

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Kasdi Merbah Ouargla



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

Département de : Génie civil et hydraulique

C:.....
R:.....

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

Master, Filière: Génie civil et hydraulique

Spécialité : Traitement et Epuration des eaux

Thème

**Analyse et Diagnostic de l'irrigation par
ruissellement à l'aide des eaux épurées de la
Step de Ouargla et détermination de la dose
reçue**

Présenté par :

- ❖ HATI Abdelkader
- ❖ BAOUA Mohamed Lamine

Soumis au jury composé de :

SEGGAI Sofiane	Pr	UKM Ouargla	Président
EL FERGOUGUI Meryem	MCA	UKM Ouargla	Examinatrice
Dr OULHACI Dalila	MCA	UKM Ouargla	Encadreur
M. ZAHAF Mohamed	Doctorant	UKM Ouargla	Co-Encadreur
MEKHLOUFI Smail	Responsable	ONA Ouargla	Invité
CHEETTOUH Abdeslam	Responsable	ONA Ouargla	Invité

Année Universitaire: 2021 / 2022

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 et 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 était 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 de 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. MEKHLLOUFI 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 avoir accès à la station d'épuration pour effectuer nos expérimentations et au laboratoire pour effectuer nos analyses.

Nous tenons à exprimer notre profonde sympathie et notre sincère reconnaissance à M. CHETTOUH Abdeslam, responsable de la station d'épuration de Said Otba pour son chaleureux accueil, sa compréhension et d'avoir mis à ma disposition ses connaissances et son expérience.

N'oublions pas non plus l'ensemble du personnel des équipes des deux stations d'épuration.

grâce à eux nous avons pu effectuer 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^{me} ABBA Allia Asma qui nous a beaucoup aidés aux cours des analyses des eaux épurées.

Pr.SEGGAI Sofiane nous a fait le grand honneur d'accepter de présider le jury et d'évaluer notre travail. C'est avec un grand plaisir que nous lui adressons nos remerciements une deuxième fois, cette fois ci en tant qu'enseignant relevant du département

Genie civil et Hydraulique de la faculté des sciences et de la technologie de l'université Kasdi Merbah-Ouargla .

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

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, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicaces

Je dédie cet humble travail à celui qui est la raison de mon existence dans la vie, le propriétaire d'une forte détermination et de la persévérance, mon père, que Dieu le protège, et à la lumière de la vie, ma chère mère, et à mes amis abdelkader, Souad, Haïtham et Omar et tous ceux qui m'ont accompagné pendant mes études et tous ceux qui ont partagé ma joie. enseignants et administratifs. Merci à tous.

 *Mohamed Lamine*



Dédicaces

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

Ce mémoire ayant été rédigé, je le dédie en signe de reconnaissance et de respect.

A mes parents pour les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard

A mes frères

A mes sœurs

A toute la famille,

A mon binôme MOHAMED LAMIN

toute mes amis

✍ Abdelkader

Listes d'abréviations

DBO : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

EE : Eau Epurée

EUE : Eau Usée Epurée

REUE: Réutilisation des eaux usées épurées.

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

T : Température

pH : potentiel d'Hydrogène.

NO²⁻ : Nitrite.

NO³⁻ : Nitrate.

Résumé : La raréfaction des ressources en eau et la dégradation de leur qualité est un défi majeur pour le XXI^e siècle. Afin de préserver la qualité des masses d'eau et pour diminuer les prélèvements dans le milieu naturel, il convient de chercher des approvisionnements alternatifs. On a d'abord montré que la station de Sidi Khouiled de Ouargla a un bon pouvoir épurateur et que les eaux épurées peuvent être utilisées pour l'irrigation. Les résultats de janvier 2022 fournis par l'ONA montrent un rabattement de la DCO avec un rendement de 75%, ainsi qu'un rabattement de MES avec un rendement moyen de 55%. La DCO à la sortie de la station est inférieure à la norme d'irrigation Algérienne, par contre la quantité de MES égale à 46mg/l est faiblement supérieure à la norme (30mg/l). Le deuxième objectif de ce travail est la détermination du processus de l'infiltration de l'eau dans le sol dans le cas de l'irrigation par planches. L'avancement de l'eau le long de la planche a été déterminé expérimentalement pour les trois (3) irrigations : 19 minutes pour la première, 14 pour la seconde et 12 pour la dernière. Ceci a permis de déterminer les doses reçues qui décroissent de l'extrémité amont à l'extrémité aval de la planche. La différence entre ces deux valeurs est variable avec une moyenne pour les trois irrigations 19.63 mm (soit 9,77%). Et pour un même temps d'avancement, avec l'augmentation du temps d'irrigation la différence entre les humidités à l'amont et l'aval croit en mm et au contraire celle en pour cent décroît. Donc plus on irrigue et mieux est la répartition de l'infiltration. Le coefficient d'uniformité varie entre 0,87 et 0,97 avec une moyenne de 0,94. l'irrigation est uniforme.

Mots clés : Stress hydrique, pollution, épuration, eaux usées, irrigation, Ouargla.

ملخص: تمثل ندرة الموارد المائية وتدهور جودتها تحديًا كبيرًا في القرن الحادي والعشرين. ومن أجل الحفاظ على نوعية المسطحات المائية ولتحد من عمليات السحب من البيئة الطبيعية، ينبغي البحث عن إمدادات بديلة. يتبين لنا في الأول أن محطة سيدي الخويلد في ورقلة لديها قدرة تصفية جيدة وأنه يمكن استخدام المياه المعالجة في السقي. حيث تظهر نتائج يناير 2022 المقدمة من ONA عينة DCO بعائد 75٪، بالإضافة إلى عينة من MES بمتوسط عائد 55٪. بحيث إن DCO في منفذ المحطة أقل من معيار السقي الجزائري، ولكن كمية MES تساوي 46 مجم/لتر أعلى قليلاً من المعيار (30 مجم/لتر). الهدف الثاني من هذا العمل هو تحديد عملية تسرب المياه إلى التربة في حالة ري الساقية. تم تحديد تقدم المياه على طول الساقية بشكل تجريبي بثلاثة (3) عمليات سقي: 19 دقيقة في السقي الأول، 14 د للثاني و 12 د للأخير. سمح لنا ذلك بتحديد الجرعات الممتصة التي تنخفض من نهاية اللوح الى بداية اللوحة. الفرق بين هاتين القيمتين متغير بمتوسط في سقايا الثلاث 19.63 ملم (أي 9.77٪). وفي نفس الوقت من التقدم، مع زيادة وقت الري، يزيد الفرق بين الرطوبة في اتجاه مجرى اللوح بالملم وعلى العكس من ذلك ينخفض في المائة. لذلك كلما زاد الري، كان توزيع التسرب أفضل. يتراوح معامل التوحيد بين 0,87 و 0,97 بمتوسط 0,94. لذلك يمكن استنتاج أن الري موحد.

الكلمات المفتاحية : ندرة المياه - التلوث - التطهير - المياه المستعملة - السقي - ورقلة .


A rectangular area with rounded corners, filled with a light-colored marbled pattern. The pattern consists of intricate, swirling, and veined textures in shades of light gray and white, resembling natural stone or paper marbling. The text is centered within this area.

Table des Matières

Table des Matières

Remerciements	I
Dédicaces.....	III
Abréviation.....	V
Table des matières	VIII
Liste des Figures.....	XII
Liste des Tableaux.....	XIV
Liste des Photos.....	XVI
Liste des graphes.....	XVIII

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées

I.1 Introduction	5
I.2. Composition des eaux usées.....	6
I.2.1. Eaux domestiques.....	6
I.2.2. Eaux ménagères.....	6
I.2.3. Eaux de vannes.....	6
I.2.4. Eaux industrielles	7
I.2.5. Eaux pluviales	8
I.2.6. Eaux de ruissellement agricoles	8
I.3. Epuration des eaux usées.....	8
I.3.1. Prétraitement	9
I.3.1.1 Dégrillage	9
I.3.1.2 Dessablage.....	12
Classificateur à sable.	17
I.3.1.3 Déshuilage/Dégraissage.	18
I.3.2 Traitement primaire.....	20
I.3.3 Traitement secondaire (Biologique).....	20
I.4. Choix de culture	21
Risque faible :	21
Risque moyen :	21

Table des Matières

Risque élevé :	22
I.5. Conclusion du chapitre I	22
Chapitre II : Irrigation de surface	
II.1. Introduction	24
II.2. Choix d'une technique d'irrigation	25
II.2.1. Irrigation de surface (ruissellement)	25
II.2.2. Irrigation par bassins	26
II.2.3. Irrigation par sillons/à la raie	26
II.2.4. Irrigation par planches	27
II.3. Avantages et inconvénients de l'irrigation gravitaire :	28
II.4. Description physique de l'irrigation superficielle :	30
II.5. Conclusion du chapitre II	31
Chapitre III : Matériels et Méthodes	
III.1. Introduction	34
III.2. Présentation de la zone d'étude :	34
III.2.1. Situation géographique :	34
III.2.2. Conditions climatiques de Ouargla	34
III.2.3. Localisation géographique de la commune de Sidi Khouiled	35
III.3. Site expérimental	37
III.3.1. Schéma de la Step de Sidi Khouiled :	38
III.4. Protocole expérimental	42
III.4.1. Echantillonnages et analyses	42
III.5. Méthodologie d'irrigation	42
III.5.1. Irrigation	43
III.5.2. Matériels utilisés pour l'avancement	44
III.5.3. Mesure de l'avancement de l'eau dans la planche:	44
III.6. Méthodologie de calcul	45
III.6.1. Loi de l'avancement	46

Table des Matières

III.6.2. Volumes stockés	47
III.6.3. Volumes infiltrés cumulés	48
III.6.4. Coefficients de la loi d'infiltration	49
III.7. Conclusion du chapitre III.....	50

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Introduction	52
IV.2 Paramètres analysés.....	52
IV.2.1 Laboratoire de la station d'épuration	52
IV.2.2 Laboratoire de l'université	52
IV.3 Etude de l'avancement	53
IV.4 Volumes infiltrés cumulés.....	55
IV.5. Coefficient d'uniformité.....	60
IV.6. Conclusion du chapitre IV.....	61
Conclusion générale	64
Recommandations	67
Références bibliographiques.....	69
Anexxe.....	73



Liste des Figures

Liste des Figures

Figure I.1 : Réutilisation des eaux usées épurées dans le cycle d'assainissement	5
Figure I.2 : ligne de traitement complète des eaux résiduaires	9
Figure I.3 : Poste de prétraitement des eaux usées en tête de station d'épuration.....	9
Figure I.5 : Grille manuelle	11
Figure I.4 : Grille courbe	11
Figure I.7 : Grilles droites à nettoyage continu	11
Figure I.6 : Grilles droites à nettoyage alternatif.....	11
Figure I.8 : Dessableur Vortex	14
Figure I.9 : Dessableur aéré.....	17
Figure I.10: Classificateur à sable	18
Figure II.1 Alimentation des planches par siphon.....	26
Figure II.2 : Irrigation par sillons	27
Figure II.3b :Irrigation par planche	28
Figure II.3a : Irrigation par planche	28
Figure II-4 : Phases de l'irrigation	30
Figure III.1 Situation géographique de Ouargla	34
Figure III.2 : Localisation géographique de la Daira de Sidi Khouiled	37
Figure III-3 : Situation géographique de la STEP	37
Figure III.4: Schéma de la station d'épuration de Sidi Khouiled	38

The background of the page is a light-colored marbled paper with a complex, organic pattern of grey and white veins. The text is centered on this background.

Liste des Tableaux

Liste Des Tableaux

Tableau III.1 : Données climatiques mensuelles moyennes	36
Tableau III.2 : Données de bases de la STEP	38
Tableau IV.1 : Résultats des analyses du mois de janvier 2022.....	52
Tableau IV.2: Paramètres analysés.....	52
Tableau IV.3: Temps d'avancement de l'eau le long de la planche.....	53
Tableau IV.4: coefficients d'ajustement de la loi de l'avancement	54
Tableau IV.5: Valeurs observées (ob) et valeurs ajustées (aj) des temps de l'avancement. .	54
Tableau IV.6: Volumes infiltrés V_i pendant la phase de l'avancement en fonction des volumes stockés estimés V_s , et des volumes entrés V_e	56
Tableau IV.7: Coefficient de la loi de Kostiakov	57
Tableau IV.8 : Hauteurs d'eau infiltrées prédites	57
Tableau IV.9: Différence entre hauteurs d'eau à l'amont et hauteurs d'eau à l'aval pour chaque temps d'irrigation	59
Tableau IV.10 : Doses nettes d'arrosage	61

A rectangular area with rounded corners, filled with a light-colored marbled paper pattern. The pattern consists of irregular, vein-like shapes in shades of grey and white, creating a textured, organic appearance. Centered within this area is the text "Liste des photos" in a bold, italicized serif font.

Liste des photos

Liste des photos

Photo 01 : Flottation des graisses par injection	19
Photo 02 : Racleur des graisses de fines bulles	19
Photo 03 : Extraction du sable d'un sableur dégraisseur	20
Photo 04 : Degrilleur	41
Photo 05 : Dessableur	41
Photo 06 : Bassin d'aération A	41
Photo 07 : Bassin d'aération B	41
Photo 08 : Bassin de finition	41
Photo 09 : Lit de séchage	41
Photo 10 : Sortie des eaux	41
Photo 11 : Exutoire	41
Photo 12: Echantillons au laboratoire	43
Photo 13 : Prise des échantillons à la station	43
Photo 14: planche avant arrosage	44
Photo 15: Avancement de l'eau	44
Photo 16: Creuage du trou	45
Photo 17: Détermination du débit	45
Photo 18 : Film plastique	45
Photo 19 : jalons	45
Photo 20: vanne	45
Photo 21 : Raccordement des conduites	45

The background of the page is a light-colored marbled paper with a complex, organic pattern of dark grey and black veins. The marbling is contained within a rounded rectangular frame.

Liste des Graphes

Liste des Graphes

Graphe IV.1 : Temps d'avancement le long de la planche.....	54
Graphe IV.2 : Humidités pour un temps d'avancement 19mn.....	58
Graphe IV.3: Humidités pour un temps d'avancement 15mn.....	58
Graphe IV.4: Humidités pour un temps d'avancement 12mn.....	58

A rectangular area with rounded corners, filled with a light-colored marbled pattern. The pattern consists of intricate, swirling, and veined textures in shades of light gray and white, resembling natural stone or paper marbling.

Introduction Générale

Introduction générale

Compte tenu de l'accroissement de la population mondiale, l'eau peut devenir un facteur limitant pour l'agriculture [1]. Au niveau mondial, les prélèvements en eau de l'irrigation représentent aujourd'hui environ 70% des prélèvements totaux, ce qui est énorme. [26]

Plus les demandes en eau naturelles augmentent, plus les ressources disponibles se raréfient et plus la production d'eau usée s'accroît. [33]

L'eau a été apprivoisée par l'homme et sa maîtrise a permis l'irrigation des surfaces agricoles, la fabrication de produits industriels, la production de l'électricité. Néanmoins, son exploitation est effrénée et sa pollution expose « l'humanité au danger ». En raison de la raréfaction croissante des ressources naturelles en eau conventionnelle et de la concurrence entre les secteurs du développement économique du point de vue des demandes en eau, la valorisation des eaux usées traitées est considérée comme une composante essentielle dans la politique de gestion intégrée des ressources hydriques. Cependant, pour qu'elle soit inscrite dans un cadre de développement durable, la mise en valeur de la réutilisation de ces eaux exige une étude prudente et intégrée qui tienne compte surtout des aspects environnementaux. En outre, ces eaux usées engendrent des pollutions qui posent des problèmes de santé publique, de conservation des sols et de protection de l'environnement, qui ne doivent être ni exagérés ni sous estimés. Les ressources en eau dans certaines régions d'Algérie sont limitées, d'où la nécessité de se pencher vers l'épuration des eaux usées pour leur réutilisation dans certains domaines à savoir l'agriculture et l'industrie. Il est indispensable de :

- Protéger le peu des eaux souterraines qui existent encore, contre toutes contaminations notamment par les eaux usées .
- Traiter les eaux usées épurées avant leur rejet au milieu récepteur.
- Procéder à la réutilisation des eaux épurées .

Dans ce cadre et pour exploiter les eaux épurées de la station d'épuration de Sidi Khouiled de la Wilaya de Ouargla on a mené cette étude sur un périmètre localisé à proximité de la step en vue de concevoir un réseau d'irrigation sur ce périmètre en utilisant les eaux épurées.

Toutes les techniques d'irrigation présentent des avantages et des inconvénients par conséquent, des efforts sont fournis pour les améliorer afin d'avoir un meilleur rendement et principalement pour économiser l'eau. Cette dernière est un élément constitutif de la plante, en effet, les tissus végétaux en contiennent de 60 à 95% et chaque kilogramme de matières sèches nécessite pour son élaboration une quantité variant selon les espèces et les conditions climatiques. [13][36]

Etant donné l'importance que prend l'irrigation dans le monde, il est utile de connaître

Introduction générale

les quantités d'eau à apporter aux cultures pour avoir un bon rendement. Ces quantités sont liées de près aux conditions climatiques (évapotranspiration potentielle élevée au Sahara), mais aussi à la biologie de la plante, à sa place dans un étage de cultures d'une palmeraie (ou autre) et à la nature du sol. [32]

Plusieurs méthodes de planification de l'irrigation sont disponibles et varient en complexité, soit de la simple perception d'un besoin en eau jusqu'à l'utilisation de modèles dynamiques de bilan hydrique du sol, combinée avec l'utilisation de mesures directes de l'humidité du sol.

L'agriculteur devra donc nécessairement mener un combat permanent et difficile pour assurer une vie stable, sûre et prospère. Surtout qu'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. [35]

L'objectif de ce travail est d'étudier en premier lieu la qualité des eaux épurées de la station d'épuration de Sidi Khouiled en déterminant son pouvoir épuratoire. La comparaison des paramètres de l'eau épurée à la sortie de la station aux normes Algériennes permettra de déduire la possibilité de son utilisation pour l'irrigation.

A Ouargla, ainsi que dans les régions avoisinantes, la façon d'arroser dépend toujours de l'agriculteur qui doit choisir le débit d'alimentation et la durée d'irrigation de façon pragmatique sans avoir les moyens de vérifier la qualité des arrosages.

En irrigation par ruissellement, les agriculteurs sont conviés à créer des planches courtes, spécialement si le nivellement au laser n'est pas possible. En cas d'impuretés et en l'absence de système de filtration, les systèmes goutte à goutte devraient être évités. Selon la culture, les arroseurs peuvent être un meilleur choix de même que l'irrigation de surface pourrait être privilégiée.[39]. A cet effet, on a opté dans ce travail pour l'irrigation par ruissellement. Les observations sur terrain de plusieurs sites de la région ont permis de déduire qu'il n'y a aucune relation entre (débit d'entrée Q , longueur de la planche L , la pente du fond de la planche S_0 et le temps d'irrigation t_{irr}) :

- Le débit d'entrée est toujours égal au débit disponible, fort ou faible soit-il.
 - La longueur de la planche dépend de la disposition du terrain des points d'eau et des pistes, en général, elle varie entre 50 et 80m.
 - La largeur de la planche est souvent égale à 0,5 ou 1 mètre ou un peu moins.
- Le temps d'irrigation est choisi par expérimentation ainsi que la durée entre deux irrigations,

Introduction générale

lorsque l'eau est disponible. Le premier paramètre est faible en hiver et important en été et vice-versa pour le second paramètre. Le second objectif de ce travail consiste donc à déterminer la dose infiltrée dans le sol en donnant un débit avec un temps d'irrigation connu et pour ce faire le plan de travail est :

- On commence par une recherche bibliographique dans laquelle on donne dans le premier chapitre un aperçu général sur la réutilisation des eaux usées ainsi que quelques caractéristiques des cultures irriguées avec les eaux épurées, et dans le second sur l'irrigation superficielle .
- Dans le troisième chapitre, on présente d'abord le matériel et les méthodes utilisés pour la détermination des paramètres des eaux usées et pour et les doses reçues le long de la planche pendant l'irrigation. Ensuite la méthodologie de calcul des coefficients de la loi de l'infiltration qui permettront la détermination de la profondeur humectée.
- Le quatrième chapitre, sera consacré pour les résultats et leurs interprétations.
- On termine par une conclusion générale et quelques recommandations .

Chapitre I :

Généralités sur les eaux usées

Introduction

1. Composition des eaux usées

1.1 Eaux domestiques

1.2 Eaux industrielles

1.3 Eaux pluviales

1.4 Eaux de ruissellement agricoles

2. Epuration des eaux usées

2.1 Prétraitement

2.1.1 Dégrillage

2.1.2 Dessablage

2.2 Traitement

I.1 Introduction

Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels. [18] 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. [29]

Les eaux usées quelle que soit leur origine, sont généralement chargées en éléments indésirables, qui selon leur quantité et selon leur composition, représentent un danger réel pour les milieux récepteurs ou leurs utilisateurs. L'élimination de ces éléments toxiques exige de concevoir une chaîne de traitement.

La REUE recouvre deux notions complémentaires : le traitement puis la réutilisation proprement dite d'eaux usées. Les eaux usées sont les eaux rejetées par les collectivités et les industries et qui sont acheminées par les égouts en station d'épuration afin d'être traitées. Après traitement, on les appelle des eaux usées épurées. Dans le cycle d'assainissement de l'eau « classique », celles-ci sont rejetées dans le milieu naturel. La REUE propose de récupérer directement ces eaux usées épurées, de les traiter éventuellement une nouvelle fois et de s'en servir pour toutes sortes d'usages. La REUE agit à deux niveaux : premièrement elle évite les rejets d'eaux issues des stations d'épuration dans le milieu naturel, et deuxièmement, elle constitue un approvisionnement supplémentaire. En quelque sorte, le cycle d'assainissement de l'eau est « court-circuité ». (figure I. 1)

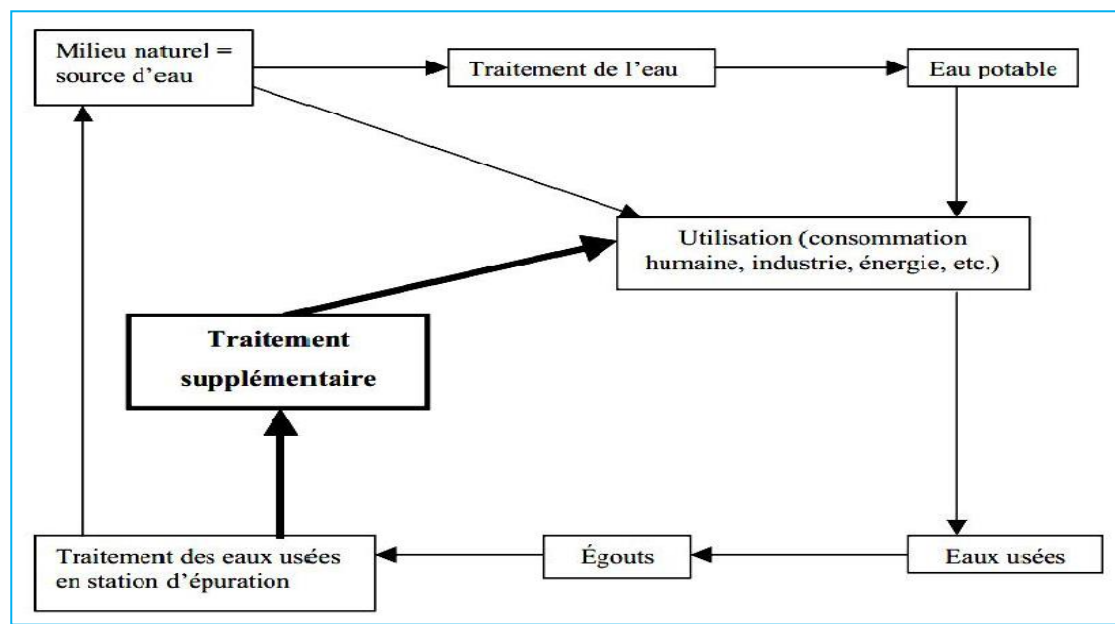


Figure I.1 : Réutilisation des eaux usées épurées dans le cycle d'assainissement

I.2. Composition des eaux usées

On peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaines constituées par des eaux ménagères et les eaux vannes. [27] Toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie et les eaux pluviales.

Peuvent s'y ajouter suivant les cas les eaux d'origine industrielle (parfois agricole).

Les eaux usées résultent de la pollution tant physico-chimique que bactériologique des eaux de consommation de bonne qualité, du fait des activités humaines, qu'elles soient :

- Domestiques.
- Industrielles.
- agricoles.

I.2.1. Eaux domestiques

Les eaux domestiques proviennent des différents usages domestiques de l'eau et sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales. Ces eaux sont essentiellement porteuses de pollution organique. Ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. Elles se répartissent en :

- d'eaux "ménagères"(eaux grises).
- d'eaux "vannes "(eaux noires).

De manière générale, il existe souvent une séparation entre les eaux usées des douches et les eaux usées provenant des WC avec des lieux de rejet différents. Les premiers devant être rejetés dans des puisards et les seconds dans des fosses septiques conçues à cet effet.

I.2.2. Eaux ménagères

Les eaux ménagères sont généralement chargées. Elles ont pour origine :

- les eaux de cuisine qui contiennent des graisses, des solvants des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protides) et des produits détergents utilisés pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses.
- les eaux de buanderie contenant principalement des détergents .
- les eaux de salle de bain chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées.

I.2.3. Eaux de vannes

Les eaux de vanne sont des rejets des toilettes qui contiennent des déjections humaines :

- urine.

- fèces.

Ces eaux sont très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés, de germes fécaux et microorganisme.

I.2.4. Eaux industrielles

Les eaux industrielles sont issues des eaux de lavage des machines, eaux de refroidissement qui dépendent du taux de recyclage et proviennent aussi des diverses usines de fabrication ou de transformation. Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des substances organiques ou minérales corrosives, substances odorantes, et colorées, des produits toxiques (chlordane, hexa chlorobenzène, polychlorobiphényles).des solvants, des métaux lourds(plomb, arsenic, uranium), des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Ces eaux peuvent rompre l'équilibre écologique des milieux récepteurs. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles doivent être mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution.

Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Indépendamment de la charge de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou non, elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés.

On peut néanmoins, faire un classement des principaux rejets industriels suivant la nature des inconvénients qu'ils déversent :

- pollution due aux matières en suspension minérales (Lavage de charbon, carrière, tamisage du sable et gravier, industries productrices d'engrais phosphatés....) .
- pollution due aux matières en solutions minérales (usine de décapage, galvanisation...).
- pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissages, pâte à papier...) .
- pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, produits pharmaceutiques.....) .
- pollution due aux rejets toxiques (déchets radioactifs non traités, effluents radioactifs des industries nucléaires....) .

I.2.5. Eaux pluviales

Les eaux pluviales proviennent des eaux de pluie, des eaux de lavages des routes et des eaux de drainage. Elles peuvent contenir des sables, des limons, des argiles, des hydrocarbures, des huiles et des fertilisants agricoles. Elles peuvent aussi constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques.

I.2.6. Eaux de ruissellement agricoles

Les eaux de ruissellement agricoles sont de rejets liquides issus du ruissellement d'eau d'irrigation qui entraînent des engrais, des pesticides, des herbicides ou des rejets organiques dus à un élevage important. Les pesticides et engrais contaminent les eaux souterraines par infiltration mais surtout les cours d'eau où elles accentuent le phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire l'appauvrissement des rivières en oxygène due au développement exponentiel des algues aquatiques qui en rejetant le CO₂ asphyxient les autres êtres vivants.

I.3. Epuration des eaux usées

La technologie du traitement et du rejet des eaux usées est bien avancée dans la plupart des pays industrialisés. Les processus spécifiques auxquels on recourt pour traiter ces eaux dépendent des conditions climatiques, économiques et sociales de chaque pays ou, dans un même pays, de chaque région. Toutes les eaux résiduaires sont collectées par un réseau d'assainissement qui les achemine vers une station d'épuration pour être traitées avant leur rejet dans le milieu naturel ou leur réutilisation. En station, les traitements varient aussi en fonction de la nature des eaux et de la sensibilité à la pollution du milieu récepteur.

La ligne de traitement complète des eaux résiduaires comprend généralement : (figure I.2)

- Un prétraitement pour l'élimination des objets de taille comprise entre 0,1 et 50 mm (dégrillage, tamisage), des graisses et du sable .
- Un traitement primaire pour l'élimination des matières en suspension facilement décantable.
- Un traitement secondaire composé d'un réacteur biologique pour l'élimination de la pollution biodégradable organique (DBO5) ou minérale (NH₃, NO₃⁻, P).
- Certaines stations sont également équipées d'un traitement tertiaire pour l'élimination des microorganismes ou du phosphore résiduel. Les boues provenant du décanteur primaire (boues primaires) et du traitement biologique (boues biologiques) seront ensuite traitées et

conditionnées sur la filière boues.[18]

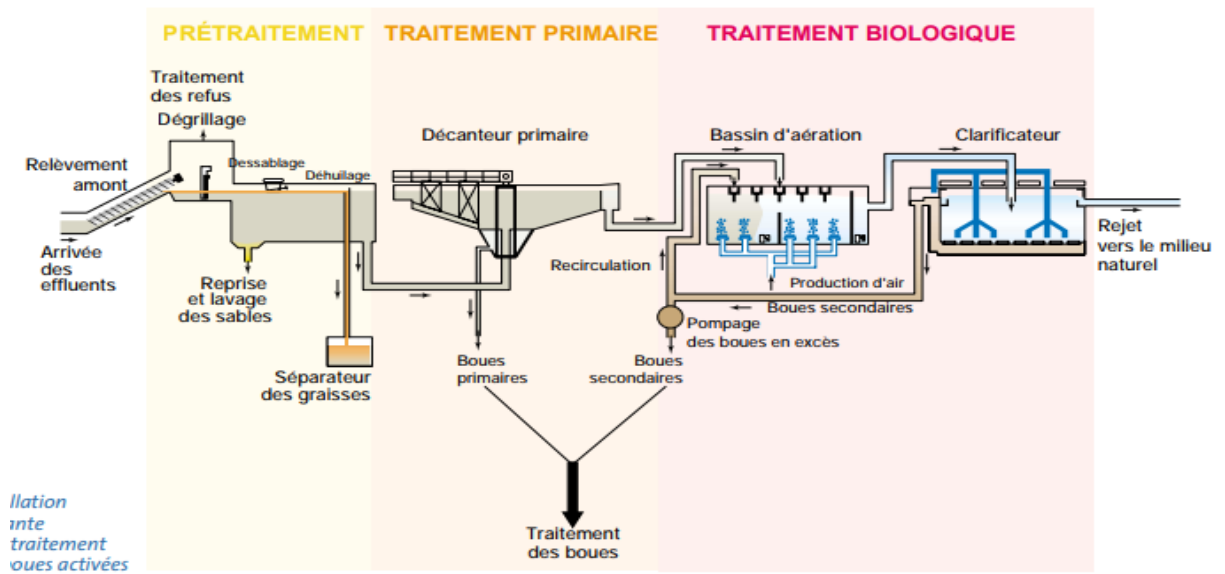


Figure I.2 : ligne de traitement complète des eaux résiduaires

I.3.1. Prétraitement

Les eaux brutes doivent subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement. Ce dernier est destiné à extraire de l'eau brute, la plus grande quantité d'éléments dont la nature ou les dimensions constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs. Le traitement mécanique permet de protéger les installations de la station d'épuration. Le prétraitement consiste en trois étapes principales qui permettent de supprimer de l'eau, les éléments qui gêneraient les phases suivantes de traitement : (figure I.3)

- Dégrillage.
- Dessablage.
- Déshuilage.

Toutes les stations d'épuration ne sont pas forcément équipées des trois, seul le dégrillage est généralisé.

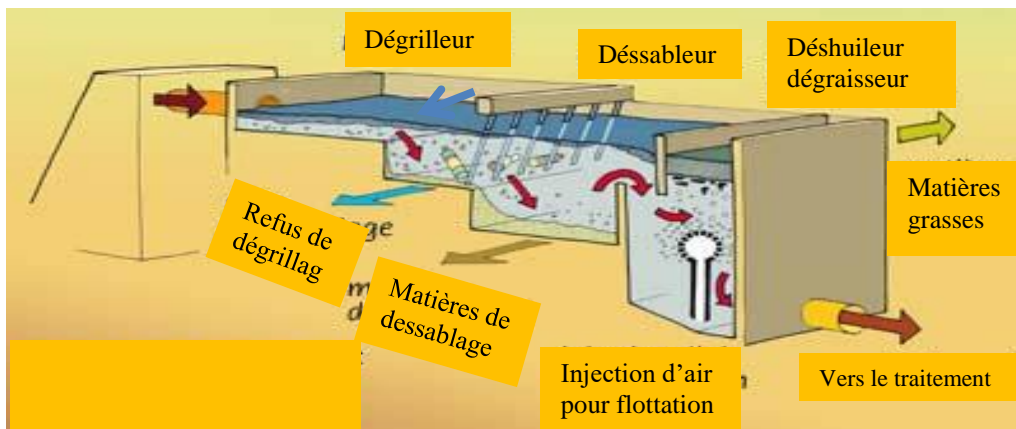


Figure I.3 : Poste de prétraitement des eaux usées en tête de station d'épuration

I.3.1.1 Dégrillage

Le dégrillage permet de protéger les équipements électromécaniques et de ne pas gêner le fonctionnement des étapes suivantes du traitement.

A- Efficacité du dégrillage

L'efficacité de dégrillage dépend essentiellement:

- du dégrilleur utilisé .
- du diamètre des barreaux des grilles .
- de l'espacement entre chacun des barreaux .
- de la position du dispositif par rapport au reste du réseau .
- de la vitesse de passage de l'eau dans l'ouvrage (qui conditionne le colmatage) .
- de la fréquence d'entretien. Le dégrilleur à grille manuelle nécessite un entretien (enlèvement des débris) fréquent et régulier, donc très contraignant; Le dégrilleur à grille mécanique, lui, nécessite un entretien moins fréquent mais toujours régulier qui consiste à l'enlèvement des déchets et à un contrôle de fonctionnement (fréquence estimée mensuelle) .
- du débit d'entrée dans le dégrilleur .
- ainsi que de certaines caractéristiques du milieu dont proviennent les eaux. En effet, la nature des activités industrielles ou commerciales dans le bassin versant et le système d'égout (unitaire ou séparatif) à l'entrée de la STEP ont une influence sur la nature des refus et leur concentration dans les eaux.

B- Catégories de dégrillage

Le dégrillage est classé en trois catégories selon l'écartement entre les barreaux de la grille :

- Le pré-dégrillage, pour un écartement supérieur à 30 mm .
- Le dégrillage moyen, pour un écartement de 10 à 30 mm .
- Le dégrillage fin, pour un écartement inférieur à 10 mm.

C- Différents types de grilles

- **Grilles courbes** : Elles sont conseillées pour les installations de moyenne importance avec des eaux pas trop chargées. Le nettoyage se fait à l'aide de deux peignes montés sur un bras tournant autour d'un axe horizontal.(Figure I.4)
- **Grilles manuelles** : elles sont généralement inclinées de 60 à 80° sur l'horizontale et composées de barreaux droits, ronds ou rectangulaires.(Figure I.5)



Figure I.4 : Grille courbe



Figure I.5 : Grille manuelle

- **Grilles mécaniques à nettoyage par l'aval :** C'est un système de pré-dégrillage avec une capacité d'extraction importante (mais risques de rechute des déchets dans l'eau aval).
- **Grilles mécaniques à nettoyage par l'amont:** Les barreaux sont généralement de section rectangulaire ou trapézoïdale. L'évacuation des déchets est située à l'aval de la grille. Il en existe 3 types.
- **Grilles droites à nettoyage alternatif:** Le champ de la grille est souvent incliné à 80 degrés sur l'horizontale et le nettoyage se fait avec un racleur (ou râteau ou peigne ou poche pivotante) qui remonte les déchets le long de la grille et est redescend en sition écartée du champ de la grille.(Figure I.6)
- **Grilles droites à nettoyage continu:** Elles sont bien adaptées à un dégrillage fin avec risques et feutrage (obturation de la grille par des feuilles par exemple). Elles sont inclinées à 80 degrés et l'éjection des déchets du récept.



Figure I.6 : Grilles droites à nettoyage alternatif



Figure I.7 : Grilles droites à nettoyage continu

I.3.1.2 Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire par décantation des eaux brutes, les particules denses de dimensions supérieures à 200 μm et dont la vitesse est inférieure à 0,3 m/s qui pourraient se déposer. Il s'agit principalement des sables mais aussi de graviers, de débris de verres et de métaux présents dans l'effluent, qui pourraient endommager les équipements mécaniques de traitement et embourber les bassins. Le dessablage est donc prévu pour protéger les équipements mécaniques et de réduire la formation de dépôts dans les canalisations et les canaux ainsi que la fréquence de nettoyage du digesteur qui est nécessaire en raison des particules accumulés.

A-Techniques de nettoyage

Les dessableurs sont de deux types :

- ✓ à nettoyage mécanique.
- ✓ à nettoyage manuel.

Le choix dépend de plusieurs facteurs tels que :

- ✓ la quantité et la qualité du grain à manipuler .
- ✓ les exigences de perte de charge .
- ✓ les exigences d'espace .
- ✓ la topographie et .
- ✓ les considérations économiques en ce qui concerne les coûts d'exploitation. En très petites plantes, la mécanisation peut ne pas être économique.

B-Dessableur à nettoyage mécanique

Ces dessableurs sont munis d'un équipement mécanique pour la collecte, l'élévation et le lavage du grain qui fonctionnent de manière continue ou intermittente. Les lames de raclage ou les charrues tournées par un lecteur de mètre, collectent le grain installé sur le sol du dessableur. Le grain ainsi recueilli est élevé au niveau du sol grâce à plusieurs mécanismes tels que les ascenseurs à godets, les pompes à jet, les vis et l'élévateur d'air. Les mécanismes de lavage des grains sont également de plusieurs conceptions dont la plupart sont essentiellement des dispositifs d'agitation utilisant de l'eau ou de l'air pour produire des mesures de lavage. En mode intermittent (normalement une ou deux fois par jour), une capacité de stockage suffisante pour contenir le grain entre les intervalles d'élévation du grain devrait être fournie.

C- Dessableurs à nettoyage manuel

Ceux-ci devraient prévoir une capacité adéquate pour le stockage du grain entre les intervalles de nettoyage. Les citernes doivent être nettoyées au moins une fois par semaine. La

méthode la plus simple de retrait est au moyen de pelles et de brouettes.

D- Différents types de dessableurs

De nombreux types de dessableur existent, à savoir :

- ✓ Les dessableurs aérées .
- ✓ Les dessableurs de type vortex (vortex ou à vapeur d'eau) .
- ✓ Les réservoirs de détritit (bassins de sédimentation déshuileur 26 à court terme) .
- ✓ Les dessableur horizontaux (canal à vitesse contrôlée).
- ✓ Les hydrocyclones (séparation inertielle cyclonique).

Divers facteurs doivent être pris en considération lors de la sélection d'un processus d'élimination du grain notamment la quantité et les caractéristiques du sable, les effets négatifs potentiels sur les processus en aval, les exigences de perte de charge, les besoins en espace, l'efficacité d'élimination, le contenu organique et le coût. Le type de système de suppression de grain choisi pour une installation spécifique devrait être celui qui équilibre le mieux ces différentes considérations.

Il existe plusieurs formes de dessableurs :

- ✓ Dessableur horizontal .
- ✓ Dessableur Rectangulaire .
- ✓ Dessableur Carré .
- ✓ Dessableur aéré .
- ✓ Dessableur vortex .
- ✓ Dessableur à Cyclone (Hydro cyclones).

E- Dessableur Vortex

Ces types de dessableurs sont utilisés dans de petites stations d'épuration et ceux-ci nécessitent une superficie moindre par rapport aux autres types. Le grain est supprimé avec un diagramme de flux de vortex. Les eaux usées entrent tangentiellement et sortent dans la direction perpendiculaire du mouvement soit du haut soit du côté. En raison de l'inertie, la particule de grain restera dans la chambre et le liquide exempt de grain ne s'échappera pas. La turbine rotative maintient une vitesse constante et aide à séparer la matière organique et le grain. La force centrifuge sur la particule de grain peut également être maintenue sans turbine en introduisant correctement les eaux usées dans la direction tangentielle dans la chambre. Le chemin d'écoulement toroïdal est suivi des particules de grès à cause de l'action de l'hélice. [4]

Les particules de grille s'établissent par l'action de la gravité dans la trémie d'où elles sont enlevées par une pompe à grains ou une pompe à air comprimé. Le sable lavé, exempt de matière organique, peut être obtenu à partir de cet appareil. Un dessableur de type vortex utilise

les principes similaires d'un filtre à air cyclonique utilisé dans les usines de combustion du charbon; La similitude est la façon dont le vortex facilite la décantation de particules de grain plus lourd dans un puisard, tout en renvoyant la matière organique plus légère vers le flux d'effluent. Les avantages de cette conception seraient une faible perte de tête dans le système et une élimination efficace du grain du flux. Cependant, la conception ne serait pas suffisante, à moins que l'électricité ne soit utilisée en raison du besoin des pompes pour enlever le grain et aussi pour créer un vortex. (Figure I.8) [6]



Figure I.8 : Déssableur Vortex

➤ Avantages du déssableur vortex

- Ces systèmes éliminent un pourcentage élevé de grain fin, jusqu'à 73% (\varnothing : 0,004 - 0,11 mm).
- Avoir une efficacité d'élimination constante sur une large gamme de débit .
- L'empreinte (dimension horizontale) est faible .
- La perte de charge à travers un système vortex est minime, généralement 6 mm .
- Efficacité énergétique et nécessite moins d'énergie que les autres systèmes .
- Aucun roulement ou pièces immergées nécessitant une maintenance .
- Des capacités de pose très élevées sont possibles .
- Pour les petits débits, des unités en acier inoxydable complètes sont disponibles en évitant les constructions en béton. [27]

➤ Inconvénients du déssableur vortex

- Les modifications dans le système sont difficiles à un stade ultérieur.
- Les pales de l'hélice peuvent rassembler des chiffons. [27]
- Les déssableur Vortex sont d'habitude une conception propriétaire, qui fait des modifications difficiles. Les pagaies ont tendance à collecter des chiffons .
- Les déssableurs Vortex nécessitent habituellement des fouilles profondes en raison de

leur profondeur, ce qui augmente les coûts de construction, en particulier si une roche irrécupérable est présente .

- Le puisard de sable à tendance à boucher et exige l'agitation à haute pression utilisant l'eau ou l'air pour desserrer le sable rendu compact dans le puisard. [20]

F- Dessableur horizontal carré

Le déssableur rectangulaire à écoulement horizontal fait face au problème de la sédimentation de la matière organique avec des particules de grain, nécessitant un lavage externe du grain avant élimination. Ce problème peut être minimisé en fournissant une forme carrée du déssableur plutôt que d'un long canal rectangulaire. En outre, cette forme facilitera la conception compacte d'une station de traitement des eaux usées. Dans les déssableurs carrés, la distribution du débit peut ne pas être uniforme en raison des conditions d'écoulement des bouchons non idéales et, par conséquent, l'élimination continue du grain est généralement considérée comme essentielle. Ceux-ci sont conçus en fonction des débits débordants qui dépendent de la taille et de la température des eaux usées. Un nombre minimum de deux déssableurs doit être utilisé pour faciliter la maintenance du mécanisme de raclage, chaque fois que cela est nécessaire. Le grain déposé au bas est ratisé par un mécanisme de rotation sur un carter situé sur le côté du réservoir à partir duquel il est déplacé par un mécanisme incliné de balais alternatifs ou de la pompe à vis. En passant le convoyeur d'inclinaison, les solides organiques sont séparés du grain et retournent dans le bassin. Ainsi, un grain lavé nettoyé est obtenu, par rapport au grain lavé provenant de rondelles de grains séparées.

➤ Avantages du déssableur carré

- Les chambres carrées de débit horizontal ne nécessitent pas de contrôle de débit car tous les roulements et pièces mécaniques mobiles sont situés au-dessus de la ligne d'eau .
- Il y a une perte de charge minimale dans ce type d'unité. [27]

➤ Inconvénients du déssableur carré

- Les réservoirs de détritux ont de la difficulté à obtenir une distribution uniforme des débits sur un large éventail de débit .
- Ce type de système d'élimination supprime de grandes quantités de matière organique, en particulier à faible débit .
- Dans les installations peu profondes (moins de 0,9 m), le bras de râteau du mécanisme de raclage peut créer de l'agitation de grains enserrés et les ramener de nouveau en suspension.

G-Dessableur tangentiel

Ce dessableur, de section circulaire, avec fond à trémie, est muni d'une arrivée tangentielle des eaux usées. Les sables peuvent décanter par différence de gravité. Ces sables sont rassemblés dans le fond de l'ouvrage où ils sont repris périodiquement. Le séjour du liquide dans le bassin est de 60 sec en débit maximum et permet une sédimentation des particules de sable d'une dimension supérieure ou égale à 0,2 mm. Le brassage évite aux matières organiques de se déposer et cela, même à débit minimal. Le sable ainsi séparé retombe dans le puits central d'où il doit être évacué à intervalles réguliers. Il est recommandé, avant évacuation de ce sable, de procéder dans le puits central à un lavage à l'air comprimé ou à l'eau technique. Le sable pourra alors être envoyé vers un bac de stockage ou vers une benne. Les sables seront lavés au moyen d'une canalisation amenant l'eau technique au fond de l'ouvrage. Les eaux d'égouttage seront reconduites dans l'ouvrage.

H- Dessableurs aérés

Dans les déssableurs déshuileurs aérés, le sable est éliminé en amenant les eaux usées à s'écouler sous forme de spirale, comme le montre l'air introduit dans le déssableur au long d'un côté, ce qui provoque l'écoulement d'un diagramme perpendiculaire de vitesse en spirale dans le réservoir. Les particules plus lourdes sont accélérées et divergent des lignes de courant, descendant vers le bas du réservoir, tandis que des particules organiques plus légères sont suspendues et éventuellement effectuées dans le réservoir. [20] Un dessaleur aéré est une forme spéciale de déssableur comprenant un réservoir standard d'aération en spirale muni de tubes à diffusion d'air placés d'un côté du réservoir, à 0,6 à 1 m du fond. Les particules de grain ont tendance à s'installer vers le bas du réservoir à des vitesses dépendant de la taille des particules et de la vitesse inférieure du rouleau du flux en spirale qui, à son tour, est contrôlée par la vitesse de diffusion de l'air à travers les tubes diffuseurs et la forme de le tank. Les particules de grain plus lourds avec leurs vitesses de décantation plus élevées descendent vers le fond alors que les particules organiques plus légères sont transportées avec le roulement du mouvement en spirale et finalement hors du réservoir. Cependant, la vitesse du rouleau ne doit pas dépasser la vitesse critique de la couche de particules de grain. Normalement, une vitesse transversale d'écoulement, ne dépassant pas 0,4 à 0,6 m/s au sommet du réservoir, devrait satisfaire cette exigence pour le balayage différentiel. Aucun mécanisme de lavage ou dispositif de commande séparé pour une vitesse horizontale n'est nécessaire dans les chambres à grains aérés. (Figure I.9) [21]



Figure I.9 : Dessableur aéré

➤ **Avantages du déssableur aéré [37]**

Les avantages du déssableur aéré sont :

- ✓ Efficacité d'élimination constante sur une large gamme de flux .
- ✓ Une teneur organique relativement faible en décomposition peut être éliminée avec un taux d'aération bien contrôlé .
- ✓ La performance des unités en aval peut être améliorée en utilisant la pré-aération pour réduire les conditions septiques dans les eaux usées entrantes .
- ✓ Les chambres grisées aérées sont polyvalentes, permettant l'addition, le mélange, la pré-aération et la floculation.

➤ **Inconvénients du déssableur aéré**

Les inconvénients du déssableur aéré sont :

- ✓ Des matières organiques volatiles potentiellement nocives et des odeurs peuvent être libérées du déssableur aéré .
- ✓ Les déssableurs aérés nécessitent plus d'énergie que les autres processus d'élimination des grains; La maintenance et le contrôle du système d'aération nécessitent une main-d'œuvre supplémentaire.

Classificateur à sable

Le classificateur à sable est un appareil qui s'installe idéalement sur les purges de déssableurs en stations d'épuration. Il a pour but de séparer le mélange sable-eau .(Figure I.10) La faible vitesse de rotation de la vis (5 tr/min) permet une reprise efficace des sables et un meilleur égouttage du produit final.



Figure I.10: Classificateur à sable

I.3.1.3 Déshuilage/Dégraissage

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent à séparer des produits de densité légèrement inférieure à l'eau, par effet de flottation, naturelle ou assistée, dans une enceinte liquide de volume suffisant.

* Les graisses sont des matières en suspension d'origine essentiellement animale (ou végétale), présentes dans les ERU et dans certaines ERI (agroalimentaires). Les teneurs en graisses sont appréciées analytiquement par la mesure des MEH (Matières Extractibles à l'Hexane). Ces matières grasses sont susceptibles de nuire à la phase biologique du traitement (mousses, ...).

* Il est de coutume d'appeler « huiles » des produits liquides non miscibles à l'eau aussi différents que les huiles végétales, les huiles minérales, les hydrocarbures légers et le terme déshuilage est habituellement réservé à l'élimination des huiles présentes en quantité notable dans les ERI, en particulier dans les industries du pétrole (mais normalement absentes des ERU, leur rejet en égout étant interdit).

C'est généralement le principe de la « flottation par air dissous » qui est utilisé pour l'élimination des huiles et des graisses. Le principe de flottation naturelle ou accélérée est basé sur l'injection de fines bulles d'air (Photo 01) dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes). Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface (Photo 02). Il est important de limiter au maximum la quantité de graisse dans les ouvrages en aval pour éviter par exemple un encrassement des ouvrages, notamment des canalisations. Leur élimination est essentielle également pour limiter les problèmes de rejets de particules graisseuses, les difficultés de décantation ou les perturbations des échanges gazeux.

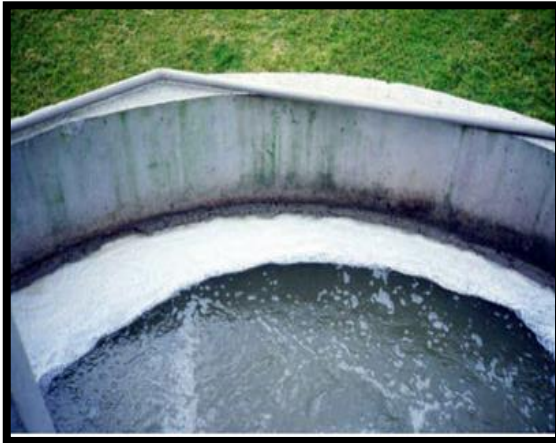


Photo 01 : Flottation des graisses par injection



Photo 02 : Racleur des graisses de fines bulles

Etapes de déshuilage

Le déshuilage comporte deux (2) stades :

- Un pré-déshuilage, c'est-à-dire l'élimination des hydrocarbures flottants.
- Un déshuilage proprement dit qui élimine plus ou moins complètement les hydrocarbures dispersés. Il est réalisé soit avec des flotteurs mécaniques ou à air dissous soit en utilisant un système de pression et des filtres.

Pré-déshuileurs gravitaires

- Séparateurs longitudinaux (API): Ils ont été calculés suivant une norme de l'American Petroleum Institute. Ils présentent des largeurs de 1,8 à 6 m et des profondeurs d'eau de 0,6 à 2.4 m. Ils sont peu utilisés à cause de problèmes d'odeur et d'extraction des boues de fond.
- Séparateurs lamellaires: Il s'agit de faire passer l'eau à travers des plaques en matériau plastique espacées d'environ 4 cm. Les gouttelettes d'huile sont guidées lors de leur remontée ce qui accélère la séparation ; les temps de séjour passent de quelques heures à entre 30 et 60 min. Il y a deux inconvénients majeurs à ce séparateur : il demande un certain entretien et il faut donc éviter le figeage des gouttelettes et les eaux traitées doivent être pauvres en matières en suspension. Il faut donc un grand nombre de modules ce qui rend le séparateur difficile à couvrir (problème d'odeur).
- **Séparateurs circulaires**

Lorsqu'il s'agit d'un ouvrage combiné (désableur-dégraisseur), le dessablage est réalisé dans la partie inférieure (conique) du bassin (**Photo 03**). La pente ne doit pas être inférieure à 50°. Les sables seront récupérés après détassage par un dispositif de type béduwé (insufflation d'air) moins sujet au colmatage et plus économique qu'une reprise par pompe

(fonctionnement en continu souvent nécessaire). Un piquage sur la canalisation d'extraction des sables pourra être prévu afin de pouvoir injecter de l'eau ou de l'air sous pression pour faciliter le détassage.



Photo 03 : Extraction du sable d'un sableur dégraisseur

I.3.2 Traitement primaire

Le traitement primaire consiste en une simple décantation. La décantation permet la séparation des liquides et des solides sous l'action de la pesanteur. Les matières solides se déposent au fond des bassins et sont récupérées par raclage.

Pour les eaux usées qui sont d'origine domestique, on attend de la décantation primaire qu'elle diminue de 30 à 35 % de la DBO5 avec une réduction faible de l'azote, du phosphore, des métaux et des germes pathogènes (10 à 30 %) et 40 à 60 % environ des matières en suspension. [11]

I.3.3 Traitement secondaire (Biologique)

Les procédés d'épuration secondaire (ou biologique) comprennent des procédés biologiques, naturels ou artificiels, faisant intervenir des microorganismes aérobies pour décomposer les matières organiques dissoutes ou finement dispersées. [12]

Les traitements secondaires agissent donc sur la pollution organique biodégradable par des procédés biologiques. On constate trois grandes catégories :

- Les procédés biologiques intensifs à cultures fixées. Cas des lits bactériens.
- Les procédés biologiques intensifs à boues activées les bactéries sont en suspension dans l'eau des bassins.
- Les procédés biologique extensifs. Cas du lagunage : c'est un procédé qui consiste en un lent écoulement de l'eau dans un ou plusieurs réservoirs peu profonds, où prolifèrent naturellement des bactéries, algues et autres organismes vivants. Dans le lagunage, les

bactéries sont libres. L'apport d'oxygène peut être naturel dans les installations de lagunage naturel, ou artificiel (turbine ou diffusion de microbulles) dans les stations d'épuration de type aéré.

I.4. Choix de culture

La réutilisation des eaux résiduaires est un moyen adapté surtout aux régions qui ont des ressources en eau limitées par rapport à la demande existante. Ces eaux sont beaucoup utilisées dans le domaine de l'agriculture et ont donné de bons rendements. Seulement à la station d'épuration de Sidi Khouiled il est impossible de faire des analyses bactériologiques de ces eaux avant leur utilisation pour l'irrigation. A cela, s'ajoute le fait que 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. Et pourtant, certaines cultures sont plus adaptées que d'autres à cette technique en fonction des risques inhérents des 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, les choux, les laitues, la betterave à sucre, la canne à sucre, l'abricot, l'orange, la prune, la vigne, les fleurs et les bois.

La FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) propose une classification des cultures en fonction du niveau de risque pour les consommateurs et pour les agriculteurs.

Risque faible :

Cultures industrielles non destinées à la consommation humaine (par exemple le coton, le sisal) .

Cultures traitées par la chaleur ou le séchage avant d'être destinées à la consommation humaine (par exemple les céréales, les oléagineux, les betteraves à sucre).

Les légumes et les fruits cultivés exclusivement pour la mise en conserve ou autre traitement qui détruit efficacement les germes pathogènes .

Les cultures fourragères et d'autres cultures d'aliments pour les animaux qui sont récoltées et séchées au soleil avant.

Risque moyen :

Pâturages et cultures fourragères herbacées.

Cultures pour la consommation humaine qui ne sont pas en contact direct avec des eaux usées, à condition que rien ne soit ramassé sur le sol et que l'irrigation par aspersion ne soit pas utilisée (par exemple l'arboriculture, les vignes) .

Cultures pour la consommation humaine après cuisson (par exemple les pommes de

terre, l'aubergine, la betterave) .

Cultures pour la consommation humaine dont la peau n'est pas mangée (par exemple les agrumes, les bananes) .

Toutes les cultures non identifiées comme « Risque élevé » si l'irrigation par aspersion est utilisée.

Risque élevé :

Tous les aliments consommés crus ou cultivés en contact étroit avec les effluents (par exemple la laitue et les carottes) .

L'irrigation par aspersion, indépendamment du type de culture, à moins de 100 m des zones résidentielles ou de lieux d'accès public.

I.5. Conclusion du chapitre I

La REUE recouvre deux notions complémentaires : le traitement puis la réutilisation proprement dite des eaux usées. Les eaux usées sont les eaux rejetées par les collectivités et les industries et qui sont acheminées par les égouts en station d'épuration afin d'être traitées. Après traitement, on les appelle des eaux usées épurées. Il y a trois grandes catégories de cultures irriguées avec les eaux épurées : celles de la catégorie A (cultures non destinées à la consommation humaine comme les cultures industrielles, les cultures séchées avant consommation et les légumes et fruits cultivés pour les conserves).

Celles de la catégorie B (fourrages verts, fruits pour la consommation, mais qui n'entrent pas en contact avec l'eau usée épurée (arboriculture, légumes pour la consommation humaine, consommés après cuisson, fruits et légumes pour la consommation humaine, dont la peau n'est pas mangée (melon, pastèques, etc...)). Et celle de la catégorie C (légumes en contact direct avec l'eau usée épurée à consommer crus (laitue, etc...) nécessitent épuration de qualité supérieure (avec restriction).

Chapitre II :

Irrigation de surface

Introduction

- 1. Choix d'une technique d'irrigation***
- 2. Irrigation de surface (ruissellement)***
 - 2.1 Irrigation par bassins***
 - 2.2 Irrigation par sillons/à la raie***
 - 2.3 Irrigation par planches***
- 3. Avantages et inconvénients de l'irrigation gravitaire***
- 4. Description physique de l'irrigation superficielle***

Conclusion

II.1.Introduction

Importance de l'irrigation. Jusqu'à présent l'irrigation reste le seul moyen d'augmenter les rendements et de les régulariser dans bien des régions du monde. En effet, selon les espèces et variétés cultivées, les terres, et les techniques utilisées, l'irrigation peut permettre de doubler à quintupler la production (et même la décupler en zone aride) .[26]

Par définition, l'irrigation est l'opération qui consiste à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour permettre leur développement normal (en cas de déficit en eau) ou pour accroître la production de l'agriculture. La desserte adéquate en eau est essentielle pour la croissance ou le développement végétatif des cultures. Lorsque les précipitations sont insuffisantes, l'irrigation serait nécessaire pour couvrir les besoins en eau des cultures.

L'irrigation, par conséquent, 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.

L'irrigation est évidemment plus importante dans les pays en voie de développement qui subissent souvent une forte croissance démographique entraînant une augmentation des besoins en cultures et donc l'utilisation d'une quantité plus élevée d'eau pour irriguer ces cultures.

Mais les systèmes d'irrigation souvent ne donnent pas des résultats satisfaisants car une grande partie de l'eau se perd par évaporation ou ruissellement ou autrement au lieu d'alimenter les plantes. En outre, une irrigation excessive peut contaminer les eaux de surface et les eaux souterraines car l'eau d'irrigation non utilisée par les plantes transporte avec elle des produits chimiques destinés aux cultures.

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 techniques les plus couramment utilisées sont : l'irrigation par aspersion, l'irrigation par ruissellement, l'irrigation par infiltration et l'irrigation au goutte à goutte. [24]

Deux caractéristiques distinguent l'irrigation de surface des autres techniques d'irrigation, d'une part l'eau s'écoule librement sous l'action de la gravité et d'autre part, sur le terrain, les moyens de transport et de distribution sont la surface du champ. [34]

II.2. Choix d'une technique d'irrigation

Un réseau d'irrigation est l'ensemble des organes, ouvrages et appareils qui assurent le transport, la répartition et la distribution à chaque exploitation agricole et dans chaque parcelle des eaux destinées à l'irrigation ainsi que les organes qui doivent éventuellement évacuer les eaux en excès. [23]. De ce fait, sélectionner une technique d'irrigation est une décision compliquée et son succès dépend :[38]

- du site .
- des facteurs de situation .
- du type du sol .
- de la pente de la parcelle .
- de la vitesse d'écoulement de l'eau .
- des cultures .
- des ressources en eau .
- du niveau de gestion utilisé .
- du climat .
- de la qualité de l'eau. [10]

Ainsi, le choix du système d'irrigation doit s'effectuer en croisant plusieurs critères s'envisager sur le long terme. En effet, les systèmes les moins onéreux représentent ceux qui entraînent la plus forte dépense en main d'œuvre ou en consommation d'eau et d'énergie. A l'aube des changements climatiques attendus pour ce demi-siècle, il faut prévoir ses investissements en connaissance de cause.

Pour l'irrigation avec les eaux épurées, le choix d'une technique appropriée dépend de la qualité de l'eau usée, de la culture, des coutumes ou traditions, 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

II.2.1. Irrigation de surface (ruissellement)

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ :

- soit par submersion (irrigation par bassins).
- soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons) .
- ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches).

Il s'agit du mode d'irrigation le plus ancien (et donc assez rudimentaire) mais il est peu coûteux en investissement et représente la méthode la plus utilisée à travers le monde.[31]

II.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. Cette technique est utilisée, d'une façon générale pour l'irrigation des rizières sur terrain plat ou des terrasses à flanc de coteau. (Figure II.1)



Figure II.1 Alimentation des planches par siphon

La méthode par bassins est aussi 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). [31]

Ces techniques traditionnelles qui restent néanmoins très utilisées ont été modernisées ces dernières années et sont utilisées pour les cultures semées à plat telles que les céréales, le bersim, la luzerne, des plantes fourragères etc. (Figure II.2)

II.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).[31]

Avantages

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

Inconvénients

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



Figure II.2 : Irrigation par sillons

II.2.4.Irrigation par planches

En agriculture, une planche désigne une portion longue et étroite d'un jardin ou d'un champ. Le principe de l'irrigation par planche consiste à faire couler une mince couche d'eau sur des planches longues et étroites pour un sol à pente faible (0.1 jusqu'à 5% selon les cultures).

[31] (Figure I.3a)

L'irrigation par planches est contrôlée par la méthode de submersion superficielle, la surface est divisée en bandes séparées par des diguettes parallèles et chacune est irriguée séparément.

Les planches sont disposées dans le sens de la plus grande pente, avec de petites levées de terre entre les bandes pour canaliser l'eau durant l'irrigation [9]. Les planches rectangulaires reçoivent généralement l'eau par le côté frontal ou latéral qui coule doucement, en nappe mince, pendant toute la durée de l'infiltration. La partie inférieure est ouverte, les billons latéraux s'arrêtent quelques mètres avant la fin de la planche et un canal de colature recueille les eaux en excès. [27] C'est le cas des planches ouvertes. Dans les planches fermées, au fil de l'arrosage le volume d'eau ayant pénétré dans la planche se répartit en un volume stocké en

surface, qui augmente avec la longueur humectée et un volume infiltré qui augmente avec le temps.

Dans le sens transversal, la planche doit être horizontale afin d'assurer un étalement uniforme de la masse liquide sur toute la largeur. On tolère cependant 2p.1000 et au plus, 2.5cm entre levées.

Dans le sens longitudinal, sur une distance égale à la largeur de la planche, une partie horizontale oblige l'eau à s'étaler dès sa sortie du canal auxiliaire d'alimentation, sortie qui s'effectue par une ou plusieurs ouvertures. Le terrain offre ensuite une pente uniforme, qui peut aller en s'accroissant légèrement vers le bas pour conserver une vitesse d'écoulement suffisante.[27]

Le terrain entre les planches doit être nivelé perpendiculairement à la direction de l'eau. L'irrigation par planche convient très bien à la plupart des types de cultures et de sol ; elle est recommandée pour les exploitations de grandes tailles où les travaux agricoles sont mécanisés. Ces planches sont généralement assez longues et à pentes uniformes. L'alimentation en eau des planches est faite de plusieurs façons : soit à l'aide de prises d'eau .



Figure II.3a : Irrigation par planche
[OULHACI . D ;2003]



Figure II.3b :Irrigation par planche
[HATI A et BAOUA M.L ;2022]

II.3. Avantages et inconvénients de l'irrigation gravitaire

Avantages :

- Coût d'investissement faible, comparativement aux systèmes modernes comme le goutte-à-goutte ou l'aspersion .
- Besoin en énergie faible ou nul .
- Technique approuvée .
- Insensibilité au vent .
- Bonne adaptation à l'épandage des eaux usées .
- Possibilités d'utiliser les eaux salées.

Inconvénients :

- Les sillons longitudinaux gênent le déplacement latéral des engins .
- Pertes importantes d'eau surtout par infiltration profonde .
- Les besoins en main-d'œuvre pour l'aménagement, le fonctionnement et l'entretien des projets d'irrigation de surface sont toujours supérieurs à ceux des projets d'irrigation par aspersion ou au goutte à goutte .
- Lenteur de l'arrosage.
- L'uniformité de l'arrosage dépend directement de planage des parcelles d'où l'importance de nivellement. [24]

II.4. Description physique de l'irrigation superficielle

L'analyse et la conception des techniques d'irrigation par planches sont des sujets de recherches et suivis approfondis depuis ces dernières décennies. La théorie hydraulique de l'irrigation par planches est actuellement comprise et connue. Cette connaissance résulte essentiellement de l'application des équations de l'écoulement superficiel de l'eau sur la surface irriguée. [27]

Pendant l'irrigation superficielle dans les planches, un écoulement continu d'eau, est dirigé de la tête d'un fossé c'est-à-dire du plus haut côté du terrain, en un écoulement gravitaire sur la surface de la terre vers le côté inférieur de celui-ci. [1, 2, 4, 11, 13, 17]

Ce cycle entier de l'irrigation est partagé en quatre phases : [figure N° II-4]

- phase de l'avancement .
- phase de stockage ou de l'entretien .
- phase de la déplétion ou de l'épuisement .
- phase de la récession.

1- Phase de l'avancement : Pendant un tel écoulement une partie de l'eau qui s'écoule sur la surface du terrain s'infiltré dans le sol pendant que le reste continue à s'écouler en mouillant, pendant son avancement, de nouvelles parties du terrain à irriguer en aval. (t_{av})

L'avancement continue à l'aval jusqu'à ce que le front mouillant atteigne l'extrémité inférieure du terrain.

2 - Phase de stockage ou d'entretien : le stockage commence à se former superficiel si l'écoulement courant est obstrué comme c'est le cas des planches fermées. (t_{co})

La phase de stockage ou d'entretien commence donc lorsque le front d'avancement atteint l'extrémité aval et l'écoulement de l'eau sur le terrain continue jusqu'à ce qu'une quantité suffisante d'eau soit introduite pour couvrir les grandes exigences en eau du terrain.

Cette phase continue jusqu'à l'arrêt de débit entrant.

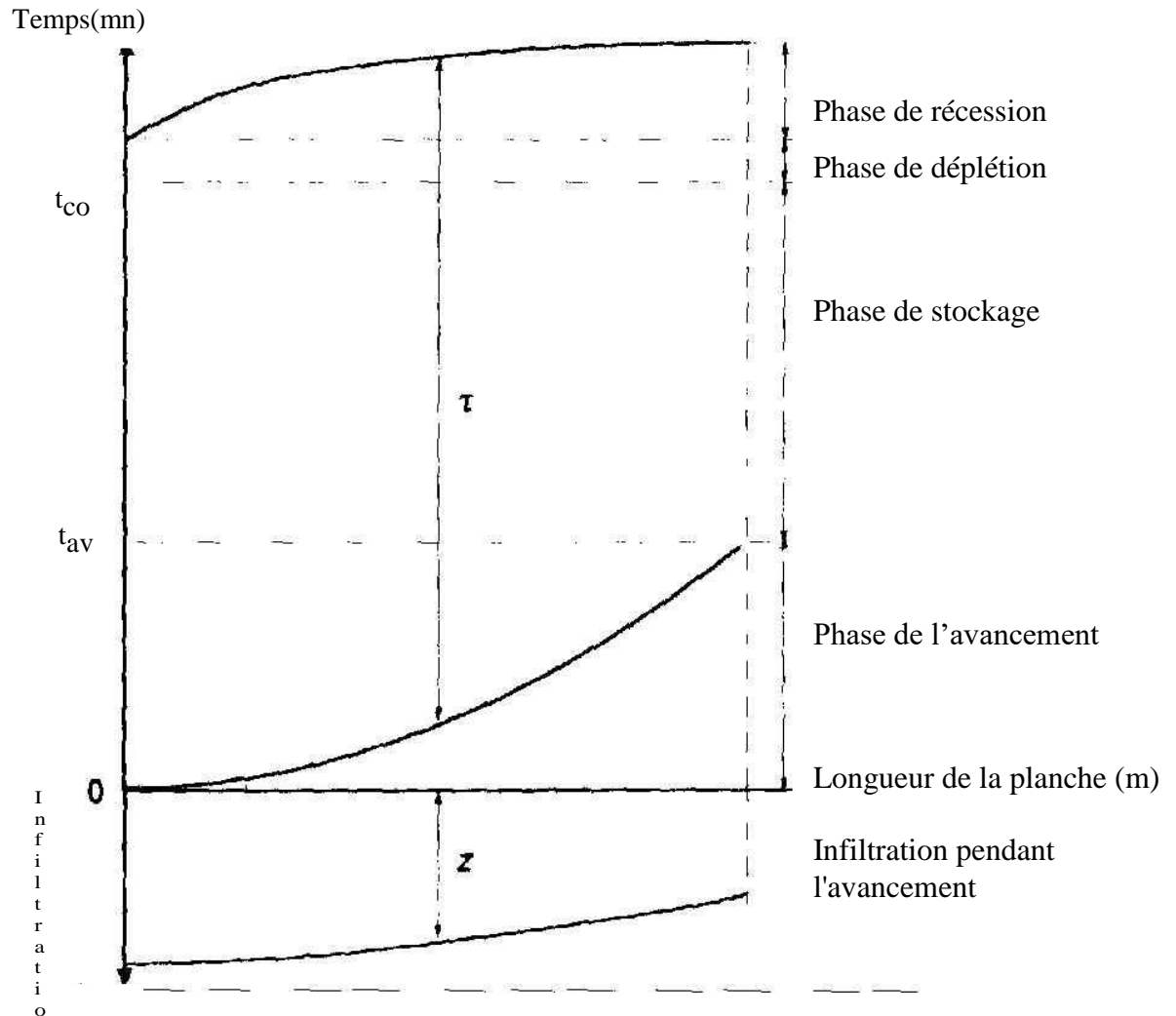


Figure II-4 : phases de l'irrigation : courbes de l'avancement, de la récession et des hauteurs d'eau infiltrées

3- Phase de la déplétion ou d'épuisement : La phase de déplétion de l'irrigation superficielle commence dès que l'écoulement est arrêté jusqu'à l'instant où l'eau commence à disparaître en amont de la planche.

4- Phase de la récession : La phase de récession correspond à la période pendant laquelle l'eau disparaît dans la planche et le front d'eau fuyant se poursuit vers l'aval jusqu'à atteindre l'extrémité.

Pour la résolution du problème de l'irrigation superficielle et en particulier pour l'irrigation par planches, il existe une multitude de modèles mathématiques. Ces modèles sont

développés pour faciliter la conception et le choix de la pratique analytique, ils sont capables d'analyser plusieurs conditions d'irrigation pour des coûts plus faibles et durant moins de temps que les expériences sur terrain. Plusieurs de ces modèles sont des solutions analytiques, des équations différentielles partielles de continuité et de mouvement de l'écoulement dans un canal découvert ou des approximations de celles-ci. [16]

Le choix d'un modèle mathématique dépend de la disponibilité des données de terrain, de l'exactitude de la prédiction et de la base théorique du modèle. [3, 4]. Dans cette étude, pour déterminer l'infiltration le long de la planche théoriquement on a opté pour le modèle de YU et SINGH vu sa performance et l'exactitude de ses prédictions et parmi les méthodes importantes pour la résolution de celui-ci, celle du BILAN EN VOLUME donne des résultats satisfaisants malgré sa simplicité. En effet, le mérite de cette méthode a été argumenté par des exemples concrets. [25]

Plusieurs paramètres sont nécessaires pour le développement d'un modèle mathématique dans l'irrigation superficielle et leur interaction détermine le rendement du point de vue technique et économique. Une estimation juste de l'effet de chacun de ces paramètres dans le résultat final de l'irrigation actuelle est très difficile. Les principaux paramètres sont :

Les caractéristiques de l'infiltration de sol : a et K .

Le coefficient de rugosité : n .

La pente moyenne du fond de la planche dans le sens de l'écoulement : S .

La longueur de la planche : L .

L'écartement entre les planches : w .

Le débit entrant : q_0 .

Le temps de son application : t_a .

La profondeur de l'eau exigée dans la zone racinaire des plantes d_n .

On a donc une fonction : $f_i(a, K, n, S, L, w, q_0, t_a, d_n)$, les six derniers termes sont obtenus directement des observations sur terrain et les trois premiers sont, au contraire, obtenus indirectement de ces derniers.

II.5. Conclusion du chapitre II

L'irrigation de surfaces nécessite des travaux de préparation de terrain (nivellement) assez soignés, un entretien régulier et une bonne conduite des irrigations pour assurer le bon fonctionnement du réseau, une bonne adaptation à l'épuration des eaux usées et possibilités d'utilisation des eaux salées travail pour l'irrigation par ruissellement.

En irrigation par ruissellement, les agriculteurs sont conviés à créer des planches courtes, spécialement si le nivellement au laser n'est pas possible. En cas d'impuretés et en l'absence de système de filtration, les systèmes goutte-à-goutte devraient être évités. Selon la culture, les arroseurs peuvent être un meilleur choix. De même l'irrigation de surface pourrait être préférée.[39]A cet effet, on a opté dans ce travail à l'irrigation par planche .

Chapitre III :

Matériels et Méthodes

Introduction

1. Choix d'une technique d'irrigation

2. Présentation de la zone d'étude

2.1. Situation géographique

2.2 Conditions climatiques de Ouargla

2.3 Localisation géographique de la commune de Sidi Khouiled

3. Site expérimental

4. Protocole expérimental

5. Méthodologie d'irrigation

6. Méthodologie de calcul

Conclusion

III.1.Introduction

L'utilisation des eaux épurées dans la région de Ouargla dans le domaine agricole a donné un bon rendement et certains agriculteurs en sont satisfaits. A cet effet, ce chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude, du site et du protocole expérimentaux, ainsi qu'à la méthodologie de calcul.

III.2.Présentation de la zone d'étude

III.2.1.Situation géographique

La zone d'étude est située dans la wilaya de Ouargla, l'une des principales oasis du Sahara algérien. Ouargla est située au Sud-Est de l'Algérie à une distance de 800 km de la capitale Alger. Sa superficie est d'environ 2887 km² et se situe à une altitude de 134 m par rapport au niveau la surface de la mer. Ouargla est limitée par la wilaya de Touggourt et Djelfa 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 III.1**). (N.B les échelles ne sont pas mentionnées).

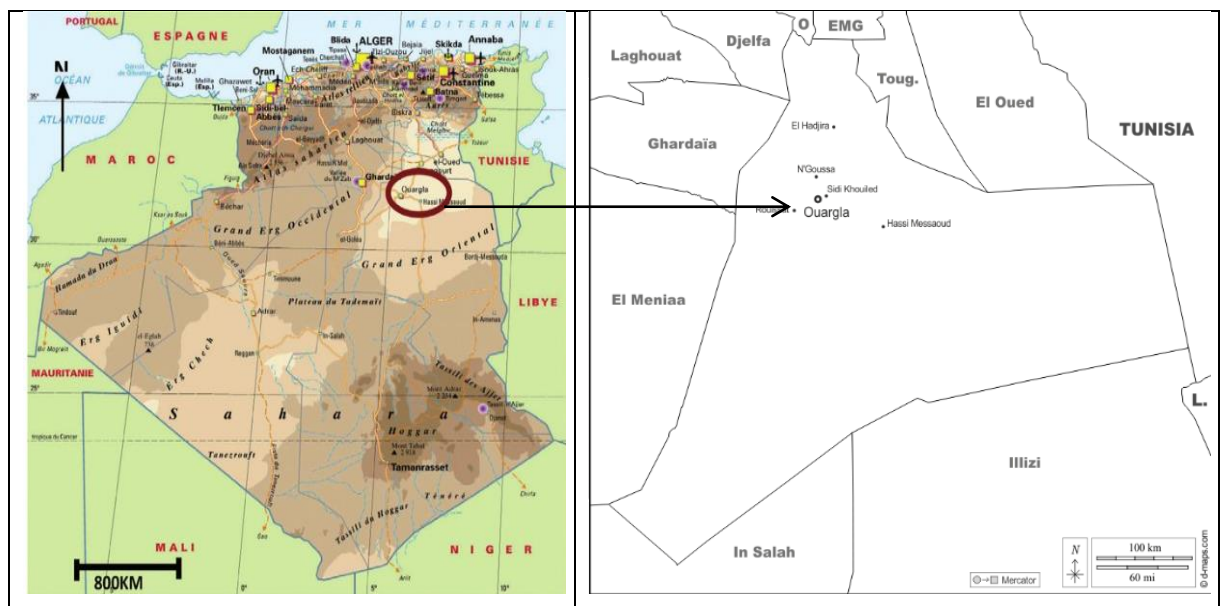


Figure III.1 Situation géographique de Ouargla [Maps]

III.2.2. Conditions climatiques de Ouargla

Le climat de Ouargla est un climat particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale. 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 [15].

Les paramètres météorologiques sont des facteurs clés dans la distribution saisonnière

de l'irrigation. Et certains d'entre eux sont pris en compte dans toutes les formules de détermination de la dose d'arrosage.

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

III.2.2.1.Températures

La température étant étroitement reliée au taux de radiation, lui-même directement corrélé à l'évaporation.[30]L'unité internationale de température est le Kelvin (K) et le degré Celsius (°C) est une autre unité très répandue Europe.

III.2.2.2.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.[27]

III.2.2.3.Vitesse du vent

Les vents les plus forts soufflent du Nord-Est et du Sud, les plus fréquents du quart N. En hiver se sont des vents d'Ouest, au printemps du Nord, du Nord-Est et de l'Ouest, en été du quart NE. Les vents de sable soufflent, au printemps, avec une direction du Nord-Est et du Sud Ouest. Les vents et surtout les vents de sables jouent un rôle particulièrement desséchant. Le vent joue un rôle essentiel sur les processus d'évaporation car c'est lui qui permet, par le mélange de l'air ambiant, de remplacer au voisinage de la surface évaporant, l'air saturé par de l'air plus sec.

III.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 de liquide (bruine, pluie, averse) ou solide (neige, grésil, grêle). Les précipitations sont très irrégulières. Les études montrent que la répartition annuelle est marquée par 5 mois de sécheresse quasi absolue, de mai à septembre. De forts orages éclairent parfois, d'octobre à janvier, mais en général les pluies sont d'intensité plutôt faible.

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).

III.2.2.5.Insolation

La région de Ouargla est caractérisée par une forte insolation. Cette dernière correspond à la durée d'éclairement du sol par le soleil.

III.2.2.6.Évaporation

Tous ces facteurs mensuels moyens pour une période d’observation de 10 ans (2008-2017) sont présentés dans le (Tableau III.1).

Tableau III.1 : Données climatiques mensuelles moyennes sur la période d’observation 2008-2017

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	moyanné
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
H(%)	36,4	43,5	52,7	59	57	48,4	43,6	36,5	30,9	28	24,1	26,9	40,58
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	8,77
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	3,26
I (h)	264	267	250	231	248	241	268	289	309	234	320	340	271,75
E(mm)	271	204	122	83,4	93,5	125	182	234	307	366	433	384	233,74

Les températures de 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) dépasse 35,9°C et celle du mois le plus froid (janvier) est de 12,2°C. Les températures extrêmes peuvent atteindre 53°C et –7°C.

A Ouargla, l’humidité relative de l’air est faible et varie sensiblement en fonction des saisons. En effet, pendant l’été, elle diminue au mois de juillet qui est le mois le plus sec jusqu’à atteindre 24,1%, sous l’action d’une forte évaporation et des vents chauds. Elle s’élève en hiver à 59 % au mois de décembre est le mois le plus humide.

Les vents fréquents sont des vents NE ET SE 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. Le tableau montre qu’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.

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 8,51mm. Le cumul des précipitations annuelles sur 10 ans est de 39,19 mm.

Le maximum de l’insolation est atteint au mois d’Aout avec une durée de 340 heures et le minimum au mois de décembre avec une durée de 231 heures le (Tableau II.5).

La région de Ouargla est caractérisée par une évaporation importante et 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).

III.2.3. Localisation géographique de la commune de Sidi Khouiled

La daïra de Sidi Khouiled s'étend sur 131 km² ; entourée par Hassi Ben Abdellah, Aïn Beida et N'Goussa. Elle est située à 5 km au Nord-Est d'Aïn Beida à 149 mètres d'altitude (voir figure III.2).

La ville de Sidi Khouiled a pour coordonnées géographiques :

- une latitude : 31° 58' 47'' Nord .
- une longitude : 5° 25' 6''.

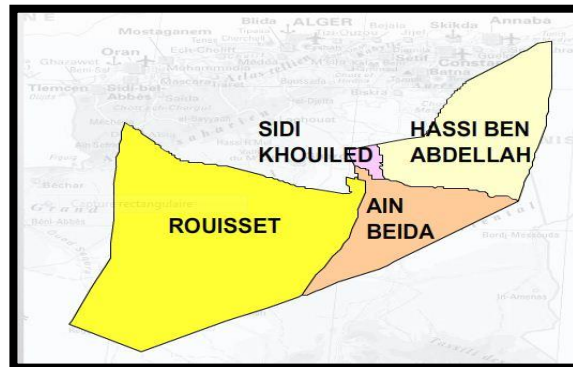


Figure III.2 : Localisation géographique de la Daira de Sidi Khouiled

III.3. Site expérimental

Les sites expérimentaux sont la station d'épuration de Sidi Khouiled et un périmètre irrigué à proximité. La station d'épuration située au Nord-Est de la ville de Ouargla entre les deux branches du canal de drainage au voisinage de la route n°49 vers Hassi Messaoud.

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 :

- largeur : environ 130 m ;
- longueur : environ 300 m.

La capacité totale : 7165 équivalent habitants .

(Voir Figure III-3) [3]

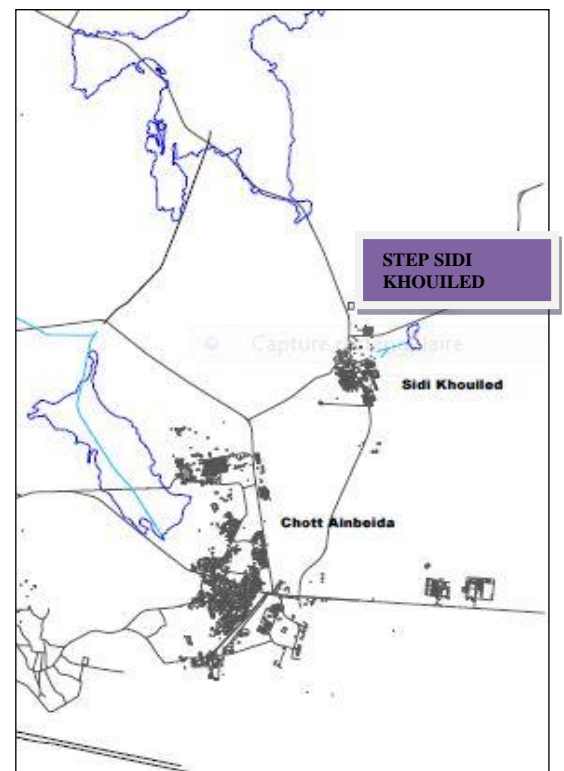


Figure III-3 : Situation géographique de la STEP

II.3.1.Schéma de la Step de Sidi Khouiled :

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. (Voir Tableau III.2)

Tableau III.2 : Données de bases de la STEP .[3]

Procédé de traitement	Lagunage aéré			
Nature des eaux brutes	Domestique et industrielle (quelques usines)			
Temps de séjour	08 jours			
		Capacité (m ³)	Superficie (m ²)	Profondeur (m)
	Bassin d’aération A1	3300	1179	2,8
	Bassin d’aération A2	3300	1179	2,8
	Bassin d’aération B1	2200	880	2,5
	Bassin d’aération B2	2200	880	2,5
	Bassin de Finition F1	3282	2188	1,5
Nombres de lits de séchage	04 lits			
Surface totale de lits (m ²)	1800			
Volume journalier (m ³ /j)	1064			
Equivalent habitant (Eqh)	7165			

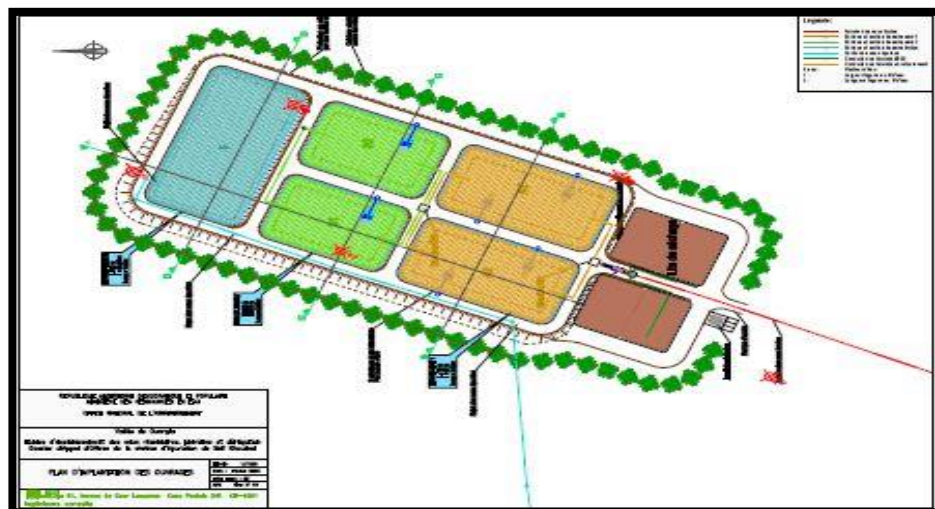


Figure III.4: Schéma de la station d’épuration de Sidi Khouiled [3]

III.3.1.1.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 a la station d'épuration.

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

III.3.1.2.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.

a) Dégrillage :

Le système comprend un ensemble de 2 dégrilleurs (01degrilleur mécanique 01 degrilleur 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 .

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 degrilleurs automatiques. **(Photo 04)**

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 et4,6 m de long.

Chaque ouvrage est équipé d'un pont racleur permettant de ramener les sables décantés au fond au niveau d'une fosse à sable, deux 02 pompes à sable assurent l'extraction des sables vers un classificateur qui permet l'égouttage des sables avant le stockage dans une benne.**(Photo 05)**

III.3.1.3. Lagunes aérées et de finition

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 06)** grâce à un répartiteur. 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) **(Photo 07)** (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.

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

L'étage de finition est constitué de 1 lagune. (**Photo 08**)

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).

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.

III.3.1.4. 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 devient nécessaire d'extraire ces boues. (Photo 9).

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 525m² 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).



Photo 04 : Degrilleur



Photo 05 : Dessableur



Photo 06 : Bassin d'aération A



Photo 07 : Bassin d'aération B



Photo 08 : Bassin de finition



Photo 09 : Lit de séchage



Photo 10 : Sortie des eaux



Photo 11 : Exutoire

III.4. Protocole expérimental

Les caractéristiques physiques des eaux résiduaires peuvent 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 .
- couleur, liée au déversement de composés chimiques solubles présentant une coloration marquée (effluent de teinturerie par exemple) .
- tension superficielle associée à des produits tensioactifs (détergents essentiellement) .
- température : l'exemple typique est celui du déversement de refroidissement. [8]

III.4.1. Echantillonnages et analyses

Compte-tenu 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.

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.

Les paramètres analysés à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration sont : le PH, la Température, la salinité, la conductivité électrique, l'oxygène dissous, les matières en suspension, la DCO, la DBO₅, les NO₂ et les NO₃.

Les analyses ont été impossible à réaliser à cause du manque des produits. Les résultats fournis par l'ONA sont récapitulés dans le tableau IV.1.

Les seules 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 :

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 .
- Multi-paramètre .
- Bécher 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 becher 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 IV.2 .



Photo 12: Echantillons au laboratoire



Photo 13 : Prise des échantillons à la station

III.5. Méthodologie d'irrigation

III.5.1. Irrigation

Les évaluations du fonctionnement de l'irrigation par planches comprennent les observations suivantes :

- le débit entrant à la tête de la planche .
- la pente longitudinale de la planche d'écoulement .
- le chronométrage de la phase de l'avancement.

Ces données d'observation seront utilisées pour la détermination de l'infiltration par calcul ainsi qu'à l'étude de la répartition de l'humidité.

La période expérimentale est : février-mars 2022.

On a d'abord effectué des sondages à l'aide de tarières pour vérifier l'inexistence de couches imperméables, croûtes ou nappes d'eau à 2.5m de profondeur. Puis on a procédé aux travaux de préparation du terrain avec des nivellements. Au cours de l'écoulement de l'eau on

répare les malfaçons si elles apparaissent. La pente des planches est égale à 0.001.

Concernant le débit, il existe plusieurs méthodes pour le mesurer. Dans ce travail on a utilisé la méthode classique ; c'est-à-dire le remplissage d'un récipient en chronométrant. A l'entrée de la planche, on a creusé un trou pour y mettre le bidon et le remplir.

Le débit en tête de la planche est réglé à l'aide de petite vanne (**Photo 20**) sur la conduite d'alimentation. L'eau est amenée de la sortie de la station à la planche à l'aide de conduites.

On dispose sur toute la largeur en tête de la planche un film plastique pour uniformiser la distribution de l'eau. (**Photo 16**)

Le sol du site étant sableux et perméable, on a opté pour des planches courtes pour éviter un trop grand déséquilibre entre la profondeur d'infiltration à l'amont et à l'aval. Ceci dépend aussi de l'aménagement des parcelles : soit 30m. La largeur utilisée est 50cm. La planche est homogène, de section constante et de forme rectangulaire.

III.5.2. Matériels utilisés pour l'avancement

Le matériel utilisé lors des expérimentations est :

- conduites .
- vannes .
- film plastique.
- jalons.
- mètre ruban .
- chronomètre .
- réglottes graduées.

III.5.3. Mesure de l'avancement de l'eau dans la planche

Avant l'arrosage, on place des jalons espacés de 5 m sur la longueur de la planche. (Photo 13)

Le principe consiste à laisser l'eau s'écouler en nappe le long de la planche. Pendant l'arrosage on mesure le temps t_{av} du passage de l'eau au niveau de la planche où les jalons sont placés. (Photo 17)



Photo 14: planche avant arrosage



Photo 15: Avancement de l'eau



Photo 18 : Film plastique



Photo 19 : jalons



Photo 16: Creuage du trou



Photo 17: Détermination du débit



Photo 20: vane



Photo 21 : Raccordement des conduites

III.6.Méthodologie de calcul

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité et la phase de stockage commence lorsque le front d'avancement atteint l'extrémité avale de la planche $x = L$, au temps d'avancement T_{av} . Cette phase continue jusqu'à l'arrêt de débit entrant c'est-à-dire au temps d'irrigation T_{irr} .

Alors on a:

$$H(0, T_{irr}) = K T_{irr}^a \quad (III-1)$$

$$H(L, T_{irr}) = K(T_{irr} - T_{av})^a \quad (III-2)$$

$$H(x, T_{irr}) = K T_{irr}^a - K \left[\frac{T_{irr}^a - (T_{irr} - T_{av})^a}{L^2} \right] x^2 \quad (III - 3)$$

H est l'infiltration dans le sol (en litre) .

K et a sont respectivement, le paramètre de l'infiltration et l'exposant du temps.

L'application du bilan des volumes à la phase de l'avancement a conduit à la mise au point d'une méthodologie approuvée pour estimer les paramètres de l'infiltration a et K, appelée méthode des deux points, appropriée à l'irrigation par planches. [5]

Comme toute méthode basée sur les observations sur terrain, la méthode des deux points présente des faiblesses car elle est basée sur une relation unique de type puissance entre la distance de l'avancement et le temps mais on peut se baser sur les résultats intéressants des études qui ont utilisé cette méthode. A cet effet, dans cette étude on s'est basé sur les résultats de l'étude de Smerdon, Blair et Reddell (en 1988) [5] qui indiquent que l'analyse de la méthode simple et directe basée sur l'équation de l'infiltration de Kostikov et l'équation de la loi de l'avancement de type puissance prévoient d'une manière satisfaisante les volumes infiltrés observés. [5]

L'infiltration de l'irrigation superficielle est donc évaluée par une méthode simple, cependant exacte, à l'aide de deux données (avancement et temps) mesurées. L'analyse des différences entre les valeurs prédites et celles observées dans l'étude de OULHACI D [25] indique que cette solution est d'une bonne exactitude.

Les différentes étapes de détermination de la loi d'infiltration sont la détermination :

- de la loi de l'avancement
- des volumes du stockage superficiel
- des volumes infiltrés cumulés
- des coefficients de la loi de l'infiltration

III.6.1.Loi de l'avancement

Il existe plusieurs lois de l'avancement classiquement utilisées en irrigation par planches ,la plus courante est du type puissance :[17]

$$x(t) = p.t^r \quad (III-4)$$

t représente le temps d'avancement (mn) au point x (m)

p et r sont des coefficients empiriques constants.

Inversement on a :

$$t(x) = m.x^n \quad (III-5)$$

avec m et n coefficients empiriques constants.

La détermination de la loi d'avancement consiste à ajuster les mesures du terrain à cette loi. L'ajustement peut être réalisé par la méthode des deux points

ela consiste donc à ajuster p et r sur deux mesures seulement, par exemple quand $x = L$ et $x = L/2 = L_1$ ce qui reviendrait à résoudre le système suivant :

$$L_1 = ptL^r \quad (\text{III - 6})$$

$$L = ptL^r \quad (\text{III - 7})$$

La solution de ce système d'équations (III-8) et (III-9) est immédiate. Les seules données nécessaires sont les temps de passage au milieu et à l'extrémité de la planche.

$$r = \frac{\log\left(\frac{L_1}{L}\right)}{\log\frac{t_{L1}}{t_L}} \quad (\text{III - 8})$$

$$p = \frac{L}{t_L^r} \quad (\text{III - 9})$$

De la même manière on détermine les coefficients m et n.

III.6.2. Volumes stockés

La quantité d'eau stockable dépend surtout de la texture du sol : elle augmente avec la richesse en argile et diminue avec la teneur en sable. C'est à dire, plus les éléments qui composent le sol sont fins, plus grande est l'aptitude à emmagasiner l'eau.

Elle dépend aussi de l'état hydrique du sol au moment de l'irrigation, c'est à dire un sol sec absorbera plus d'eau qu'un sol humide.

A la fin de la phase de l'avancement, le volume de l'eau stockée sur la surface doit être déterminé en mesurant la hauteur de l'eau, chose qui n'est pas toujours facile à réaliser vu que :

- la hauteur est faible .
- l'eau est un peu trouble .
- l'appréciation du contact de la jauge avec le fond de la planche n'est pas sûre .
- la surface du fond n'est pas très lisse .
- le vent fait bouger les jalons et la surface de l'eau.

Dans le cas où la mesure de ce volume est imprécise ou impossible à déterminer, il sera donc préférable de procéder par estimation en utilisant une des formules existantes[17]. Pour l'estimation du stockage on utilisera la formule empirique du SCS :[19]

$$V_{S(x)} = \frac{x}{0.305} \left[(2.947) \left(Q \frac{n}{i^{1/2}} \right)^{0.753} - 0.0217 \right] \quad (\text{III - 10})$$

$V_s(x)$ est le volume stocké (l) au point d'arrivée de l'eau au point x (m)

n est le coefficient de rugosité déterminé d'après le type de sol .

S_0 est la pente longitudinale de la planche en (m/m) déterminée expérimentalement .

Q est le débit. C'est le facteur primordial qui conditionne le déroulement et le résultat d'un arrosage. Un débit régulier permet de limiter la surveillance et d'éviter de modifier les réglages en cours d'arrosage. Le débit à déverser est fonction de la pente, de la largeur et de la longueur de la planche. Un débit disposé relativement faible évite les risques de ravinements.

Le débit doit être :

- supérieur à l'infiltration totale de la planche afin que l'eau atteigne le bout de la planche .
- inférieur au débit érosif, valeur du débit qui provoque une érosion manifeste dans la raie.

Pratiquement il faut bien contrôler le débit plusieurs fois car le débit idéal diminue lorsque l'on renouvelle les irrigations, à cause de la diminution de la capacité d'infiltration due au lissage de la raie et à la chute de perméabilité du sol. C'est surtout la première irrigation qui se distingue des autres car elle exige un débit beaucoup plus grand des irrigations suivantes.

Q est le débit à l'entrée de la planche (m^3/mn).

III.6.3. Volumes infiltrés cumulés

Les volumes cumulés infiltrés pendant la phase de l'avancement se déduisent des mesures de volumes cumulés écoulés en colature et des volumes stockés en surface.

On détermine ces volumes à l'aide de la méthode du bilan en volume qui suppose implicitement que les caractéristiques de l'infiltration sont les mêmes sur toute la planche. Ces volumes permettront par la suite de déterminer la loi de l'infiltration.

On écrit l'équation du bilan en volume en fonction du temps t :

$$V_e(t) = V_i(t) + V_c(t) + V_s(t) \quad \text{(III-11)}$$

D'où
$$V_i(t) = V_e(t) - V_c(t) - V_s(t) \quad \text{(III-12)}$$

Avec :

V_i est le volume infiltré (l).

V_c est le volume écoulé en colature déterminé à l'instant où l'eau est arrêtée à l'entrée de la planche. Cependant pour l'expérimentation étudiée, les planches sont fermées ; les volumes écoulés sont donc nuls.

V_s est le volume stocké estimé en surface .(III-10)

V_e est le volume entré qui est fonction du débit en tête et du temps d'entretien à $60.Q_0.t$ (l).

Ce Volume entré est égal au volume pendant la phase d'avancement plus le volume entré pendant la phase d'entretien(Le temps d'entretien est égal au temps d'irrigation – temps de l'avancement à l'aval) .

III.6.4.Coefficients de la loi d'infiltration

La loi utilisée pour caractériser l'infiltration dans cette étude est celle de Kostiakov :

$$H(x, T_{irr}) = K T_{irr}^a - K \left[\frac{T_{irr}^a - (T_{irr} - T_{av})^a}{L^2} \right] x^2 \quad (III - 13)$$

Où

H représente l'infiltration cumulée pendant la durée t(mn), (l/m)

K, et a sont des coefficients d'ajustement :

K → constante de l'infiltration (m/min^a)

et

a → exposant de l'infiltration

a et K sont les coefficients de la loi d'infiltration que l'on doit déterminer (K : constante de l'infiltration (m/min^a) et a : exposant de l'infiltration).

t_{irr} est la durée de l'alimentation (mn) .

t_{av} est la durée de la phase de l'avancement (mn) .

L est la longueur de la planche (m).

Les valeurs de K et a se calculent comme suit :

V_L et V_{L/2} sont les volumes infiltrés observés aux temps t_L et t_{L/2}

$$a = \frac{\text{Log} \left[\frac{\alpha}{\beta} \right]}{\text{Log} \left[\frac{t_1}{\frac{t_L}{2}} \right]} \quad (III - 14)$$

$$K = \frac{\alpha \cdot (a + 1) \cdot (r + 1)}{(a + r - a \cdot r + 1) t_1^a} \quad (III - 15)$$

et

$$\alpha = \frac{V_1}{V} \quad (III - 16)$$

$$\beta = \frac{V_1}{\frac{L}{2}} \quad (III - 17)$$

III.7. Conclusion du chapitre III

A travers les données de la station météorologique de Ouargla on conclue que les températures sont caractéristiques du climat saharien avec des valeurs très élevées en été. Les valeurs de l'humidité relative de la région d'étude sont relativement homogènes. Les vents ont été fréquents toute l'année, durant la période (2008 - 2017). Généralement, il pleut rarement à Ouargla, les précipitations sont irrégulières entre les saisons et les années. Le cumul moyen annuel est de 3.27 mm. 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. Dans la région de Ouargla comme partout en milieu aride, l'évaporation est toujours plus importante sur une surface nue que sous le couvert végétal surtout en été. Cela s'explique par les fortes températures et le fort pouvoir évaporant de l'air et des vents desséchants.

La comparaison des analyses à l'entrée et à la sortie permettra de déterminer le pouvoir épuratoire de la station. Et la comparaison des caractéristiques à la sortie de la step avec les normes Algériennes, permettra de déduire la possibilité d'utilisation de ces eaux épurées pour l'irrigation. Le temps d'avancement de l'eau le long de la planche expérimentalement permettra de déterminer les doses infiltrées dans le sol.

Le temps de l'avancement permettra de déterminer d'abord les coefficient de l'infiltration et ensuite les doses infiltrées le long de la planche.

Chapitre IV :

Résultats et discussion

Introduction

1. Paramètres analysés

2. Présentation de la zone d'étude

2.1. Laboratoire de la station d'épuration

2.2 Laboratoire de l'université

2.3 Localisation géographique de la commune de Sidi Khouiled

3. Etude de l'avancement

4. Volumes infiltrés cumulés

5. Méthodologie d'irrigation

6.Méthodologie de calcul

Conclusion

IV.1.Introduction

On récapitule d’abord les analyses à l’entrée et à la sortie de la station d’épuration de Sidi Khouiled et ensuite les temps de l’avancement de l’eau le long de la planche.

IV.2 Paramètres analysés

IV.2.1 Laboratoire de la station d’épuration

On n’a pas pu réaliser les analyses des échantillons à l’entrée et à la sortie de la station au laboratoire de celle-ci par manque de produits. Le résultats ont été fournis par le service de l’ONA pour le mois de janvier 2022.

On porte sur le tableau IV.2 tous les résultats ainsi que les normes du journal officiel de 2012.

Tableau IV.1 : Résultats des analyses du mois de janvier 2022

Paramètres	Entrée	Sortie	Normes	Rendement (%)
PH	7.27	7.05	6,5 – 8,5	
T (°C)	25.60	18.50		
Salinité (mg/l)	3200	4000		
Conductivité Electrique (ds/m)	6100	7400	3	
Oxygène dissous (mg/l)	0.95	1.08	>	
MES (mg/l)	102	46	30	55
DCO (mg/l)	298	75	< 90	75
DBO5 (mg/l)	220	-	< 40	
NO2 (mg/l)		-		
NO3 (mg/l)	4		30	

Les résultats fournis sont incomplet. On ne peut conclure que :

- le rendement pour les MES est 55% et pour la DCO 75%.
- et pour normes d’irrigation la DCO est inferieure aux normes mais les MES un peu supérieure.

IV.2.2 Laboratoire de l’université

Les seules analyses effectuées sont celles effectuées au laboratoire du département génie civil de l’université de Ouargla. Les résultats sont récapitulés dans le tableau III.3 Les résultats des analyses des paramètres sont récapitulés dans le tableau N°III.3.

Tableau IV.2: Paramètres analysés

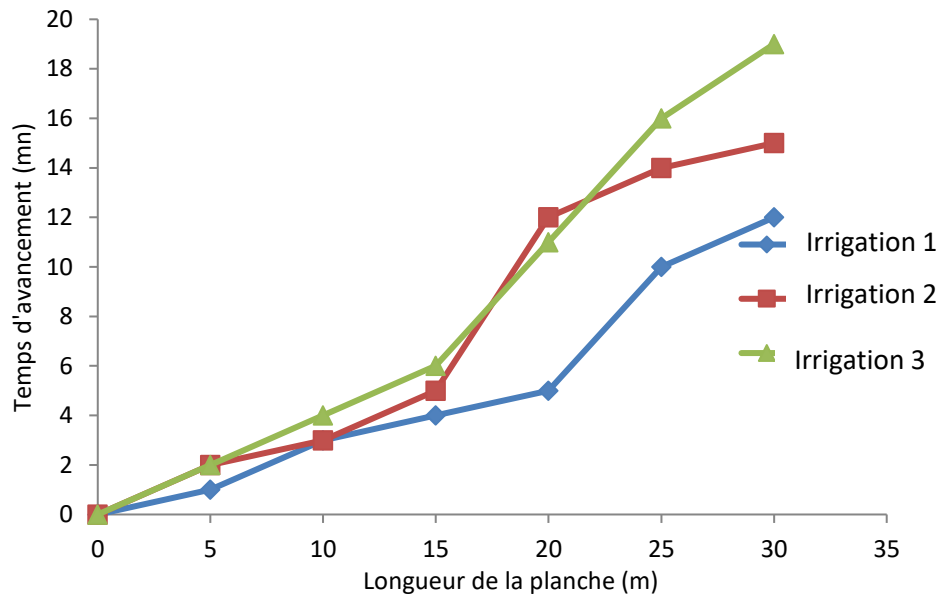
Date		28/03/22		13/04/22	
paramètre	unités	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
PH		5.08	7.22	7.6	7.37
T	F	78.94	79.5	74.33	71.60
Salinité	Psu	5.30	5.04	4.74	4.51
Turbidité	fnu	214	180	61.3	66
Conductivité	Us/cm	9032	9474	8507	9020

IV.3 Etude de l’avancement

On constate d’après le tableau III.4 du chapitre III que l’écart entre le passage de la pointe du front à une abscisse donnée et la submersion totale du fond de la planche à la même abscisse est de l’ordre de la minute. On arrondit donc arbitrairement les temps de passage aux différents jalons au nombre entier (en minute) supérieur pour tenir compte de ce décalage. Les nouvelles valeurs de l’avancement sont reportées dans le tableau IV.1 et dans le graphe IV.1 :

Tableau IV.1: Temps d’avancement de l’eau le long de la planche

Longueur sur la planche	0	5	10	15	20	25	30
Irrigation du 17/03/2022							
Temps d’avancement(mn)	0	2	4	6	11	16	19
Irrigation du 24/03/2022							
Temps d’avancement(mn)	0	2	3	5	12	14	15
Irrigation du 31/03/2022							
Temps d’avancement(mn)	0	1	3	4	5	10	12



Graph IV.1 : Temps d'avancement le long de la planche

Le graphe montre que les courbes de l'avancement ne sont pas linéaires et ont la forme d'une courbe puissance. On voit que le temps de l'avancement diminue après chaque arrosage car l'avancement dépend de l'état hydrique du sol au moment de l'irrigation, c'est à dire qu'un sol sec absorbera plus d'eau qu'un sol humide.

Les temps de l'avancement le long de la planche aux points $L=30\text{m}$ et $L/2=15$ permettent de déterminer les coefficients d'ajustement de la loi de l'avancement d'après les formules (II.5, II.6, II.7et II.8). Ces coefficients sont récapitulés dans le tableau IV.2.

Tableau IV.4: coefficients d'ajustement de la loi de l'avancement

Arrosage	t_{L1} (mn)	t_L (mn)	p	r	M	N
1	6	19	5,106	0,601	1,662	0,0664
2	5	15	5,433	0,630	1,584	0,068
3	4	12	6,255	0,630	1,584	0,054

Puis on détermine t_{av} ajusté d'après l'équation (III-2) que l'on récapitule sur le tableau IV.3.

Pour comparer les temps de l'avancement observés et corrigés on détermine les erreurs absolues AAE_i (mn) et les erreurs relatives ARE_i pour tous les points de la planche expérimentale que l'on récapitule sur le tableau IV-3.

Tableau IV.5: Valeurs observées (ob) et valeurs ajustées (aj) des temps de l'avancement.

	X (m)	0.	5	10	15	20	25	30
I	tav (ob) (mn)	0	2	4	6	11	16	19
	tav (aj) (mn)	0	2	4	6	11	16	17
	AAE(mn)	0	0	0	0	0	0	2
	ARE (%)	0	0	0	0	0	0	10,53
II	tav (ob) (mn)	0	2	3	5	12	14	15
	tav (aj) (mn)	0	2	3	5	12	13	14
	AAE(mn)	0	0	0	0	0	1	1
	ARE (%)	0	0	0	0	0	6,43	6,67
III	tav (ob) (mn)	0	1	3	4	5	10	12
	tav (aj) (mn)	0	1	3	4	5	10	12
	AAE(mn)	0	0	0	0	0	0	0
	ARE (%)	0		0	0	0	0	0

On peut conclure aussi que le modèle a calculé les temps de l'avancement correctement, à part à l'aval des deux premières irrigations avec une erreur moyenne de prédiction de 9% (pour ces deux (2) irrigations).

IV.4 Volumes infiltrés cumulés

On estime le volume du stockage d'après les équations II-9. Les valeurs de Vs sont portées sur le tableau IV-4. Les volumes infiltrés cumulés se déduisent des mesures de volumes des volumes entrants et des volumes stockés en surface à l'aide de l'équation du bilan en volume (II-11). Tous les volumes sont récapitulés dans le tableau IV.4.

Tableau IV.6: Volumes infiltrés V_i pendant la phase de l'avancement en fonction des volumes stockés estimés V_s , et des volumes entrés V_e

	X(m)	0	5	10	15	20	25	30
Tav=19mn Tirr=60mn	Vs (l)	0	18,17	36,34	54,51	72,68	90,84	109,01
	Ve (l)	0	980,40	1026,00	1071,60	1185,60	1299,60	1368,00
	Vi (l)	0	962,23	989,66	1017,09	1112,92	1208,76	1258,99
Tav=19mn Tirr=90mn	Vs (l)	0	18,17	36,34	54,51	72,68	90,84	109,01
	Ve (l)	0	1664,40	1710,00	1755,60	1869,60	1983,60	2052,00
	Vi (l)	0	1646,23	1673,66	1701,09	1796,92	1892,76	1942,99
Tav=19mn Tirr=120mn	Vs (l)	0	18,17	36,34	54,51	72,68	90,84	109,01
	Ve (l)	0	2348,40	2394,00	2439,60	2553,60	2667,60	2736,00
	Vi (l)	0	2330,23	2357,66	2385,09	2480,92	2576,76	2626,99
Tav=15mn Tirr=60mn	Vs (l)	0	18,17	36,34	54,51	72,68	90,84	109,01
	Ve (l)	0	1071,60	1094,40	1140,00	1299,60	1345,20	1368,00
	Vi (l)	0	1053,43	1058,06	1085,49	1226,92	1254,36	1258,99
Tav=15mn Tirr=90mn	Vs (l)	0	18,17	36,34	54,51	72,68	90,84	109,01
	Ve (l)	0	1755,60	1778,40	1824,00	1983,60	2029,20	2052,00
	Vi (l)	0	1737,43	1742,06	1769,49	1910,92	1938,36	1942,99
Tav=15mn Tirr=120mn	Vs (l)	0	18,17	36,34	54,51	72,68	90,84	109,01
	Ve (l)	0	2439,60	2462,40	2508,00	2667,60	2713,20	2736,00
	Vi (l)	0	2421,43	2426,06	2453,49	2594,92	2622,36	2626,99
Tav=12mn Tirr=60mn	Vs (l)	0	18,17	36,34	54,51	72,68	90,84	109,01
	Ve (l)	0	1117,20	1162,80	1185,60	1208,40	1322,40	1368,00
	Vi (l)	0	1099,03	1126,46	1131,09	1135,72	1231,56	1258,99
Tav=12mn Tirr=90mn	Vs (l)	0	18,17	36,34	54,51	72,68	90,84	109,01
	Ve (l)	0	1801,20	1846,80	1869,60	1892,40	2006,40	2052,00
	Vi (l)	0	1783,03	1810,46	1815,09	1819,72	1915,56	1942,99
Tav=12mn Tirr=120mn	Vs (l)	0	18,17	36,34	54,51	72,68	90,84	109,01
	Ve (l)	0	2485,20	2530,80	2553,60	2576,40	2690,40	2736,00
	Vi (l)	0	2467,03	2494,46	2499,09	2503,72	2599,56	2626,99

Les valeurs des coefficients K et a de la loi de Kostikov (III-10) se calculent à partir des équations (III-11) et (III-12). Les coefficients sont portés dans le tableau IV.5

Tableau IV.7: Coefficient de la loi de Kostiakov

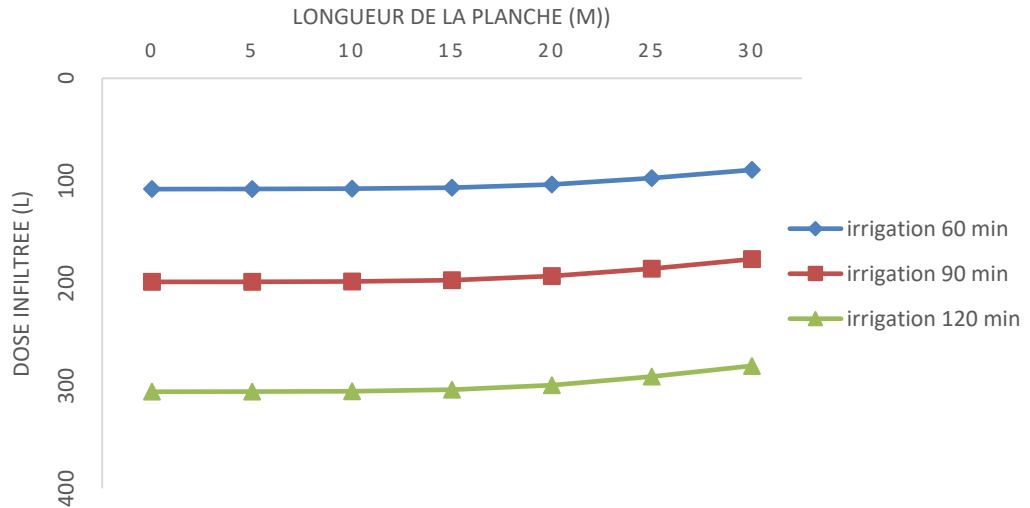
	Tav=19mn T _{L/2} =6mn			Tav=15mn T _{L/2} =5mn			Tav=12mn T _{L/2} =4mn		
Tirr mn	60	90	120	60	90	120	60	90	120
V _L l	1368	2052	2736	1368	2052	2736	1368	2052	2736
V _{L/2} l	1071,6	1755,6	2439,6	1140	1824	2508	1185,6	1869,6	2553,6
A	45,6	68,4	91,2	45,6	68,4	91,2	45,6	68,4	91,2
B	71,44	117,04	162,64	76	121,6	167,2	79,04	124,64	170,24
A	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
K	13,95	20,93	27,91	15,87	23,80	31,73	17,74	26,61	35,48

En appliquant l'équation III.10, on détermine la hauteur d'eau infiltrée que l'on récapitule sur le tableau IV.6. Puis on trace les épures des humidités pour chaque temps d'avancement.

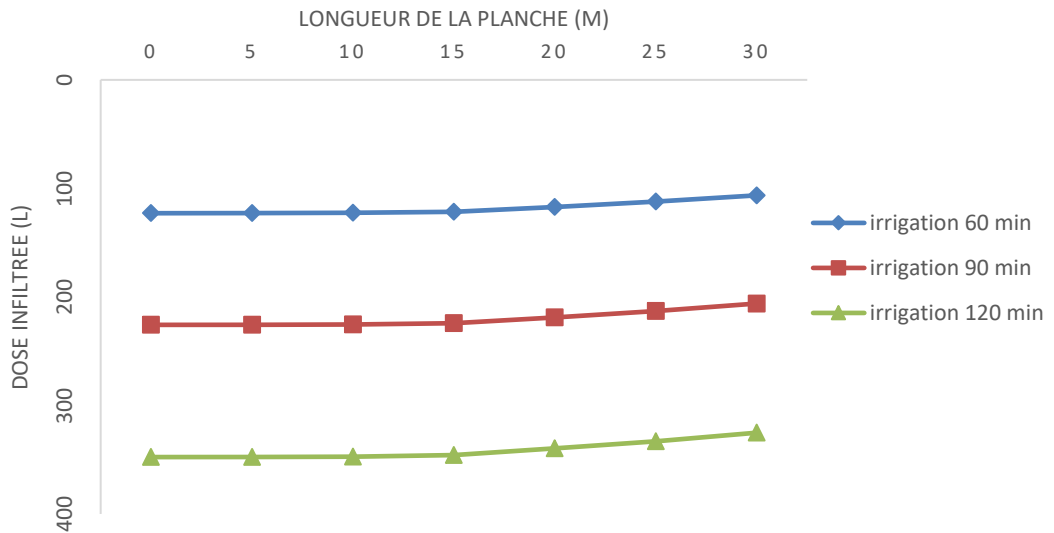
Tableau IV.8 : Hauteurs d'eau infiltrées prédites

	X (m)	0	5	10	15	20	25	30
Tirr=60mn	H mm	108,10	108,04	107,69	106,71	103,47	97,31	89,36
Tirr=90	H mm	198,58	198,52	198,09	196,90	193,01	185,73	176,38
Tirr=120	H mm	305,74	305,67	305,17	303,80	299,36	291,08	280,49
	X (m)	0,00	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00
Tirr=60mn	H mm	122,90	122,84	122,55	121,59	117,13	112,28	106,43
Tirr=90	H mm	225,77	225,70	225,35	224,18	218,84	213,06	206,10
Tirr=120	H mm	347,60	347,52	347,11	345,77	339,67	333,08	325,15
	X (m)	0,00	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00
Tirr=60mn	H mm	137,40	137,37	137,01	136,24	134,80	129,09	122,90
Tirr=90	H mm	252,42	252,38	251,95	251,00	249,26	242,40	234,99
Tirr=120	H mm	388,63	388,58	388,08	386,99	384,99	377,14	368,68

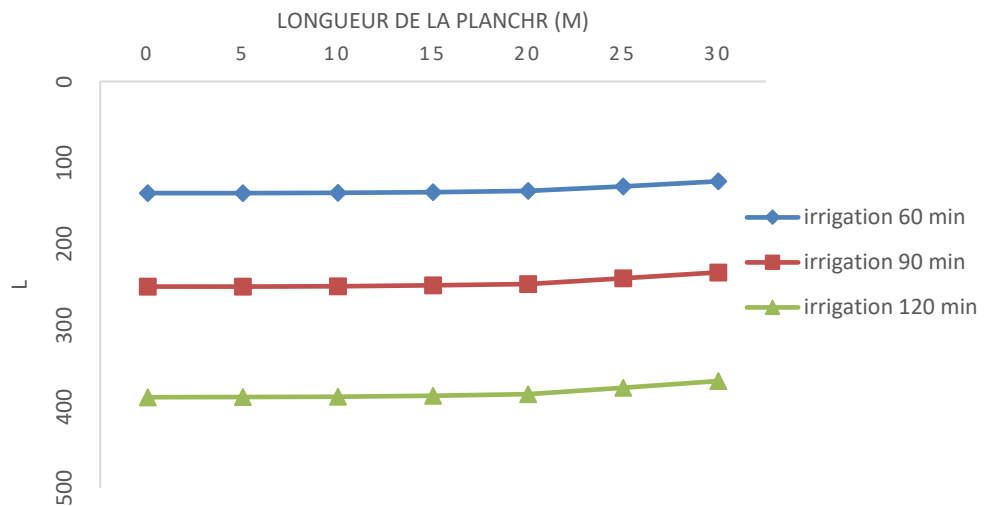
On voit sur le tableau IV.8 que les valeurs des doses reçues décroissent de l'extrémité amont à l'extrémité aval de la planche. La différence entre ces deux valeurs est variable.. On porte ces valeurs sur les graphes IV.2, IV.3 et IV.4, puis on détermine la différence entre la hauteur à l'amont H_{am} pour montrer la meilleure répartition des eaux d'irrigation. Les résultats sont donnés dans le tableau IV.7.



Graph IV.2 : Humidités pour un temps d'avancement 19mn



Graph IV.3: Humidités pour un temps d'avancement 15mn



Graph IV.4: Humidités pour un temps d'avancement 12mn

Les graphes IV.2, IV.3, IV.4 montrent que la dose infiltrée décroît de l’amont à l’aval. Elle augmente avec l’augmentation du temps d’irrigation. .

Tableau IV.9: Différence entre hauteurs d’eau à l’amont et hauteurs d’eau à l’aval pour chaque temps d’irrigation

Temps de l’avancement = 19minutes			
Temps irrigation mn	$H_{am} - H_{av}(mm)$	$H_{am} - H_{av}\%$	$H_{am} - H_{av}/L$
60	18,74	17,34	0.62
90	22,20	11,18	0.74
120	25,25	8,26	0.84
Moyenne	22.06	12.26	0.73
Temps de l’avancement = 15minutes			
Temps irrigation mn	$H_{am} - H_{av}(mm)$	$H_{am} - H_{av}\%$	$H_{am} - H_{av}/L$
60	16,46	13,40	0.55
90	19,67	8,71	0.66
120	22,45	6,46	0.75
Moyenne	19.53	9.52	0.65
Temps de l’avancement = 12minutes			
Temps irrigation mn	$H_{am} - H_{av}(mm)$	$H_{am} - H_{av}\%$	$H_{am} - H_{av}/L$
60	14,51	10,56	0.48
90	17,43	6,91	0.58
120	19,94	5,13	0.66
Moyenne	17.29	7.53	0.57
Moyenne des trois	19.63	9.77	0.65

Le tableau IV.7 montre aussi que pour un même temps d’avancement, avec l’augmentation du temps d’irrigation la différence entre les humidités à l’amont et l’aval croit en mm et au contraire celle en pour cent décroît. Donc, plus on irrigue et mieux est la répartition de l’infiltration.

On obtient donc en moyenne pour les trois irrigations 19.63 mm pour différence entre les humidités à l’amont et l’aval en mm. Soit 9.77%.

IV.3. Coefficient d’uniformité

De nombreuses méthodes permettant d’évaluer un système d’irrigation se limitent aux performances d’un événement ou de plusieurs événements [21]. Dans cette étude, on a opté pour le coefficient d’uniformité.

Après avoir quantifié les doses infiltrées le long de la planche on peut définir l’uniformité on calculant le parametre Cu est en fonction de la dose moyenne infiltrée (d_i) et de la dose nette infiltrée (d_n). Il est déterminé par la formule :

$$Cu = \frac{d_n}{d_i} \% \tag{IV.1}$$

$$d_i = (Kt_{irr}^a) \left(1 - \frac{r}{r+1} \cdot \frac{t_{av}}{t_{irr}}\right) + K \frac{r^2}{1+r} \cdot \frac{t_{av}}{t_{irr}} \text{ (l/m)} \tag{IV.2}$$

La dose moyenne infiltrée est définie par l’équation (IV-2)

a et k → sont les coefficients de la loi d’avancement .

r → est le coefficient puissance de la loi de l’avancement .

t_{av} → est la durée de la phase de l’avancement (en mn) .

t_{irr} → est la durée de l’arrosage ou irrigation (en mn).

Les valeurs de la dose d_i sont portées sur le tableau IV-1

La dose nette infiltrée correspondant à la phase d’infiltration (c-à-d entre la fin de la phase d’avancement t_{av} et l’arrêt de l’alimentation en tête t_{irr}) à l’extrémité avale (endroit qui est théoriquement le moins arrosé). Classiquement, cette dose est celle qui recharge la réserve utile du sol, elle est donc déterminée comme suit :

$$d_n = K(t_{irr} - t_{av})a \text{ (l/m)} \tag{IV-3}$$

t_{av} → est la durée de la phase de l’avancement (en mn) .

t_{irr} → est la durée de l’arrosage que l’on détermine donc pour chaque planche de façon à avoir à l’extrémité avale la dose nette d_n égale à 28mm.

Les valeurs de la dose d_n sont portées sur le Tableau IV.10

Tableau IV.10 : Doses nettes d’arrosage

Date	Irrigation le 17/03/22			Irrigation le 24/03/22			Irrigation le 31/03/22		
	temps d'avancement 19mn			temps d'avancement 15mn			temps d'avancement 12mn		
tirr(mn)	60	90	120	60	90	120	60	90	120
R	0,51	0,6	0,6	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Km/mna	13,95	20.93	27.91	15.87	23,80	31.73	17.74	26.61	35,48
A	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
di l/m	102,16	188.84	294.29	115.40	216,31	336.46	130.69	243.96	378,66
dn l/m	89.36	176.38	280.46	106.43	206.10	325.15	122.89	234.99	368.68
Cu	0,87	0,93	0,95	0,92	0,95	0,96	0,94	0,96	0,97

Le coefficient d’uniformité varie entre 0,87 et 0,97 avec une moyenne de 0,94. On peut donc conclure que l’irrigation est uniforme. On constate aussi d’après le tableau IV.8 que l’uniformité croît d’un côté après chaque irrigation et d’un autre côté avec l’augmentation du temps d’irrigation.

IV.6. Conclusion du chapitre IV

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, bettrave, olive, dattes...) surtout que la station est située au cœur de vastes terrains agricoles. L’étude de l’avancement de l’eau le long de la planche a permis de déterminer la loi de l’infiltration de Kostiakov nécessaire pour le développement du modèle mathématique. Par ailleurs les graphes de l’avancement montrent que le temps de l’avancement diminue après chaque arrosage.

Le développement du modèle a permis de déterminer les hauteurs d’eau infiltrées. Les épures de ces dernières montrent que les hauteurs d’eau diminuent de l’amont à l’aval. Les meilleure irrigation et répartition se réalisent lorsque la différence entre la hauteur de l’eau infiltrée à l’amont Ham et la hauteur d’eau infiltrée à l’aval Hav est faible soit 120mn.

le coefficient d'uniformité croît d'un côté après chaque irrigation et d'un autre côté avec l'augmentation du temps d'irrigation et varie entre 0,87 et 0,97 avec une moyenne de 0,94. On peut donc conclure que l'irrigation est uniforme.

A rectangular area with rounded corners, filled with a light-colored marbled pattern. The pattern consists of irregular, vein-like shapes in shades of gray and white, creating a textured, stone-like appearance.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La raréfaction des ressources en eau et la dégradation de leur qualité est un défi majeur pour le XXI^e siècle. Afin de préserver la qualité des masses d'eau et pour diminuer les prélèvements dans le milieu naturel, il convient de chercher des approvisionnements alternatifs. La réutilisation des eaux usées épurées, ou REUE, peut constituer l'un de ces approvisionnements.

Dans une recherche bibliographique on a présenté des généralités sur les eaux usées et cité les techniques d'épuration. Au travers de cette synthèse bibliographique on a aussi donné un aperçu sur l'irrigation superficielle.

Le site expérimental est la station d'épuration de Sidi Khouiled (Ouargla). Cette région désertique est caractérisée par un climat aride, marqué notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et des températures trop élevées d'autre part. Cette aridité se constate aussi par une forte évaporation qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la ville de Ouargla. Tous ces facteurs engendrent un stress hydrique pour les cultures ce qui nécessite donc une irrigation. D'autre part, la surexploitation des ressources en eau souterraines et l'augmentation de la pollution de l'environnement ont donné naissance à l'étude de l'utilisation des eaux épurées à partir de la Step de Sidi Khouiled pour l'irrigation des terrains agricoles avoisinants.

On a 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, bettrave, olive, dattes...) surtout que la station est située au cœur de vastes terrains agricoles.

A Ouargla, l'aspect technologique sur l'amélioration de l'irrigation superficielle, a été privilégié jusqu'à présent et la majorité des fellahs préfèrent irriguer par ruissellement. Mais tous les problèmes de l'irrigation ne sont pas résolus, car le matériel et les moyens récents permettent de déterminer le débit d'une façon précise, c'est-à-dire de connaître la dose brute correspondante à une durée d'alimentation donnée, cependant, pour cette même durée

Conclusion Générale

d'irrigation, l'uniformité de la répartition de l'humidité en profondeur est inconnue.

A cet effet, le deuxième objectif de ce travail est la détermination du processus de l'infiltration de l'eau dans le sol dans le cas de l'irrigation par planches. Le modèle de Yu et Singh basé sur l'équation Kostiakov et l'équation type puissance de l'avancement a été retenu pour la détermination de l'infiltration pendant la phase de stockage. Ce modèle nécessite l'estimation des paramètres de l'équation de l'infiltration de Kostiakov a et K , à déterminer à l'aide de la méthode des deux points.

L'avancement de l'eau le long de la planche a été déterminé expérimentalement pour les trois (3) irrigations : 19 minutes pour la première, 14 minutes pour la seconde et 12 minutes pour la dernière. Le temps de l'avancement diminue à cause de la perméabilité du sol qui augmente après chaque irrigation. Ce temps d'avancement a aussi été déterminé à l'aide de la méthode des deux (2) points pour tester la capacité du modèle choisi. L'erreur moyenne de prédiction est de 9% .

L'étude de l'avancement de l'eau le long de la planche a permis de déterminer la loi de l'infiltration de Kostiakov qui est nécessaire pour le développement du modèle mathématique. Ce dernier a permis de déterminer les doses d'irrigation infiltrées le long de la planche.

Une fois l'équation de Kostiakov déterminée, l'infiltration le long de la planche a été calculée pour les trois irrigations et représentée sur des graphiques.

Ces derniers ont montré que les valeurs des doses reçues décroissent de l'extrémité amont à l'extrémité aval de la planche. La différence entre ces deux valeurs est variable avec une moyenne pour les trois irrigations 19,63 mm (soit 9,77%). Et pour un même temps d'avancement, avec l'augmentation du temps d'irrigation la différence entre les humidités à l'amont et l'aval croît en mm et au contraire celle en pour cent décroît. Donc plus on irrigue et mieux est la répartition de l'infiltration.

De nombreuses méthodes permettant d'évaluer un système d'irrigation se limitent aux performances d'un événement ou de plusieurs événements. La qualité d'une irrigation par planche peut être caractérisée par l'uniformité. Donc après avoir quantifié les doses infiltrées le long de la planche, le coefficient d'uniformité a été déterminé. Ce dernier croît d'un côté après chaque irrigation et d'un autre côté avec l'augmentation du temps d'irrigation et varie entre 0,87 et 0,97 avec une moyenne de 0,94. On peut donc conclure que l'irrigation est uniforme.

Cette étude est avant tout expérimentale et a pour ambition de répondre à des applications pratiques mais pas immédiatement car il est nécessaire de poursuivre les expérimentations en faisant varier plusieurs paramètres d'irrigation avec plusieurs

Conclusion Générale

combinaisons.

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.

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 expérimentale soit optimale quelques recommandations sont proposées :

Eliminer aussi 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 celle 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 la 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 consiste 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 réagissent 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 locale.

The background of the slide is a light-colored marbled paper with a complex, organic pattern of grey and white veins. The text is centered on this background.

Références Bibliographiques

Références bibliographique

-B -

- [1] **BALIAN. R. BACH.J.F. &BACCELLI. F (2020)**. Synthèse. In Démographie, climat et alimentation mondiale (pp. xxxvii-liv). EDP Sciences.
- [2] **BECHAC J.P. BOUTIN P.MERCIER.B ET NUER P (1984)**. « Traitement des eaux usées » Edition EYROLLES.
- [3] **BENABAJI .N BOUAZAZ . M (2000)**. Quelques modification climatique intervenues dans le sud-ouest de l'oranie (algerie occidentale) Rev.Energ
- [4] **BERTHOUEX P. M. and FAN.Richard (1986)**. «Evaluation of Treatment Plant Performance: Cause, Frequency, and Duration of Upsets», Journal Water Pollution Control Federation, Vol.58, No. 5, pp.368-375 .
- [5] **BLAIR.A. W (1988)**. (Associate Member, ASCE) and Smerdon E.T (Member, ASCE) : infiltration from infiltration advance data. II: experimental; (journal of irrigation and drainage Engineering, vol.1144 N°1, February,. 18-29) T.
- [6] **BLUMENTHAL U.J (1989)**.«Generalized model of the effect of different control measures in reducing health risks from waste reuse», Water SciT.
- [7] **BROUWER. C (1990)**. et al. Méthodes d'irrigation. Gestion des Eaux en Irrigation. Manuel de Formation .

- C-

- [8] **CHENAFI. A (2017)**. Gestion de la contrainte de l'irrigation en goutte-à-goutte avec la double gaine enterrée sur un verger de pommier de type Gala (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).

- D -

- [9] **DANUS. P (2020)**. Un outil d'aide à la décision au service de l'agroécologie: les pratiques de conservation et de fertilisation du sol appliquées au village de Kotopounga dans la commune de Natitingou au Bénin.
- [10] **DE BORTOLI. D (2004)** . PALU, P., LAVERGNE, M. P., CUSSEY, D., SABRIER, R., COYNEL, A., ... & LESCURE, F. Relations entre qualité du substrat, flux de matières et activités humaines. Connaissance pour la gestion des ressources en eau de la Région Aquitaine.
- .
- [11] **DEGREMONT. (1978)**.Mémento technique de l'eau : 8ème édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 1200p .
- [12] **DESJARDINS .R.(1997)**. Le traitement des eaux. 2éme édition. Ed. Ecole polytechnique.
- [13] **DJERBI. M (1994)**. Récolte des dattes. Précis de phéniciculture, FAO, Tunis, , 101-109
- [14] **DUBOST .Daniel (1991)**. Pratique de l'irrigation au Sahara : (Extrait de :Ecologie,

Références bibliographique

aménagement et développement agricole des oasis algériennes : thèse de l'université de Tours.

- E -

[15] **ELHADJ. M. O (2001)**. Etude du régime alimentaire de cinq espèces d'Acridiens dans les conditions naturelles de la cuvette de Ouargla (Algérie). Sciences & Technologie. A, sciences exactes, 73-80.

- F -

[16] **F Analytical model for border irrigation** .(journal of irrigation and drainage Engineering, vol.115, N°6 Décembre,: 982-999)[37].

- G -

[17] **GALBIATI.G AND SAVI.F (1995)**. Evaluation of the comparative influence of soil hydraulic properties and roughness on overland at the local scale: (Institute of Agricultural Hydraulics, University of Milan, Via Celoria 2,20133 Milano, Italy): (journal of irrigation and drainage) Engineering Research 61(3): 183-190 .

[18] **GROSCLAUDE. (1999)**. «Milieu naturel et maîtrise »Editions Quae, - 204 pages .

- H -

[19] **HOURTICQ. J. (1970)**. Vie Départementale et Communale: La loi du 29 décembre 1969 relative à la rémunération et à l'avancement du personnel communal. La Revue administrative, 23(134), 217-223.

- K -

[20] **KELLER R.J. (2001)**.«URBAN WATRE AND WASTEWATRE SYSTEMS>>, O Introduction to Wastewater System Design and Practice, Session 3 - Hydraulics of Grit O Chambers.

[21] **KENKINS. D. (1986)**. Manual of causes and control of activated sludge bulking and Foaming, Ridgeline Press, Lafayette. CA 94549-

- M -

[22] **MAILHOL.J.C (2005)**. *Contribution à la maîtrise de l'irrigation et de ses impacts* (Doctoral dissertation, Habilitation à Diriger des Recherches, Université Montpellier II).

[23] **MESSAHEL .M. (1988)**. Irrigation au goutte-à-goutte (Régime d'irrigation) Edition O.P.U.Alger

- O -

[24] **OLLIER Ch.et POIRÉE M (1983)**. Irrigation : les réseaux d'irrigation, théorie, technique et économie des arrosages. Ed. Eyrolles. paris.455p .

[25] **OULHACI. D (2003)**. « Evaluation de l'infiltration dans l'irrigation par planches dans

Références bibliographique

la région de Ouargla » ; Thèse de magistère. Université Mohamed Khider-Biskra-

- P -

[26] **PLAUCHU (2004)**. « Economies de l'environnement » .

- R -

[27] **REBOUR. H ET DELOYE. M (1971)**. « Méthodes modernes des irrigations de surface et par aspersion » .

[28] **RODIER. J. BAZIN. C. BROUTIN. J.P. CHAMBON P. CHAMPSAUR. H. et RODIL (2005)**. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. EdDunod, Paris .

[29] **REJSEK. F (2002)**. Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques. Ed CRDP, Aquitaine. France .

- S -

[30] **SAGGAÏ. Sofiane (2008)**. « Réduction de l'évaporation des plans d'eau par les films moléculaires en zones arides ». Mémoire de Magistère, Université de Ouargla ,2008.

[31] **SAIYOURI. Nadia (2021)**. « .Méthodes d'irrigation en milieu aride. » Mémoire.

- T -

[32] **TOUTAIN. Georges (1979)**. Eléments d'agronomie saharienne. De la recherche au développement. Imp. JOUVE, Paris, 276p. Annexe b,.

- V -

[33] **VALIRON.F (1983)**. « Réutilisation des eaux usées » Edition du BRGM, ISBN 2.7159.0023.6.

- W -

[34] **WALKER.W (1989)**. Guidelines for Designing and Evaluating Surface Irrigation Systems, FAO Irrigation and Drainage Paper 45, FAO, Rome.

Sans nom :

[35] **Cemagref (Eddition 1990)**. Guide pratique de l'irrigation .

[36] **FAO** .Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture Rome,191p .

[37] Kharagpour Webcours, «< GRIT CHAMBER», Module 13, lecteur 18, 6 pages.

Sites Internet :

[38] [https://agronomie.info/fr/irrigation-gravitaire-traditionnelle/#:~:text=Arrosage%20par%20ruiss%C3%A8lement%20\(par%20planches,la%20longueur%20de%20la%20planche](https://agronomie.info/fr/irrigation-gravitaire-traditionnelle/#:~:text=Arrosage%20par%20ruiss%C3%A8lement%20(par%20planches,la%20longueur%20de%20la%20planche)

[39]https://www.pseau.org/outils/ouvrages/fao_irrigation_avec_des_eaux_usees_traitees_2003.pdf

The background of the page is a light-colored marbled paper with a complex, organic pattern of dark grey and black veins. The pattern resembles natural stone or biological tissue. The text is centered on this background.

Annexes

ANNEXE

ANNEXE N 01 :

1) BILAN DE L'AUTO-SURVEILLANCE																
Paramètres ** de l'auto-	Débit moyen (m ³ /j)	MES (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DCO (mg/l)	N-NH ₄ (mg/l)	N-NO ₂ (mg/l)	N-NO ₃ (mg/l)	NTK (mg/l)	NT (mg/l)	PO ₄ ⁻³ (mg/l)	PT (mg/l)	O ₂ dissous (mg/l)	Salinité (mg/l)	Conductivité (µS/cm)	T (°C)	pH
Entrée STEP * (Eau brute)	1 682	102,00	220,00	298,00	52,7	0,137	0,504	/	88,6			0,95	3200,00	6100,00	25,60	7,27
Nbr d'analyses / mois (Eau brute)					1	1	1	/	1							
Sortie STEP * (Eau épurée)	1 598	46,00		75,00	25,5	0,030	0,345	/	49,6			1,08	4000,00	7400,00	18,50	7,05
Nbr d'analyses / mois (Eau épurée)		1	1	1	1	1	1	/	1			1	1	1	1	1

2) RENDEMENTS EPURATOIRES										
Paramètres	MES (Kg/j)	DBO ₅ (Kg/j)	DCO (Kg/j)	N-NH ₄ (Kg/j)	N-NO ₂ (Kg/j)	N-NO ₃ (Kg/j)	NTK (Kg/j)	NT (Kg/j)	PO ₄ ⁻³ (Kg/j)	PT (Kg/j)
Charge Entrée STEP (Eau brute)	172	370	501	89	0	1	#VALEUR!	149	0	0
Charge Sortie STEP (Eau épurée)	73	0	120	41	0	1	#VALEUR!	79	0	0
Rendements Épuratoires (%)	54,90	100,00	74,83	51,61	78,10	31,55	#VALEUR!	44,02	#DIV/0!	#DIV/0!

ANNEXE

ANNEXE N 02 :



ANEXXE

ANNEXE N 03 :

