,5	.09	.20	.31	.11	.23	.34	.23	.34	.46	.34	.46	.57	.46	.57	.68
4	.08	.18	.28	.10	.20	.30	.20	.30	.40	.30	.40	.50	.40	.50	.60
4,5	.07	.16	.24	.09	.18	.26	.12	.26	.36	.26	.36	.44	.36	.44	.53
5	.06	.14	.22	.08	.16	.24	.16	.24	.32	.24	.32	.40	.32	.40	.48
6	.05	.12	.18	.07	.14	.20	.14	.20	.27	.20	.27	.34	.27	.34	.40