

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE- ARBAOUI Abdallah -

DEPARTEMENTGENIE 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-drainage

THEME :

**ETUDE DU PERIMETRE D'IRRIGATION DE
TOUGGOURT (SECTEUR N°1-170HA) A PARTIR DES
EAUX USEES EPUREES DE LA STEP DE TOUGGOURT
(W.OUARGLA)**

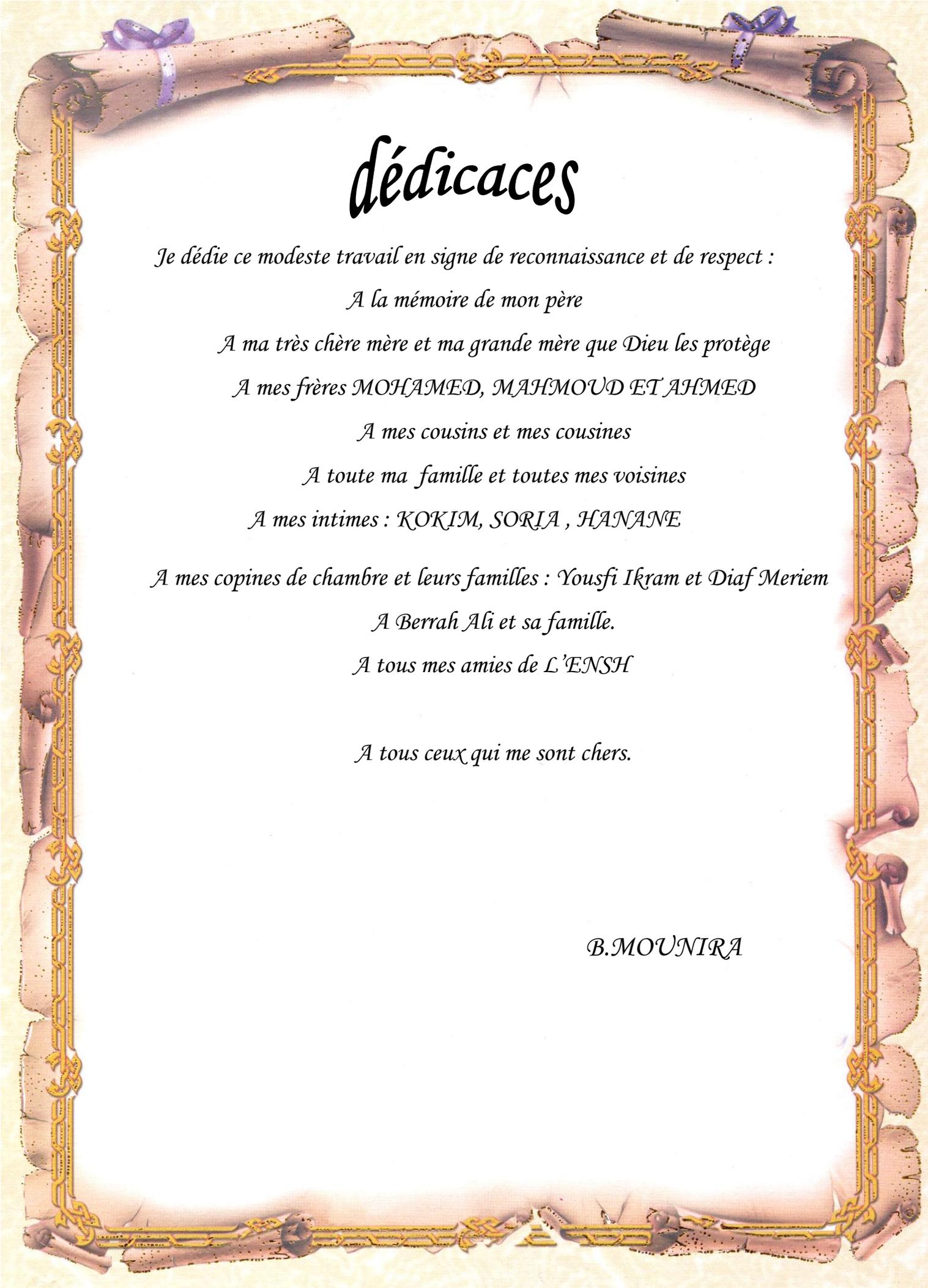
Présenté par :

M^{elle}: BENDRIS MOUNIRA

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

M^rM.MESSAHEL	Prof	Président
M^{me}LS.BAHBOUH	MA.A	Examinatrice
M^{me}H.BOUCAMA	MA.A	Examinatrice
M^{me}S. HARKAT	MA.B	Examinatrice
M^r Y. BOUNAH	MA.B	Examineur
M^r D. KOLIAI	ING EN CHEF	Promoteur

Septembre 2013



dédicaces

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect :

A la mémoire de mon père

A ma très chère mère et ma grande mère que Dieu les protège

A mes frères MOHAMED, MAHMOUD ET AHMED

A mes cousins et mes cousines

A toute ma famille et toutes mes voisines

A mes intimes : KOKIM, SORIA , HANANE

A mes copines de chambre et leurs familles : Yousfi Ikram et Diaf Meriem

A Berrah Ali et sa famille.

A tous mes amis de L'ENSH

A tous ceux qui me sont chers.

B.MOUNIRA

Remerciements

- *Je remercie Dieu le tout puissant, pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté d'étudier et pour m'avoir permis de réaliser ce modeste travail dans les meilleures conditions*
- *Au terme de cette modeste étude, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à Mr KOLIAI (mon promoteur) pour le soutien, l'aide et les conseils qu'il m'a dispensé pour l'élaboration de cette présente thèse et à ma formation durant les années de spécialités.*
- *Je remercie le président et les membres du jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.*
- *Je voudrais aussi remercier l'ensemble des professeurs, la direction de l'école et le ministère de tutelle pour avoir veillé à notre formation.*
- *Un grand merci pour toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce mémoire.*

مُلخَص

نظرا لمشكل ندرة مياه السقي ببلدية تقرت بولاية ورقلة قمنا باستعمال المياه القذرة المصفاة عن طريق محطة التصفية لبلدية تقرت لسد النقص في الاحتياجات. إن هدفنا يندرج ضمن السياسة الحالية المتعلقة بتسيير المساحات المسقية، والذي يسعى إلى تحقيق مردود معتبر من ناحية الاستثمار، مُعبراً عن أفضل فعالية لتقنيات السقي من جهة و تسيير أنجع والحفاظ على الموارد المائية و نوعية التربة من جهة أخرى.

Résumé

En raison du problème de la rareté de l'eau potable. On doit utiliser les eaux usées, épurées provenant des stations d'épurations pour combler le déficit en eau, satisfaire les besoins des cultures et atteindre ainsi des rendements optimaux dans la région de Touggourt willaya de Ouargla.

Notre objectif rentre dans le caractère de la politique actuelle de la gestion des périmètres irrigués; de façon à atteindre un rendement élevé de l'investissement, traduisant une meilleure efficacité du système d'irrigation d'une part, une meilleure gestion et préservation des potentialités : ressources en eau et ressources en sol d'autre part.

Abstract

Due to the problem of scarcity of water, we have to use purified wastewater, to supply the shortage of needs in the region of Touggourt. Accordingly, the aim of our present work has an aspect of the actual policy of the irrigated areas management in a way to attain a high investment output, showing a better efficiency of the irrigation system from one part, and a better management and potentialities preservation: water resource and ground resources from the other part.

Sommaire

Introduction générale.

Chapitre I : Bilan et usages des ressources en eau

Introduction	01
I.1.Monographie	01
I.2.Climat.....	02
I.3.Ressources en eau.....	03
I.4.1 Eau superficielle	03
I.4.2 Ressources en eau souterraines.....	03
I.5. Usage de l'eau.....	05
I.5.1 Alimentation en eau potable	05
I.5.2 Irrigation.....	06
I.5.3 Industrie.....	07
I.6.Balance hydraulique.....	07
Conclusion	08

Chapitre II : Réutilisation agricole des eaux usées

Introduction :.....	09
II.1. La planification:.....	09
II.1.1. Investigations préliminaires :.....	09
II.1.2. Identification du marché potentiel:.....	10
II.1.3. Evaluation détaillée :.....	10
II.2. Qualité des eaux usées pour l'irrigation :.....	11
II.2.1. Qualité chimique:.....	13
□ Salinité	14
•Salinisation :	15
•Chlore.et.sodium :	17
□ Eléments traces et métaux lourds :.....	20
II.2.2. Qualité microbiologique :.....	22

□ Tendances récentes dans la définition des normes :	24
II.2.3. La concentration en éléments fertilisants :	24
□ Azote(N) :	25
□ Phosphore (P).....	25
□ Potassium (K) :	26
□ Autres nutriments :	26
II.3. Mesures de lutte sanitaire :	27
II.3.1. Traitement des eaux résiduaires :	27
II.3.2. Mesures professionnelles :	27
II.3.3. Choix des cultures :	28
II.3.4. Choix de la méthode d'irrigation:	29
II.3.4.1 Irrigation à la raie:	29
II.3.4.2- Irrigation par aspersion:	29
II.3.4.3 Micro irrigation:	30
II.4. Impacts environnementaux associés à l'utilisation des eaux usées en irrigation:	30
II.4.1. Avantages environnementaux :	30
II.4.2. Effets négatifs potentiels sur l'environnement :	31
II.4.2.1. Effets sur le sol :	31
II.4.2.2. Effets sur les eaux souterraines :	31
II.4.2.3. Effets sur les eaux de surface (eutrophisation, croissance des algues).....	32
II.4.2.4. Effets sur les cultures (problème de phytotoxicité et gestion) :	32
Conclusion	33

Chapitre III: Station d'épuration et caractéristiques des eaux usées

Introduction	34
III.1. Description de la STEP.....	34
III.2. Evolution des volumes des eaux usées.....	36
III.2.1. population et évolution démographique.....	36

III.2.2. Réseau d'alimentation en eau potable.....	36
III.2.3. Evaluation du débit	36
III.3. Recommandations de l'OMS pour la REUE.....	37
III.4. Identification des scénarios de traitements tertiaires pour la REUE.....	39
III.4.1 Hypothèses de base	39
III.4.2 scénarios de traitement tertiaire pour la REUE en agriculture.....	39
III.4.3 Comparaison des scénarios de traitement tertiaire.....	41
III.4.4 Scénarios de traitement tertiaire pour la REUE en industrie et en milieu municipal.....	43
III.4.5. Analyse multicritère des scénarios de traitement tertiaire.....	44
Conclusion.....	47

Chapitre IV : Etude des ressources en eau et en sol de la zone d'irrigation par les EUE

Introduction.....	48
IV.1. Localisation et présentation du site à l'étude	48
IV.2. Les principaux critères de qualité des EUE à respecter pour l'irrigation.....	48
IV.2.1 Les matières en suspension : MES.....	48
IV.2.2 Les éléments fertilisants (N , P, K).....	48
IV.2.3 La salinité et << sodium absorption ratio >> : SAR.....	49
IV.3. Evaluation des ressources en sol dans la zone d'étude.....	49
IV.3.1 Les études référentielles dans la zone d'étude.....	49
IV.3.2 Principaux constats sur les sols dans la zone d'étude.....	51
IV.3.3 Les cultures adaptées au sol de la zone et l'irrigation à partir des EUE.....	54
IV.3.3.1 Le palmier dattier.....	54
IV.3.3.2 L'arboriculture fruitière.....	54

IV.3.3.3 Les cultures maraîchères.....	55
IV.3.3.4 Les cultures annuelles (fourragères et céréalières).....	56
IV.3.4 Classes d'aptitudes culturale des sols de la zone.....	56
IV.4.Aptitudes des sols à l'épandage éventuel des boues issues du traitement.....	59
IV.5.Etudes additionnelles à prévoir.....	60
Conclusion	61

Chapitre V : Etude agro socio-économique

Introduction.....	62
V.1. Aperçu de la situation socio-économique du site	62
V.2. Contexte agronomique.....	63
V.3. Contexte social.....	65
V.4. Contexte de mise en marché.....	66
V.4.1. Identification et brève description des filières	66
V.4.2. Contraintes commerciales à l'utilisation des EUE	71
V.5. Contraintes sanitaires.....	73
V.5.1. Définition des principaux points de contrôle au niveau sanitaire.....	74
V.5.2. Potentiel de mise en place d'un système de traçabilité	75
Conclusion	76

Chapitre VI : Choix agronomiques et besoins en eau

Introduction	77
VI.1.Choix agronomiques.....	77
VI.1.1.Spéculation.....	77
VI.1.2. Assolement.....	77
VI. 2 -Etude hydrologique	79
VI.2.1-Homogénéité de la série pluviométrique	79

VI.2.1.1-Test de Wilcoxon	79
VI.2.2-Ajustement à la loi de Gauss	81
• Commentaire	85
VI.2.2.1- Test de validité de l'ajustement à la loi de Gauss	85
• Test de Khi carrée	85
VI.3-Détermination de l'année de calcul.....	86
VI.4.Détermination des besoins en eau des cultures.....	86
VI.5.Calcul de la pluie efficace.....	88
VI.6.Evaluation des besoins en eau.....	89
VI.7. Caractérisation des apports en eaux usées épurées et des eaux de forage.....	91
VI.8. Délimitation des zones à irriguer.....	92
Conclusion	92

Chapitre VII : Etude d'aménagement hydraulique

Introduction.....	93
VII.1 Bassins de stockage.....	93
VII.2 Poste de pompage vers le périmètre irrigué.....	93
VI.2.1 Etude des variantes	93
VI.2.2 Dimensionnement de l'adduction gravitaire.....	93
VI.2.2.1 Détermination du diamètre de la conduite gravitaire.....	93
VI.2.2.2 Détermination de Hmt de la pompe qui refoule dans la conduite Principale.....	94
VI.2.3 Dispositif anti-bélier.....	95
VI.2.4 Appareillage d'équipement du réseau	95
VI.2.4.1 Vannes	95
VI.2.4.2 Vanne de sectionnement	96
VI.2.4.3 Ventouses.....	96
VI.2.4.4 Vidange	96
VI.2.4.5 Cheminée d'équilibre ou d'entrée d'air	96

VI.2.4.6	Clapet de non retour.....	96
VII.3.	Système d'irrigation.....	96
VII.3.1	Méthode d'irrigation	96
VII.3.2	Disposition d'un îlot d'irrigation.....	102
VII.3.3	Débits spécifiques.....	103
VII.3.4	Débits caractéristiques.....	104
VII.4	Réseau de distribution.....	104
VII.4.1	Présentation.....	104
VII.4.2	Dimensionnement.....	105
VII.5	Réseau de drainage.....	110
	Conclusion.....	110

Chapitre VIII : Aspect économique

	Introduction	111
VIII.1.	Identification des avantages et des coûts du projet.....	111
VIII.1.1.	Avantages du projet.....	111
VIII.1.2.	Coûts du projet.....	111
	Conclusion.....	114

Conclusion générale.

Bibliographie.

LISTE DES TABLEAUX

page

Tableau I.1	Pluviométrie mensuelle moyenne (mm).....	02
Tableau I.2	Evapotranspiration Mensuelle, ET ₀ (mm).....	02
Tableau I.3	Caractéristique hydrogéologique des ressources souterraines de Oued Righ.....	05
Tableau I.4	Evolution des besoins en eau potable de la ville de Touggourt.....	06
Tableau I.5	Unités industrielles de la ville de Touggourt.....	07
Tableau II.1	Eléments à considérer en cas d'irrigation avec des eaux usées (adapté de Pettygrove et Assano, 1988).....	12
Tableau II.2	Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO 1985).....	14
Tableau II.3	Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation.....	15
Tableau II.4	Rendement de quelques cultures en fonction de la salinité de l'eau d'arrosage (exprimée en dS/m)(*)......	16
Tableau II.5	Concentrations en Na ⁺ et Cl ⁻ de l'eau d'aspersion provoquant des ¹⁾ brûlures des feuilles (a,b).....	17
Tableau II.6	Concentrations maximales en Bore dans l'eau d'arrosage basées sur l'apparition de symptômes de toxicité lors de cultures sur sable.....	18
Tableau II.7	Limites recommandées ⁽¹⁾ en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2000).....	21
Tableau II.8	Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en irrigation (OMS, 1989).....	23
Tableau II.10	Apport en NPK (kg/ha) par les eaux d'irrigation pour une culture de tomate nécessitant un volume d'eau d'irrigation de 6500m ³ /ha.....	25
Tableau II.11	Potentiel de fertilisation par l'eau usée (FAO/RNEA, 1992).....	27

Tableau II.12	Application des recommandations du CSHPF.....	28
Tableau III.1	Objectifs de qualité de la STEP de Touggourt.....	34
Tableau III.2	Les résultats des analyses obtenus pour l'eau brute.....	35
Tableau III.3	Les résultats des analyses obtenus pour l'eau épurée.....	35
Tableau III.4	Evolution des volumes des EUE de la STEP de Touggourt.....	37
Tableau III.5	Dimensions des bassins de stockage intersaisonnier.....	40
Tableau III.6	Analyse multicritère des scénarios de traitement tertiaire.....	45
Tableau IV.1	Etudes pédologiques réalisées dans la zone du site de l'étude (vallée de l'oued Rhir).....	49
Tableau V.1	Les exploitants interrogés dans le périmètre de Touggourt selon la taille de l'exploitation.....	63
Tableau VI.1	Calendrier d'assolement- Touggourt.....	78
Tableau VI.1	Test de wilcoxon pour la série des données de la station de Touggourt.....	81
Tableau VI.2	Ajustement à la loi normale (loi de gauss).....	83
Tableau VI.3	Table du X ²	85
Tableau VI.4	L'année de calcul.....	86
Tableau VI.6	Evapotranspiration en mm/mois.....	88
Tableau VI.7	Les pluies efficaces calculées à l'aide du logiciel CROPWAT.....	89
Tableau VI.8	Besoin en eau des palmiers dattiers.....	90
Tableau VI.2	Débit journalier rejeté par la STEP (m ³ /j)-Année 2015.....	91
Tableau VII.1	Les caractéristiques de la pompe.....	95
Tableau VII.2	Les caractéristiques du réseau.....	106
Tableau VIII.1	Estimation des coûts	112

LISTE DES FIGURES

	page
Figure I.1 Situation de la Ville de Touggourt.....	01
Figure I.2 Le canal de Oued Righ.....	03
Figure II.1 Diagramme de classification des eaux d'irrigation.....	20
Figure III.1 Degrilleur mécanique.....	35
Figure III.2 Bassin d'aération	35
Figure II.3 Vue d'ensemble de la STEP de Touggourt.....	36
Figure II.4 Bassin de stockage et de finition des EUE.....	40
Figure III.1 Carte de localisation de la zone irrigable.....	
Figure V.1 Circuits de commercialisation de la datte et des produits dattiers-zone des oasis.....	68
Figure V.2 Circuits de commercialisation des produits de l'arboriculture-zone des oasis	70
Figure VI.1 Schéma type de l'assolement.....	78
Figure VI.2 Graphiques d'ajustement annuel des pluies moyennes(1990-2010) à la loi normale station de Touggourt.....	84
Figure VII.1 Schéma type d'une double borne.....	103
Figure VII.2 Schéma type d'une partie du réseau.....	105
Figure VII.3 Réseau d'irrigation par les EUE.....	114.

LISTES DES PLANCHES

PLANCHE I : profil en long de la conduite gravitaire STEP-BASSIN ;

PLANCHE II: Plan de situation de la zone irrigable par les eaux usées épurées de Touggourt (w. Ouargla)

PLANCHE III : Plan de réseau d'irrigation par les eaux usées épurées de Touggourt (w. Ouargla) ;

PLANCHE IV : vue en plan de la station d'épuration de Touggourt (w.Ouargla).

INTRODUCTION GENERALE

L'irrigation est l'activité humaine qui consomme le plus d'eau. La réutilisation agricole des eaux épurées comme moyen d'économiser la ressource a donc été une des premières voies de développement des projets de réutilisation des eaux usées épurées (REUE). Certains pays devant faire face à de graves pénuries d'eau ont développé en ce sens une politique à l'échelle nationale.

L'Algérie est actuellement aux prises avec un problème de rareté de l'eau qui s'amplifie depuis des années et qui est caractérisé par une sécheresse persistante qui provoque la diminution des ressources en eau. En fait, l'Algérie serait aujourd'hui parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques.

D'une manière générale, les précipitations sont insuffisantes et irrégulières dans le temps et dans l'espace. Le climat chaud et sec qui sévit sur une bonne partie du territoire réduit également les disponibilités. Parallèlement, les besoins, qui étaient naguère principalement de nature agricole, se diversifient et s'accroissent régulièrement en raison de l'accroissement de la population et de l'industrialisation. L'activité agricole a toujours été et sera toujours soumise aux aléas climatiques. L'eau constitue une contrainte majeure et un facteur limitant la production agricole sur les trois-quarts de la superficie agricole utile de l'Algérie.

Pour remédier à ce stress hydrique aggravé par une répartition spatiale des ressources et des besoins, le Gouvernement algérien a entrepris des projets de REUE pour l'irrigation des périmètres agricoles avoisinant les stations d'épuration (STEP).

C'est dans ce contexte d'appui à l'amélioration de la gestion intégrée de l'eau que l'étude de réutilisation des eaux usées, envisagée comme solution palliative, du moins en partie, à la réduction du stress hydrique que connaît particulièrement le secteur agricole.

La réutilisation des eaux usées épurées dans ce contexte est plus que bénéfique surtout pour la préservation de l'eau de l'Albien d'une part et d'autre part pour la préservation de l'environnement de la région de Touggourt.

I BILAN ET USAGES DES RESSOURCES EN EAU

Introduction :

Ce chapitre présente le bilan hydrique et usages des ressources en eau en mettant l'accent sur les déficits potentiels à être remplacés par des eaux usées épurées.

I.1 Monographie:

La ville de Touggourt est située dans la wilaya de Ouargla à 620 km au sud-est d'Alger. Considérée comme la plus grande ville de la vallée de Oued Rhir, Touggourt est nichée dans une oasis dans le Sahara septentrional (**figure I.1**).

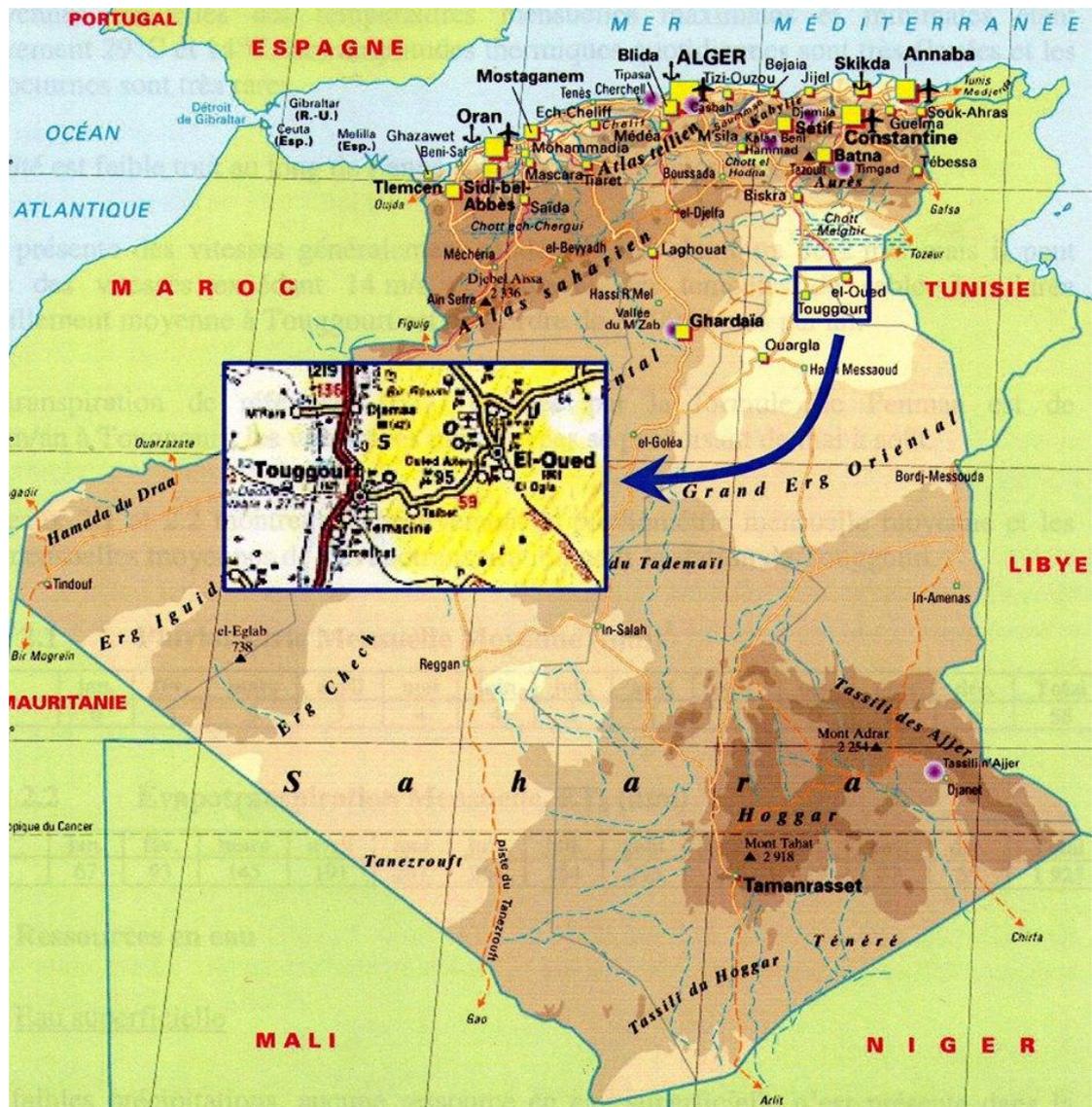


Figure I.1 Situation de la ville de Touggourt

La ville de Touggourt abrite actuellement environ 40 000 habitants dont l'accroissement démographique atteindra les 51 200 hab. en 2020 et 61 000 hab. en 2030.

I.2 Climat :

La région de Touggourt se caractérise par un climat de type saharien. En conséquence, la pluviométrie annuelle moyenne sur la zone d'étude est très faible, se situant à environ 60 mm/an. Le mois le plus sec est juillet alors que novembre, avec 11 mm de précipitation, correspond au mois le plus pluvieux.

La température moyenne annuelle est d'environ 22°C avec des températures estivales moyennes d'environ 32°C et des températures hivernales moyennes aux alentours de 12°C, les moyennes annuelles des températures mensuelles maximales et minimales étant respectivement 29°C et 14°C. Les amplitudes thermiques quotidiennes sont très élevées et les gelées nocturnes sont très rares.

L'humidité relative est faible tout au long de l'année avec une valeur moyenne de 44%.

Le vent présente des vitesses généralement modérées aux alentours de 2 m/s mais il peut atteindre des vitesses excédant 14 m/s et soulever des tempêtes de sable. La durée d'ensoleillement moyenne à Touggourt est de l'ordre de 3 500 heures par an.

L'évapotranspiration de référence (ET_0) estimée par la formule de Penman est de 1 925 mm/an à Touggourt, les valeurs les plus élevées se produisant de mai à août.

Les tableaux I.1 et I.2 montrent respectivement la pluviométrie mensuelle moyenne et les valeurs mensuelles moyennes de l'évapotranspiration pour la station de Touggourt.

Tableau I.1 Pluviométrie mensuelles moyenne (mm)

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	total
	6	6	9	3	4	4	1	1	2	5	11	6	58

Source : (ONS) Touggourt

Tableau I.2 Evapotranspiration mensuelle, ET_0 (mm)

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	total
	67	93	145	191	237	264	254	233	176	129	77	59	1925

Source : (ONS) Touggourt

I.3 Ressources en eau

I.3.1 Eau superficielle

Dû aux faibles précipitations, aucune ressource en eau superficielle n'est présente dans la zone d'étude.

Le canal de Oued Righ (Figure I.2) traversant la ville de Touggourt est une sorte d'ouvrage de drainage des eaux d'irrigation des oasis traversées et de la nappe supérieure entièrement saline. Les eaux de l'oued Righ sont polluées par les rejets des eaux usées des villes traversées notamment : Touggourt, Tebesbest, Zaouia, Magarine... La seule du bassin versant dotée de STEP est la ville de Touggourt.

Les eaux de oued Righ débouchent, à 110 Km au nord de Touggourt, dans Chott Mérouane où elles stagnent jusqu'à infiltration et évaporation.



Figure I.2 Le canal de Oued Righ

I.3.2 Ressources en eau souterraines

Les ressources en eau souterraines du Sahara sont constituées essentiellement par les deux grandes nappes fossiles :

- La nappe du complexe Terminal (CT) ;
- La nappe du Continental Intercalaire (CI).

a) Nappe du complexe Terminal

La nappe du Complexe Terminal couvre une superficie de 350 000 km². Elle se situe dans le bassin oriental du Sahara septentrional. C'est un aquifère de moyenne profondeur (100 à 400 m) dont les forages sont artésiens au centre du bassin du Sahara septentrional.

La région de Oued Righ se trouve en situation d'intense exploitation des ressources en eaux souterraines avec de forts impacts négatifs ressentis dans certaines zones. Les conséquences de cette exploitation sont multiples. Le rabattement des nappes souterraines (jusqu'à plus de 80 m à Touggourt) mais surtout la remontée de la nappe phréatique et la salinisation de l'eau et du sol due à l'accumulation des eaux d'irrigation mal drainées .

b) Nappe du Continental Intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire, qui est la plus profonde, est localisée sur l'ensemble du Sahara septentrional. Sa superficie d'environ 800 000 km², et son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres, en font un réservoir considérable. C'est aussi l'un des aquifères les plus étendus de la planète.

Son exploitation nécessite des forages profonds dans les régions de Ouargla, Oued Rhir et Ouled Djelal , par contre , il peut être capté par des forages peu profonds dans la partie sud-ouest (région d'Adrar) où il affleure et où se trouve la zone des foggaras .

Les importantes réserves d'eau que renferment ces deux aquifères sont des réserves non renouvelables, c'est-à-dire que les prélèvements se font au détriment du stock. Mais ce stock est immense, il est évalué pour les deux nappes à 60 000 milliards de mètres cubes.

Le tableau ci-après présente les caractéristiques des nappes de Oued Righ .

Tableau I.3 caractéristique hydrogéologique des ressources souterraines de Oued Righ

Nappe	Profondeur(m)	Niveau statique (m)	Débit (l/s)	Résidu Sec (g/l)
Mio-pliocène	60-160	8 artésiens	20	3-6
Senonien	180-250	8	15	3
Albien	1 800-2 200	(20 bar) artésien	150	3

Source : ABH Sahara 2006. Cadastre hydraulique

Les deux communes de Touggourt et Tebesbest regroupent environ 188 forages dont 49 sont de types profonds (profondeur supérieure à 700 m – nappe CI) et servent aussi bien pour l'alimentation en eau potable (AEP) que pour l'irrigation et 139 forages d'une profondeur comprise entre 70 à 120 m (nappe CT) exclusivement pour l'agriculture. Les débits d'exploitations individuels sont compris entre 15 et 35 l/s.

Les aquifères ont fait l'objet de plusieurs études qui ont permis d'en évaluer le volume exploitable. Il est de l'ordre de 5 000 hm³/an :

- 2 169 hm³/an pour le CT ;
- 2 767 hm³/an pour le CI.

I.4 Usage de l'eau

I.4.1 Alimentation en eau potable

Les forages sur la nappe du Complexe Intercalaire permettent, en principe , de satisfaire les besoins en eau à la production pour l'ensemble des agglomérations de la vallée de Oued Righ. Les problèmes actuellement relevés sont plus localisés au niveau de la distribution. Un plan directeur de réhabilitation du système d'alimentation en eau potable de Touggourt est en cours de mise en œuvre par l'Algérienne des Eaux (ADE).

Le système d'alimentation en eau potable est géré par l'ADE dans la ville de Touggourt et par les Assemblées Populaires Communales (APC) dans les agglomérations avoisinantes.

Le taux de branchement actuel est de 91% et le tableau 1.4 présente ci-dessous l'évolution des besoins en eau de la ville de Touggourt telle qu'extraite des estimations élaborées et actualisée par les données statistiques de l'année 2010 communiquées par la direction de l'Alimentation en eau potable(DAEP) :

Tableau I.4 Evolution des besoins en eau potable de la ville de Touggourt

Horizon	2010	2015	2020	2025	2030
Population (hab.)	42 088	46 443	51 207	56 124	60 918
Volume consommé (m³/j)	10 737	11 848	13 063	14 318	15 541

Faute de facturation détaillée par type d'usage, la consommation en eau potable des usages municipaux est diffuse dans la rubrique de la consommation de type administration .Toutefois, il est à signaler que la Municipalité de Touggourt se sert aussi d'un forage pour subvenir aux besoins d'arrosage des aménagements paysagers et du nettoyage occasionnel des égouts.

I.4.2 Irrigation

D'après le Cadastre Hydraulique élaboré par l'Agence du bassin Hydrographique du Sahara (ABHS) pour le Sahara Septentrional sur la base des données recueillies auprès des organismes régionaux concernés , tels que les DHW et DSA, L'ONID , et l'ANRH , la superficie totale irriguée dans le bassin versant du Sahara Septentrional est très faible par rapport à la superficie du bassin . La petite et la moyenne hydraulique PMH représentent 94% de la superficie totale irriguée. Les terres irriguées dans le bassin, ne dépassent pas les 115 000 hectares, tandis que le volume d'eau mobilisé annuellement pour l'irrigation est de plus de 950 millions de m³. Les techniques d'irrigation traditionnelles utilisées, notamment le gravitaire, illustrent parfaitement le gaspillage d'eau dans les zones sahariennes.

A l'instar du reste du bassin de Oued Righ, l'irrigation de la palmeraie de Touggourt avoisinant la STEP se fait uniquement en puisant dans les ressources souterraines, généralement la nappe du Mio-pliocène (70 à 160 m de profondeur). Il existe ainsi plusieurs forages dans la zone d'étude qui ont un débit moyen de 17 l/s et qui fonctionnent chacun 16 heures par jour, voire même plus. En effet, l'enquête faite sur les exploitations avoisinant la STEP de Touggourt dévoile un problème crucial de pénurie d'eau. Les usagers sont contraints d'irriguer la nuit ou de réduire les superficies agricoles qui sont alors davantage sujettes à la désertification.

I.4.3 Industrie

La ville de Touggourt compte une zone industrielle de 197 ha. Et une zone d'activité de 171 ha. L'industrie emploie 13,6% de la population active à Touggourt. Le tableau ci-après présente les unités industrielles les plus importantes.

L'alimentation en eau des unités industrielles de Touggourt se fait généralement à partir de la nappe. La consommation en eau potable à partir du réseau ADE est dédiée uniquement pour les besoins domestiques des travailleurs.

Tableau I.5 Unités industrielles de la ville de Touggourt

Unité	Activités
EIM	Charpente métallique
EFMC	Fabrication de matériaux de construction
Maghreb Céramique	Production de faïence
Groupe RYMM	Fabrication de tubes PVC
Nouvelle briqueterie de Zaouia	Briqueterie
BMO	Briqueterie

La consommation en eau potable et brute (nappe) pour les six industries susmentionnées est estimée à environ 40 m³/j selon les résultats d'une enquête industrielle effectuée en 2007. Les entreprises EIM, EFMC et les briqueteries sont relativement les plus consommatrices d'eau.

I.5 Balance hydraulique

La balance hydraulique de la région hydrographique du Sahara est largement excédentaire, puisqu'elle dispose au niveau des deux nappes fossiles de ressources en eau, non encore exploitées, s'élevant à environ 3.5 milliards de m³/an.

Conclusion

Contrairement aux besoins en eau potable et de l'industrie, la palmeraie de Touggourt souffre d'une pénurie d'eau causée par le rabattement de la nappe Mio-Pliocène qui a atteint plus de 80 m et aggravé par la remontée de la nappe phréatique saline due à l'accumulation des eaux d'irrigation mal drainées. Le secteur agricole présente par la suite un potentiel important pour la réutilisation des eaux usées épurées (REUE).

II REUTILISATION AGRICOLE DES EAUX USEES

Introduction :

La réutilisation des eaux usées est une technique en pleine expansion principalement associée à l'agriculture, cette réutilisation a pour objectif principal la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques et de trouver des sources d'eau alternatives pour l'irrigation vu la rareté croissante de l'eau. En revanche l'irrigation continue et incontrôlée par des eaux d'égouts pose de sérieux risques pour la santé, du fait que les eaux d'égouts contiennent une charge polluante chimique toxique, et sont porteuses d'excrétas pathogènes (bactéries, virus, protozoaires, œufs d'helminthe, vers...etc.) responsables des infections gastro-intestinales chez les humains, aussi cette irrigation peut causer des problèmes sur l'environnement.

D'autre part, l'impact, surtout sanitaire, de cette réutilisation passe via les mécanismes de formation des eaux usées (domestique, industrielle,...) ce qui nous permet de savoir la composition biologique, chimique et physique de cette eau. L'étude des formes de réutilisation, nous permettent de détecter les différentes formes de danger (microbiologique, chimique,...etc.) menaçant la santé humaine.

Par ailleurs, des problèmes sérieux sont imposés, on doit donc agir et trouver des solutions immédiates et efficaces pour éviter toute menace. Il est donc indispensable de respecter les normes de rejet (réutilisations O.M.S. 1989), et opter pour des procédés de traitement efficaces des eaux usées, avant leur réutilisation.

II.1. La planification:

La planification d'un projet de réutilisation des eaux usées comprend une phase d'investigation préliminaire, une phase d'identification du marché potentiel et une phase d'évaluation détaillée. [6]

II.1.1. Investigations préliminaires :

C'est la phase d'information qui, sur base d'éléments physiques, biologiques, économiques et légaux, doit montrer la justification et la viabilité du projet de réutilisation. Cette phase doit être approchée avec une vue d'ensemble. L'exploration de toutes les possibilités de réutilisation pendant cette phase préliminaire doit

permettre d'établir le contexte réel du projet et éviter de s'engager vers des solutions non pertinentes.

Les points à prendre en considération dans cette phase sont les suivants :

- Ressource en eau usée ;
- Le marché potentiel des eaux épurées ;
- Les considérations de santé publique associées à la réutilisation et leur prise en charge.
- Impact environnemental potentiel.
- Combinaison entre la réutilisation et l'utilisation des autres ressources en eau de la zone.
- Loi ou réglementation existante ou projeté qui s'applique à la réutilisation dans la zone.
- L'administration qui doit approuver et suivre le projet.
- La responsabilité légale du fournisseur ou de l'utilisateur des eaux épurées.
- Source de financement disponible pour soutenir le projet.

II.1.2. Identification du marché potentiel:

L'objet de cette phase est de comparer le coût unitaire de l'eau claire et le coût de l'eau épurée. La valeur et l'intérêt porté à l'eau épurée dépendra :

- de la qualité d'eau à fournir en fonction des besoins des agriculteurs.
- de la quantité d'eau disponible et la capacité de suivre les fluctuations de la demande.
- des effets de la législation.
- du coût actuel ou futur de l'eau claire.

La réponse à toutes ces interrogations demande des études détaillées.

II.1.3. Evaluation détaillée :

Les volets de cette phase sont :

- La qualité de l'eau nécessaire pour satisfaire chaque type d'utilisation et quelle fluctuation de la qualité est tolérée.
- La demande journalière et saisonnière.
- Les risques liés à la qualité des eaux et comment s'en prémunir.

- Les autres éléments apportés par les eaux usées, en plus de l'eau.
- Les précautions à prendre pour éviter tout risque de pollution.
- Nécessité ou non d'un système de stockage.
- Choix entre le pompage et le stockage pour mieux satisfaire les fluctuations de la demande.
- La prise en charge du coût d'un traitement complémentaire s'il est nécessaire.
- L'utilisation des eaux épurées forcera t-elle les agriculteurs à modifier leur pratique d'irrigation.

L'utilisation de l'eau usée peut donner des résultats agronomiques très favorables. Les schémas d'utilisation d'eau usée, lorsqu'ils sont correctement planifiés et contrôlés, peuvent avoir un impact environnemental et sanitaire positif, en plus de rendement agricole accru.

II.2. Qualité des eaux usées pour l'irrigation :

Les eaux usées contiennent habituellement des constituants non désirables tels que les éléments traces et pathogènes mais contiennent également des composants organiques et des éléments nutritifs (N, P et K) utiles pour l'agriculture.

Les propriétés physiques, ainsi que les constituants chimiques et biologiques des eaux usées sont donc des paramètres importants, dont il faut tenir compte dans la conception de projets réutilisation agricoles des effluents. Ces constituants sont représentés dans le tableau II-1. [6]

Tableau II-1 : Eléments à considérer en cas d'irrigation avec des eaux usées (adapté de Pettygrove et Assano, 1988).

Constituants	Paramètres mesurés	Raison
Solides en suspension	Solides en suspension	Ils peuvent causer le dépôt de boues et l'apparition de conditions anaérobies lorsque les EU sont déversés dans l'environnement aquatique. Les MES colmatent les systèmes d'irrigation.
Matières organiques biodégradables	Demande biochimique en oxygène, Demande chimique en oxygène	Leur décomposition biologique peut causer la diminution de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices et le développement de conditions septiques.
Pathogènes	Organismes indicateurs de contamination fécale, coliformes fécaux et totaux.	Les maladies contagieuses peuvent être transmises par les pathogènes dans les eaux usées : bactéries, virus, parasites.
Nutriments	Azote, phosphore, potassium.	Ces nutriments sont essentiels pour la croissance des plantes. Lorsque les EU sont déchargés dans l'environnement, azote et phosphore peuvent causer la croissance d'une vie aquatique non désirable. L'application en quantité excessives de l'azote sur les terres, peut polluer la nappe souterraine.

Tableau II-1 (suite) :

Constituants	Paramètres mesurés	Raison
Composants organiques spécifiques	Composants spécifiques (ex : phénols, pesticides)	Certains Composants organiques sont toxiques dans l'environnement et leur présence peut limiter l'attrait des eaux usées pour l'irrigation.
Activité de l'ion hydrogène	pH	Le pH des eaux usées affecte la solubilité des métaux ainsi que l'alcalinité des sols. La gamme normale des eaux usées est pH= 6.5÷8.5 mais les déchets industriels peuvent altérer le pH des eaux usées.
Métaux lourds	Eléments spécifiques (ex : Cd, Zn, Ni, Hg)	Certains métaux lourds qui se trouvent présent dans les eaux résiduaires peuvent constituer un risque sanitaire significatif pour les humains et les animaux et peuvent également affecter les cultures irriguées.
Inorganiques dissous	Solides totaux dissous, conductivité électrique, éléments spécifiques (ex : Na, Ca, Mg, Cl, B)	Une salinité excessive peut endommager certaines cultures. Des ions spécifiques tels que Cl, Na, B sont toxiques pour certaines plantes. Le sodium peut poser des problèmes de perméabilité des sols.
Chlore résiduel	Chlore libre et combiné	Une quantité excessive de Chlore libre (> 0.5mg Cl ₂ /l) peut causer des chloroses foliaires et endommager certaines cultures sensibles. Toutefois la plupart du chlore dans les EU est sous formes combinée, et ne cause pas trop de dommages aux plantes.

II.2.1. Qualité chimique:

Les caractéristiques de qualité chimiques et physiques sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation. A cet égard, les directives générales présentées dans le Tableau II-2 peuvent être employées pour évaluer 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.[6]

Tableau II-2 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO 1985).

Problèmes potentiels en irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
Salinité				
EC _w	dS/m	< 0.7	0.7 ÷ 3.0	> 3.0
Ou				
TDS	mg/l	< 450	450 ÷ 2000	> 2000
Infiltration				
SAR=0-3 et EC _w =	dS/m	> 0.7	0.7 ÷ 0.2	< 0.2
3-6 =		> 1.2	1.2 ÷ 0.3	< 0.3
6-12 =		> 1.9	1.9 ÷ 0.5	< 0.5
12-20 =		> 2.9	2.9 ÷ 1.3	< 1.3
20-40 =		> 5.0	5.0 ÷ 2.9	< 2.9
Toxicité spécifique des ions				
Na				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 ÷ 9	> 9
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Cl				
Irrigation de surface	méq/l	< 4	4 ÷ 10	> 10
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Bore (B)	mg/l	< 0.7	0.7 ÷ 3.0	> 3.0
Effets divers				
Azote (NO ₃ -N)	mg/l	< 5	5 ÷ 30	> 30
Bicarbonate(HCO ₃)	méq/l	< 1.5	1.5 ÷ 8.5	> 8.5
pH		Gamme	normale	6.5 ÷ 8.5

Source : FAO 1985

❖ 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.

Dans la plupart des pays, l'eau utilisée pour l'approvisionnement municipal est l'eau ayant la meilleure qualité disponible et elle est habituellement de faible salinité. Cependant, en conditions de pénurie en eau, la salinité de l'eau peut être élevée avec pour conséquence une utilisation en irrigation limitée. Il est possible, dans certaines marges, d'adapter l'irrigation à la salinité de l'eau en jouant sur les doses appliquées et les systèmes d'irrigation. La quantité et le type de sels présents sont importants pour évaluer si l'eau usée traitée convient pour l'irrigation. Des problèmes potentiels sont liés à la teneur en sels totaux, au type de sel ou à la concentration excessive d'un ou plusieurs éléments (Ayers et Westcot, 1985).

• **Salinisation :**

Les plantes et l'évaporation prélèvent l'eau du sol en y abandonnant une large part des sels apportés par l'eau d'arrosage; ce qui conduit à augmenter la salinité de l'eau du sol. La pression osmotique de l'eau du sol augmentant avec sa concentration en sels dissous, la plante consacre alors l'essentiel de son énergie non pas à se développer, mais à ajuster la concentration en sel de son tissu végétal de manière à pouvoir extraire du sol l'eau qui lui est nécessaire. RICHARDS, en 1969, a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité évaluée par leur conductivité électrique (Tableau III-3). La tolérance de quelques plantes vis-à-vis de la salinité de l'eau d'irrigation est reportée au Tableau III-4.

Tableau II-3 : Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation
(Richards, 1969 in PERIGAUD J., 1977)

Qualité de l'eau	Conductivité de l'eau (mmhos/cm)	Sels solubles correspondants estimés en Na Cl (mg/l)
I. Excellente	< 0,25	< 160
II. Faibles salinité	0,25 - 0,75	160 - 500
III. Forte salinité	0,75 - 2,25	500 - 1 500
IV. Très forte salinité	2,25 - 5	1 500 - 3 600

Tableau II-4 : Rendement de quelques cultures en fonction de la salinité de l'eau d'arrosage (exprimée en dS/m)^(*)

Culture		Rendements				
		100 %	90 %	75 %	50 %	0 %
Orge	CE	5.3	6.7	8.7	12	19
Blé		4.0	4.9	6.3	8.7	13
Maïs		1.1	1.7	2.5	3.9	6.7
Sorgho		4.5	5.0	5.6	6.7	8.7
Betterave sucrière	CE	4.7	5.8	7.5	10	16
Tomate		1.7	2.5	3.4	5.0	8.4
Concombre		1.7	2.2	2.9	4.2	6.8
Choux		1.2	1.9	2.9	4.6	8.1
Pomme de terre		1.1	1.7	2.5	3.9	6.7
Oignon		0.8	1.2	1.8	2.9	5.0
Luzerne		1.3	2.2	3.6	5.9	10
Féтуque		2.6	3.6	5.2	7.8	13

(*) Adapté de Mass et Hoffman (1977) et Mass (1984).

Ces données sont uniquement indicatives. Les tolérances absolues varient en fonction du climat, des conditions de sol et des pratiques culturales.

En dessous de 700S/cm, il n'y a pratiquement pas de culture dont le rendement soit affecté par la salinité; entre 700 et 3 000S/cm, le maintien des rendements est encore possible avec des façons culturales adéquates.

Quand une tendance à l'enrichissement en sels de la solution du sol menace les rendements culturaux, elle doit être compensée par des irrigations supérieures aux besoins en eau de la culture pour entraîner la solution du sol excessivement enrichie en ions en dessous de la zone racinaire. Des abaques permettent de déterminer le taux de lessivage en fonction de la tolérance au sel de la culture et de la salinité de l'eau appliquée. Bien entendu, le projet de réutilisation doit se soucier de l'évacuation de l'eau de lessivage.

Si la perméabilité du sol n'est pas Suffisante ; un Drainage doit être prévu.

Le choix du mode d'irrigation doit tenir compte de la salinité de l'eau d'arrosage. L'irrigation à la raie est déconseillée; au contraire, l'irrigation par submersion ou l'irrigation localisée donnent de bons résultats. [7]

- **Chlore et sodium :**

Les chlorures et le sodium peuvent également poser problème, notamment en bord de mer quand les réseaux d'égout drainent des eaux phréatiques saumâtres.

Tableau II-5 : Concentrations en Na^+ et Cl^- de l'eau d'aspersion provoquant des brûlures des feuilles ^(a,b)

Concentration en Na^+ et Cl^- (meq/l^(c)) à partir desquelles on observe des brûlures des feuilles^(d)			
moins de 5	5 - 10	10 - 20	plus de 20
Amandier	Raisin	Orge	Choux fleur
Abricotier	Pommes de terre	Blé	Betterave sucrière
Agrumes	Tomate	Concombre	Tournesol
Prunier	Gazons de golf	Sorgho	

^(a) Données de Maas.

^(b) Susceptibilité basée sur l'absorption directe des sels par les feuilles.

^(c) la concentration de Na ou Cl en meq/l peut être calculée en divisant les mg/l par le poids moléculaire de Na (23) ou Cl (35,5). (meq/l = mg/l x poids moléculaire)

^(d) Le dommage causé aux feuilles est influencé par les conditions environnementales et de culture. Ces données sont présentées uniquement en tant que guide pour l'irrigation par aspersion.

Certaines cultures, comme la vigne, les agrumes, les noyers, l'avocatier et le haricot, les groseilliers, les fraisiers et, d'une manière générale, les fruits à pépins et à noyaux sont sensibles à des concentrations relativement faibles en Na.

La plupart des arbres et autres plantes ligneuses pérennes sont sensibles au chlore à faible dose, alors que la plupart des cultures annuelles le sont moins. Les cultures très sensibles peuvent être affectées par des teneurs en chlore de la solution du sol à partir de 1 meq/l

Les effets toxiques apparaissent beaucoup plus facilement quand les sels sont apportés directement sur les feuilles lors des irrigations par aspersion. C'est particulièrement vrai pour le Cl et le Na. Quelques valeurs de tolérances au chlore et au sodium sont données au Tableau III-5. Les risques sont moindres avec des irrigations nocturnes.

Quand les eaux réutilisées ont été chlorées et que le résiduel en chlore est trop élevé au moment de l'irrigation, les cultures peuvent souffrir si elles sont arrosées par

aspersion. Mais le chlore résiduel libre (HOCl, OCl⁻, Cl₂) est très réactif et instable dans l'eau ; il suffit alors de stocker l'eau quelques heures dans un réservoir ouvert pour l'éliminer. Une teneur en chlore résiduel inférieure à 1 mg/l est sans danger pour le feuillage, mais une concentration supérieure à 5 mg/l serait hautement dommageable. La plupart des projets d'irrigation ne devraient pas rencontrer ce problème s'ils utilisent un réservoir de stockage intermédiaire ; mais il est important de redoubler de précautions si ce réservoir est court-circuité et que l'effluent est directement utilisé.[10]

• **Le Bore :**

Dans les eaux usées, le bore provient des lessives et des rejets industriels. A des concentrations très faibles, le bore est indispensable à la croissance des végétaux, ces besoins sont toujours largement couverts par les eaux usées ; mais lorsque sa concentration excède 1 mg/l, il peut être toxique pour les plantes les plus sensibles (Tableau II-6).[10]

Tableau II-6: Concentrations maximales en Bore dans l'eau d'arrosage basées sur l'apparition de symptômes de toxicité lors de cultures sur sable

Sensible (0,3 - 1 mg de B/l)	Tolérance moyenne (1 - 2 mg de B/l)	Tolérant (2 - 4 mg de B/l)
Agrumes	Poivron	Carotte
Avocatier		
Abricotier	Avoine	Laitue
Pêcher	Petit pois	Choux
Cerisier	Maïs	Navet
Figuier	Blé	Oignon
Raisin	Orge	Luzerne
Pommier	Radis	Betteraves
Pêcher	Tomate	Asperge
Prunier	Tournesol	
Artichaut		

(Source : Shainberg et Oster, 1978)

❖ Sodisation :

L'accumulation de sodium (sodisation) sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols. Leur capacité de drainage, donc leur perméabilité, conditionne la productivité des terres irriguées. Un excès de sodium par rapport aux alcalino-terreux (calcium, magnésium, ...) dans le complexe adsorbant provoque une défloculation des argiles, une déstructuration du sol qui se traduit par une réduction de la perméabilité et de la porosité des couches superficielles du sol. L'eau d'irrigation stagne alors à la surface du sol et ne parvient plus jusqu'aux racines.

D'autre part, à proportions égales de sodium et d'alcalino-terreux dans la solution, la tendance à la sodisation du sol est d'autant plus forte que la concentration en cations totaux dans la solution est plus élevée. Ainsi, les risques de sodisation relatifs à une eau d'irrigation sont caractérisés par deux paramètres : le SAR (Sodium Adsorption Ratio), qui rend compte du rapport entre les concentrations en sodium et en alcalino-terreux, et la conductivité de l'eau appliquée.

Le SAR défini comme égal à $Na^+ / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++}) / 2}$, (Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} étant exprimés en meq/l) peut être ajusté pour mieux tenir compte du calcium susceptible de demeurer sur le sol après une irrigation. L'U.S. Salinity Laboratory a proposé un diagramme qui, à partir des valeurs du SAR et de la conductivité, classe les eaux d'irrigation en fonction des risques de sodisation et de salinité. [10]

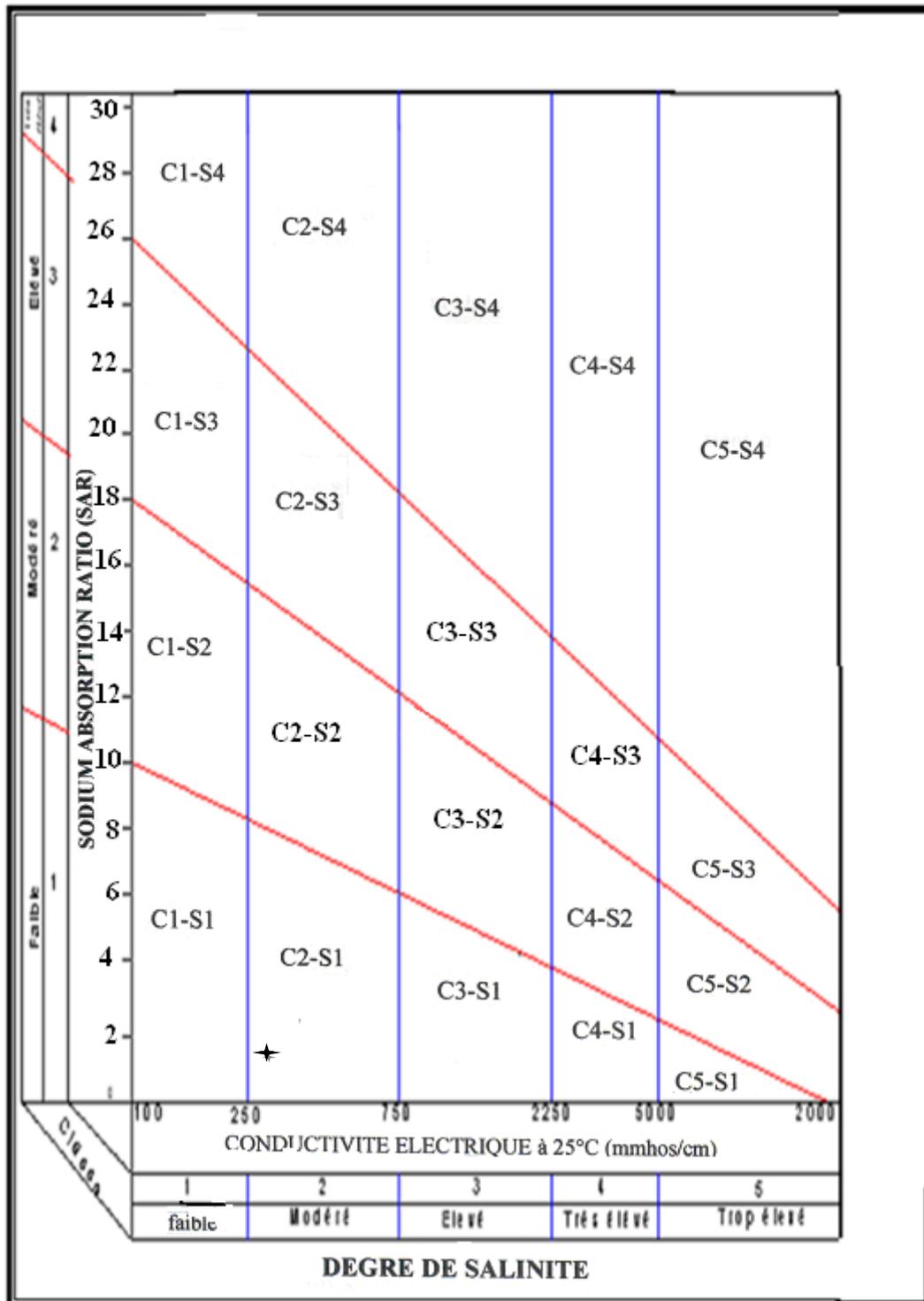


Figure III-1 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation (D'après United States Salinity Laboratory, U.S.S.L établie 1954)

❖ **Éléments traces et métaux lourds :**

Les éléments traces sont, en général, immobilisés dans les couches supérieures du sol, par adsorption et échanges d'ions.

Cette accumulation peut avoir pour conséquence, à terme, des risques pour le développement des plantes, la santé des hommes et des animaux. Les métaux lourds qui présentent les risques les plus notables sont {Cadmium (Cd), Cuivre (Cu), Molybdène (Mo), Nickel (Ni) et Zinc (Zn)}. Le nickel, le cuivre et le zinc sont d'abord phytotoxiques. Au contraire, le molybdène et, surtout, le cadmium peuvent être toxiques pour les animaux et l'homme, à des concentrations bien inférieures aux seuils de phytotoxicité.

Les concentrations maximales en éléments traces recommandées dans les eaux d'irrigation sont reportées dans le Tableau II-7. Il faut toutefois garder en mémoire que, sauf exception (établissements industriels très polluants raccordés directement au réseau d'assainissement), les concentrations en métaux lourds dans les eaux résiduaires sont faibles et ne constituent pas un facteur limitant la réutilisation des eaux usées en irrigation. L'essentiel de ces métaux est retenu dans les boues des stations d'épuration. Il reste cependant prudent, afin d'éviter tout risque, de suivre la qualité des eaux recyclées et de tenir compte de leur composition dans le choix des cultures arrosées. [2]

Tableau II-7 : Limites recommandées⁽¹⁾ en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2000).

Elément (symbole)	Eaux utilisées en permanence tous types de sol mg/l	Utilisation allant jusqu'à 20 ans sur des sols à texture fine ayant un pH de 6 à 8,5 mg/l
Aluminium (Al)	5,0	20,0
Arsenic (As)	0,1	2;0
Beryllium (Be)	0,1	0,5
Bore (B)	0	2,0
Cadmium (Cd)	0,01	0,05
Chrome (Cr)	0,1	1,0
Cobalt (Co)	0,05	5,0
Cuivre (Cu)	0,2	5,0
Fluorure (F)	1,0	15,0

Fer (Fe)	5,0	20,0
Plomb (Pb)	5,0	10,0
Lithium (Li) ⁽²⁾	2,5	2,5
manganèse (Mn)	0,2	10,0
Molybdène (Mo)	0,01	0,05 ⁽³⁾
Nickel (Ni)	0,2	2,0
Sélénium (Se)	0,02	0,02
Vanadium (V)	0,2	1,0
Zinc (Zn)	2,0	10,0

(Source: National Academy of Engineering, 1973)

⁽¹⁾ Ayers et Westcoc, 1985.

⁽²⁾ La concentration maximale recommandée pour l'irrigation des agrumes est de 0,075 mg/l.

⁽³⁾ Uniquement pour des sols acides à texture fine ou des sols acides à teneur relativement élevée en Oxyde de fer.

II.2.2. Qualité microbiologique :

Les recommandations de l'organisation mondiale de la santé (OMS) relatives à la REU en agriculture, distinguent trois catégories d'eau, A, B et C, sur la base de critères microbiologique (Tableau II-8). Les deux micro-organismes de référence considérés dans les directives de l'OMS sont les coliformes fécaux et les nématodes intestinaux. Ce choix est justifié par des considérations épidémiologiques (Shuval et al. 1986) et pour des raisons de facilité analytique.

Les directives de l'OMS diffèrent de l'approche « risque zéro » établie aux Etats-Unis. Elles ont été basées sur des données épidémiologiques considérant que la présence d'un agent pathogène dans l'environnement est insuffisante pour déclencher la maladie.

Les directives de l'OMS recommandent pour une irrigation non restrictive :

- ✓ l'élimination complète (ou quasi) des Helminthes intestinaux, avec une moyenne < 1 œuf par litre d'eau ;
- ✓ une élimination importante des bactéries pathogènes, avec une valeur moyenne < 1000 CF/100 ml.

Pour l'irrigation restrictive on insiste uniquement sur l'élimination des Helminthes.

Dans les pays où n'existent pas de normes plus contraignantes, les eaux usées traitées qui respectent les directives de qualité de l'OMS pour une utilisation non restrictive (catégorie A) peuvent être utilisées pour irriguer toutes les cultures sans mesure supplémentaire de protection de la santé (OMS, 1989). [6]

Tableau II-8 : Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en irrigation (OMS, 1989)

Catégories	Conditions de réalisation	Groupes exposés	Nématodes intestinaux (nbre d'œufs / l) moyenne arithmétique	Coliformes fécaux (nbre/ 100ml) moyenne géométrique^b	Procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulue
A	Irrigation des cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics ^(c)	Ouvriers agricoles Consommateurs, Public	≤ 1	$\leq 1000^{(d)}$	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent.
B	Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres ^(e)	Ouvriers agricoles	≤ 1	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassins de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé d'élimination des helminthes et des coliformes intestinaux.
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Néant	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins sédimentation primaire

- (a). Espèces Ascaris, Trichuris et ankylostomes.
- (b). Pendant la période d'irrigation.
- (c). Une directive plus stricte (< 200 coliformes intestinaux par 100 ml) est justifiée pour les pelouses avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.
- (d). Cette recommandation peut être assouplie quand les plantes comestibles sont systématiquement consommées après une longue cuisson.
- (e). Dans le cas d'arbres fruitiers, l'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et les fruits tombés ne doivent jamais être ramassés. Il faut éviter l'irrigation par aspersion.

❖ **Tendances récentes dans la définition des normes :**

La réglementation régissant les normes microbiologiques de la REU est en voie de révision compte tenu des données récentes en épidémiologie, de l'amélioration du niveau moyen d'hygiène enregistré dans chaque pays et des performances épuratoires des procédés de traitement.

Par ailleurs, sur la base de données épidémiologique, les directives de l'OMS sont en révision. Il a été considéré que la directive < 1oeuf de nématode par litre pour une irrigation non restrictive est suffisante pour protéger le consommateur des produits irrigués par aspersion avec des effluents de qualité adéquate à une température élevée, mais pas nécessairement suffisante pour assurer la protection du consommateur de produits irrigués par gravité avec le même effluent à des températures élevées. Il est évident que les conditions climatiques jouent un rôle important dans la survie et le développement des formes infestantes du parasite.

La nouvelle proposition de directive pour la REU en Méditerranée tient compte des données actuelles en épidémiologie et des directives et réflexions engagées par les pays méditerranées et les organisations internationales. [6]

II.2.3. La concentration en éléments fertilisants :

Si la concentration élevée en éléments fertilisants augmente la valeur des eaux usées, il n'en est pas moins vrai que les éléments nutritifs peuvent constituer un facteur limitant dans le cas d'un apport excessif lié à une concentration élevée et/ou un apport d'eau usée élevée.

Les eaux usées urbaines contiennent beaucoup de nutriments (macronutriments N, P, K, Ca, Mg et micronutriments Fe, Zn, Cu, Mn...) sous forme soluble, directement disponibles pour la plante. L'apport de nutriments des eaux usées à chaque irrigation représente une sorte de fertigation : c'est l'application combinée des fertilisants et de l'eau via le réseau d'irrigation. Cette technique est économiquement intéressante car elle réduit le coût de la fertilisation.

Les éléments minéraux (azote, phosphore, potassium) contenus dans les effluents se présentent généralement en quantité qui dépassent souvent les besoins des cultures. Ces excès peuvent entraîner des anomalies telles que la croissance végétative excessive en retardant la maturité et l'altération de la qualité des produits. [6]

✓ Azote(N) :

Certaines cultures sont très efficaces pour consommer l'azote et empêcher son accumulation dans le sol et sa migration, sous forme nitrique, vers les eaux souterraines. Ce sont généralement des cultures à coupes multiples et à enracinement profond.

A titre d'exemple, le Tableau II-10 montre que la quantité d'azote total apportée à une culture de tomate irriguée avec des eaux usées urbaines provenant de la ville d'Ouarzazate (Maroc), dépasse les besoins de cette plante.

Tableau II-10 : Apport en NPK (kg/ha) par les eaux d'irrigation pour une culture de tomate nécessitant un volume d'eau d'irrigation de 6500m³/ha.

Eléments minéraux	Eau usée brute	Eau usée épurée	Besoins théoriques
N	334	225	175
P	145	99	75
K	155	111	175

(Source : Xanthoulis, 1996)

✓ Phosphore (P) :

Le phosphore comme l'azote est un nutriment essentiel à toutes les plantes. La teneur en phosphore dans l'eau usée après traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l (15-35 mg/l P₂O₅) à moins qu'un traitement tertiaire l'élimine. Un excès de phosphore dans l'eau d'irrigation ne pose pas de problèmes. Il n'existe pas de valeur indicative pour estimer la valeur du phosphore en excès.

Pour l'établissement d'un programme de fertilisation, l'évaluation du phosphore dans l'eau usée traitée devrait être réalisée en conjonction avec les analyses de sol.

✓ **Potassium (K) :**

Le potassium contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou sur la santé. C'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement et la qualité des cultures. La concentration en K dans l'eau usée traitée secondaire varie de 10 à 30 mg/l (12-36 mg/l K₂O). Cette concentration doit être prise en compte pour préparer le programme de fertilisation en fonction des besoins des cultures.

✓ **Autres nutriments :**

La plupart des eaux usées contiennent suffisamment de Soufre, Zinc, Cuivre et d'autres micronutriments pour corriger les déficiences du sol au bout de trois ans d'irrigation. Par ailleurs, pour éviter les effets toxiques sur les plantes, les valeurs maximales des micronutriments ne doivent pas dépasser certaines valeurs recommandées (Ayers et Westcoc, 1985). Une attention particulière doit être portée au Bore. L'eau usée traitée contient assez de Bore pour corriger toutes les déficiences en cet élément. Cependant, lorsque cet élément se trouve en excès, il peut provoquer des problèmes de phytotoxicité. La toxicité du Bore est difficile à éliminer car sa teneur n'est pas affectée par le traitement des eaux usées.

En somme, en terme de fertilisant, une eau usée épurée est caractérisée souvent par son pouvoir nutritif, exprimé par le NPK.

Pour certaines concentrations typiques de N, P et K, les quantités des nutriments correspondant appliquées par hectare avec une irrigation de 1000 mm d'eau usée sont données à titre indicatif par le Tableau II-11 de la FAO, ci-après. Évidemment, l'apport en nutriments dépend de la quantité totale d'eau usée appliquée. Il est évident que pour avoir une efficacité nutritive élevée, l'irrigation devrait être basée sur les besoins en eau des cultures. [7]

Tableau II-11 : Potentiel de fertilisation par l'eau usée (FAO/RNEA, 1992).

Nutriment	N	P	K
Concentration en nutriments (mg/l)	40	10	30
Nutriments apportés annuellement en Kg/ha par l'application de 10 000 m ³ d'eau/ha (1000 mm)	400	100	300

II.3. Mesures de lutte sanitaire :

Plusieurs mesures de lutte sanitaire existent pour limiter les risques liés à l'utilisation des eaux usées en agriculture (Mara et Caincross, 1988). Parmi ces mesures, le traitement des eaux usées résiduaires, les mesures professionnelles, la restriction des cultures et le choix du système d'irrigation sont les plus efficaces. Une combinaison de ces mesures, selon les conditions socioculturelles, institutionnelles et économiques locales peut assurer la protection sanitaire optimale. [6]

II.3.1. Traitement des eaux résiduaires :

L'objectif principal du traitement 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. A 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 opérationnels et d'entretien minimaux.

L'efficacité des procédés d'épuration est fortement liée à la conception des ouvrages et leur modalité d'exploitation.

II.3.2. Mesures professionnelles :

Les mesures dépendront fortement du degré d'exposition et de la résistance des groupes visés :

- Les ouvriers agricoles.
- Les consommateurs.
- Le grand public.
- Les habitations limitrophes des champs.

Sur ce sujet on propose le Tableau II-12 établie par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF, 1991).

Tableau II-12 : Application des recommandations du CSHPF.

Nature des activités à protéger	Niveau de qualité		
	A	B si aspersion maîtrisant les aérosols	C et D
Habitations	50 m si aspersion	100 m	–
Voies de circulation	50 m si aspersion	50 m	–
Milieu hydraulique superficiel	20 m	50 m	100 m
Conchyliculture et aquaculture	50 m	200 m	300 m
Baignades	50 m	100 m	200 m

II.3.3. Choix des cultures :

Le choix des cultures est en étroite dépendance avec la qualité de l'effluent. Ainsi, cet aspect est en relation directe avec les normes de qualité. Les eaux épurées qui répondent à la qualité A de la directive de l'OMS (< 1000 coliformes fécaux par 100 ml et < 1oeuf de nématode par litre), peuvent être utilisées pour irriguer toutes les cultures. Dans le cas où ce niveau de qualité n'est pas atteint, il s'impose de procéder au choix adéquat des cultures qui n'induisent pas de risques sanitaires pour l'agriculteur, les ouvriers et le consommateur.

Voici une classification des cultures par risques décroissants de transmission de pathogènes, si celles-ci sont irriguées avec un effluent traité (FAO, 2000). Les cultures irrigables avec les eaux de catégorie B et C – sauf réglementation nationale contraire – et les mesures de protection sanitaire nécessaire sont indiqués dans le tableau II-8. Quelle que soit la méthode d'irrigation utilisée, les cultures du haut de la liste présentent le plus grand risque. Et celles en bas de la liste, les risques minimums :

- 1- légumes mangés crus ;
- 2- légumes mangés cuits ;
- 3- plantes ornementales produites pour être vendues dans les serres ;
- 4- arbres produisant des fruits, mangés crus sans être pelés ;
- 5- pelouses dans des endroits d'agrément avec accès libre au public ;

- 6- arbres produisant des fruits que l'on mange crus après les avoir pelés ;
- 7- pelouses et d'autres arbres dans des zones d'agrément d'accès limité ;
- 8- cultures fourragères ;
- 9- arbres produisant des noix et d'autres arbres similaires ;
- 10- cultures industrielles ou grandes cultures.

Il est évident que la restriction des cultures implique de grands risques en cas d'absence de contrôle et d'autorisation légale. L'agriculteur doit être informé du bien fondé de la restriction des cultures et des pratiques agricoles qui tiennent compte de la qualité de l'effluent.

II.3.4. Choix de la méthode d'irrigation:

II.3.4.1 Irrigation à la raie:

Ces techniques nécessitent des réglages de débits qui peuvent se faire à la pelle ou à la main.

Il y a donc de forts risques d'éclaboussures. Pour limiter les risques de contamination des techniciens par l'effluent, les recommandations suivantes sont à prendre en considération:

- l'emploi de gaines souples manœuvrables par chaînes.
- l'emploi de tuyaux enterrés ou de venettes : l'ouverture sera réglée une fois pour toutes pour que l'on n'ait plus de risques de contact avec l'effluent. On placera un clapet à l'extrémité de la conduite pour pouvoir la vidanger.

II.3.4.2- Irrigation par aspersion:

Les adaptations que l'on peut apporter au matériel vont avoir pour but de maîtriser au mieux l'aérosol. La quantité d'aérosol produite est d'autant plus grande et plus sensible au vent que la pression est forte, que la portée est grande, et que les gouttes sont fines.

Les adaptations proposées sont les suivantes:

- Favoriser des pressions minimales de fonctionnement, adopter des buses de fort diamètre.
- Utiliser des asperseurs ayant un angle de tir faible et donc une trajectoire tendue pour limiter la prise au vent. Les meilleurs angles de tir sont de 10° à 25° par rapport à l'horizontal.

- Si on utilise des rampes pivotantes ou frontales, on peut les équiper de cannes télescopiques fixées sur la rampe pour abaisser la tête d'arrosage en fonction de la hauteur de la culture, ou de buses dirigées vers le sol.

- Mettre en place des brise-vent:

La hauteur des arbres impose l'espacement entre les haies; ils créent une zone de protection contre les vents longue de 1 fois la hauteur en amont et de 15 à 20 fois celle-ci en aval.

Globalement, il faut placer les brises vents toutes les 20 hauteurs.

II.3.4.3 Micro irrigation:

Cette technique d'irrigation semble être la plus adaptée à la réutilisation des eaux usées. Par contre, du fait du faible diamètre des orifices des distributeurs, le réseau est très sensible aux colmatages par les matières en suspension et les développements organiques causés par les eaux usées.

C'est pourquoi il faut apporter une grande attention au choix des distributeurs car certains y sont plus sensibles que d'autres.

Parallèlement au choix des distributeurs, il faut prévoir :

- Un bout mort à l'extrémité de chaque rampe (environ 1 m), pour que, la vitesse de l'eau chutant, les particules sédimentent à cet endroit et non pas au niveau des derniers distributeurs de la rampe.
- Des valves de vidange, éventuellement automatique, aussi aux extrémités des rampes pour pouvoir effectuer des purges régulièrement et facilement.

II.4. Impacts environnementaux associés à l'utilisation des eaux usées en irrigation: [6]

II.4.1. Avantages environnementaux :

Lorsque l'eau usée est utilisée correctement à des fins agricoles, plutôt qu'à toute autre utilisation, l'environnement peut être amélioré. Voici quelques avantages environnementaux :

la suppression de rejet en eaux de surface, prévient l'éventualité de situations esthétiques désagréables, de conditions anaérobies dans les cours d'eau et

l'eutrophisation des lacs et réservoirs. La conservation des ressources en eau fournit des avantages à l'utilisation, tels que l'approvisionnement en eau et la préservation des étendues d'eau à usage réactif ;

- ✓ la sauvegarde des ressources en eau souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources pour l'agriculture pose le problème de l'épuisement et de l'intrusion du biseau salin ;
- ✓ la possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport d'humus sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion.

II.4.2. Effets négatifs potentiels sur l'environnement :

L'utilisation d'eau usée pour l'irrigation peut avoir également des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Les principaux dangers pour l'environnement associés à l'eau usée sont :

- ✓ l'introduction d'éléments chimiques, parfois en forte concentration, dans des écosystèmes sensibles (principalement le sol, l'eau et les plantes) ;
- ✓ la propagation des micro-organismes pathogènes.

II.4.2.1. Effets sur le sol :

Ces impacts sont d'importance particulière pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Les problèmes prévus au niveau du sol sont :

- ✓ la salinisation.
- ✓ l'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol.
- ✓ l'accumulation d'éléments potentiellement toxiques.
- ✓ l'accumulation de nutriments.

II.4.2.2. Effets sur les eaux souterraines :

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constituants de l'eau usée est possible. Pour réduire et/ou surmonter le problème, les aspects suivants sont recommandés :

- établissement du programme d'irrigation basé sur les besoins en eau des cultures, la capacité de stockage en eau du sol et la qualité de l'eau usée, avec lessivage minimum.
- sélection des cultures qui peuvent absorber les constituants potentiellement dangereux.
- en cas d'eaux salines, introduction dans la rotation culturale de plantes consommant les sels.
- limitation de la quantité d'eau de façon à assurer l'apport exacte en N nécessaire à la culture, afin d'éviter la contamination par $\text{NO}_3\text{-N}$. Si N excède les besoins des cultures on doit alors :
 - sélectionner des cultures à besoins élevés en N.
 - choisir un système d'irrigation qui fournit l'uniformité d'application la plus élevée possible.
 - mélanger l'eau usée avec l'eau claire.
 - assurer la maintenance et l'entretien des systèmes d'irrigation à un niveau acceptable.

II.4.2.3. Effets sur les eaux de surface (eutrophisation, croissance des algues) :

La concentration élevée en N et P dans l'eau usée épurée peut provoquer des conditions favorables à l'eutrophisation lorsqu'elle est mélangée à l'eau des réservoirs destinés à l'irrigation. L'azote est le facteur limitant pour la croissance des algues en mer, alors que N et P sont les facteurs limitant dans les lacs, les bassins d'eau salée et dans les barrages où l'eau usée est stockée avant irrigation.

II.4.2.4. Effets sur les cultures (problème de phytotoxicité et gestion) :

Au-delà de l'effet global de certains constituants de l'eau usée sur les cultures irriguées comme la salinité, l'eau usée peut potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds. Les nécroses sur les feuilles identifient des symptômes de toxicité au bore chez les cultures sensibles.

Conclusion :

Une irrigation de cultures ou d'espaces verts qui met en œuvre des eaux usées n'est pas une irrigation banale. En effet, ces eaux véhiculent des pollutions qui posent des problèmes de santé publique, de conservation des sols et de protection de l'environnement, qui ne doivent être ni exagérés ni sous-estimés.

Les propriétés physiques, ainsi que les constituants chimiques et biologiques des eaux usées sont des paramètres importants, dont il faut tenir compte dans la conception de projets de réutilisation agricoles des effluents. Il est aussi indispensable de respecter les normes de rejets des effluents définies par l'OMS.

Pour limiter les problèmes et les risques associés à la réutilisation des eaux usées en agriculture, des mesures de lutte sont recommandés. Parmi ces mesures, le traitement des eaux usées résiduelles, les mesures professionnelles, la restriction des cultures et le choix du système d'irrigation sont les plus efficaces.

Ce qui concerne le choix du système d'irrigation, la technique la mieux adaptée à l'apport des eaux usées est certainement l'irrigation localisée parce qu'elle engendre le moins de risques sanitaires.

III STATION D'EPURATION ET CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES

Introduction

Le chapitre II décrit les caractéristiques de l'actuelle station d'épuration et celles des eaux usées épurées (EUE).

III.1 Description de la STEP

La station d'épuration (STEP) de Touggourt est située à Ben Yassoued, dans l'Assemblée populaire communale (APC) de Tebesbest sur la route d'El Oued. La STEP, de types boues activées, a été mise en service en 1993 et réhabilitée en 2004.

La STEP est conçue pour traiter un débit moyen journalier d'eaux usées de 9 360 m³/j représentant 62 500 EH regroupant les agglomérations de Touggourt, Tebesbest et Nazla et qui constitue le périmètre urbain du grand Touggourt. Au cours de la visite du mois de Novembre 2006, la STEP recevait un débit moyen de 4 800 m³/j, soit environ la moitié de la capacité installée. Les travaux d'interception des rejets existants sont en cours et devront aboutir à une augmentation du débit des eaux usées interceptées et acheminées à la STEP à plus de 6 000 m³/j.

Les paramètres de conception et les objectifs de qualité des eaux usées épurées sont comme suit :

Tableau III.1 Objectifs de qualité de la STEP de Touggourt

Paramètres	Eaux usées brutes	Eaux usées épurées
DBO ₅	360 mg/l	30 mg/l
	3 375 kg/j	281 kg/j
DCO	600 mg/l	90 mg/l
	5 625 kg/j	563 kg/j
MES	467 mg/j	30 mg/l
	4 375 kg/j	281 kg/j

Source : STEP(Touggourt)

Tableau III.2: Les résultats des analyses obtenus pour l'eau brute.

Eau brute			
Paramètres physico-chimiques :		Minéralisation globale :	
PH	7.01	Bicarbonate (HCO ₃)	213 mg /l
Conductivité à 20 °C	1557 µs /cm	Calcium (Ca)	93 mg /l
Température	18.62 °C	Magnésium (Mg)	41 mg /l
MES	892.54 mg /l	Potassium(K)	17 mg /l
Ammonium (NH ₄)	9.0 mg /l	Sulfate (SO ₄)	112 mg /l
Nitrates (NO ₃)	35 mg /l		
Nitrites (NO ₂)	23.35 mg /l		
DCO	459.55 mg /l		
DBO ₅	273.33 mg /l		
Phénols	1.24 mg /l		
phosphate (PO ₄)	4.01 mg /l		

Source : ONA (Touggourt)

Tableau III.3: Les résultats des analyses obtenus pour l'eau épurée.

Eau épurée			
Paramètres physico-chimiques :		Minéralisation globale :	
PH	7.05	Bicarbonate (HCO ₃)	213 mg /l
Conductivité à 20 °C	1420 µs /cm	Calcium (Ca)	102 mg /l
Température	19.2 °C	Magnésium (Mg)	34 mg /l
MES	22.45 mg /l	Potassium(K)	17 mg /l
Ammonium (NH ₄)	4.2 mg /l	Sulfate (SO ₄)	112 mg /l
Nitrates (NO ₃)	8.31 mg /l	Sodium (Na)	133 mg /l
Nitrites (NO ₂)	0.288 mg /l	Dureté (TH)	32 °F
DCO	15.51 mg /l		
DBO ₅	10.47 mg /l		
Phénols	0.68 mg /l		
phosphate (PO ₄)	1.26 mg /l		

Source : ONA (Touggourt)

Le procédé de traitement comporte les étapes suivantes de l'amont vers l'aval :

- Un dégrilleur mécanique en parallèle à une grille à nettoyage manuel (by-pass) ;



Figure III.1 Degrilleur mécanique

- Un dessableur-deshuileur aéré avec système d'extraction des sables ;
- Deux bassins d'aération d'une capacité individuelle de 3 600 m³ et équipés de deux aérateurs de type coaxial de 45 KW chacun ;



Figure III.2 Bassin d'aération

- Deux décanteurs clarificateurs circulaires de 24 m de diamètre ;
- Un épaisseur circulaire de 10 m de diamètre (surface = 450 m², volume = 1 175 m³) ;
- Seize lits de séchage des boues d'une surface totale de 3 600 m² ;
- Un système de désinfection par chloration qui n'a jamais été mis en service.

La figure III.3 présente ci-après une vue aérienne des ouvrages de la STEP et sa situation par rapport au tissu urbain de la ville.

III.2 Evolution des volumes des eaux usées :

III.2.1 Population et évolution démographique

La population et son évolution dans le temps est un facteur prédominant dans l'estimation du volume des eaux usées.

D'après l'annuaire statistique de la wilaya d'Ouargla, le nombre d'habitants de la commune de Touggourt est d'environ 42 088 habitants pour l'année 2010. On utilise la loi des intérêts pour estimer le nombre d'habitants pour chaque horizon de l'étude (2010 à 2030).

$$P_n = p_0 (1 + T)^n$$

P_n = population à l'horizon futur.

P_0 = population de l'année de référence (2010).

T : taux de croissance = 3,95 % (0.0395).

N : nombre d'années séparant les horizons.

III.2.2 Réseau d'alimentation en eau potable

La commune de Touggourt renferme des potentialités en eau souterraine très importantes comme réserve d'eau, surtout la nappe mio-pliocène et sénonienne qui sont des eaux saumâtres, les eaux utilisées pour la consommation sont puisées depuis la nappe albienne.

D'après l'ADE, les besoins en eau potable de l'ensemble de la commune de Touggourt sont estimées à 200 l/hab. /J pour le long terme.

III.2.3 Evaluation du débit

Le débit journalier d'eau usée ($Q_{usée}$) est donné par la relation suivante :

$$Q_{usée} = Q_{dom} + Q_{éq}$$

$Q_{usée}$: débit d'eau usée.

Q_{dom} : débit domestique. / $Q_{dom} = kr \times D \times N$

$Q_{éq}$: débit de l'équipement. / $Q_{éq} = 30 \% Q_{dom}$

Kr : coefficient de rejet compris entre (0,7 et 0,9) pour notre cas on prend 0,7.

D : dotation journalière en eau potable pour la ville de Touggourt $D = 200 \text{ l/hab. /J}$

N : nombre d'habitants.

Le tableau ci-après, présente l'évolution des volumes des eaux usées pour les différents horizons de l'étude.

Tableau III.4 Evolution des volumes des EUE de la STEP de Touggourt

Horizon	2010	2015	2020	2025	2030
Population (hab.)	42 088	46 443	51 207	56 124	60 918
Volume consommé (m^3/j)	10 737	11 848	13 063	14 318	15 541
Taux de raccordement à l'égout(%)	98%	98%	98%	98%	98%
Volume des EUC (m^3/j)	8 418	9 289	10 242	11 225	12 184
Taux d'interception (%)	75%	80%	85%	90%	90%
Volume des EUE (m^3/j)	6 313	7 431	8 705	10 102	10 965

Il est supposé que la STEP subira une augmentation mineure de sa capacité afin d'assurer les besoins en épuration jusqu'à l'horizon 2030.

III.3 Recommandations de l'OMS pour la REUE

Les techniques conventionnelles de types boues activées sont capables d'éliminer, dans des proportions variables, les matières en suspension et les matières organiques, mais n'offrent pas une véritable protection vis-à-vis des risques sanitaires. À cet égard, les réglementations usuelles, notamment celles de l'OMS, relatives à la réutilisation des eaux usées distinguent plusieurs niveaux de qualité d'eau, en fonction de l'élimination des œufs de parasites et des coliformes fécaux.

Les procédés conventionnels d'épuration de types boues activées ne garantissent pas l'élimination complète des œufs de parasites. Les effluents issus de la STEP de Touggourt sont à priori du type C.

Pour obtenir une eau de type B, il faut éliminer pour une grande part les œufs d'helminthes ; ce qui peut être fait en complétant la chaîne de traitement par un procédé extensif, une lagune de maturation, ou un stockage, ou encore une infiltration percolation. Une filtration rapide devrait aussi pouvoir remplir ce rôle mais les données qui pourraient confirmer son efficacité font encore défaut.

Une eau de type A exige en plus l'élimination des coliformes fécaux par une méthode de désinfection. Ce traitement complémentaire revêt une importance particulière car, en dépit des restrictions imposées par les recommandations de l'OMS, les eaux de type A ouvrent sur les réutilisations les plus attractives (Ex. : maraîchage).

L'élimination des coliformes fécaux exige soit un traitement extensif de types lagunes de maturation, soit un traitement intensif de type chimique-chlore et de ses dérivés, ozonation-ou de type physique-rayonnements ultraviolets, ultrafiltration. L'efficacité de ces procédés dépend, dans une large mesure, de la qualité de l'eau traitée et, en particulier, de sa teneur résiduelle en matière organique et en matière en suspension.

L'OMS a récemment abandonné les seuils de tolérance au profit d'un nouvel outil de mesure, le DALY, présenté dans les nouvelles directives de 2006 de l'OMS. Le DALY n'est pas une mesure de la teneur de pathogènes mais plutôt un indicateur temporel et composite de la charge de morbidité qui réfère aux années de vie perdues en raison d'un décès prématuré dû aux contacts avec des pathogènes présents aux différents stades de production et de consommation (culture, récolte, transport, vente, entreposage, préparation des aliments, etc.).

Selon cette approche, l'OMS estime que le risque associé à l'utilisation des eaux usées en irrigation doit être inférieur à 1×10^{-6} DALY. Ainsi, les nouvelles directives permettent des concentrations plus élevées de pathogènes dans les eaux usées à condition que des mesures soient déployées pour minimiser leur impact sur la santé des agriculteurs et des populations avoisinantes et réduire leur teneur dans les produits agricoles et leurs effets potentiels sur la santé des consommateurs.

Dans les parcelles irriguées, le système d'irrigation doit limiter les contacts directs des agriculteurs avec les EUE. Pour les parcelles utilisant des systèmes d'irrigation gravitaire généralement déployés en Algérie dans l'agriculture traditionnelle, il est primordial que les agriculteurs portent des vêtements protecteurs (bottes, gants, etc.).

Il est également recommandé que les EUE contenant, malgré leur traitement, des teneurs appréciables de pathogènes soient utilisées pour arroser des plantes non alimentaires (ex. coton) ou encore qui nécessitent une cuisson (ex. pomme de terre) ou une transformation intégrant une cuisson (ex. blé). Si les cultures irriguées sont des plantes consommées à l'état cru, il est recommandé de cesser l'irrigation une dizaine de jours avant la récolte afin de réduire la contamination pathogénique des plantes. Suite à leur récolte, ces aliments doivent subir un lavage à l'eau potable ou avec une solution désinfectante et/ou détergente suivi d'un rinçage à l'eau potable. Le pelage et la cuisson des aliments réduisent également sensiblement le niveau de pathogène.

Il a été observé que bien que le niveau des pathogènes ait été réduit, à la récolte ou après le nettoyage, à des niveaux recommandables, les produits pouvaient être contaminés de nouveau dans les marchés par un arrosage avec une eau souillée. Ainsi, l'OMS recommande que tout ceux qui entrent en contact avec les produits agricoles (fermiers, traiteurs, vendeurs, consommateurs) aient accès à de l'eau potable de qualité afin de minimiser la contamination et diminuer la mesure de DALY.

III.4 Identification des scénarios de traitements tertiaires pour la REUE

III.4.1 Hypothèses de base

Sur la base des exigences de qualité susmentionnées, les paragraphes ci-dessous présentent les scénarios envisageables pour le traitement tertiaire des EUE ainsi que les avantages et inconvénients respectifs. Après élimination des alternatives les moins compatibles avec les contextes agro-socio-économiques et environnementaux de la région, les scénarios sélectionnés subiront une comparaison multicritère dans le but de recommander le meilleur scénario pour la REUE de la STEP de Touggourt.

Ces alternatives sont basées sur les hypothèses suivantes :

- Le système de chloration existant ne peut être maintenu pour la désinfection des EUE destinées à l'irrigation et ce, afin d'éviter la production d'organochlorés qui présentent un risque pour la santé publique et le milieu naturel.
- L'horizon de conception du projet de REUE est celui de saturation de la capacité de la STEP. Dans le cas de la STEP de Touggourt, il est considéré en 2030.
- Malgré leurs besoins en eau très réduits (moins de 1%) par rapport à ceux de l'agriculture, les coûts d'usage des eaux en industrie et en milieu municipal, reportés au mètre cube d'eau extrait de la nappe, sont largement plus élevés que ceux de l'irrigation (25 DA de taxes en plus des frais de pompage). La REUE en industrie et en milieu municipal est donc considérée en priorité et les volumes des EUE qui restent sont par la suite repris pour l'usage agricole.

III.4.2 Scénarios de traitement tertiaire pour la REUE en agriculture

La zone potentielle de REUE située à proximité de la STEP est caractérisée par la production de dattes, arbres fruitiers et cultures maraîchères. Trois alternatives de traitement tertiaire sont donc identifiées :

- Scénario AGR1 : Rabattement bactériologique (<1 000 CF/100 ml) par l'usage de bassins de stockage intersaisonniers et irrigation non restrictive.
- Scénario AGR2 : Filtration et désinfection par UV (< 1 000 CF/100 ml) et pratique d'une irrigation non restrictive (maintien des cultures actuelles).
- Scénario AGR3 : Irrigation restrictive avec des EUE non désinfectées (arboriculture, cultures fourragères).

La figure III.4 présente ci-après les bassins de stockage. Les caractéristiques dimensionnelles et fonctionnelles des bassins de stockage sont présentées comme suit :

Tableau III.5 dimensions des bassins de stockage intersaisonnier

Désignation	unité	Quantité
Nombre de bassins	U	3
Volume total	m ³	466 440
Volume unitaire	m ³	155 480
Profondeur utile	m	8
Marge de batillage	m	1
Tranche morte (dépôts des boues)	m	1
Profondeur totale	m	10
Surface unitaire (à mi Heau)	m ²	17 276
Longueur à l'axe de la digue	M	187
Largeur à l'axe de la digue	M	135
Surface unitaire à l'axe de la digue	ha	2.52
Surface total intra digue	ha	7.57
Aménagement extérieur (20%)	ha	0.76
Surface totale	ha	8.33

Les coûts de réalisation des bassins de stockage sont estimés à environ 205 MDA.les détails des calculs des estimations des coûts et des modalités de fonctionnement sont présentés dans l'**Annexe A**.

III.4.3 Comparaison des scénarios de traitement tertiaire

Les paragraphes ci-après présentent les avantages et inconvénients de chaque scénario :

1. Scénario AGR1 : Rabattement bactériologique par l'usage de bassins de stockage intersaisonniers et irrigation non restrictive :

Avantages :

- La réutilisation de la totalité des EUE et l'augmentation de plus de 70% la surface irriguée par les EUE que dans les scénarios sans stockage.
- La possibilité d'irrigation non restrictive et le maintien de l'irrigation à la raie.
- Les coûts d'opération des bassins de stockage moins élevés que ceux des ouvrages prévus pour le scénario AGR2 (26 à 35%).
- La décontamination majeure toute l'année de Oeud Righ (zéro rejet).

Inconvénients :

- Les bassins de stockage exigent une superficie de plus de 8 ha. A l'extérieur de l'emprise de la STEP (problème d'acquisition de terrain dont une partie est exploité en agriculture).
- Les coûts de réalisation des bassins de stockage plus élevés que ceux des ouvrages de filtration et de rayonnement UV prévus pour le scénario AGR2 (52% plus cher).
- Le risque d'émanation de mauvaises odeurs et de prolifération de moustique en cas de manque d'entretien ou de mauvaise opération.
- Le rabattement des teneurs en phosphore et en azote dans les eaux ce qui réduit leur capacité fertilisante.

2. Scénario AGR2 : filtration et désinfection par UV pour atteindre un rabattement bactériologique de 1 000 CF/100 ml et pratique d'une irrigation non restrictive (maintien des cultures actuelles) :

Avantages :

- Occupation du sol plus réduite et peut être intégrée à l'emprise actuelle de la STEP.
- Les teneurs en nutriments (N et P) ne subissent pas de rabattements majeurs comme celui du scénario AGR1 ce qui permet une fertigation améliorée des cultures.
- Les nuisances des mauvaises odeurs sont minimales par rapport au scénario AGR1.
- La flexibilité d'opération .

Inconvénients :

- La superficie irrigable est de 40% plus faible que celle avec stockage intersaisonnier.
- Pendant la saison de faible demande à l'irrigation, les EUE (pas nécessairement désinfectées) seront rejetées dans l'oued Righ.
- La nécessité d'un bassin de régulation à l'amont de la station de pompage vers le périmètre irrigué.
- Les coûts d'opération plus élevés que ceux du scénario AGR1.
- L'exigence de main-d'œuvre qualifiée.
- L'exigence d'équipements et de pièces de rechange importées.

3. Scénario AGR3 : irrigation restrictive (arboriculture, cultures fourragères) :

Avantages:

- Aucun traitement tertiaire ne sera ajouté ce qui n'engendre aucun coût supplémentaire affectable au projet de REUE.
- Les teneurs en nutriments (N et P) des EUE ne subissent pas de rabattement.

Inconvénients :

- La superficie irrigable est de 40% plus faible que celle avec stockage intersaisonnier des EUE.
- L'irrigation sera de type localisé (goutte à goutte ou micro-jet) et doit se limiter à l'arboriculture (palmier et fruitier).
- Le risque sanitaire plus élevé par rapport aux autres scénarios.
- Les cultures maraîchères pratiquées pour l'autoconsommation devront être éradiquées de l'aire de REUE ce qui est difficile à imposer aux agriculteurs.
- L'ajout d'un bassin de régulation à l'amont de la station de pompage vers le périmètre irrigué.
- Pendant la saison de faible demande à l'irrigation, les EUE seront rejetées dans l'oued Righ.

III.2.4 Scénarios de traitement tertiaire pour la REUE en industrie et en milieu municipal

Les normes de qualité des EUE pour une réutilisation en milieu urbain et en industrie sont plus sévères du point de vue bactériologique (<100 CF/100 ml). Une désinfection est donc imposée et le système de chloration existant peut être remis en fonction. Le risque des organochlorés sur la santé publique ou sur la nature est insignifiant. Le faible volume des EUE industrielles aboutit, en principe, à la STEP et les usages municipaux (arrosage des espaces verts, lavage des rues) ont un risque insignifiant dans ce cas sur la nappe.

Dans le cas des scénarios AGR1 où la qualité bactériologique est relativement meilleure (<1 000 CF/100 ml), les EUE destinées à l'arrosage des espaces verts et à l'usage industriel peuvent subir une désinfection supplémentaire par chloration pour atteindre les 100 CF/100 ml. Pour ce qui concerne le lavage des rues et curage des égouts, la prise des EUE sera faite directement à partir des bassins de stockage.

Dans le cas du scénario AGR 2, la portion des EUE destinées à l'usage municipal et industriel devra subir une désinfection plus poussée par rayonnement UV que celle destinée à l'irrigation. Le système de chloration existant sera pratiquement abandonné.

Dans le cas du scénario AGR3 où aucune désinfection n'est prévue pour les EUE destinées à l'irrigation. Seules les EUE destinées à la réutilisation municipale et industrielle seront donc désinfectées par chloration.

Comme on peut le constater, les scénarios de traitement tertiaires des EUE destinées aux usages municipal et industriel sont intimement liés à ceux de l'usage agricole.

III.4.5 Analyse multicritère des scénarios de traitement tertiaire

Si on procède par élimination, le scénario AGR3 est certainement le moins coûteux des trois, même si on inclut les frais d'une conversion des parcelles d'une irrigation à la raie à une irrigation localisée. Toutefois, la faisabilité d'une irrigation restrictive au sein de la palmeraie excluant les cultures. Toutefois, la faisabilité d'une irrigation restrictive au sein de la palmeraie excluant les cultures maraîchères semble très difficile à imposer et les risques sanitaires qui peuvent être générées peuvent être catastrophiques même si on envisage d'irriguer les cultures maraîchères par les eaux du forage. De plus la surface irrigable par les EUE sans stockage (100 ha.) est réduite de 40% par rapport à celle avec stockage (170 ha.) ce qui réduit le nombre d'agriculteurs bénéficiaires et augmente dans l'autre sens le taux des EUE rejetées dans oued Righ ($\pm 40\%$). Le scénario AGR3 est le moins avantageux sur le plan environnemental, socio-économique et environnemental pour la REUE à Touggourt. Il est donc éliminé.

Pour la comparaison multicritère des deux scénarios AGR1 et AGR2, un système d'évaluation par notation pondérée a été utilisé. Les critères de comparaisons sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau III.6 analyse multicritère des scénarios de traitement tertiaire

Paramètre de comparaison	Scénario AGR2 (bassins de stockage et finition)	Scénario AGR3 (filtration et rayons UV)
<u>Economie</u>		
Réalisation (2008-2009)	205 MDA	135 MDA
Opération (2010-2030)	2,60 à 3,60 MDA	9,91 à 10,25 MDA
Coûts de développement du m ³ désinfecté sur 20 ans	5,74 DA/m ³	5,44 DA/m ³
<u>Environnement</u> - Ressources en eau souterraine - Oued Righ	- Aucun rejet des EU dans le milieu récepteur. - pompage d'appoint à partir de la nappe de 4 250m ³ /ha../an en 2010 à 950 m ³ /ha../an en 2030, soit environ 39 000 m ³ /ha. En 20ans (2010-2030).	-rejet d'environ 40% des EUE dans le milieu récepteur. - Pompage d'appoint à partir de la nappe de 1 480 m ³ /ha../an en 2010 à 113 m ³ /ha../an en 2030, soit environ 9 000 m ³ /ha. en 20 ans
<u>Faisabilité technique</u> de réalisation et d'opération	-environ 500 000 m ³ de mouvement de terre (déblais-remblais) et 8 m de profondeur. - présence de la nappe phréatique à environ 3 m de profondeur. - expropriation de 8 ha. Dont 4 ha. Sont actuellement occupés par des palmiers dattiers (propriétés privées). - Relèvement des EUE par pompage à la sortie du décanteur secondaire pour le remplissage des bassins	- Réalisation du système de désinfection à l'intérieur de l'emprise de la STEP. - Equipement électromécanique énergétivore 370 à 640 Kwh/j. - Equipement et pièces de rechanges importés

Les notations pour chaque critère sont comme suit :

Critère économique

- La note maximale (10/10) est attribuée au scénario le plus économique, soit le scénario AGR2.
- La note du deuxième scénario sera au pourcentage de la différence, soit $AGR1=9,46/10$.

Critères environnementaux

- Le scénario qui rejette le moins d'EU dans la nappe lui sera attribué la note 10/10, AGR1.
- La note du 2^e scénario sera au prorata du volume des EU rejeté dans le milieu récepteur ($AGR2=6/10$) ou du volume extrait de la nappe ($AGR1=2,30/10$).

Critère de faisabilité technique

- Le scénario qui utilise moins d'équipement mécanisé lui sera attribué la note 10/10 (AGR1) et 5/10 pour le scénario AGR2.
- Pour le sous critère occupation du sol, la note 0 est attribuée au scénario AGR1 contre 10/10 pour le scénario AGR2.

Afin de tenir compte de l'importance relative de chaque critère, la pondération suivante a été adoptée :

- 50% pour le critère économique ;
- 30% pour le critère environnemental ;
- 20% pour le critère de faisabilité technique (10% pour équipement mécanique et 10% pour l'occupation du sol)

La notation pondérée des deux scénarisons est comme suit :

Critère	Scénario AGR1		Scénario AGR2	
	Avant Pondération	Avec Pondération	Avant Pondération	Avec pondération
Economie	9,46	4,75	10	5
Environnement	10	3	6	1,8
Faisabilité technique	5	1	7,5	1,4
Total pondéré	24,46/30	8,75/10	23,50/30	8,20/10

Ce système de notation, qui demeure toutefois indicatif, permet d'orienter tout de même le choix vers le scénario AGR1 << Bassins de stockage et de finition >>, et ce du faite que les coûts de développement du mètre cube D'EUE désinfectées sont pratiquement équivalents mais avec un avantage environnemental considérable (zéro rejet dans l'oued).

conclusion

A partir d'eaux usées et grâce aux traitements précédents, il est possible d'obtenir toute une « gamme » d'eaux de qualités différentes. A chacune de ces qualités peut correspondre un usage particulier. Dans la partie suivante sont exposés les différents usages possibles et les risques sanitaires particuliers liés à chacun d'entre eux.

IV ETUDE DES RESSOURCES EN EAU ET EN SOL DE LA ZONE D'IRRIGATION PAR LES EUE

Introduction :

Ce chapitre localise le site retenu pour le projet d'irrigation par les EUE et le décrit brièvement et couvre l'étude des ressources en eau et en sol disponible sur ce site.

IV.1 Localisation et présentation du site à l'étude :

Le site potentiel de réutilisation des eaux usées épurées s'étend à l'est de la ville de Touggourt. La zone d'étude se situe à la longitude 6°04'E et à la latitude 33°07'N. La figure III.1 montre la localisation de la zone potentiellement irrigable.

IV.2 Les principaux critères de qualité des EUE à respecter pour l'irrigation

Du point de vue de la qualité, le domaine d'emploi d'une eau d'irrigation de type EUE est déterminé par les risques liés aux pratiques culturales et aux effets positifs ou négatifs qu'elle pourrait entraîner sur les rendements.

IV.2.1 Les matières en suspension : MES

Ce sont les matières organiques ou minérales, non dissoutes. La teneur en MES doit être aussi faible que possible en raison d'une part des risques d'obstruction des systèmes d'irrigation utilisés, d'autre part du colmatage possible des sols.

Les valeurs obtenues pour les EUE de la STEP de Touggourt, lesquelles subissent un traitement primaire et secondaire, sont inférieures à la norme : elles varient entre 19 et 32 mg/L, avec une norme exigée de < 70 mg/L. L'eau de la STEP de Touggourt est donc bonne pour l'irrigation en ce qui concerne ce paramètre sans même que soit envisagé un traitement tertiaire.

IV.2.2 Les éléments fertilisants (N , P , K) :

Leur présence dans les eaux usées en quantités notables leur confère une valeur fertilisante. Une teneur excessive en azote dans l'eau entraîne une croissance végétative excessive et un retard dans la maturité des cultures.

Pour les nitrates NO_3 , la moyenne est de 8,67 mg/L, ce qui répond à la norme OMS, limitée aux eaux d'irrigation à 50 mg/L. par contre les teneurs en PO_4 sont élevées avec une moyenne de 2,45 mg/L, dépassant la norme de l'OMS requise pour l'irrigation qui est de 0,94 mg/L. Un traitement tertiaire additionnel viendrait toutefois réduire la charge en éléments fertilisants que contiennent les EUE de la STEP de Touggourt.

IV.2.3 La salinité et <<sodium absorption ratio >> : SAR

La qualité de l'eau pose un problème de salinité quand la quantité totale de sels contenus dans l'eau d'irrigation est suffisamment forte. L'accumulation de ces sels dans la zone racinaire compromet les rendements. Si des sels solubles s'accumulent en quantité excessive dans cette zone, la culture aurait davantage de difficultés à extraire suffisamment d'eau du sol.

La conductivité électrique moyenne est 1,8 mmhos/cm, ce qui répond à la norme OMS (CE inférieure à 3 mmhos/cm). Il est permis de conclure que cette eau peut servir à l'irrigation sans le moindre risque de salinisation. Néanmoins, le traitement tertiaire apparaît indispensable pour réduire encore le nombre de germes témoins de contamination fécale, conformément aux directives de l'OMS, et pour réduire également celui des autres bactéries et des virus. Il peut s'avérer également nécessaire de pousser plus loin l'élimination des métaux lourds, des micropolluants organiques, des MES, etc.

IV.3 Evaluation des ressources en sol dans la zone d'étude

IV.3.1 Les études référentielles dans la zone d'étude

L'étude des ressources en sol a été réalisée sur la base d'une exploitation des différentes études réalisées dans la vallée de l'oued Rhir. Ces études, réalisées entre 1967 et 1985, se présentent comme suit (**tableau IV.1**).

Tableau IV.1 Etudes pédologiques réalisées dans la zone du site de l'étude (vallée de l'oued Rhir)

Etude	Echelle	Superficie cartographiée (ha)	Réalisateur de l'étude	Réalisation /publication
Etude agro-pédologique de la vallée de oued Rhir	1/100 000	15 000	ANRH (Algérie)	1967
Participation à la mise en valeur de l'oued Rhir	1/20 000	16 000	SOGETHA-SOGREAH (France)	1970
Etude du réaménagement et de l'extention des palmeraies de l'oued Rhir	1/10 000	16 500	TESCO-VIZITERV (Hongrie)	1985

L'examen des rapports et cartes des études présentées dans le tableau ci-dessus permet de formuler les observations suivantes :

- Toutes ces études concernent la totalité des palmeraies de la vallée de l'oued Rhir, au nombre de cinquante, et couvrant une superficie d'environ 15 300 ha. Echelonnés sur 140 km environ allant du sud au nord. Le périmètre projeté n'a donc pas fait l'objet d'une étude agro-pédologique spécifique mais a seulement été rattaché aux études citées.
- Les cartes des sols sont établies sur des fonds topographiques simplifiés au 1/10 000, mais elles ont été réalisées en fait avec une précision au 1/20 000 (en moyenne une observation par unité de surface de 4 ha).
- Les cartes consultées sont établies sur des fonds topographiques qui ne présentent aucun repère ou indication cartographique (courbe de niveau, sentiers, canaux, marais...etc.), ce qui rend quasiment impossible toute implantation de profils ou de point d'observations pédologiques pour actualiser ces cartes par rapport à l'état initial des sols (aux années 1970 et 1985).
- Pour les études examinées, la description des sols a fait ressortir les différentes contraintes à leur mise en valeur, notamment les différents processus ayant une influence majeure sur la formation et l'évolution des sols (hydromorphie , fluctuation de la nappe , halomorphie (salinité), phénomènes d'oxydation, dynamique des sels, etc.).
- La classification des sols utilisée est celle en usage à l'ANRH (classification française CPCS).

- Les cartes de sols confectionnées au 1/10 000 présentent la répartition spatiale des sols jusqu'au niveau de la série.

IV.3.2 Principaux constats sur les sols dans la zone d'étude

A partir des études existantes et des investigations sur le terrain, les deux classes de sols suivantes ont été identifiées au niveau du périmètre (voir aussi la carte des sols présentée à l'annexe B) :

a) Classe des sols peu évolués non climatiques

Dans cette classe, un seul groupe a été observé, celui des sols d'apport, Le caractère commun à tous les sols peu évolués est une faible différenciation des caractères morphologiques. L'agrégation est nulle ou très peu développée. Ce groupe est subdivisé en :

- Sous- groupe des sols peu évolués d'apports éoliens modaux ;
- Sous-groupe des sols à hydromorphie de pseudogley, le caractère hydromorphe se traduisant par des taches d'oxydation entre 70 et 120 cm de profondeur ;
- Sous-groupe des sols à hydromorphie d'amas, nodules et cristaux gypseux (pour être pris en compte au niveau du sous-groupe, les accumulations gypseuses doivent couvrir plus de 2% de la surface du profil).

Les profils de cette classe, de type AC, sont caractérisés essentiellement par la faible altération de la fraction minérale et, dans la majorité des cas, par la faible teneur en matière organique du profil. Il s'agit ici d'un matériau transporté et déposé par l'eau ou transporté par le vent, donc caractéristique des plaines alluviales et éoliennes.

b) Classe et sous-classe des sols hydromorphes minéraux :

Trois groupes ont été identifiés :

- a) Groupe des sols à gley dominant, apparaissant à moins de 150 cm de profondeur :
- Sous-groupe des sols à gley de surface à moins de 70 cm ou d'ensemble sur toute l'épaisseur du profil ;

- Sous-groupe des sols à gley de profondeur, entre 70 et 150 cm seulement ;
- b) Groupe des sols à pseudogley de surface ou d'ensemble ;
- c) Groupe à accumulation de gypse, selon l'importance et la forme de l'accumulation, deux sous-groupes ont été inventoriés :
- Sous-groupe à encroûtement gypseux à moins de 120 cm, entre 30 et 70 cm, et entre 70 et 120 cm ;
 - Sous-groupe à taches, amas et cristaux gypseux couvrant plus de 2% de la surface du profil.

Les sols de cette classe sont caractérisés par des phénomènes de réduction locale du fer lié à une saturation temporaire ou permanente des pores par l'eau provoquant un déficit prolongé en oxygène. Suivant le cas, le fer ferreux s'accumule dans le profil en lui conférant une teinte gris verdâtre parfois blanchâtre, ou bien au contraire, il est mobilisé sous cette forme et un mouvement de migration local, formant au sein des horizons minéraux des tâches de rouille ou des concrétions de fer ferrique.

Les sols hydromorphes sont liés à des conditions particulières de matériau ou de mauvais drainage. C'est le cas des gleys, qui présentent un processus de dégradation provenant d'une remontée de la nappe.

Globalement, les sols inventoriés sont de texture grossière, d'apport alluvial, couvert le plus souvent par un horizon sableux fin d'apport éolien. Le type de structure est le plus souvent particulaire, granuleux, rarement massif et seulement quelquefois polyédrique.

Ces sols sont généralement d'un faible développement. Sur les sols où l'hydromorphie domine, le gley et pseudogley sont très développés. Par contre l'accumulation de gypse ne dérange que modérément les cultures en place, sauf s'il y a des croûtes, des encroûtements ou un fort banc cristallin.

Les études ont montré que, dans les palmeraies anciennes les sols sont en général meubles et aérés dans leur partie supérieure, parfois la pénétration des racines est freinée par un horizon hydromorphe ou encroûté. Dans les vides ou dans les palmeraies nouvellement créées, la végétation naturelle est souvent halo-gypsophile.

Selon les données analytiques, le type de salinité est sulfaté calcique jusqu'à 5-7 mmhos/cm, chloruré sodique au-delà. La teneur en NaCl est beaucoup plus élevée en dehors des anciennes palmeraies.

Les sols à gley et à pseudogley occupent plus de 60% de la superficie aux catégories non salées, peu salées et salées et plus de 30% à la catégorie très salée et excessivement salée.

Dans les palmeraies réservées au futur périmètre équipé et dont les eaux d'irrigation seront celles récupérées et traitées, la salinité très élevée, associée à un gley et un pseudogley est plus défavorable, et constitue de ce fait la contrainte la plus importante. Quant à l'accumulation du gypse, elle est considérée comme un phénomène d'hydromorphie, bien que n'intervienne aucun processus d'oxydoréduction.

Le gypse se présente sous différentes formes :

- Taches d'amas globulaires et microcristallins ;
- Nodules microcristallins indurés;
- Cristaux macroscopiques de taille très variable ;
- Encroûtement : horizon cimenté par le gypse.

Les principaux paramètres hydrodynamiques observés :

- La RFU varie entre 620 et 840 m³/ha, à une profondeur de 120 cm.
- Les propriétés hydrodynamiques sont généralement satisfaisantes, du moins pour les sols non encroûtés.
- La perméabilité varie entre 0.00001 à 0.00006 m/s et 0.003 à 0.004 m/s (1970).
- La vitesse d'infiltration varie entre extrêmement faible et extrêmement élevée (mesurée par la méthode des doubles anneaux).

- La teneur en calcium total est généralement inférieure à 5%. Ces sols sont très pauvres en éléments nutritifs, surtout en matière organique.

IV.3.3 Les cultures adaptées au sol de la zone et à l'irrigation à partir des EUE

Si on s'en tient à l'état actuel des sols, en ce qui concerne leur salinité, on constate que, hormis le palmier, aucune culture ne peut être envisagée sur de grandes superficies, dans la limite des palmeraies. En effet, toutes les plantes associées, arbres fruitiers et plantes herbacées, exigent une conductivité de l'extrait saturé, inférieure à 9 mmhos/cm. Le faciès de sol qui correspond à cette limite est celui des sols peu salés dont l'extension est faible. Bien mieux, notre classement est basé sur une seule détermination de la salinité, on ne peut donc pas affirmer qu'il n'y a pas une aggravation de celle-ci à une autre époque de l'année.

IV.3.3.1 Le palmier dattier

Les facteurs limitants à sa culture sont :

- L'horizon limitant la pénétration des racines ;
- L'hydromorphie ;
- La profondeur de la nappe ;
- La salinité.

IV.3.3.2 L'arboriculture fruitière

Les arbres fruitiers sont très sensibles, aussi bien à un niveau limitant de faible profondeur (moins de 120 cm) qu'aux horizons hydromorphes. Ces derniers sont donc rejetés pour l'arboriculture. Quant aux sols encroûtés, leur amélioration est prévue pour la culture du palmier. En ce qui concerne la salinité, on estime que la limite de toxicité est atteinte :

- Pour $\text{NaCl} + \text{MgCl}_2 + \text{CaCl}_2 = 0.8 \text{ meq}/100 \text{ g}$ de terre sèche, soit 24 meq/L de Cl dans l'extrait saturé ou encore une conductivité de 5 à 6 mmhos/cm ;
- Pour les sulfates toxiques, (MgSO_4 dans le cas de l'oued Rhir), lorsque leur concentration est égale à 3 meq/100 g environ, soit 90 meq/ L de SO_4 dans l'extrait saturé ou encore, une conductivité de 25 à 30 mmhos/cm ;
- La conductivité maximum admissible pour les arbres fruitiers varie selon les auteurs ;

- Pour ALLISON, les tolérances (baisse de rendement de 10 à 15 %) sont les suivantes :

Grenadier	}	0.6 à 3 mmhos/cm
Figuier		
Olivier		
Vigne		
Agrumes		
Pommier		
Prunier		
Amandier		

Pêcher	}	3 à 15 mmhos/cm
Abricotier		
Avocatier		

Pour CE < 4 mmhos/cm	}	bon pour amandier
		Abricotier
		Pêcher sur amandier
		Olivier, grenadier
		Figuier, vigne

Pour CE < 9 mmhos/cm moyen pour les mêmes cultures

IV.3.3.3 Les cultures maraîchères :

Elles ont un enracinement plus superficiel. Les profondeurs minima suivantes ont été retenues :

- Croûte : 70 cm
- Encroûtement : 30 cm

Pour la salinité, deux espèces sensibles aux sels ont été ajoutées : les carottes et les radis car leur enracinement est très superficiel et si l'irrigation est correctement menée, la première couche de sol ne sera pratiquement pas salée. D'ailleurs, la production actuelle de ces deux légumes est assez importante, malgré des conditions de salinité très défavorables.

IV.3.3.4 Les cultures annuelles (fourragères et céréalières)

L'épaisseur de sol meuble et aéré ne sera pas inférieure à 30 cm pour le blé, le bersim, le maïs et la luzerne. Toutefois, pour cette dernière, la profondeur minimum sera portée à 70 cm dans le cas d'un sol à croûte. Les cultures annuelles tolèrent les sols à gley à conditions que celui-ci soit suffisamment profond. Elles peuvent également supporter des conductivités de l'ordre de 9 mmhos/cm.

IV.3.4 Classes d'aptitude culturale des sols de la zone

Les classes d'aptitude à la culture dégagées pour la superficie initialement prévue de 128 ha. Sont (voir aussi la carte des aptitudes culturales présentée à l'**Annexe B**) :

Pour l'arboriculture :

B5. Assez bon pour : dattier

Sols correspondants { Tous les sols salés, sauf : sols à hydromorphie de gley ou de Pseudogley

Ces aptitudes ne sont valables qu'après amélioration des sols encroûtés, si le niveau limitant est à moins de 150 cm, et le lessivage des sols très salés et excessivement salés.

B6. Moyen pour : dattier

Sols correspondants { Tous les sols salés sauf : sols à hydromorphie de gley ou de pseudogley de profondeur et les sols salés

Amélioration préconisée { Lessivage des sols très salés et excessivement salés

B7. Médiocre pour : dattier

Sols correspondants { Tous les sols à gley de surface ou d'ensemble

Pour les cultures maraîchères :

M''2. Bon pour : { Tomate, épinard, piment, radis, carotte, navet, artichaut.

Sols correspondants : { Tous les sols non salés, sauf les sols à gley de surface ou d'ensemble et les sols à croûte ou à encroûtement < 70 cm

M'''2. Moyen pour : Artichaut.

Sols correspondants : { Tous les sols salés ou lessivés à 16 mmhos/cm, sauf les sols à gley de Surface ou d'ensemble et les sols à croûte ou à encroûtement < 70 cm.

Pour bien réussir le futur projet, il est conseillé, lors des travaux d'APD, une étude détaillée. Elle s'intéressera à la surface concernée, sachant que le débit de la STEP est limité à environ 10 000 m³/j.

A partir de l'étude existante, celle de TESCO 1985, une première cartographie à une échelle 1/10 000 a été réalisée. Dans cette carte, des unités de sols ont été définies en fonction de leur origine lithologique, leur stratification texturale, leur caractéristique hydrique et leur type pédologique. L'extension et l'homogénéité de ces unités a été évaluée par des sondages (1 sondage tous les 4 ha, c'est-à-dire à une échelle de précision de 1/20 000).

La caractérisation des sols à cette échelle nous a donné une idée de leur épaisseur, de leur capacité de stockage et de leur conductivité hydraulique qui sont les facteurs physiques principaux.

L'épaisseur du sol influence sa réserve en eau et sa capacité épurative, il conditionne le volume de filtration et donc le temps de rétention des effluents. Cette durée de rétention est capitale pour l'élimination de la matière organique en particulier.

Un bon drainage interne, qui peut s'évaluer par une porosité << texturale >> et << structurale >> équilibrée et une absence d'hydromorphie, permet une bonne filtration des effluents. L'idéal est d'avoir une texture équilibrée, c'est-à-dire un équilibre en limons, argiles et sables (terres franches).

IV.4 Aptitudes des sols à l'épandage éventuel des boues issues du traitement

Les caractéristiques minimales suivantes peuvent être retenues pour un site d'épandage à des fins d'exploitation agricole :

- Profondeur minimum du sol 120 cm ;
- Perméabilité équilibrée (Ks entre 1,5 et 15 cm/h) ;
- Bon drainage interne sans hydromorphie ;
- Niveau de la nappe à une profondeur > 90 cm ;
- Pente inférieure à 15% ;
- Pas de risque de submersion ;
- Substratum rocheux non fissuré.

De l'étude suscitée, il ressort ce qui suit :

- La profondeur des sols rencontrés est bonne et semblerait répondre au besoin d'épandage de la boue.
- La perméabilité répond aussi aux normes admises.
- Reste le drainage interne qui peut présenter des lacunes. La réfection du réseau de drainage existant, ou carrément la réalisation d'un réseau de drainage performant à l'échelle du périmètre semble, dans l'état actuel des connaissances de la zone, une solution valable.
- Quant au niveau de la nappe, et toujours d'après l'étude examinée, sa profondeur ne répond pas aux normes souhaitées (elle était de 50 cm en 1984).
- La pente de terrain dans le périmètre, dans la classe 0-3%, répond positivement aux exigences de l'épandage.
- Le risque de submersion peut par contre constituer un handicap à cause de la platitude du terrain et de son faible pouvoir drainant. En effet, la majorité des sols du périmètre se rangent dans la classe des sols hydromorphes.

Les boues d'épuration peuvent contenir, selon l'origine, de grandes quantités de métaux lourds qui réduisent la valeur des boues comme engrais pour application directe sur les terres agricoles ou pour le compostage. Aussi, les risques de contamination des sols associés à l'épandage des boues d'épuration, doivent être considérés. Il est utile de rappeler que :

- Les métaux lourds font partie des éléments toxiques du milieu naturel. Dans les écosystèmes, ils passent du sol vers les eaux qu'ils peuvent rendre impropre à la consommation. On retrouve aussi les métaux lourds en grande concentration dans les eaux usées industrielles et municipales (Cd, Cu, Pb, Zn), les précipitations atmosphériques et les eaux provenant de l'activité agricole (Hg, Cu, Pb).
- L'arsenic, chimiquement n'est pas un métal, mais il est généralement compté dans la liste des métaux lourds pour sa toxicité, et son comportement (accumulation) comparable aux métaux lourds.
- Le Hg, le Pb et le Cd sont les métaux lourds les plus surveillés car ils ne sont pas biodégradables et s'accumulent notamment dans les sols. Ils sont toxiques par définition. D'autres métaux remplissent des fonctions vitales pour les êtres vivants ; mais ces métaux indispensables à très faibles doses (oligo-éléments) sont toxiques à fortes doses.
- Les métaux lourds peuvent contaminer les sols, les nappes d'eau et les aliments, ils s'accumulent dans les organismes vivant par le biais de la chaîne alimentaire et perturbent les mécanismes et équilibres biologiques.
- Le risque associé à la présence des métaux lourds dans les boues d'épuration implique donc la possibilité de leur transfert vers les sols et vers les plantes, appelé biodisponibilité. Certains éléments traces sont essentiels pour le développement végétal d'autres sont toxiques même à de très faibles doses.
- On note que les caractéristiques des sols des zones arides, particulièrement le pH, influent sur la biodisponibilité des éléments-traces et donc sur leur transfert vers les plantes. Le carbonate de calcium, les oxydes de métal et les matières organiques jouent aussi un rôle important dans la concentration des métaux lourds dans le sol de ces zones. En effet, lorsque le pH du sol est supérieur à 7, la concentration des éléments traces diminue.
- D'autre part, il a été démontré que les zones hydromorphes, comme c'est le cas du périmètre de Touggourt, étaient le siège d'une accumulation de métaux lourds, excepté le Pb. L'accumulation est notable pour le Cd et le Ni, moins nette pour le Cu et le Zn.
- L'accumulation de Cu et de Ni est directement liée à l'augmentation du taux de la matière organique dans les sols hydromorphes et à l'augmentation du degré d'anoxie du milieu.

- Compte tenu de l'ensemble de ces considérations et de ces constats, à ce stade de l'étude, l'épandage des boues d'épuration dans le périmètre de Touggourt est à proscrire.

IV.5 Etudes additionnelles à prévoir

Pour traiter l'ensemble des informations utiles et nécessaires à la REUE , une étude détaillée est indispensable à une échelle plus poussée lors des travaux d'APD.

Dans cette étude, une caractérisation parcellaire précise doit être entreprise à l'échelle cadastrale (1/ 2 000). Pour obtenir une précision suffisante, il faut serrer les sondages (un sondage tous les 0.5-2 ha). Les profils, plus profonds que dans l'étude examinée, doivent aussi devenir plus nombreux afin de tenir compte de la variabilité spatiale au sein du périmètre retenu. Ces profils serviront comme état de référence avant l'épandage. Les critères physiques principaux, la profondeur du sol et sa perméabilité restent les mêmes, mais seront mesurés avec plus de précision.

Profondeur du sol

La variation de la profondeur du sol doit être évaluée à l'échelle des parcelles. Les profils ou les sondages montreront si des horizons compactés ou des couches indurées peuvent gêner les transferts de l'eau.

Réserve utile

La réserve en eau du sol reste à évaluer, en déterminant en particulier sa capacité de rétention sur des échantillons de chaque profil. A partir des mesures de la densité apparente et de la profondeur du sol, on peut déterminer la capacité de stockage de l'eau dans le sol (capacité de rétention) et également les réserves facilement utilisables (RFU) qui constituent des paramètres essentiels de la conduite de l'irrigation.

Perméabilité

Pour juger de la perméabilité du sol, il faut combiner les données d'observation sur la stratification du sol, les mesures effectuées sur des échantillons isolés et les mesures effectuées sur le terrain.

L'analyse de la granulométrie, c'est-à-dire de la texture, le long des coupes et son interprétation pour le comportement du sol correspondants, constitue un indice concernant le drainage interne. La stabilité structurale du sol, influencée par la teneur en matière organique, joue sur la perméabilité. Une étude des pores du sol et de leur stabilité dans le temps, permettra de décrire le compartiment dans lequel l'eau circule.

Les mesures de coefficients de perméabilité, conductivité hydraulique à saturation (K_s), pour chaque horizon permettent de quantifier les vitesses de circulation de l'eau dans le sol. Plutôt que d'utiliser des formules empiriques, il est généralement préférable de procéder à des essais sur les parcelles en place.

Enfin, la perméabilité permet d'évaluer le rythme et la hauteur possible des apports d'eau durant les irrigations ainsi que les risques de percolation des excès d'eau en profondeur ou bien latéralement. Cette perméabilité permet également d'estimer la capacité de filtration du sol, en évaluant le temps de résidence de l'effluent dans la tranche de sol épurateur.

Conclusion

Dans la zone d'étude, les deux classes de sols qui ont été identifiées au niveau du périmètre sont classe des sols peu évolués non climatiques et classe et sous-classe des sols hydromorphes minéraux.

Dans le cas spécifique de l'irrigation, les bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource, mais aussi dans la nature des eaux usées. En effet, elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) ainsi que des oligoéléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) qui sont bénéfiques pour les cultures, et qui peuvent augmenter significativement le rendement. Les MES contribuent également à la fertilisation des sols car elles sont riches en matière organique. L'utilisation d'eaux usées à la place d'engrais de synthèse coûteux est économiquement intéressante pour les agriculteurs.

De plus, l'arrosage avec des eaux usées constitue une sorte de fertigation, c'est-à-dire l'application combinée d'eau et de fertilisants via le système d'irrigation. La fertigation permet un apport fractionné et à faible dose des engrais ; en cela elle est bénéfique pour l'environnement car elle évite la pollution des sols.

V. ETUDE AGRO SOCIO-ECONOMIQUE

Introduction

Ce chapitre présente l'étude agro-socio-économique relative à la REUE, en incluant les activités actuelles (par filières) et les contraintes identifiées aux points de vue agronomique, social, commercial et sanitaire.

V.1 Aperçu de la situation socio-économique du site

Le périmètre de Touggourt illustre parfaitement la notion d'agriculture oasienne qui, rappelons le, repose sur la culture du palmier dattier avec, en culture parallèle, des produits maraîchers et des arbres fruitiers du type rustique.

Les dattes sont dans la plupart des cas destinées à la commercialisation ou tout au moins à l'échange. Elles furent à ce titre une pièce maîtresse dans le commerce caravanier sur lequel les oasis sahariennes ont assis leur activité économique et sociale pendant de longs siècles. A l'inverse, les produits maraîchers et les fruits saisonniers sont destinés à la consommation domestique et familiale.

L'irrigation agricole traditionnelle en milieu oasien a lieu selon des procédés séculaires reposant sur la répartition équitable de la ressource hydrique au cours d'un processus où celle-ci est gérée de manière collective par l'assemblée de la communauté. La communauté désigne pour cela un gestionnaire, un sage, chargé du contrôle et de la supervision du processus de production et de consommation de l'eau.

L'assemblée de la communauté constitue, il faut le souligner, une structure sociale fondamentale dans l'organisation sociale locale au sein de laquelle émergent des structures lignagères où les relations tribales et le modèle parental sont forts.

Les structures sociales traditionnelles, même si elles s'amenuisent au fur et à mesure de l'introduction de l'économie oasienne dans un système économique et social globalisant, restent encore vivaces aujourd'hui et apparaissent parfois de manière remarquable dans le mode de gestion de l'eau et de son partage entre les agriculteurs membres de la communauté.

Du point de vue du statut de l'exploitation, l'ensemble de ces agriculteurs font partie de la catégorie des propriétaires privés et travaillent sur des propriétés individuelles ou familiales. En outre, l'unité de mesure des potentialités agricoles ne correspond pas à des superficies mais à un nombre de palmiers dattiers. La taille des exploitations des agriculteurs interrogés présentée au tableau IV.1, est donc en termes de palmiers dattiers.

L'enquête a par ailleurs révélé que l'eau est gérée selon la procédure traditionnelle évoquée plus haut et qu'elle est utilisée selon le principe du partage équitable entre les utilisateurs. Ainsi, le périmètre est irrigué à partir de trois forages d'une profondeur moyenne de 140 mètres, dont l'eau est utilisée de manière collective entre plusieurs exploitants qui se partagent, selon le quota de chacun, la facture de l'électricité.

A ce titre, le nombre de palmiers dattiers se décompose en unités d'électricité consommées, que le superviseur désigné par le groupe se charge de répartir selon la part de chaque exploitant. Cette utilisation collective est telle qu'un même exploitant peut être relié aux trois forages existants, à des moments différents.

Tableau V.1 Les exploitants interrogés dans le périmètre de Touggourt selon la taille de l'exploitation

Rang	Nombre
Moins de 50 palmiers	5
De 50 à 100 palmiers	6
De 100 à 200 palmiers	9
Plus de 200 palmiers	4
Total	24

V.2 Contexte agronomique

Afin d'analyser le contexte agronomique propre au site de Touggourt, il est utile de rappeler les principales considérations d'ordre agronomique qui ont généralement un impact sur le potentiel de réutilisation à des fins agricoles des EUE.

Les EUE constituent une valeur hydrique et un potentiel en matières fertilisantes pour les sols agricoles. Toutefois, ces bénéfices seront diminués si les agriculteurs n'ajustent pas leur système d'irrigation, leur choix des cultures et leurs pratiques agricoles. En général, la sélection d'un système d'irrigation dépend des volumes d'eau disponibles, du climat, des sols, des cultures, du coût, des matériaux disponibles et de l'habileté de l'agriculteur à gérer son système. Lorsque des EUE sont utilisées pour l'irrigation, d'autres facteurs doivent être considérés comme la possibilité

de contamination des plantes et des produits agricoles, les risques de salinisation et de contamination des sols ainsi que la santé des travailleurs. Pour minimiser ces contraintes, les EUE devraient être idéalement appliquées près des racines avec une irrigation du type « goutte à goutte ». Toutefois, même si de nombreuses techniques d'irrigation localisée s'implantent de plus en plus en Algérie, la majorité des agriculteurs pratiquent encore l'irrigation de type gravitaire en raison de son faible coût et de sa simplicité de réalisation. Il est reconnu que ce type d'irrigation minimise la contamination des plantes mais expose d'avantage les travailleurs à des risques sanitaires.

Aussi, il est possible que les cultures actuelles ne soient pas les plus adéquates parce qu'en contact probable avec des EUE. Ainsi, suite à une évaluation détaillée des EUE afin d'en connaître les charges maximales, des cultures plus tolérantes à la salinité, au chlore, au bore, au sodium ou encore à d'autres éléments traces, peuvent être sélectionnées sans accroître les risques d'intoxication.

Finalement, si les EUE contiennent des charges non négligeables de métaux lourds, certains sols pourraient engendrer des contraintes agronomiques. En effet, les sols acides ne peuvent enrayer entièrement la mobilité des métaux lourds et exigeront un chaulage et la sélection de cultures tolérantes aux métaux lourds. A l'opposé, aucune contrainte agronomique n'est nécessaire pour les sols alcalins car le calcaire présent dans ceux-ci neutralisera la mobilité des métaux lourds. Il est cependant peu risqué d'avoir de hauts niveaux de métaux lourds dans les EUE, ceux-ci se retrouvant plus dans les boues.

Le périmètre étudié à Touggourt, caractérisé par une agriculture oasienne où domine la culture du palmier dattier à l'étage supérieur avec, à l'étage intermédiaire, des arbres fruitiers et, à l'étage inférieur, le maraîchage, n'est pas sans poser différentes préoccupations pour son passage à l'irrigation à partir des EUE. Le type de système d'irrigation, le choix des cultures et les pratiques agricoles ont donc été abordés dans le cadre de cette étude afin de minimiser les risques généralement associés à la valorisation agricole des EUE.

Parmi les principales caractéristiques d'ordre agronomique qui permettent de dresser le portrait de l'agriculture oasienne dans la zone d'étude, il peut être mentionné :

- La dotation en eau sur le périmètre est assurée par des forages dont le débit moyen est de 17 L/s. 16 heures par jour de pompage sont généralement requises. Du 15 juillet à la fin août, le pompage est souvent requis sur 24 heures, obligeant ainsi les agriculteurs à des irrigations nocturnes peu souhaitées.

- La salinité des eaux de forage est variable, mais elle est source de problèmes pour les agriculteurs. En effet, elle diminue les rendements, en particulier si des lessivages périodiques ne sont pas assurés.
- Outre les palmiers dattiers qui constituent la principale production dans la zone d'étude, les cultures fruitières incluent le grenadier, le figuier, le pommier, l'abricotier, la vigne, le jujubier et le prunier. Les cultures maraîchères sont aussi très variées : le poivron, le piment, la laitue, l'ail, la betterave rouge, la tomate, l'oignon, les cucurbitacées, l'aubergine, la blette et le céleri sont au nombre de celles-ci. S'ajoutent finalement la menthe, la coriandre, l'anis et le clou de girofle. Parmi les plantes fourragères, la luzerne est présente. Finalement l'orge est la seule céréale observée sur le périmètre. Le coton est occasionnellement présent.
- La présence de sangliers cause de nombreux dommages aux cultures maraîchères principalement.
- L'irrigation gravitaire est la seule technique d'irrigation en cours sur le périmètre à l'étude. Les cultures des trois étages en bénéficient.
- Compte tenu des déficits hydriques assez fréquents en juillet et août alors que les eaux de forage ne peuvent couvrir l'évapotranspiration extrême de cette période, les agriculteurs, afin de sécuriser leurs cultures, peuvent abandonner occasionnellement certaines de leurs parcelles.

V.3 Contexte social

Il est utile de préciser que les exploitants du périmètre connaissent bien le projet de REUE ; en effet, tous les agriculteurs interviewés ont affirmés être au courant du projet de REUE de la STEP de Touggourt.

Dans la mémoire collective, la visite du président de la république et de plusieurs membres du gouvernement à cette STEP ainsi que l'importance qu'ils ont accordée au principe de la REUE constituent un argument important en faveur de l'adhésion au projet, que les agriculteurs sont d'ailleurs particulièrement impatients de voir se concrétiser.

Les principaux arguments que ces derniers présentent dans ce sens résident essentiellement dans les éléments qui suivent :

- La réduction considérable de la salinité de l'eau ;
- L'amélioration de la qualité de l'eau qui devrait se voir enrichie de résidus organiques particulièrement rares dans l'eau de la région ;

- L'amélioration de la sécurité des agriculteurs qui ne seront plus contraints de recourir aux irrigations nocturnes ;
- La possibilité d'exploiter les superficies agricoles abandonnées, faute de moyens d'irrigation.

En tout état de cause, si les agriculteurs du périmètre de Touggourt adhèrent entièrement au principe de l'utilisation des EUE épurées et se disent disposés à se soumettre à l'ensemble des contrôles sanitaires prévus dans ce cadre, ils proposent cependant d'irriguer leurs cultures maraîchères uniquement avec l'eau des forages et envisagent même d'abandonner le maraîchage si cela était nécessaire en échange d'une meilleure disponibilité de l'eau. Leur point de vue obtenu lors des enquêtes terrain se base sur les perspectives d'une irrigation mixte où les EUE provenant de la STEP et les eaux des forages seraient toutes deux disponibles en tête de parcelle.

L'irrigation des cultures maraîchères par les eaux << pures >> provenant de forages ou leur abandon total semble néanmoins difficile compte tenu de leur proximité immédiate du palmier dattier en cas d'irrigation de celui-ci au moyen des EUE, et du caractère très ancien du potager domestique cultivé "sous les palmiers" dans les habitudes alimentaires de la région.

En ce qui concerne le prix auquel la STEP doit céder l'eau, le souhait des exploitants du périmètre est qu'il soit nettement inférieur au prix de revient actuel de l'eau qui est environ de 100 DA par palmier / mois.

V.4 Contexte de mise en marché

Les différentes filières, leurs caractéristiques et leurs contraintes majeures sont ici présentées.

V.4.1 Identification et brève description des filières

La principale culture est celle du palmier-dattier. On a pu identifier plusieurs variétés de dattes avec des usages et des circuits de commercialisation bien définis. On retrouve également des produits que l'on qualifiera de << secondaires >> ou productions complémentaires, en raison de leur usage et de leur mode de production et qui exploitent les strates dans l'espace qui sont laissées inoccupées par les palmiers. Ces produits, qui revêtent quand même une bonne importance, sont :

- Les productions d'arbres fruitiers (abricots, pommes grenades, figues, ...) dans la strate intermédiaire, et
- Des productions maraîchères (tomate, piment, oignon, herbe, ...) et des fourrages verts (bersim, orge en vert (fourrage), ...) dans la strate inférieure.

Ces cultures secondaires sont faites en association à la phoeniciculture et sous le couvert des palmiers. Elles permettent de fournir un revenu d'appoint et d'optimiser l'utilisation de la terre et de l'eau. En plus de leur valeur économique / commerciale, ces cultures ont une valeur << sociale >> dans le sens qu'elles permettent un approvisionnement plus facile dans un milieu qui se doit de vivre en grande partie en autarcie. Ces cultures apportent en l'occurrence une diversité alimentaire et permettent une meilleure exploitation des élevages qui y sont pratiqués.

La filière << datte >>

La filière << datte >> a ceci de particulier que c'est la seule qui soit développée et surtout organisée dans le créneau de l'exportation. L'Algérie est en effet parmi les plus grands exportateurs mondiaux de dattes. La production phoenicole est particulièrement localisée dans la zone des oasis (soit le sud de l'Algérie) et dans la zone de Biskra. La filière est également bien organisée et sa production atteint, en plus des marchés d'exportation, les marchés locaux, régionaux, nationaux et sous-régionaux.

Les principaux circuits de commercialisation de la datte sont présentés à la **Figure V.1**

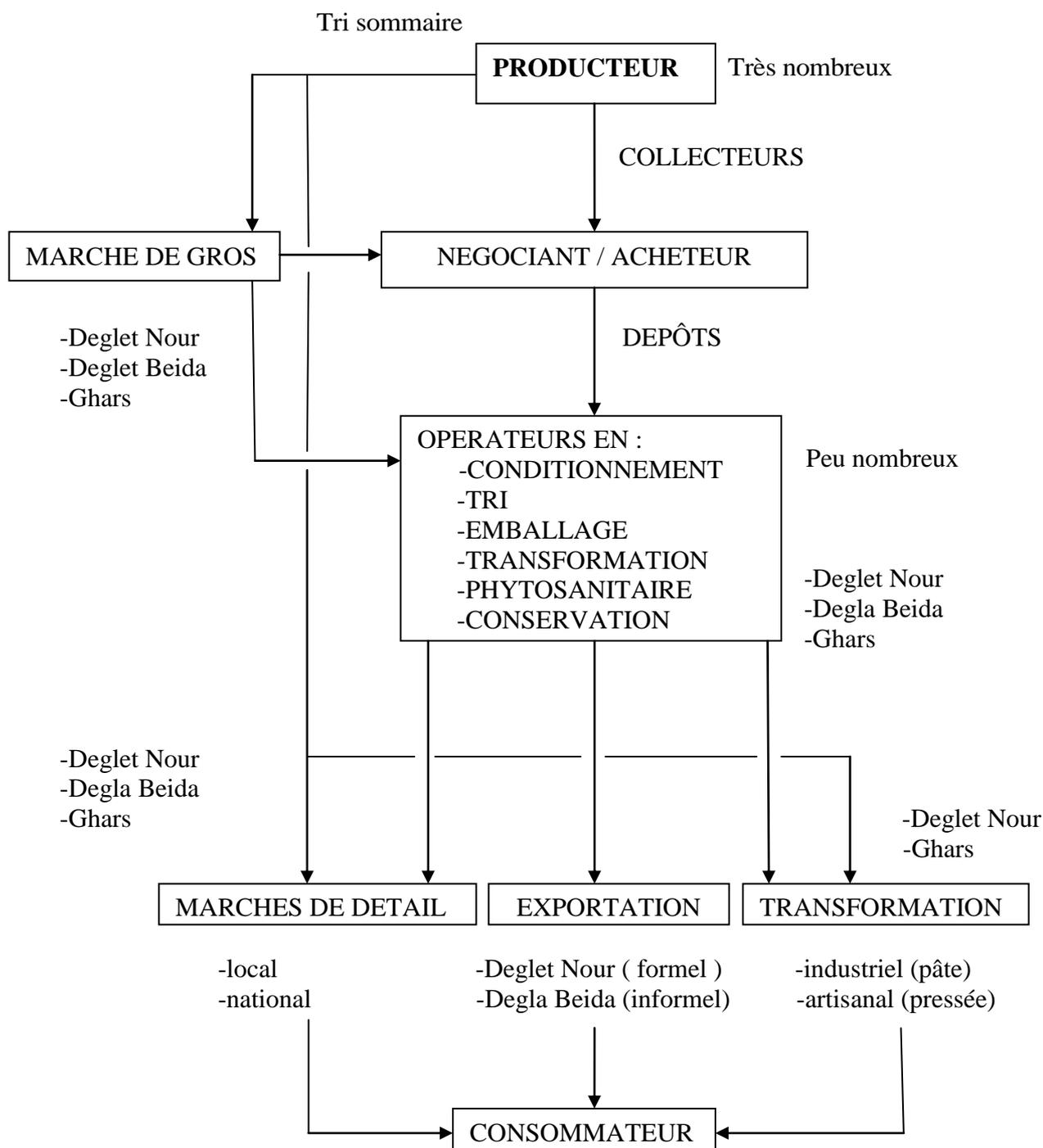


Figure V.1 Circuits de commercialisation de la datte et des produits dattiers –zone des oasis

Dans cette figure, on remarque les points principaux suivants :

- La datte de variété « Deglet Nour » est une datte de très bonne qualité et exportable. Elle est destinée en priorité à l’exportation, soit en branchettes soit pour les dattes de premier choix. Les dattes de second choix « frezza », légèrement sèches, sont aussi exportées mais se retrouvent surtout sur le marché local. Pour exportation, les dattes sont soit achetées sur pied, soit récoltées à contrat, soit récoltées et vendues sur le marché de gros à Touggourt. Ce

sont les acheteurs qui dominent le marché. Une partie de la récolte est aussi destinée à la consommation locale au travers des marchés de détail qui s'approvisionnent au marché de gros, chez des grossistes ou directement chez le producteur ;

- Les dattes de variété << Ghars >> sont des dattes molles et très sucrées, utilisées presque exclusivement pour la consommation locale, soit en frais, soit sous forme transformée (datte pressée artisanale). Ce mode de transformation est en fait plutôt un mode de conservation. Il s'agit de la datte qui entre dans la fabrication des pâtisseries traditionnelles ;
- Les dattes de variété << Degla Beida >> sont des datte jaunes, plus sèches et plus dures, et qui sont principalement destinées au marché du troc avec les pays africains limitrophes (Mali et Niger principalement) au travers d'un réseau de transporteurs s'approvisionnant au marché de gros.

D'après les observations faites au cours de l'étude, les délais encourus entre la récolte et l'exportation des dattes seraient au minimum d'une dizaine de jours : récolte, collecte, vente dans le marché de gros, traitement de désinsectisation, tri, conditionnement, emballage et transport vers les points d'exportation. Le tri des dattes est fait en fonction de la qualité : les dattes sur branchettes (donc attachées à une branche du régime), les dattes 1^{er} choix (entières avec peu de défauts, pleines et rondes), les dattes second choix (début de dessiccation et léger défauts) et les rebuts (trop sèches, immatures, non fécondées,...).

Les activités de transformation sont pratiquement inexistantes mises à part les transformations artisanales (dattes pressées) et les pâtisseries traditionnelles que l'on retrouve sur les marchés locaux. Dans le cas de grandes entreprises, les dattes de moins bonne qualité peuvent être valorisées sous forme de pâte mais ce créneau n'est pas encore exploité à Touggourt.

Les produits destinés à l'exportation subissent suivi minimal de la qualité. On évalue le poids moyen des fruits (nombre de dattes par kg) et on vérifie la présence d'insectes et l'apparence générale du produit. Il n'y pas d'autres mesures effectuées sur les produits avant l'expédition. A l'entrée dans les pays importateurs, on fait une vérification pour la teneur en eau, le calibre (nombre de dattes pour un poids donné), la présence de matière étrangères (cailloux, insectes, végétaux, etc.) et la qualité des dattes (défauts : taches, moisissure, pourriture, sèches, immatures, endommagées, etc.). Des analyses microbiologiques sont également faites, ce qui laisse croire que si des EUE étaient utilisées et contaminaient effectivement les lots, lesdits lots de dattes se verraient refusés à l'entrée et pourraient entraver les activités d'exportation.

La filière arbres fruitiers

La filière << arbres fruitiers >> dans la zone des oasis a ceci particulier qu'elle est de nature complémentaire à la production de dattes. Il s'agit donc de productions secondaires qui sont destinées quasi exclusivement à l'autoconsommation et à l'approvisionnement des marchés locaux, souvent par une présence des producteurs ou de revendeurs dans les marchés de vente au détail. Il n'y aurait vraisemblablement pas de grossistes qui joueraient un rôle important dans la distribution de ces produits à l'échelle locale. Les activités de transformation de ces produits seraient également rares et artisanales, le cas échéant. La **figure V.2** montre les circuits de commercialisation pour ces productions. Il s'agit d'un circuit de distribution beaucoup plus simple que celui utilisé pour les dattes. La mise en marché et/ou la consommation sont faites tout de suite après la récolte.

La filière des produits maraîchers

Tout comme dans le cas de la filière << arbres fruitiers >>, la filière des productions maraîchères dans la zone des oasis est de nature complémentaire à la production de dattes. Il s'agit encore une fois de productions secondaires qui sont également destinées à l'autoconsommation et à l'approvisionnement des marchés locaux, autant par les producteurs que par les revendeurs dans les marchés de vente au détail. Il n'y aurait pas non plus de grossistes qui joueraient un rôle dans la distribution de ces produits à l'échelle locale. Comme dans le précédent cas, les activités de transformation de ces produits seraient également rares et artisanales, le cas échéant. La figure V.2 montre les circuits de commercialisation de ces productions.

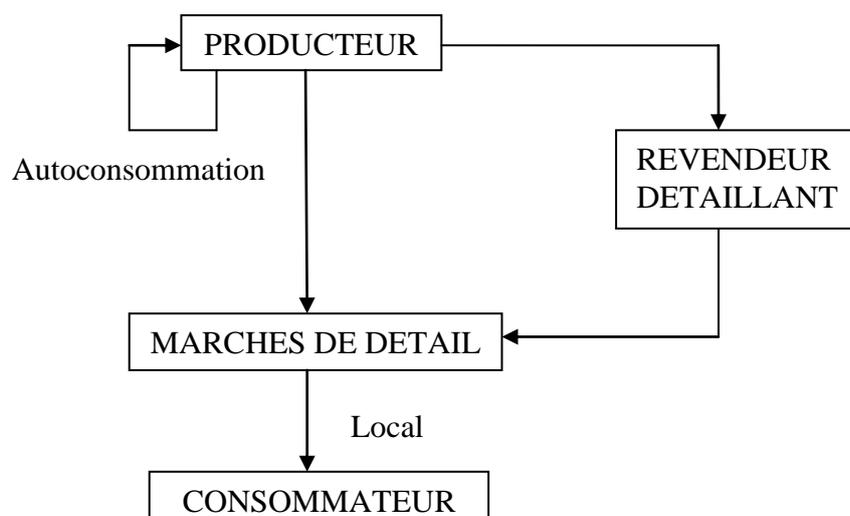


Figure V.2 Circuits de commercialisation des produits de l'arboriculture-zone des oasis

La production de fourrages

La production de fourrages dans la zone des oasis, en complément de la production de dattes, suit le même modèle que pour les produits fruitiers et maraîchers. Les produits fourragers sont rendus disponibles aux éleveurs qui s'approvisionnent directement chez les producteurs ou dans les marchés de détail. Les producteurs qui font aussi de l'élevage se servent également de leurs produits pour alimenter leur cheptel. La mise en marché et/ou l'utilisation se font en vert, donc très rapidement après la récolte.

V.4.2 Contraintes commerciales à l'utilisation des EUE

Les principales contraintes commerciales pour les différentes filières sont les suivantes :

Les contraintes commerciales pour la datte

Les produits de la culture des dattes sont commercialisés aux niveaux local, régional, national ainsi qu'à l'exportation. L'Algérie est un des plus grands exportateurs mondiaux de dattes. La disponibilité du marché ne représente donc pas une contrainte. Au niveau de Touggourt, la datte est un produit relativement peu périssable et peut supporter assez aisément les transports vers les points d'utilisation qui sont relativement nombreux : marché de détail, marché de gros, exportateurs, aliments des bétail, etc...il n'y a cependant à peu près pas de transformateurs organisés qui peuvent représenter des débouchés intéressants pour la production. La transformation relève dans ce cas majoritairement du secteur des produits artisanaux et ce ne sont que des activités à très petite échelle.

En raison du manque d'infrastructures (entrepôts et véhicules), les producteurs sont plus ou moins à la merci des autres opérateurs en aval de la filière (collecteurs, transporteurs et acheteurs). Les producteurs semblent aussi manquer d'organisation, probablement par manque de moyens financiers et par le fait que beaucoup sont de très petite taille, pour organiser leur production et leur mise en marché. Ils s'articulent cependant en associations au niveau de l'utilisation de l'eau. Du potentiel existe donc pour lever cette contrainte. Le fait qu'il n'y ait que peu de grands commerçants exportateurs limite aussi les opportunités et rend les producteurs plus dépendants des << humeurs >> des grands acheteurs.

Au niveau local, les dattes atteignent les consommateurs par les marchés de détail ainsi que directement des producteurs. Dans le cas de Touggourt, il y a aussi un marché de gros qui sert à alimenter les détaillants et revendeurs.

La filière est fortement orientée sur la datte << Deglet Nour >>, qui offre plus de potentiel à l'exportation, ce qui fait qu'il y a moins d'intérêt pour des variétés << secondaires >>. On peut toutefois noter que certaines autres variétés, dont la << Degla Beida >> font l'objet d'un commerce avec l'Afrique noire (Mali et Niger).

Les principales contraintes se retrouvent au niveau de la qualité, car les meilleurs fruits sont la plupart du temps destinés à l'exportation. Pour ce qui est de l'utilisation des EUE, elles auraient vraisemblablement peu d'impact sur la qualité, en autant que des mesures minimales soient prises pour éviter le contact entre les fruits et le sol. Il n'y a pas vraiment de contrôle de qualité sur la composition des fruits (présence de substances étrangères, microbiologiques, ...), qu'ils soient destinés aux marchés local, régional, national ou international. Pour les produits exportés, les dattes sont sujettes à des inspections et à des analyses microbiologiques ponctuelles. Ce point pourrait causer des problèmes à l'export en cas de contamination car les produits doivent répondre aux normes de qualité des pays importateurs.

En résumé, comme il n'y a aucun contrôle et que la provenance n'est pas considérée comme un critère, l'utilisation des EUE ne représentera vraisemblablement pas de contrainte réelle à la commercialisation, à tout le moins jusqu'au niveau national. Les activités d'exportation pourront par contre être compromises en cas de contamination. Il sera cependant nécessaire de mettre en place des mesures visant à minimiser les risques sanitaires liés à cette utilisation (autant pour les produits consommés localement que pour ceux destinés à l'exportation). Idéalement, un système de contrôle de la qualité (analyses et traçabilité) serait requis, particulièrement pour les cas où les dattes sont vouées à l'exportation et pour lesquelles les critères seraient plus élevés.

Les contraintes commerciales pour les produits de l'arboriculture, les produits maraîchers et les fourrages

Ces produits sont exclusivement distribués localement au niveau de l'oasis. C'est en particulier l'organisation du milieu (qui fait que les oasis sont enclavées) qui apparaît comme la cause de cette situation. Les productions fruitières et maraîchères, ainsi que la production de fourrages sont

des productions complémentaires à la culture du palmier-dattier et sont surtout destinées à l'autoconsommation ainsi qu'à une << petite commercialisation >>, directement au détail ou par des revendeurs. Les produits de l'oasis se retrouvent donc sur les marchés de l'oasis.

Dans cet esprit, il n'y a pas vraiment de contraintes à la commercialisation outre les limitations du marché qui, jusqu'à un certain point, limitent la production (l'offre s'ajuste à la demande) : le marché prend ce qui est offert, les distances pour approvisionner les marchés sont minimales, la période de mise en marché est courte, les acteurs viennent du même milieu, se connaissent et se font confiance, ce qui peut faciliter les transactions, les transactions sont souvent << intégrées >> (le producteur agissant aussi comme collecteur et comme détaillant). Dans le cas des fourrages, ils servent surtout pour les bêtes destinées à la traction (transport) ainsi qu'à l'élevage.

V.5 Contraintes sanitaires

Les risques liés à l'utilisation des EUE se retrouvent principalement à quatre niveaux :

- Au niveau des **producteurs** (et de leurs familles) : Les principaux risques sont les maladies transmises par les eaux, le contact avec le sol contaminé, l'eau en suspension dans l'air (aspersion), l'ingestion, la retransmission aux produits alimentaires.
- Au niveau des **populations environnantes** des sites de production : Les principaux risques sont la transmission par l'air (cas de l'aspersion) et l'accès aux sites irrigués. La contamination des cours d'eau peut également apporter un risque de contamination.
- Au niveau des **opérateurs et manutentionnaires** : Les principaux risques sont la recontamination des lots de différente provenance, la contamination de produits sains par mélange, l'eau de mauvaise qualité au niveau des points de vente au détail, les pratiques d'hygiène déficientes,...
- Au niveau des **consommateurs** : Les principaux risques sont la recontamination, l'hygiène déficiente et l'ingestion de pathogènes.

Ces risques sont mitigés par différents facteurs qui vont avoir un impact plus ou moins important au niveau de la qualité des EUE ou de l'innocuité des produits qui sont issus de l'irrigation avec ces eaux. Parmi les principaux facteurs qui auront un impact sur les risques sanitaires :

- La localisation des activités agricoles ;
- Le type de traitement des eaux appliqué aux eaux usées ;

- Le mode d'irrigation qui est utilisé pour la production agricole ;
- Les opérations post-récolte qui sont effectuées.

V.5.1 Définition des principaux points de contrôle au niveau sanitaire

Datte

La production de dattes est principalement faite par irrigation de surface par des canaux (irrigation à la raie), ce qui limite le risque de contact entre les fruits et les eaux contaminées. Ceci est particulièrement important, d'autant plus que le produit est la plupart du temps consommé cru. Par contre, si ce mode de production limite le contact de l'eau avec les dattes, il entraîne une contamination du sol autour des dattiers, ce qui représente un risque direct pour les producteurs et leurs familles, les collecteurs et les populations voisines et un risque indirect pour la distribution en aval et les consommateurs. En effet, le mode de récolte favorise le contact entre les dattes et le sol ou entre les dattes et des bâches contaminées. L'arrêt de l'irrigation pour une période de 10 à 15 jours avant la récolte limiterait les risques de contamination. Cette avenue entraînera cependant des contraintes, compte tenu de la présence de cultures intercalaires et sous couvert végétal.

Cet aspect sera important, principalement au niveau de la récolte, mais aussi au cours des opérations de manutention. Il faudra s'assurer que les régimes de dattes n'entrent pas en contact le sol pour éviter toute contamination. L'usage de bâches, quoique permettant de réduire des risques, n'est pas un moyen de protection sûr car il peut y avoir contamination lors du déplacement de ces bâches entre les palmiers. L'usage de bâches de deux couleurs (dont un côté serait blanc ou de couleur claire) permettrait de minimiser la contamination par le sol (toujours la même face vers le sol) et le contrôle de la propreté des bâches. Il serait plus efficace de faire la récolte en descendant les régimes sur des filins et de les conditionner immédiatement dans des contenants n'entrant pas en contact direct avec le sol. Evidemment, il ne faut pas conserver des régimes qui sont entrés en contact avec le sol.

Les dattes ne sont pas des produits qui sont lavés avant commercialisation. Ils entraînent donc moins de risques de contamination par les eaux contaminées. Toutefois, comme elles sont souvent manutentionnées en vrac, il peut être facile de contaminer des dattes saines par simple contact ou mélange avec des fruits contaminés. Comme les contenants servant au transport sont réutilisables, il faudra également penser à les nettoyer et à les protéger du contact avec le sol contaminé. Cette

remarque les également valide pour les camions servant au transport : une procédure de nettoyage devra être envisagée pour éviter les contaminations entre les lots.

Arbres fruitiers et productions maraîchères

La même problématique que pour les dattes s'appliquerait également aux arbres fruitiers et aux produits maraîchers : les fruits cueillis devraient être mis directement dans des contenants propres et aucun fruit au sol ne devrait être ramassé et remis en circulation. Pour les produits maraîchers poussant au sol dans le sol, comme les laitues, ou les oignons, il faudra prévoir un nettoyage et un rinçage. Il sera très important de bien nettoyer les produits avant la consommation, idéalement en les pelant et en les nettoyant avec de l'eau désinfectée.

Les fruits produits en palmeraie irriguée avec des EUE devraient être lavés avec de l'eau propre avant la mise en marché pour limiter les risques de contamination. Idéalement, cette eau serait également désinfectée.

Fourrages

Pour les fourrages, la contrainte semble moins importante puisque ils seront consommés par les animaux avant d'être consommés par les humains. Certaines sources mentionnent toutefois des effets potentiels des fourrages produits avec des EUE sur la fertilité des reproducteurs. Comme il s'agit de fourrages coupés, le contact des animaux avec le sol contaminé serait réduit. Il pourrait également être possible de demander un délai minimal entre la coupe et l'alimentation du cheptel. Il faudra prendre garde à utiliser les vêtements de protection adéquats lors de la récolte et de la manutention de ces produits. L'usage de gants est recommandable.

V.5.2 Potentiel de mise en place d'un système de traçabilité

L'éventuelle mise en place d'un système de traçabilité se devrait de reposer sur les structures existantes du Ministère de l'Agriculture et du Ministère de commerce par exemple pour le contrôle phytosanitaire et le contrôle de la qualité (laboratoire de répression des fraudes). Pour la mise en place d'un système de traçabilité qui permettrait de réduire les impacts négatifs potentiels de la REUE, il existe deux cas de figure :

- La datte est un produit qui voyage beaucoup et on le retrouve partout dans le monde. De plus, sa durée de conservation plutôt longue permet d'effectuer des vérifications et des tests, d'en connaître les résultats et d'agir sur les opérations de distribution subséquentes, autant en amont qu'en aval. Comme un bon volume de dattes est destiné à l'exportation, un système de traçabilité pourrait être un point positif au niveau de l'industrie algérienne de la datte, même sans utilisation des EUE. De toutes façons, l'implantation d'un tel système nécessite une étude et la mise en place d'un système de collecte de données ;
- Les produits des arbres fruitiers, les produits maraîchers et les fourrages sont produits localement et pour le marché local. Il y a donc peu de potentiel et de place pour implanter un système de traçabilité à ce niveau, de plus qu'une bonne partie des transactions peuvent se faire de façon informelle. La faible durée de conservation de la majorité de ces produits fait aussi qu'il est difficile de remonter une filière pour tracer des produits qui seront fort probablement déjà consommés en raison de leur courte durée de conservation. Finalement, étant donné la taille du marché pour ces produits, la traçabilité offre moins d'avantages et pourrait représenter des coûts prohibitifs.

Conclusion

Le développement agricole de la zone d'étude par le biais de l'irrigation est une condition nécessaire du passage d'une agriculture traditionnelle et aléatoire à une agriculture moderne et sécurisée qui insufflera avec certitude un développement économique à toute la région.

VI CHOIX AGRONOMIQUES ET BESOINS EN EAU

Introduction

Le chapitre V présente pour sa part la description du potentiel agronomique des EUE et le choix de spéculations agricoles.

VI.1 Choix agronomiques

VI.1.1 Spéculations

Conformément à l'étude agro-économique, le choix des cultures s'est porté sur des spéculations déjà présentes sur la zone et qui, de plus, offrent de bonnes perspectives pour la réutilisation des eaux usées épurées.

Le palmier dattier est la culture ancestrale dans les oasis et l'étude sur le terrain a confirmé cette pratique en révélant également la présence de deux autres types de productions aux étages inférieurs qui sont principalement destinées à l'autosuffisance des familles d'agriculteurs et à la vente au détail. Située au niveau de la strate intermédiaire, on retrouve la culture d'arbres fruitiers tels abricotiers, grenadiers et figuiers tandis qu'au niveau du sol ce sont les cultures maraîchères et fourragères qui dominent.

VI.1.2 Assolement

L'assolement type sera donc constitué de cultures pérennes en alternance sur la même rangée, à savoir le palmier dattier, un fruitier et une culture maraîchère ou fourragère en intercalaire. Pour les besoins de la détermination des besoins en eaux, le trèfle bersim et le piment (poivron) seront respectivement la plante fourragère et la culture maraîchère utilisées pour la conception du système d'irrigation. La **figure V.1** représente le schéma type de l'assolement.

Il est utile de préciser ici que sur la base des cultures en cours sur le périmètre, la tomate, le piment, le poivron et le clou de girofle, demeureront les seules cultures maraîchères envisageables dans le périmètre irrigué à partir des EUE.

La détermination des coefficients culturaux K_c des différentes cultures ainsi que la durée de leurs différentes périodes de croissances s'est largement inspirée de la méthode préconisée par la

FAO dans Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirement. De plus, le calendrier de l'assolement respecte les pratiques observées dans la zone de l'étude.

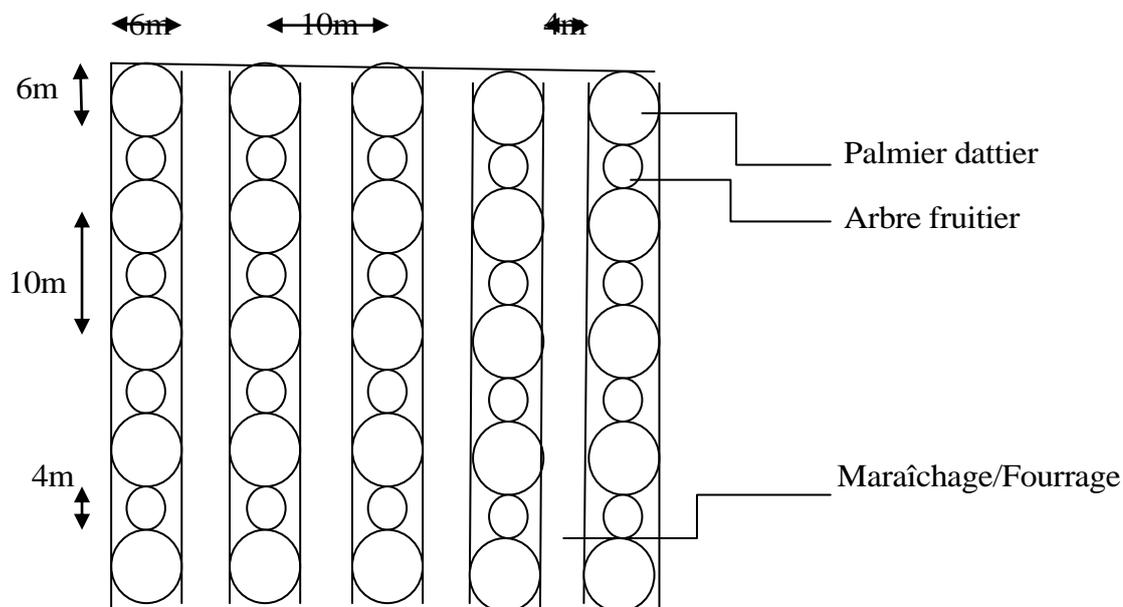


Figure VI.1 Schéma type de l'assolement

Le tableau VI.1 présente le calendrier de l'assolement ainsi que le coefficient cultural (Kc) mensuel de chaque spéculation. De la figure VI.1, il a été déduit le pourcentage de la superficie totale qu'occupe chaque culture et qui se retrouve dans le tableau VI.1. Le palmier dattier occupe 35% de l'aire totale, le fruitier 15% et les cultures maraîchères et fourragères 50%.

Tableau VI.1 Calendrier d'assolement-Touggourt

Spéculation	Superf. %	Kc												Total
		fév	mar	avr	mai	juin	juil	Aou	sep	Oct	nov	Déc	Jan	
Palmier dattier	35	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.87	0.85	0.9	0.9	0.9	0.9	0.89	305
Fruitiers	15			0.4	0.6	0.8	1.0	1.1	1.1	1.1	0.4			245
Piment	25						0.6	0.8	1.05	0.9				110
Trèfle bersim	50	0.9	0.9	0.9	0.85	0.85					0.4	0.65	0.9	245
										0.65	0.9			
Période		initial	développement			maturation		final						

V.2 Etude hydrologique :

Au niveau de cette étude nous allons faire une analyse fréquentielle des précipitations afin de définir la probabilité d'occurrence d'une valeur théorique à partir des relevés pluviométriques sur un nombre assez long en admettant que chaque événement pluvieux prend une valeur indépendante et aléatoire lors de sa réalisation.

Cette analyse permettra de déterminer la hauteur de pluie qu'on est sûr de dépasser avec une probabilité donnée. Pour les projets d'irrigation, on adopte généralement les probabilités de dépassement de 4 années sur 5 soit une fréquence de 80%. Pour cela nous aurons dans un premier temps à faire le choix de la probabilité qui sera susceptible de s'ajuster d'une manière adéquate à notre échantillon, ce qui aura pour but d'ajuster d'une loi théorique de répartition des fréquences connues à la droite ou à la courbe expérimentale des fréquences de l'échantillon.

Dans un second temps nous aurons à estimer analytiquement ou graphiquement la valeur que prendra un événement quelconque pour une probabilité donnée et ce à partir de la loi ajustée. mais avant tout il y'a lieu de vérifier la fiabilité des données pluviométrique qui sont à notre niveau. Pour cela nous allons nous assurer de l'homogénéité des valeurs de cette série. (KULKER, 1988)

VI.2.1 Homogénéité de la série pluviométrique :

En générale, l'homogénéisation des données hydrologiques est indispensable, préalablement à toute exploitation hydrologique de ces dernières, car les mesures ne sont pas montées souvent avec soin. En effet, outre que la possibilité de données défectueuses ou sujette à caution, il arrive fréquemment qu'une station pluviométrique présente des interruptions dans les relevés, rendant difficile son utilisation.

La série à laquelle nous faisons allusion cette partie est la série enregistrée au niveau de la station pluviométrique de Touggourt, les valeurs de cette série sont représentées dans **l'annexe 01**.

Donc comme nous l'avons précédemment dit, nous allons dans cette partie tester l'homogénéité de cette série afin de détecter et de corriger les anomalies où les valeurs erronées qui peuvent exister. Pour cela nous allons utiliser le test de Wilcoxon.

VI.2.1.1 Test de Wilcoxon :

Ce test repose sur un procédé simple, permettant de tester l'homogénéité d'une série de données, sans qu'il fasse appel à une autre série pluviométrique homogène d'une station voisine, étalée sur la même période d'observation.

La vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique d'enregistrement complet, par le test de Mr Wilcoxon, repose sur le procédé ci-dessous : (KULKER, 1988)

*On divise la série complète des pluies moyennes annuelles de référence en deux sous séries : x et y de telle sorte que N1 et N2 représente respectivement les tailles de ces deux sous séries, (généralement on prend N2 >N1).

*On constitue par la suite, la série "x" unions "y" après avoir classé la série de pluie d'origine par ordre croissant. A ce stade, on attribue à chaque valeur de la série pluviométrique classée, son rang, tout en précisant à quelles sous-séries appartient-elle.

Une fois que ces opérations sont effectuées nous allons passer au test de Wilcoxon selon lequel une série est homogène avec une probabilité de 95% si :

$$W_{\min} < W_x < W_{\max}$$

Avec :

W_x : Somme des rangs de la sous série X ;

$$W_{\min} = \frac{(N_1+N_2+1) N_1 - 1}{2} - U_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{(N_1+N_2+1) N_1 * N_2}{12}}$$

$U_{1-\alpha/2}$: représente la valeur de la variable centrée réduite de Gauss correspondant à une probabilité de $1 - \alpha/2$ ($U_{95\%} = 1.96$)

$$W_{\max} = (N_1+N_2+1) N_1 - W_{\min}$$

Le tableau V-01, détaille le procédé de test d'homogénéité proposé par de Mr Wilcoxon pour la station de Touggourt.

On a donc :

$$W_{\min} < W_x < W_{\max} \Leftrightarrow 81.67 < 117 < 138.33$$

Après avoir vérifié la condition de Mr Wilcoxon, la série des précipitations moyennes annuelles est jugée homogène.

Tableau VI.1 : Test de Wilcoxon pour la série des données de la station de Touggourt

Rang	Série d'origine P (mm)	Série X (mm)	Série Y (mm)	Classement ↓ (mm)	X Union Y
1	148,4	148,4	35,2	168,7	X
2	42,8	42,8	141,2	155,7	Y
3	132,2	132,2	96,8	148,4	X
4	55,2	55,2	69,3	141,2	Y
5	48,7	48,7	168,7	132,2	X
6	61,4	61,4	25,7	96,8	Y
7	88,5	88,5	84,5	88,5	X
8	64,2	64,2	77,1	84,5	Y
9	46,4	46,4	55,7	77,1	Y
10	76,6	76,6	155,7	76,6	X
11	35,2	-	31,2	69,3	Y
12	141,2	-	-	64,2	X
13	96,8	-	-	61,4	X
14	69,3	-	-	55,7	Y
15	168,7	-	-	55,2	X
16	25,7	-	-	48,7	X
17	84,5	-	-	46,4	X
18	77,1	-	-	42,8	X
19	55,7	-	-	35,2	Y
20	155,7	-	-	31,2	Y
21	31,2	-	-	25,7	Y

N1	N2	Wmin	W _x	Wmax
10	11	81.67	117	138.33

Après avoir vérifié l'homogénéité de la série, il faudra choisir une loi de probabilité susceptible de s'ajuster d'une manière à notre échantillon. C'est à partir de loi, que l'on pourra estimer analytiquement ou graphiquement la valeur de la pluie moyenne annuelle d'une fréquence 80% avec une période de retour 5 ans, valeur à partir de laquelle nous pourrions estimer la pluie moyenne mensuelle de fréquence 80% sur la même période de retour

VI.2.2 Ajustement à la loi de Gauss

Le procédé de calcul consiste à:

- Classer les valeurs de l'échantillon par ordre croissant.
- Affecter un numéro d'ordre aux valeurs classées.
- Calculer la fréquence expérimentale par la formule de Hazen.
- Variable réduite de gauss :

$$U = \frac{X - \bar{X}}{\delta}$$

-Calcul des caractéristiques empirique de loi (X; d ; Cv ; CS=0).

*Le coefficient de variation :
$$Cv = \frac{\delta}{\bar{X}}$$

L'équation de la droite de Henry sur papier de probabilité gaussien:

$$XP\% = \bar{X} + \delta * U_{p\%}$$

Avec:

XP%: précipitation de probabilité P%.

U_{p%}: variable réduit de Gauss.

\bar{X} : Moyenne arithmétique.

δ : écart-type. (KULKER, 1988)

Pour les calculs on a utilisée le logiciel Hydrolab, les résultats de l'ajustement de la série des pluies annuelles sont regroupés dans le Tableau VI.2 et la Figure VI.1

Tableau VI.2 : Ajustement à la loi Normale (loi de Gauss)

Taille n= 21		Moyenne= 81,2142857			Ecart-type=43,5062327		I.C. à (en%)= 80		U Gauss= 1,2817	
Valeurs de départ	Valeurs Classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne Supérieure		
148,4	25,7	1	0,0238	-1,981	25,7	-4,97964203	-30,285485	13,3087694		
42,8	31,2	2	0,0714	-1,466	31,2	17,4552143	-3,3773969	33,0969152		
132,2	35,2	3	0,119	-1,18	35,2	29,8826382	11,3006165	44,2855216		
55,2	42,8	4	0,1667	-0,967	42,8	39,1279603	22,0716067	52,7578785		
48,7	46,4	5	0,2143	-0,791	46,4	46,7820589	30,8683589	59,8924778		
61,4	48,7	6	0,2619	-0,637	48,7	53,4940171	38,4757867	66,2554169		
88,5	55,2	7	0,3095	-0,497	55,2	59,6008788	45,2985495	72,1435642		
64,2	55,7	8	0,3571	-0,366	55,7	65,3057067	51,5777705	77,7384546		
46,4	61,4	9	0,4048	-0,241	61,4	70,7451966	57,4731397	83,1649184		
76,6	64,2	10	0,4524	-0,119	64,2	76,0206261	63,1002961	88,5181172		
35,2	69,3	11	0,5	0	69,3	81,2142901	68,5504178	93,8781628		
141,2	76,6	12	0,5476	0,119	76,6	86,4079453	73,9104543	99,3282753		
96,8	77,1	13	0,5952	0,241	77,1	91,6833748	79,263653	104,955432		
69,3	84,5	14	0,6429	0,366	84,5	97,1228647	84,6901168	110,850801		
168,7	88,5	15	0,6905	0,497	88,5	102,827693	90,2850072	117,130022		
25,7	96,8	16	0,7381	0,637	96,8	108,934554	96,1731545	123,952785		
84,5	132,2	17	0,7857	0,791	132,2	115,646513	102,536094	131,560212		
77,1	141,2	18	0,8333	0,967	141,2	123,300611	109,670693	140,356965		
55,7	148,4	19	0,881	1,18	148,4	132,545933	118,14305	151,127955		
155,7	155,7	20	0,9286	1,466	155,7	144,973357	129,331656	165,805968		
31,2	168,7	21	0,9762	1,981	168,7	167,408213	149,119802	192,714057		

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	117,822897	104,577125	134,04914	117,822897	0,8	0,5
0,5	0,000	81,2142901	68,5504178	93,8781628	81,2142901	0,5	2
0,2	-0,841	44,6056739	28,3794316	57,851446	44,6056739	0,2	1,3

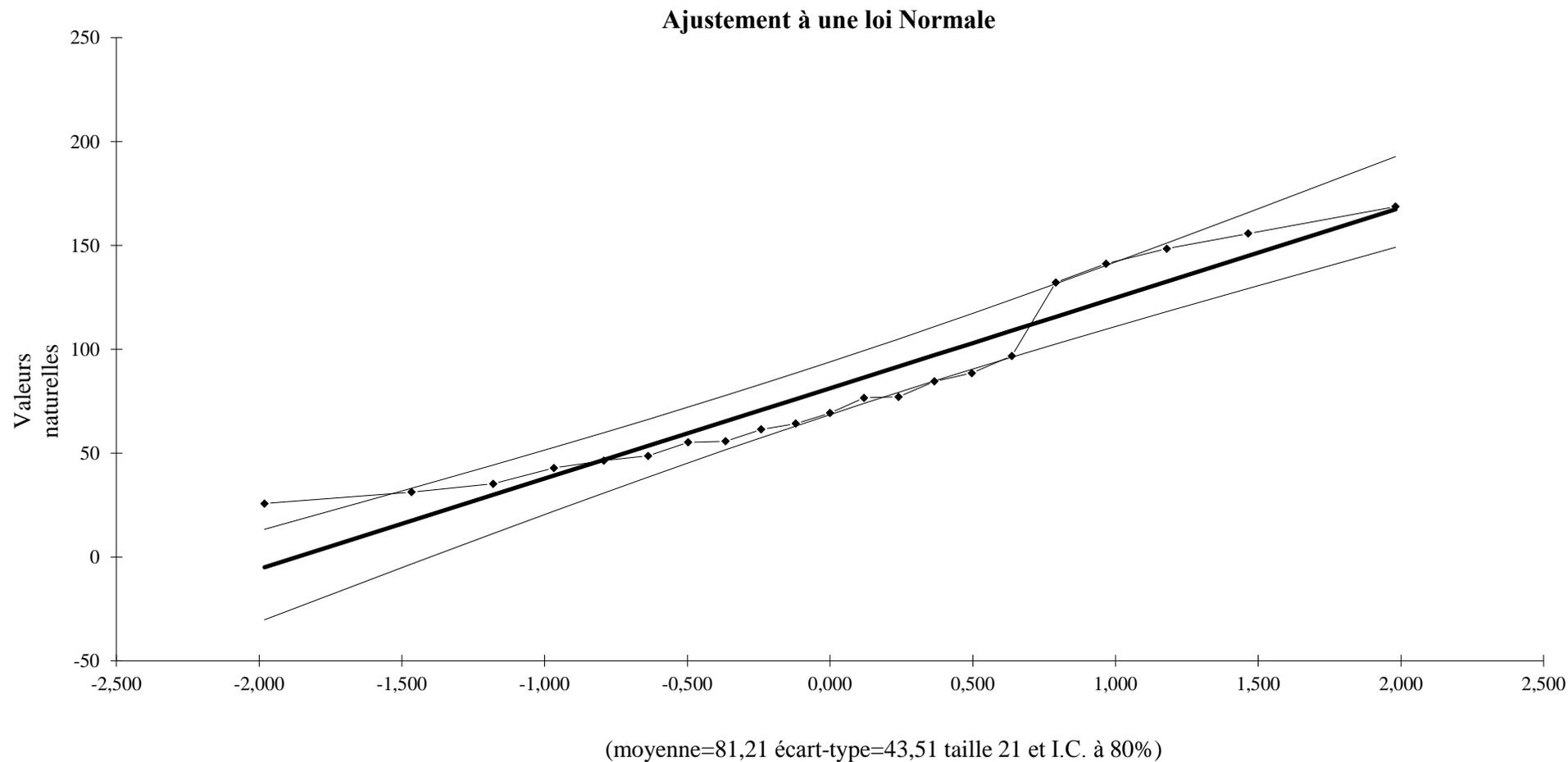


Figure VI.1 : Graphique d’ajustement annuel des pluies moyennes (1990-2010) à la loi normale
Station de Touggourt

- **Commentaire :**

Nous remarquons sur le graphique V.01 ci-dessus que toutes les valeurs observées sont toutes très proche de la droite d'ajustement (droite d'Henri). Ce que signifie que nous avons une bonne corrélation et que la loi d'ajustement considérée est bonne. Mais rien ne nous empêche de confirmer l'adéquation de la loi d'ajustement par un test de validité d'ajustement.

VI.2.2.1 Test de validité de l'ajustement à la loi de Gauss :

- **Test de Khi carrée:**

- On calcule χ^2 calculé.
- On calcule le nombre de degré de liberté γ :
- On détermine χ^2 théorique sur la table de Pearson III (voir tableau V-03 ci après)

Avec:

théorique =g (γ , α)

La loi est adéquate pour une erreur $\alpha=0.05$ si et seulement si : χ^2 calculé < χ^2 théorique.

Tableau VI.3 : table du χ^2 .

$\gamma \backslash \alpha$	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0.016	0.455	1.074	1.642	2.705	3.841	5.412	6.635	10.827
2	0.211	1.386	2.408	3.219	4.605	5.991	7.824	9.210	13.815
3	0.584	2.366	3.665	4.642	6.251	7.815	9.837	11.345	16.266
4	1.064	3.357	4.878	5.989	7.779	9.488	11.668	13.277	18.467
5	1.610	4.351	6.064	7.289	9.236	11.070	13.388	15.086	20.515
6	2.204	5.348	7.231	8.558	10.645	12.592	15.033	16.812	22.457
7	2.833	6.346	8.383	9.83	12.017	14.067	16.622	18.475	24.322
8	3.490	7.344	9.524	11.030	13.362	15.507	18.168	20.090	26.125
9	4.168	8.343	10.656	12.242	14.684	16.919	19.679	21.666	27.877

D'après le logiciel HYFRAN on obtenu les résultats suivant:

$$\chi^2_{\text{calculé}}=3.29 \quad \gamma =2$$

D'après la table de Pearson du χ^2 on a:

$$\chi^2_{\text{théorique}} = 5.991$$

$$\chi^2_{\text{calculé}}=3.29 < \chi^2_{\text{théorique}}= 5.991 \quad \text{Donc l'ajustement est à considérer.}$$

V.3 Détermination de l'année de calcul :

Détermination de l'année de calcul à pour but de connaître la quantité de pluie qui peut être utilisée par la plante; elle est une fraction de la pluie efficace (pluie de probabilité 80%), (de l'année de calcul de P80%) Pour trouver la pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80% on utilise la loi suivante :

$$P_{\text{moy 80\% de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque mois}} * \frac{P_{\text{théorique 80\% annuelle}}}{P_{\text{théorique 50\% annuelle}}}$$

$$P_{\text{théorique 80\% annuelle}}=117,823\text{mm.}$$

$$P_{\text{théorique 50\% annuelle}} = 81,214\text{mm.}$$

Nous avons les résultats de calcul donnés par le tableau suivant:

Tableau V.4 L'Année de calcul.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil	Aou	Année
Pmoy (mm)	8.64	7.35	6.48	6.78	23.87	3.50	7.25	6.96	4.73	0.93	0.73	4.01	81.21
Pmoy80% (mm)	12.54	11.33	9.40	9.84	34.64	5.08	10.52	10.10	6.86	1.35	1.06	5.82	117.84

VI.4 Détermination des besoins en eau des cultures

L'utilisation du logiciel CropWat a permis de déterminer les besoins en eau des cultures en utilisant les données du tableau V.1 et également les informations climatologiques de la station de Touggourt au format CropWat recueillies sur le site de la FAO. Ces informations donnent l'évapotranspiration mensuelle moyenne et la pluviométrie mensuelle moyenne. Pour que les calculs restent valables quatre années sur cinq, les pluies correspondant à la quinquennale sèche ont été utilisées. Ainsi un coefficient de 0,7 a été affecté aux valeurs pluviométriques mensuelles car un manque de données à la station de Touggourt nous a enlevé la possibilité d'un traitement statistique. Cependant, du fait d'un régime de pluie très faible, cette approximation est tout à fait acceptable.

D'autre part, le logiciel CropWat utilise la formule de Penman pour déterminer l'évapotranspiration potentielle (ETP) de chaque culture qui elle-même entre dans le calcul des besoins en eaux de la plante. Or, cette formule de Penman doit être adaptée aux différentes situations des plantes et notamment lorsqu'il s'agit de cultures sous-jacentes à l'abri des palmiers dattiers. En effet, dans le mésoclimat créé par la palmeraie, la plante, transpirant moins, diminue sa consommation en eau dans des proportions d'autant plus importantes que la densité du couvert végétal est élevée. Georges Toutain dans *Eléments d'agronomie saharienne* préconise d'affecter à l'ETP des cultures sous-jacentes aux palmiers dattiers un coefficient de 0,75 dans le cas d'une palmeraie à recouvrement incomplet (densité 10 m * 10 m et distance entre frondaisons 4 m). Par sécurité, il a affecté le coefficient 0,8 à l'ETP des cultures sous-jacentes pour traduire l'ambiance palmeraie.

Les résultats de l'évapotranspiration de référence ETo calculés à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0 sont récapitulés dans le tableau ci-après.

Tableau V-06 : Evapotranspiration en mm/mois

ETo Penman-Monteith par mois - untitled

Pays Station

Altitude m. Latitude °N Longitude °E

Mois	Temp Min	Temp Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ETo
	°C	°C	%	m/s	heures	MJ/m ² /jour	mm/mois
Janvier	4.6	17.1	66	2.4	7.6	12.2	62.35
Février	5.9	20.3	52	2.6	7.9	14.8	86.85
Mars	9.9	23.9	48	3.3	8.9	19.1	143.04
Avril	13.9	28.1	42	3.8	9.5	22.5	192.03
Mai	18.7	33.5	38	3.9	10.4	25.2	252.88
Juin	23.5	38.8	33	3.5	10.9	26.3	280.74
Juillet	26.7	41.2	31	3.3	11.9	27.5	308.05
Août	26.1	41.0	33	2.9	11.2	25.3	278.26
Septembre	22.1	35.9	44	2.9	9.1	20.1	205.67
Octobre	16.5	30.5	50	2.5	8.7	16.6	148.97
Novembre	9.5	22.9	59	2.5	8.2	13.3	90.83
Décembre	5.5	18.4	66	2.5	8.0	11.8	65.30
Moyenne	15.2	29.3	47	3.0	9.4	19.5	2114.97

VI.5 Calcul de la pluie efficace :

Pour tenir compte des pertes, le programme CROPWAT, nous permet de calculer la précipitation efficace, définie comme étant la fraction des précipitations contribuant effectivement à la satisfaction des besoins de l'évapotranspiration de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface, par percolation en profondeur, etc.

Il est difficile d'évaluer les pluies efficaces sans avoir recours à des mesures effectuées pendant de longues périodes, en différents endroits.

Tableau VI.7 Les pluies efficaces calculées à l'aide du logiciel CROPWAT.

Station		Méthode Précipitations eff.	
Touggourt		Pourcentage fixé	
	Pluie	Pluie eff.	
	mm	mm	
Janvier	23.9	19.1	
Février	3.5	2.8	
Mars	7.3	5.8	
Avril	7.0	5.6	
Mai	4.7	3.8	
Juin	0.9	0.7	
Juillet	0.7	0.6	
Août	4.0	3.2	
Septembre	8.6	6.9	
Octobre	7.4	5.9	
Novembre	6.5	5.2	
Décembre	6.8	5.4	
Total	81.2	64.9	

VI.6 Evaluation des besoins en eau :

Définition :

Le besoin en eau d'une culture est équivalent au niveau de l'évapotranspiration (ETM) nécessaire à sa croissance optimale; on sous-entend par l'ETM la somme de deux volumes d'eau à savoir

- Le volume transpiré par la plante
- le volume évaporé de la surface du sol

L'ETM dépend principalement de trois facteurs

1°) Le climat : et donc

- la pluviométrie
- insolation et luminosité
- humidité relative
- la température
- le ventetc.

2°) la plante : à savoir :

- nature de la plante (la plante elle même)

- phase de croissance de la plante
- densité de la couverture végétale

3°) **Le Sol** : principalement la texture

- Il existe plusieurs formules qui calcul l'ETP; principalement empiriques comme :

La formule de TURK

La formule de BLANEY CRIDDLE....etc

Dans notre étude on utilise la formule $ETM = K_C \cdot ET_0$

ET0 est calculé précédemment d'après la formule de PENMAN

K_C : coefficient culturale dépendant de la plante ainsi que de sa phase de croissance (profondeur d'enracinement).

Les résultats trouvés sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau VI.8 Besoins en eau des palmiers dattiers

RFU=90mm/m ; profondeur d'enracinement(d)=1m												
MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOUT
ET0 (mm/mois)	205,67	148,97	90,83	65,3	62,35	86,85	143,04	192,03	252,88	280,74	308,05	278,26
KC	0,9	0,9	0,9	0,9	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,87	0,85
ETM (mm/mois)	185,10	134,07	81,75	58,77	55,49	76,43	125,88	168,99	222,53	247,05	268,00	236,52
RFU (mm)	0	90	90	90	90	45	45	45	45	0	0	0
Peff(mm)	6,9	5,9	5,2	5,4	19,1	2,8	5,8	5,6	3,8	0,7	0,6	3,2
Besoin (mm)	178,20	38,17	-13,45	-36,63	-53,61	28,63	75,08	118,39	173,73	246,35	267,40	233,32
Besoin (mm)	178,2	38,17	0	0	0	28,63	75,08	118,39	173,73	246,35	267,4	233,32

$$\Sigma \text{Besoins} = 1359,27\text{mm}$$

Enfin, les cultures intercalaires, qui occupent la moitié d'un assolement type, ont été réparties comme suit :

- La culture fourragère (i.e. le trèfle bersim), qui s'étend d'octobre à mai, occupera la totalité des 50% pour une meilleure efficacité dans l'utilisation des eaux usées épurées ;
- La culture maraîchère (i.e. le poivron dans notre exemple) sera cultivée uniquement sur la moitié de cette superficie (25%) car cette culture, se faisant l'été, entraîne une concurrence avec les autres spéculations (palmier dattier et fruitier) pour l'apport en eau et le besoin de main d'œuvre.

Au final, les besoins annuels en eau par hectare de l'assolement type présenté sont d'environ 18 000 m³. Sachant que le volume fourni annuellement par la STEP est de 2 712 000 m³ (en 2015), la surface maximale potentiellement irrigable est 170 ha. A l'opposé, la surface minimale potentiellement irrigable en absence de stockage est de 100 ha.

VI.7 Caractérisation des apports en eaux usées épurées et des eaux de forage

Le débit moyen journalier des EUE prévu pour l'horizon 2015, horizon de calcul, est de 7 431 m³/j ce qui équivaut à 0.086 m³/s. Compte tenu des coefficients d'évolution mensuelle, le volume journalier de l'effluent pour chaque mois évolue comme suit :

Tableau VI.9 Débit journalier rejeté par la STEP (m³/j) – Année 2015

Touggourt	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Coefficient d'évolution mensuelle	0.8	0.7	0.75	0.8	1.0	1,1	1,3	1,5	1,2	1,1	0,9	0,85
Débit journalier (m ³ /j)	5945	5202	5573	5945	7431	8174	9660	11146	8917	8174	6688	6316

Les bassins de stockage intersaisonniers prévus à la sortie de la STEP permettront de régulariser les EUE en fonction des besoins d'irrigation.

Toutefois, le recours à l'apport en eau des forages s'impose pendant les mois de pointe (mai-septembre).

En fait, l'apport en eau des forages dans le bilan hydrique annuel permet d'augmenter la surface potentiellement irrigable par les EUE. L'évolution de la demande en eau pour les cultures est une courbe qui connaît des pics d'intensité élevée en de courtes périodes (de l'ordre de la semaine, voire du jour). L'avantage indéniable de l'apport des forages est sa capacité de soutenir cette demande en eau ponctuellement de manière significative.

Deux forages existants au voisinage des bassins de stockage seront affectés directement vers la tête du réseau. Les autres forages existants dans le site seront affectés aux exploitations avoisinantes et hors site de REUE.

D'autre part, sachant que les EUE seront utilisées pour l'irrigation de parcelles agricoles et qu'elles contiennent des concentrations non négligeables de nutriments, les apports de ces derniers ont été

évalués sous la forme de charge (kg/ha) en multipliant la concentration moyenne du nutriment par le volume d'EUE qui arrosera les terres. Par la suite, les amendements nécessaires de phosphore, d'azote et de potassium ont été évalués sous la forme de charge (kg/ha) pour les cultures les plus usuelles de la région. Ainsi, pour chaque nutriment considéré, le ratio de la charge contenue dans les EUE par la charge nécessaire représente le niveau d'économie du volume d'engrais à ajouter aux sols.

VI.8 Délimitation des zones à irriguer

En tenant compte de l'existence des forages dans la zone de l'étude, il est possible d'irriguer 170 ha. Avec une réutilisation de la totalité des eaux usées épurées rejetées annuellement par la STEP.

Le choix des limites du périmètre couvrant les 170 ha. Potentiels s'est basé sur la disponibilité de terres agricoles à proximité du site de rejet, sur la demande en eau actuelle des palmeraies actuelles. Les exploitations existantes ont donc été préférées à celles potentielles non développées pour lequel le futur demeure incertain.

Conclusion

L'étude des besoins en eau nous a permis de déterminer la quantité d'eau nécessaire pour les cultures de notre parcelle.

VII. ETUDE D'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE

Introduction

Le présent chapitre résume l'étude sommaire du schéma d'aménagement hydraulique nécessaire répondant aux choix couverts au chapitre précédent.

VII.1 Bassin de stockage :

Les bassins de stockage et de finition seront situés de l'autre côté du chenal par rapport à la STEP. Il y aura trois bassins d'une capacité totale avoisinant 460 000 m³ et fonctionnant alternativement afin d'alimenter le réseau d'irrigation en eau usée épurée. Le fonctionnement global du système est prévu de telle sorte que le temps de séjour de l'eau dans les bassins soit suffisant pour augmenter sa qualité ($T_s \geq 25$ jours).

L'**Annexe A** montre l'évaluation qui a été faite pour le dimensionnement des bassins de régulation et de stockage saisonnier.

VII.2 Poste de pompage vers le périmètre irrigué

Le poste de pompage sera composé d'un système de pompes en couplage qui alimenteront le réseau d'irrigation. La combinaison de plusieurs pompes ayant des plages de fonctionnement étalées et complémentaires va pouvoir définir une station de pompage assez flexible pour éviter que certaines pompes ne doivent démarrer et arrêter fréquemment.

VII.2.1 Etude des variantes :

L'étude des variantes a pour objet le choix du tracé le plus économique possible de la conduite ainsi que le choix de l'emplacement adéquat de station de pompage.

Le principe de cette variante, l'adduction comportera une partie gravitaire partant de la STEP de Touggourt jusqu'au le bassin qu'implanté à la côte 59,87NGA.

VII.2.2 Dimensionnement de l'adduction gravitaire :

VII.2.2.1 **Détermination du diamètre de la conduite gravitaire :**

La formule la plus utilisée pour le calcul de la perte de charge pour un écoulement dans une conduite est celle de Darcy-Weisbakh :

$$\Delta H_t = \frac{K' * L * Q^\beta}{D_{av}^m}$$

ΔH_t : Perte de charge totale (m);

K' : Coefficient de frottement ;

L : Longueur de la conduite (m) ;

Q : Débit véhiculé par la conduite (m^3/s) ;

D_{av} : Diamètre avantageux calculé de la conduite (m) ;

β : Exposant tenant compte du régime d'écoulement ;

m : Exposant tenant compte du type du matériau.

Selon le type de matériau les coefficients K' , m et β sont donnés dans le tableau VII.1

On déduit alors le diamètre calculé de la conduite gravitaire :

D'après la formule (39)

$$D_{av} = \sqrt[m]{\frac{K' * L * Q^\beta}{\Delta H_t}}$$

Pour le plastique on prend : $K' = 0,001052$; $\beta = 2$; $m = 4,772$

$Q = 451/s$; $L = 273,55m$; $\Delta H_t = 0,3m$

Donc ; $D_{av} = 270mm$

$250mm < D_{av} < 300mm$

On va prendre les 2 diamètres et on calcule les longueurs ;

$$\Delta H_t = K' \cdot Q^\beta \left(\frac{L-x}{D_2^m} + \frac{x}{D_1^m} \right)$$

$D_1 = 250mm$; $D_2 = 300mm$

Donc ; pour $D_2 = 300mm$ $x_1 = 128m$; et pour $D_1 = 250mm$ $x_2 = 146m$

VII.2.2.2 Détermination de Hmt de la pompe qui refoule dans la conduite principale:

$$H_{mt} = H_g + \Delta H_t + 10$$

Avec :

H_{mt} : Hauteur manométrique totale (m) ;

H_g : Hauteur géométrique = 4,3m ;

Dans ce cas les pertes de charge singulières sont estimées à **15%** des pertes de charge linéaires.

$$\Delta H_t = 1,15 * \Delta h_p^{lin}$$

Δh_p^{lin} : Perte de charge linéaire (m).

On a: $Q = 16,8l/s$; $L = 1052m$; $D_{av} = 125mm$

D'après (VI-1) $\Delta h_p^{lin} = 6,37m$; $\Delta H_t = 7,33m$

$H_{mt} = 21,63m$.

D'après le logiciel de CAPRARI; on trouve en fonction de (Q, HMT), une pompe de type (MEC-AZ1/50B) ; (voir l'annexe N°04).

Tableau VII.1 : Les caractéristiques de la pompe.

N°	Q(l /s)	Pompe choisi	η (%)	N (t/min)	P (kw)	NPSHr(m)	H(m)
01	16,8	MEC-AZ1/50B	73,6	2950	5,07	4,96	21,6

Il sera placé à la sortie des groupes l'appareillage suivant d'amont vers l'aval :

- ventouse à double effet,
- 1 manomètre,
- clapet de non-retour à membrane,
- un compteur de volume de type irrigation,
- vanne d'isolement avec by-pass,
- réservoir anti-bélier à membrane,
- vanne de vidange manuelle.
- limiteur de débit.

VII.2.3 Dispositif anti-bélier :

Etant donné l'importance des débits transportés et des vitesses atteintes dans les canalisations, il faut porter une attention particulière à la protection contre les coups de bélier.

Les coups de bélier sont dus à une variation de la vitesse de l'eau qui entraîne des variations de pression d'autant plus accusées que le gradient par rapport au temps de la variation de vitesse est plus grand.

Le démarrage d'une pompe crée une onde de surpression qui se propage dans la canalisation de refoulement. En général, cette surpression est moins dangereuse que celle créée par l'arrêt des pompes, et c'est d'autant plus qu'il est facile d'imposer, par un jeu de relais chronométrique, un échelonnement dans le démarrage des pompes, alors que, quel que soient les précautions prises, une disjonction électrique entraîne l'arrêt brutal et simultané de toutes les pompes.

L'arrêt des pompes crée une onde de dépression, qui risque de mettre tout ou une partie de la conduite en cavitation et qui est suivie d'une onde de surpression très dangereuse.

VII.2.4 Appareillage d'équipement du réseau :

VII.2.4.1 **Vannes** :

Elles sont nécessaires pour l'exploitation des réseaux, puisque permettent d'en isoler une partie pour l'intervention sans arrêter totalement l'irrigation.

Les vannes de section sont installées automatiquement au départ de toutes les branches et des sous branches.

VII.2.4.2 Vanne de sectionnement :

Les vannes de sectionnement sont utilisées dans le réseau d'irrigation pour isoler les appareils placés en dérivation sur le réseau sur lesquelles il sera possible d'intervenir pour réparation ou réalisation d'un piquage.

Assurer une rotation entre les deux secteurs, en cas où la STEP ne produit plus le débit nécessaire au périmètre.

VII 2.4.3 Ventouses :

Les ventouses sont placées aux points hauts des adductions.

VII.2.4.4 Vidange :

Les vidanges sont placées au niveau des points bas pour permettre l'évacuation gravitaire de l'eau.

VII.2.4.5 Cheminée d'équilibre ou d'entrée d'air :

Ces ouvrages sont utilisés pour une entrée d'air aux points hauts pour éviter une mise en dépression des conduites : du fait d'une ligne piézométrique très proche du profil du terrain naturel. Ces ouvrages remplacent les ventouses qui ne peuvent pas fonctionner correctement sous très basse pression. La hauteur des cheminées est calculée par rapport aux plus hautes eaux dans le réservoir plus 50cm.

VII.2.4.6 Clapet de non retour :

Les clapets de non retour sont utilisés pour éviter un retour d'écoulements, ces appareillages sont disposés dans des chambres de vannes.

VII.3 Système d'irrigation

VII.3.1 Méthode d'irrigation

Pour l'ensemble de la zone à irriguer délimitée au paragraphe V.4, l'irrigation de surface sera mise en place car elle bénéficie de deux avantages importants : ses faibles coûts d'investissement et d'entretien ainsi qu'un contact direct entre l'eau et les plantes réduit au minimum. La méthode retenue sera celle de l'irrigation à la raie. La surface à irriguer sera aménagée en billons et sillons. L'eau admise dans les sillons humidifie le sol par infiltration latérale et verticale ainsi que par l'action capillaire. Cette méthode ne peut-être envisagée que sur des sols à pentes douces (< 2%), ce qui est le cas pour la zone de Touggourt. Le système de distribution interne d'un îlot d'irrigation comprendra les rigoles ou les conduites qui amènent l'eau depuis la borne jusqu'aux raies. Un système de batardeaux portatifs sera mis en place afin de répartir la lame d'eau entre les raies.

L'irrigation à la raie se subdivise en 5 techniques permettant d'apporter de l'eau aux raies d'irrigation. Ces techniques sont :

- Le siphon
- La gaine souple
- Les canaux à vannette
- Le système californien
- La transirrigation

La méthode du siphon est la plus simple et la moins chère. Le siphon présente néanmoins l'inconvénient de devoir être réamorçé en cas baisse du niveau dans le canal d'approvisionnement principal. Selon l'équipement et la pression, le débit varie de 0,4 à 2 l/s. Notons que le débit n'est pas modifiable.

Amorçage du siphon

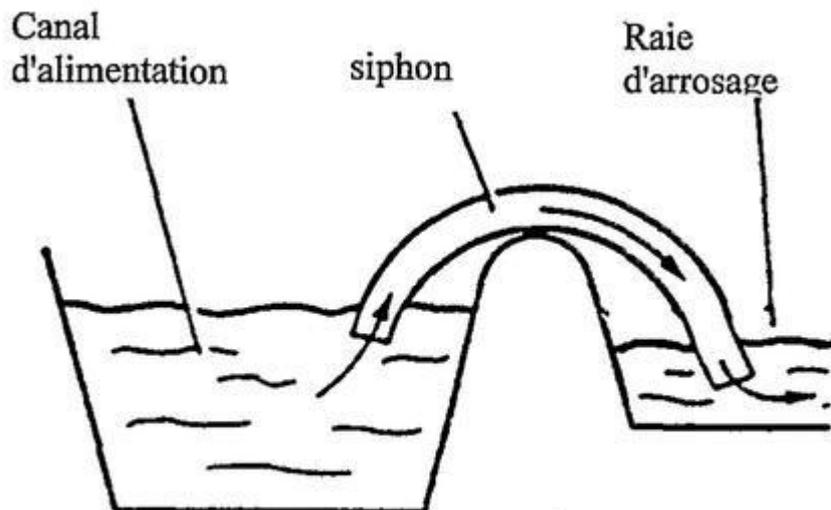


Fig. 2 - Siphon



Figure 33: alimentation des raies par siphons

Le système de la gaine souple est un système un peu amélioré. Il consiste en une manche en plastique souple reliée à plusieurs manchettes venant alimenter les raies d'irrigation. Le débit de 2l/s environ est modifiable grâce un dispositif permettant de resserrer la gaine souple. Ils sont facilement montables et démontables et ne font pas obstacles au passage des engins agricoles.

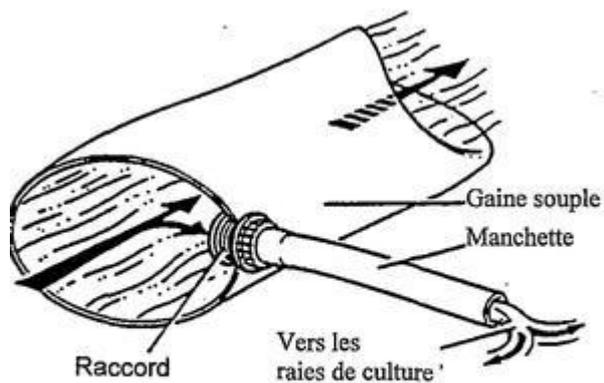


Fig. 3 - Gaine



Figure 35: gaines aplaties au sol



Figure 34: irrigation gravitaire par gaine souple.

Les tubes à vannettes sont des tubes en PVC rigides équipés de vannes que l'on peut plus ou moins ouvrir afin de modifier le débit d'arrivée. Le débit peut varier de 0,4 à 4l/s. C'est un système facilement installable et raccordable au réseau. Il permet de plus, de contrôler très précisément le débit et la dose. Il fait toutefois obstacle au passage des engins agricoles.

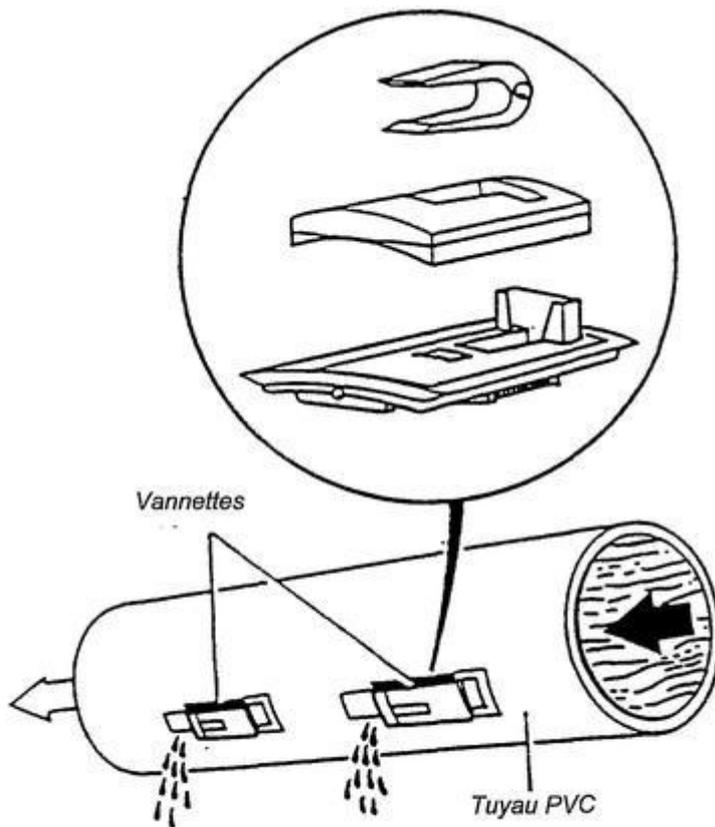


Fig. 4 - Tubes à vannettes



Figure 36:vannette coulissante réglant le débit dans la raie

Le système californien est une méthode dans laquelle les sont enterrées en tête de parcelle. Des cheminées verticales sortent en surface et emmènent l'eau dans les raies d'irrigation. Ces cheminées peuvent être régulées par des gaines souples ou vannette. C'est un système fixe, il n'y a donc aucune

manipulation. Il ne gêne pas le passage des engins agricoles. Néanmoins sa pose demande des travaux d'installation ainsi qu'une étude hydraulique correcte.

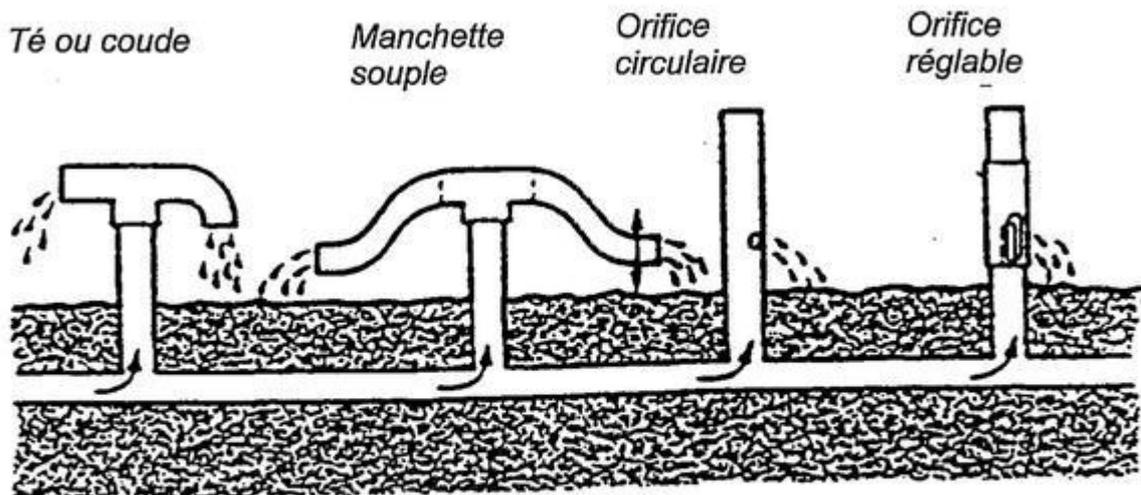


Fig. 5 - Système "californien"



Figure 38:tuyau enterré avec canne (système californien)

Le système le plus récent est appelé système de transirrigation. Un tube en PVC est disposé en tête de parcelle. Ce tuyau est percé de trous équidistants. C'est le déplacement d'un piston à l'intérieur de ce cylindre qui met en mouvement la masse d'eau contenue dans le tuyau et permettant l'alimentation des raies. Du fait du système, le débit s'annule de lui-même au dernier trou, ce qui permet un contrôle

très précis des doses. Le système peut être enterré ou à ciel ouvert. Il peut être complètement automatisé. Cependant, sa pose nécessite une étude hydraulique sérieuse et beaucoup de soin.

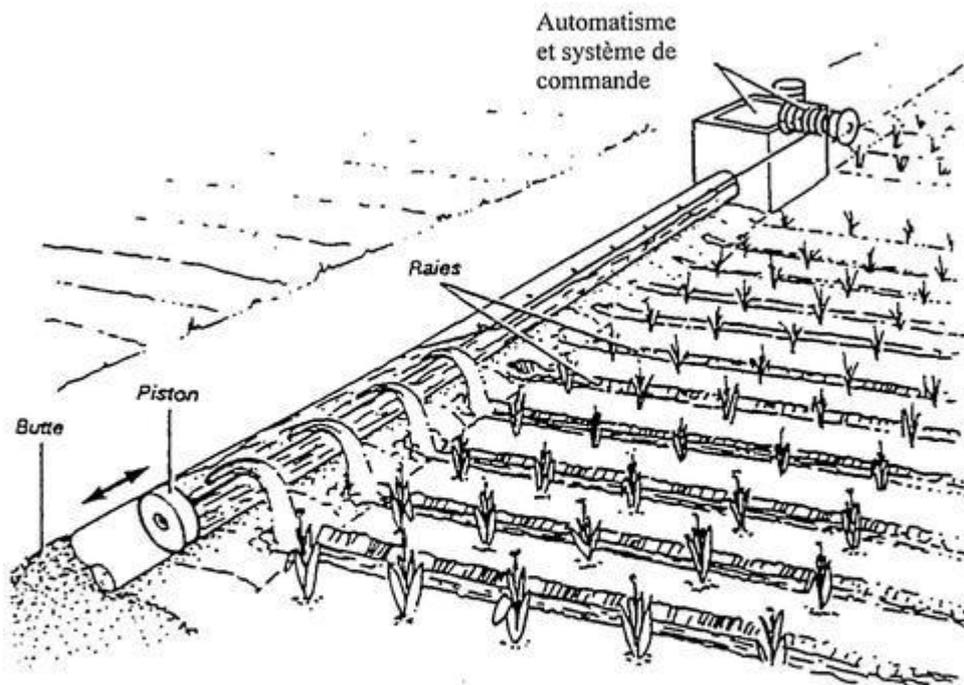


Fig. 6 - Transirrigation

VII.3.2 Disposition d'un îlot d'irrigation

Compte tenu de la faible superficie moyenne des unités foncières existantes, la taille de l'îlot d'irrigation a été fixée à 2 ha. Les petites parcelles inférieures à 2 ha. Seront regroupées en îlot afin de limiter le nombre de borne d'irrigation. Lorsque la disposition des îlots le permet, il y aura une double borne qui sera simplement constituée de deux bornes distinctes mais partageant la même dérivation au niveau de la conduite secondaire (figure VII.1). Il y aura une borne par îlot et chaque borne aura les fonctions suivantes :

- Ouverture/fermeture de l'alimentation en eau ;
- Réglage du débit ;

- Régulation de la pression en aval ;
- Comptage du volume d'eau utilisé.

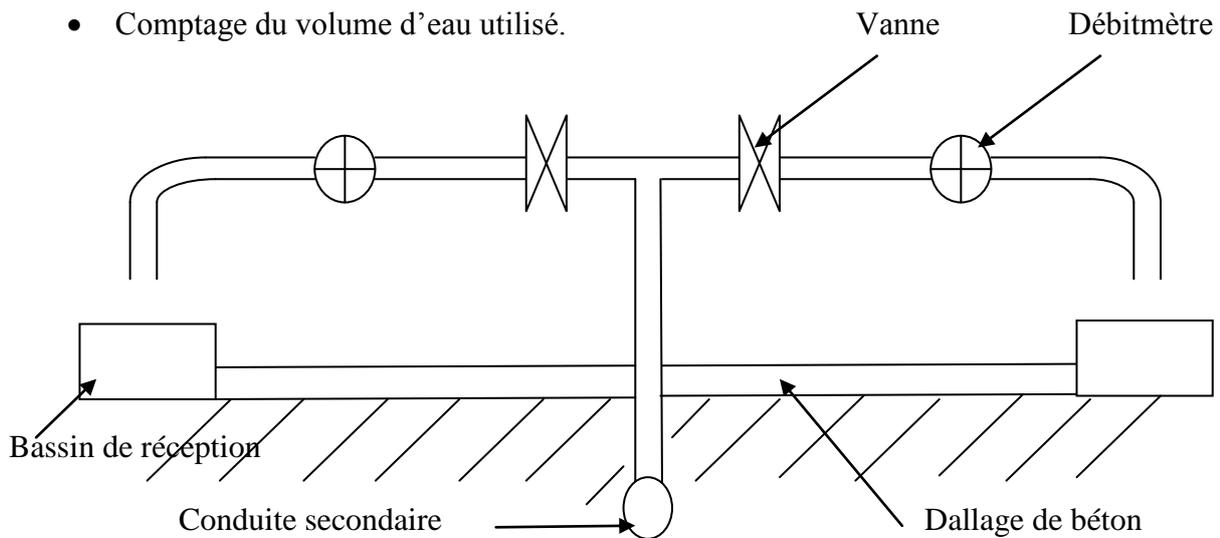


Figure VII.1 Schéma type d'une double borne

VII.3.3 Débits spécifiques :

Le but est de définir les débits nécessaires que le système d'irrigation doit véhiculer pour répondre à la demande en eau des cultures. Le débit spécifique ou débit fictif continu représente le débit qui devra être véhiculé par le système d'irrigation pour satisfaire les besoins en eau des cultures durant le mois de pointe pendant un nombre fixe d'heures par jour et pour une surface d'un hectare. Ce débit est donné par la relation suivante :

$$q = \frac{B}{T * t * E * 3,6}$$

Avec :

B : besoins nets en eau des cultures (m³/ha).

T : durée de l'irrigation en jours (T = 31).

t : durée de l'irrigation en heures par jour (t = 16h).

E : valeurs de l'efficiencia des irrigations ≈ 0,80.

Remarque : Pour le calcul des débits de pointe des modèles :

- Si $q < 1,5 \text{ l/s/ha}$: la valeur de débit spécifique est acceptable;
- Si $q > 1,5 \text{ l/s/ha}$: on prend la valeur de débit spécifique de la culture la plus exigeante du modèle du mois de pointe

$$q = \frac{13592,7}{31 * 16 * 0,8 * 3,6} = 9,51 \text{ l/s/ha}$$

$q = 9,51 \text{ l/s/ha} > 1,5 \text{ l/s/ha}$; on prend la valeur de débit spécifique de la culture la plus exigeante du modèle du mois de pointe.

$$q = \frac{2463,5}{31 \times 16 \times 0,8 \times 3,6} = 1,72 \text{ l/s/ha} ; \text{ On prend } q = 1,5 \text{ l/s/ha.}$$

La culture du palmier étant exigeante en eau surtout au mois de pointe, nous adopterons donc le débit spécifique maximal soit 1.5l/s .Le temps d'arrosage pourra combler ce déficit.

VII.3.4 Débits caractéristiques :

Le calcul des débits caractéristiques permet de définir le débit maximum que le système de dessert aura à fournir pour l'irrigation de chaque parcelle, déterminé en multipliant le débit spécifique de pointe par la surface agricole utile ;

$$Q = q * S$$

Avec :

Q : Débit caractéristique en (l/s).

q : Débit spécifique de pointe d'îlots (l/s/ha).

S : Surface de l'îlot (ha).

$$Q = 1,5 * 2 = 3 \text{ l/s}$$

Compte tenu du plan de cultures proposé, le débit fictif continu de pointe correspond à 1.5 L/s/ha. Le débit de dimensionnement d'une borne sera alors de 3 L/s pour une période d'irrigation de 16 heures ($1.5 \text{ L/s/ha} \times 24 \text{ h}/16\text{h} \times 2 \text{ ha}$). De plus, à la sortie de la borne, le réseau devra assurer une pression minimale de 0.5 bar (ou 5 m CE). Le réglage du débit s'effectuera par l'intermédiaire d'une vanne déposée sur la tubulure. La borne sera en position centrale sur un des bords de l'îlot.

Une borne sera composée de tubulure en acier galvanisé, d'une vanne et d'un débitmètre. Ces éléments seront en acier galvanisé car les contraintes auxquelles ils seront soumis (manipulation humaine, exposition aux conditions extérieures, etc.) le justifient. De plus un dallage en béton sera prévu pour consolider la borne mais également assurer un sol sec pour les manipulations.

Chaque borne sera équipée d'un bassin de réception afin de dissiper l'énergie cinétique de l'eau qui pourrait causer de l'érosion et endommager les rigoles de distributions. Ce bassin servira également à alimenter ces mêmes rigoles.

VII.4 Réseau de distribution

VII.4.1 Présentation

Le réseau de distribution de l'eau usée épurée sera constitué d'une conduite primaire enterrée qui se séparera par endroits afin de pouvoir alimenter les différentes zones à irriguer situées de chaque côté

du chenal. Des vannes de sectionnement seront réparties tout le long du réseau à des points critiques afin de permettre d'isoler des tronçons pour des raisons de sécurité ou d'entretien. Les canaux secondaires, enterrés eux aussi, seront positionnés en général perpendiculairement au canal primaire. Pour faire la connexion avec la borne, des dériviatives partant du canal secondaire le plus proche de la parcelle seront installés. La **figure VII.2** montre le schéma type d'une partie du réseau. Toutes les conduites du réseau, hormis celles constituant la borne en elle-même, seront en PVC.

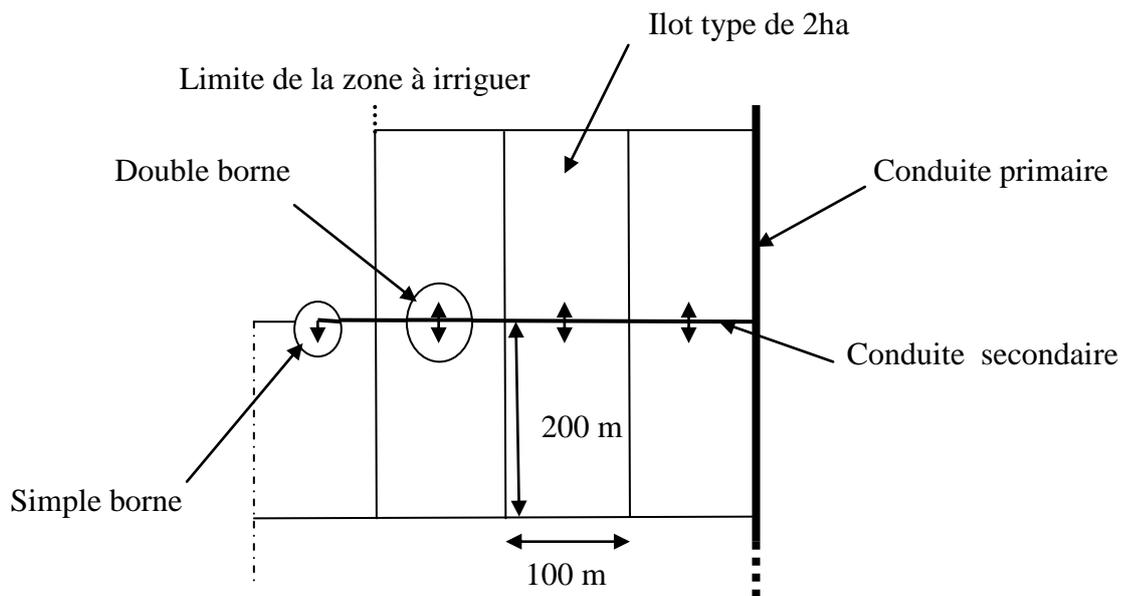


Figure VII.2 Schéma type d'une partie du réseau

VII.4.2 Dimensionnement

Ayant ainsi déterminé les débits de canalisations à transmettre pour chaque îlots, pour suit on fait la détermination des diamètres, pour ce la on utilise la formule suivante:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\Pi * V}}$$

Au début on va fixe la vitesse en 1,5 m/s, dans ce cas on a déterminer le calcul de diamètre il faut normalise les résultats en fonction de la dimension commercial des conduites.

(200, 150, 125, 100,60) mm puis on corrige la vitesse

$$V = \frac{4 * Q}{\Pi * D^2}$$

Le dimensionnement du réseau de distribution s'est effectué en deux étapes. Premièrement, il a été déterminé la perte de charge totale au niveau de chaque borne. Pour ce faire, les formules utilisées pour le calcul des pertes de charges linéaires et singulières sont les suivantes

$$Q = 52.6 \times D^{2.752} \times J^{0.54}$$

Formule pour les pertes de charges linéaires dans les tuyauteries en acier galvanisé où :

Q : débit dans la conduite en m³/s

D : diamètre de conduite en m

J : perte de charge en m/m

$$\Delta H = b \times K \times Q^2$$

Formule pour le calcul des pertes de charges singulières où :

ΔH : perte de charge singulière en m CE

b : constante qui dépend seulement du diamètre de la conduite

K : coefficient dépendant de la nature de la résistance locale

Q : débit dans la conduite en m³/s

Au final, la perte de charge totale est de l'ordre du mètre de colonne d'eau (m CE) que ce soit dans une borne simple ou dans une double borne.

Au cours de la deuxième étape, pour chaque secondaire et par la suite pour chaque primaire, le diamètre des conduites a été dimensionné de façon à constamment avoir une vitesse de l'eau comprise entre 0.5 et 1.5 m/s. Le calcul des pertes de charges dans le réseau a été calculé grâce à la formule suivante adaptée de celle de Colebrook :

$$J = 8.21 \times 10^{-4} \times D^{-4.76} \times Q^{1.76}$$

Q : débit dans la conduite en m³/s

D : diamètre de conduite en m

J : perte de charge en m/m

Pour tenir compte des pertes de charges singulières dans le réseau principal, une majoration de 10% a été appliquée à la valeur des pertes de charges linéaires.

Le tableau VII.2 récapitule les caractéristiques du réseau.

Tableau VII.2 Les caractéristiques du réseau

Type de réseau	Numéro de la section a partir de la tête	longueur (m)	Débit (l/s)	Diamètre (mm)	Pertes de charges
Primaire 1	1	350	45	200	2.86
	2	410	18	160	1.93
Primaire 2	1	315	204	400	0.65
	2	250	168	400	0.77
	3	200	147	400	0.48
	4	80	117	400	0.13
	5	220	18	160	1.04
	6	200	9	110	1.66
Primaire 3	1	10	21	160	0.06
	2	350	12	125	2.62
Primaire 4	1	20	99	400	0.02
	2	130	42	200	0.94
Primaire 5	1	310	57	250	1.33
	2	300	15	125	3.32
Secondaire 1	1	50	18	160	0.24
	2	100	12	125	0.75
	3	100	6	90	1.05
	4	100	3	63	1.7
Secondaire 2	1	50	27	160	0.48
	2	100	21	160	0.62
	3	100	15	125	1.11
	4	100	9	110	0.83
	5	100	3	63	1.7
Secondaire 3	1	50	36	200	0.28
	2	100	30	160	1.16
	3	100	24	160	0.78
	4	100	18	160	0.47
	5	100	12	125	0.75
	6	100	6	90	1.05

Type de réseau	Numéro de la section a partir de la tête	longueur (m)	Débit (l/s)	Diamètre (mm)	Pertes de charges
Primaire 1	1	350	45	200	2.86
	2	410	18	160	1.93
Primaire 2	1	315	204	400	0.65
	2	250	168	400	0.77
	3	200	147	400	0.48
	4	80	117	400	0.13
	5	220	18	160	1.04
	6	200	9	110	1.66
Primaire 3	1	10	21	160	0.06
	2	350	12	125	2.62
Primaire 4	1	20	99	400	0.02
	2	130	42	200	0.94
Primaire 5	1	310	57	250	1.33
	2	300	15	125	3.32
Secondaire 1	1	50	18	160	0.24
	2	100	12	125	0.75
	3	100	6	90	1.05
	4	100	3	63	1.7
Secondaire 2	1	50	27	160	0.48
	2	100	21	160	0.62
	3	100	15	125	1.11
	4	100	9	110	0.83
	5	100	3	63	1.7
Secondaire 3	1	50	36	200	0.28
	2	100	30	160	1.16
	3	100	24	160	0.78
	4	100	18	160	0.47
	5	100	12	125	0.75
	6	100	6	90	1.05

Type de réseau	Numéro de la section a partir de la tête	longueur (m)	Débit (l/s)	Diamètre (mm)	Pertes de charges
Secondaire4	1	50	30	160	0.58
	2	100	27	160	0.96
	3	100	21	160	0.62
	4	100	18	160	0.47
	5	100	15	125	1.11
	6	100	9	110	0.83
	7	100	3	63	1.07
Secondaire5	1	50	9	110	0.41
	2	100	3	63	1.7
Secondaire6	1	50	9	110	0.41
	2	100	6	90	1.05
	3	100	3	63	1.7
Secondaire 7	1	50	12	125	0.37
	2	100	6	90	1.05
	3	100	3	63	1.7
Secondaire 8	1	50	9	110	0.41
	2	100	3	63	1.7
Secondaire 9	1	50	42	200	0.36
	2	100	36	200	0.55
	3	100	30	160	1.16
	4	100	24	160	0.78
	5	100	18	160	0.47
	6	100	12	125	0.75
	7	100	6	90	1.05

Type de réseau	Numéro de la section a partir de la tête	longueur (m)	Débit (l/s)	Diamètre (mm)	Pertes de charges
Secondaire 10	1	50	42	200	0.36
	2	100	36	200	0.55
	3	100	30	160	1.16
	4	100	24	160	0.78
	5	100	18	160	0.47
	6	100	12	125	0.75
	7	100	6	90	1.05
Secondaire II	1	50	15	125	0.55
	2	100	12	125	0.75
	3	100	9	110	0.83
	4	100	6	90	1.05
	5	100	3	63	1.7

VII.5 Réseau de drainage

Il a été prévu d'effectuer la réfection du réseau de drainage existant. N'ayant aucune données topographiques précises du site à l'étude pour réaliser une étude détaillée, il a été alloué une somme forfaitaire devant couvrir cet aspect. Lors des travaux d'APD, les besoins de drainage seront étudiés en profondeur afin de tenir compte de l'hydromorphie observée dans certains secteurs du périmètre. Les besoins de lessivage seront aussi pris en compte pour le dimensionnement des drains.

La figure VII.3 présente ci-après le réseau d'irrigation.

Conclusion

Le choix du système d'irrigation reste toujours un critère de la réussite de l'investissement, un système d'irrigation mal choisi peut entraîner des pertes économiques très graves.

Les matériels modernes d'irrigation gravitaire permettent de mieux travailler en économisant la main-d'œuvre et en diminuant la pénibilité du travail.

Avec la modernisation c'est-à-dire l'automatisation de la technique de la raie, le contact physique entre l'eau usée et l'irrigant est presque nul. En plus, mis à part certaines cultures maraîchères, la contamination des produits agricoles sera considérablement réduite.

Le choix d'un équipement de surface moderne doit prendre en compte les caractéristiques des matériels disponibles et les contraintes d'utilisation.

VIII ASPECT ECONOMIQUE

Introduction

Le dernier chapitre présente les résultats d'étude du devis estimatif du coût de réalisation de notre projet, ce calcul consiste à déterminé les quantités de toutes les opérations effectuer sur le terrain, on multiplie le volume des travaux par le prix unitaire des frais d'équipement.

VIII.1 Identification des avantages et des coûts du projet :

Les avantages et les coûts de la réutilisation des eaux usées épurées sont fonction des usages qui sont faits de cette eau. Dans le cas de Touggourt, ces usages sont principalement l'irrigation agricole et, de façon beaucoup moins importante, l'utilisation municipale pour diverses activités telles le lavage des rues, le curage des égouts et l'arrosage des espaces verts.

VIII.1.1 Avantages du projet

Les avantages de la réutilisation des eaux usées épurées à Touggourt sont tout d'abord agricoles. Ils sont :

- L'augmentation de la valeur de la production agricole due à l'augmentation de la quantité d'eau disponible et à la plus grande constance de l'approvisionnement en eau ;
- La diminution des quantités d'engrais nécessaires due à la présence de nutriments dans l'eau usée épurée par rapport à l'eau actuellement utilisée ;
- La diminution des ressources (principalement l'énergie) nécessaires à l'approvisionnement en eau à partir de la nappe par des forages.

Les avantages des usages municipaux sont quant à eux les ressources épargnées puisque l'approvisionnement en eau par pompage de la nappe ne serait plus nécessaire.

VIII.1.2 Coût du projet

Les coûts considérés sont les coûts d'investissement et les coûts d'opération et d'entretien annuels nécessaires à l'implantation et à l'exploitation du réseau de collecte et de distribution des eaux usées épurées pour ses différents usages. Dans le cas de l'usage agricole, il s'agit principalement des coûts d'installation et de fonctionnement des conduites et stations de pompage visant à acheminer l'eau aux agriculteurs. Dans le cas de l'usage municipal, il s'agit des coûts d'achat et de fonctionnement des camions-citernes distribuant l'eau usée épurée aux différents postes d'utilisation. Cette méthode de distribution de l'eau municipale a été choisie car elle est la moins onéreuse. Les coûts d'opération et d'entretien incluent également les coûts associés au programme

de sensibilisation, accompagnement et assistance technique mis en place pour limiter les risques sanitaires liés à l'utilisation des eaux usées épurées.

Le tableau VIII.1 présente les résultats de l'estimation des coûts

Tableau VIII.1 Estimation des coûts

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Total (DA)
Pompe	U	1	2 000 000	2000000
Quincaillerie	U	1	500000	500000
Génie civil	U	1	1200000	1200000
TOTAL POMPAGE			3700000	
Réseau distribution				
Tube PVC D400 mm avec raccords	ml	865	2588	2238620.00
Tube PVC D250 mm avec raccords	ml	310	1031	319610.00
Tube PVC D200 mm avec raccords	ml	830	666	552780.00
Tube PVC D160 mm avec raccords	ml	2190	433	948270.00
Tube PVC D125 mm avec raccords	ml	1450	329	477050.00
Tube PVC D110 mm avec raccords	ml	650	252	163800.00
Tube PVC D90 mm avec raccords	ml	700	190	133000.00
Tube PVC D63 mm avec raccords	ml	800	90	72000.00
vanne 400 mm	U	4	178081	712324.00
vanne 250 mm	U	1	44840	44840.00
vanne 200 mm	U	5	30233	151165.00
vanne 160 mm	U	5	17768	88840.00
vanne 125 mm	U	2	10218	20436.00
vanne 110 mm	U	3	5076	15228.00
Té PVC 400 mm	U	6	45423	272538.00
Té PVC 250 mm	U	1	10164	10164.00
Té PVC 160 mm	U	1	2000	2000.00
Té PVC 110 mm	U	1	551	551.00
Té PVC 90 mm	U	5	500	2500.00
Té PVC 63 mm	U	4	450	1800.00
Té PVC 200-90 mm	U	5	8077	40385.00
Té PVC 160-110 mm	U	1	3029	3029.00
Té PVC 160-90 mm	U	13	3029	39377.00
Té PVC 160-63 mm	U	3	3029	9087.00
Té PVC 125-90 mm	U	2	1467	2934.00
Té PVC 125-63 mm	U	2	1467	2934.00
Té PVC 110-90 mm	U	4	805	3220.00
Té PVC 110-63 mm	U	2	805	1610.00
Réduction PVC 400-315	U	7	8000	56000.00
Réduction PVC 315-250	U	1	4632	4632.00
Réduction PVC 315-200	U	3	5685	17055.00
Réduction PVC 315-160	U	3	6500	19500.00

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Total (DA)
Réduction PVC 200-160	U	4	1534	6136.00
Réduction PVC 200-125	U	1	2000	2000.00
Réduction PVC 160-125	U	6	699	4194.00
Réduction PVC 160-110	U	1	699	699.00
Réduction PVC 125-110	U	3	394	1182.00
Réduction PVC 125-90	U	5	394	1970.00
Réduction PVC 110-90	U	2	221	442.00
Réduction PVC 110-63	U	4	221	884.00
Réduction PVC 90-63	U	4	160	640.00
Coude PVC 90° 200 mm	U	1	2000	2000.00
Coude PVC 90° 160 mm	U	2	138	276.00
Coude PVC 90° 125 mm	U	2	713	1426.00
Coude PVC 90° 110 mm	U	1	475	475.00
Coude PVC 90° 90 mm	U	3	360	1080.00
Coude PVC 90° 63 mm	U	8	107	856.00
Coude PVC 45° 400 mm	U	1	7500	7500.00
Borne simple	U	19	2500	47500.00
Borne double	U	32	4000	128000.00
Transport				3320013
Pose				1328005
Sous total équipement				11288043
Regard vanne sectionnement	U	20	45000	900000
Rénovation rigoles	m ²	3000	500	1500000
Abattage arbres + desouchage	U	425	6000	2550000
Décapage	m ²	15000	150	2250000
Ouverture et remblaiement de tranchées	m ²	22500	500	11250000
Remblai compacté	m ³	15000	300	4500000
Evacuation des terres excédentaires	m ⁴	15000	150	2250000
franchissement canal ou route	U	10	8000	80000
sous total Génie civil				25280000
Total réseau de distribution				36568043
Réseau de drainage				
Réfection du réseau existant	ml	3500	500	1750000
Programme de sensibilisation d'accompagnement et d'assistance technique				
Programme de contrôle au niveau de la santé				60000
Programme de vaccination		150	5000	750000
Programme de sensibilisation				60000
Protocole de contrôle de la qualité pour la datte				60000
Eléments de contrôle et de traçabilité				60000
Programme de sensibilisation/formation auprès de la population sur les pratiques				600000

d'hygiène requises pour les produits EUE

Total programme

1590000

Grand total

43608043

Conclusion

Le projet de REUE de Touggourt pour l'irrigation et divers usager municipaux augmente le bien-être social de la société.

Le tarif moyen du mètre cube d'eau usée épurée permettant la rentabilité financière du projet dépasse la capacité ou la volonté de payer des agriculteurs, il serait bénéfique pour la société algérienne que le gouvernement subventionne cette eau pour en faciliter l'accès.

CONCLUSION GENERALE

Entreprendre un projet de REUE est une démarche longue et délicate. Les eaux usées brutes sont très concentrées en polluants et leur utilisation présente un risque sanitaire potentiel élevé. Mais il existe des traitements suffisamment puissants pour permettre d'abaisser les concentrations en polluants, et donc le risque sanitaire, à un niveau acceptable. La qualité obtenue est même parfois meilleure que celle d'approvisionnements plus conventionnels (rivières, sources, etc.). Les eaux usées épurées permettraient de couvrir toute une gamme de besoins : agriculture, usages industriels, municipales, etc. Chaque besoin a des exigences différentes en terme de qualité.

Les eaux usées de la STEP de Touggourt sont d'une bonne qualité lui permettant facilement d'être utilisées dans le domaine agricole (irrigation).

Ce projet améliore les activités socio-économiques (sécurité ou création d'emploi, augmentation de la production d'aliments, support au tourisme, nouvelles opportunités pour le développement local).

L'irrigation gravitaire ne peut disparaître totalement, certains facteurs limitant tel que le climat (vent pour l'irrigation par aspersion...), la qualité des eaux (salinité, charge pour l'irrigation localisée), font qu'elle reste une technique nécessaire. Son importance et sa place dans l'ensemble des techniques seront fonction de son évolution et de son adaptation. Car du fait de son faible coût d'investissement et de fonctionnement à la parcelle, l'irrigation gravitaire ne peut être concurrencée par un autre mode d'apport d'eau pour irriguer des cultures intensives.

Un réseau d'irrigation a été conçu avec un dimensionnement adapté au type de culture et de débit disponible.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] **Office International de l'Eau**. Mai 1997. **Jean-Antoine FABY**.
Direction de la Documentation et des Données avec l'appui technique de **François BRISSAUD**. Université de Montpellier pp(73-86).
- [2] **Monchy,H.** -mémento d'assainissement :mise en service, entretien et exploitation des ouvrages d'assainissement.- 2^e ed.- Paris : Eyrolles, 1974- pp(25- 32).
- [3] **Gaid, Abdelkader**.- Epuration biologique des eaux usées urbaine: T.1.- Alger: OPU, 1987. pp (83-91).
- [4] **J.P.Becharc, P.Boutin, B.Mercier...** [et.al.].- traitement des eaux usées.- 2^e. ed.-Paris: Eyrolles, 1987.-pp (28-30).
- [5] **TIERCELIN J.R –Alain Vidal**-2006. Traité d'irrigation, 2e édition. pp (489-512).
- [6] **Baumont .S** Réutilisation des eaux usées épurées: risques sanitaires et faisabilité en Île de-France. E.N.S.A.T. 2004 pp (26-28).
- [7] **M.R.E.** - Etude de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national. Mission 3 : Etude de faisabilité de la réutilisation des eaux usées de la STEP de Touggourt, D.A.P.E. 2007.pp(54-67).

ANNEXE N° 01

Tableau-01 : Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles en mm (1990 - 2010)

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mais	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décemb
1990	60,2	0	6,8	17	29,4	0	0	13,4	0	1	1	19,6
1991	0	3,1	17,5	0,2	9	1,8	0	0	3,3	2,4	5,5	0
1992	34,7	0	23,1	18,8	23,7	0	14,4	0	0	0	7,2	10,3
1993	0	22,9	5,1	0	1	0	0	1	1,4	6,8	12,2	4,8
1994	4,6	3,2	10,8	6,3	0	1,1	0,1	0	12,6	10	0	0
1995	2,7	0	0	0	0	0	0	3,2	31,3	0,9	1,9	21,4
1996	42,7	21,2	16,1	0	2,1	0	0	0	4,9	0,3	0	1,2
1997	0	0	0	17,9	1,5	0	0	0	20,5	0,2	10,4	13,7
1998	0	2,9	1,3	5,1	0	7,8	0	0	5,1	19,9	2,6	1,7
1999	39,9	0,5	2,2	0	0,1	0,4	0,2	0	0	0	33,1	0,2
2000	0	0	0,2	0,2	15,1	1,4	0	0	0,1	17,5	0	0,7
2001	41	0	11	1	0	0	0	0	47	0	15	26,2
2002	50	0	0	0	7,2	0	0	21	3,4	6,8	8,4	0
2003	20,8	4,3	13,9	0,2	0	0	0	5	0	12,6	3,4	9,1
2004	60,8	7	17,1	11,9	0	0,8	0	10,8	0,2	25,7	25,8	8,6
2005	0	4,1	0,8	0,2	0	3,3	0	6,2	6,1	3,2	1,7	0,1
2006	38,7	1,1	0	3,2	1,1	0	0,2	2,2	14,5	14,2	2,7	6,6
2007	0	0,3	0,8	41,5	0,2	0	0	21,3	0,5	0,9	0,1	11,5
2008	5,4	1,4	0	0	1,1	2,9	0,5	0,1	5	29,8	3,4	6,1
2009	89,9	0,3	25,2	10,5	5,7	0,1	0	0	23,1	0,4	0	0,5
2010	9,8	1,1	0,3	12,1	2,1	0	0	0	2,4	1,7	1,7	0
MOY	23,87	3,50	7,25	6,96	4,73	0,93	0,73	4,01	8,64	7,35	6,48	6,78

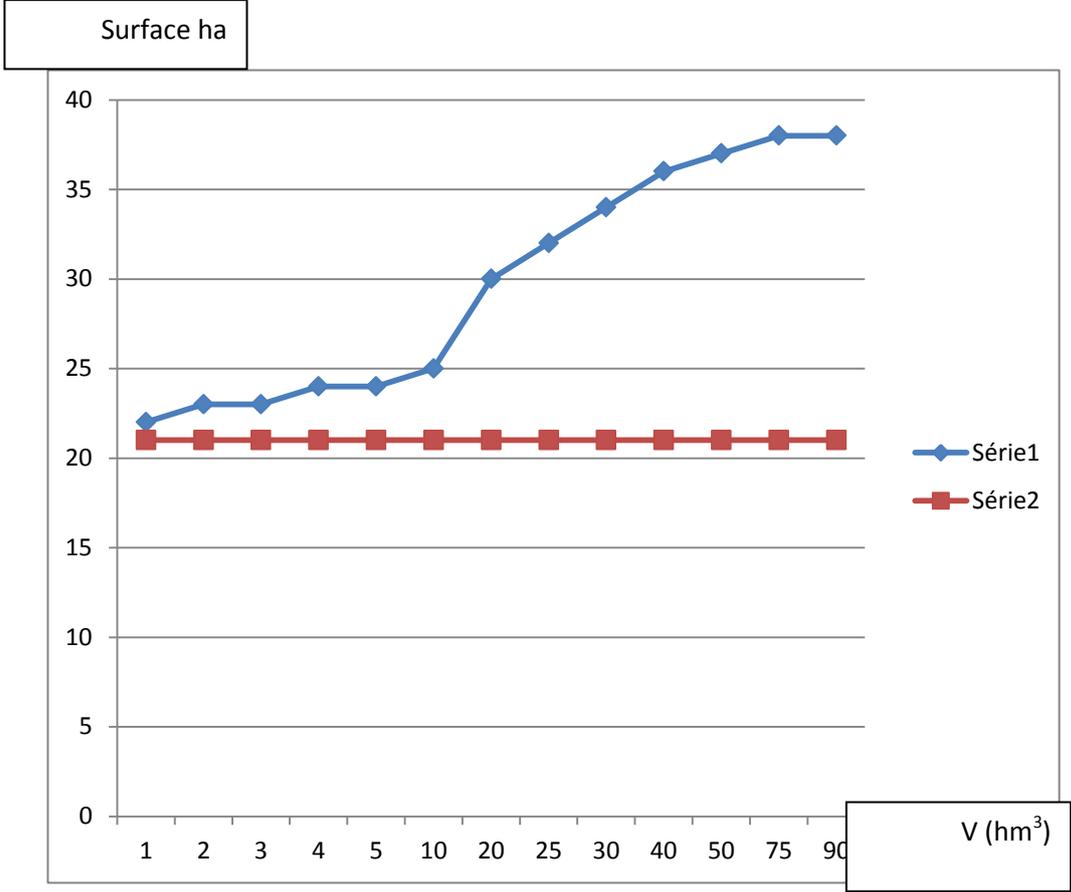
ANNEXE A

Dimensionnement du bassin de stockage saisonnier

Pour débattre de la pertinence d'un bassin de stockage saisonnier, il faut mettre en place un bilan hydrique complet sur une année au pas de temps journalier. La donnée en sortie du bilan est la surface potentiellement irrigable à partir des EUE. Les données d'entrée sont principalement les besoins en eau des cultures, le volume d'eau provenant de la STEP et les dimensions du bassin de stockage. A noter aussi que les pertes par évaporation et par infiltration intervenant sur le bassin ont été estimées et donc prises en compte dans le bilan.

À priori, l'utilité d'un bassin de stockage saisonnier est, dans notre cas, de maximiser les apports en eau provenant de la STEP. Pour déterminer les dimensions du bassin de stockage « idéal » (sans aucune perte de l'eau provenant de la STEP), il faut connaître la période probable de recharge du bassin. Dans le cas à l'étude, cette période se situe durant les mois d'hiver d'où un volume potentiellement stockable d'environ 700 000 m³. Avec un bassin de cette capacité, il est possible d'irriguer 134 ha à l'horizon 2015 et 51 ha en 2030. En adoptant une démarche comparative, il est possible de statuer sur le choix du volume du bassin de stockage. Le graphique suivant montre donc l'évolution de la surface potentiellement irrigable en ordonnée, en fonctions du volume de stockage du bassin en abscisse (en hm³ = 1 000 m³), et ce, pour l'année 2015.

Influence du volume de stockage sur la surface irrigable



— Volume

— Surface irrigué sans stockage

Dimensions des bassins de stockage intersaisonnier

Désignation	Unité	Quantité
Nombre de bassins	U	3
Volume total	m3	121 464
Volume unitaire	m3	40488
Profondeur utile	m	10
Marge de batillage	m	1
Tranche morte (dépôts des boues)	m	1
Profondeur totale	m	12
Surface unitaire (à mi Heau)	m2	3681
Longueur à l'axe de la digue	M	107
Largeur à l'axe de la digue	M	81
Surface Unitaire à l'axe de la digue	ha	0-87
Surface totale intra digue	ha	2,6
Aménagement extérieur (20%)	ha	0.52
Surface totale	ha	3.12

ANNEXE N° 02.

5. RESERVE D'HUMIDITE FACILEMENT UTILISABLE (RFU)

DONNEES GENERALES SUR LA PROFONDEUR D'ENRACINEMENT DES CULTURES EN PHASE DE PLEIN DEVELOPPEMENT, FRACTION DE L'EAU UTILISABLE (p) ET RESERVE FACILEMENT UTILISABLE (p.Sa) POUR DIFFERENTS TYPES DE SOLS (en mm/m de profondeur) QUAND ET_{cult} = 5-6 mm/jour

Culture	Profondeur d'enracinement (d) m	Fraction (p) de l'eau utilisable ¹	Réserve d'eau facilement utilisable (p.Sa) mm/m ¹		
			T.fin	T.moyenne	T.grossière
Luzerne	1.0-2.0	0.55	110	75	35
Banane	0.5-0.9	0.35	70	50	20
Orge ²	1.0-1.5	0.55	110	75	35
Haricot ²	0.5-0.7	0.45	90	65	30
Betterave	0.6-1.0	0.5	100	70	35
Chou	0.4-0.5	0.45	90	65	30
Carrotte	0.5-1.0	0.35	70	50	20
Céleri	0.3-0.5	0.2	40	25	10
Agrumes	1.2-1.5	0.5	100	70	30
Trèfle	0.6-0.9	0.35	70	50	20
Cacao		0.2	40	30	15
Coton	1.0-1.7	0.65	130	90	40
Concombre	0.7-1.2	0.5	100	70	30
Datte	1.5-2.5	0.5	100	70	30
Fruitiers cadu.	1.0-2.0	0.5	100	70	30
Lin ²	1.0-1.5	0.5	100	70	30
Céréales ²	0.9-1.5	0.6	120	80	40
Céré. d'hiver ²	1.5-2.0	0.6	120	80	40
Vigne	1.0-2.0	0.35	70	50	20
Gazon	0.5-1.5	0.5	100	70	30
Arachide	0.5-1.0	0.4	80	55	25
Laitue	0.3-0.5	0.3	60	40	20
Maïs ²	1.0-1.7	0.6	120	80	40
Maïs-ensilage		0.5	100	70	30
Melon	1.0-1.5	0.35	70	50	25
Olivier	1.2-1.7	0.65	130	95	45
Oignons	0.3-0.5	0.25	50	35	15
Palmier	0.7-1.1	0.65	130	90	40
Pois	0.6-1.0	0.35	70	50	25
Poivron	0.5-1.0	0.25	50	35	15
Ananas	0.3-0.6	0.5	100	65	30
Pomme de terre	0.4-0.6	0.25	50	30	15
Carthame ²	1.0-2.0	0.6	120	80	40
Sisal	0.5-1.0	0.8	155	110	50
Sorgho ²	1.0-2.0	0.55	110	75	35
Soja	0.6-1.3	0.5	100	75	35
Epinard	0.3-0.5	0.2	40	30	15
Fraisier	0.2-0.3	0.15	30	20	10
Betterave suc.	0.7-1.2	0.5	100	70	30
Canne à sucre ²	1.2-2.0	0.65	130	90	40
Tournesol ²	0.8-1.5	0.45	90	60	30
Patate douce	1.0-1.5	0.65	130	90	40
Tabac - init.	0.5-1.0	0.35	70	50	25
tard		0.65	130	90	40
Tomate	0.7-1.5	0.4	180	60	25
Légumes	0.3-0.6	0.2	40	30	15
Blé	1.0-1.5	0.55	105	70	35
maturité		0.9	180	130	55
Volume total d'eau du sol disponible (Sa) (mm/m)			200	140	60

¹ Quand ET_{cult} < 3 mm/jour, augmenter les valeurs de 30 % ; quand ET_{cult} > 8 mm/jour, réduire les valeurs de 30 %. Ceci suppose des conditions non salines (CE < 2 dS/m).

² Des valeurs supérieures à celles indiquées ici sont observées durant la maturation.

Sources: Taylor (1965), Stuart et Hagan (1972), Salter et Goode (1967), Rijtema (1965), etc.

Source: Bulletin FAO d'Irrigation et Drainage N° 24, Tableau 39 (nouvelle version).

MEC-AZ 1/50B
Caractéristiques requises

Débit	16,8 l/s
Hauteur de refoulement	21,6 m
Fluide	Eau, claire
Température	290 K
Type d'installation	Pompe seule
N.be de pompes	1

Caractéristiques de la pompe

Débit	16,8 l/s
Hauteur de refoulement	21,6 m
Puissance absorbée	5,07 kW
Rendement	73,6%
Hauteur manométrique H(Q=0)	27,7 m
Orif. de refoulement	50 mm

Caractéristiques moteur

Fréquence	50 Hz
Tension nominale	400 V
Vitesse nominale	2950 1/min
Nombre de pôles	2
Puissance nominale P2	5,5 kW
Courant nominal	- A
Type de moteur	3~
Classe d'isolation	F
Degré de protection	IP 55

Limites opérationnelles

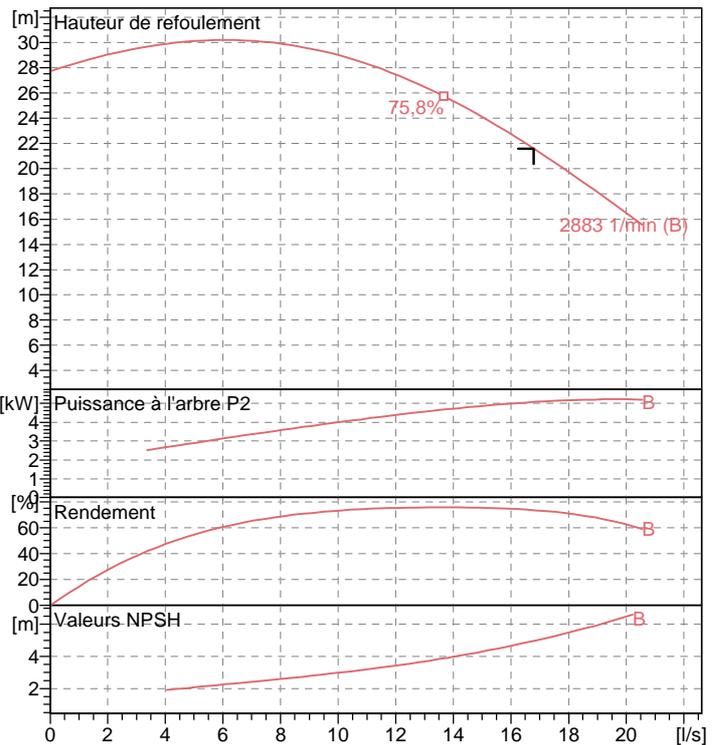
Démarrages / h max.	15
Température maxi. du liquide pompé	363 K
Teneur maximum en matières solides	40 g/m ³
Densité max.	998 kg/m ³
Viscosité maxi.	1 mm ² /s

Caractéristiques générales

Poids	89 kg
-------	-------

Matériaux

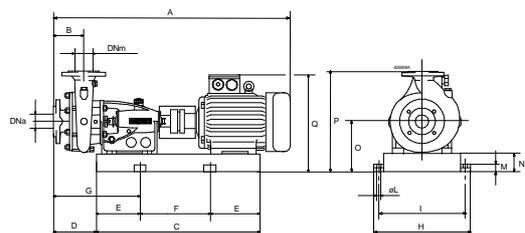
Corps de pompe	Fonte
Corps d'aspiration	Fonte
Chaise -palier	Fonte
Roue	Fonte
Roue (04/80)	Fonte sphéroïdale
Arbre (...)	Acier inox
Douille arbre	Acier cromé
Roulements a billes	Acier
Presse-Etoupe	Fonte
Etoupe	Tresse graphitée


Caractéristiques de fonctionnement Courbes des performances indicatives

Q [l/s]	H [m]	P [kW]	Rend. [%]	NPSH [m]
16,8	21,6	5,07	73,6	4,96

Dimensions mm

A = 947
B = 110
C = 677
D = 170
DNa = 65
DNm = 50
E = 100
F = 477
G = 270
H = 380
I = 340
L = 16
M = 38
N = 65
O = 197
P = 372
Q = 391



Notes:

Date 22.06.2012	Page 1	Offre n°	Pos.N°
--------------------	-----------	----------	--------