

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE- ARBAOUI Abdellah -

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option : Conception des systèmes d'irrigation et drainage

THEME :

**DIAGNOSTIC DES INDICATEURS DE
PERFORMANCES HYDRAULIQUES EN IRRIGATION
LOCALISEE A PARTIR DES EAUX USEES EPUREES
DE LA STEP DE HAJOUT (W.TIPAZA)**

Présenté par :
M^r BELILITA YUCEF

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M^r T.KHETTAL	M.C.A	President
M^{me} O.AZIEZ	M.A.A	Examinatrice
M^{me} D.DJODAR	M.A.A	Examinatrice
M^r D.KOLIAI	Ing. En chef	Examinateur
M^{me} S.LEULMI	M.A.A	Examinatrice
M^r M.N.CHABACA	M.C.A	Promoteur

Septembre-2013

Remerciements

Au terme de cette étude qu'il me soit permis d'exprimer ma profonde gratitude envers tous ceux qui m'ont apporté leur aide.

Je tiens à remercier chaleureusement, Mon promoteur **Mr CHABACA M.N** qui 'a bien voulu m'encadrer durant ce mémoire de fin d'études, et qui a assuré la direction et l'orientation scientifique de ce travail. Je lui exprime mes vifs remerciements et ma sincère gratitude,

- Monsieur **KHATTAL** qui m'a fait l'honneur de présider ce jury.
- Madame **O. AZIEZ** qui m'a fait l'honneur de bien vouloir juger ce travail.
- Madame **D.DJOUJAR** qui m'a fait l'honneur de bien vouloir juger ce travail.
- Monsieur **D. KOLIAI** qui m'a fait l'honneur de bien vouloir juger ce travail.
- Madame **S.LEULMI** qui m'a fait l'honneur de bien vouloir juger ce travail.

Enfin, mes derniers remerciements mais non les moindres s'adressent à tous le corps enseignant et le personnel de l'E.N.S.H, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ma formation.

DEDICACE

Je dédie ce travail en signe de reconnaissances et de gratitude :

D'abord à ma mère pour son soutien immense qu'elle n'a pas cessé de m'apporter. Ainsi que les conseils qu'elle me prodigue. J'avoue que sans elle, je ne serai pas ce que je suis aujourd'hui.

A mon père, pour ces conseils, son soutien matériel et moral et pour tout ses efforts et les faveurs qu'il m'a accordé et qui m'ont donné la volonté de réaliser et de finir ce travail

A mes frères : ZOUBIR ET SOFIANE

A mes sœurs.

A tous mes amis : YACINE, CHAREF, MINOR, RAMI, DJABER, HAMZA18, LAKRIZ, HAMZA43, HAMZA34, MOSAAB, MIDA, AMINE, TALAL, LARADI, RAMZI, et sans oublier les amis d'enfance : BASSIT, HADJ, BOUBAKER, NASSIM, CHALIL, ABDELLAH, M3A3AYECHE, WALID, LAHCEN

A tous et à toutes, je dédie ce travail

ملخص::

هذا العمل أقيم في المستثمرة الفلاحية بولاية تيبازة، الهدف منه هو توضيح مؤشرات الكفاءة لأنظمة السقي بالمياه المعالجة في محطة التصفية ببلدية حجوط، من خلال تدوين ملاحظات وأيضاً استجابات حول طريقة السقي أولاً وثانياً من أجل استخلاص نتائج خاصة بدرجة أداء وكفاءة أنظمة الري ومقارنتها. من خلال النتائج يبدو أن النظام المستعمل (بالتقطير) يظهر وجود ضعف في أداة السقي الموضوعي ولذلك فإن التوزيع غير منتظم مع انسداد ملحوظ للشبكة (ثقوب)، علماً أن نوعية المياه المعالجة من طرف المحطة مطابقة للمعايير الجزائرية والدولية، هذا من جهة ومن جهة أخرى نجد أن هناك ضعف تسيير على مستوى إدارة وتنظيم السقي.

Résumé :

Ce travail a été réalisé dans la parcelle située a la wilaya de Tipaza, il a pour objectif de dégager les indicateurs des performances des systèmes d'irrigation à partir des eaux usées épurées de la STEP de Hadjout, dans le but de faire des constats sur les dispositifs, du degré de performance de système d'irrigation (localisé) utilisé et les comparés avec les normes.

A travers les résultats obtenus, il apparaît que le débit des goutteurs est faible, donc une uniformité de distribution médiocre avec un colmatage élevé du réseau, même si la qualité des eaux épurées correspond aux normes nationale et internationale, d'une part, et d'autre part nous avons constaté une mauvaise gestion au niveau de la conduite et le pilotage de l'irrigation.

Abstract:

This work aims to identify indicators of performance of irrigation systems from treated wastewater of Hadjout, in wilaya of Tipaza, it aims to also devise, the level of performance of irrigation system (localized) used and compared with the standards.

Through the results, it appears that the flow emitters is low, so a poor distribution uniformity with high clogging the network, although the quality of treated water is relevant to national and international standards moreover, there is mismanagement in the conduct and management of irrigation.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
CHAPITRE I: Généralités sur les eaux usées épurées dans le monde et en Algérie	
Introduction	2
I-1. Objectifs de la réutilisation des eaux usées	2
I-2. Historique de la réutilisation des eaux usées	2
I-2-1. Les exemples de la réutilisation dans le monde.....	3
I-2-1-1. En Amérique	3
I-2-1-2. L'Europe du Nord.....	4
I-2-1-3. Le bassin méditerranéen	4
I-2-1-3-1. La Grèce	4
I-2-1-3-2. La Tunisie	5
I-2-1-3-3. Israël	5
I-2-1-4. Australie.....	5
I-2-1-5. En Chine et en Inde.....	5
I-3. La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie.....	5
I-3-1. Situation des stations d'épurations	6
I-3-2. Perspectives de réutilisation des eaux usées épurées en agriculture.....	6
I-4. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées	7
I-4.1 Le risque microbiologique	7
I-4-2. Le risque chimique.....	8
I-4-3. Le risque environnemental.....	10
I-5. Origine des eaux usées	10
I-5-1. Les eaux usées domestiques	11
I-5-2. Les eaux pluviales.....	11
I-5-3. Les eaux usées industrielles.....	11
I-5-4 les matières de vidange	11
I-6. Composition des eaux usées	11

SOMMAIRE

I-6-1. Microorganismes	12
I-6-2. Matières en suspension et matière organique	13
I-6-3. Substances nutritives.....	13
I-6-4. Éléments traces	14
I-6-5. Salinité	14
Conclusion.....	14
Chapitre II : Présentation de la STEP de Hadjout	
Introduction	15
II-1. Présentation de la STEP de Hadjout.....	15
II-1-1. Localisation	15
II-1-2. Les procédés de traitement des eaux usées.....	16
II-1-2-1. Prétraitement et traitement primaire	16
a. Dégrilleur grossier	16
b. La station de relevage.....	16
c. Dégrillage fin :	17
d. Dessableur-déshuileur :	17
II-1-2-2. Traitement secondaire.....	18
a. Traitement biologique	18
b. Traitement des boues.....	21
II-2. Etude des analyses	21
II-2-1. Objectif de traitement	21
II-2-2. Définition de la pollution à traiter	22
II-2-3. Les analyses obtenues par le laboratoire de la STEP de Hadjout.....	22
II-2-3-1. Les paramètres de pollution analysés.....	22
II-2-3-2. Interprétation des résultats d'analyses	24
a. Matière en suspension (MES)	24
b. Demande biologique en oxygène (DBO5)	24
c. Demande chimique en oxygène (DCO)	25
d. Conductivité	26

SOMMAIRE

e. La température et le PH.....	26
f. Les autres paramètres du Tableau II-6.....	27
II-2-3-3. Les analyses des autres paramètres physico-chimiques	27
II-2-4. Considérations générales sur la qualité d'eau d'irrigation	27
II-2-5. Classification des eaux d'irrigation	28
II-2-5-1. Classification mondiale de la FAO.....	29
II-2-5-2. Classification USSL (United States Salinity Laboratory)	29
a. Classification selon la salinité de l'eau CE	30
b. Classification selon le risque d'alcalinisation SAR	30
Conclusion.....	31

CHAPITRE III : Paramètres de dimensionnement du réseau d'irrigation localisée

Introduction	32
III-1. Présentation de l'exploitation étudiée.....	32
III-1-1. Localisation et justification de choix.	33
III-1-2. Données climatiques	33
III-1-2-1. Pluviométrie	33
III-1-2-2. Températures.....	33
III-1-2-3. Le vent.....	34
III-1-2-4. L'humidité relative de l'air	34
III-1-2-5. Insolation.....	35
III-1-2-6. Diagramme Ombrothermique de Gaussen	35
III-2. Caractéristiques du sol	36
III-2-1. Analyse granulométrique :	37
III-2-2. Densité apparente (Da) :.....	37
III-2-3. Analyse du sol selon L'ANRH	37
III-3. Les ressources en eau	37
III-4. La culture en place	38
III-5. Les besoins en eau.....	39

SOMMAIRE

III-5-1.Calcul de l'évapotranspiration	39
III-5-2.Calcul du besoin en eau d'irrigation pour la culture	40
III-6.Présentation du réseau d'irrigation localisée.....	41
III-6-1.La conduite principale.....	42
III-6-2.La porte – rampe	42
III-6-3. Les Rampes (Les gaines)	42

CHAPITRE IV : Etude des performances de l'équipement

Introduction	43
IV-1.Indicateurs des performances.....	43
IV-1-1.Energie consommée par mètre cube pompé	43
IV-1-2.Taux d'utilisation de l'eau à l'exploitation.....	43
IV-1-3.Taux d'intensification.....	43
IV-1-4.Taux d'occupation	43
IV-1-5.Consommation moyenne à l'hectare	44
IV-1-6.Consommation moyenne de l'exploitation.....	44
IV-1-7.Coût de l'eau.....	44
IV-1-8.Taux de recouvrement des frais d'exploitation	44
IV-1-9.Taux d'équipement	44
IV-2.performances de système d'irrigation.....	45
IV-2-1.Temps de remplissage du réseau.....	45
IV-2-3.Détermination de l'uniformité de distribution	45
IV-2-3.Détermination du débit de la rampe	47
IV-2-4.Détermination du débit linéaire	47
IV-2-5. Mesure de la pression.....	48
IV-2-6.Détermination du taux de colmatage au niveau des goutteurs.....	48
IV-2-7. Détermination de la dose ramenée durant l'irrigation	48
IV-2-8.Détermination des besoins en eau sur terrain de l'haricot vert.....	48
IV-2-9. Suivi de la teneur en eau du sol :	49
a. Stock d'eau 24 h avant et après irrigation.....	49

SOMMAIRE

b. Efficience d'application	50
Conclusion	50

CHAPITRE V : Présentation des résultats

Introduction :	51
V-1. Indicateurs des performances de l'exploitation	51
V-2. Performance du système d'irrigation	52
V-2-1. Temps de remplissage du réseau	53
V-2-2. Détermination de l'uniformité de distribution	53
V-2-3. Débit de la rampe	55
V-2-4. Détermination du débit linéaire	55
V-2-5. Mesure de la pression	57
V-2-6. Détermination du taux de colmatage au niveau des goutteurs	57
V-2-7. Dose ramenée pour une irrigation	59
V-2-8. la dose réellement l'haricot vert sur le terrain	59
V-2-9. Suivi de teneur en eau dans le sol et mesure de l'efficience d'application	60
V-2-9-1. Calculs des teneurs en eau	60
V-2-9-1-1. Calculs des teneurs en eau avant irrigation	60
a. calcul des stocks:	60
b. calcul des teneurs en eau	60
V-2-9-1-2. Calculs des teneurs en eau après irrigation	61
a. calcul des stocks	61
b. calcul les teneurs en eau	61
V-2-9-2. Calcul de l'efficience d'application	62
Conclusion	62
Conclusion générale	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Perspectives de traitement et de la réutilisation des eaux usées en irrigation.	7
Tableau II-1 : la pollution des eaux brutes de la STEP	15
Tableau II-2 : Les débits à l'entrée de la STEP selon la conception	15
Tableau II-3 : Normes de rejets pour l'irrigation (Normes Algériennes)	20
Tableau II-4 :Caractéristique de l'eau a l'entée de la STEP	21
Tableau II-5 :Récapitulatif des résultats de laboratoire de la STEP de Hadjout pour les eaux brutes de l'année 2012	21
Tableau II-6 : Récapitulatif des résultats de laboratoire de la STEP de Hadjout pour les eaux épurées de l'année 2012	22
Tableau II-7 : Les normes de rejet en Algérie	22
Tableau II-8 : Les résultats des analyses obtenus à la sortie de la STEP.....	26
Tableau III-1 : analyse granulométrique de la parcelle	36
Tableau III-2 : Densité apparente de la parcelle.....	36
Tableau III-3 : résultats analytiques du sol.....	37
Tableau III-4 : Besoins en eau d'haricot vert	39
Tableau III-5 : Tableau récapitulatif des besoins totaux en eau.	40
Tableau V-1 : les charges d'irrigation dans la parcelle	51
Tableau V-2 : Résultats de mesures du débit des goutteurs	52
Tableau V-3 : Calcul du débit et du coefficient d'uniformité du réseau.....	55
Tableau V-4 : Résultats de mesures du débit linéaire	56
Tableau V-5 : Pression de différentes gaines	57
Tableau V-6 : Taux de colmatage dans les gaines perforées	58
Tableau V-7 : Comparaison entre les paramètres mesurés et les normes	58
Tableau V-8 : Pluies efficaces.....	59
Tableau V-9 : Calcul des stocks avant irrigation (haricot vert)	60
Tableau V-10 : Calcul des teneur en eau avant irrigation (haricot vert)	61
Tableau V-11 : Calcul des stocks apres irrigation (haricot vert).....	61
Tableau V-12 : Calcul des teneur en eau apres irrigation (haricot vert)	61

LISTE DES FIGURES

Figure I-1: Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines	3
Figure I-2 : Classification des métaux lourds en fonction des risques et de l'intérêt agronomique...9	
Figure II-1 : Emplacement de la STEP de Hadjout.	14
Figure II-2 : Dégrilleur grossier.....	15
Figure II-3: Station de relvage de la STEP de la ville de Hadjout.....	16
Figure II-4: Dégrillage fin	16
Figure II-5: Dessablage / déshuilage de la STEP de la ville de Hadjout	16
Figure II-6: Le classificateur des sables	17
Figure II-7: Les bassins de déphosphoration- dénitrification	18
Figure II-8: Bassin d'aération.....	18
Figure II-9: bassin répartiteur	18
Figure II-10: Décanteur secondaire	19
Figure II-11: Recirculation des Boues.....	19
Figure II-12: Bassin de désinfection.....	20
Figure II-13: Epaisseur de boues (à gauche);Déshydrations mécanique (à droite) de la STEP de la ville de Hadjout	20
Figure II-14: Comparaison entre la MES des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012....	23
Figure II-15: Comparaison entre la DBO5 des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012 .	24
Figure II-16: Comparaison entre la DCO des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012	24
Figure II-17: Comparaison entre la conductivité des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012.....	25
Figure III-1: Position de l'exploitation étudiée.....	31
Figure III-2 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) au niveau du barrage de <i>Boukourdene</i> (1987-2011).....	32
Figure III-3: Températures moyennes des minima, des maxima et des moyennes mensuelles.	32
Figure III-4: vitesses mensuelles du vent au niveau de la station météorologique du barrage de <i>Boukourdene</i> (1987-2011).....	33
Figure III-5: Moyennes mensuelles de l'humidité relative (%) au niveau du barrage de <i>Boukourdene</i>	33
Figure III-6: Ensoleillement en heures.....	34
Figure III-7 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen.....	34
Figure III-8: sonde à trou de tarière.....	35
Figure III-9: Etuve.....	35
Figure III-10: Balance de précision.....	35
Figure III-11: La culture en place dans l'exploitation.....	37

LISTE DES FIGURES

Figure III-12: représente l'ETM et les besoins d'irrigations.....	40
Figure III-13: Moto-pompe utilisée.....	40
Figure III-15: Schéma représentatif du réseau d'irrigation localisée de la parcelle	41
Figure IV-1: Schéma représentatif des points de mesure des débits des goutteurs et les pression.	45
Figure IV-2: Mesure du débit des goutteurs.	47
Figure IV-3: Mesure du débit linéaire.....	47
Figure IV-4: Mesure de pression à l'aide d'un manomètre.	48
Figure V-1 : Schéma représentatif de la parcelle à étudier	53
Figure V-2 : débit linéaire moyen des goutteurs	56
Figure V-3 : Pression mesurée (bars).....	57

LISTE DES PLANCHES

PLANCHE N° 1..... PLAN DE SITUATION DE LA STEP DE HADJOUT (W.TIPAZA)

PLANCHE N° 2..... PLAN DE SITUATION DE L'EXPLOITATION (W.TIPAZA)

PLANCHE N° 3..... PROFIL EN LONG DE LA CONDUITE PRINCIPALE DE LA
PARCELLE (W.TIPAZA)

PLANCHE N° 4..... SCHEMAS EXPLIQUATIF DES PROFILS PEDOLOGIQUES DU
PERIMETRE DU SAHEL ALGEROIS OUEST SECTEUR IV
(W.TIPAZA)

PLANCHE N° 5..... SCHEMAS EXPLICATIF DU RESEAU D'IRRIGATION
LOCALIEE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est universellement reconnue comme une ressource vitale, rare précieuse et donc stratégique. L'Algérie connaît depuis quelques décennies de longues périodes de sécheresse caractérisées par une pluviométrie insuffisante et une hétérogénéité dans le temps et l'espace.

Les contraintes du climat, la croissance démographique et les transformations économiques et sociales sont à l'origine d'une demande en eau sans cesse croissante. Parallèlement, le recours à l'irrigation est devenu une nécessité, étant donné l'importance du déficit hydrique climatique et l'intensification de l'agriculture. Or, face à ces demandes, les ressources en eau sont rares et insuffisantes. Ainsi, pour satisfaire l'ensemble des besoins en eau du pays et afin de réserver les eaux de bonne qualité à l'alimentation en eau potable, une des solutions serait d'utiliser des eaux de qualité marginale en agriculture. Dans ce contexte, l'utilisation des eaux usées épurées est devenue une nécessité et il faut qu'elle fasse partie intégrante de la stratégie de mobilisation de toutes les ressources disponibles.

Pour permettre de couvrir les différents aspects de la réutilisation, il convient de préciser la faisabilité de la réutilisation. Certaines questions, d'ordre agronomique et sanitaire, demandent à être maîtrisées afin de prévenir les risques de pollution et de contamination qui peut limiter cette utilisation à grande échelle et à long terme.

L'utilisation de ces eaux usées épurées à grande échelle et à long terme sur des terres agricoles nécessite qu'on précise les conditions pour la rendre optimale. Il s'agit entre autres d'élargir la gamme des cultures utilisées, d'adapter les systèmes d'irrigation à la qualité des effluents et à la culture irriguée et d'ajuster la fertilisation aux besoins des cultures.

Dans le présent travail, nous nous intéressons à la question de la performance de l'irrigation en étudiant une exploitation agricole dans la Mitidja ouest. Cette plaine, vu son histoire et son haut potentiel productif, constitue depuis longtemps un important pourvoyeur de produits agricoles non seulement pour la capitale, mais aussi pour les autres régions du pays.

En abordant ce travail, trois objectifs principaux étaient fixés :

- ◆ Evaluation des dispositifs de réutilisation des eaux usées épurées en agriculture dans la Mitidja ouest ;
 - ◆ de dégager les indicateurs de performances de l'exploitation et les systèmes d'irrigation utilisés ;
 - ◆ Faire une comparaison entre la pratique des irrigants et les normes recommandées.
- Pour ce faire, le présent travail s'articule plusieurs chapitres élaborés :

Dans le premier chapitre, nous présentons les eaux usées épurées dans le monde et en Algérie. et dans le deuxième chapitre, nous présentons la STEP de Hadjout, et nous mettons le matériel utilisé et les méthodes de travail et aussi étudie les analyses des eaux épurées. et après dans le troisième chapitre nous parlons de paramètres de dimensionnement du réseau d'irrigation localisée, en suite étudie des performances de l'équipement dans le quatrième chapitre, enfin nous présenterons et interpréterons les résultats expérimentaux accumulés le long de notre étude en les comparons avec les normes.

Chapitre I:

*Généralités sur les eaux usées
épurées dans le monde et en Algérie*

Introduction

On appelle réutilisation des eaux usées le second usage qui pourrait être fait de ces eaux une fois qu'elles sont épurées. Le second usage est, la plupart du temps, différent du premier. La réutilisation peut être réalisée de deux manières :

- ♦ La réutilisation directe : qui correspond à l'emploi immédiat des eaux usées, après épuración ; sans passage ni dilution de ces eaux dans le milieu naturel.
- ♦ La réutilisation indirecte : qui correspond à l'emploi des eaux usées épurées, après leur rejet et dilution dans le milieu naturel (cours d'eau, barrage, nappe d'eau souterraine....).

La définition stricte de la réutilisation exclut donc le recyclage. Il s'agit, dans ce cas d'une réutilisation interne des eaux dans un cycle de production dans le but du contrôle de pollution et de l'économie des ressources en eau. Le recyclage est en conséquence l'affaire de l'utilisation initiale.

I-1. Objectifs de la réutilisation des eaux usées

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu environnant. Par définition, cette réutilisation est une action planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques.

En effet, les volumes d'eau issus des traitements sont, en grande partie destinés vers le domaine agricole, vu sa demande en eau élevée. Les besoins industriels (centrales nucléaires, centrale hydroélectrique, les usines de fabrication d'acier, ...) pour le refroidissement de moteurs des machines, peuvent être couverts.

I-2. Historique de la réutilisation des eaux usées

Les effluents urbains, ont été depuis longtemps, utilisés pour la production agricole (champ d'épandage du 19^{ème} siècle, en Angleterre, Allemagne, région parisienne).

A partir de 1910 sous l'influence de l'extension urbaine, et les nuisances générées par l'épandage d'eaux brutes, la pratique est entrée en régression sans que ce déclin soit dû à des considérations sanitaires objectives et précises. [1]

Au milieu du siècle, une meilleure compréhension des phénomènes biologiques et physico chimiques qui président au processus de l'évolution et de la dégradation de la matière organique, a favorisé, dans les pays industrialisés, des techniques épuratoires, qui avaient pour but de protéger le milieu naturel et en particulier, les cours d'eau récepteurs.

Ces techniques ont été ensuite, peu à peu, utilisées pour le recyclage direct ou indirect, dans les pays semi arides, à déficit hydrique chronique. [1]

C'est ainsi que les Etats comme la Californie, l'Arizona (USA) ont développé à partir des années soixante et, plus radicalement, ces deux dernières décennies, l'irrigation avec les eaux résiduaires, après traitement physico-chimique et biologique.

CHAPITRE I Généralités sur les eaux usées épurées dans le monde et en Algérie

Aux Etats Unis, un milliard de mètre cube était recyclé annuellement en 1975, dont 60% pour l'agriculture (7 milliards pour l'année 2000). En Californie environ 180 millions de mètre cube par an étaient réutilisés dans l'agriculture en 1975. [1]

Des pays du bassin méditerranéen ont suivi rapidement l'exemple : Espagne, Grèce, Palestine, Tunisie (2000ha irrigués à partir des eaux usées épurées près de Tunis) (Puil C, 1998).

La figure suivante résume les principales voies de réutilisation dans les pays ayant une expérience significative dans ce domaine.

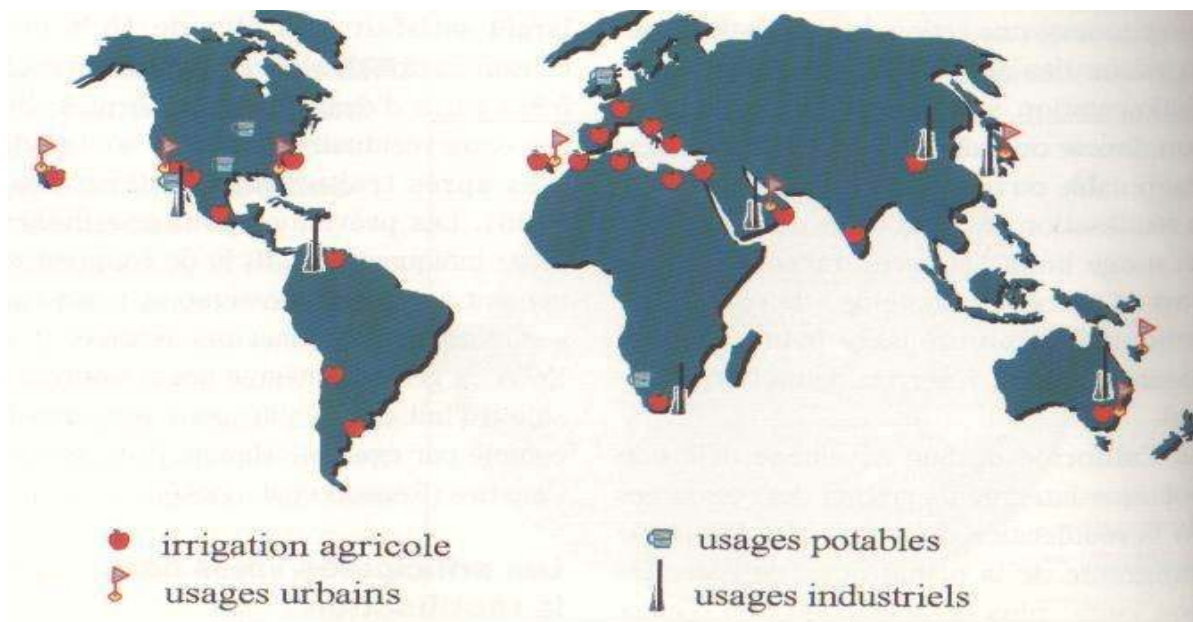


Figure I-1: Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines

I-2-1. Les exemples de la réutilisation dans le monde

La réutilisation des eaux usées à des fins agricoles connaît une large expansion de par le monde. Pour bien fixer les idées nous donnerons à titre illustratif le cas de certaines régions.

I-2-1-1. En Amérique

La réutilisation aux fins d'agrément est pratiquée depuis 1955 aux Etats-Unis. Outre l'arrosage de parcs, de parcours de golf et de jardins publics, on peut souligner comme exemple singulier la création de lacs artificiels alimentés en tout ou partie par des eaux usées épurées. Des études publiées en 1994 ont montré que les traitements poussés des eaux usées par des procédés à membranes étaient appropriés pour respecter les réglementations. (M. Trad. Raïs et al, Sept 2003)

CHAPITRE I Généralités sur les eaux usées épurées dans le monde et en Algérie

En effet, les réglementations concernant la réutilisation aux Etats Unis sont très sévères, par exemple, 2,2 coliformes fécaux par 100 millilitres en 1993 (Etat de Californie).

Ce qui est très loin de la réglementation imposée par l'organisation mondiale de la santé (OMS) qui est de 1000 coliformes fécaux par 100 millilitres. Dans ce pays 34 états disposent des réglementations ou des recommandations relatives à l'utilisation des eaux usées à des fins agricoles. [7]

Sur le continent américain, cette pratique est également réalisée dans plusieurs pays d'Amérique du Sud ainsi qu'au Mexique. par exemple, la ville de Mexico utilise les effluents traités par ses 16 stations d'épuration pour l'irrigation des parcs, des jardins publics et des équipements de loisirs. Il faut souligner que seulement 6% des eaux usées brutes sont épurées. En 1996, les eaux usées brutes de Mexico étaient encore utilisées en irrigation agricole et notamment dans le cadre du plus grand plan d'irrigation du monde (irrigation de 85000 hectares de maïs, d'orge et de tomates).

Mais les critères sanitaires de la législation mexicaine concernant l'utilisation des eaux usées en agriculture ont été modifiés et reprennent désormais les recommandations de l'OMS (FAO, septembre 2003).

I-2-1-2. L'Europe du Nord

En Europe du nord, l'épandage des eaux usées était une tradition. Cette pratique qui datait de très longtemps est sur le point de disparaître avec l'avènement des nouvelles technologies de traitement. Ainsi, en Grande Bretagne, la recharge des nappes par des eaux usées traitées constitue une forme de recyclage des eaux. En Allemagne est également concernée par l'irrigation avec des eaux usées urbaines. Dans ce pays on utilise les eaux usées urbaines servent pour l'irrigation de céréales, de betteraves, de pomme de terre ou des prairies.

On peut aussi citer l'exemple de la Hongrie où 200 millions de mètres cubes d'eaux usées ont été utilisées en 1991 pour l'irrigation de diverses cultures, de prairies, de rizières et de peupleraies. (M. Trad Raïs et al, Septembre 2003).

I-2-1-3. Le bassin méditerranéen

La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé, et est aujourd'hui une pratique largement répandue sur le pourtour sud de la Méditerranée, de l'Espagne à la Syrie. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. Par conséquent c'est l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée (Puil.C 1998).

I-2-1-3-1. La Grèce

La Grèce a développé dès 1996, une stratégie de réutilisation des eaux usées. Dans la ville d'Athènes, l'usage des eaux usées traitées dans l'irrigation des cultures est prédominant, près de 71% des volumes. Ces eaux sont également utilisées dans le domaine

CHAPITRE I Généralités sur les eaux usées épurées dans le monde et en Algérie

de l'industrie et pour l'alimentation des chasses d'eau. Dans ce pays les eaux usées subissent un traitement un peu poussé, après la filière biologique, les eaux passent à travers un filtre à sable, elles sont ensuite conduites dans des bassins de désinfection par chloration. Ces faits permettent d'obtenir une qualité de l'eau sans préjudice sur le milieu récepteur.

I-2-1-3-2. La Tunisie

La Tunisie est le premier pays de l'Ouest méditerranéen à avoir adopté des réglementations en 1989 pour la réutilisation de l'eau usée épurée. On compte environ 6400hectares irrigués par les eaux usées traitées dont presque 70% sont situés autour de Tunis, lieu de production des eaux usées. Les cultures irriguées sont les arbres fruitiers (citrons, olives, pommes, poires etc.).

I-2-1-3-3. Israël

En Israël, la réutilisation totale des eaux usées en agriculture est un objectif déclaré de la politique nationale d'exploitation des ressources en eau. Dans ce pays, quelque 250 projets d'irrigation utilisant plus de 70 % du total des effluents urbains, ont été réalisés.

La stratégie de protection de la santé repose sur le traitement minimal des eaux usées en bassins de stabilisation et sur la restriction des cultures, limitées essentiellement au coton et aux plantes fourragères [6]

I-2-1-4. Australie

L'Australie est un continent sec. L'intensité des précipitations est très variable dans l'espace puisqu'un quart du continent concentre 80% des précipitations. Le plus ancien périmètre irrigué au monde se trouve à Melbourne (créé en 1897) et il comporte 4000 ha.

I-2-1-5. En Chine et en Inde

La Chine et l'Inde, deux pays très peuplés et qui risquent d'être en stress hydrique dans la prochaine décennie, pratiquent à grande échelle la réutilisation des eaux usées en irrigation agricole. Pour l'ensemble des villes chinoises, on compte 1 330 000 ha irrigués par les eaux usées. Pour l'Inde, le total s'élève à 73000 ha (Mara et Cairncross, 1991).

I-3. La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie

Les ressources en eau en Algérie sont limitées, vulnérables et inégalement réparties. Pour une population de 38 millions d'habitants, les ressources renouvelables en eau sont de 550 m³/an par habitant. Cette moyenne est très faible comparée à la moyenne des pays du Moyen Orient et de l'Afrique du Nord qui est de 1,250 m³ ou à la moyenne mondiale qui est de 7,500m³. Le seuil de la rareté de l'eau est de 1000 m³/an/habitant, de ce fait, l'Algérie est un pays où l'eau est rare. Dans ces conditions déficitaires en ressources en eau, le secteur de l'agriculture est le plus gros demandeur en eau. [2]

I-3-1. Situation des stations d'épurations

Au cours de ces dernières années, le Ministère des Ressources en Eau entrepris la mise en œuvre d'un important programme d'investissement concernant la réalisation et la réhabilitation de STEP.

Les STEP conçues, répondent aux critères imposés par le Ministère des Ressources en Eau et qui consistent à :

- ♦ Protéger les eaux des retenues existantes contre la pollution et l'eutrophisation ;
- ♦ Protéger le littoral et les zones de baignades.

❖ STEP à boues activées

Cent une STEP seront en service. Les capacités installées pour le traitement des eaux usées varient de 200 m³/j pour l'agglomération de Hanancha (Souk Ahras), à 150 000 m³/j pour la STEP de Baraki (Alger). [4]

❖ Lagunage

Quatre-vingt treize STEP de type lagunage dont 20 de type aéré seront en service. Les capacités installées varient de 320 m³/j pour l'agglomération de l'Émir Abdel Kader (Ain Temouchent) à 70 000 m³/j pour la STEP de Ouargla. [4]

I-3-2. Perspectives de réutilisation des eaux usées épurées en agriculture

Travaux

Quatre projets totalisant une superficie environ de 5500 ha

- ♦ Périmètre de Hennaya à partir de la STEP de Tlemcen (wilaya de Tlemcen) sur une superficie de 920 ha.
- ♦ Périmètre de Dahmouni (wilaya de Tiaret) sur une superficie 4000 ha.
- ♦ Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la ville de Bordj Bou Arreridj sur une superficie de 250 ha.
- ♦ Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de Hamma Bouziane (wilaya de Constantine) sur une superficie de 327 ha. [4]

Études

Trois projets totalisant une superficie environ de 9000 ha.

- ♦ Périmètre d'irrigation d'El karma à partir de la STEP d'Oran sur une superficie de 8100 ha.
- ♦ Aire d'irrigation à l'aval de la STEP de la ville de Mostaganem sur une superficie de 240 ha.
- ♦ Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la ville de Saida sur une superficie 574 ha. [4]

Tableau I-1 : Perspectives de traitement et de réutilisation des eaux usées en irrigation.

	2010	2015	2020	2025	2030
Volume d'eau usée intercepté (hm ³ /an)	501	708	972	1.208	1.271
Volume d'eau usée épurée (hm ³ /an)	257	399	561	705	762
Surface à irriguer par les EUE sans stockage (ha)	21.773	34.485	48.279	59.876	64.431
Surface à irriguer par les EUE avec 100% de stockage (ha)	36.288	57.476	80.466	99.794	107.385

Source: [MRE]

I-4. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées

I-4.1 Le risque microbiologique

Les risques liés à la réutilisation des eaux usées en agriculture sont multiples et de nature microbiologique, chimique ou environnementale. La plus grande préoccupation associée à la réutilisation des eaux usées, même traitées, est la transmission potentielle de maladies infectieuses, essentiellement, les pathogènes entériques. Plusieurs pathogènes potentiellement présents dans les eaux usées brutes sont rapportés. Les fèces des personnes et des animaux infectés représentent la source principale des pathogènes présents dans les eaux usées. De ce fait et selon Crook (2005), la nature et la concentration des microorganismes pathogènes des eaux usées dépendent de la santé des populations sources.

Il est prouvé depuis longtemps que les microorganismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes (Sheikh, 1999). Ils vivent donc à la surface des plantes et sur le sol où le microclimat leur est favorable. Les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes (Asano, 1998). La contamination a lieu pendant la croissance des plantes ou à la récolte. Des contaminations fécales par l'intermédiaire de produits végétaux irrigués avec des eaux usées brutes ont été mises en évidence. Froese (1998) rapporte une corrélation entre une épidémie de la cyclosporiose (*Cyclospora cayentanensis*) et la consommation des framboises importées contaminées. Devaux (1999) recense quatre études traitant des risques posés par la consommation des végétaux irrigués par les eaux usées brutes. Des infections parasitaires dues aux ascaris, aux trichocéphales et aux bactéries ont été observées chez les consommateurs des produits végétaux infectés. Le risque de contamination est élevé dans le cas de la réutilisation des eaux usées brutes comparativement à l'utilisation des eaux usées traitées (Devaux, 1999).

Le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque. Ainsi, l'irrigation gravitaire affecte la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes ont lieu lors de la maintenance du système d'irrigation. L'irrigation par aspersion

CHAPITRE I Généralités sur les eaux usées épurées dans le monde et en Algérie

créée des aérosols contaminants. Afin de limiter l'impact sanitaire de la réutilisation d'eaux usées pour irriguer des plantes destinées à la consommation humaine, les modes d'arrosage localisés sont recommandés (Masséna, 2001; FAO, 2003). L'irrigation localisée consiste à arroser les plantes une par une, avec le système goutte à goutte. Elle réduit les risques de contamination microbiologique (Masséna, 2001). Le système goutte à goutte expose le moins les professionnels et les consommateurs. Les risques sont possibles pendant la maintenance des goutteurs qui se bouchent fréquemment à cause des matières en suspension dans l'eau (Asano, 1998).

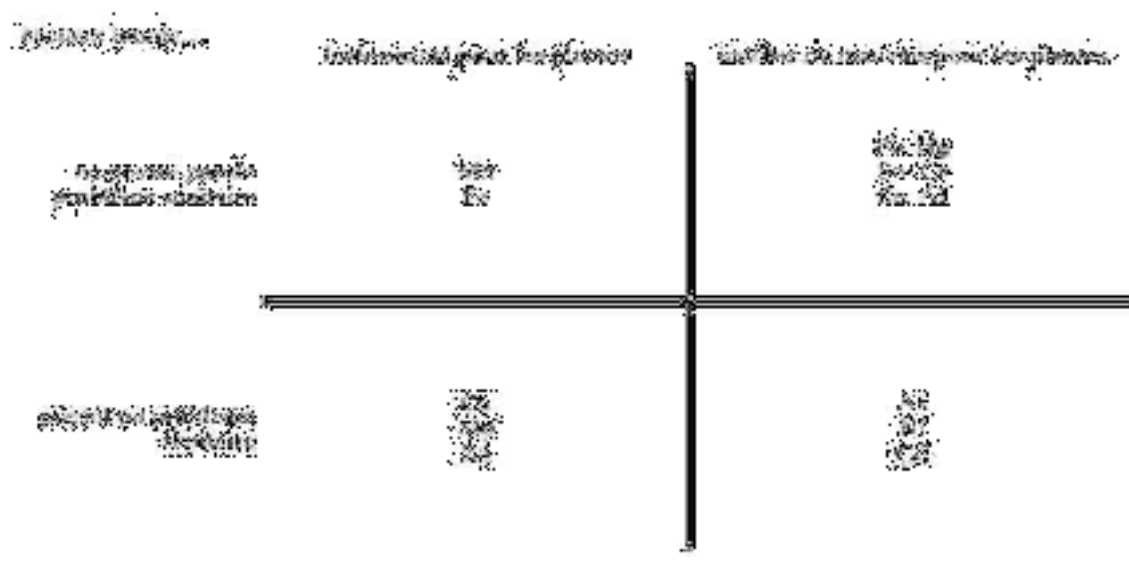
Cauchi (1996) cite les différentes populations humaines exposées à une pathologie associée à l'utilisation agricole d'effluents bruts ou traités. Le risque, pour les consommateurs de légumes crus, est plus élevé pour les helminthes et moindre pour les bactéries. Pour les consommateurs de viande bovine insuffisamment cuite, la contamination par le ver solitaire (*Taenia*) est possible car les bovins sont des hôtes intermédiaires. Pour les travailleurs agricoles, le risque est plus élevé pour les helminthes. Dans le laboratoire, l'exposition aux entérovirus est plus élevée. Cauchi (1996) mentionne que les helminthes intestinaux représentent le risque principal (ascaris, trichocéphales, ankylostomes), à un moindre degré, les affections bactériennes (choléra et shigellose), et enfin de façon très limitée, les virus. Devaux (1999) rapporte que les travailleurs agricoles sont plus exposés aux risques de contamination, quoique l'adaptation immunitaire aux bactéries et aux virus semble exister.

I-4-2. Le risque chimique

Il est lié aux éléments traces. La seule voie de contamination préoccupante pour les éléments traces est la consommation des plantes cultivées, dans lesquelles ils s'accumulent (Boumont, 2004). L'accumulation des micropolluants dans les plantes est plus problématique, quoique certains de ces micropolluants soient d'intérêt en tant que facteurs de croissance des végétaux. Le compromis entre le risque sanitaire et l'intérêt agronomique doit être trouvé.

Les métaux lourds sont classés, selon qu'ils sont ou non indispensables au développement des végétaux, et qu'ils posent ou non des problèmes sanitaires (**Figure-2**).

Le manganèse (Mn) et le fer (Fe) sont tous deux indispensables au bon développement des végétaux, et leur utilisation en agriculture ne pose pas de problèmes pour la santé humaine. Ils sont naturellement présents en forte proportion dans le sol. Les métaux suivants ne sont pas indispensables pour les végétaux, mais ils ne présentent pas de danger pour l'utilisation agricole. Le plomb (Pb) est fixé au sol et par conséquent ne pénètre pas dans les plantes. Le sélénium (Se), l'étain (Sn) et le mercure (Hg) sont présents à de très faibles teneurs dans les eaux épurées pour poser des problèmes sanitaires. Le chrome (Cr), sous forme ionique (Cr^{3+}), est peu toxique et n'est pas absorbé par les végétaux. L'Aluminium (Al) est déjà présent naturellement dans les sols en forte proportion.



Source : [9]

Figure I-2 : Classification des métaux lourds en fonction des risques et de l'intérêt agronomique

Les métaux lourds indispensables pour les végétaux, mais dont l'utilisation en agriculture pose des problèmes sont le cuivre, le molybdène et le zinc. Le cuivre est toxique pour les animaux d'élevage. Le seuil de phytotoxicité est atteint avant celui de zootoxicité (Baumont , 2004). Le molybdène n'est pas phytotoxique, mais pose des problèmes sanitaires pour le bétail. Le zinc est peu toxique, mais s'accumule très facilement dans les tissus végétaux (Boswell, 1989).

Les métaux lourds non indispensables au développement des végétaux, et qui sont dangereux d'un point de vue sanitaire sont l'arsenic, le nickel, et le Cadmium. Le nickel est peu toxique, mais il s'accumule facilement dans les tissus végétaux. Le cadmium est le polluant non organique le plus préoccupant. Il est parfois présent à des concentrations importantes dans les eaux usées et il est très mobile dans le sol. Il s'accumule dans les plantes à de fortes concentrations engendrant la phytotoxicité (Gupta, 2007). Il peut s'accumuler dans l'organisme et provoquer de graves intoxications (Yang, 2008). L'OMS (1997) préconise un apport alimentaire moyen de 0,057 à 0,071 mg/j/individu. La FAO (1999) fixe comme un taux maximal dans les aliments de 0,1 mg/kg pour les légumes et 0,05 mg/kg pour les céréales et leurs dérivés.

Le risque posé par les métaux lourds dépend, donc, de leur toxicité potentielle et du niveau d'exposition. Par ailleurs, certains métaux sont indispensables pour la croissance des végétaux. Ils s'éliminent facilement par les traitements physiques (décantation) et sont récupérés dans les boues (ADEME, 2000). De ce fait, il semble que la concentration de la majorité des métaux lourds dans les eaux usées épurées domestiques est trop faible pour poser un réel problème sanitaire, quelque soit la réutilisation envisagée.

CHAPITRE I Généralités sur les eaux usées épurées dans le monde et en Algérie

Le risque posé par les effets à long terme des micropolluants organiques est encore très peu étudié ainsi que celui d'apparition de nouvelles substances toxiques (Garban, 2003). L'existence de tels risques potentiels ne conduit, cependant, pas à une interdiction de l'utilisation d'eaux usées épurées pour l'irrigation (Jiries, 2002). La plupart des éléments traces sont peu solubles, et le traitement des eaux usées par décantation les élimine efficacement. On les retrouve plutôt dans les boues que dans les eaux usées épurées (Cauchi, 1996). Les concentrations infimes dans les effluents d'origine urbaine et leur absorption limitée par les végétaux réduisent le risque sanitaire dans le cas d'une réutilisation agricole (Cauchi, 1996 ; Faby, 1997). Le problème des pesticides et des métaux lourds est plus préoccupant dans le cas le recyclage des boues (Miquel, 2003).

I-4-3. Le risque environnemental

Il réside dans la dégradation de la qualité des sols, des eaux souterraines et de surface (Pascual, 2004; Liu et al., 2005; Tijani, 2008). Les sols qui ont une bonne capacité de rétention assurent une bonne assimilation par les plantes et un étalement de la pollution dans le temps. La capacité d'épuration des sols est assurée par la fixation des substances polluantes (adsorption, précipitation), par la transformation des molécules organiques par des micro-organismes et par l'exportation par les végétaux. Les sols ayant une perméabilité interstitielle (gravier, sable) permettent une bonne épuration à l'inverse des sols fissurés (calcaire, dolomies, granit, etc.). Les nappes libres sont les plus exposées à la contamination, non seulement parce qu'elles ne bénéficient pas d'une protection naturelle vers la surface, mais encore parce qu'elles sont en général peu profondes. Les nappes captives sont plus protégées mais peuvent être éventuellement contaminées par des forages ou un autre aquifère pollué. La réutilisation des eaux usées épurées peut donc être remise en cause dans des zones qui cumulent ces facteurs de risque.

Les bactéries, les protozoaires et les helminthes sont très rapidement éliminés, par les phénomènes d'adsorption et de compétition trophiques selon les mêmes processus des traitements par percolation/infiltration. Seuls les virus posent des problèmes. Asano (1998) mentionne qu'au-delà de 3 m de profondeur, la quasi-totalité des virus est éliminée. D'après le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF, 1999), les nitrates et les dérivés halogénés sont les plus préoccupants, parce qu'ils migrent en profondeur. Les eaux provenant de puits de moins de 30 m de profondeur sont plus polluées par l'azote que les eaux plus profondes (Froese, 1998). Les rejets directs d'eaux épurées posent des problèmes d'eutrophisation des cours d'eau, de qualité de l'eau destinée à la production d'eau potable et de contamination microbiologique des zones de conchyliculture. C'est pourquoi une réutilisation des eaux usées épurées est quasiment toujours préférable à un rejet direct dans le milieu.

I-5. Origine des eaux usées [7]

Il existe trois types de pollution contre les quels des moyens de lutte doivent être mis en œuvre

- ♦ la pollution traditionnelle des eaux usées domestiques et des eaux pluviales
- ♦ la pollution des industries implantées dans la commune
- ♦ les matières de vidange.

I-5-1. Les eaux usées domestiques

Elles se composent:

- ♦ des eaux vannes d'évacuation des toilettes,
- ♦ des eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bain.

Les déchets présents dans ces eaux souillées sont constitués par des matières organiques dégradables et des matières minérales. Ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension.

I-5-2. Les eaux pluviales

Ces eaux peuvent être fortement polluées, en particulier en début de pluie du fait:

- ♦ de la dissolution des fumées dans l'atmosphère,
- ♦ du lavage des chaussées grasses et des toitures chargées de poussière,
- ♦ du lessivage des zones agricoles traitées (épandage de désherbants et d'engrais).

Les polluants présents dans ces eaux peuvent être des matières organiques biodégradables ou non, des matières minérales dissoutes ou en suspension, des Toxiques.

I-5-3. Les eaux usées industrielles

Les caractéristiques de ces eaux sont directement liées au type d'industrie concernée. Une épuration commune des eaux usées industrielles avec les eaux domestiques peut s'envisager à condition que la nature des pollutions soit identique et exempte de substances toxiques (cas des industries agroalimentaires par exemple).

I-5-4 les matières de vidange

Dans toutes les communes, il existe des habitants non raccordés ou non raccordables à l'égout public. Or, toute fosse septique ou appareil équivalent produit obligatoirement des matières de vidange. L'évacuation et le traitement de ces matières domestiques font partie intégrante de l'assainissement.

Ces matières de vidange sont un concentré de pollution. Leur rejet, inconsidéré dans le milieu naturel rend inutile tous les efforts consentis en amont pour éviter la pollution par les effluents domestiques et accroît les risques sanitaires de pollution des eaux et les nuisances.

I-6.Composition des eaux usées [7]

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (Industrielle, domestique, etc.), elle dépend :

- ♦ essentiellement de l'activité humaine (eaux ménagères et eaux-vannes) ;
- ♦ de la composition des eaux d'alimentation en eau potable et, accessoirement, de la nature des matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau, pour les composés chimiques ;
- ♦ de la nature et de la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain.

Les eaux usées urbaines contiennent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes. Ces derniers sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées.

I-6-1.Microorganismes

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes : les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes.

❖ Les bactéries

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries/100 ml dont 10^5 proteus et entérobactéries, 10^3 à 10^4 streptocoques et 10^2 à 10^3 clostridiiums. La concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de $10^4/1$. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonellas dont on connaît plusieurs centaines de sérotypes différents, dont ceux responsables de la typhoïde.

❖ Les virus

Les virus sont des parasites intracellulaires obligés qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprises entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous estimation de leur nombre réel. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal ; parmi les virus entériques humains les plus importants, il faut citer les entérovirus (exemple : polio), les rotavirus, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A. Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement que les bactéries, et que leurs faibles dimensions soient à l'origine de leurs possibilités de dissémination.

❖ Les protozoaires

Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne et *Giardia lamblia*. Au

cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes, qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires.

❖ Les helminthes

Les helminthes sont fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs d'helminthes peut-être évalué entre 10 et $10^3/l$. Il faut citer, notamment, *Ascaris lumbricades*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata*. Beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire. Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs. Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires.

I-6-2. Matières en suspension et matière organique

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Les particules en suspension, plus lourdes que l'eau, sont éliminées par décantation.

C'est une étape simple dans la réduction de la charge organique des eaux usées et de la teneur en germes pathogènes. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire aux risques sanitaires.

Une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que le bouchage des systèmes d'irrigation.

La présence de matière organique dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols. Cependant, l'expérience montre que le maintien d'une concentration importante en matière organique dans les eaux usées gêne considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes. Enfin, les concentrations significatives en matière organique peuvent aussi entraîner des odeurs désagréables, notamment s'il arrive que les eaux stagnent à la surface du sol.

I-6-3. Substances nutritives

L'azote, le phosphore, le potassium, et les oligo-éléments, le zinc, le bore et le soufre, indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées épurées ou non. D'une façon générale, une lame d'eau résiduaire de 100 mm peut apporter à l'hectare :

- ♦ de 16 à 62 kg d'azote ;
- ♦ de 2 à 69 kg de potassium ;
- ♦ de 4 à 24 kg de phosphore ;
- ♦ de 18 à 208 kg de calcium ;
- ♦ de 9 à 100 kg de magnésium ;
- ♦ de 27 à 182 kg de sodium.

I-6-4. Éléments traces

Certains éléments traces, peu nombreux, sont reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux : le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. L'irrigation, à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments, non indispensables à la plante tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain.

I-6-5. Salinité

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles. On estime que la concentration en sels de l'eau usée excède celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable de quelques 200 mg/l, sauf dans le cas de pénétration d'eaux saumâtres dans les réseaux d'assainissement ou lors de collecte d'eaux industrielles. Cette augmentation n'est pas susceptible, à elle seule, de compromettre une irrigation.

On considère deux catégories de conséquences d'une salinité excessive de l'eau d'irrigation:

- ♦ les dommages vis-à-vis des sols et donc, indirectement, vis-à-vis des rendements culturaux,
- ♦ les dommages causés aux cultures.

Conclusion

Les effluents peuvent constituer un approvisionnement d'appoint et leur réutilisation doit être envisagée. Néanmoins, les décisions concernant cette réutilisation ne peuvent se fonder sur des considérations d'ordre général. Elles doivent tenir compte des aspects relatifs à l'eau, au sol, à la plante, à l'environnement et en particulier à la santé publique.

Nous pouvons conclure qu'il y a un besoin d'options technologiques pour protéger la santé des populations, mais elles devraient employer une quantité modérée d'énergie à moindre coût. Une qualité appropriée est nécessaire à la réutilisation de l'eau, sans prétendre qu'il soit nécessaire d'atteindre un risque de niveau zéro, en particulier en prenant en compte les normes pour les produits alimentaires qui ont un risque potentiel plus élevé.

Chapitre II:

*Présentation de la STEP de
Hadjout*

Introduction

L'objectif principal d'une station d'épuration est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement.

À cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins d'opération et d'entretien minimaux. Les stations d'épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les solides en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques aux récoltes ainsi que les constituants biologiques (microbes pathogènes) qui concernent la santé publique en général.

II-1. Présentation de la STEP de Hadjout

II-1-1. Localisation

La STEP de Hadjout est située au nord-est de l'agglomération d'Hadjout voir la **Figure II-1**. Les eaux usées épurées sont rejetées dans l'oued Nador qui longe la STEP pour être évacuées dans la mer ; il s'agit de l'oued qui longe plus en aval également la STEP de Chenoua. Elle s'étend sur un terrain de 70 000 m². Elle a été réalisée par une entreprise libanaise, et a été mise en service en juin 2006. Ses coordonnées GPS sont : 36°32'10''N 2°24'38''E.



Figure II-1 : Emplacement de la STEP de Hadjout.

Source : Google earth

La STEP Hadjout fonctionne suivant le type de processus « boues activées à faible charge fonctionnant en aération prolongée ». Une charge polluante de 4 200 kg DBO₅/j a été prise en considération, ce qui correspond à 70 000 EH (avec 60 g DBO₅/EH*j) (**Tableau II-1**). et une charge hydraulique correspondant au débit de pointe de 11 200 m³/j à l'horizon 2010, le module d'extension objet de ce marché prendra en charge l'évolution de

la population jusqu'à l'horizon 2020 (**Tableau II-2**). Une particularité est que la STEP a été dimensionnée pour l'élimination du phosphore et de l'azote.

Tableau II-1: la pollution des eaux brutes de la STEP

Type de pollution	Charge organique
Charge en DBO ₅ (mg/l)	375 mg/l
Charge en DCO (mg/l)	825 mg/l
Charge en MES (mg/l)	438 mg/l

Tableau II-2: Les débits à l'entrée de la STEP selon la conception

	A l'horizon 2010	A l'horizon 2020
Débit journalier	11200 m ³ /j	16800 m ³ /j
Débit horaire moyen	467 m ³ /h	700 m ³ /h
Débit de pointe	803 m ³ /h	1176 m ³ /h

II-1-2. Les procédés de traitement des eaux usées

La séparation des graisses est indispensable pour épandage et traitement biologique ultérieur, de plus les eaux peuvent être particulièrement chargées en MES et c'est pour ça que les prétraitements et traitements primaires sont nécessaires pour faciliter les traitements secondaires.

Les étapes de traitement sont les suivantes :

II-1-2-1. Prétraitement et traitement primaire

Le prétraitement a été mis au point pour éliminer les grosses particules véhiculées par les eaux afin de protéger les ouvrages de la station du colmatage et des dépôts de boues. Le prétraitement comporte :

a. Dégrilleur grossier

À l'arrivée de la station d'épuration, les eaux résiduaires brutes doivent subir un dégrillage, permettant de séparer et d'évacuer les matières volumineuses (déchets) qui pourrait nuire à l'efficacité des traitements suivants, et amener des risques d'obstruction dans les différentes unités de l'installation. La qualité de l'opération peut être définie de la façon suivante :

Pré dégrillage : espace entre barreaux de 30 à 100 mm

Dégrillage moyen : espace entre barreaux de 10 à 25 mm

Le nettoyage des déchets se fait manuellement. [5]



Figure II-2 : Dégrilleur grossier

b. La station de relevage

Elle est indispensable car la conduite d'amenée de l'influe se trouve approximativement à 3,5 m de profondeur. [5]



Figure II-3 : Station de relevage de la STEP de la ville de Hadjout

c. Dégrillage fin :

En amont du dessableur-déshuileur est installée une grille fine, à nettoyage automatique, et une grille fine à nettoyage manuel, installées en parallèle, la grille manuelle servant de secours. [5]



Figure II-4: Dégrillage fin

d. Dessableur-déshuileur :

Pour éviter la décantation des sables dans le bassin biologique, et pour éliminer les huiles et graisses contenues dans l'eau brute, un dessableur-déshuileur est installé en aval du dégrilleur fin. Cette double opération se fait dans un ouvrage circulaire, à effet centrifuge.

La classification de sable est équipée par un convoyeur à tournevis qui sert à séparer et évacuer les sables automatiquement dans un conteneur. [5]



Figure II-5: Dessablage / déshuilage de la STEP de la ville de Hadjout

Les dimensions principales sont :

- ◆ Diamètre du bassin : 5 m
- ◆ Débit max : 1850 m³/h
- ◆ Débit eau de lavage min : 43 m³/h
- ◆ Vitesse de rotation : 16 tr/min
- ◆ Diamètre conduite de respiration : 150mm



Figure II-6: Le classificateur des sables

Le sable est rejeté dans la décharge à l'aide du vise d'Archimède, les eaux dessablées vont revenir vers le poste de relevage les huiles aussi sont récupérées et envoyées vers la décharge. [5]

II-1-2-2. Traitement secondaire

a. Traitement biologique

Deux bassins de traitement biologique ont été réalisés, chacun est divisé en trois compartiments :

- ◆ Un compartiment anaérobie pour la réduction du phosphore par voie biologique, d'un volume de 500 m³ et de 5 m de profondeur.
- ◆ Un compartiment anoxique pour l'élimination de l'azote, d'un volume de 1.000 m³.
- ◆ Le compartiment d'aération proprement dit d'un volume de 6.000 m³.
Soit un volume total de 7.500 m³ par bassin. [5]

❖ Bassin anaérobie

L'eau qui quitte les ouvrages d'entrée entre dans une chambre de distribution qui assure une distribution égale gravitaire du débit dans les deux lignes de traitement biologique. Le traitement commence par des bassins anaérobies. L'eau entrant dans ces bassins est circulée horizontalement automatiquement par deux agitateurs verticaux dans chaque bassin qui fonctionnent sans arrêt à l'automode.

Le but de cette étape est l'élimination du phosphore grâce à des bactéries anaérobies. [5]

❖ **Bassin anoxie**

Après les bassins anaérobies, l'eau entre gravitairement dans les bassins anoxies. Le but de cette étape est l'élimination de l'azote. (Dénitrification grâce à des micro-organismes). [5]



Figure II-7: Les bassins de déphosphoration- dénitrification

❖ **Bassin aérobie :**

Dans ce bassin, une grande partie de la matière organique est éliminée par des bactéries qui nécessitent de l'oxygène dissous.

L'apport de l'oxygène dissous est assuré par 3 aérateurs. [5]



Figure II-8: Bassin d'aération

❖ **Bassin répartiteur**

Sert à diviser le volume d'eaux entre les 2 décanteurs



Figure II-9: bassin répartiteur

❖ Les Décanteurs secondaires

L'eau sortant des bassins d'aération rentre dans une chambre de distribution qui assure de nouveau une distribution égale gravitaire du débit entre les deux décanteurs. Chaque décanteur est équipé d'un pont racleur à traction périphérique.

D'autre part le décanteur est aussi équipé par des lames déversantes de forme V, à travers lesquelles l'eau traitée coule vers la chloration.

La station est dotée de deux clarificateurs en béton armé $D=30\text{m}$, $V=2\,961\text{ m}^3$ et $H=3,68\text{ m}$. [5]



Figure II-10: Décanteur secondaire

❖ Recirculation des boues

Une partie des boues secondaires des clarificateurs est évacuée en aval vers le traitement des boues, l'autre partie des boues en excès est recyclée vers le bassin d'aération, ces opérations sont effectuées avec deux pompes. [5]



Figure II-11: Recirculation des Boues

❖ Désinfection

Il existe deux bassins de chloration d'une contenance effective de 350 m^3 chacun, où l'eau traitée reçoit l'injection du chlore. Désinfectée par l'eau de Javel injectée par une pompe doseuse et évacuée gravitairement dans l'oued. [5]



Figure II-12: Bassin de désinfection

b.Traitement des boues

Le traitement des boues issues de la décantation clarification comporte deux étapes :

- ❖ un **épaississement** statique ;
- ❖ une **déshydratation** mécanique.

Les boues épaissies sont déshydratées par filtres à bande pour garantir une opération continue même pendant les périodes de maintenance, deux filtres complètement indépendants sont installés en parallèle. [5]



Figure II-13: Epaississeur de boues (à gauche);Déshydrations mécanique (à droite) de la STEP de la ville de Hadjout

II-2. Etude des analyses

II-2-1. Objectif de traitement

Pour une meilleure protection de l'environnement, l'eau traitée doit satisfaire certaines normes de rejet; qui sont données dans le tableau suivant :

Tableau II-3: Normes de rejets pour l'irrigation (Normes Algériennes)

paramètres	unité	Valeurs seuils
Température	°C	< 30
PH	–	5.5 à 8.5
Oxygène dissout	mg O2/l	>5
MES	mg/l	< 30
DBO5	mg/l	< 40
DCO	mg/l	< 90

Suite Tab II-3

Azote totale	mg/l	< 50
Phosphore (PO4)	mg/l	<02
Coliformes fécaux	mg/l	<20
Huile et graisse	CF/100mL	<1000 CF/100mL

Source : ANRH (ALGER)

II-2-2. Définition de la pollution à traiter

L'eau à traiter a les caractéristiques suivantes

Tableau II-4 : Caractéristiques de l'eau à l'entrée de la STEP

paramètres	Unités	valeurs
Volume journalier	m ³	11200
Débit moyen 24h	m ³ /h	467
Débit de point	m ³ /h	803
MES journalières	kg/j	4900
DBO₅ journalière	kg/j	4200

Source : STEP de Hadjout

II-2-3. Les analyses obtenues par le laboratoire de la STEP de Hadjout

II-2-3-1. Les paramètres de pollution analysés

Les facteurs qui peuvent modifier l'état de l'eau sont nombreux et constituent autant de polluants. Les analyses ont porté sur les paramètres physico-chimiques suivant :

Les paramètres physiques tels que le PH et la température, la mesure a été réalisée in-situ par contre les paramètres chimiques tels que la DBO₅, DCO, MES; la mesure a été effectuée au laboratoire de la STEP tout en tenant compte du mode de conservation de l'échantillon (voir le **Tableau II-5**), afin d'éviter l'évolution de l'effluent entre le moment de prélèvement et celui de l'analyse.

Tableau II-5 : Récapitulatif des résultats de laboratoire de la STEP de Hadjout pour les eaux brutes de l'année 2012

Mois Paramètres	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
MES (mg/l)	231,17	352,33	307,5	193,5	150,8
DBO₅(mg d'o₂/l)	190,34	342,5	215,5	173,25	140
DCO (mgd'o₂/l)	442,86	533,33	396,67	442,33	384,6
NO₃⁻ (mg/l)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
PO₄³⁻ (mg/l)	5,123	5,075	2,73	2,32	3
NO₂⁻ (mg/l)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
NTK (mg/l)	57	53,86	49,33	61	53
Conductivité (µs/cm)	2135	1902	1669	1756	1633
T (°c)	27,5	24	22	19,5	15

Source : STEP de Hadjout

Tableau II-6 : Récapitulatif des résultats de laboratoire de la STEP de Hadjout pour les eaux épurées de l'année 2012

Mois Paramètres	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
MES (mg/l)	7,95	8,62	6,23	11,02	8,52
DBO ₅ (mg d'o ₂ /l)	1,51	1,13	1,81	3,35	3
DCO (mgd'o ₂ /l)	30	30	31,7	28,83	30,13
NO ₃ ⁻ (mg/l)	9,17	9,8	8,68	8,63	8,53
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,69	0,58	0,84	0,73	0,44
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,09	0,34	0,38	0,37	0,29
NTK (mg/l)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Conductivité (µs/cm)	1995,67	1786,4	1577,14	1549,2	1478,8
T (°c)	28	23,5	22	19	15

Source : STEP de Hadjout

❖ **Interprétation du tableau**

L'eau épurée répond aux normes requises pour les eaux de rejets

Tableau II-7 : Les normes de rejet en Algérie

Paramètres	Unités	Valeurs Limitées maximales
Température	°c	30
PH	-	6,5-8,5
MES	mg/l	35
Azote Kjeldahl	mg/l	30
Phosphore total	mg/l	10
DCO	mg d'O ₂ /l	120
DBO ₅	mg d'O ₂ /l	35
Aluminium	mg/l	3
Substances toxiques bioaccumulables	mg/l	0,005
Cyanures	mg/l	0,1
Fluore et composés	mg/l	15
Indices de phénols	mg/l	0,3
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Huiles et graisses	mg/l	20
Cadmium	mg/l	0,2
Cuivre total	mg/l	0,5
Plomb total	mg/l	0,5
Chrome total	mg/l	0,5
Etain total	mg/l	2
Manganèse	mg/l	0,5
Zinc total	mg/l	0,3
Nickel	mg/l	0,5
Fer	mg/l	3
Chlores	mg/l	5

Source : ONA de Tipaza

II-2-3-2. Interprétation des résultats d'analyses

a. Matière en suspension (MES)

Cette matière est obtenue par la différence entre le poids des matières totales et les matières décantables (matières qui se déposent après un temps de repos de deux heures) donne le poids de matière colloïdale en suspension.



Figure II-14: Comparaison entre la MES des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012

❖ Interprétation

On remarque qu'il y a une grande différence entre la charge polluante (MES) des eaux épurées et celle des eaux brutes, ce qui implique le bon traitement de ces dernières.

Les valeurs de MES sont dans les normes de rejets algériennes, donc on n'a pas des problèmes du colmatage des distributeurs du système d'irrigation localisée. par précautions, une filtration efficace préalable et une adaptation des distributeurs sont recommandées.

Le taux d'élimination des MES efficace, est de l'ordre de 94%.

b. Demande biologique en oxygène (DBO5)

La demande biologique en oxygène (DBO5) est la quantité d'oxygène consommée dans des conditions d'essai (incubation à 20 °C et à l'obscurité) pendant un temps de cinq jours pour assurer par voie biologique, l'oxydation de certaines matières organiques contenues dans l'eau et qu'on appelle les matières biodégradables.

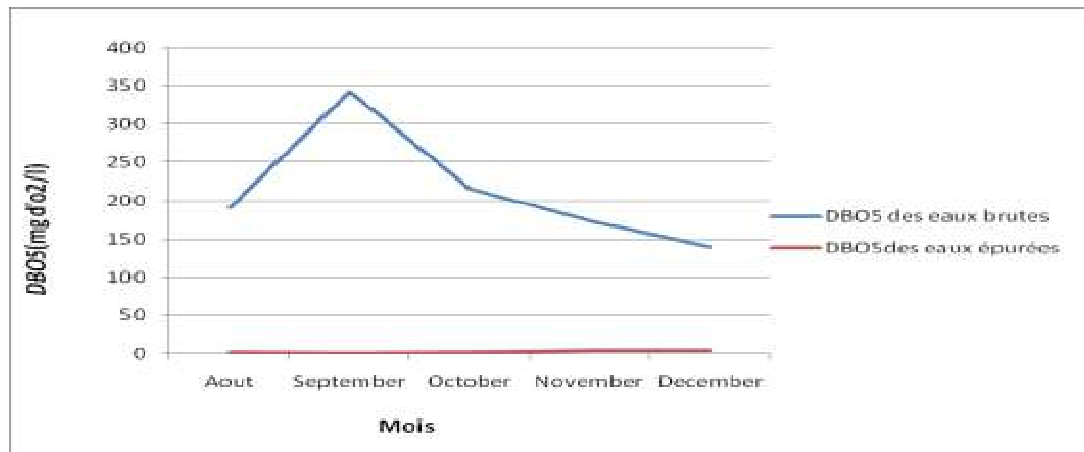


Figure II-15: Comparaison entre la DBO5 des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012

❖ **Interprétation**

IL y a une grande diminution de la demande biologique en oxygène (DBO5) des eaux épurées par rapport à la DBO5 des eaux brutes tous ça est dû au :

- ✓ Bon réglage du taux de recyclage des boues
- ✓ Le bon réglage du temps d'aération qui a pour conséquence la reproduction du floc bactérien.
- ✓ Les valeurs de DBO5 répondent aux normes de rejets algériennes (Tableau II-7).
- ✓ Le taux d'élimination de la DBO5 efficace, est de l'ordre de 97,7 %.

c. Demande chimique en oxygène (DCO)

Étant donné la diversité des corps organiques contenus dans une eau résiduaire, la connaissance de leurs natures ne serait d'aucune utilité pour l'épuration biologique. Par contre l'oxydation chimique représente l'enveloppe de tout ce qui est susceptible de demander de l'oxygène, en particulier les sels minéraux oxydables (sulfures, sulfites,...sels) métalliques de valence inférieure et la majeure partie des composés organiques.

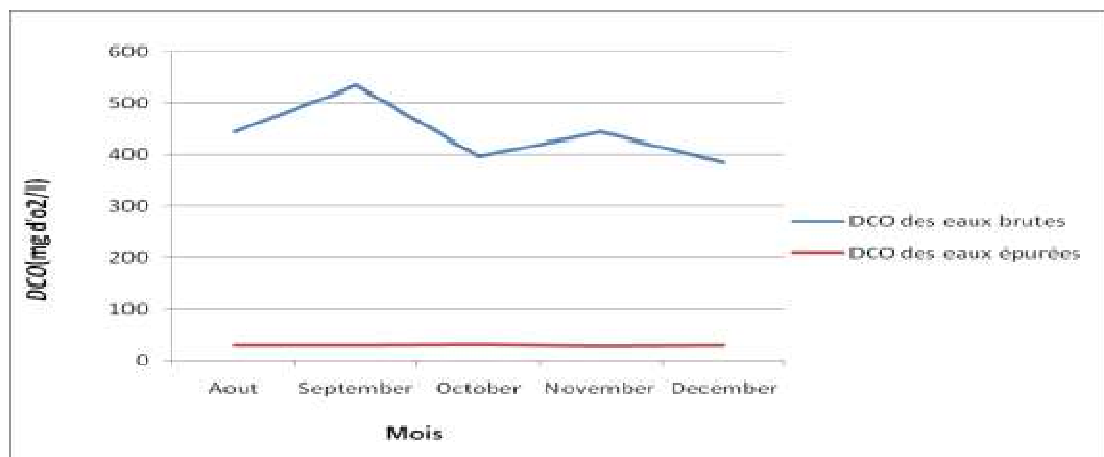


Figure II-16: Comparaison entre la DCO des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012

❖ **Interprétation**

IL y a une grande diminution de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux épurées par rapport à la demande des eaux brutes tout ceci est dû au :

- ✓ Bon réglage du taux de recyclage des boues et le bon réglage du temps d'aération.
- ✓ Les valeurs de DCO répondent aux normes de rejets algériennes.
- ✓ Le taux d'élimination de la DCO efficace, est de l'ordre de 92,9 %.

Le rapport DCO/DBO5 donne une estimation de la biodégradabilité des eaux usées. Ce rapport est égal à 1,56 (533,33/342,5), signifie que l'effluent de la station est biodégradable (voir le tableau II-5).

d. Conductivité

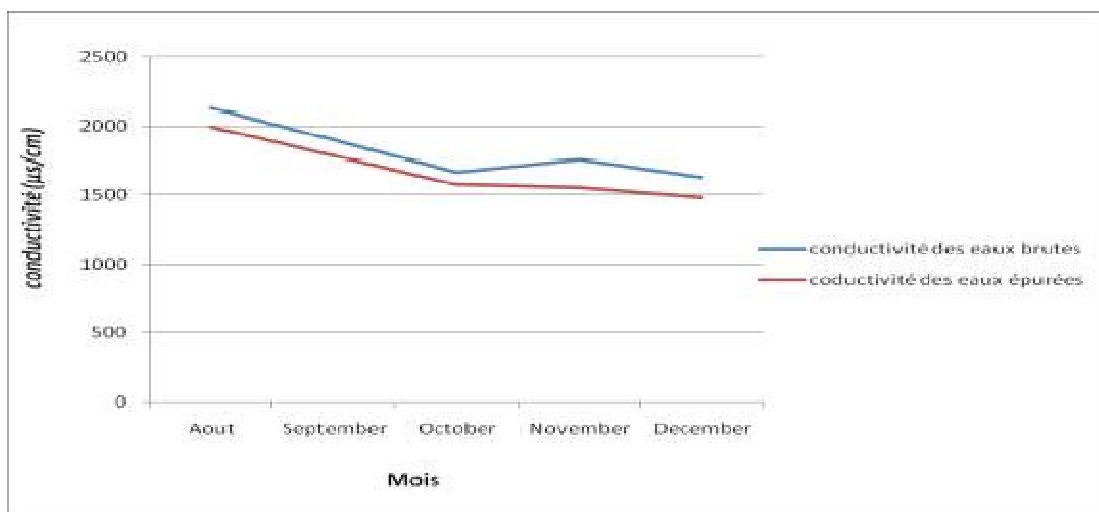


Figure II-17: Comparaison entre la conductivité des eaux brutes et des eaux épurées de l'année 2012

❖ **Interprétation**

D'après la **Figure II-17** on remarque une diminution de la conductivité des eaux épurées par rapport à celle des eaux brutes. Elle nous renseigne sur la minéralisation de l'eau épurée.

e. La température et le PH

La température et le pH de l'eau épurée correspondent aux normes de rejet algériennes.

	min	max	moy
PH	7.51	8.08	7.82

L'influence du pH est indiscutable sur le rendement d'élimination de la pollution organique, et tous les travaux effectués montrent que l'activité optimale du nitrobacter a lieu pour une plage de pH (6,5 – 8,4). Pour le processus de précipitation du phosphore, c'est plutôt un pH acide qui donne un meilleur rendement d'élimination.

Pour la température l'élévation de celle-ci dans les rejets non contrôlés a pour effet d'accélérer les réactions biologiques et par conséquent l'épuisement de l'oxygène qui a pour cause la perturbation de la vie aquatique.

f. Les autres paramètres du tableau II-6

La teneur très faible en nitrates NO_3^- ne pose aucune restriction à l'usage.

La teneur très faible en nitrites NO_2^- ne pose aucune restriction à l'usage.

La teneur en ammonium augmente en fonction du pH et de la température.

II-2-3-3. Les analyses des autres paramètres physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques des eaux usées épurées de la STEP de Hadjout sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II-8: Les résultats des analyses obtenus à la sortie de la STEP

Minéralisation globale	symbole	Unité	Valeurs obtenues
Potentiel d'hydrogène	PH	-	7.82
Calcium	Ca^{++}	meq/l	5,42
Magnésium	Mg^{++}	meq/l	5,25
Sodium	Na^+	meq/l	3,7
potassium	K^+	mg/l	6
Chlorure	Cl^-	mg/l	153
Sulfate	SO_4^{--}	mg/l	235
Bicarbonates	HCO_3^-	mg/l	315

Source : ONA de Tipaza

❖ Interprétation

✓ La teneur moyenne de potassium dans les eaux épurées de la STEP de Hadjout est de 6 mg/l, donc elle est dans les normes d'irrigation.

✓ On note essentiellement la présence du sodium et du chlore, en quantité dans les normes (FAO 1985), donc nous n'avons pas le risque de brûlure des feuilles. Les effets toxiques apparaissent beaucoup plus facilement quand les sels sont apportés directement sur les feuilles lors des irrigations par aspersion. L'apport des eaux sera mieux adapté par l'irrigation localisée ou de surface. La teneur des bicarbonates (315 mg/l) fait que le degré de restriction à l'usage est léger à modéré (FAO 1985).

✓ On note aussi la présence de calcium, sulfate et magnésium dans les normes.

II-2-4. Considérations générales sur la qualité d'eau d'irrigation

L'irrigation avec les eaux usées épurées exige, en plus des paramètres communs d'une irrigation avec des eaux conventionnelles, la maîtrise d'autres paramètres liés à la qualité physico-chimique et microbiologique des effluents (microorganismes pathogènes, éléments toxiques, salinité, matières en suspension, etc). [3]

Rien ne nous empêche de procéder à différents tests de contrôle et de surveillance. La notion de « surveillance continue » implique des mesures quantitatives périodiques de certains paramètres physiques et chimiques dans des échantillons d'eau prélevés à la station d'épuration.

Les indices de qualité de l'eau qui doivent être mesurés sont interprétés à base des différentes organisations et laboratoires parmi lesquelles : [3]

❖ **Guide de l'U.S Salinity Laboratory**

L'eau utilisée pour irriguer contient toujours des quantités mesurables de substances dissoutes qui, selon une terminologie collectivement admises sont appelées sels, on les y trouve en quantités relativement faibles, mais ayant des effets importants.

Une eau convient ou non à l'irrigation selon la quantité et le type de sels qu'elle contient. Avec une eau de qualité médiocre, on peut s'attendre à divers problèmes pédologiques et agronomiques, il faut alors mettre en œuvre des méthodes d'aménagement spéciales afin de maintenir une pleine productivité agricole. [3]

Les problèmes qu'entraînent l'utilisation d'une eau médiocre varient tant en nature qu'en gravité, les plus communes sont les suivantes :
Salinité ; perméabilité ; toxicité.

Un guide pour l'évaluation de la qualité de l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques, est représenté sous forme d'un tableau (voir **Tableau II-7**)

❖ **Contraintes chimiques**

Selon les recommandations du Conseil Supérieure de l'hygiène publique de France, la qualité chimique à laquelle doivent répondre ces eaux est la suivante:

Les effluents à dominante domestique (le rapport **DCO/DBO5 < 2,5**, **DCO < 75 mg/l**) et (**NTK : Azote total Kjeldahl < 100 mg/l**), peuvent être utilisés, après épuration, pour l'irrigation des cultures et l'arrosage des espaces verts. L'utilisation d'effluents à caractère non domestique, du fait de la présence possible en quantité excessive de micropolluants chimiques minéraux ou organiques, reste assujettie à un examen particulier de leur qualité chimique; dans certains cas, elle pourra être interdite.

II-2-5. Classification des eaux d'irrigation

Parmi les différents paramètres physico-chimiques d'une eau d'irrigation, la salinité en constitue l'aspect le plus important. L'irrigation conduite avec des eaux chargées en sels entraîne une accumulation de ces sels dans le sol susceptible de ralentir la croissance des végétaux avec baisse des rendements pouvant aller jusqu'au dépérissement, parallèlement un excès de sodium peut engendrer l'alcalinisation et la dégradation de la structure du sol. Deux paramètres permettent d'apprécier, pour une étude sommaire les risques dus à la salinité : [3]

- Conductivité électrique(CE) exprimée en (mmhos/cm);
- Le SAR (% de Na échangeable).

❖ Définition de la salinité d'une eau

La salinité d'une eau est un terme utilisé pour faire référence à la concentration totale d'ions inorganiques majeurs (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} et Cl^-) dissous dans cette eau.

Elle exprime la concentration totale des cations ou anions en solution et non la somme des concentrations de ces cations et anions.

Pour des raisons de commodité analytique, un indice pratique de salinité électrique « CE » exprimée en ds/m ou en mmhos/cm.

La mesure de la salinité d'une eau se fait comme celle d'un extrait saturé à l'aide d'un conductimètre à une température standard de 25 °C.

Les eaux d'irrigations, en fonction des dangers que peuvent entraîner leur utilisation, sont réparties en plusieurs classes. Plusieurs auteurs s'étant intéressés de très près à la qualité des eaux d'irrigations ont proposé différentes classes d'eau salée comme nous allons voir.[3]

II-2-5-1. Classification mondiale de la FAO

Pour CE égal ou compris entre :

1	g/l	bonne pour l'irrigation
1-3	g/l	faiblement salée
3-5	g/l	moyennement salée
5-10	g/l	fortement salée
>10	g/l	extrêmement salée

Si le sol et l'eau d'irrigation sont pauvres en calcium (Ca), une alcalinisation du sol peut se produire du fait de l'adsorption de Na^+ par le complexe adsorbant du sol surtout dans les proportions dépassant 1-3 g/l. Généralement au delà de 1 g/l il est nécessaire d'avoir un bon drainage du sol, un régime de lessivage et une technique élevée des travaux agro-techniques du sol. [3]

II-2-5-2. Classification USSL (United States Salinity Laboratory)

C'est la classification la plus utilisée en ce qui concerne l'irrigation. Proposée par le laboratoire de Riverside (RICHARDS 1954), elle est basée essentiellement sur trois paramètres :

Selon la salinité et le risque d'alcalinisation et la teneur en bore des eaux pouvant être destinées à l'irrigation. [3]

- ◆ Conductivité électrique « CE » exprimée en (mmhos/cm) ;
- ◆ Le SAR (% de Na échangeable).
- ◆ La teneur en bore.

a. Classification selon la salinité de l'eau CE

Selon la salinité de l'eau, exprimée par sa conductivité électrique CE à 25 °C, on distingue cinq classes :

◆ **C1** : $0 < CE < 0,25$ mmhos/cm : L'eau à faible salinité. Elle peut être utilisée pour irriguer la plupart des cultures sur la plupart des sols et il est peu probable qu'elle provoque des difficultés. Un certain lessivage est nécessaire, mais celui-ci fait partie des pratiques normales d'irrigation, sauf sur les sols de très faibles perméabilités.

◆ **C2** : $0,25 < CE < 0,75$ mmhos/cm : l'eau à salinité moyenne, peu de danger si elle est utilisée avec un léger lessivage pour les plantes modérément tolérantes aux sels.

◆ **C3** : $0,75 < CE < 2,25$ mmhos/cm : l'eau à forte salinité, inutilisable pour les sols à drainage restreint.

◆ **C4** : $2,25 < CE < 5$ mmhos/cm : l'eau à très forte salinité et inutilisable pour les conditions normales, elle n'est autorisée que si on pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérantes.

C5 : $CE > 5$ mmhos/cm : l'eau est inutilisable sauf sur des sables lessivés et drainés et pour des cultures extrêmement tolérantes (ex : palmiers et dattiers). [3]

b. Classification selon le risque d'alcalinisation SAR

Le risque d'alcalinisation d'un sol par l'eau d'irrigation est apprécié selon le sodium adsorbable par ce sol. Ainsi, selon le taux adsorbable de sodium (SAR) d'irrigation, on distingue quatre classes :

◆ **S1** : $SAR < 10$: L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.

◆ **S2** : $10 < SAR < 18$: Les eaux contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, à moins qu'il n'y ait du gypse dans le sol. Ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.

◆ **S3** : $18 < SAR < 26$: Les eaux contenant une quantité de sel élevée, peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques. S'il y a une forte quantité de gypse dans le sol, il peut ne pas surgir de difficultés pendant quelque temps.

◆ **S4** : $SAR > 26$: Les eaux contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité très faible et si on ajoute du gypse ou autre source de Ca soluble pour améliorer le bilan ionique. [3]

Commentaires

Ces types de classification et d'autres sont rigides et dans plusieurs cas, elles ne tiennent pas compte des facteurs spécifiques qui sont importants pour la détermination de l'utilisation potentielle d'une eau donnée.

La qualité d'une eau d'irrigation doit être évaluée en fonction des conditions spécifiques dans lesquelles elle est utilisée, c'est à dire la nature des cultures, le type de sol, les modes d'irrigations, les pratiques culturales et les conditions climatiques. En raison de toutes ces réserves, les classifications existantes doivent être utilisées comme indicateurs et être vérifiées en fonction des conditions locales d'utilisation. [3]

❖ Pour coefficient d'adsorption du sodium S.A.R

S.A.R est calculé par la formule suivante :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Mg + Ca}{2}}}$$

$$SAR = \frac{3,7}{\sqrt{\frac{5,25 + 5,42}{2}}} = 1,6$$

❖ D'après le **tableau II-6**, la valeur de la conductivité électrique « CE » égale à :
CE = 1677.4 µs/cm = 1.677 mmhos/cm

1µs/cm = 10⁻⁵ds/cm = 10⁻³ds/m = 10⁻³mmhos/cm car: 1 ds/m = 1 mmhos/cm

D'après le diagramme de classification de l'eau d'irrigation selon le laboratoire de salinité des USA, l'USDA 1954 (voir l'annexe 01) :

On aura :

♦ **SAR = 1.6** (classe S1), pas de problème de point de vue infiltration dans le sol. L'eau peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation (USSL).

♦ **CE = 1.677 mmhos/cm** fait partie de la classe C3, elle ne convient qu'à des sols bien drainés.

D'après la classification de laboratoire USSL (Annexe 01), l'eau épurée est de classe **C3-S1**

Conclusion

L'étude faite au niveau de ce chapitre nous a permis de connaître les ouvrages de la station d'épuration (Dégrillage, relevage, dessablage déshuilage....) et les équipements utilisés. Ainsi que les analyses obtenues à l'entrée et à la sortie de la STEP de Hadjout.

D'après les résultats qui ont été obtenus avant et après le traitement on remarque que le traitement effectué par la STEP de Hadjout est efficace (rendement est de l'ordre de 95%), et que les normes des rejets sont respectées; donc il n'y a pas un risque sur le milieu récepteur.

Chapitre III:

*Paramètres de dimensionnement du
réseau d'irrigation localisée*

Introduction

Notre pays connaît une longue période de sécheresse et il a une pluviométrie insuffisante, ce phénomène a réduit le niveau des nappes. Pour cela, l'économie de l'eau surtout dans le domaine agricole est indispensable.

Le goutte à goutte est la solution puisque il donne des faibles quantités pendant plusieurs jours, qui consiste à apporter à chaque plante ou arbre, individuellement la quantité d'eau dont elle a exactement besoin, en fonction des types de sol, des spécificités du climat et de son développement, sans ruissellement appréciable. Dans cette partie, nous allons essayer de citer les divers paramètres de dimensionnement du réseau d'irrigation localisé.

III-1. Présentation de l'exploitation étudiée

III-1-1. Localisation et justification de choix.

La région faisant l'objet de notre étude est localisée dans la Wilaya de Tipaza, il est situé dans la vallée de l'oued Nador « secteur IV » du périmètre Sahel Algérois Ouest à environ 60 Km à l'Ouest d'Alger et il est limité :

- ◆ Au Nord par chef lieu de la wilaya.
- ◆ Au Sud, par la commune de Nador.
- ◆ À l'Est par Haouche Bel Oundja Ahmed
- ◆ À l'Ouest par l'Oued El Nador.

Notre étude a été effectuée dans un verger qui couvre une superficie de 3.6 ha de l'haricot vert irriguée en goutte-à-goutte par les eaux épurées

Les coordonnées de l'exploitation sont:

Latitude: 36° 34' 19" N. Longitude: 02° 24' 11" E. Altitude: 10 m.



Figure III-1: Position de l'exploitation étudiée

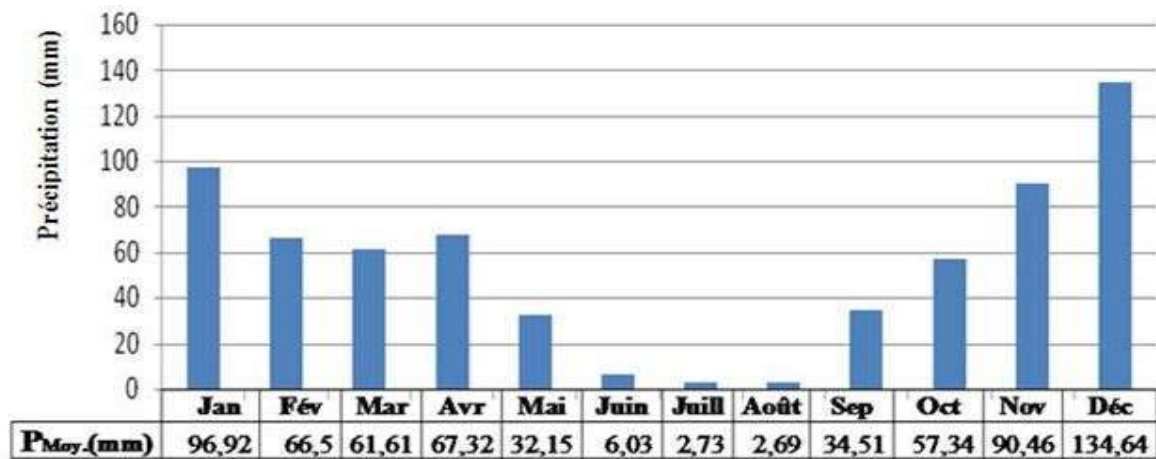
Source : Google earth

III-1-2. Données climatiques

Du fait de sa situation géographique et son appartenance à la plaine de la Mitidja ouest, la station est caractérisée par un climat méditerranéen avec un été chaud et un hiver doux et humide à pluviométrie irrégulière et de rares gelées.

III-1-2-1. Pluviométrie

L'eau est également un élément essentiel qui contribue aux fonctions vitales du végétal. La connaissance des quantités de pluie reçues permet de prévoir les périodes d'irrigation afin de diminuer les pertes en eau et d'augmenter le rendement.

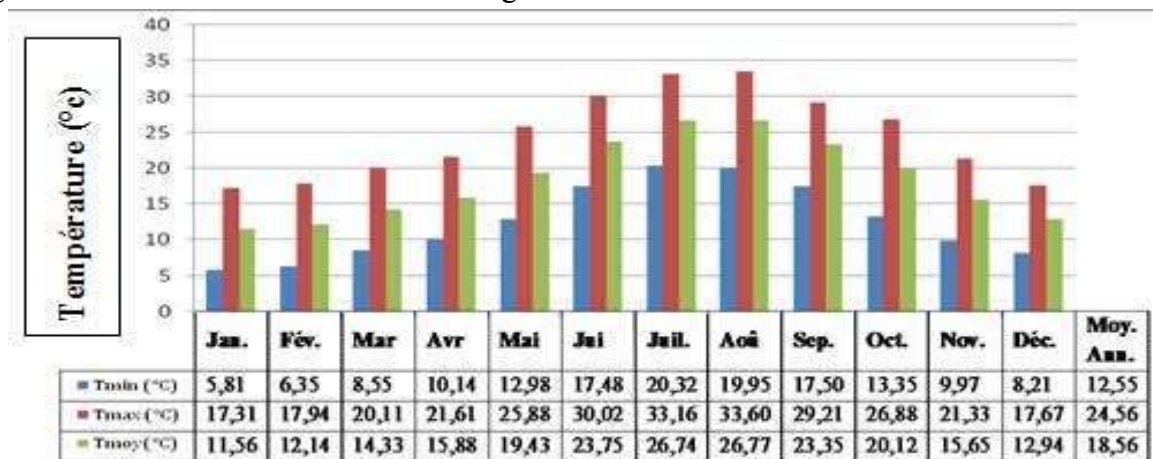


Source : ANRH de Blida

Figure III-2 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) au niveau du barrage de Boukourdene (1987-2011).

III-1-2-2. Températures

La température est parmi les facteurs climatiques les plus importants qui ont une grande influence sur la croissance du végétal.



Source : ANRH de Blida.

Figure III-3: Températures moyennes des minima, des maxima et des moyennes mensuelles.

CHAPITRE III Paramètres de dimensionnement du réseau d'irrigation

III-1-2-3. Le vent

Il est nécessaire de connaître la vitesse du vent avant d'installer tous types de cultures



Source : ANRH de Blida

Figure III-4: vitesses mensuelles du vent au niveau de la station météorologique du barrage de *Boukourdene* (1987-2011).

III-1-2-4. L'humidité relative de l'air

L'humidité relative est fonction des précipitations.

Le tableau suivant nous montre les résultats de l'humidité relative moyenne mensuelle (%) durant la période (1987-2011).



Source : ANRH de Blida.

Figure III-5: Moyennes mensuelles de l'humidité relative (%) au niveau du barrage de *Boukourdene*.

Les données du tableau montrent que l'humidité relative la plus basse est notée au mois d'Aout avec 47,13 %, et le maximal est enregistré pendant le mois de Décembre avec 54,81 %.

III-1-2-5. Insolation

Nombre d'heure d'ensoleillement dans la région est assez élevée ; la moyenne annuelle est de 7,7 heures par jour. L'ensoleillement annuel total est de 2821 heures.



Source : SELTZER

Figure III-6: Ensoleillement en heures.

III-1-2-6. Diagramme Ombrothermique de Gaussen

Ce diagramme permet de définir les mois secs. Un mois sec est celui dont les précipitations totales exprimées en mm sont égales ou inférieures au double de la température exprimée en degré centigrade ($p < \text{ou} = 2T$). Le diagramme Ombrothermique a été réalisé avec les données climatiques relevées de la station météorologique du barrage de *Boukourdene*.

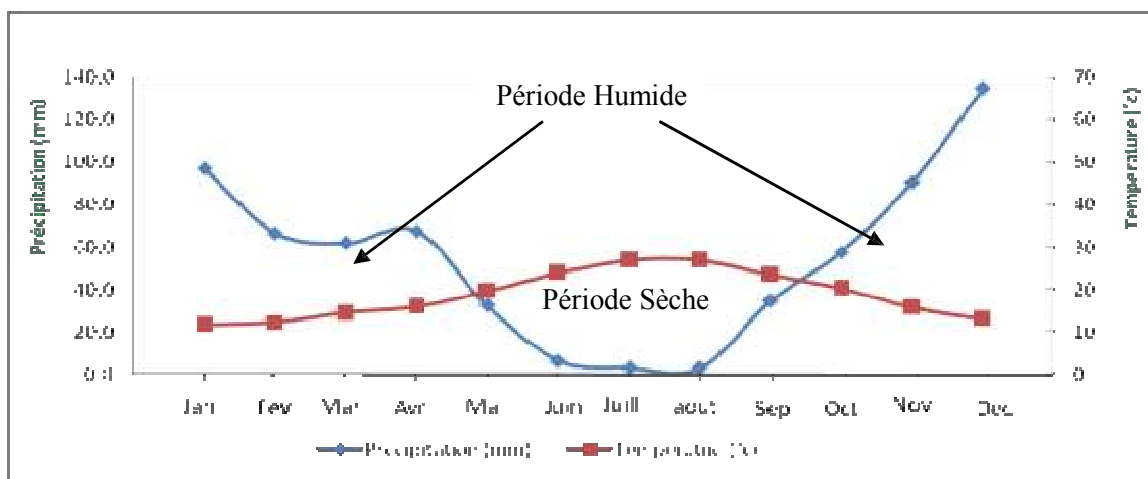


Figure III-7 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen

Le diagramme Ombrothermique fait ressortir une période sèche qui s'étale sur environ 5 mois, allant du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre.

Avec ce régime pluviométrique les cultures printanières dépendent dans une large mesure de l'irrigation, et ne peuvent subsister que les plantes résistantes au stress hydriques et à forte densité racinaire et dont la période végétative est assez courte

III-2. Caractéristiques du sol

Pour caractériser notre sol, on a réalisé des analyses physique de ce dernier durant le mois de juin de l'année 2013 au laboratoire de pédologie au niveau de l'ENSH on a utilisé comme matériels :

a. Tarière :

La tarière est utilisée pour le prélèvement des échantillons du sol à différentes profondeurs (jusqu'à 90 cm de profondeur), pour le suivi des teneurs en eau du sol.

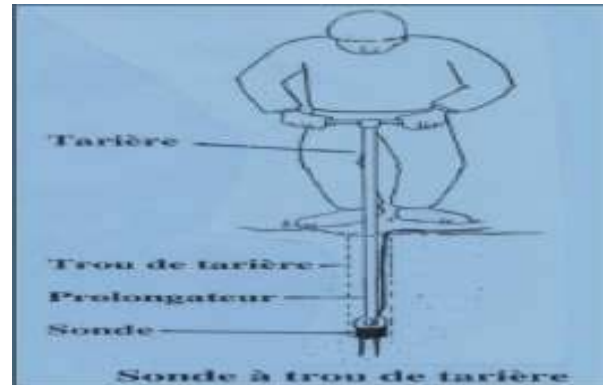


Figure III-8: sonde à trou de tarière

b. Etuve

C'est un appareil qui se règle à différentes températures, utilisé pour le dessèchement de plusieurs matières, dans notre cas, la matière est le sol.



Figure III-9: Etuve

c. Balance de précision

Appareil de pesée, utilisé dans notre travail pour la pesée des échantillons du sol.



Figure III-10: Balance de précision

Les résultats sont résumés comme suit :

CHAPITRE III Paramètres de dimensionnement du réseau d'irrigation

III-2-1. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique des 03 profils du sol a montré les résultats suivants :

Tableau III-1 : analyse granulométrique de la parcelle

Profondeur (cm)	0-30	30-60	60-90
Argile %	25.72	19.2	18.5
Limon fin %	28.02	42.58	32.5
Limon grossier %	33.46	34.1	41.51
Sable fin %	9.97	3.24	6.88
Sable grossier %	3.01	0.88	0.61

D'après le triangle des textures (Annexe 02) on trouve que notre sol est un sol limono-argileux.

III-2-2. Densité apparente (Da) :

$$\text{On: } Da = \frac{Ps}{V} \dots\dots\dots \text{ (III-1)}$$

Ps : Poids sec de l'échantillon ;

V : volume de l'échantillon (volume du cylindre).

Les résultats obtenus en appliquant la formule (III-1) sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau III-2 : Densité apparente de la parcelle (établi par nous-mêmes, 2013)

Niveau de prélèvement (cm)	30	60	90
Poids humide (g)	270,75	362,23	352,56
Poids sec (g)	226,11	297,86	300,97
Volume (cm³)	196,140	202,175	202,175
Da (g/cm³)	1,152	1,473	1,488
Da moy(g/cm³)	1,37		

III-2-3. Analyse du sol selon L'ANRH

D'après l'analyse faite par laboratoire de l'A.N.R.H on peut présentera dans le tableau suivant :

CHAPITRE III Paramètres de dimensionnement du réseau d'irrigation

Tableau III-3 : résultats analytiques du sol

Solution du sol			Caractéristique physique		Complexe absorbant (meq/100gde sol)			
Profondeur (cm)	CE (mmhos/cm)	PH	PF _{2.5}	PF _{4.2}	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺
0-10	1.17	7.6	29.1	16.1	1.7	1.32	5	44
10-30	1.02	7.86	29.7	17.4	0.87	1.06	4	41
30-60	1.28	7.8	28.6	17.3	0.87	0.40	3	44
60-150	1.47	7.76	29.6	18.5	0.89	0.29	3	44

Source : ANRH de Blida.

CE : Conductivité Electrique

pF_{2,5} : la capacité de rétention max, correspond a une succion matricielle de 0,33 bar (-3,3 m ou Pf 2,5), par analogie à l'échelle de pH, le pF est défini comme le logarithme décimal de la valeur absolue de la charge de pression matricielle.

pF_{4,2} : point de flétrissement, la plante absorbe l'eau difficilement, un potentiel matricielle moyenne de 16 bar (-160 m ou Pf4, 2).

III-3.Les ressources en eau

La ressource en eau utilise pour l'irrigation dans notre parcelle provient d'oued Nador qui est alimente par les eaux usées épurées de la STEP de Hadjout
Débit de pointe 0,129 m³/s

III-4.La culture en place

La culture en place dans l'exploitation est une parcelle de l'haricot vert dans superficie de 3.6ha (**Figure III-11**), Espacement entre plants 0,4 m et l'espacement entre rang 0,75m équipées d'une installation d'irrigation par goutte à goutte.



Figure III-11: La culture en place dans l'exploitation.

III-5. Les besoins en eau

Dans un premier temps, la détermination des besoins en eau d'une culture nécessite la connaissance de divers paramètres concernant, aussi bien la plante elle-même que les données climatiques ou pédologiques de la région.

Selon Doorenbos et Pruitt (1975) le climat est l'un des facteurs qui influe le plus sur le volume d'eau que la culture perd par évapotranspiration. Les pratiques agronomiques, les techniques d'irrigation, les engrais, les infestations dues aux insectes et aux maladies peuvent aussi influencer le taux d'évapotranspiration.

Pourquoi déterminer les besoins en eau des cultures ?

Connaître la valeur des besoins en eau des cultures est à la base de :

- ◆ projet d'irrigation : conception des réseaux d'irrigation (calcul du débit de dimensionnement des ouvrages),
- ◆ gestion des réseaux d'irrigation : prévision à court terme (programmation des apports d'eau), - pilotage des irrigations,
- ◆ planification de l'utilisation des ressources hydrauliques : volume d'eau nécessaire pour l'irrigation, surfaces irrigables au vu des ressources, etc.

Comment déterminer les besoins en eau des cultures ?

D'après Doorenbos et Pruitt (1975) l'estimation de l'évapotranspiration en vue de la programmation de l'irrigation doit se faire en se fondant sur le calcul de l'évapotranspiration maximale et de la pluie efficace (Peff).

III-5-1. Calcul de l'évapotranspiration

Le calcul de l'évapotranspiration a été réalisé selon la méthode Penman et Monteith par la formule se présentant comme suite :

$$ET_0 = C * [W * Rn + (1 - W) * F(u) * (ea - ed)]$$

ET_0 : Représente l'évapotranspiration de référence, exprimées en mm/jour.

W : Facteur de pondération rendant compte de l'effet de rayonnement à différente température et altitude.

Rn : Rayonnement net en évaporation équivalente, exprimé en mm/jour.

$F(u)$: Fonction liée au vent.

ea : Tension de vapeur saturante à la température moyenne de l'air, en millibars.

ed : Tension de vapeur réelle moyenne de l'air, exprimée en millibars.

La différence ($ea - ed$) constitue le facteur de correction, afin de compenser les conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

Le calcul se fait à l'aide de Logiciel Cropwat 8, et le résultat de ce calcul est donné dans l'annexe(03)

CHAPITRE III Paramètres de dimensionnement du réseau d'irrigation

III-5-2. Calcul du besoin en eau d'irrigation pour la culture

Les besoins théoriques mensuels sont déterminés par le bilan hydrique

$$B = ETM - (P_{eff} + RFU)$$

B : besoin en eau d'irrigation (mm)

ETP : évapotranspiration (mm/jour) \longrightarrow $ETM = Kc * ET_0$

Kc : Représente le coefficient culturale, dépendant du type de la culture et de son stade de développement, et des conditions climatiques qui y règnent.

RFU : réserve facilement utilisable

$$RFU = Y(H_{cc} - H_{pf}) \cdot D_a \cdot Z$$

Y : degré tarissement

D_a : Densité apparente

Z : profondeur d'enracinement mm

H_{cc} : Humidité à la capacité au champ

H_{pf} : Humidité au point de flétrissement

P_{eff} : Pluie efficace

$P_{eff} = A * P_{80\%}$; ou $A = 0,8 \text{ à } 0,9$ (pour notre cas on va prendre $A = 0,8$) voir l'annexe(04)

L'irrigation se fait lorsque $B > 0$

Le résultat de calcul est récapitulé sur le tableau ci-après :

Tableau III-4: Besoins en eau d'haricot vert

mois	decade	phase	ET0	Kc	ETM	ETM	Peff	RFU	Besoin net (mm/mois)
			(mm/j)	(coef)	(mm/j)	(mm/mois)			
mars	1	Init	3,26	0,35	1,141	35,21	30,75	42	0,00
	2	Init	3,26	0,35	1,141				
	3	In/De	3,26	0,36	1,174				
avril	1	Deve	3,5	0,47	1,65	92,4	27,46	37,54	27,40
	2	Deve	3,5	0,68	2,38				
	3	Deve	3,5	0,88	3,08				
mai	1	De/Mi	3,66	1,07	3,916	127,37	17,02	0	110,35
	2	Mid	3,66	1,16	4,25				
	3	Mid	3,66	1,16	4,25				
juin	1	Mi/Lt	4,15	1,15	4,77	134,46	3,6	0	130,86
	2	Late	4,15	1,08	4,48				
	3	Late	4,15	0,96	3,98				
Totale							78,83		268,61

CHAPITRE III Paramètres de dimensionnement du réseau d'irrigation

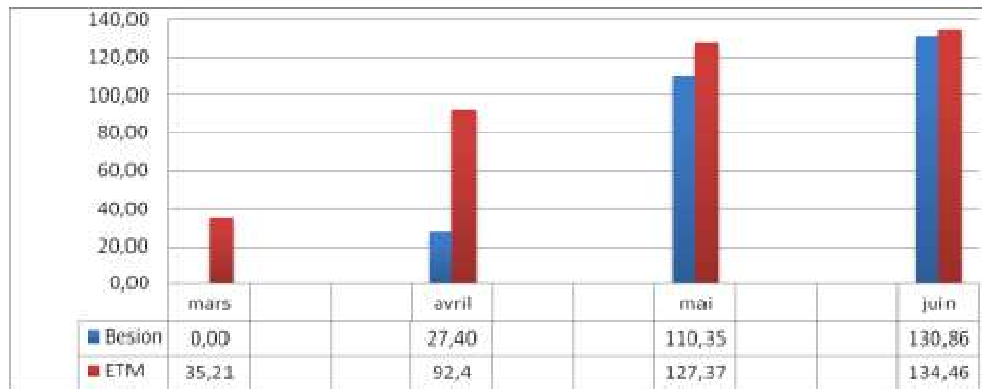


Figure III-12: représente l'ETM et les besoins d'irrigations

D'après le Figure III-12 on constate que le mois de pointe est juin avec 130,86 mm/mois

D'où : $130,86 \text{ mm/mois} = 1308,6 \text{ m}^3/\text{ha/mois}$

Tableau III-5: Tableau récapitulatif des besoins totaux en eau.

CULTURES	Superficie ha	B nets mm	B nets m3/ha	B nets Totaux m3	Efficienc %	B bruts m3/ha	B bruts Totaux m3
Haricot vert	3,6	130,86	1308,6	4710,96	0,75	1744,8	6281,28

III-6. Présentation du réseau d'irrigation localisée

Le réseau d'irrigation est alimenté par l'oued qui distribue l'eau vers la parcelle à irriguer par une motopompe 2600 tr/min composés de deux turbines.

a. Les équipements

- ❖ Conduite d'adduction de 5 m
- ❖ Conduite de distribution : se trouve à l'opposé de la conduite d'arrivée;

b. Le mode de fonctionnement

Pour que le démarrage et l'arrêt de la moto-pompe se fassent manuellement par l'agriculteur.

La photo suivante montre la moto-pompe utilisée pour irriguer la parcelle :



Figure III-13: Moto-pompe utilisée

CHAPITRE III Paramètres de dimensionnement du réseau d'irrigation

Le réseau ne comprend pas de matériel complet d'irrigation localisé, on remarque l'absence d'un bassin de stockage et de l'élément le plus important qui est la station de tête :

- ◆ Absence d'un régulateur de pression, et d'un régulateur de débit ;
- ◆ Absence d'un manomètre...

III-6-1. La conduite principale

L'irrigation de la parcelle, l'eau est amenée par canalisation principale en polyéthylène souple. Ce tuyau de diamètre 80 mm et de longueur de 250 m, qui ont un rôle de relier l'unité de tête au porte-rampes.

III-6-2. La porte – rampe

Il est alimenté par la conduite principale, en (polyéthylène souple) de diamètre 70 mm et de longueur de 120m, qui ont un rôle de transport de l'eau jusqu'en bout de rang, sont raccordés aux gaines.

III-6-3. Les Rampes (Les gaines)

La répartition de l'eau dans les rangs de l'haricot se fait par des gaines en plastique souple avec goutteurs incorporés de diamètre 16 mm ; Écartement entre goutteurs 11 cm. et de longueur de 80 m

Les autres indications sont mentionnées dans le schéma suivant :

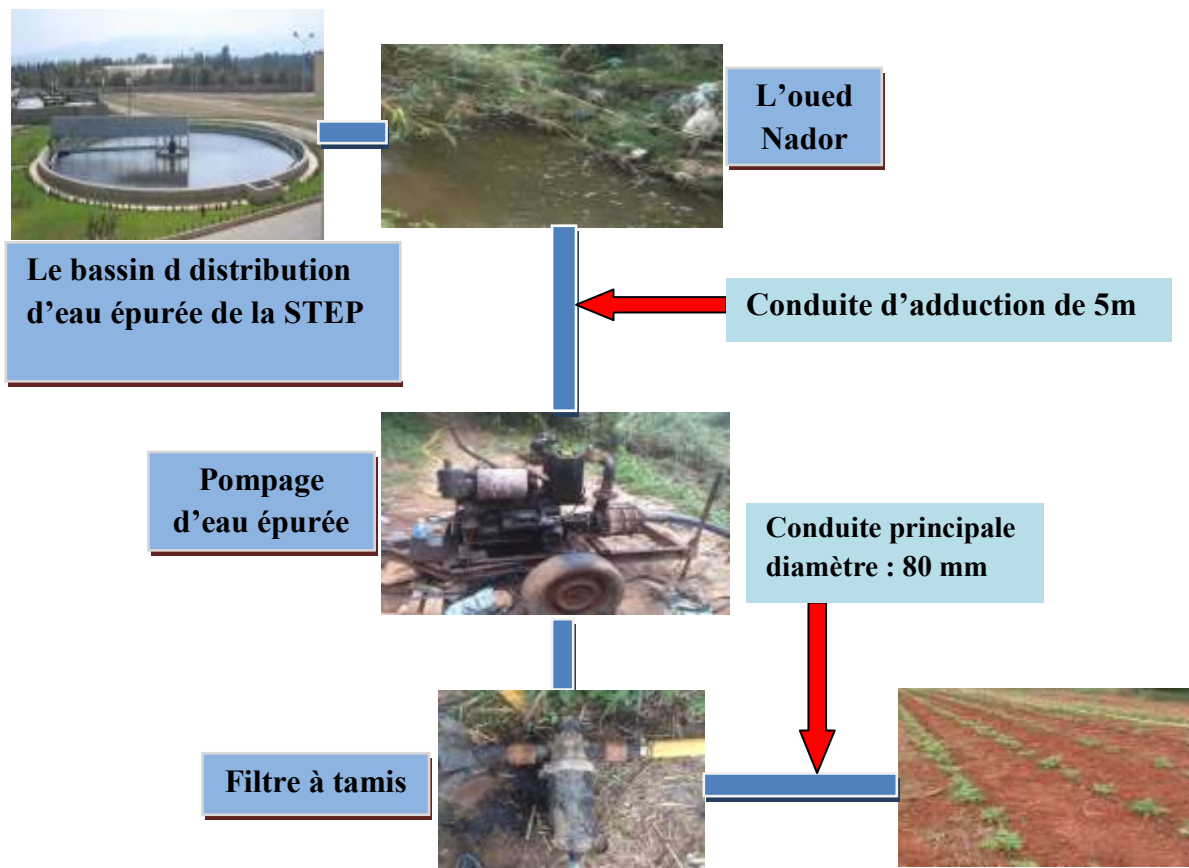


Figure III-15: Schéma représentatif du réseau d'irrigation localisée de la parcelle

Chapitre IV:

*Etude des performances de
l'équipement*

Introduction

Comme c'est déjà mentionné précédemment, notre étude va porter sur les indicateurs de performance au niveau de l'exploitation.

Avant de présenter la méthodologie de travail et les résultats issus de cette étude, voici un aperçu général et quelques définitions des indicateurs de performance qui font l'objet de notre étude.

IV-1. Indicateurs des performances

IV-1-1. Énergie consommée par mètre cube pompé

La consommation d'énergie par une station de pompage, est directement calculée par la lecture de compteur électrique dans un intervalle de temps, et on a le débit pompé par la station à l'aide de ces deux valeurs on peut calculer facilement l'énergie consommée par mètre cube pompé.

Dans notre cas l'agriculteur utilise une motopompe alimentée par gaz oil pour l'irrigation et qui consomme 20 l/4h.

IV-1-2. Taux d'utilisation de l'eau à l'exploitation.

En tant que rapport du volume facturé sur les besoins en eaux des cultures. Le volume facturé est déterminé par l'énergie consommée, le volume facturé de l'eau de l'oued. et les besoins en eaux ont été déjà calculés dans le chapitre III.

Cet indicateur permet de caractériser l'efficacité avec laquelle l'eau utilisée sur le champ, est emmagasinée dans la zone racinaire d'où elle est utilisée par la plante.

IV-1-3. Taux d'intensification

Qui tient de relation physique entre la superficie de la culture irriguée et la superficie irrigable.

Le taux d'intensification est un indicateur plus important, il permet de dégager l'efficacité du réseau pour irriguer la superficie irrigable, et la disponibilité de l'eau pour satisfaire les besoins de l'exploitation en eau.

IV-1-4. Taux d'occupation

C'est le rapport entre la superficie emblavée et la superficie irrigable, qui permet de donner un pourcentage sur les cultures irrigables et les cultures en sec, pour juger l'intensité de l'irrigation sur l'exploitation.

IV-1-5. Consommation moyenne à l'hectare

C'est le rapport entre le volume facturé sur la superficie des cultures irriguées, ce rapport a pour but de connaître le volume d'eau consommé par un hectare, pour comparer avec le besoin en eau d'un hectare.

IV-1-6. Consommation moyenne de l'exploitation

En tant que rapport du volume facturé sur la superficie irrigable. Dans ce cas pour comparer avec les besoins totaux de l'exploitation.

IV-1-7. Coût de l'eau

Dans la pratique, les redevances d'eau sont normalement bien en dessous du niveau nécessaire pour récupérer les coûts financiers et encore plus pour relever les coûts marginaux et les effets externes, dans la mesure où elles sont fixées à des niveaux qui n'indiquent en rien la véritable importance ou valeur de l'eau.

Les éléments essentiels du coût de l'eau à considérer sont les charges d'investissement, les charges d'énergie et d'entretien des équipements.

Le coût d'investissement en matériels destiné à équiper une superficie donnée dépend beaucoup de la forme de la parcelle, c'est-à-dire de la longueur de parcelle dominée par l'organe de distribution.

Les durées d'amortissement sont indicatives, les durées de vie des matériels étant mal connues. L'état des équipements les plus anciens semblent indiquer qu'elles sont sous-évaluées.

Un élément de coût important en irrigation réside dans les charges d'énergie nécessaires pour assurer une pression suffisante au niveau des équipements d'irrigation. Ce coût est direct en cas de pompage individuel ou inclus dans le prix de l'eau en cas de distribution par réseau collectif sous pression.

IV-1-8. Taux de recouvrement des frais d'exploitation

C'est la relation physique entre le tarif du mètre cube, et le coût de l'eau. Si ce taux est inférieur à un, cela signifie que les charges des frais d'exploitation sont très élevées.

IV-1-9. Taux d'équipement

Représente la superficie équipée par chaque système d'irrigation, par rapport à la superficie irrigable. Ce taux d'équipement permet d'obtenir le pourcentage de chaque système d'irrigation par rapport à la surface irrigable, afin de connaître quelle est le système le plus dominant, et pour quoi ce système.

IV-2. Performances du système d'irrigation

La démarche adoptée pour l'analyse diagnostic comporte différentes étapes : collecte des données disponibles, réalisation d'enquêtes et mesure de quelques paramètres de performance du système d'irrigation

Selon la pratique d'irrigation utilisée (localisée) nous avons effectué des mesures sur:

- ❖ Temps de remplissage du réseau ;
- ❖ Détermination de l'uniformité de distribution ;
 - ◆ Mesures de débits des goutteurs sur l'installation ;
- ❖ Détermination du débit de la rampe ;
- ❖ Détermination du débit linéaire ;
- ❖ Mesure de la pression à l'entrée et au bout de la rampe ;
- ❖ Détermination du taux de colmatage au niveau des goutteurs.

IV-2-1. Temps de remplissage du réseau

C'est le temps écoulé entre l'ouverture de la vanne principale située au niveau de la station de tête et le déclenchement du dernier goutteur. Il est utilisé dans la détermination de la durée d'arrosage qui est égale à 10 fois le temps de remplissage du réseau.

On a utilisé un chronomètre pour effectuer ces mesures.

$$D_a = T_r \times 10 \dots\dots\dots (IV-1)$$

Avec :

D_a: durée d'arrosage ;

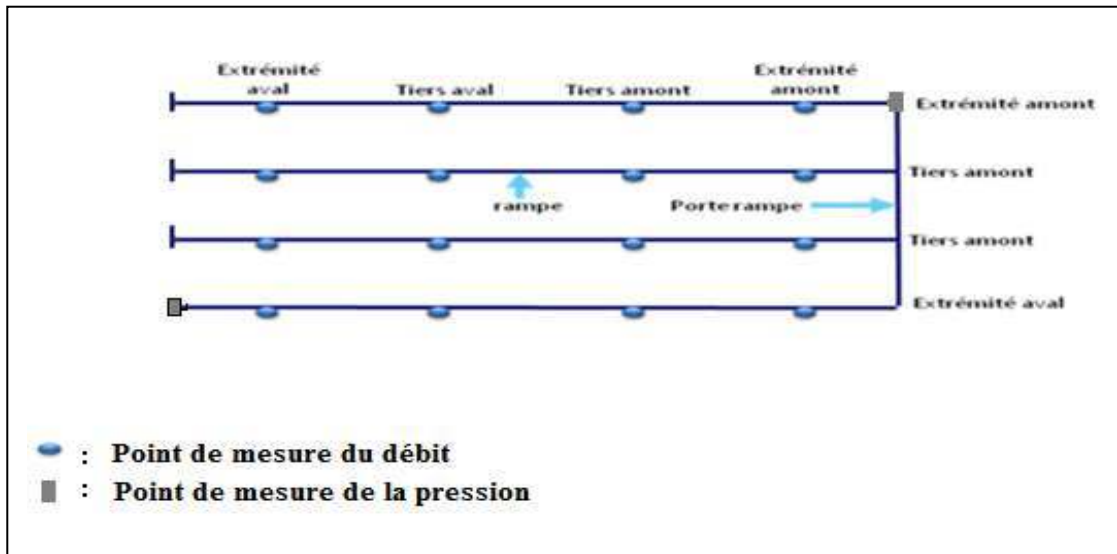
T_r: temps de remplissage du réseau.

IV-2-2. Détermination de l'uniformité de distribution

a. Mesures de débits des goutteurs sur l'installation en place

On utilise la procédure suivante pour calculer l'uniformité de distribution :

Nous mesurons les débits des goutteurs se trouvant au début, à la moitié et à la fin d'une rampe sur deux et ceci par l'utilisation d'un récipient pour recueillir l'eau des goutteurs, d'une éprouvette graduée servant à mesurer les volumes et d'un chronomètre servant à mesurer le temps (**Figure IV-1**).



Source : Cemagref, 2003.

Figure IV-1: Schéma représentatif des points de mesure des débits des goutteurs et les pressions.

- ◆ La moyenne de l'ensemble des débits mesurés :

$$\bar{q} = \frac{\sum_{i=1}^{16} q_i}{16} \dots\dots\dots (IV-2)$$

- ◆ La moyenne des 4 débits mesurés les plus faibles :

$$q_{25} = \frac{\sum_{i=1}^4 q_{faibles}}{4} \dots\dots\dots (IV-3)$$

- ◆ Coefficient d'uniformité des goutteurs :

$$CU\% = 100 \times \frac{\bar{q}_{25}}{\bar{q}} \dots\dots\dots (IV-4)$$

Avec q_i : débit d'un goutteur (l/h).

\bar{q} : Débit moyen des goutteurs

\bar{q}_{25} : La moyenne des quatre débits les plus faibles

CU est supérieur à 90 %	il n'y a pas lieu d'intervenir sur le réseau
CU est compris entre 90 et 70 %	le réseau doit être nettoyé
CU est inférieur à 70 %,	il faut rechercher les causes du colmatage et traiter (Cemagref, 2003)

Source : Cemagref



Figure IV-2: Mesures du débit des goutteurs.

IV-2-3. Détermination du débit de la rampe

Pour mesurer le débit de la rampe, on a utilisé la formule suivante :

$$Q_r = N_g \times Q_g \dots \dots \dots (IV-5)$$

Q_r : Débit des rampes (l/h) ;

Q_g : Débit des goutteurs (l/h) ;

N_g : Nombre de goutteurs

IV-2-4. Détermination du débit linéaire

Pour comparer le débit linéaire du réseau à celui donné par le fabricant, nous avons mesuré les débits de 10 goutteurs successifs sur 1 m de gaine

La figure suivante nous illustre la façon de mesurer.



Figure IV-3: Mesure du débit linéaire.

IV-2-5. Mesure de la pression

Pour mesurer les pressions à l'entrée et au bout des rampes on a utilisé un manomètre de 6 bars comme le montre la figure suivante :



Figure IV-4: Mesure de pression à l'aide d'un manomètre.

IV-2-6. Détermination du taux de colmatage au niveau des goutteurs

Le taux d'obstruction est donné par la relation :

$$\text{Taux Obstruction} = \frac{(Q_{nom} - Q_{mes})}{Q_{nom}} \times 100 \dots\dots\dots (IV-6)$$

Avec :

Taux obstruction : taux de colmatage (%) ;

Q_{nom} : Débit nominal donné par le fabricant (l/h) ;

Q_{mes} : Débit mesuré (l/h).

IV-2-7. Détermination de la dose ramenée durant l'irrigation

$$D = N_g \times Q_{moy} \times T \dots\dots\dots (IV-7)$$

D : Dose d'irrigation (mm) ;

N_g : Nombre de goutteurs ;

T : Durée d'irrigation (h) ;

Q_{moy} : Débit moyen des goutteurs (l/s).

IV-2-8. Détermination des besoins en eau sur terrain de l'haricot vert

On calcule d'abord la dose réellement apportée sur le terrain :

$$\text{La dose apportée} = (Q \times T \times 3600) / S \dots\dots\dots (IV-8)$$

S : surface irriguée pendant le temps ($36\ 000\ \text{m}^2 = 3,6\ \text{ha}$)

Q : Débit d'entrée à la parcelle

T : Durée d'irrigation (4 h)/3,6 ha

Ensuite, on compare les besoins trouvés réellement apportés sur le terrain et ceux qui sont donnés par le logiciel (Cropwat 8.0).

IV-2-9. Suivi de la teneur en eau du sol :

Selon Audoy et al, (2007), la mesure de la teneur en eau massique consiste à prélever un échantillon à la tarière, et à déterminer son poids humide et sec, ce dernier est obtenu par séchage à l'étuve à 105°C , pendant 24 h jusqu'à un poids constant.

Pour les teneurs en eau on a utilisé la méthode pondérale (du double pesée) et utilisé les lois suivantes :

◆ Stock:

$$\text{Stock} = \text{sol}_{\text{humide}} - \text{sol}_{\text{sec}}$$

◆ Stock Ponderal θ_p

$$\theta_p = \text{stock} / \text{sol}_{\text{sec}}$$

◆ Stock volumique: θ_v

$$\theta_v = \theta_p * D_a \quad (\text{g/cm}^3)$$

◆ Teneur en eau: (g/cm^2)

$$T = \int_{z_1}^{z_2} \theta_v dz = \theta_v [z_2 - z_1]$$

Avec :

T : teneur en eau en g/cm^2 .

Z₁ : profondeur initiale en cm.

Z₂ : profondeur finale en cm.

a. Stock d'eau 24 h avant et après irrigation

La détermination du stock se fait selon les étapes suivantes :

- ◆ Prélever des échantillons du sol à différentes profondeurs (30 cm, 60 cm, 90cm) à l'aide d'une tarière ;
- ◆ Peser les échantillons à l'aide d'une balance de précision, avant passage à l'étuve ;
- ◆ Mettre les échantillons dans une étuve réglée à 105°C pendant 24h ;
- ◆ Peser les échantillons à l'aide d'une balance de précision après leurs passages à l'étuve.

b. Efficience d'application

L'efficience d'application peut être décomposée en plusieurs facteurs :

- ◆ Un facteur « uniformité d'irrigation », défini comme le rapport entre la hauteur moyenne d'eau infiltrée sur le quart de la surface la moins bien arrosée et la hauteur moyenne d'eau sur l'ensemble du champ;
- ◆ Un facteur lié à la conduite elle-même, qui prend en compte la bonne ou mauvaise gestion du couple débit-temps, le suivi du déroulement de l'irrigation.

Nous indique sur le rendement de l'irrigation, elle est calculée par la formule suivante

$$Ea (\%) = [\text{Volume utile (m}^3/\text{ha)} / \text{Volume apporté (m}^3/\text{ha)}] * 100$$

Conclusion

En se basant sur ces différents paramètres de mesure et outils de travail disponibles, on peut procéder à un suivi pratique sur terrain de technique d'irrigation (localisée) pour les cultures menées à l'exploitation.

Les résultats de mesure sont présentés dans le chapitre suivant.

Chapitre V:

Présentation des résultats

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats des mesures des travaux effectués sur notre parcelle dans le but d'étudier les indicateurs de performances techniques des systèmes d'irrigation et faire une comparaison entre la parcelle représentative (3,6 ha) qui est irriguée par les eaux usées épurées et celle qui est irriguée avec les eaux conventionnelles mais malheureusement les agriculteurs ils ont pas accepté pour rentrer dans leurs exploitations et faire les mesures, donc on suivi uniquement la première et essayer interpréter les résultats par rapport aux normes.

V-1. Indicateurs des performances de l'exploitation.

L'énergie consommée par la motopompe dans la parcelle est calculée d'après l'agriculteur, et on trouve il faut une quantité **0,013 l** de gaz oïl pour pomper **1m³** d'eau, cette valeur permet de maîtriser le facteur énergie.

Le taux d'utilisation de l'eau à la parcelle est de **2,70 %**, on remarque que le volume facturé est supérieur aux besoins en eau de la culture ça permet à nous à dire que l'eau pompée est suffisante pour la culture en place ce qui entraîne une augmentation de rendement.

Le taux d'intensification pour la parcelle à analyser est de **100%**, car la superficie irriguée et la superficie irrigable sont les mêmes (3,6 ha), on peut dire qu'il n'y a aucun problème sur le réseau d'irrigation ou sur la disponibilité de l'eau pour irriguer toute la superficie irrigable.

Le taux d'occupation dans la parcelle est de **100%**, ça amène à dire que la culture est totalement irriguée et pas de culture en sec ce qui donne une amélioration de rendement de la culture emblavée.

La consommation moyenne de l'eau à l'hectare et à la parcelle est de **3536,92 m³/ha**, ce volume moyen consommé par la culture en place va être comparé avec le besoin total de la parcelle afin de juger la consommation.

Pour le coût de l'eau dans la parcelle, on a fait une estimation avec l'exploitant de toutes les charges de l'irrigation de la parcelle, le Tableau V-1 donne toutes les charges et l'amortissement.

Tableau V-1 : les charges d'irrigation dans la parcelle.

Charges	Coût (DA)	Durée d'amortissement (ans)	Charge d'amortissement (DA)
Localisée	200 000	5	40 000
Station de tête	14 500	10	1 450
Motopompe	50 000	6	8333
Gaze oïl	8481	-	-
Total	272981		49783

Source: D'après l'exploitant

Le coût de l'eau sera les charges d'amortissement et les coûts de gaze oïl sur le volume facturé (12732,9 m³), et on obtient que un mètre cube coûte 3,91 DA. Ce coût est élevé malgré l'eau est donnée gratuitement par la STEP, mais il est justifié par les charges élevées de l'irrigation. Afin, de connaître le coût de l'eau et la consommation d'énergie par mètre cube d'eau pompée, on peut calculer le taux de recouvrement de frais de la parcelle. Le prix de 1 l de gaze oïl est 13,7 DA, alors le prix d'un mètre cube d'eau sera de 0,178 DA, et le taux de recouvrement des frais de l'exploitation est le rapport entre le prix et le coût d'un mètre cube de l'eau qui donne un taux de **4,55 %**, ce taux est très faible a cause du coût élevé de l'eau.

Le taux d'équipement de l'irrigation pour le système localisée est 100%, à cause de l'économie de l'eau et d'énergie et la main d'œuvre pendant l'irrigation,

V-2. Performance du système d'irrigation

Dans cette partie, nous allons présenter les résultats de mesures des travaux effectués en irrigation et essayer de les interpréter.

Le travail porte sur l'analyse de la technique d'irrigation localisé, il s'agit essentiellement de :

- ❖ Résultats de mesure du débit délivré en tête de la parcelle ;
- ❖ Débits des goutteurs et l'uniformité de distribution ;
- ❖ Débit linéaire et la durée d'irrigation ;
- ❖ Taux de colmatage au niveau des goutteurs ;
- ❖ La pression à l'entrée et en bout de rampes.

Données sur la parcelle

Culture	haricot vert
Surface	3,6 ha
Espacement entre plants	0,4 m
Marque de la gaine	SABtape(Italie)
Longueur de la gaine	80 m
Espacement entre gaines	0,75 m
Nombre de gaines	150
Espacement entre goutteurs	11 cm
Nombre de goutteurs /gaine	727
Nombre de goutteurs	109050 goutteurs
Longueur de pote- rampe	120 m
Temps d'irrigation	4h / jour
Fuites au niveau des gaines	3, 7, 24, 42,88 du réseau

- ◆ Présence d'un filtre à tamis après la vanne directement avec maintenance (nettoyement).
- ◆ Les autres indications sont représentées dans la **Figure III-15** (page 42)

Mesures effectuées dans la parcelle irriguée par les eaux épurées (goutte à goutte) et les résultats

V-2-1. Temps de remplissage du réseau

La mesure du temps de remplissage (T_r) du réseau a donné une durée de 5 min et 23s pour que l'eau arrive depuis la tête du réseau jusqu'au dernier goutteur pour une surface de 3,6 ha (effectuée le 09/06/2013).

$$D_a = 5,23 \times 10 = 52\text{min et } 3 \text{ s.}$$

Ce qui veut dire que la durée d'arrosage (D_a) doit être supérieure ou égale à 52 min et 3 s.

- ❖ le temps mis habituellement par l'agriculteur pour irriguer la même parcelle est 4 heures

V-2-2. Détermination de l'uniformité de distribution

La méthode utilisée est mentionnée dans la page 45 (chapitre IV)

Porte-rampe

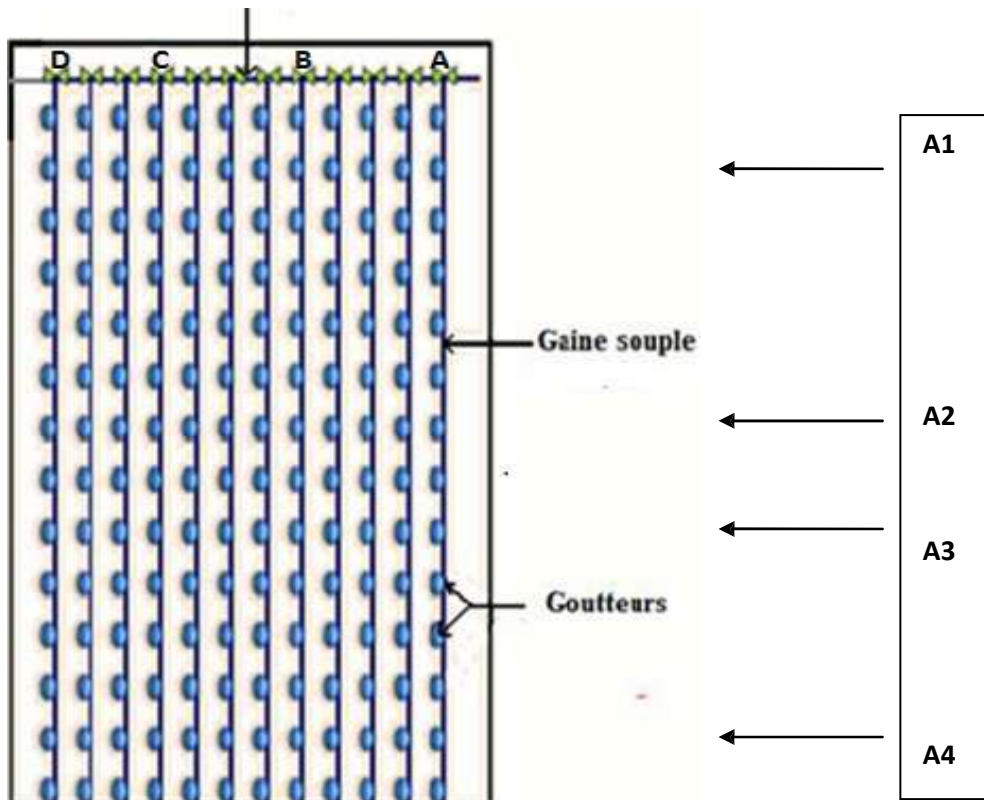


Figure V-1 : Schéma représentatif de la parcelle à étudier

Les résultats de mesure sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V-2: Résultats de mesures du débit des goutteurs (effectuée le 09/06/2013).

Rampes	G	T (min)	V (l)	Q (l/min)	Q _{moy} (l/min)	Q _{moy} (l/h)
A	A1	5	0,042	0,0084	0,0185	1,112
	A2	5	0,140	0,028		
	A3	5	0,147	0,0294		
	A4	5	0,120	0,024		
B	B1	5	0,060	0,012		
	B2	5	0,105	0,021		
	B3	5	0,080	0,016		
	B4	5	0,074	0,0148		
C	C1	5	0,110	0,022		
	C2	5	0,050	0,01		
	C3	5	0,070	0,014		
	C4	5	0,090	0,018		
D	D1	5	0,135	0,027		
	D2	5	0,100	0,02		
	D3	5	0,093	0,0186		
	D4	5	0,067	0,0134		

G : Numéro du goutteur sur la rampe ;

T : Temps (min) ;

V : Volume d'eau (l) mesuré pour le temps T.

Q : Débit apporté par le goutteur G (l/min).

❖ **Interprétation**

Débits des goutteurs mesurés, 1,112 l/h est inférieur au débit nominal donné par le fabricant (1,6 l/h) (Annexe 08) cela est dû aux :

- ◆ faibles pressions dans les gaines.

❖ **Détermination du coefficient d'uniformité**

La méthode utilisée est présentée dans le chapitre IV (page 46)
Le calcul de CU est résumé dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-3: Calcul du débit et du coefficient d'uniformité du réseau.

\bar{q} (l/h)	\bar{q}_{25} (l/h)	CU (%)
1,112	0,657	59,07

Avec :

\bar{q} : Débit moyen des goutteurs (l/h) ;

\bar{q}_{25} : Débit moyen des quatre plus faibles valeurs du débit (l/h) ;

CU : Coefficient d'uniformité (%).

❖ Interprétation

Le coefficient d'uniformité est de 59,07%, il est inférieur à 70 % (Robert Tiercelin, 1998), ce qui nous indique qu'il y a une médiocre uniformité dans la distribution de l'eau (**Figure V-2**) donc il faut rechercher les causes du colmatage et les traiter (Cemagref, 2003).

On a constaté au moment de l'irrigation qu'il ya des endroits gorgés d'eau et d'autres qui se distinguent par l'absence de l'eau (zones sèches), ces résultats sont principalement dus aux bouchages qui cause la variabilité particulièrement en raison de la qualité des eaux ce qui influe sur les débits des goutteurs ainsi ceci peut être dû au mauvais état des gaines (jetables) malgré qui sont à leur première année de fonctionnement.

V-2-3. Débit de la rampe

Le débit de la rampe est mesuré selon la formule suivante :

$$Q_r = N_g \times Q_g = 109050 \times 1,112$$

$$Q_r = 121263,6 \text{ l/h}$$

Avec :

Q_r : Débit des rampes (l/h) ;

Q_g : Débit moyen des goutteurs (1,112 l/h) ;

N_g : Nombre de goutteurs (109050).

V-2-4. Détermination du débit linéaire

La méthode de mesure est donnée dans la page 46 et les résultats obtenus sont représentés au tableau suivant :

Tableau V-4: Résultats de mesures du débit linéaire (effectuée le 09/06/2013).

N° de goutteurs	T (min)	V ₁ (l)	V ₂ (l)	V ₃ (l)	Q _{moy} (l/min/m)	Q _{moy} (l/h/m)
1	5	0,110	0,097	0,112	0,123	7,38
2	5	0,093	0,082	0,070		
3	5	0,070	0,060	0,067		
4	5	0,064	0,060	0,050		
5	5	0,060	0,053	0,055		
6	5	0,062	0,054	0,051		
7	5	0,052	0,055	0,054		
8	5	0,047	0,045	0,046		
9	5	0,042	0,043	0,040		
10	5	0,050	0,054	0,049		

T : Temps (minute) ;

V₁ : Volume d'eau mesuré pour la 1^{ère} mesure ;

V₂ : Volume d'eau mesuré pour la 2^{ème} mesure;

V₃ : Volume d'eau mesuré pour la 3^{ème} mesure;

Q : Débit linéaire moyen (l/min/m).

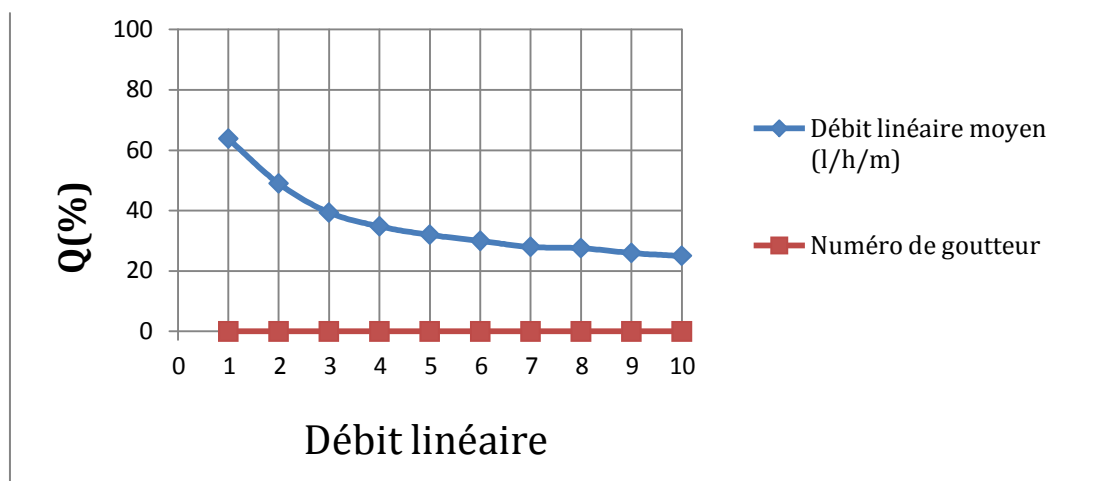


Figure V-2 : débit linéaire moyen des goutteurs

❖ Interprétation

Débit linéaire 7,38 l/h conforme à la norme donnée par le constructeur (1,9 à 7,5 l/h/m)

(Annexe 09)

V-2-5. Mesure de la pression (effectuée le 09/06/2013).

La valeur de pression mesurée à l'entrée de la parcelle est de 1,68 bars et 0,30 bar au bout de la dernière rampe. Ainsi on a mesuré la pression de différentes gaines et les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-5: Pression de différentes gaines

Gaine	Pression mesurée (bars)
8	1,45
38	1,31
45	0,97
90	0,78
141	0,44

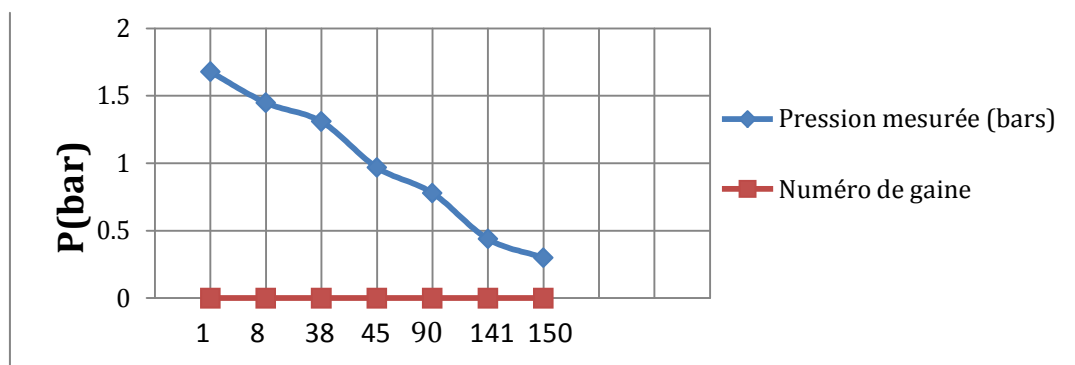


Figure V-3 : Pression mesurée (bars)

❖ **Interprétation**

Les faibles et les grandes pressions sont dues à :

- ◆ La mauvaise installation de la vanne à l'entrée de la parcelle ;
- ◆ l'inclinaison du terrain ;
- ◆ Les pertes d'eau considérables qui surviennent au niveau des gaines

V-2-6. Détermination du taux de colmatage au niveau des goutteurs

Le calcul du taux d'obstruction est fait par la méthode présentée dans la page 48 et le résultat obtenu est mentionné au tableau suivant :

Tableau V-6: Taux de colmatage dans les gaines perforées.

Culture	Q _{nom} (l/h) (Constructeur)	Q _{mes} (l/h)	TX _{Obstruction} (%)
Haricot vert	7,5	1,112	47,2

❖ Interprétation

Taux d'obstruction (colmatage) est estimé à 47,2%, le réseau souffre de colmatage en le comparant avec l'irrigation avec les eaux conventionnelles 20 % (Abbaci, Remini, 2011)

Ceci est dû a cause d'éléments minéraux ou organiques, en suspension dans l'eau puisque il n'y a pas de bassin de stockage, ou à des accumulations d'algues malgré le nettoyage journalier de filtre à tamis par l'agriculteur.

Le traitement tertiaire des eaux usées épurées s'avère souvent nécessaire afin d'améliorer la qualité et de permettre une réutilisation moins restreinte. Le traitement réalisé par filtration sur colonne de sable, montre que plus la couche de sable est importante, meilleur est le rendement qualitatif consécutif à une plus grande élimination des matières en suspension (Ripert et *al.*, 1990).

Le tableau suivant synthétise tous les résultats obtenus

Tableau V-7: Comparaison entre les paramètres mesurés et les normes

Paramètres	Mesurés	Normes
Débit du goutteur (l/h)	1,112	2 selon Constructeur
Débit linéaire (l/h/m)	7,38	1 à 8 selon Constructeur
Pression manométrique (bar)	1,68 – 0,30	0,55 (Constructeur)
Uniformité de distribution (%)	59,07	70 % (Cemagref)
Taux d'obstruction (%)	47,2	/

❖ Interprétation

Absence d'une station de tête dans le réseau goutte à goutte, ce qui agit sur la performance technique du système.

Le type des gaines n'est pas conforme aux normes (absence du label) .

V-2-7. Dose ramenée pour une irrigation

Si on considère que le débit moyen est de 1,112 l/h, la dose brute d'irrigation peut se calculer selon la relation suivante :

$$D = N_g \times Q_{moy} \times T$$

$$D = 485054,4 \text{ litres} = 486,7992 \text{ m}^3$$

D : Dose d'irrigation de la parcelle;

N_g : Nombre de gouteurs (109050/3,6 ha) ;

T : Durée d'irrigation (4 h)/3,6 ha

Q_{moy} : Débit moyen des gouteurs (1,112 l/h).

V-2-8. la dose réellement l'haricot vert sur le terrain

Si on calcule la dose réellement apportée sur le terrain :

$$\text{La dose apportée} = (Q \times T \times 3600) / S$$

$$\text{La dose apportée} = 216000 / 3,6 = 60000 \text{ l/ha} = 6 \text{ l/m}^2 = 6 \text{ mm} = 60 \text{ m}^3/\text{ha}$$

S : surface irriguée pendant le temps (36 000 m² = 3,6 ha)

Q : Débit d'entrée à la parcelle 15 l/s

❖ La fréquence des irrigations

$$F = \frac{D_{reel}}{Bj} = \frac{6}{4,36} = 1,38 \approx 2 \text{ jours}$$

❖ Calcul de la pluie efficace

Selon (annexe 04), les pluies efficaces sont estimées dans le tableau suivant :

Tableau V-8: Pluies efficaces

Mois	avril	mai	Juin
P (mm)	27,46	17,02	3,60

Pluie efficace de Mars à juin est égale : 48,08 mm = **480,8 m³/ha**

❖ Interprétation

Alors : la dose totale apportée par l'irrigation et la pluie = $(60,0 \times 3) + 48,08$ (pluies efficaces) = **228,08 mm** alors que les besoins en eau réelles de l'haricot vert (268,61mm) tel qu'estimés par Cropwat.

On remarque que le volume global ramené (irrigation et pluie) ne satisfait pas les besoins en eau de la culture ; ceci s'explique par la non-maitrise de la dose nécessaire et de la pratique d'irrigation par l'agriculteur et une mauvaise gestion du couple débit-temps dans l'irrigation.

V-2-9. Suivi de teneur en eau dans le sol et mesure de l'efficience d'application**V-2-9-1. Calculs des teneurs en eau****V-2-9-1-1. Calculs des teneurs en eau avant irrigation****a. calcul des stocks:**

Les stocks sont représentés dans le **Tableau V-9**:

Tableau V-9: Calcul des stocks avant irrigation (haricot vert)

Z (cm)	DZ (cm)	sol humide (g)	Sol sec (g)	stock (g)
30	30	83,52	78,76	4,76
60	30	97,03	92,2	4,83
90	30	100,26	91,98	8,28

b. calcul des teneurs en eau

Les teneurs en eau sont représentées dans le **Tableau V-10**:

Tableau V-10: Calcul des teneurs en eau avant irrigation (haricot vert)

stock (g)	Stock pondérale (%)	Densité apparente (g/cm ³)	stock volumique (g/cm ³)	Stock d'eau (mm)	Stock d'eau (m ³ /ha)
4,76	6,04	1,152	6,96	20,88	208,8
4,83	5,24	1,473	7,72	23,16	231,6
8,28	9,00	1,488	13,39	40,17	401,7
					842,1

V-2-9-1-2. Calculs des teneurs en eau après irrigation**a. calcul des stocks**

Les stocks sont représentés dans le **Tableau V-11**:

Tableau V-11: Calcul des stocks après l'irrigation (haricot vert)

Z (cm)	DZ (cm)	sol humide (g)	Sol sec (g)	Stock (g)
30	30	115,82	107,37	8,45
60	30	132,71	123,46	9,25
90	30	149,21	136,48	12,73

b. calcul des teneurs en eau

Les teneurs en eau sont représentées dans le **Tableau V-12**:

Tableau V-12: Calcul des teneurs en eau après irrigation (haricot vert)

Stock (g)	stock pondérale (%)	Densité apparente (g/cm ³)	stock volumique (g/cm ³)	Stock d'eau (mm)	Stock d'eau (m ³ /ha)
8,45	7,87	1,152	9,07	27,21	272,1
9,25	7,49	1,473	11,03	33,09	330,9
12,73	9,33	1,488	13,88	41,64	416,4
					1019,4

V-2-9-2.Calcul de l'efficience d'application

$$Ea (\%) = [\text{Volume utile (m}^3/\text{ha)}/\text{Volume apporté (m}^3/\text{ha)}]*100$$

❖ Calcul du stock utile

$$\text{Stock utile} = \sum \text{teneur en eau après irrigation} - \sum \text{teneur en eau avant irrigation}$$

$$\text{Stock utile} = 1019,4 - 842,1 = 177,3 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$\blacklozenge \text{ la dose apportée} = 600 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Donc :

$$Ea (\%) = (177,3 / 600) * 100 = 30 \%$$

❖ Calcul des pertes

$$P (\%) = 100 - Ea = 100 - 30 = 70 \%$$

❖ Interprétation

L'efficience d'application est un indicateur de performance et qui est de 30 % est loin de la norme 80-90 % (Mailhol, 2005), ce qui montre une mauvaise application de l'irrigation et l'irrationalité dans la gestion de cette eau d'irrigation.

Les besoins d'irrigation de l'haricot vert telle qu'estimée par le Cropwat sont de 2686,1 m³ /ha ; (chapitre III) et sur le terrain, nous avons calculé ces besoins sur la base de la mesure effectuée à 2280,8 m³ /ha, ceci s'explique par la non-maitrise de la dose nécessaire et de la pratique d'irrigation par l'agriculteur malgré l'eau est donnée gratuitement par la STEP.

Conclusion

Rappelons que l'objectif essentiel de ce travail consiste à dresser un constat sur la performance de l'irrigation dans la parcelle. L'enquête et les mesures effectuées au sein de la parcelle ont révélé des indicateurs de performances de la parcelle est moyens sauf le coût de l'eau qui est élevé.

L'évaluation de performance de l'irrigation par goutte à goutte a permis d'analyser l'impact de l'utilisation des eaux usées épurées sur le système d'irrigation et d'après les résultats obtenus précédemment on conclue que la performance de l'irrigation est faible.

A cet effet, nous recommandons ce qui suit :

- ✓ Acquisition de station de tête complète à installer au niveau des parcelles;
- ✓ Acquisition de l'ensemble des équipements et appareillages de mesure;
- ✓ La nécessité d'installation des filtres efficaces pour réduire le taux de colmatage ;
- ✓ Nous constatons cependant l'importance de mettre à dispositions du personnel qualifié et spécialisé dans les différents domaines de l'agronomie pour les agriculteurs afin qu'ils puissent d'améliorer leurs rendements.

CONCLUSION GENERALE

La réutilisation agricole des eaux usées épurées offre aujourd'hui une alternative très intéressante comme moyen d'économiser la ressource.

La conception des stations d'épuration en Algérie, est devenue aujourd'hui une grande nécessité, surtout avec la crise du manque de l'eau potable, c'est pour cela qu'on ne doit plus irriguer avec de l'eau potable, mais avec de l'eau épurée.

La station d'épuration a un personnel qui est toujours présent et percevant pour prendre quotidiennement des observations et assurer le bon déroulement des différentes étapes de traitement ainsi qu'il y a une équipe qui travaille beaucoup sur la réutilisation des eaux épurées. Ajoutant à cela la possibilité d'utiliser la boue produite comme engrais dans l'agriculture.

Les résultats analytiques ont montré que les eaux usées de la STEP de Hadjout sont d'une qualité lui permettant facilement utilisées dans le domaine agricole (irrigation), on peut dire que la station d'épuration est la meilleure solution pour faire face aux problèmes d'assainissement de commune de Hadjout et bien sûr aux problèmes de l'irrigation, donc notre station joue un double rôle.

Les résultats obtenus dans montrent qu'une mauvaise performance de l'irrigation.

Pour les indicateurs, le seul indicateur qui est élevé c'est le coût de l'eau (3,91 DA/m³) et les autres sont des valeurs de moyenne à forte.

Mais Le système d'irrigation localisée et les cultures qui l'accompagnent exigent une bonne technicité de l'exploitant ou du gérant. Plusieurs insuffisances ont été révélées et surtout au niveau de la parcelle, qu'est adopté ce système sans aucune étude technique préalable. Le dysfonctionnement du matériel d'irrigation localisée au niveau de la parcelle étudiée a été causé par le mauvais entretien pour ceux qui utilisent le matériel neuf, et l'absence complète de l'entretien dans l'exploitation qui utilisent un matériel d'occasion, Il faut aussi noter que le pilotage d'irrigation est mal géré dans notre zone pour les utilisateurs de localisé, d'où on trouve une mauvaise adéquation entre les besoins en eau des cultures et les volumes apportés pour l'irrigation. En effet on assiste à une importante perte d'eau que l'État vise à la conserver, nous pensons que cette pratique est due à l'absence d'encadrement nécessaire.

Les agriculteurs pour la majorité d'entre eux ne maîtrisent pas les notions de doses, de réserve en eau du sol, de temps d'irrigation, de fait ces agriculteurs continuent à raisonner les apports sous le goute à goute comme en gravitaire. Il est à souligner que même les grandes exploitations rencontrent de nombreux problèmes dans le pilotage de l'irrigation.

À la lumière de ces résultats, il est crucial de prévoir des initiatives pour la réutilisation des eaux épurées en agriculture tout on réhabilite des stations expérimentales ainsi que les fermes pilotes en terme de maîtrise des techniques d'irrigation et de disponibilité d'équipement approprié d'un réseau d'irrigation afin de satisfaire l'objectif référentiel escompté à travers la mise en place de domaines locomotifs vers une irrigation rationnelle performante et moderne, soucieuse de préserver la précieuse eau d'irrigation en utilisant peu pour produire beaucoup.

Références Bibliographiques

[1] **ADEME. (1994).** Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, École nationale vétérinaire de Nantes, ministère de l'Agriculture et de la Pêche, **ENSP.** École nationale de la santé publique, Les germes pathogènes dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines, Guide et cahiers techniques, Connaître pour agir, p 89

[2] **BECHAC, J.BOUTIN, P, MERCIER, B PN. (1984),** traitement des eaux usées. Eyrolles paris, p 101

[3] **BAHBOUH, L, S. (2011).** Cours d'irrigation 5^{eme} année, cours agro-pédologie 3^{eme} année, ENSH

[4] **M.R.E. (2007).** Etude de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national. Mission 4, Norme de réutilisation des eaux usées épurées

BRISSAUD. Université de Montpellier ;

[5] **ONA.** Office nationale d'assainissement, unité de Hadjout

[6] **ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE. (1989).** Rapport d'un groupe scientifique de l'OMS. Genève, série 778

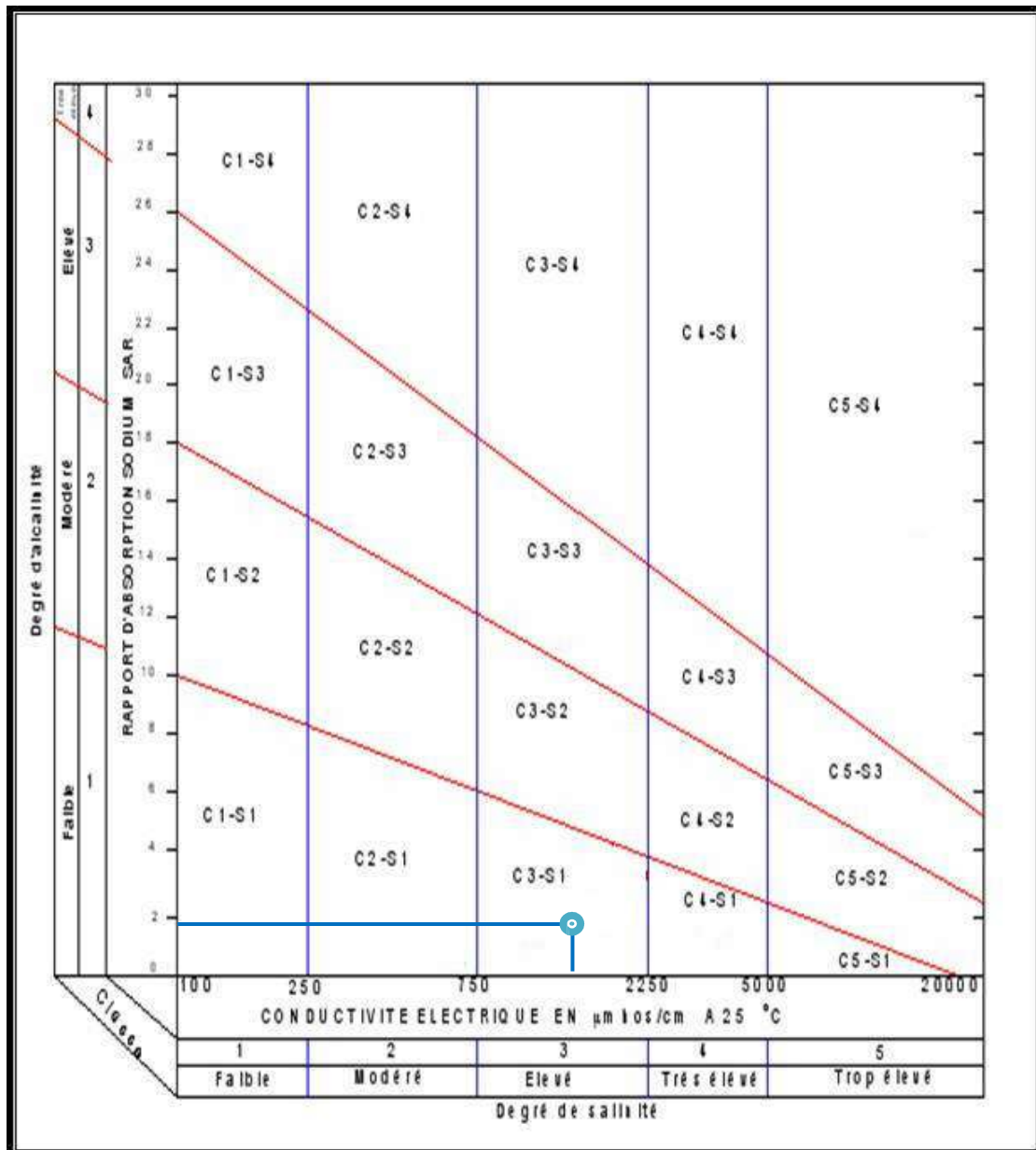
[7] **KOLIAI, D. (2012).** Cours da la réutilisation des eaux usées 5^{eme} année, ENSH

[8] **CHABACA M.N. MERABET B. (2007).** Analyse technique de la pratique de l'irrigation sur quelques exploitations de la Mitidja ouest. p 6 – 7

[9]**TAMRABET, L. (2011).** Contribution a l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage, Thèse de Doctorat en sciences. Université Hadj Lakhdar, Batna.p 16

Annexes

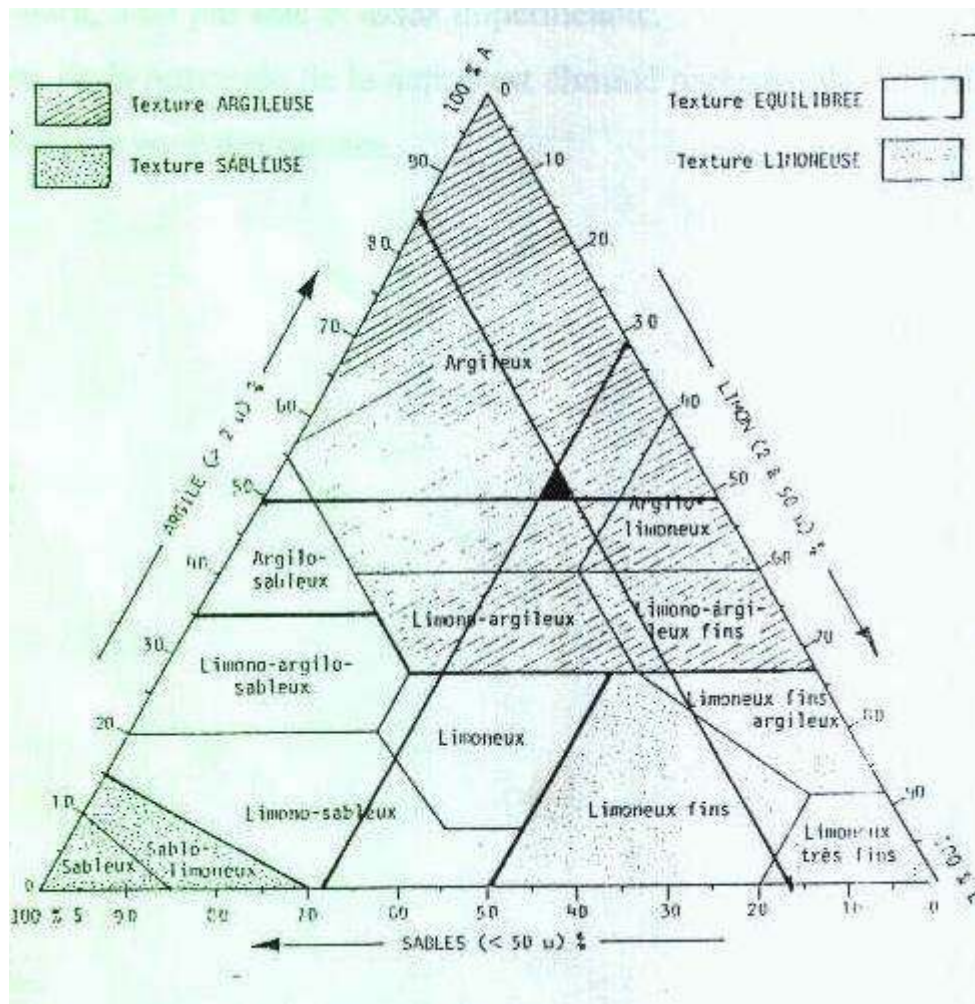
ANNEXE 01



SALINITY HAZARD

Diagram for the classification of irrigation water according to US Salinity Laboratory (USD A1954)

ANNEXE 02



Triangle de texture

ANNEXE 03

Les résultats de l'ET0 obtenus à l'aide du logiciel CROPWAT

Monthly ETo Penman-Monteith - untitled

Country: Station: Boukourdene

Altitude: 110 m. Latitude: 2.17 °N Longitude: 36.30 °E

Month	Avg Temp	Humidity	Wind	Sunshine	Radiation	ETo
	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	11.5	64	120	5.4	16.8	2.61
February	12.1	62	135	6.2	18.8	2.96
March	14.3	68	114	7.4	21.1	3.26
April	15.9	65	108	8.1	21.8	3.50
May	19.4	71	106	8.6	21.5	3.66
June	23.8	79	120	10.0	22.7	4.15
July	26.7	80	109	10.6	23.8	4.67
August	26.8	70	96	9.8	23.7	4.83
September	23.4	71	92	8.4	22.4	4.25
October	20.1	76	96	7.2	20.4	3.57
November	15.7	79	87	5.5	17.1	2.69
December	12.9	78	110	5.0	16.0	2.36
Average	18.6	72	108	7.7	20.5	3.54

ANNEXE 04:Pluies de la station de station Boukourdene (1987/2011)

Année	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Total
1987/88	74,6	46,4	42,4	113,5	23,5	10,7	73,4	71,6	12,6	7,9	0	2,4	479
1988/89	17	6,2	24,9	22,6	68,9	0	74,2	27,7	45,1	0	0	0	286,6
1989/90	7,6	31,5	47,7	82,6	77,2	48,1	63,3	9,3	20,5	6,4	0	1,6	395,8
1990/91	5,8	123,7	10,8	3,8	154,1	19,9	64	51,5	47,6	7,9	0,9	0,2	490,2
1991/92	0	78	31,5	95,9	15,1	91,1	13,9	61,9	6,3	0	0	0	393,7
1992/93	3,3	43	54,9	31	107,2	24,6	0	73,9	0	0	0	1,4	339,3
1993/94	69,3	28,1	44,5	42,2	98,4	55,5	80,4	16,8	0	4,1	0	2,1	441,4
1994/95	10,4	69	0,9	0	1,1	67,8	58,6	197,1	17,5	12,1	2,3	0	436,8
1995/96	11,6	79,8	10,7	22,3	26,4	18,7	1,3	83,7	9,5	0	0	1,2	265,2
1996/97	26,2	51,2	76,3	41,6	6,5	32,2	62,7	90,3	96,7	5,6	0	0	489,3
1997/98	6,2	20,8	88,4	50,2	68	135,9	92,2	7,2	0	0	0	1,4	470,3
1998/99	0	0	73,9	67,4	12,5	0	10,7	11,5	21,4	0	0	0	197,4
1999/00	2,3	41,9	59,8	24,5	105,4	23,1	0	62,1	10,7	0	0	2,3	332,1
2000/01	12,5	10,2	45,9	36,6	21,3	15,7	12,5	10,4	19,4	0	0	1,1	185,6
2001/02	3,2	12,7	46,1	22,8	159,3	122,2	6,2	46,5	5,3	0	0	0	424,3
2002/03	19,6	21,1	45,4	50,5	73,8	24,8	28,1	73,7	66,6	0	0	0	403,6
2003/04	9,4	12,3	77,4	101,2	87,8	101,9	90,9	10,4	0	0		0	491,3
2004/05	0	34,1	57,6	97,6	89,9	36,7	40,5	35	24,8	10	2	1,6	429,8
2005/06	11,2	45,2	67,8	153,3	3,1	42,4	73,3	59,5	2,1	0	0	0	457,9
2006/07	41,8	77,8	148,2	71,4	17,6	11,5	42,5	34	20	2,5	0	0	467,3
2007/08	29,8	62	96,2	79,7	79,8	11,5	73,7	62,9	31,7	0	0	0	527,3
2008/09	78,2	4,3	77,6	80,9	63,1	71,4	80	20,1	16,1	10,3	0	14,1	516,1
2009/10	1,4	97,6	62,2	57,8	81,4	111,1	31,9	81,2	96,7	19,4	2,2	0	642,9
2010/11	12,9	46,9	108,3	71,3	23,1	233,3	57,3	100,3	13,7	0,5	0	0	667,6

Source : ANRH DE BLIDA

Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON

Le procédé d'ajustement est identique à celui établi pour la loi de GALTON. Seul, la représentation graphique change ou elle est faite sur du papier log-normale. La loi de GALTON a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(X) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_u^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}u^2} du$$

Où : $u = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_x}$ (variable réduite de GAUSS)

L'équation de la droite de GALTON est la suivante :

$$\text{Log } x(p \%) = \overline{\text{Log } x} + \delta \cdot \text{Log } u(p \%)$$

$$\text{Log } X = \frac{\sum_{i=1}^{36} \overline{\text{Log } X_i}}{N}$$

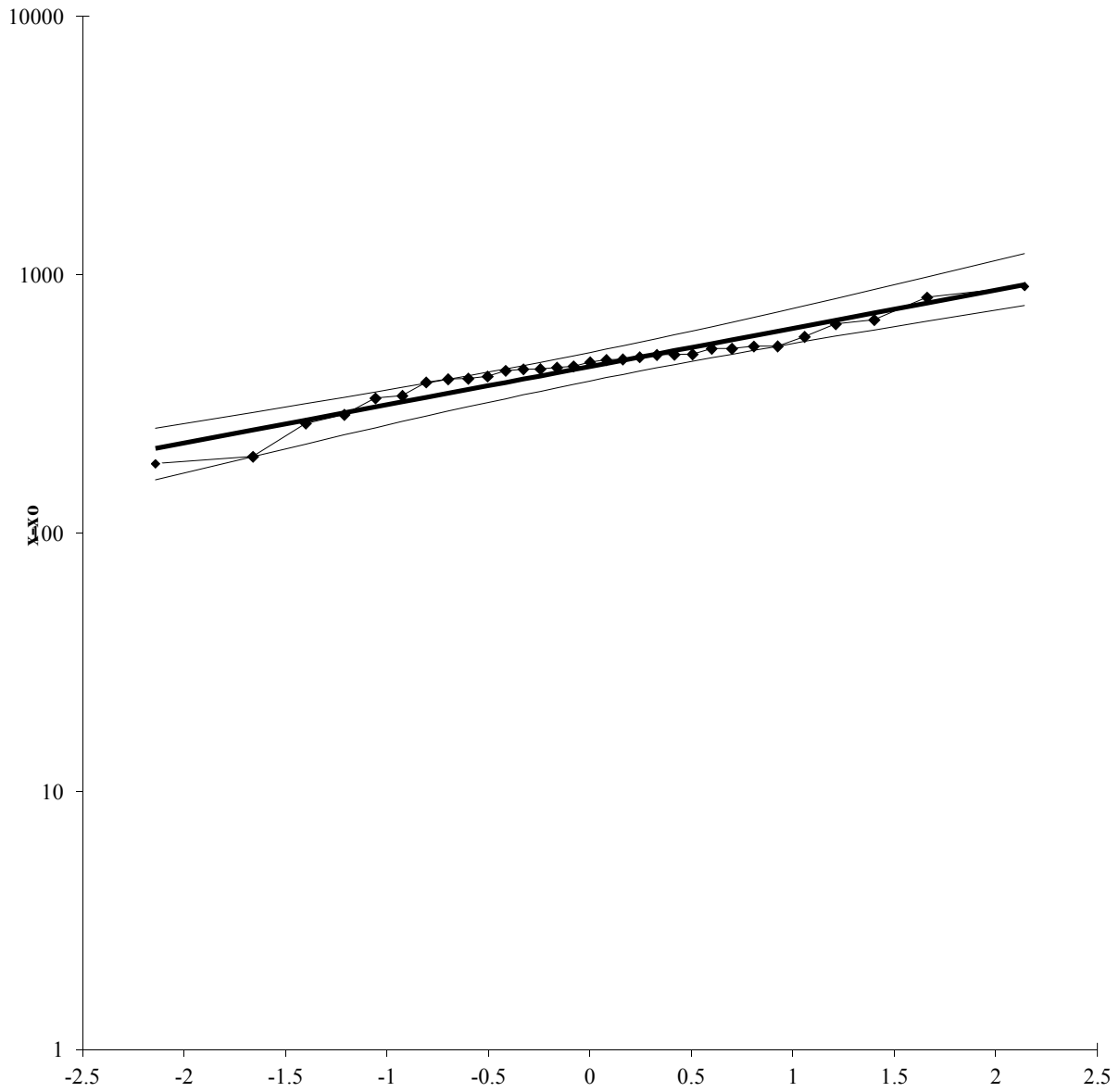
Pour les calculs, on a utilisé le logiciel hydrolab. Les résultats obtenus figurent au **Tableau I** et à la **Figure I**

Tableau I : Résultats d'ajustement de la station Boukourdene (020329) à la loi de log - normal.

Ajustement à une loi Log-normale								
Taille n=31		Moy.= 2,643243302		I.C. à (en%)= 95		UGauss= 1,960		
		E.T= 0,147868427						
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
527,6	185,6	1	0,016	-2,142	185,6	212,111	160,291	254,89541
517	197,4	2	0,048	-1,661	197,4	249,819	197,594	293,09892
574,3	265,2	3	0,081	-1,401	265,2	272,948	220,933	316,60671
900,2	286,6	4	0,113	-1,211	286,6	291,153	239,443	335,24875
430,8	332,1	5	0,145	-1,057	332,1	306,819	255,414	351,44307
815,2	339,3	6	0,177	-0,925	339,3	320,954	269,821	366,2089
382,5	382,5	7	0,210	-0,807	382,5	334,089	283,179	380,08914
479	393,7	8	0,242	-0,700	393,7	346,548	295,799	393,41769
286,6	395,8	9	0,274	-0,600	395,8	358,549	307,89	406,42242
395,8	403,6	10	0,306	-0,506	403,6	370,247	319,601	419,27252
490,2	424,3	11	0,339	-0,416	424,3	381,766	331,044	432,10315
393,7	429,8	12	0,371	-0,329	429,8	393,203	342,309	445,02958
339,3	430,8	13	0,403	-0,245	430,8	404,646	353,473	458,15627
441,4	436,8	14	0,435	-0,162	436,8	416,173	364,605	471,58317
436,8	441,4	15	0,468	-0,081	441,4	427,862	375,768	485,41073
265,2	457,9	16	0,500	0,000	457,9	439,788	387,025	499,74438
489,3	467,3	17	0,532	0,081	467,3	452,047	398,453	514,71548
470,3	470,3	18	0,565	0,162	470,3	464,742	410,136	530,47428
197,4	479	19	0,597	0,245	479	477,982	422,156	547,1801
332,1	489,3	20	0,629	0,329	489,3	491,892	434,608	565,02624
185,6	490,2	21	0,661	0,416	490,2	506,629	447,609	584,25367
424,3	491,3	22	0,694	0,506	491,3	522,39	461,307	605,17159
403,6	516,1	23	0,726	0,600	516,1	539,434	475,893	628,18918
491,3	517	24	0,758	0,700	517	558,114	491,624	653,86738
429,8	527,3	25	0,790	0,807	527,3	578,928	508,863	683,00828
457,9	527,6	26	0,823	0,925	527,6	602,62	528,151	716,82034
467,3	574,3	27	0,855	1,057	574,3	630,382	550,341	757,25316
527,3	642,9	28	0,887	1,211	642,9	664,302	576,925	807,76543
516,1	667,6	29	0,919	1,401	667,6	708,608	610,895	875,43749
642,9	815,2	30	0,952	1,661	815,2	774,215	659,891	978,84352
667,6	900,2	31	0,984	2,142	900,2	911,852	758,795	1206,6419

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,2	-0,841	330,2314424	279,2605	375,9955416	330,231	0,200	1,3
0,5	0,000	439,7879415	387,0247	499,7443788	439,788	0,500	2,0
0,8	0,841	585,6905046	514,4035	692,5913499	585,691	0,800	5,0

Ajustement à une loi Log-normale



($x_0=0,00$ Moy. $\log(x-x_0)=2,6432$ E.T. $\log(x-x_0)=0,1479$ $n=31$ et I.C. à 95%)

Figure I: Ajustement à la loi Log- normal

Tableau II : Calcul des pluies annuelles de 80%

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout
$P_{80\%}$	15,42	39,44	48,37	51,45	48,80	44,38	38,43	34,32	21,28	4,50	0,70	0,78
P_{eff}	12,34	31,55	38,69	41,16	39,04	35,50	30,75	27,46	17,02	3,60	0,56	0,63

ANNEXE 5

RESERVE D4HUMIDITE FACILEMENT UTILISABLE (RFU)

Texture	Humidité pondérale en % du poids sec			Réserve utile volumétrique en mm/m
	à la rétention HCC	du flétrissement HPF	disponible HCC-HPF	
Sableuse	9 (6 à 12)*	4 (2 à 6)*	5 (4 à 6)*	85 (70 à 100)*
Sablo-limoneuse	14 (10 à 18)	6 (4 à 8)	8 (6 à 10)	120 (90 à 150)
Limoneuse	22 (18 à 26)	10 (8 à 12)	12 (10 à 14)	170 (140 à 190)
Limono-argileuse	27 (25 à 31)	13 (11 à 15)	14 (12 à 16)	190 (170 à 220)
Argile-limoneuse	31 (27 à 35)	15 (13 à 17)	16 (14 à 18)	210 (180 à 230)
Argileuse	35 (31 à 39)	17 (15 à 19)	18 (16 à 20)	230 (220 à 250)

ANNEXE 6

2. COEFFICIENTS CULTURAUX (Kc)

CULTURE	Stades de développement de la culture					Durée totale de la période végétative
	Initial	Développement	Mi-saison	Arrière saison	Récolte	
Bananiier tropical	0,4-0,5	0,7-0,85	1,0-1,1	0,9-1,0	0,75-0,85	0,7-0,8
subtropical	0,5-0,65	0,8-0,9	1,0-1,2	1,0-1,15	1,0-1,15	0,85-0,95
Haricot vert	0,3-0,4	0,65-0,75	0,95-1,05	0,9-0,95	0,85-0,95	0,85-0,9
sec	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,65-0,75	0,25-0,3	0,7-0,8
Chou	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,1	0,9-1,0	0,8-0,98	0,7-0,8
Coton	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,25	0,8-0,9	0,65-0,7	0,8-0,9
Ruisin	0,35-0,55	0,6-0,8	0,7-0,9	0,6-0,8	0,55-0,7	0,55-0,75
Arachide	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,1	0,75-0,85	0,55-0,6	0,75-0,8
Maïs doux	0,3-0,5	0,7-0,9	1,05-1,2	1,0-1,15	0,95-1,1	0,8-0,95
grain	0,3-0,5*	0,7-0,85*	1,05-1,2*	0,8-0,95	0,55-0,6*	0,75-0,9*
Oignon sec	0,4-0,6	0,7-0,8	0,95-1,1	0,85-0,9	0,75-0,85	0,8-0,9
vert	0,4-0,6	0,6-0,75	0,95-1,05	0,95-1,05	0,95-1,05	0,65-0,8
Pois, frais	0,4-0,5	0,7-0,85	1,05-1,2	1,0-1,15	0,95-1,1	0,8-0,95
Poivron, frais	0,3-0,4	0,6-0,75	0,95-1,1	0,85-1,0	0,8-0,9	0,7-0,8
Pomme de terre	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,2	0,85-0,95	0,7-0,75	0,75-0,9
Riz	1,1-1,15	1,1-1,5	1,1-1,3	0,95-1,05	0,95-1,05	1,05-1,2
Carthame	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,65-0,7	0,2-0,25	0,65-0,7
Sorgho	0,3-0,4	0,7-0,75	1,0-1,15	0,75-0,8	0,5-0,55	0,75-0,85
Soja	0,3-0,4	0,7-0,8	1,0-1,15	0,7-0,8	0,4-0,5	0,75-0,9
Betterave sucrière	0,4-0,5	0,75-0,85	1,05-1,2	0,9-1,0	0,6-0,7	0,8-0,9
Cane à sucre	0,4-0,5	0,7-1,0	1,0-1,3	0,75-0,8	0,5-0,6	0,85-1,05
Tournesol	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,7-0,8	0,35-0,45	0,75-0,85
Tabac	0,3-0,4	0,7-0,8	1,0-1,2	0,9-1,0	0,75-0,85	0,85-0,95
Tomate	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,25	0,8-0,95	0,6-0,65	0,75-0,9
Pastèque	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,05	0,8-0,9	0,65-0,75	0,75-0,85
Blé	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,65-0,75	0,2-0,25	0,8-0,9
Luzerne	0,3-0,4				1,05-1,2	0,85-1,05
Agrumes sarclés sans sarclage						0,65-0,75 0,85-0,9
Olivier						0,4-0,6

Premier chiffre : avec forte humidité (HR_{min} > 70%) et vent faible (U < 5 m/sec).
 Second chiffre : avec faible humidité (HR_{min} < 20%) et vent fort (> 5 m/sec).

Source: Bulletin FAO d'Irrigation et Drainage n° 33, Tableau 18.

ANNEXE 7

1. DUREE DES PHASES DE DEVELOPPEMENT DES CULTURES

Culture	Init.	Dével.	Mi	Arrière	Total	Date Plant	Région
Arachide	25	35	45	25	130	Saison sèche Mai/Juin	Afrique de l'Ouest Méditerranéen
	35	45	35	25	140		
Artichaud	40	40	250	30	360	Avr (1 an) Mai (2 yr)	Californie (couper en mai)
	20	40	220	30	310		
Aubergine	30	40	40	20	130	Octobre Mai/Juin	Régions arides Méditerranéen
	30	45	40	25	140		
Beterave	15	25	20	10	70	Avr/Mai Fév/Mars	Méditerranéen Méditerr. & R. Arides
	25	30	25	10	90		
Beterave sucrière	45	75	80	30	230	Novembre Mai Novembre	Méditerranéen Méditerranéen Régions arides
	25	35	50	50	160		
	35	60	70	40	205		
Blé/Orge	15	25	50	30	120	Novembre Mars/Avril Juillet	Inde (Centrale) 35-45 °Lat Afrique de l'Est
	20	25	60	30	135		
	15	30	65	40	150		
Blé d'hiver	30	140	40	30	240	Novembre	Méditerranéen
Carotte	20	30	50/30	20	100	Oct/Jun Fév/Mars	Climats arides Méditerranéen
	30	40	60	20	150		
Carthame	20	35	45	25	125	Avril Oct/Nov	Californie, USA Régions arides
	35	55	60	40	190		
Céleri	25	40	95	20	180	Oct Avril	Climats (semi)-arides Méditerranéen
	25	40	45	15	125		
Céréales	20	30	60	40	150	Avril Oct/Nov	Méditerranéen Pakistan, Rég. arides
	25	35	65	40	165		
Citrouille	20	30	30	20	100	Mars, Août Juin	Méditerranéen Europe
	25	35	35	25	120		
Concombre	20	30	40	15	105	Juin/Août Nov; Fév	Régions arides Régions arides
	25	35	50	20	130		
Coton	30	50	60	55	195	Mars;Avr/Mai Sept Avril	Egypte; Pakistan Yemen Texas
	30	50	60	55	195		
	30	50	55	45	180		
Courgette	25	35	25	15	100	Avril Mai/Juin	Médit. ; R. Arides Médit. ; Europe
	20	30	25	15	90		
Crucifères	20	30	20	10	80	Avril Février Oct/Nov	Méditerranéen Méditerranéen Méditerranéen
	25	35	25	10	95		
	30	35	90	40	195		
Epinard	20	20	25	5	70	Avr; Sep/Oct Novembre	Méditerranéen Régions arides
	20	30	40	10	100		
Haricots (sec)	20	30	40	20	110	Mai/Juin Juin	Climats Continental Pakistan, Calif.
	15	25	35/50	20	95		
Haricot (vert)	20	30	30	10	90	Fév/Mars Août/Sep	Calif., Méditerranéen Calif., Egypte, Liban
	15	25	25	10	75		
Laitue	20	30	15	10	75	Avril Nov/Jan Oct/Nov	Méditerranéen Méditerranéen Régions arides
	30	40	25	10	105		
	25	35	30	10	100		
Lentille	20	30	60	40	150	Avril Oct/Nov	Europe Régions arides
	25	35	70	40	170		

Culture	Init.	Dévol	Mi	Arrière	Total	Date Plant	Région
Lin	25	35	50	40	150	Avril	Europe Arizona
	30	40	100	50	220	Octobre	
Maïs (doux)	20	20	30	10	80	Mars	Philippines Méditerranéen Climats arides
	20	25	25	10	80	Mai/Juin	
	20	30	50/30	10	90	Oct/Déc	
Maïs (grain)	30	50	60	40	180	Avril	Afrique de l'Est (alt.) Climats arides Nigeria (humide) Inde (sec, froid) Spain (spring, sum.)
	25	40	45	30	140	Déc/Jan	
	20	35	40	30	125	Juin	
	20	35	40	30	125	Octobre	
	30	40	50	30	150	Avril	
Melon	25	35	40	20	120	Mai	Méditerranéen Régions arides
	30	45	65	20	160	Déc/Jan	
Mil	15	25	40	25	105	Juin	Pakistan USA (centre)
	20	30	55	35	140	Avril	
Oignon (sec)	15	25	70	40	150	Avril	Méditerranéen Régions arides
	20	35	110	45	210	Octobre	
Oignon (vert)	25	30	10	5	70	Avril/Mai	Méditerranéen Régions arides
	20	45	20	10	95	Octobre	
Pois	15	25	35	15	90	Mai	Europe Méditerranéen
	20	30	35	15	100	Mars/Avril	
Poisson	25/30	35	40	20	125	Avril/Juin	Europe & Méditerr. Régions arides
	30	40	110	30	210	Octobre	
Pomme de terre	25	30	30/45	30	115/130	Jan/Nov	Climats (semi)-arides Climat Continental Europe
	25	30	45	30	130	Mai	
	30+15	35	50	30	145	Avril	
Radis	10	10	15	5	40	Mars/Avril	Méditerr.; Europe Régions arides
	10	10	15	5	40	Hiver	
Ricin	25	40	65	50	180	Mars	Climats (semi)-arides
Soja (Soye)	20	30/35	60	25	140	Mai	USA (Centre) Japon
	20	25	75	30	150	Juin	
Sorgho	20	35	40	30	130	Mai/Juin	USA, Pakis., Méd. Régions arides
	20	35	45	30	140	Mars/Avril	
Tomate	30	40	40	25	135	Janvier	Régions arides Régions arides Méditerranéen
	35	45	70	30	180	Oct/Nov	
	30	40	45	30	145	Avril/Mai	
Tournesol	25	35	45	25	130	Avril/Mai	Médit.; Californie

Source: Bulletin FAO d'Irrigation et Drainage n° 24, Tableau 22.

ANNEXE 88

Mode d'application, caractéristiques et installation de la gaine SABTApe

SABTAPE



Dati tecnici • Technical data • Données techniques • Datos Técnicos

SABTAPE 16 mm									
spessore thickness épaisseur espesor		distanza tra i fori draper spacing distance entre les orifices separación entre perforos			portata nominal flow rate debit caudal			lunghezza per bobina length per roll longueur par bobine cantidad por rollo	pressione di immissione inlet pressure pression d'entrée presión de entrada
mil	mm	cm	Standard Flow l/h	l/h-m	Extra g/h	Flow l/h-m	m	bar max	
5	0,125	11	0,8	7,5	1,6	15,0	3,810	0,7	
		22	1,1	10,8	1,6	7,5			
		33	1,1	3,4	1,6	5,8			
6	0,150	11	0,8	7,5	1,6	15,0	3,048	0,8	
		22	1,1	5,8	1,6	7,5			
		33	1,1	3,4	1,6	5,8			
8	0,200	11	0,8	7,5	1,6	15,0	2,386	1,0	
		22	1,1	10,8	1,6	7,5			
		33	1,1	3,4	1,6	3,8			
10	0,250	11	0,8	7,5	1,6	15,0	1,828	1,2	
		22	1,1	10,8	1,6	7,5			
		33	1,1	3,4	1,6	5,8			
12	0,30	11	0,8	7,5	1,6	15,0	1,525	1,5	
		22	1,1	10,8	1,6	7,5			
		33	1,1	3,4	1,6	5,8			

SABTAPE 22 mm									
spessore thickness épaisseur espesor		distanza tra i fori draper spacing distance entre les orifices separación entre perforos			portata nominal flow rate debit caudal			lunghezza per bobina length per roll longueur par bobine cantidad por rollo	pressione di immissione inlet pressure pression d'entrée presión de entrada
mil	mm	cm	Standard Flow l/h	l/h-m	Extra g/h	Flow l/h-m	m	bar max	
6	0,150	22	1,1	10,8	1,6	7,5	2,255	0,8	
		32	1,1	3,4	1,6	5,8			
		44	1,1	2,5	1,6	3,4			
8	0,200	22	1,1	10,8	1,6	7,5	1,710	1,0	
		32	1,1	3,4	1,6	5,8			
		44	1,1	2,5	1,6	3,4			
10	0,250	22	1,1	10,8	1,6	7,5	1,340	1,2	
		32	1,1	3,4	1,6	5,8			
		44	1,1	2,5	1,6	3,4			

Labierto ininterrotto ad ampia sezione con flusso turbolento per un'ottima uniformità di erogazione. Gli ingressi del labirinto sono profilati per conferire una minor sensibilità alle ostruzioni.

Large section continuous labyrinth with turbulent flow assuring the best water distribution. The labyrinth inlet angles provide a minor sensitivity to obstruction.

Labirinto continuo a larga sezione con flusso turbolento assicura una uniformità di erogazione eccezionale. Les entrées du labirinto sont profilées pour réduire la sensibilité à l'obstruction.

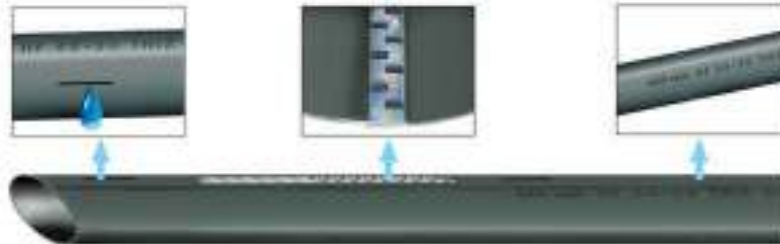
El labirinto continuo de sección amplia y flujo turbulento proporciona una óptima uniformidad de riego. Las entradas al labirinto actúan en perfiles para reducir el riesgo de obstrucciones.

Fora di erogazione lineare antiriflusso.

Anti-reflux slit emitter outlet.
Orificio anti-reflusso a fessura.
Salida de emisión protegida.

Identificazione del prodotto.

Identification of the product.
Identificación du produit.
Identificación del producto.



ANNEXE 99

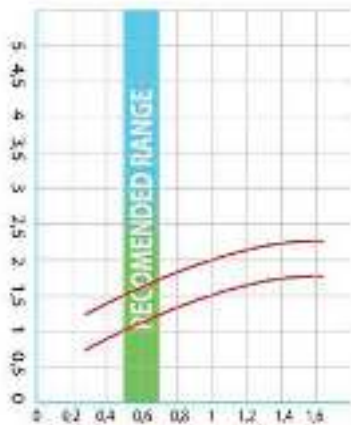
Caractéristiques de la pression de la gaine SABTape

Lunghezza di ala e uniformità • Tape lengths against uniformity
Longueurs de rampe contre uniformité • Longitud de ala y uniformidad

SABTAPE 16 mm Pendenza del terreno • Slope of the land • Pende de sol • Declive del terreno																					
portata nominale flow rate débit caudal	uniformità di emissione emission uniformity uniformidad de emisión	↖ -2%				↗ -1%				→ 0%				↘ 1%							
		pressione di immissione inlet pressure pression d'entrée presión de entrada				pressione di immissione inlet pressure pression d'entrée presión de entrada				pressione di immissione inlet pressure pression d'entrée presión de entrada				pressione di immissione inlet pressure pression d'entrée presión de entrada							
l/h-m (0,55 bar)	%	Bar				Bar				Bar				Bar							
		0,40	0,55	0,70	0,85	1,00	0,40	0,55	0,70	0,85	1,00	0,40	0,55	0,70	0,85	1,00	0,40	0,55	0,70	0,85	1,00
15	90	15	18	23	28	29	25	30	34	35	38	47	48	49	52	53	58	59	60	60	62
	85	23	28	33	37	41	32	38	43	46	50	51	54	58	59	61	68	69	67	68	69
7,5	90	24	30	35	43	45	39	47	53	55	61	73	75	77	78	83	90	92	94	94	95
	85	42	54	62	65	76	62	75	83	86	93	95	101	105	110	114	122	124	125	126	130
3,0	90	34	42	51	58	64	56	67	75	78	87	104	107	110	112	119	129	132	133	134	137
	85	67	77	88	98	107	88	103	115	122	132	132	143	149	155	161	172	175	178	181	183
3,4	90	47	58	70	81	89	77	92	104	107	119	142	147	151	154	163	177	181	183	185	188
	85	84	107	125	136	149	123	144	160	170	183	189	199	207	216	224	240	244	247	251	254
2,5	90	53	65	78	90	101	88	105	118	123	135	162	167	172	175	186	201	205	208	210	214
	85	95	121	139	154	169	139	163	181	192	207	212	225	234	244	253	271	275	280	284	288

SABTAPE 22 mm Pendenza del terreno • Slope of the land • Pende de sol • Declive del terreno																					
portata nominale flow rate débit caudal	uniformità di emissione emission uniformity uniformidad de emisión	↖ -2%				↗ -1%				→ 0%				↘ 1%							
		pressione di immissione inlet pressure pression d'entrée presión de entrada				pressione di immissione inlet pressure pression d'entrée presión de entrada				pressione di immissione inlet pressure pression d'entrée presión de entrada				pressione di immissione inlet pressure pression d'entrée presión de entrada							
l/h-m (0,55 bar)	%	Bar				Bar				Bar				Bar							
		0,40	0,55	0,70	0,85	1,00	0,40	0,55	0,70	0,85	1,00	0,40	0,55	0,70	0,85	1,00	0,40	0,55	0,70	0,85	1,00
5	90	64	74	86	112	121	106	127	142	148	165	180	203	209	212	226	245	259	252	264	264
	85	81	100	121	142	153	135	161	180	187	209	250	257	264	269	287	311	317	320	322	334
1,4	90	85	104	126	145	157	137	165	186	192	202	258	285	271	278	277	318	326	329	332	338
	85	127	152	160	184	197	175	209	236	247	256	317	335	341	345	351	403	414	417	421	428
2,5	90	130	125	150	174	181	167	194	224	233	256	308	317	326	332	353	381	389	395	400	404
	85	127	158	190	220	243	212	257	288	291	325	391	402	414	421	448	483	494	501	506	515

Diagramma portata pressione
Flow vs. pressure
Débit contre pression
Caudal y presión



Portata richiesta • Required water flow					
Débit demandé • Caudal necesario					
distanza fra le ali spacing of tape rows espacement rampes gainé separacion entre líneas	lunghezza length longueur cantidad	7,5	5,0	3,4	2,5
		l/h-m	l/h-m	l/h-m	l/h-m
30	20,000	150	100	88	60
60	16,667	125	83	57	42
70	14,286	100	71	48	36
80	12,500	84	63	43	31
90	11,111	83	56	38	28
100	10,000	75	50	34	25
110	9,090	68	45	31	23
120	8,333	62	42	28	21
130	7,692	58	38	26	19
140	7,143	55	36	24	18
150	6,667	50	33	23	17
160	6,250	47	31	21	16
170	5,880	44	29	20	15
180	5,556	42	28	18	14
190	5,263	39	26	18	13
200	5,000	38	25	17	13
210	4,762	36	24	16	12
220	4,545	34	23	15	11
230	4,348	33	22	15	11
240	4,167	31	21	14	10
250	4,000	30	20	14	10