

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE
« ARBAOUI Abdallah »**

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE**

Option : Conception des Systèmes d'Irrigation et Drainage

THEME

**RENFORCEMENT DE L'IRRIGATION
DU PERIMETRE DE LA MITIDJA OUEST
TR II SECTEUR C A PARTIR DES EAUX
USEES EPUREES « EUE » DE LA STEP
DE HADJOUT**

**Présenté par :
M^r HANNAIZI Rabah**

**Encadré par:
M^{lle} SALHI Ch.**

Devant le Jury composé de :

Président : M^r T. KHETTAL

Examineurs :

M^{me} S. LEULMI

M^{me} L.S. BAHBOUH

M^{lle} H. BOUCHAMA

M^r M. MESSAHEL

Octobre 2011.

Remerciement

الحمد لله أولاً وأخيراً.

Je tiens à exprimer mes remerciements infinies à :

Ma promotrice M^{lle} SALHI Ch. de m'avoir orienté, de ses conseils judicieux et ses riches données dans le but de mener à bien fait ce projet.

Tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, sans oublier tout le personnel de l'ENSH.

Mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'évaluer mon travail.

HANNAIZI Rabah.

Dédicaces

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

- *A mon père « رحمة الله عليه » ;*
- *A ma mère ; pour tous les sacrifices qu'elle a consentie à mon égard;*
- *A mes frères et mes sœurs ;*
- *A toute la famille.*
- *A tous mes amis et surtout de l'ENSH.*

HANNAIZI Rabah.

باسم الله الرحمن الرحيم

ملخص.

إن مشكلة نقص المياه المخصصة للسقي مسجلة في كثير من بلدان العالم وخاصة في الجزائر وهذا راجع إلى نقص الموارد المخصصة لهذه المياه من جهة ومن جهة أخرى ضعف الاستغلال الأمثل لهذه الموارد إن وجدت.

من هنا إيجاد موارد أخرى لهذه المياه له أهمية بالغة في تغطية هذا النقص.

نظرا لنقص المياه المخصصة للسقي في المحيط الزراعي لمتيجة الغربية رقم 02 فإن هذه الدراسة تهدف إلى تزويد الموارد المائية لهذا المحيط وذلك باستعمال المياه المعالجة الناتجة من محطة التطهير لبلدية حجوط ولاية تيبازة.

لتحقيق هذا الهدف قمنا باقتراح مخطط ينتهي بإيصال هذه المياه المعالجة من محطة التطهير المذكورة انفا إلى محيط الدراسة مع الزيادة في جودة هذه المياه.

Résumé.

Le manque d'eau destiné à l'irrigation est un problème très connu dans le monde, aussi bien en Algérie, et cela revient à la non disponibilité des ressources en eau d'une part, et d'autre part à la gestion non souhaitée de ces ressources si elles existent.

Dans ce contexte, le recours à d'autres sources d'eau est une pratique très souhaitée pour combler ce manque.

Vu le déficit d'eau enregistré au niveau du périmètre de la Mitidja ouest tranche II, la présente étude a pour but, le renforcement de la ressource en eau du secteur C de ce périmètre en utilisant les eaux usées épurées de la STEP de Hadjout.

Pour atteindre ces objectifs, un schéma d'aménagement a été proposé pour acheminer l'eau usée épurée de la STEP de Hadjout vers la tête du réseau du périmètre (secteur C) en améliorant sa qualité microbiologique.

Abstract.

Lack of water for irrigation is a well-known problem in the world, also in Algeria and these amounts to non-availability of water resources on the one hand, and also to the management undesired of these resources if they exist. In this context, the use of alternative water sources is a practice highly desired to fill this lack.

Given the deficit of water recorded at the perimeter of the western portion Mitidja II, this study aims, increasing the water resource sector C of the perimeter using the treated wastewater from the WWTP Hadjout.

To achieve these objectives, a development plan has been proposed to transport the waste water purified from the STEP Hadjout to the head of the network perimeter (area C) by improving its microbiological quality.

SOMMAIRE:

Introduction Générale.

Chapitre I: Étude bibliographique.

I.1 Aperçu général sur la réutilisation des eaux usées épurées:	2
I.2 Principales voies de la REU:	2
I.3 Expérience de réutilisation des eaux usées épurées:	3
1. Dans le monde	4
2. En Algérie	10
I.4 Choix du système d'irrigation	14
I.5 Evaluation économique:	15
Conclusion	15

Chapitre II: Présentation de la zone d'étude.

Introduction	16
II.1 Présentation du périmètre la Mitidja ouest- tranche:	16
1. Situation géographique :	16
2. Ressources en eau :	17
3. Le secteur C :	18
II.2 Présentation de la station d'épuration de Hadjout:	19
1. Situation géographique :	19
2. Objectifs de la STEP de Hadjout :	21
3. Les ouvrages de la station :	23
Conclusion	27

Chapitre III: Qualité des eaux a la sortie de la STEP de Hadjout.

Introduction	28
III.1 Principaux paramètres de pollution:	28
Temperature	28
• Matières en suspension (MES):	28
• Matières volatiles sèches (MVS) :	28
• Turbidité:	28
• Couleur et l'odeur :	28
• Salinité (CE):	28
• PH (Potentiel Hydrogène) :	29
• Demande biologique en oxygène en 5 jours (DBO5) :	29

• Demande chimique en oxygène (DCO) :	29
• Demande chimique en oxygène (DCO) :	29
• Relation entre DCO et DBO5 :	29
• Eléments toxiques :	29
• Nutriments (Azote, phosphore) :	29
III.2 Différentes réglementations de la REU dans le monde:	30
1. Critères microbiologiques:	30
2. Qualité chimique :	32
3. Problèmes de colmatage:	34
III.3 Réglementations algériennes fixant la RUE à des fins d'irrigation:	34
1. Projet d'arrêté interministériel fixant la liste des cultures qui pouvant être irriguées avec les eaux usées épurées :	34
2. Projet d'arrêté interministériel fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation :	35
III.4 Qualité des eaux:	38
1. Paramètres physicochimiques:	38
1.1 Interprétations des résultats :	38
1.2 Classification des eaux pour l'irrigation: CE et SAR	40
a- Classification mondiale :	40
b- (F.A.O) :	
c- Classification Russe :	41
d- Classification Américaine :	41
- Détermination du S.A.R:	42
- Conclusion	43
2. Eléments traces (métaux lourds):	43
3. Paramètres microbiologiques :	45
Conclusion	48

Chapitre IV: plan cultural et calcul des besoins en eau.

Introduction :	49
IV.1 Plan cultural de la zone d'étude :	49
• Ressources en eau	51
• Modèles d'assolements proposées :	52
IV.2 Besoins en eau du périmètre	53

1. Evapotranspiration réelle ou de culture (ETR ou ETC)	53
2. Données naturelles du site	54
• Température :	55
• Evaporation	55
• Humidité relative :	56
• Vitesse des vents	56
• Ensoleillement:	56
3. Calcul de l'évapotranspiration potentielle ou de référence (ET0):	56
• Précipitation	58
• Pertes dans le système d'irrigation (efficacité d'irrigation)	63
• Besoins nets et Bruts en eau d'irrigation pour les trois assolements	63
IV .4 Capacité de la STEP de Hadjout	68
Conclusion	69

Chapitre V: Schéma d'aménagement.

Introduction	70
V.1 Orientations du choix du périmètre à aménager :	70
V.2 Description du schéma d'aménagement proposé :	71
V.2 Critères du choix:	73
1. Tracé de la conduite	73
2. Réservoir:	73
3. Station de pompage	73
V.3 Principe de calcul hydraulique et dimensionnement :	74
1. La conduite de refoulement :	75
2. Station de pompage projetée	78
3. Réservoir	83
4. Conduite gravitaire (RES. Tête du réseau) :	86
Conclusion :	87

Conclusion générale

LISTE DES TABLEAUX:

Tableau I.1: Périmètres irrigués à partir des EUT	6
Tableau I.2: débits de la STEP d'Oran	12
Tableau I.3: débits de la STEP de Médéa.	13
Tableau I.4: débits et volumes des deux STEP.	14
Tableau II.1: Caractéristiques des secteurs de la Mitidja ouest tranche II.	18
Tableau II.2: Production des eaux usées épurées pour les différents horizons.	21
Tableau III.1: Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture (Blumentahl et coll., 2000).	31
Tableau III.2: Limites recommandées en éléments traces (mg.L ⁻¹) dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2003).	32
Tableau III.3: Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO 1985).	33
Tableau III.4: Qualité de l'eau et potentiel de colmatage dans des systèmes d'irrigation par goutte (FAO, 85).	34
Tableau III.5: Liste des cultures pouvant être irriguées avec les eaux usées épurées.	35
Tableau III.6: Normes microbiologiques.	36
Tableau III.7: Normes physico-chimiques.	37
Tableau III.8: Spécifications physico-chimiques des eaux usées épurées de la STEP de Hadjout en 2010 (entré et sortie).	38
Tableau III.9: Composition typique des eaux usées domestiques d'après «METCALF & EDDY, INC. (Mc Graw Hill 1972)".	39
Tableau III.10: Limites recommandées en éléments traces recommandées pour les eaux usées épurées destinées à l'irrigation – FAO.	44
Tableau III.11: Recommandations	47
Tableau IV. 1 : Exploitations du secteur C du périmètre de la Mitidja ouest TR II.	50
Tableau IV. 2 : Tableau récapitulatif des spéculations dans le périmètre d'étude (2010)	51
Tableau IV. 3 : Etat de souscription - arrêté au 13/12/2010.	51
Tableau IV. 4 : Surfaces irriguées par les forages de la commune Hadjout en (2010)	52
Tableau IV. 5: Modèles d'assolement proposés dans le périmètre d'étude	53
Tableau IV.6: Répartition mensuelle de la température de l'air en °C.	55
Tableau IV.8: Répartition mensuelle de l'humidité relative de l'air en %.	55
Tableau IV.9 : Vitesse du vent en km/h.	56
Tableau IV.10 : Ensoleillement en heures.	56
Tableau IV.11: Evapotranspiration de référence selon la méthode Penman&Monteith	56
Tableau IV.12 : Caractéristiques des stations pluviométriques.	58
Tableau IV.13: Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle à la station (020329).	59
Tableau IV.14: pluies de projet et pluies efficace de la station du barrage de Boukourdane (020329).	60

Tableau IV.15: Représentation de l'assolement choisie dans le secteur C du périmètre de la Mitidja ouest Tr II.	62
Tableau IV.16 : Efficience de réseaux d'irrigation de la Mitidja.	63
Tableau IV.17 : Besoins en eaux unitaires pour l'assolement choisi.	64
Tableau IV.19: récapitulatif de la situation hydrique dans le périmètre d'étude	68
Tableau IV.20: Les débits de la STEP de Hadjout.	68
Tableau IV.21 : Production des eaux épurées de la station de Hadjout	69
Tableau V.1: Prix d'achat de ml. des conduites de en acier en fct° de leurs diamètres.	76
Tableau V.2: Calcul de la hauteur manométrique totale Hmt:	77
Tableau V.3: Calcul des frais d'amortissement	77
Tableau V.4: Calcul des frais d'exploitation:	77
Tableau V.5 : Bilan du choix du diamètre de la conduite de ref.	77
Tableau V.6 : Choix des pompes.	79
Tableau V.7: Variation de la tension de vapeur d'eau en fonction de la température	82
Tableau V.8 : tableau de confrontation entre les besoins d'irrigation et la production de la STEP de Hadjout.	85
Tableau V.9: Coefficients K' , m , β pour différents types du tuyau :	86
Tableau V.10: calcul du diamètre avantageux de la conduite gravitaire :	87
Tableau V.11 : récapitulatifs des ouvrages installés	87

LISTE DES FIGURES:

Figure I.1: Réutilisation des eaux usées épurées dans le cycle d'assainissement	2
Figure I.2: Aspects de réutilisation des EU dans les différentes régions du monde (Boxio et al. 2005).	3
Figure II.1: Localisation du périmètre Mitidja Ouest tranche II.	17
Figure II.2: schéma générale du périmètre d'irrigation de la Mitidja ouest TR II.	18
Figure II.3: Localisation de la STEP de Hadjout.	21
Figure II.4: Organigramme de la station de traitement.	22
Figure II.5: Bloc des traitements physiques (dégrillage grossier et fin ainsi que dessablage / déshuilage) de la STEP de la ville de Hadjout.	23
Figure II.6: Dégrillage grossier de la STEP de Hadjout.	23
Figure II.7: Station de relevage de la STEP de Hadjout	23
Figure II.8: Dégrillage fin.	23
Figure II.9: Dessablage / déshuilage de la STEP de la ville de Hadjout.	24
Figure II.10: Compartiment Anaérobique - Traitement biologique - de la STEP de la ville de Hadjout.	24
Figure II.11: Compartiment Anoxique - Traitement biologique - de la STEP de la ville de Hadjout.	25
Figure II.12: Compartiment Aérobie - Traitement biologique - de la STEP de la ville de Hadjout.	25
Figure II.13: Décanteurs secondaires de la STEP de la ville de Hadjout.	26

Figure II.14: Poste de pompage des boues (à gauche) et un bassin d'équilibre (chambre de distribution) pour la répartition des eaux vers les deux décanteurs (à droite) de la STEP de la ville de Hadjout.	26
Figure II.15: Bassin de chloration de la STEP de la ville de Hadjout.	27
Figure II.16: Déshydratation par presse à bandes (à gauche) ; Epaisseur de boues (à droite) de la STEP de la ville de Hadjout.	27
Figure III.1: Diagramme Riverside (classification des eaux d'irrigation).	42
Graphique IV.1: Diagramme Ombrothermique de Gaussen	60
Figure V.1 : Schéma d'aménagement proposé	73
Figure V.2 : Courbes caractéristiques de la pompe choisie.	80
Figure V.3 : point de fonctionnement des pompes choisis.	81

Introduction Générale :

Face à la rareté et la mauvaise répartition de l'eau dans les régions arides et semi-arides, la Réutilisation des eaux usées apparaît comme la solution la plus adaptée. Elle permet, d'une part, de fournir des quantités d'eau supplémentaires, d'autre part, d'assurer l'équilibre du cycle naturel de l'eau et la protection de l'environnement. La réutilisation des eaux usées en agriculture apporte en outre des bénéfices additionnels résultant, dans certains cas, de l'augmentation du rendement des cultures et de l'amélioration de l'efficacité des systèmes d'irrigation. L'objectif de cette synthèse est de faire le point sur les différents travaux de recherches effectués sur l'amélioration de la qualité des eaux recyclées et de l'efficacité des systèmes d'irrigation localisée permettant de valoriser au mieux les eaux usées.

La réutilisation des eaux usées est principalement pratiquée pour l'irrigation de terres agricoles. Toutefois de nombreux pays se servent de leurs eaux usées à diverses autres fins : pour la recharge de la nappe, à des fins industrielles, pour la production aquacole, à des fins récréatives, etc.

Si elle est effectuée de façon inappropriée, la réutilisation des eaux usées peut avoir des effets négatifs sur l'environnement et par conséquent menacer la santé humaine et animale. C'est la raison pour laquelle l'OMS et la FAO ont élaborés des recommandations Relatives à la qualité sanitaire des eaux usées pouvant être réutilisées pour l'irrigation agricole. Suivant leur degré de pollution et le type de réutilisation que l'on désire en faire, les eaux usées vont devoir subir des (re)traitements plus ou moins poussés.

De nombreux travaux ont été menés sur ce sujet et l'on dispose aujourd'hui de plusieurs retours d'expérience Significatifs.

Le présent travail a pour but de renforcer la ressource en eau du périmètre de la Mitdija Ouest tranche II, en irriguant le secteur C de ce périmètre à partir des eaux usées épurées de la STEP de Hadjout qui se situ dans la partie Est de ce secteur.

Pour aboutir aux objectifs visés, la démarche a été optée comme suit :

Après une introduction, le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique sur les études similaires réalisées dans ce domaine ;

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du périmètre d'étude et de la Station d'Épuration de Hadjout ;

Le troisième chapitre traite la qualité des eaux usées épurées de la STEP de Hadjout ;

Le quatrième chapitre est consacré à la présentation du plan culturel du périmètre et aux calculs des besoins en eau ;

Et enfin le dernier chapitre présente un schéma d'aménagement qui sert à acheminer l'eau usée traitée vers la tête du réseau du périmètre.

Une conclusion générale est présentée a la fin de ce travail.

Actuellement, la réutilisation des eaux usées connaît un développement variable selon les pays en fonction de leurs ressources en eaux et de leurs conditions socio-économiques.

La valorisation des eaux usées en irrigation est considérée non seulement comme la création d'une nouvelle ressource mais aussi et surtout comme un traitement complémentaire qui permet d'éviter tout rejet direct dans le milieu naturel.

En plus du traitement additionnel et de la protection de l'environnement qui en découle, une utilisation de plus en plus efficace s'impose dans les régions où "l'index de pénurie" 1 est relativement faible, efficacité fondée à la fois sur la performance du matériel d'irrigation et sur l'optimisation de l'application de l'eau à la parcelle.

Chapitre I

Etude bibliographique.

I.1. Aperçu général sur la réutilisation des eaux usées épurées :

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

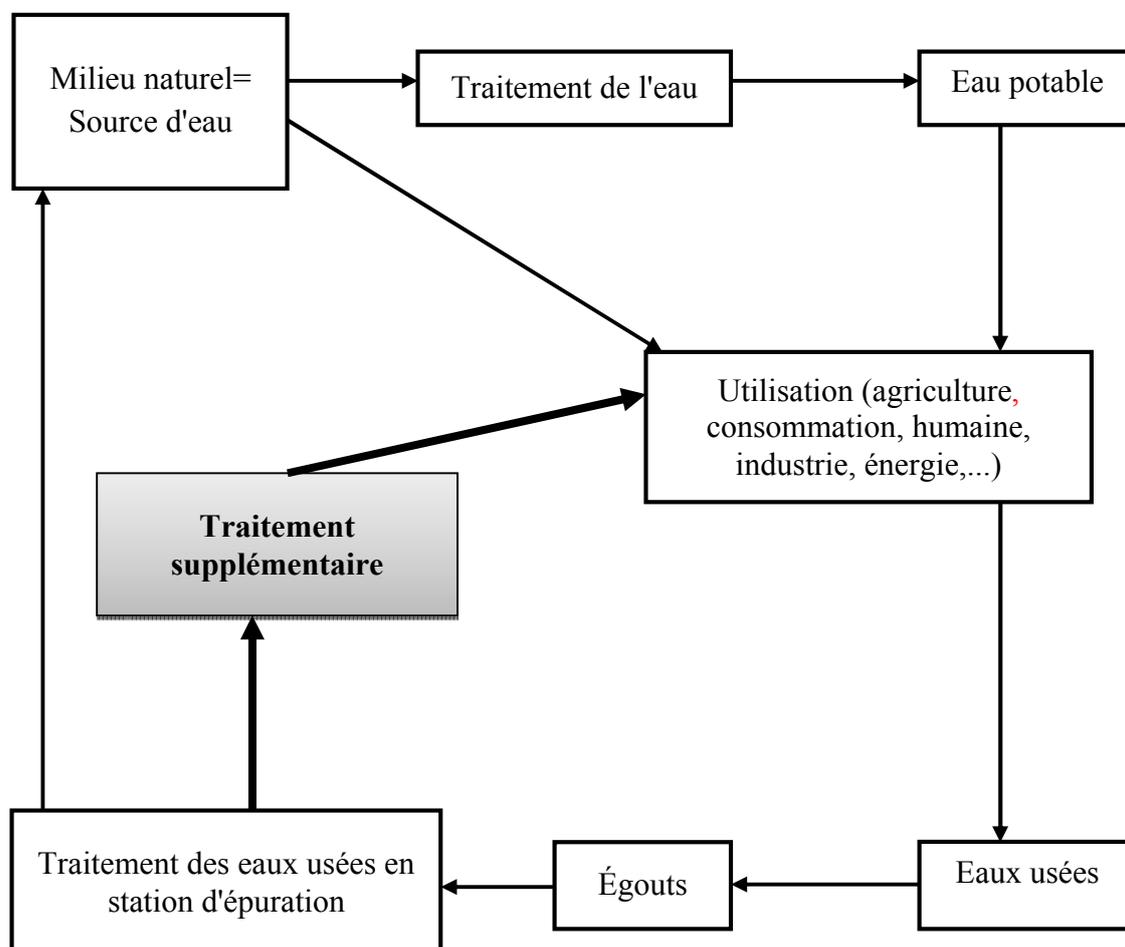


Figure I.1 : Réutilisation des eaux usées épurées dans le cycle d'assainissement.

I.2. Principales voies de la REU:

La réutilisation des eaux usées est répandue dans le monde entier avec plusieurs types de valorisation. Il existe des milliers de projets utilisant des eaux usées (Boxio et al. 2008), mais dans la plupart des cas, les eaux usées sont utilisées à l'état brut ou après un traitement minimal, et pratiquement aucune mesure n'est prise pour protéger la santé (OMS, 1989). Boxio et al. (2005) ont classés les différents types de réutilisation selon 4 catégories

- ▲ usage agricole,
- ▲ usage urbain et périurbain et recharge des nappes,
- ▲ usage industriel,
- ▲ usages mixte.

Sur le plan mondial, la réutilisation des EUT pour l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvrent respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau (Ecosse, 2001). Cependant, ces proportions varient selon les régions dans le monde (**figure I.2**).

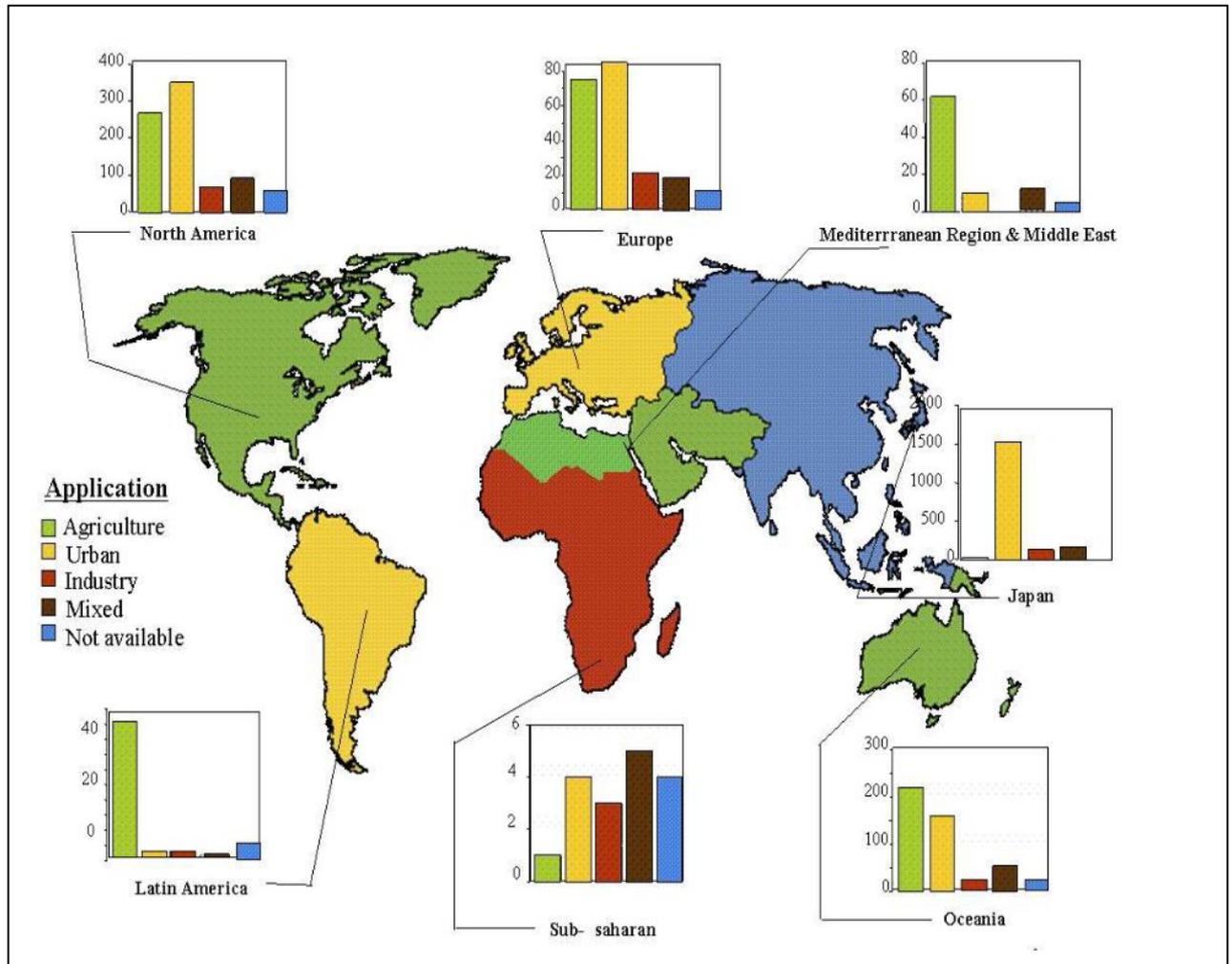


Figure I.2: Aspects de réutilisation des EU dans les différentes régions du monde (Boxio et al. 2005).

Le secteur agricole consomme la plus grande part des ressources conventionnelles et c'est donc le secteur le plus ciblé par la réutilisation des EUT.

Une simple analyse de cette figure montre que la réutilisation des eaux épurées à des fins agricoles occupe l'aspect le plus dominant dans tous les régions de monde, et cela s'aperçoit très clairement sur les applications (dans la figure). Cette analyse permet alors de dire qu'il est très commode de donner une importante et sérieuse vue politique et sociologique vers ce domaine dans notre pays.

I.3. Expérience de réutilisation des eaux usées épurées :

La réutilisation des eaux usées épurées est une pratique très répandue dans le monde et essentiellement dans les régions affectées par des pénuries de ressources en eau. Elle est liée aux développements de l'ingénierie des eaux usées, couplés aux pressions croissantes exercées sur les ressources en eau. De nos jours près de la moitié de la population mondiale vit en zone urbaine et leurs besoins en eau ne cessent d'augmenter alors que les ressources en eau continuent à se dégrader.

Ainsi pour établir un équilibre entre les différents utilisateurs de l'eau, les rejets urbains sont recyclés pour couvrir une partie des volumes d'eau d'irrigation. En effet la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles a connu des applications variables suivant les pays. Elle est appelée à se développer dans le cadre d'une approche intégrée de la gestion des ressources en eau, supposant la prise en compte des facteurs techniques, socio-économiques, réglementaires et environnementaux.

Le marché semble prometteur, si l'on en croit le rapport publié le 31 mai 2005 par l'Institut Global Water Intelligence. « Sur les 369 milliards de mètres cubes (m^3) d'eaux usées collectées dans le monde chaque année, 7,1 m^3 sont réutilisés. C'est ce qu'on appelle le « re-use ». D'ici 2015, le volume d'eau réutilisée devrait connaître une croissance de 180%. Le dessalement de l'eau de mer, autre méthode alternative, enregistrerait « seulement » une augmentation de 102%. La Chine et la zone Moyen-Orient/Afrique du Nord sont les principales régions qui devraient voir leur capacité installée augmenter pour le re-use, respectivement de 29% et de 12% d'ici 2015».

Pour bien fixer les idées, voici à titre illustratif le cas de certaines régions.

1. Dans le monde :

a. Le continent américain:

Aux Etats-Unis, 34 états disposent de réglementations relatives à l'usage agricole des eaux usées. Les grandes réussites de réutilisation des eaux usées traitées sont ceux de Bakersfield et Orange County en Californie et Mantee County en Floride.

A Bakersfield, 64000 m^3 par jour sont utilisés pour l'irrigation de coton, de luzerne, de maïs, d'orge et de betteraves à sucre.

A Orange County, 800 hectares d'espaces verts urbains sont arrosés et 400 hectares de terres agricoles sont irrigués.

A Manatee County, 79000 m^3 par jour sont utilisés pour irriguer des terrains de golf et des parcs et 3000 hectares de cultures agricoles et de pépinières sont irrigués.

D'autres exemples, la création de lacs artificiels alimentés en tout ou partie par des eaux usées épurées. (en 1961, le lac Santee en Californie a été mis en eau et alimenté par des eaux usées épurées et désinfectées. L'autorisation de baignade a été donnée en 1965).

Au Mexique, la ville de Mexico utilise les effluents traités par ses 16 stations d'épuration pour l'irrigation des parcs, des jardins publics et des équipements de loisirs. Elles sont utilisées en irrigation agricole et notamment dans le cadre du plus grand plan d'irrigation du monde (45 à 300 m^3/s par temps de pluie pour l'irrigation de 90000 hectares).

b. Le bassin méditerranéen :

La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé et est aujourd'hui une pratique largement répandue sur le pourtour sud de la Méditerranée, de l'Espagne à la Syrie. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée. Cette réutilisation est parfois l'objet d'une politique nationale comme en Israël. Dans ce pays, environ 20% des eaux usées sont infiltrées et rechargent les nappes souterraines dans la région de Tel-Aviv

L'excellente qualité de l'eau traitée obtenue convient à de nombreux usages tels que l'irrigation agricole de produits consommés crus, les utilisations industrielles. En 1996, la réutilisation de l'eau usée ; en Israël concerne uniquement les projets d'irrigation.

En Tunisie; si la demande en eau ne devrait théoriquement rejoindre les disponibilités qu'en 2015, certains endroits souffrent d'une pénurie. De plus, les ressources en eau témoignent souvent d'un degré notable de salinité. Dans ce pays, la réutilisation entre dans le cadre d'une politique nationale.

Les eaux usées de Tunis sont utilisées depuis le début des années 60 pour l'irrigation à la Soukra, 4450 hectares de vergers de citronniers. Elle est le premier pays de l'ouest méditerranéen à avoir adopté des réglementations en 1989 pour la réutilisation de l'eau.

La réglementation de 1989 spécifie que l'utilisation des effluents secondaires traités est autorisée pour irriguer tous les types de cultures mis à part les légumes, qu'ils soient consommés cuits ou crus.

En 1992, le taux d'utilisation des eaux usées traitées en Tunisie est relativement bas. En effet, seulement 40 % de l'espace susceptible de concerner la réutilisation est irrigué. De plus, l'irrigation n'a lieu que pendant six mois par ans et le stockage de l'eau est extrêmement peu utilisé.

Les exemples Tunisiens dans la réutilisation des EUE sont résumés dans le tableau I.1.

Tableau I.1 : Périmètres irrigués à partir des EUT

Gouvernorat	Périmètres	Date de mise en service	Superficie en ha	STEP	Longueur du réseau d'adduction en m	Bassin de stockage en m ³	Observation
Ariana	Sabela-B Touil	1990	3200	Choutrana +Charguia +côtière Nord	1600		Sauvegarde des agrumes
	Soukra	1965	600	Charguia	4000	5800	
Ben Arous	Mornag	1991	1047	Sud Méliane	9500		Terres Domaniales
Nabeul	O.Souhil	1984	236	SE4 Nabeul	3000	600	Sauvegarde des agrumes
	Messadi Bir		70				
	Rommana		40				
Sousse	Zaouiet souse	1987	205	Sousse Sud	1800	2500	
Monastir	Moknine	1996	100	Moknine	700	1000	Irrigué à partir des EC
	Ouardanine	1996	50	Ouardanine	2300		
	Lamta-Sayada		50	Lamta Sayada			
Kairouan	Drâa Tammar	1990	240	Kairouan	4000	1500	
Kasserine	O. Essid	1998	100	Kasserine	2200	2500	
Sfax	Hajeb	1987	425	Sfax Sud	13000		345 ha de terres domaniales
Gafsa	El Aguila	1991	116	Gafsa	250		
Gabès	O. Edissa	1999	200	Gabès		2600	
Medenine	Sidi Salem Lella Mariem		4 20			91	Périmètre privé Terres domaniales
Total			6703				

Source : ONAS (2002)

Actuellement, il existe plusieurs périmètres qui sont irrigués à partir des eaux usées épurées, et d'autres qui sont dans la phase d'études, en plus des exemples cités précédemment à savoir:

En 2009; création d'un périmètre irrigué par les eaux usées traitées dans la délégation de Mornaguia –Tunisie CRDA Manouba, l'Etude est achevée. La surface totale du périmètre est de 3200 ha

En 2008-2009 ; création d'un périmètre irrigué par les eaux usées traitées de Tunis Ouest CRDA Ben Arous. Cette Etude est achevée aussi. 2300 ha

En Grèce, la ville d'Athènes a développé en 1996 une stratégie de réutilisation des eaux usées traitées.

Parmi les réutilisations favorisées, l'irrigation des cultures est largement prédominante (71%). L'estimation de l'usage des eaux usées urbaines dans les industries est particulièrement basse par rapport aux niveaux de réutilisation dans les autres centres urbains industrialisés (5.2%). Ceci est localement dû à la dispersion géographique des industries fortement consommatrices d'eau.

Les Autres pays du pourtour sud de la Méditerranée, de **l'Espagne** à **la Syrie**, réutilisent le plus souvent leurs eaux usées urbaines sans traitement. L'arrosage de cultures maraîchères n'y est pas exceptionnel.

L'Espagne : se dote néanmoins progressivement, région par région, d'une réglementation et améliore la qualité des eaux réutilisées. Les réutilisations sont alors l'occasion d'un effort pour répondre à des standards sanitaires existants ou en cours d'élaboration. C'est le cas pour l'arrosage des parcours de golf ou d'espaces verts aux Canaries.

c. L'Europe du Nord:

L'Europe du Nord a elle aussi, avec ses fermes d'épandage, une tradition longue de plusieurs siècles de réutilisation des eaux usées épurées.

- **En Grande Bretagne**, cette technique qui était sur le point de disparaître dans les années 50, a retrouvé une part de son importance passée. Dans ce pays, la recharge de nappe par des eaux usées épurées constitue une autre forme indirecte et très répandue de recyclage.
- **L'Allemagne et l'Italie** sont également concernées par l'irrigation avec des eaux usées épurées urbaines.

On y pratique l'irrigation de céréales, de betteraves, de pommes de terre ou de prairies. On peut aussi citer l'exemple de la Hongrie où 200 millions de mètres cubes d'eaux usées sont utilisées en 1991 pour l'irrigation de diverses cultures, de prairies, de rizières et de peupleraies.

● **Maraichage au sortir de la station d'épuration de station de San Rocco — milan – Italie:**

Parmi les trois stations d'épuration de l'agglomération milanaise, celle de San Rocco traite les effluents d'un million d'équivalents habitants. L'exutoire des EUT est un réseau ancien d'irrigation et de drainage qui depuis de nombreux siècles (époque romaine) a permis de garantir la salubrité et même la navigation au sud de la ville.

L'entreprise Suez après l'avoir réalisée en 2004, assure aujourd'hui l'exploitation de la station ; le process est une station d'épuration boues activées avec un traitement aux UV en sortie pour la désinfection des effluents. Ceux-ci sont essentiellement d'origine domestique sans présence de rejets industriels.

Sur les 103 Mm³ produits par an, 11 millions sont pompés en direction de la zone de culture. Les agriculteurs y pratiquent une irrigation intensive pour du maïs en gravitaire et surtout du riz de submersion. Les volumes annuels utilisés sont de l'ordre de 5 000 m³/ha.an, ratio élevé qui correspond plutôt à des doses de zone semi-aride mais qui traduit une forte disponibilité de l'eau.

d. Le Japon:

Malgré une moyenne de précipitation annuelle haute (environ 1730 mm par an), le Japon connaît certains problèmes d'approvisionnement en eau en raison d'une forte densité de population sur un territoire restreint. De ce fait, plusieurs projets de réutilisation des eaux usées épurées ont vu le jour dans les grandes métropoles. Contrairement aux régions arides ou semi-arides du monde où l'irrigation agricole et des espaces verts constituent le mode le plus développé, la réutilisation des eaux usées au Japon est prédominante dans le cas des usages urbains tels que l'alimentation des chasses d'eau dans les immeubles, les usages industriels ou encore dans la restauration et l'augmentation des débits des cours d'eau urbains aménagés.

La réutilisation des eaux usées dans les grandes villes est perçue par la population comme un élément important du cycle de l'eau et comme une ressource particulièrement utile dans l'environnement urbain. En effet, les eaux usées traitées peuvent être utilisées dans les situations d'urgence engendrées par des catastrophes telles que les tremblements de terre.

e. L'Australie :

L'Australie est l'un des continents les plus secs. L'intensité des précipitations est très variable dans l'espace puisqu'un quart du continent concentre 80% des précipitations. Depuis 1991, il y a eu un rapide développement des initiatives liées au recyclage de l'eau et notamment dans le cadre de la réutilisation des eaux usées urbaines.

La population australienne (18 millions) est peu dense au regard d'un territoire vaste (8 millions de km²). Une forte proportion de la population vit dans les métropoles situées au sud du continent et favorisées par de forte précipitation.

Dans ce continent, la réutilisation des eaux usées concerne l'irrigation des cultures, des prairies, des espaces verts ou l'usage industriel. Dans les zones tempérées de l'Australie, la réutilisation concerne essentiellement l'irrigation des cultures telles que la canne à sucre alors que dans les zones arides, c'est l'irrigation des plantations d'arbres qui prédomine.

Ce n'est bien sûr pas une description exhaustive des cas de réutilisation dans le monde. de nombreux exemples peuvent être cités, tels que la ville de Taif en Arabie Saoudite. Cette ville est équipée d'une station d'épuration traitant 70 000 m³ d'eau par jour. C'est l'une des plus grandes stations au monde.

f. La réutilisation des eaux usées épurées en France:

En France, la réutilisation des eaux épurées est peu développée. Cela est essentiellement dû à l'abondance de leurs ressources en eau. En effet, sur les parties du territoire les moins arrosées, la pluviométrie moyenne annuelle ne descend guère au-dessous de 600 millimètres. De plus, ces régions et notamment le midi méditerranéen ont très tôt été desservis par de grands équipements hydrauliques, satisfaisant leurs besoins en eau. En conséquence, à part quelques situations locales, il n'existe pas de véritable pénurie d'eau en France. Si certaines réalisations existent et apparaissent, c'est pour répondre à des nécessités locales. Tel qu'il a été précisé en introduction, les motivations inhérentes à ces projets peuvent être de deux ordres. D'une part, elles peuvent induire un accroissement des ressources en eau et d'autre part, supprimer ou au moins réduire les rejets d'eaux usées dans un milieu récepteur sensible.

La réutilisation permet donc de minimiser mais aussi de valoriser la pollution produite par les agglomérations.

La réutilisation peut également contribuer à la réhabilitation des cours d'eau menacés d'eutrophisation.

Les exemples français de réutilisation des eaux usées épurés sont de plus en plus nombreux ces dernières années, il a été choisis de présenter ces sites et ces expériences, voir dans certains cas les projets en cours de réalisation ou en discussion.

• **La valorisation agricole des EUT de Clermont-Ferrand – France:/4/**

Le projet consiste en irrigation de terres agricoles en Limagne noire sur environ 700 ha à l'aval de la station d'épuration boues activées de Clermont Ferrand (France). La mise en place de ce projet est satisfaite en 1996. (BRL ingénierie, 2011).

• **Le site de Porquerolles (Var): /5/ (J.A FABY¹, 2004).**

Située en Méditerranée, l'île de Porquerolles, d'une superficie de 12 km², fait partie du groupe des îles d'HYERES.

Le traitement des effluents domestiques s'effectue dans une station d'épuration boues activées à moyenne charge avec stabilisation aérobie des boues en excès, comprenant :

- un dégrillage et un dessableur-dégraisseur,
- un bassin d'aération,
- un bassin de décantation.

Mise en service en 1975, elle rejetait en mer par l'intermédiaire d'un émissaire naturel. En 1980, le traitement a été complété par un système de lagunage naturel de 1 ha, composé de 3 bassins en série :

- Un bassin à microphytes profond de 1 m et d'une superficie de 4 000 m²,
- Un bassin composite de 0,30 m de profondeur, avec une zone de 1 300 m² à microphytes et un domaine à macrophytes de 700 m²,
- un bassin de 4 000 m², profond de 0,30 m.

D'autre part, les responsables souhaitant maintenir une activité agricole à Porquerolles, cette activité implique des besoins en eaux importants. Ces besoins étaient estimés à 80 000 m³ an en 1985.

A la sortie de lagunage; Les eaux usées traitées rejoignent par gravité le dispositif général d'irrigation de la ferme appartenant au Conservatoire de Porquerolles et sont utilisées pour l'irrigation de 16 hectares de vergers (pêchers, amandiers, ...) et de maraîchages, soit plus de la moitié des surfaces équipées pour l'irrigation (30 ha). La période d'irrigation s'étend de mai à septembre. La consommation annuelle est estimée à 80 000 m³ dont 40 000 m³ d'eau recyclée, la consommation maximale journalière d'eau épurée atteignant 400 m³/jour.

• **Le projet du site de Gidy (Loiret):**

Le projet de valorisation agricole des effluents épurés provenant de la commune de Gidy et des Laboratoires Servier a donné lieu en juin 1994 à un document d'incidence réalisé par la DDAF du Loiret.

¹ Présenté par l'Université de Montpellier.

Pour l'ensemble des exploitations concernées, l'irrigation sera pratiquée de manière régulière pour le maïs et la betterave, de façon occasionnelle pour les céréales à paille (blé tendre et blé dur) en cas de sécheresse printanière. Les périodes d'irrigation sont fixées d'avril à mai, et de juin à septembre pour le maïs et la betterave.

Aux doses d'irrigation annuelles susceptibles d'être pratiquées, les besoins moyens en superficie s'élèvent à 100 ha (200 000 m³ d'effluents apportés à la dose moyenne de 2 000 m³/ha).

En raison des fluctuations climatiques interannuelles, ces besoins pourront toutefois varier entre 400 ha (été exceptionnellement humide) et 50 ha (été exceptionnellement sec).

• **Le projet du site de Loudun (Vienne): /5/ (J.A FABY, 2004).**

La valorisation agricole des eaux usées traitées de la station d'épuration de Loudun est envisagée après un traitement tertiaire parce que la qualité du milieu récepteur superficiel (cours d'eau du Martiel) doit être améliorée (classe 2 au moins 95 % du temps en période d'étiage en aval de Loudun).

La station satisfaite aux normes de rejets européennes pour une station de 10 000 et 15 000 E. H. en janvier 2005, soit 25 mg/l de DB05, 90 mg/l de DCO, 30 mg/l de MES, 2 mg/l de P, 10 mg/l d'azote total.

L'irrigation est en effet pratiquée par certains éleveurs recensés dans un rayon de 7 km au Nord de Loudun. Ils sont intéressés par ce projet de réutilisation. Leurs besoins sont à titre indicatif de :

- Maïs = 1 800 à 2 200 m³/ha.
- Pois = 1 500 à 1 700 m³/ha.

Tous les îlots potentiellement irrigables (6 en tout) sont situés de 1 à 6 km de la station, et ont une superficie de 22 à 70 ha.

Le traitement tertiaire est envisagé à l'aide d'un bassin de finition (stabilisation et décantation) de 12 000 m³ (volume de rejets journaliers 1700 m³/j avec des pointes à 2 000 m³/j). En période d'étiage normal, ce traitement tertiaire est suffisant pour satisfaire l'objectif fixé sur le Martiel.

2. En Algérie:

Épuration des eaux usées et stations d'épurations : Le volume d'eaux usées rejetées à l'échelle nationale est estimé actuellement à près de 750 millions de m³ et dépassera 1,5 milliards de m³ à l'horizon 2020. Afin de prendre en charge l'épuration de ce potentiel d'eaux usées, le secteur des ressources en eau a engagé un programme ambitieux en matière de réalisation d'installations d'épuration. Le nombre de station d'épuration en exploitation est de 102 (52 STEP et 50 lagunes) pour une capacité installée actuelle de 570 hm³/an (en 1999 : 28 STEP pour une capacité de traitement de 98 millions de m³/jour). Le nombre de stations en cours de réalisation est de 176 (87 STEP plus 89 lacunes) pour 355 hm³/an

La capacité totale installée après l'achèvement de ce programme (2012) serait de 925 millions de m³/an pour une production d'eaux usées épurées de 550 millions de m³/an, c'est-à-dire l'équivalent de 10 barrages de moyenne capacité.

Pour le programme 2010-2014, il est prévu la réalisation de 40 STEP, ce qui porterait la capacité d'épuration à l'horizon 2020 à 1,2 milliards de m³/an.

Les stations d'épuration sont gérées pendant deux ans par les constructeurs puis par l'office national de l'assainissement (ONA) avec un programme de formation pour garantir une continuité de service.

Les STEP et lagunes sont dotées de laboratoires pour assurer le suivi quotidien de la qualité des eaux à l'entrée et à la sortie des ouvrages ainsi que la qualité des boues (DB05, DCO, MES). Ces laboratoires sont assistés par le laboratoire central de l'ONA qui assure en plus les analyses des métaux lourds sur les eaux et les boues des STEP.

Réutilisation des eaux usées épurées : pour une meilleure utilisation de cette ressource spécifique, des actions pour la définition des opportunités de réutilisation ainsi que la réglementation de l'usage de cette ressource non conventionnelle sont réalisés à travers l'étude de réutilisation des eaux usées épurées à l'échelle nationale par le ministère des ressources en eau, achevés en décembre 2008.

Quatre missions ont été élaborés, la reconnaissance et collecte de toutes les données de base pour l'élaboration de l'étude, étude d'un schéma directeur de réutilisation des eaux usées épurées, élaboration d'une étude pilote de faisabilité pour la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles avec définition des types de cultures et à des fins industriels ou autres (recharge des nappes, besoins municipaux, arrosage...);

Les principales conclusions de cette étude : pour un renforcement des allocations d'eau pour l'agriculture d'où extension des superficies irriguées (800 millions de m³), augmentation graduelle de taux de réutilisation de 37000 ha (280 millions de m³) à court terme, 80000 ha (600 millions de m³) à moyen terme et 100.000 ha (800 millions de m³) à long terme, utilisation des boues comme fertilisants dans l'agriculture, élaboration d'un projet de norme de référence de base qui servira à encadrer les activités de réutilisation des eaux usées épurées. Il s'agit d'un projet évolutif qui pourra être affiné avec les temps, en fonction des modifications possibles aux usages, aux volumes ou aux procédés d'épuration utilisés.

Le programme en cours est de 15770 ha dont 510 ha en exploitation, 3800 ha achevés livré à l'exploitation, 9800 ha études achevés à lancer en travaux, études en cours sur 1600 ha.

Les services de l'hydraulique de la wilaya sont tenus de mettre en place un dispositif de suivi et de contrôle de la qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation, l'évolution de la qualité de l'eau de la nappe souterraine ; l'état des ouvrages de stockage et de distribution. Aussi, les services de l'agriculture de la wilaya doivent assurer un contrôle phytosanitaire par les eaux usées épurées ; l'évolution des caractéristiques des sols sous irrigation avec des eaux usées épurées.

Les services de la santé de la wilaya doivent assurer un contrôle régulier de la santé du personnel affecté à l'irrigation avec les eaux usées épurées

Egalement, un dispositif de concertation entre le ministère des ressources en eau et le ministère de l'agriculture pour le développement durable par un arrêté interministériel traçant le cadre de cette concertation par la rationalisation de la gestion des ressources en eau en agriculture, la valorisation du potentiel existant des ressources conventionnelles et non conventionnelles (barrages, stations d'épuration, lagunes, périmètre d'irrigation), la création

d'un comité de coordination et de suivi des programmes de l'hydraulique agricole. (**Gadiri Mohammed, déc. 2009**)².

Et comme des exemples des périmètres s irrigues par le EUT, on peut citer:

• **Irrigation du périmètre de Mleta par la STEP d'Oran: (ONID - Groupement SCET-Tunisie / ENHYD, 2007).**

La zone d'étude couvrant environ 10.000 ha a été pré-délimitée. Elle est située à l'Est de la Sebkhha d'Oran, à une vingtaine de km au Sud de la ville d'Oran et à 7 km du site de la station d'épuration située aux environs d'El Karma.

Cette station est implantée sur le bord de la Sebkhha d'Oran où il était prévu de rejeter les eaux usées épurées. Les eaux usées seront acheminées à la STEP par un réseau de transfert important constitués de conduites, galeries et stations de pompage.

Les débits de cette station sont mesures pour deux horizons, soient:

Tableau I.2: débits de la STEP d'Oran.

Débit	Horizon 2005	Horizon 2015
Débit de pointe saisonnière total	169 200 m ³ /j	241 700 m ³ /j
Débit de pointe hebdomadaire total	189 000 m ³ /j	270 100 m ³ /j
Débit de pointe horaire total	10 980 m ³ /j	15 580 m ³ /j
Débit de pointe saisonnière total	169 200 m ³ /j	241 700 m ³ /j

• **Irrigation du périmètre de Hennaya à partir de la STEP de Tlemcen: (ONID, 2008).**

Le périmètre de Hennaya se situe à 15 km au nord de la ville de Tlemcen, limité au sud par l'agglomération de Hennaya.

Les terrains qui forment ce périmètre sont caractérisés par le fait qu'ils sont fortement plats avec une pente régulière de 1.7% dirigés vers le nord, et une altitude qui varie entre 390,00 et 320,00m.

L'alimentation de ce périmètre est assurée par la STEP de Tlemcen réalisée en 2006, cette dernière est située au Sud-Ouest du périmètre à une distance d'environ 5Km, dans la rive droite de l'oued d'AIN HOUTE jusqu'au pied du djebel Tourna. Elle a été réalisée pour traiter les eaux du nord est de Tlemcen et qui sont des eaux usées domestique et pluviales.

Les caractéristiques sont les suivants (en 2005):

- Capacité 150000 Eq/hab.
- Procédé d'épuration boues activée traitement biologique.
- Débit de pointe horaire admis au traitement 3800 m³/h.

² Ces informations ont été tirées de la communication de Bougueroua Omar: directeur de l'hydraulique agricole (MRE) 20 décembre 2009.

- Type de réseau Unitaire.
- Nature des eaux usées domestique.
- Débit journalier 600 l/s.

• **Irrigation de périmètre d'oued Lahreche à partir de la STEP de Médéa: (ONA de Médéa, 2010).**

La construction et la mise en place des équipements électromécaniques de cette station se feront en deux phases permettant de traiter la pollution résultant d'une population équivalent de 162.500 EQ .H en première phase (horizon 2010) et 195.000 EQ .H en deuxième phase (extension horizon 2020).

L'horizon concerné par la présente étude est fixé à l'an 2010 soit 162.500 équivalent habitants. Le tableau I.2 illustre les débits de la STEP aux deux horizons 2010 et 2020.

Tableau I.3: débits de la STEP de Médéa.

horizons	2010	unité	2020	unité
Journalier.	26.000	m ³ /j	39:000	m ³ /j
Moyen.	1.083	m ³ /h	1.625	m ³ /h
pointe temps sec.	1.776	m ³ /h	2.633	m ³ /h
pointe par temps de pluie.	3.249	m ³ /h	4.875	m ³ /h

Le périmètre d'oued Lahreche (145.5 ha) se situe environ à 20 km au sud-ouest de la ville de Médéa, sous la route vers la commune d'Oued Harbil. La station d'épuration de la ville de Médéa se trouve dans le périmètre qui possède une capacité préliminaire de 26000 m³/j et qui va atteindre 39000 m³/j à l'horizon 2020.

Et concernant les périmètres qui sont en exploitation, on peut dénombrés beaucoup:

• **Réutilisations des eaux usées épurée de la STEP de Boumerdes pour l'irrigation des périmètres d'EL FLICI et RAHMOUNE: (ONID, 2011)**

Ces deux périmètres sont situés dans la commune de CORSO. Et ils ont les caractéristiques suivantes:

- **Le périmètre d'EL FLICI**

La superficie irriguée est de 43 ha, la capacité du bassin est de 3185 m², les cultures

L'arboriculture : les vignes, les orangés

Culture fourragère : luzerne, sorgo

Le mode d'irrigation :

Le goutte à goutte et rigole pour l'arboriculture

L'aspersion pour les cultures fourragères

- Le périmètre de RAHMOUNE

La superficie irriguée est de 44 ha, la capacité du bassin est de 18 000 m³, les cultures pratiquées sont :

L'arboriculture : les vignes, orangées

Le mode d'irrigation : le goutte à goutte

La STEP de Boumerdes est d'une capacité de 15000 m³/j à l'horizon de 2030 le procédé d'épuration installé est celui à boue activé à faible charge, le volume actuel produit est de 8000 m³/j et le volume réutilisé est de 1200 m³/j, soit un pourcentage de 15 % réparti entre deux agriculteurs, le reste du volume est rejeté dans l'Oued tatareg.

Le rendement global de la STEP est de d'environ 90 %.

• Création de nouveaux périmètres irrigués à partir des deux STEP de Tipaza et Hadjout: (STUKY ENHYD, 2009).

Le périmètre délimité dans le cadre de cette étude couvre une superficie d'environ 1406 Ha dont 1121 Ha de SAU, il est localisé dans la Wilaya de Tipaza, à environ 60 Km à l'Ouest d'Alger.

Ce périmètre est irrigué à partir des deux stations:

La station d'épuration de Tipaza qui se situe à la sortie de la ville de Tipaza sur la route allant vers Chenoua juste à la sortie de la ville.

Elle est destinée à épurer les eaux résiduaires avant rejet dans l'oued Nador, Cette station prend en charge les rejets de TIPAZA, NADOR, SIDI MOUSSA et SIDI AMAR. Elle est fonctionnelle depuis janvier 2008.

Et celle de Hadjout, c'est la STEP présentée par notre étude.

La production globale des eaux épurées des deux stations est illustrée dans le tableau I.3.

Tableau I.4: débits et volumes des deux STEP.

Horizon	Débit moyen journalier (m ³ /j)	Volume annuel (m ³)
2010	916	5 771 745
2016	18 662	6 811 630
2020	23 593	8 611 445
2038	27 225	9 937 125

I.4. Choix du système d'irrigation :

Etant une pratique particulière, l'irrigation avec les eaux usées traitées exige, en plus des paramètres communs d'une irrigation avec des eaux de nappe, la maîtrise d'autres paramètres liés à la qualité physico-chimique et microbiologique des effluents (micro-organismes pathogènes, éléments toxiques, salinité, matières en suspension, etc...).ainsi le choix de la

méthode d'irrigation adéquate et adaptée permet de réduire les effets indésirables de l'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation.

Les techniques d'irrigation représentent à des degrés divers un risque de propagation des agents pathogènes et des polluants vers les ressources en eaux (nappe ou eaux de surface). Ce risque est directement lié aux quantités d'eau nécessaires aux irrigations qui sont-elle mêmes dépendantes des systèmes d'irrigation. En ce qui concerne la pollution de la nappe, on peut globalement hiérarchiser les systèmes d'irrigation selon le degré de risque de contamination croissant comme suit :

Irrigation gravitaire>>> irrigation par aspersion> irrigation localisée ou micro-irrigation.

I.5. Evaluation économique:

L'analyse économique porte sur la valeur des fonds investis pour la construction et l'exploitation d'un projet de réutilisation, mesurée en termes financiers et calculés sur la base actuelle des prix. Seul le coût marginal du recyclage des eaux usées (traitement supplémentaire, stockage et distribution) doit être inclus (à l'exclusion du coût de collecte et de traitement des eaux usées)

Sur la base de l'expérience des Etats-Unis, le coût total annualisé du traitement des eaux résiduaires brutes jusqu'à la production d'une eau recyclable en irrigation varie de 0.43 à 1.10 \$/m³. La part des coûts d'exploitation et maintenance, comparée à l'amortissement du capital dans le coût totale, dépend de la technologie de traitement.

Il faut souligner que le coût unitaire d'une eau usée recyclée dépend non seulement du débit de l'installation et du la chaîne de traitement, mais aussi de la composition de l'eau usée, des exigences de qualité finale et d'autre condition locales (coût de l'énergie, de la main-d'œuvre).

Conclusion

La réutilisation des eaux usées traitées est une forme de valorisation d'un potentiel en eau très important. Cette valorisation permet d'alléger le recours aux eaux conventionnelles et essentiellement les eaux souterraines très vulnérables. La création de périmètres irrigués par les EUT et la recharge des nappes surexploitées sont les principales options à adopter.

Actuellement, les EUT constituent pour les agriculteurs une source d'eau disponible, mais qui d'une part ne permet pas de développer les cultures à haute rentabilité économique et présente d'autre part des risques sanitaires.

Aussi, les possibilités de valoriser les eaux usées sont intimement liées au contexte juridique et réglementaire local. Une étude comparative des différents cadres juridiques basée sur le diagnostic des limites posées à la réutilisation des eaux usées, devrait permettre de dégager des éléments clés régissant la réutilisation de ces effluents. Il s'agit des recommandations de OMS³, FAO⁴ et USEPA.

³ Organisation mondiale de la Santé.

⁴ Food and agriculture organization.

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

Introduction:

Le Projet a pour objectif la valorisation des potentialités en ressources en eaux non conventionnelles pour contribuer à l'accroissement de la production agricole et pour préserver l'environnement par le recyclage des eaux usées épurées.

Ce chapitre fera l'objet d'une présentation du site d'étude (périmètre et station d'épuration), du point de vue situation géographique et quelques caractéristiques de la zone.

II.1 Présentation du périmètre la Mitidja ouest- tranche II:

1. Situation géographique :

Le périmètre de la Mitidja Ouest est situé à l'ouest de l'oued Chiffa, Il se localise dans le territoire de deux willayas :

- Blida : 1200 Ha (commune d'El Affroun).
- Tipaza : 14000 Ha (commune de Ahmer El Ain, Bourkika, Hadjout, Sidi Rached et Attatba).

Il est limité :

- Au Nord : par la route Nationale N°67.
- A l'Ouest : par les collines de Hadjout.
- A l'Est : par l'oued Bourroumi.
- Au Sud : par les monts de l'Atlas.

La figure II.1 représente la localisation du périmètre de la Mitidja ouest tranche II.

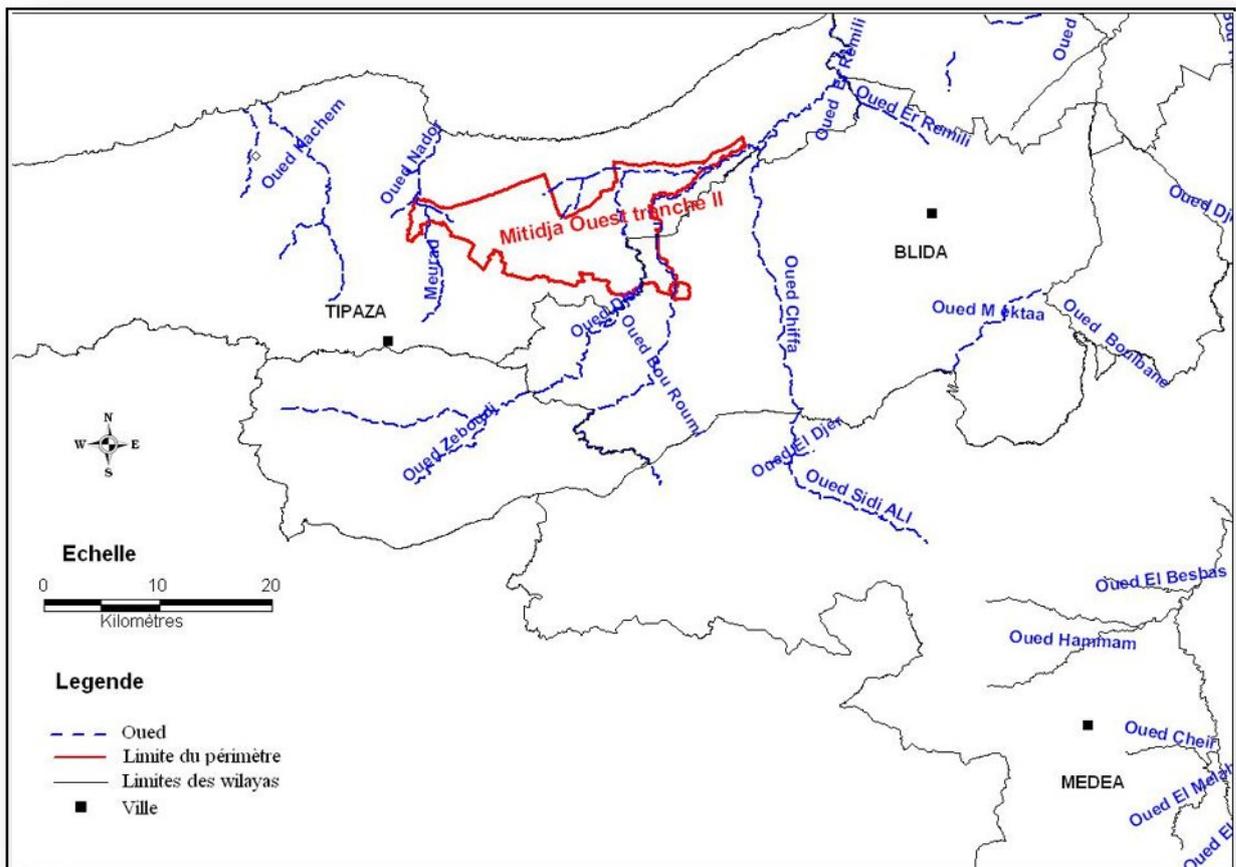


Figure II.1 : Localisation du périmètre Mitidja Ouest tranche II

2. Ressources en eau :

Le périmètre irrigué de la Mitidja ouest tranche II est mis en service en 2004, il est alimenté principalement par le système existant « El Moustakbal » constitué par un barrage sur l'oued Bouroumi qui est réalimenté par des dérivations sur 03 oueds Chiffa, Harbil et Djer ainsi que par le barrage Boukourdane oued El Hachem.

Il couvre une superficie équipée de 15 600ha dont 1 200 ha sont situés dans la Wilaya de Blida et 14 400ha dans la Wilaya de Tipaza ; il est subdivisé en 07 secteurs d'irrigation dont 03 sont irrigués par pompage et 04 par gravité (Figure II.2 et tableau II.2).

SCHEMA GENERAL DU PERIMETRE D'IRRIGATION DE LA MITIDJA OUEST (Tr II)

SUPERFICIE= 15 600 HA

-CELLULE S.I.G.(AGID)-

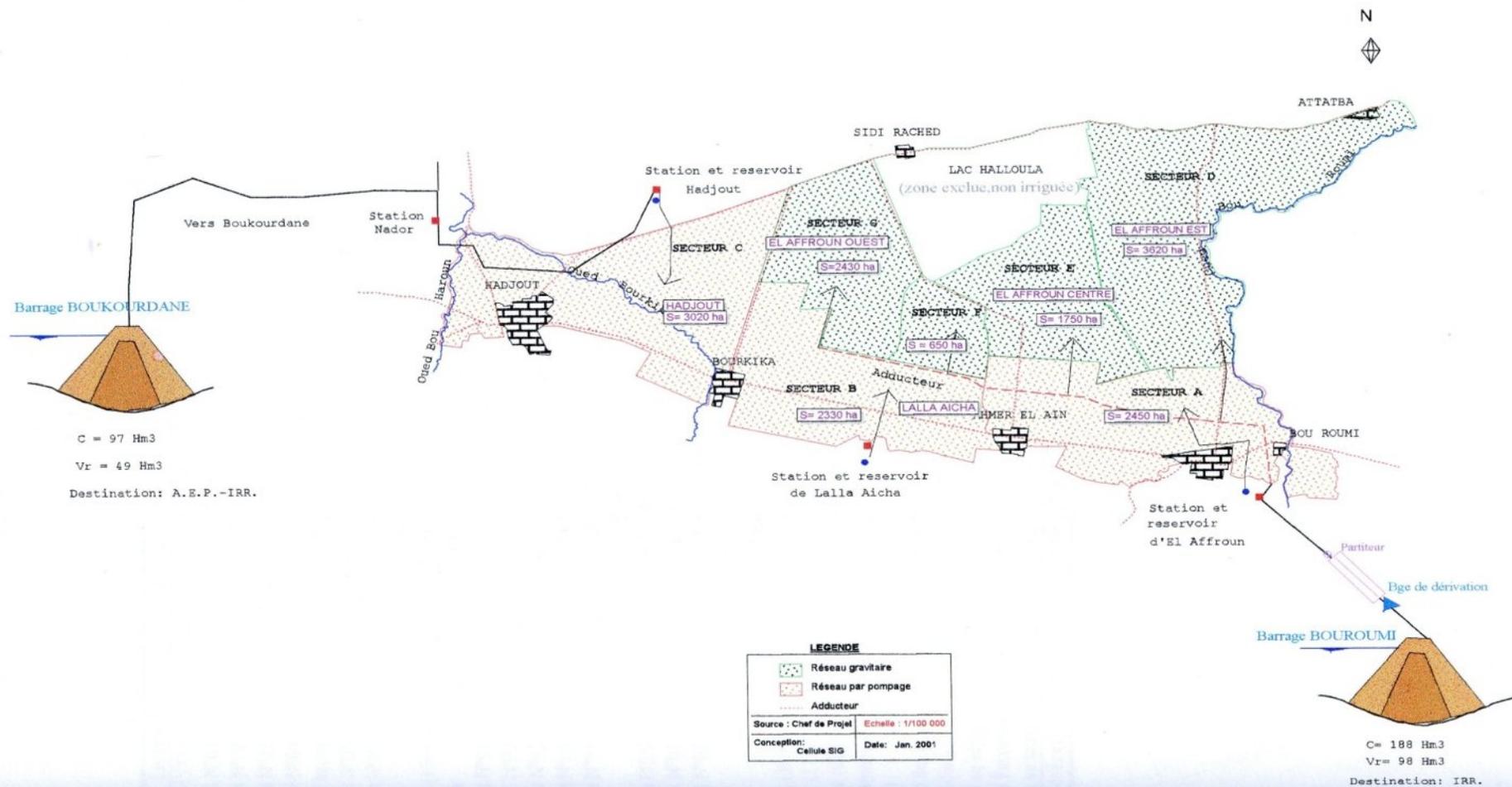


Figure II.2.

Tableau II.2 : Caractéristiques des secteurs de la Mitidja ouest tranche II

Secteurs	Superficies équipées en ha	Superficies irriguées en ha	Types d'alimentation	Origine de la ressource
A	2450	2250	PAR POMPAGE	BOUROUMI BOUKERDANE (refoulement ANBT)
B	2330	1983		
C	3020	2389		
D	3620	3130	PAR GRAVITE	BOURROUMI
E	1750	1470		
F	650	547		
G	1780	1632		

3. Le secteur C :

Le Secteur C (3020 ha) se trouve en totalité dans la commune de Hadjout. Il est irrigué par pompage à partir de **la station de pompage de Hadjout** (1369 l/s) alimentée par la conduite en béton du transfert de **Boukourdane** en diamètre de 1250mm (figure II.2)

Cette station dessert le réseau du secteur Hadjout par la branche C en béton et amiante ciment (7340ml et de diam. 200 à 1000 mm) en passant par le réservoir de régulation de capacité globale 488 m3.

- **Station de pompage de Hadjout :**

La station de pompage de Hadjout est située à 5 km au Nord –Est de la ville de Hadjout, à proximité de la route (RN 67) Hadjout-Sidi Rached, elle assure l'écoulement du pompage dans une direction perpendiculaire à l'axe de la conduite d'adduction vers le secteur C.

- La station est réalisée en béton armé de longueur 24,18 m et de largeur 9,80 m.

- La profondeur maximale d'eau à l'intérieur de la station est de 4,96 m et de débit nominal est de $1,536\text{m}^3/\text{s}$.
- La station est équipée de grilles fines, d'obturateur à disque, d'une vanne papillon Φ 1000 mm et de 04 pompes.

- **Réservoirs de régulation associés aux stations :**

A chacune des 3 stations de pompage est associé un réservoir au sol situé de 30 à 80 m en Contre-haut de celles-ci, à une distance comprise entre 200 et 700 m.

Le rôle de ces réservoirs est de maintenir un volume de régulation suffisant entre l'appel de débit dans les réseaux et le débit fourni Par les pompes. Le démarrage des pompes n'étant provoqué que par la baisse de niveau dans les réservoirs.

- **Réservoir de Hadjout :**

Cet ouvrage est situé à une distance de 700 m en contre haut de la station de pompage du côté Nord de celle-ci.

- Réalisé en béton armé circulaire et semi-enterré de diamètre intérieur 12,5 m et d'une hauteur intérieure de 3,98 m .

- La capacité globale est de 488m^3 .

- La profondeur maximale d'eau à l'intérieur du réservoir est de 2,88 m et le débit est de $536\text{m}^3/\text{s}$.

II.2 Présentation de la station d'épuration de Hadjout :

1. Situation géographique :

La station d'épuration de Hadjout est située à 2 kilomètres de la ville de Hadjout dans la zone industrielle (Figure II. 3). C'est une station fonctionnelle depuis juillet 2006.

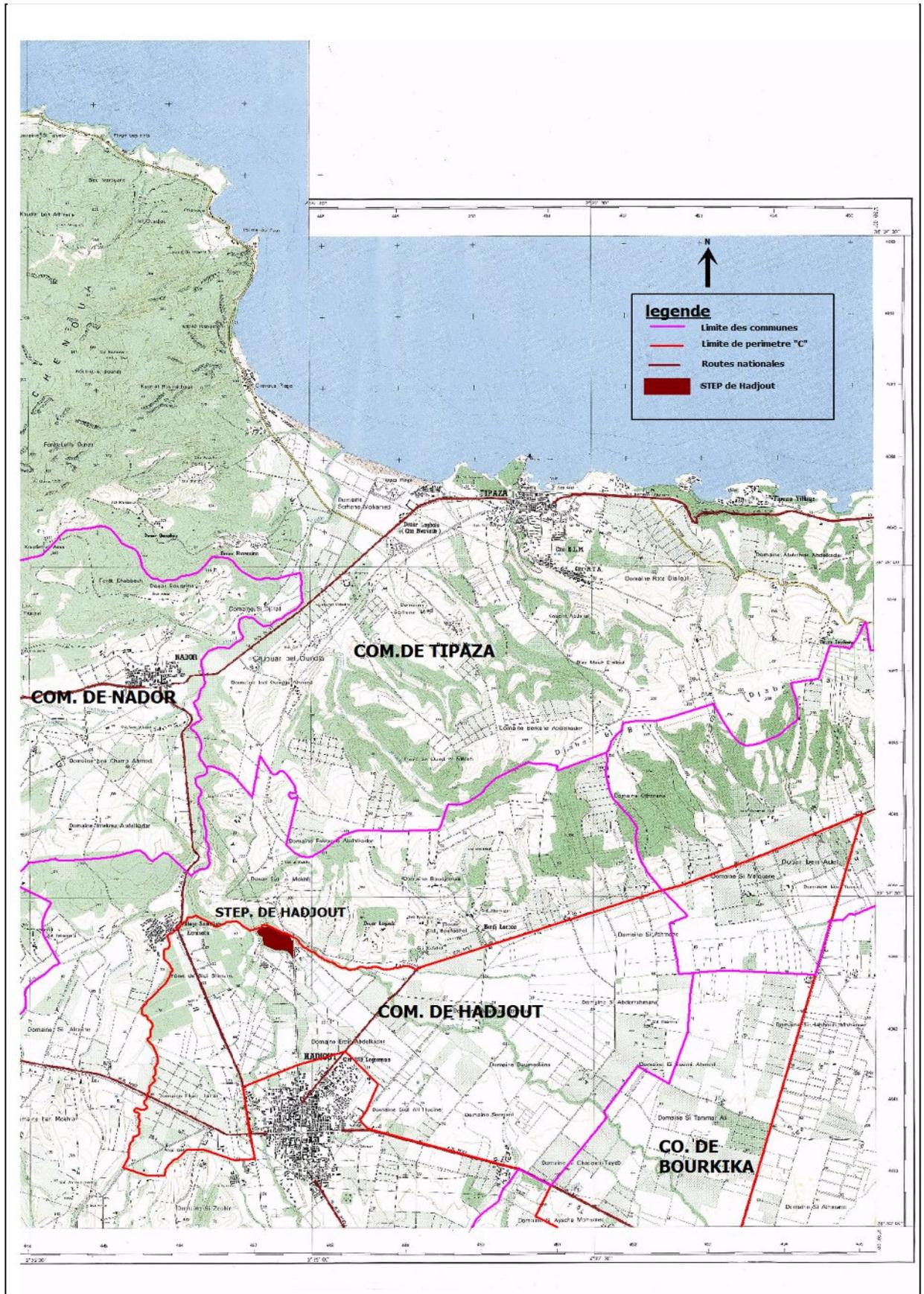


Figure II.3: Localisation de la STEP de Hadjout

2. Objectifs de la STEP de Hadjout:

Elle est destinée à épurer les eaux résiduaires avant rejet dans l'oued Bourkika, Cette station prend en charge les rejets des villes de Hadjout, Meured, et Arrahaba.

La construction et la mise en place des équipements de cette dernière permettent d'épurer les eaux usées résultantes d'une population de 70.000 équivalents-habitants.

L'objectif d'épuration des eaux usées de le STEP de Hadjout est d'atteindre les principales valeurs récapitulatives dans l'énoncé suivant :

Les caractéristiques de l'effluent final, après chloration sur 24 heures :

- DBO5 : inférieure ou égale à 30 mg/l sur 24 heures ;
- DCO : inférieure ou égale à 90 mg/l sur 24 heures ;
- MES : inférieure ou égale à 30 mg/l sur 24 heures ;
- PH : compris entre 6,5 et 8,5 ;
- Coliformes totaux : 20.000 / 100 ml ;
- Coliformes fécaux : 12.000 / 100 ml.

Ces données ont été tirées de l'étude de la station d'épuration de la ville de Hadjout (Manuel d'exploitation).

L'estimation de la production des eaux épurées pour les horizons 2016, 2020 et 2038 sont données dans le tableau suivant :

Tableau II.2 : Production des eaux usées épurées pour les différents horizons

Horizon	Débit moyen journalier (m ³ /j)	Volume annuel (m ³)
2010	11200	4 088 000
2016	12 540	4 577 100
2020	16 800	6 132 000
2038	16 800	6 132 000

Source : ONA Tipaza.

Les ouvrages principaux de la station sont :

- Une station de relevage en tête de station.
- Un traitement physique, pour l'élimination des huiles, sable....
- Un traitement anaérobie pour la diminution du taux de phosphore dans l'effluent. Le phosphore est dû à la présence de détergents dans l'eau.
- Un traitement aérobie.
- Un traitement anoxie pour l'élimination de l'azote par voie biologique (nitrification / dénitrification). Ceci améliore considérablement la qualité de l'effluent rejeté dans l'Oud, et présente l'avantage de réduire la consommation d'énergie et de chlore.

- Des équipements de déshydratation par presses à bandes, qui remplacent avantageusement les lits de séchages. Pour le traitement des boues.

L'organigramme suivant, présente le système d'épuration de la station :

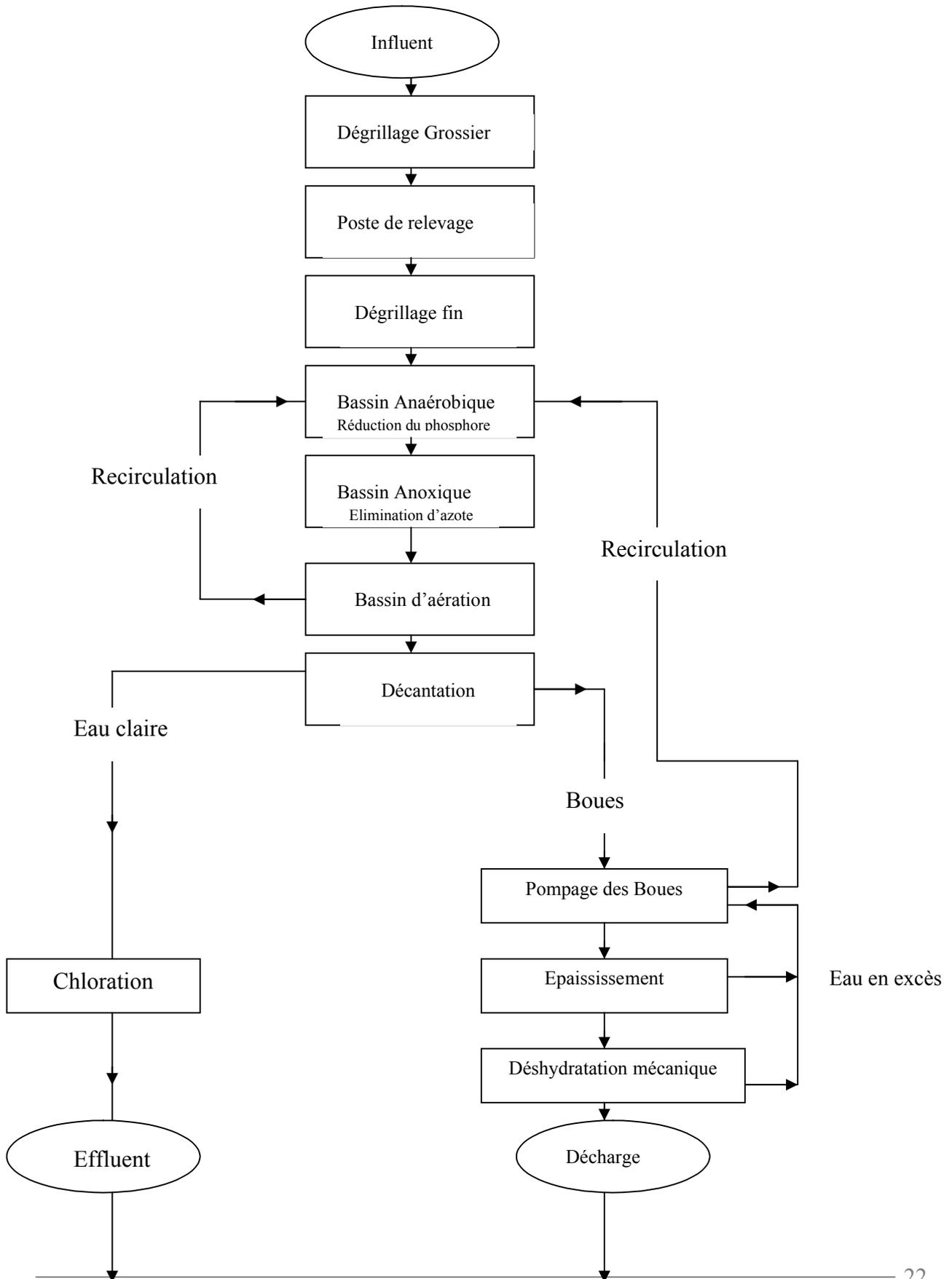


Figure II.4 : Organigramme de la station de traitement**3. Les ouvrages de la station :**

La filière de traitement comprend principalement les ouvrages suivants:



Figure II.5 : Bloc des traitements physiques (dégrillage grossier et fin ainsi que dessablage / déshuilage) de la STEP de la ville de Hadjout

a. Dégrillage grossier :

Au moyen d'une grille grossière à nettoyage manuel (figure II.6).



Figure II.6 : Dégrillage grossier de la STEP de Hadjout

b. Station de relevage :

Elle est indispensable car la conduite d'amenée de l'influent se trouve approximativement à 3.5 m de profondeur (figure II.7).



Figure II.7: Station de relevage de la STEP de Hadjout

c. Dégrillage fin :

Au moyen d'une grille fine, à nettoyage automatique, et d'une grille fine à nettoyage manuel, installées en parallèle, la grille manuelle servant de secours (figure II.8).



Figure II.8 : Dégrillage fin

d. Dessablage / déshuilage :

Cette double opération se fera dans un ouvrage circulaire, à effet centrifuge.

Un système by-pass permet d'isoler l'ouvrage. Ce sera utile pour les travaux de maintenance, et pour les périodes de l'année où le dessablage n'est pas nécessaire (figure II.9).



Figure II.9 : Dessablage / déshuilage de la STEP de la ville de Hadjout

e. Traitement biologique :

Il se fera dans deux bassins rectangulaires montés en parallèle.

Chaque bassin comporte trois compartiments :

- Un compartiment anaérobique, pour la réduction du taux de phosphore, équipé de mélangeurs pour empêcher la décantation (figure II.10).



Figure II.10 : Compartiment Anaérobique - Traitement biologique - de la STEP de la ville de Hadjout

- Un compartiment anoxique pour l'élimination de l'azote, également équipé de mélangeurs pour empêcher la décantation (figure II.11).



Figure II.11: Compartiment Anoxique - Traitement biologique - de la STEP de la ville de Hadjout.

- Un compartiment d'oxygénation (aérobie), équipé de six aérateurs de surface.



Figure II.12 : Compartiment Aérobie - Traitement biologique - de la STEP de la ville de Hadjout

Une recirculation est prévue entre le bassin d'oxygénation et le compartiment anaérobie. Comme nous pouvons le voir dans la figure 11.12.

f. Décanteurs secondaires :

Circulaires de 32m de diamètre, à pont racleur tournant (figure II.13).



Figure II.13 : Décanteurs secondaires de la STEP de la ville de Hadjout

g. Poste de pompage des boues :

Pour la recirculation des boues activées, et le pompage des boues en excès vers l'épaississeur (figure II.14).



Figure II.14 : Poste de pompage des boues (à gauche) et un bassin d'équilibre (chambre de distribution) pour la répartition des eaux vers les deux décanteurs (à droite) de la STEP de la ville de Hadjout

h. Bassin de chloration :

L'ajout du chlore à la fin du traitement (figure II.15)



Figure II.15 : Bassin de chloration de la STEP de la ville de Hadjout

i. Epaisseur de boues :**Déshydratation par presse à bande :**

Dans cette phase de conception du processus, ils ont pris le plus grand soin pour faire en sorte que l'opération et la maintenance des divers équipements puisse se faire de façon simple et fiable (figure II.16).



Figure II.16 : Déshydratation par presse à bandes (à gauche) ; Epaisseur de boues (à droite) de la STEP de la ville de Hadjout

Conclusion:

Depuis sa réalisation, la station d'épuration de Hadjout est toujours en fonctionnement, elle épure les eaux usées collectées des villes citées précédemment et par la suite les rejette dans le milieu naturel (oued Bourkika), c'est une bonne action de préserver les milieux récepteurs, mais il est vivement intéressant d'exploiter ces eaux et les utiliser comme une source pour des diverses utilisations tel que l'irrigation.

Dans le chapitre suivant, on va étudier la possibilité de valorisation des eaux usées épurées et leurs utilisation comme une source d'eau pour l'irrigation du secteur "C" du périmètre de la Mitidja ouest tranche II.

Chapitre III

Qualité des eaux a la sortie de la STEP de Hadjout

Introduction:

La station d'épuration de Hadjout est fonctionnelle depuis juillet 2006. Pour apprécier la qualité des eaux en général et exactement à la sortie de notre station, les différents paramètres de pollution qui les caractérisent doivent être mesurés et comparés par la suite avec les principales normes mondiales de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles, précisément avec les décrets algériens fixant ces concessions.

III.1. Principaux paramètres de pollution :

Les principaux paramètres utilisés sont (Belaid .N, 2010):

1. Paramètres physiques :

- **Température :**

La température est un paramètre dont le contrôle est indispensable surtout en présence d'effluents industriels.

C'est un paramètre important pour le bon fonctionnement des systèmes d'épuration dans la mesure où il peut influencer de différentes manières sur la solubilité des sels et des gaz.

Il est établi que la solubilité d'un gaz diminue avec l'augmentation de la température.

Ce phénomène est particulièrement important dans le cas de l'oxygène dissous.

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

- **Matières en suspension (MES):**

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

- **Matières volatiles sèches (MVS) :**

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

- **Couleur et l'odeur :**

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

- **Turbidité:**

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

- **Salinité (CE):**

La salinité d'une eau est un terme utilisé pour faire référence à la concentration totale d'ions inorganiques majeurs (Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K , HCO_3^- , SO_4^- et Cl^-) dissous dans cette eau. Elle exprime la concentration totale des cations ou anions en solution et non la somme des concentrations de ces cations et anions.

Pour des raisons de commodité analytique, un indice pratique de salinité électrique CE exprimée en décimètre par mètre (**ds/m**) ou en **mmhos/cm**.

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

2. Paramètres chimiques :

• PH (Potentiel Hydrogène) :

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

Dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité),

Dans les processus biologiques, dont certains exigent des limites de PH très étroites se situant entre 6,5 et 8,5.

• Demande biologique en oxygène en 5 jours (DBO5) :

Consommation d'oxygène en 5 jours à 20°C, à l'obscurité, résultant de la métabolisation de la pollution biodégradable par les microorganismes de contamination banale des eaux.

Ces matières sont de nature dissoute ou particulières.

Elle représente la fraction biodégradable de la DCO.

Les charges en DBO apportées par les eaux brutes par jour et par habitant sont estimées suivant le type de réseau comme suit:

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

• Demande chimique en oxygène (DCO) :

Consommation d'oxygène dans les conditions d'une réaction d'oxydation, en milieu sulfurique, à chaud et en présence de catalyseur, par les matières oxydables de l'eau.

Ces matières oxydables sont dissoutes ou particulières et de nature minérale ou organique.

• Relation entre DCO et DBO5 :

Le rapport DCO/DBO5 donne une estimation de la biodégradabilité des eaux usées.

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

- ▲ Si $DCO/DBO5 \leq 2$: Le traitement se fait biologiquement.
- ▲ Si $2 < DCO/DBO5 < 3$: Le traitement biologique avec adaptation de souches.
- ▲ Si $DCO/DBO5 > 3$: Traitement physico-chimique, l'eau est pratiquement non traitable par voie biologique.

• Eléments toxiques :

Il y a présence des métaux lourds (plomb, mercure,) et des substances toxiques (phénols) dans l'eau usée peut la rendre toxique, ils sont évalués par les tests biologiques.

• Nutriments (Azote, phosphore) :

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

Les autres paramètres de pollution (**les paramètres microbiologiques et métaux lourds**) sont résumés par la suite (les différents règlements de la REU).

III.2. Différentes réglementations de la REU dans le monde :

Trois différents critères doivent être satisfaits pour permettre la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation (Belaid .N, 2010). Ces critères sont:

- Un critère micro - biologique : l'eau ne doit pas comporter des germes pathogènes qui pourraient mettre en danger la santé des travailleurs agricoles, les voisins des champs irrigués et les consommateurs des produits agricoles,
- Un critère chimique: la qualité chimique de l'eau ne doit pas avoir des effets négatifs sur le développement de la plante,
- Un critère mécanique: le risque de colmatage des installations d'irrigation, en particulier des systèmes d'aspersion ou de goutte à goutte, doit être évité.

1. Critères microbiologiques:

Les recommandations de l'OMS (Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture) ou « Recommandations sanitaires pour l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture » (1989) sont les seules à l'échelle internationale.

Elles ne concernent que l'usage agricole et sont ciblées sur des paramètres exclusivement microbiologiques. Elles sont source d'inspiration pour de nombreux pays à travers le monde.

En 2000, elles ont été révisées, en intégrant les résultats de nouvelles études épidémiologiques (Blumenthal et al. 2000) (**Tableau III.1**). Les modifications ont essentiellement porté sur la norme " œufs d'helminthes " qui pour certaines catégories est passée de 1 à 0,1 œuf L-1. Ces recommandations sont destinées à une utilisation internationale et sont donc adaptées aux pays en voie de développement. Elles représentent la limite au-delà de laquelle la santé publique n'est plus assurée.

L'OMS a publié en 2006 de nouvelles lignes directrices sur l'utilisation des eaux usées (WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater), qui tiennent compte des situations locales et privilégient les moyens à prendre pour réduire au minimum les risques sanitaires posés par ces eaux. L'approche innove surtout parce qu'elle encourage l'adoption de mesures relativement simples pour protéger la santé à tous les maillons de la chaîne alimentaire. Il s'agit d'une approche à barrières multiples qui cherche à protéger la santé des consommateurs avant que les aliments irrigués au moyen d'eaux usées n'atteignent leur assiette. Cette approche peut inclure la combinaison des éléments suivants: le traitement des eaux usées, la restriction des cultures, les techniques d'irrigation, le contrôle de l'exposition aux EU ainsi que le lavage, la désinfection et la cuisson des produits (OMS, 2006).

Tableau III.1:Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture (Blumentahl et coll., 2000).

<i>Catégories</i>	<i>Conditions de réutilisation</i>	<i>Groupes exposés</i>	<i>Techniques d'irrigation</i>	<i>Nématodes intestinaux^b</i>	<i>Coliformes fécaux^c</i>	<i>Traitements recommandés pour atteindre le niveau de qualité microbiologique</i>
<i>A</i>	Irrigation sans restriction A1 Pour les cultures maraîchères consommées crues, les terrains de sports, les parcs publics ^d	Travailleurs, consommateurs, public	Toutes	$\leq 0,1$ ^e	$\leq 10^3$	Série de bassin de stabilisation bien conçus, réservoir de stockage et de traitement remplis séquentiellement, ou traitement équivalent (p.ex. traitement secondaire conventionnel suivi soit d'un lagunage tertiaire, soit d'une filtration et d'une désinfection).
<i>B</i>	Irrigation restreinte. Céréales, cultures industrielles, fourragères, pâturage et forêt ^f	B1 Travailleurs (mais pas les enfants < 15 ans), population alentour	Par aspersion	≤ 1	$\leq 10^5$	Série de bassins de rétention dont un bassin de maturation ou un bassin séquentiel ou un traitement équivalent (p.ex. traitement secondaire conventionnel suivi soit par des lagunages tertiaires, soit une filtration.
		B2 comme B1	Par rigole d'infiltration ou par gravité	≤ 1	$\leq 10^3$	Comme pour la catégorie A.
		B3 Travailleurs dont les enfants < 15 ans, population alentour	Toutes	$\leq 0,1$	$\leq 10^3$	Comme pour la catégorie A.
<i>C</i>	Irrigation localisation sur des cultures de la catégorie B s'il n'y a pas d'exposition des travailleurs ou du public	Aucun	Goutte-à-goutte, micro-jet, etc.	Pas de norme	Pas de norme	Prétraitement nécessaire pour des raisons techniques liées à l'irrigation, mais pas moins qu'une sédimentation primaire.

- a. Dans certains cas particuliers, les facteurs épidémiologiques, socioculturels et environnementaux, devront être prises en compte, et les recommandations modifiées en conséquence.
- b. Moyenne arithmétique du nombre d'œufs/l. Les espèces considérées sont *Ascaris*, *Trichuris* et l'ankylostome ; la recommandation correspond aussi à une protection contre les protozoaires parasites.
- c. Moyenne géométrique ^e du nombre/100 ml. La moyenne géométrique (G) est définie comme étant la racine du produit des N termes d'une série statistique.
- d. Une limite plus restrictives (≤ 200 coliformes fécaux / 100 ml) est appropriée pour les pelouses publiques, comme les pelouses d'hôtels, avec lesquelles le public peut avoir un contact direct.
- e. Cette limite peut être augmentée à ≤ 1 œuf/l si (i) il fait chaud et sec et que l'irrigation de surface n'est pas pratiquée ou (ii) le traitement de l'eau contient aussi des traitements chimiothérapeutiques anti-helminthes.
- f. Dans le cas des arbres fruitiers, l'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la récolte, et aucun fruit ne doit être récolté au sol. L'irrigation par aspersion ne doit pas être utilisée.

2. Qualité chimique:

La FAO a publié des recommandations, qui sont données dans son ensemble dans le Tableau III.3. D'autres organismes ont établi des recommandations complémentaires pour quelques paramètres chimiques. Ainsi, la FAO (2003) a fixé, selon la durée de réutilisation, des limites concernant les éléments traces dans les eaux usées traitées destinées à l'irrigation (Tableau III.2).

Tableau III.2: Limites recommandées en éléments traces (mg.L^{-1}) dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2003).

<i>Paramètre</i>	<i>Long terme</i> ^a	<i>Court terme</i> ^b
Aluminium	5.0	20.0
Arsenic	0.1	2.0
Béryllium	0.1	0.5
Bore	0.75	2.0
Cadmium	0.01	0.05
Chrome	0.1	1.0
Cobalt	0.05	5.0
Cuivre	0.2	5.0
Cyanures	0.05	0.5
Fluor	1.0	15.0
Fer	5.0	20.0
Phénols	0.002	0.002
Plomb	5.0	10.0
Lithium	2.5	2.5
Manganèse	0.2	10.0
Mercure	0.01	0.01
Molybdène	0.01	0.05
Nickel	0.2	2.0
Selenium	0.02	0.02
Vanadium	0.1	1.0
Zinc	2.0	10.0

Avec :

^a pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols.

^b pour l'eau utilisée pendant une période d'au plus 20 ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalin.

Tableau III.3: Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO 1985).

<i>Problème potentiel en irrigation</i>	<i>Unité</i>	<i>Degré à restriction d'usage</i>		
		<i>Aucun</i>	<i>Léger à modérer</i>	<i>Sévère</i>
<u><i>Salinité</i></u>				
Conductivité électrique ou TDS	dS/m mg/l	< 0,7 450	0,7 – 0,3 450 – 2.000	> 0,3 > 2.000
<u><i>Infiltration</i></u>				
SAR = 0 – 3 et CE = 3 – 6	dS/m	> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
= 6 – 12		> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
= 12 – 20		> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
= 20 – 40		> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
		> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
<u><i>Toxicité spécifique des ions</i></u>				
<i>Sodium (Na)</i>				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 – 9	> 9
Irrigation par aspersion	meq/l	< 3	> 3	
<u><i>Chlorure (Cl)</i></u>				
Irrigation de surface	meq/l	< 4	4 – 10	> 10
Irrigation par aspersion	meq/l	< 3	> 3	
<u><i>Bore</i></u>	mg/l	< 0,7	0,7 – 0,3	> 3,0
<u><i>Effets divers</i></u>				
Azote (NO ₃ -N)	mg/l	< 5	5 – 30	> 30
Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
<u><i>pH</i></u>			Gamme normale 6,5 – 8,4	

Avec :

- (a) sur moyenne de 24 heures.
(b) sauf dérogation particulière.

3. Problèmes de colmatage:

La FAO a également publié des recommandations concernant le colmatage dans les systèmes d'irrigation, elles sont présentées dans le tableau III.4.

Tableau III.4: Qualité de l'eau et potentiel de colmatage dans des systèmes d'irrigation par goutte (FAO, 85)

Problème	Unité	Degré de restriction pour l'usage		
		pas de restriction	Peu modéré	sévère
1) Physique Matières en suspension	Mg/l	<50	50-100	>50
2) Chimique				
pH -	Mg/l	<7.0	7.0 — 8.0	>8.0
Matières dissoutes	Mg/l	<500	500-2000	>2000
Manganèse	mg/l	<0,1	0,1-1,5	>1.5
Fer	Mg/l	<0.1	0.1-1.5	>1.5
Sulfate d'hydrogène	Mg/l	<0,5	0,5-2	>2
3)Microbiologique				
Coliformes totaux	Unités/100 ml	<10 000	10 000— 50000	>50000

Source : FAO 1985

III.3. Réglementations algériennes fixant la RUE à des fins d'irrigation:

L'utilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles en Algérie s'appuyait jusqu'à maintenant sur la législation sur l'eau et l'environnement. La récente réglementation spécifique à l'utilisation des eaux usées épurées prise en application des dispositions de la loi relative à l'eau nécessite un cadre réglementaire dans ce domaine.

1. Projet d'arrêté interministériel fixant la liste des cultures qui pouvant être irriguées avec les eaux usées épurées

Le présent projet d'arrêté est proposé en application des dispositions de l'article 15 du décret exécutif n°07-149 du 20 mai 2007, relatif aux modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent.

Le projet d'arrêté fixe la liste des cultures pouvant être irriguées par les eaux usées épurées (tableau III.5) dans un objectif de minimiser les risques sur la santé publique.

Aussi le choix des cultures a tenu compte de plusieurs facteurs susceptibles d'intervenir dans la bonne gestion de l'irrigation à savoir :

- La nature et les caractéristiques physico-chimiques du sol,
- La pratique habituelle de l'irrigation chez l'agriculteur,
- La sensibilité des cultures notamment au sel,
- Le système d'irrigation,
- La disponibilité de l'eau.

Tableau III.5: Liste des cultures pouvant être irriguées avec les eaux usées épurées

Groupes de cultures pouvant être irriguées par les eaux usées épurées.	Liste des Cultures
Les arbres fruitiers ⁽¹⁾	dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, Rhubarbe, Arachides, Noix, Olive.
Les agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Les cultures fourragères ⁽²⁾	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce, et luzerne.
Cultures industrielles	Tomate industrielle , haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière , Coton, le tabac, le lin.
Les cultures céréalières	Blé, orge, triticales et avoine.
Les cultures de production de semences	Pomme de terre, Haricot et Petit pois.
Les arbustes fourragers	l'Acacia et l'Atriplex.
Les plantes florales à sécher ou à usage industriel	le rosier, l'iris, le jasmin, la marjolaine et le romarin.

- (1)- L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise puisque on peut cesser l'irrigation plusieurs jours avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.
- (2)- Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et ce, afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

2. Projet d'arrêté interministériel fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.

Le présent projet d'arrêté pris en application des dispositions de l'article 2 du décret exécutif n° 07- 149 du 20 mai 2007, relatives aux modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent, fixe les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation, et notamment en ce qui concerne les :

- normes microbiologiques (tableau III.6).
- normes physico-chimiques (tableau III.7).

Tableau III.6: Normes microbiologiques

Groupes de cultures	Paramètres microbiologiques	
	Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs/l) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive Culture de produits pouvant être consommés crus.	<100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	<250	< 0,1
Arbres fruitiers ⁽¹⁾ Cultures et arbustes fourragers ⁽²⁾ Cultures céréalières Cultures industrielles ⁽³⁾ Arbres forestiers Plantes florales et ornementales ⁽⁴⁾ .	Seuil recommandé <1000	<1
Les cultures du groupe C utilisant l'irrigation localisée ⁽⁵⁾	Pas de norme recommandée	Pas de norme recommandée

- (1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est à éviter.
- (2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.
- (3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.
- (4) Une directive plus stricte (<200 coliforme fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.
- (5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légume.
- (6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrise la gestion de l'irrigation localisée et respecte les règles d'hygiène exigées. Aucunes populations alentour.

Tableau III.7: Normes physico-chimiques

PARAMÈTRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	PH	-	$6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = 0-3	ds/m	0.2
	3-6		0.3
	6-12		0.5
12-20	1.3		
20-40	3		
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	Chlorure (Cl)	meq/l	10
	Azote (NO ₃ -N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	8.5
Eléments Toxique ^(*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
Sélénium	mg/l	0.02	
Vanadium	mg/l	1.0	
Zinc	mg/l	10.0	

(*) : Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.

III.4. Qualité des eaux:

Pour apprécier la qualité des eaux de notre station, toutes les mesures des paramètres physicochimiques cités au paravent ont été effectuées à l'aide des échantillons représentatifs de la journée, prises chaque une heure de 8 :00H jusqu'à 17 :00H. Les résultats d'analyses sont présentés comme suit :

1. Paramètres physicochimiques:

Les valeurs moyennes des paramètres physicochimiques à l'entrée et à la sortie de la STEP sont tirés du bilan annuel 2010 de la STEP (du 1^{er} /jan. au 31/déc./2010), elles sont présentées dans le tableau III.8.

Tableau III.8 : Spécifications physico-chimiques des eaux usées épurées de la STEP de Hadjout en 2010 (entré et sortie).

Paramètres		Unités	Eaux brutes	Eaux épurées
Potentiel d'hydrogène	PH	---	7,28	7,66
Température	T°	(C°)	18.28	18.53
conductivité électrique	CE	dS/m	1.685	1.349
Demande Chimique en Oxygène	DCO	mg O ₂ /l	583.87	34.32
Matière en Suspension	MES	mg/l	286.83	7.5
Demande Biologique en Oxygène	DBO ₅	mg O ₂ /l	409.6	19.47
Othophosphates	PO ₄ ³⁻	még/l	15.02	7.88
Azote ammoniacal	N-NH ₄	még/l	33.65	4.82
Nitrate N-NO ₃	NO ₃ ⁻	még/l	3.3	1.87
Nitrite N-NO ₂	NO ₂ ⁻	még/l	0.46	0.16
l'azote KEJELDAHL	NTK	mg/l	37.38	7.53
Magnésium	Mg ⁺⁺	még/l	---	5.25
Calcium	Ca ⁺⁺	még/l	---	5.42
Sodium	Na ⁺	még/l	---	3.7

1.1 Interprétations des résultats :

En se référant aux résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées urbaines de la ville de Hadjout, qui furent obtenus à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration (STEP), nous pouvons conclure ce qui suit:

a) Eaux usées brutes (entré de la STEP) :

A l'entrée de la STEP (Eaux brutes), les concentrations moyennes obtenues des eaux usées brutes concernant les différents paramètres chimiques s'élèvent à :

- DCO : \approx 583.87 mg/l, - DBO₅ : \approx 409.60 mg/l, - O-PO₄ : \approx 15.02 mg/l, - NTK : \approx 37.38 mg/l, - Huiles et graisses : \approx 466,20 mg/l caractérisent bel et bien la qualité d'une eau usée urbaine à prédominance domestique fortement chargée, si l'on tient compte du tableau de Metcalf & Eddy (tableau III.9).

Dans les effluents urbains à prédominance domestique, et selon la norme (NFU 44-04 de juillet 1985), le rapport (DCO/DBO5) permettant d'apprécier la biodégradabilité de la matière organique serait inférieur ou égale à 2,5. /1/

Dans notre cas, le dit rapport moyen (DCO/DBO) semble respecter la norme préalablement évoquée, puisqu'il s'élève à 1.42, confirmant pleinement la biodégradabilité des matières organiques présentes dans l'eau examinée, pouvant être épuré par voie biologique.

Remarque :

/1/ : Jean Rodier, critères de la pollution organique (Détermination de la DCO, l'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, Juin 1996, 8 Edition, page 567).

Tableau III.9: Composition typique des eaux usées domestiques d'après " METCALF & EDDY, INC. (Mc Graw Hill 1972)"

Contaminants	Unit	Weak	Medium	Strong
Solids, total (TS)	(mg/l)	350	720	> 1200
Dissolved, Total (TDS)	(mg/l)	250	500	850
Fixed	(/)	145	300	525
Volatile	(/)	105	200	325
Suspended solids (SS)	(mg/l)	100	220	> 350
Fixed	(/)	20	55	75
Volatile	(/)	80	165	275
Seattleable solids	(ml/l)	5	10	20
Biochemical oxygen demand, 5-day, (BOD ₅ , 20 °C)	(mg/l)	110	220	> 400
Total organic carbon (TOC)	(mg/l)	80	160	290
Chemical oxygen demand (COD)	(mg/l)	250	< 500	< 1000
Nitrogen (total as N)	(mg/l)	20	40	< 85
Organic	(/)	8	15	35
Free ammonia (NH ₄)	(/)	12	25	> 50
Nitrites (NO ₂)	(mg/l)	0	0	0
Nitrates (NO ₃)	(mg/l)	0	0	0
Phosphorus (total as P)	(mg/l)	4	8	15
Organic	(/)	1	3	5
Inorganic	(/)	3	5	< 10
Chlorides (Cl)	(mg/l)	30	50	> 100
Sulfate (SO ₄)	(mg/l)	20	30	> 50
Alkalinity (as CaCO ₃)	(mg/l)	50	100	> 200
Grease	(mg/l)	20	100	> 150
Total coliform	(NPP/100 ml)	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁷ - 10 ⁹
Volatile organic compounds (VOCs)	(µg/l)	< 100	100 - 400	> 400

Remarque:

Les teneurs indiquées en gras et en soulignées caractérisent la qualité de l'eau examinée de la ville de Hadjout.

b) Eaux usées épurées (Sortie de la STEP) :

A la sortie de la STEP, les teneurs moyennes enregistrées des eaux usées épurées concernant les paramètres chimiques précédemment cités seraient de :

- MES : $\approx 7,50$ mg/l, - DCO : ≈ 34.42 mg/l, - DBO₅ : ≈ 19.47 mg/l, - O-PO₄ : ≈ 7.88 mg/l, - NTK : ≈ 7.53 mg/l, - Huiles et graisses : $\approx 11,20$ mg/l;

Les eaux usées épurées qui sont l'objet de notre étude, présentent les caractéristiques d'un effluent de qualité relativement bonne. Elles contiennent, en effet, peu de matière en suspension (MES : $\approx 7,50$ mg/l en moy. et leur demande chimique et biochimique en oxygène (O₂), représentative de la matière organique, sont plutôt basse (DCO ≈ 34.42 mg/l) ; DBO₅ (≈ 19.45 mg/l). Elles sont faiblement chargées en azote (NTK ≈ 7.53 mg/l) ; la concentration en O-PO₄ (Ortho-phosphates) avoisine les 7.88 mg/l). (En moy de l'année 2010).

Pour l'ensemble des paramètres chimiques examinés, les rendements épuratoires de la STEP sont estimés à ce qui suit :

- DCO : ≈ 97.43 %, - DBO₅ : ≈ 95.23 %, -MES : ≈ 97.38 %- O-PO₄ : ≈ 47.51 %, - NTK : ≈ 79.86 %, - huiles et graisses : $\approx 97,60$ %.

A l'exception des faibles rendements obtenus des O-Phosphates (≈ 47.51 %), notre station d'épuration (STEP) semble fonctionner correctement, si l'on se tient compte des restants rendements épuratoires enregistrés. Le rendement épuratoire global les concernant atteignant les 87,45 %.

Lors de notre analyse, le PH moyen de l'eau brute serait à l'entrée de la STEP de Hadjout de 7,28, alors qu'à la sortie, il a atteint les 7.66. Ce dernier semble satisfaire les exigences recommandées pour notre STEP, à savoir : 6,5 – 8,5

1.2 Classification des eaux pour l'irrigation: CE et SAR**- a- Classification mondiale (F.A.O):**

La classification donnée en fonction de la concentration des sels CE

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

- b- Classification Russe:

Elle distingue trois classes qui sont basées sur la concentration des sels

- 0.2-0.5 g/l l'eau est de meilleure qualité
- 1.0-2.0 g/l l'eau comportant des risques de salinité
- 3.0-7.0 g/l l'eau ne peut être utilisée pour l'irrigation qu'avec un lessivage et un drainage

- c- Classification Américaine:

La classification est basée sur deux paramètres C.E à 25°C et S.A.R (figure III.1)

- Pour la conductivité électrique C.E.

- C1 : C.E < 0,250 mmhos/cm (<0.2g/l): l'eau à faible salinité, elle ne posera aucun problème sur la plus part des sols et des cultures.
- C2 : 0,250 < C.E < 0,75 mmhos/cm (0.2-0.5g/l): l'eau à salinité moyenne
- C3 : 0,750 < C.E < 2,250 mmhos/cm (0.5-1.5g/l): l'eau à forte salinité, et dit inutilisable sur un sol faiblement drainé, elle n'est autorisée que sur un sol bien drainée et sur des cultures tolérantes.
- C4 : 2,250 < C.E < 5.00 mmhos/cm (1.5-33g/l): l'eau à très forte salinité et inutilisable pour les conditions normales ; elle n'est autorisée que si on pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérantes.
- C5 : C.E > 5.0 mmhos/cm (> 3g/l): l'eau est inutilisable sauf sur sable drainé et pour les palmiers et dattiers.

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

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

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Avec : Na⁺, Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ en meq / l

Elle distingue quatre classes:

- S1 - S.A.R < 10 : l'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.
- S2 - 10 < S.A.R < 18: les eaux contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, à moins qu'il n'y ait du gypse dans le sol .ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.
- S3 - 18 < S.A.R < 26 : les eaux contenant une quantité de sodium élevée, peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques .S'il y a une forte quantité de gypse dans le sol, il peut ne pas surgir de difficultés pendant quelques temps. S'il n'y a pas de gypse, il faut ajouter un amendement chimique exerçant le même effet.

- S4 - S.A.R>26: les eaux contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité moyen ou faible, lorsque l'usage de gypse ou amendements analogues permettent l'utilisation.

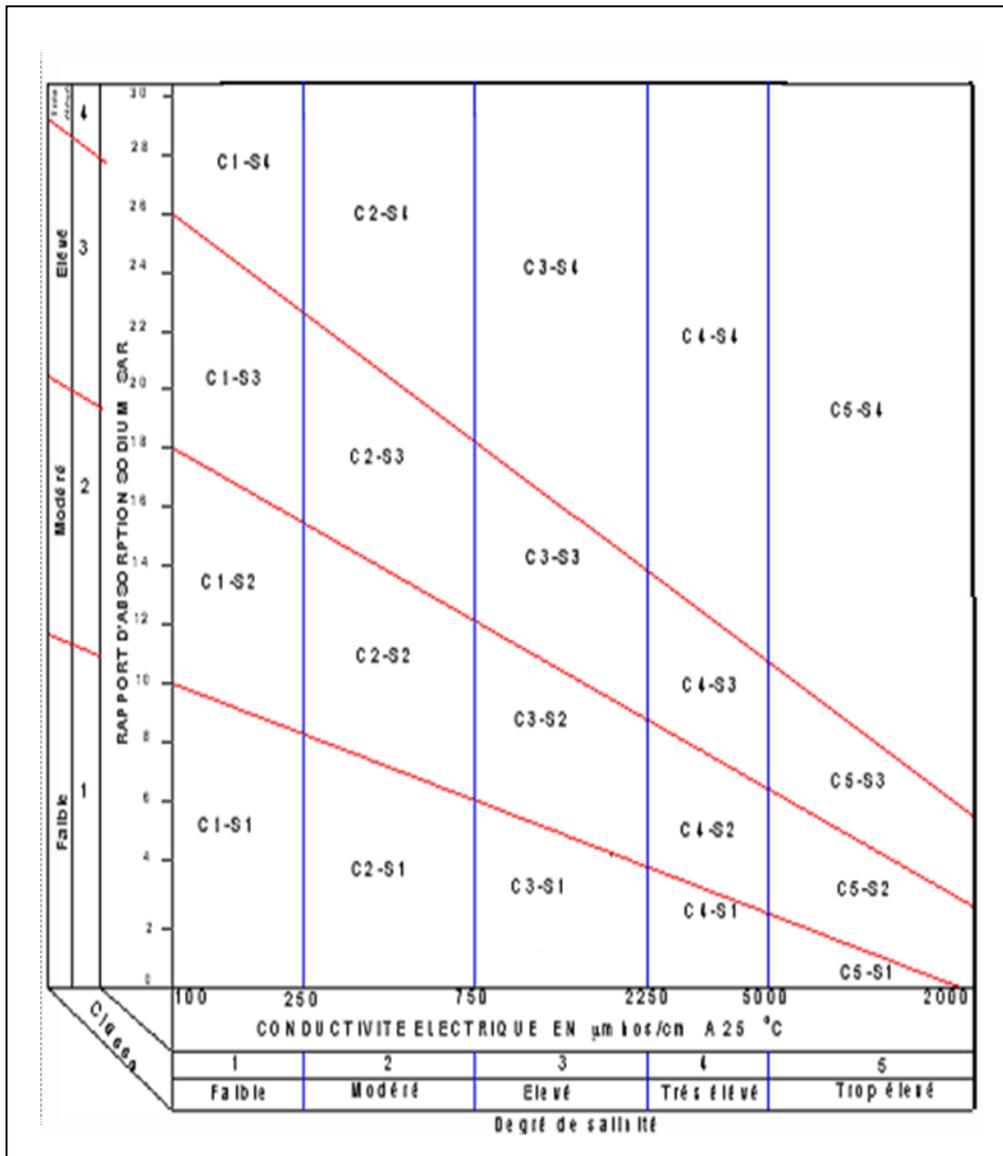


Figure III.1 : Diagramme Riverside (classification des eaux d'irrigation)

- Détermination du S.A.R:

$$\text{S.A.R (Hadjout)} = \frac{3,7}{\sqrt{\frac{5,42 + 5,25}{2}}} = 1.6$$

- Conclusion :

Les résultats de la conductivité et du SAR des eaux usées épurées de la STEP de Hadjout, fait ressortir ce qui suit :

*C.E(Hadjout) = 1.35mmhos/cm; fait partie de la classe C3, elle ne convient qu'a des sols bien drainés.

*S.A.R(Hadjout)= 1.6, c'est-à-dire appartient à la classe S1.ce sont des eaux faiblement alcalines et peuvent être utilisées du point de vue alcalin pour tous les sols avec peu de danger de donner un taux de Na échangeable qui est nocif pour les sols et pour les plantes.

Donc les eaux sont de classe C3S1d'après le diagramme.

2. Paramètres microbiologiques et métaux lourds :

En raison du manque de l'appareillage de mesure des paramètres microbiologiques et métaux lourd (appareils de mesure défectueuses) dans le laboratoire de la STEP, les mesures prises de ces paramètres sont celles effectuées par le bureau d'étude (STUKY- ENHYD) en date du 08/05/2008 dans le cadre d'une étude intitulée « **Etude d'aménagement hydro-agricole du secteur VI du périmètre Sahel Algérois Ouest Irrigué à partir des eaux usées épurées des STEP de Hadjout et de Tipaza** ».

• Eléments traces (métaux lourds):

Certains éléments traces, peu nombreux, sont reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux, comme c'est le cas pour ce qui suit : le bore (B), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cuivre (Cu) et le molybdène (Mo). L'irrigation, à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments, non indispensables à la plante tels que par exemple : le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le brome (Br), le fluor (F), l'aluminium (Al), le nickel (Ni), le chrome (Cr), le sélénium (Se) et l'étain (Sn).

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. Parmi les métaux lourds présentant les risques les plus notables, nous pouvons citer ce qui suit : le cadmium (Cd), le cuivre (Cu), le molybdène (Mo), le nickel (Ni), et le zinc (Zn). Le nickel, le cuivre et le zinc sont d'abord phytotoxiques (Propriété d'une substance ou d'une préparation qui provoque chez une plante des altérations passagères ou durables). 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 résultats d'analyses chimiques concernant les métaux lourds examinés (Nickel (Ni), Cadmium (Cd), Plomb (Pb), Chrome (Cr) et Cuivre (Cu)), qui furent obtenus au niveau de la station d'épuration de Hadjout, ne mettent pas en évidence la présence d'une pollution chimique apparente, issue généralement de certains établissements industriels particulièrement polluants raccordés directement au réseau d'assainissement.

En effet, les faibles concentrations enregistrées concernant les dits métaux lourds (Eau brute (E.Br) – Eau épurée (E.EP)) au niveau de la station d'épuration de Hadjout (22/09/2008).

→ E.Br : Ni : 0,164 mg/l, Cd : 0,006 mg/l, Pb : 0,202 mg/l, Cr : 0,358 mg/l et Cu : 0,129 mg/l)

→ E.EP : Ni : 0,155 mg/l, Cd : 0,002 mg/l, Pb : 0,064 mg/l, Cr : < 0,033 mg/l et Cu : < 0,05 mg/l),

Semblent respectées les concentrations maximales recommandées dans les eaux d'irrigation (tableau III.10) ; elles ne constituent de ce fait pas un facteur limitant la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation. L'essentiel de ces métaux est retenu généralement dans les boues de stations d'épuration.

Tableau III.10: Limites recommandées en éléments traces recommandées pour les eaux usées épurées destinées à l'irrigation – FAO.

Elément (symbole)	Long terme ^a	Court terme ^b
Aluminium (Al)	5,0	20,0
Arsenic (As)	0,1	2,0
Béryllium (Be)	0,1	0,5
Bore (B)	0,75	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
Fluor (F)	1,0	15,0
Fer (Fe)	5,0	20,0
Plomb (Pb)	5,0	10,0
Lithium (Li)	2,5	2,5
Manganèse (Mn)	0,2	10,0
Mercure (Hg)	0,01	0,01
Molybdène (Mo)	0,01	0,05
Nickel (Ni)	0,2	2,0
Sélénium (Se)	0,02	0,02
Vanadium (V)	0,1	1,0
Zinc (Zn)	2,0	10,0

Avec :

(a) : Pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols.

(b) : Pour l'eau utilisée pendant une période d'au plus 20 ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalins.

- **Paramètres microbiologiques:**

La station d'épuration de la ville de Hadjout est de type « boues activées » ; celle-ci est équipée de système de désinfection par chloration.

Il est utile de rappeler, que les techniques conventionnelles de type 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. Ce procédé a en fait peu d'effet sur l'élimination des kystes de protozoaires et sur les œufs d'helminthes, même si une partie des œufs est éliminée dans le décanteur secondaire.

En se basant sur les résultats des analyses bactériologiques effectués par le bureau d'études STUKY ENHYD en date du 28/10/08, il ressort ce qui suit :

- Coliformes fécaux <1000 UFC/100 ml
- Nématodes intestinaux < 1 œuf/l
- Streptocoques fécaux : 34

D'après le tableau III.1 des normes de l'OMS 2000, les eaux usées épurées de la STEP de Hadjout peuvent être classées comme une eau de **type « B2 »** où l'irrigation est restreinte, les cultures qui peuvent être irriguées sont : les Céréales, les cultures industrielles, fourragères, pâturage et forêt ainsi que les arboricultures ; et ceux aussi selon les arrêtes interministériels de la législation algérienne.

En prenant les précautions suivantes :

(1).L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est à éviter.

(2).Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.

(3).Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.

(4).Une directive plus stricte (<200 coliforme fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

Afin d'obtenir une eau de **type « B »**, il faudra 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, un stockage, une infiltration percolation ou encore une filtration rapide.

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 l'opportunité de réutilisations plus attrayantes (Ex. : maraîchage).

L'élimination des coliformes fécaux exige soit un traitement extensif, soit un traitement conventionnel transposé des techniques de traitement de l'eau potable. Ces techniques sont soit chimiques (utilisation du chlore et de ses dérivés, ozonation, etc.), soit physiques (rayonnement ultraviolet, 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 matières organiques et en matières en suspension (MES).

Aujourd'hui, pour la réduction des germes pathogènes, la désinfection par le chlore « chloration » n'est plus considérée comme la solution la plus adaptée, et ce, pour deux raisons essentielles citées ci-dessous :

- dans les eaux résiduaires, le chlore (Cl_2) introduit se combine très rapidement avec les ions ammonium (NH_4^+) et d'une manière générale, les groupements NH des composés organiques pour donner des chloramines dont le pouvoir bactéricide réduit doit être compensé par des temps de contact prolongés. Les chloramines sont de très médiocres virucides;
- plusieurs études ont montré que la chloration, appliquée aux eaux usées, était suivie d'une reviviscence bactérienne après traitement.

Quand le résiduel en chlore des eaux usées épurées (EUE) est trop élevé au moment de l'irrigation, les cultures peuvent souffrir, si elles sont arrosées par aspersion. Le chlore résiduel libre (HOCl , OCl^- , Cl_2) 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.

Il reste cependant prudent, afin d'éviter tout risque, de suivre continuellement la qualité des eaux épurées les concernant et de tenir compte de leur composition dans le choix des cultures arrosées (**tableau III.11**).

Tableau III.11:Recommandations

Analyses de contrôle des EUE à la sortie de la STEP (Responsable : Opérateur de la STEP (ONA))		
Paramètres	Fréquence	Période prélèvement
Coliformes fécaux	2 échantillons composites par semaine	Pendant la période d'irrigation
Œuf d'helminthe	//	//
pH, Oxygène dissous, Turbidité, Température, N-Total, NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , MES, DCO, DBO ₅	//	//
Eléments Traces (Métaux lourds)	1 échantillon composite par an	Un mois avant la période d'irrigation

Analyses de contrôle des EUE à la sortie des bassins de stockage inter saisonnier et de régulation : Responsable : Concessionnaire		
Paramètres	Fréquence	Période prélèvement
Coliformes fécaux	5 échantillons composites par semaine	Pendant la période d'irrigation
Œuf d'helminthe	//	//
pH, Oxygène dissous, Turbidité, Température, N-Total, NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , MES, DCO, DBO ₅	1 échantillon composite par semaine	//
Salinité, SAR et toxicité Eléments Traces (M.L)	1 échantillon composite par an en cas de présence industrielle et 1 fois par 3 ans en cas d'absence d'industries polluantes	Un mois avant la période d'irrigation

Production agricole		
Responsable au niveau du périmètre irrigué : Direction régionale de l'agriculture		
Responsable au niveau du marché des fruits et légumes : Direction Régionale du commerce		
Paramètres	Fréquence	Période prélèvement
Coliformes fécaux	1 échantillon par type de produits agricoles et par producteur ⁽¹⁾	A la cueillette et ou avant le transport vers le marché des fruits et légumes

Protection des sols ⁽²⁾		
Responsable au niveau du périmètre irrigué : Direction régionale de l'agriculture		
Paramètres	Fréquence	Période prélèvement
Eléments Traces ⁽³⁾	Une fois par an	A la fin de la saison agricole

Protection des ressources en eaux souterraines		
Responsable au niveau du périmètre irrigué : DHW et l'ANRH		
Paramètres	Fréquence	Période prélèvement
Salinité, SAR et toxicité Eléments Traces (M.L)	Une fois par an	A la fin de la saison agricole

Avec :

(1) : L'identification des agriculteurs et la taille de l'échantillon des produits agricoles devront se faire en tenant compte du nombre de types de récoltes et du nombre d'exploitations agricoles du périmètre irrigué.

(2) : L'emplacement des points de prélèvement des échantillons devra faire l'objet d'une étude pédologique au préalable.

(3) : L'USEPA rapporte que les métaux lourds n'ont pas causé d'effets négatifs sur les cultures irriguées avec des EUE aux USA au cours des 38 dernières années. Pradhan, 2006, note en effet que les métaux lourds tendent à demeurer au niveau des racines et que seule une petite fraction est dirigée en réalité vers les tiges et zones de croissance (légumes et fruits). Une fraction encore plus faible atteint les fruits mais sans risques d'accumulation grâce à, la récolte régulière.

Conclusion :

L'analyse des résultats obtenus montre que les normes physico-chimiques de rejet, et métaux lourds exigés pour la station d'épuration sont respectées.

Par ailleurs, pour que l'eau épurée soit utilisée pour l'irrigation, elle doit être de bonne qualité microbiologique, ceci sera assuré par le traitement tertiaire (la chloration) qui est déjà envisagé pour la STEP de Hadjout. L'eau traitée présentera des valeurs conformes aux normes de réutilisation (Normes OMS) avec une concentration en coliformes fécaux inférieure à 1 000 UFC/100 ml et avec des nématodes intestinaux ≤ 1 œuf/l.

Chapitre IV

Plan cultural et calcul des besoins en eau

Introduction :

Le présent chapitre a pour but de quantifier le volume total des besoins en eau des cultures existantes dans le secteur C du périmètre de Mitidja Ouest tranche II (zone d'étude), aptes à être irriguées avec les eaux usées épurées de la STEP de Hadjout et le comparer avec le volume total annuel produit par la STEP à différents horizons 2010 et 2020.

IV.1 Plan culturel de la zone d'étude :

Le patrimoine foncier agricole algérien a connu à travers l'histoire la succession de différentes législations après l'indépendance, le passage d'un régime à un autre n'ayant pas toujours bien réussi. La loi 87/89, du 8 Décembre 1987, a dissocié le secteur socialiste pour le réorganiser en exploitations collectives et individuelles (EAC-EAI), cette loi octroie aux producteurs bénéficiaires, un droit de jouissance perpétuelle sur l'ensemble des terres attribuées et un droit de propriété sur tout les biens constituant le patrimoine de l'exploitation autre que la terre.

Par ailleurs, certaines fermes pilotes et pépinières ont été gardées tout en se spécialisant dans une ou plusieurs activités agricoles, pour les services d'appui à la production.

La formation des EAC a été basée essentiellement sur la taille des exploitations, le type des cultures pratiquées en sec ou en irrigué, le nombre de bénéficiaires, ainsi que le revenu global de l'exploitation. Les EAI, par contre, ne sont constituées qu'après formation des EAC, sur des parcelles ne permettant pas la création d'une EAC.

Le tableau IV.1 montre les différentes exploitations (EAC ou EAI ou P) qui se trouvent au niveau du périmètre de la zone d'étude (secteur C du périmètre de la Mitidja ouest Tr II), et la superficie en (ha) de chaque exploitation, en citant aussi les cultures adaptées à ces exploitations, et cela pour l'année culturale : 2009/2010.

Tableau IV. 1 : Exploitations du secteur C du périmètre de la Mitidja ouest TR II.

	DAS	Nbre d'EAC EAI ou P	SAU superficie en (Ha)	Spéculations			
				ARBO	Agrumes	Maraichages	Pépinière, vigne
SECTEUR C	Semiani	ferme pilote	214.75.00	-	20	7	-
	Bourkisa	//	218.13.75	-	30	-	-
	Fekairi	//	196.36.00	-	11	-	65
	Boumediene	13	252.12.09	-	25	6.84	-
	Frères Abderrahmane	9	236.37.50	-	5	17.24	1.5
	EMIR	11	209.32.55	-	14.75	4	-
	Sid-ali Hocine	7	223.38.12	-	15	4	-
	Zouhir	2	120.65.84	22.05	8.75	-	-
	Privé (DAS allouane)	1	4.00.00	4	4	-	-
	Privé (douar sidi boufadel)	1	2.00.00	2	2	-	-
	Chadouli	14	171.93.00	7	17	34.1	-
	Temmar	6	216.59.00	-	2	16	10
	Toumi	14	258.21.00	3	11	49.97	-
	Si Meroune	11	182.66.00	5	7	17	3
	Ben Yousef	6	101.20.00	-	9	2	-
	Ayache	8	251.34.00	-	4	54	-
	Si Habouri Mohamed	4	142.07.00	2	10	-	-
somme	/	3020.00	45.05	195.5	212.15	79.5	

Source : DSA , W.Tipaza

Remarque :

- 214.75.00 = 214 ha, 75 are et 00m².
- Le signe (-) dans le tableau veut dire une terre nue ou cultivée par les céréales.

Le secteur C du périmètre de la Mitidja ouest tranche II couvre une superficie totale de 3020 ha. Les résultats de l'enquête agro-économique montrent la prédominance des grandes cultures avec 1922 Ha soit plus de 63% de la surface cultivée. Les céréales sont les plus répondues avec environ 46 % de la surface totale.

L'arboriculture avec toutes espèces confondues vient en deuxième position avec 320 Ha dominée par l'agrume suivi par la vigne.

Concernant le maraichage, malgré que la zone convient à une très large gamme d'espèces, les agriculteurs le pratiquent sur des faibles superficies en raison de faible ressource en eau. Les surfaces occupées par le maraichage sont en plus part des serres.

Le tableau IV.2 résume la situation actuelle des spéculations du secteur C du périmètre de la Mitidja Ouest tranche II.

Tableau IV. 2 : Tableau récapitulatif des spéculations dans le périmètre d'étude (2010)

Secteur C						
	Surface totale	Surface cultivée	Spéculations			
			Céréales	ARBO	Maraichages	Vignes
(ha)	3020	1922	1390	240.55	212.15	79.5
(%)	100	63.64	46	7.97	7.03	2.63

• **Ressources en eau :**

Le secteur C du périmètre de la Mitidja ouest TR II est alimenté par la station de pompage de Hadjout dont l'approvisionnement en eau provient de la conduite de transfert ANBT à partir du barrage de Boukourdane. Il occupe une superficie totale équipée de 3020 ha, tant que la superficie irriguée ne dépasse pas les 75% ; une superficie irrigable de 2389 ha. (ONID 2010).

Le volume d'eau alloué du barrage de Boukourdane pour irriguer la superficie souscrite du secteur C du périmètre de la Mitidja ouest tr II, et cela pour l'année précédente (jusqu'au octobre 2010) est résumé dans le tableau IV.3.

Tableau IV. 3 : Etat de souscription - arrêté au 13/12/2010.

Compagne 2010		au 13/12/2010.	
superficies souscrites (ha).	superficies irrigués (ha)	volume lâché (M3)	volume distribué (sect. C) (M3)
174.25	170.00	2063000	1364860 le reste (698138 M3) pour le S.A.

Source: ONID Ahmar alaine.

Comme tous les périmètres agricoles de la Mitidja, ces derniers tirent ces ressources en eaux non seulement des barrages ou retenues, mais aussi à partir des forages et puits qui se trouvent au niveau de ces derniers. Le nombre de forages enregistrés dans le périmètre d'étude ainsi que les volumes d'eaux produites par ces forages sont résumés dans le tableau IV.4.

Tableau IV. 4 : Surfaces irriguées par les forages de la commune Hadjout en (2010)

commune	N ^{bre} de forage	débit total d'exploitation (l/s)	superficie irriguée (ha)
Hadjout	26	75	158.5
Source : DSA w. Tipaza.			

L'état de souscription des surfaces irriguées dans le secteur C a connu une variation assez remarquable dans les sept (07) années précédentes, cela est dus au manque d'eau dans le barrage de Boukourdane durant cette période, il a été enregistré un quota d'eaux alloué très faible considérée comme une dose de vie seulement pour l'arboriculture. Pour l'année 2009, avec la DHW, un volume de 1Mm³ à été enlevé de l'AEP pour sauver l'arboriculture de cette zone.

- **Modèles d'assolements proposées :**

Trois modèles d'assolement ont été définies et sont rappelés dans le tableau IV.5, en tenant compte de la surface totale irriguée dans ce secteur est de 2389 (ha):

Tableau IV. 5: Modèles d'assolement proposés dans le périmètre d'étude

culture	modèle n°01		modèle n° 02		modèle n°03	
	surface (%)	surface (ha)	surface (%)	surface (ha)	surface (%)	surface (ha)
céréales						
blé	33.5	800.0	27.9	666.5	30.7	733.2
orge	16.7	400.0	13.9	333.3	15.3	366.6
avoine	9.8	233.4	8.1	194.5	9.0	213.9
fourragers						
maïs	3.1	75.0	4.4	105.0	6.3	150.0
sorgo	1.9	44.5	2.6	62.3	3.7	89.0
maraichères						
tomate	4.2	100.0	5.6	133.3	4.2	99.9
P.de terre	10.8	258.4	14.4	344.5	10.8	258.2
arboricultures						
Agrumes	7.4	177.0	8.5	203.5	11.1	265.5
Vignes	4.2	100.0	4.8	115.0	6.3	150
Pêcher	3.3	80.0	3.9	92.0	5.0	120
Pommier	3.3	80.0	3.9	92.0	5.0	120
Olivier	1.7	40.8	2.0	46.9	2.6	61.2
total	2389 (100%)					

IV.3 Besoins en eau du périmètre :

Les besoins en eau des cultures, peuvent être définis comme dose apportée à la plante dans des moments propices, afin de mettre celle-ci dans les meilleures conditions d'humidité requises, pour obtenir son rendement maximal.

L'évaluation des besoins en eau du périmètre est basée sur la détermination des besoins de chaque culture retenue dans le calendrier agronomique.

Le calcul des besoins en eau des cultures a été mené à l'aide du logiciel *Cropwat 8*. : Logiciel pour la planification et la gestion des systèmes d'irrigation, service des eaux de la FAO).

1. Evapotranspiration réelle ou de culture (ETR ou ETC):

C'est la valeur réelle de l'évapotranspiration. Le plus souvent, elle est inférieure à l'évapotranspiration de référence, puisque le sol n'est pas en permanence à sa capacité de rétention. En plus, elle est considérée variable pendant la période de végétation.

Donc, c'est l'évapotranspiration d'une culture exempte de maladies, poussant dans un champ jouissant de conditions : agronomiques, pédologiques, et climatiques optimales, donnée par l'expression ci-dessous

$$ET_{CLTURE} = K_C * ET_0$$

Avec :

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

Pour mieux rationaliser la ressource, le calcul l'évapotranspiration de culture "ET culture", doit être fait après avoir déterminé les coefficients culturaux " K_C ". Les besoins en eau des cultures nets, non négatifs "BEC", sont déterminés par la relation suivant

$$BEC = ET_{culture} - P_{eff} + RFU$$

Dans la quelle :

BEC : Besoins en eau des cultures nets en (mm).

P_{eff} : Pluies efficaces en (mm).

RFU : La réserve facilement utilisable en (mm).

L'évapotranspiration a été calculée selon la méthode de Penman-Monteith, en prenant en considération les paramètres climatologiques suivants :

- Température de l'air sous abri,
- Humidité atmosphérique,
- Intensité du vent,
- Insolation.

2. Données naturelles du site

• Situation topographique :

La plaine qui occupe une partie importante de la commune représente une pente de 0 % à 5 % de cette catégorie où la ville est implantée. La pente va du Sud vers le Nord jusqu'aux environs de l'Oued de Bourkika pour progresser ensuite vers les collines. En allant vers le Sud de la ville l'altitude augmente et atteint une cote de 108 mètres

• Analyse géologique :

La géologie étudie la nature de sous-sol et sol, qui détermine le mode de réalisation des tranchées et les engins à utiliser.

Les terres de l'Ouest de la Mitidja sont de textures différentes d'une zone à une autre. Elles sont caractérisées par des terres argilo limoneuses, argilo-calcaires et limono argileuses, très profondes qui conviennent à toutes les cultures, particulièrement aux cultures pérennes (vignes et agrumes). La plaine limoneuse de la Mitidja se raccorde, par une série de plateformes étagées, au plateau caillouteux de Bouyeghsene, profondément découpé par les sillons des ravins qui viennent converger vers l'Oued Nador.

• Hydrogéologie :

Au niveau de la Mitidja, comme dans les environs de Hadjout, il existe deux ensembles d'aquifères, ou plus exactement deux nappes l'une superficielle nommée nappe quaternaire, la deuxième profonde, nommée sous le nom de nappe des grés astiens. Ces deux nappes sont séparées par un niveau argileux, appelé communément marnes jaunes, ou de maisons carrées.

Dans le cadre de la surveillance périodique de la fluctuation des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja, un réseau de surveillance représenté par des puits forages et piézomètres, permet de suivre les fluctuations de la nappe dans ses différentes localités.

Notons que deux campagnes de mesure du niveau de la profondeur de la nappe sont effectuées régulièrement, une en période des « hautes eaux » et l'autre en période des « basses eaux ». La comparaison entre les deux campagnes, a mis en évidence l'abaissement du niveau de la profondeur de la nappe de la Mitidja. Due essentiellement au pompage continu au niveau de ces forages

Cette baisse de la surface piézométrique s'expliqua aussi par plusieurs facteurs à savoir :

- 1- Longue de période de sécheresse (des 2 dernières décennies) combinée à une importante prolifération des forages.
- 2- Le commencement précoce de l'irrigation dû à cette sécheresse.
- 3- Importance des surfaces irrigables.
- 4- La déperdition des eaux par ruissellement.

• Sismicité :

La ville de Hadjout se trouve dans la zone territoriale où l'intensité sismique est non négligeable, car elle se situe au-dessus de la faille tectonique qui sépare le continent Africain du continent Européen.

• Situation climatique :

La zone de l'étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen :

- humide et pluvieux en hiver.
- Chaud et sec en été.

Les facteurs climatologiques sont des paramètres très importants qui rentrent dans la détermination du régime hydrologique. Ils sont utilisés dans le calcul des formules empiriques. L'estimation des différentes caractéristiques climatiques (température, vitesse du vent, humidité et évaporation.....), relative à la zone d'étude est faite sur la base des données relevées à la station climatologique du barrage de **Boukourdane** (020329) ($X = 464,4$; $Y = 359,9$ et $Z = 110$ m), qui se situe assez proche de la région d'étude avec une altitude similaire pouvant ainsi remplir les critères d'analogie.

Les données ont été collectées auprès des services de l'ANRH de Soumaa (Direction Régionale Centre) sur la période 1988 – 2009.

✓ **Température :**

La distribution mensuelle de la température est donnée au tableau suivant.

Tableau IV.6: Répartition mensuelle de la température de l'air en °C.

Paramètre	Sept	Oct.	Nov.	Dec.	Jan	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Moy.
Température Moyenne (° C)	23,5	19,9	15,6	12,2	10,8	11,6	13,5	15,1	19,3	23,2	26,7	27,0	18,2

D'après le tableau ci-dessus, la température moyenne est de 18,2 °C, la moyenne minimale pendant le mois de Janvier avec 10 °C et une moyenne maximale pendant le mois de aout avec 27 °C.

Les températures moyennes allant de Novembre à Avril sont inférieures à la moyenne annuelle à comparer avec les températures des mois de Mai à Octobre qui sont supérieures à cette dernière.

✓ **Evaporation**

L'évaporation représente un paramètre essentiel dans l'analyse de la ressource en eau, dans ce cas une bonne estimation est nécessaire sur la base de l'évaporomètre classe A installé au niveau du barrage de Boukourdane.

La distribution moyenne mensuelle de l'évaporation est donnée au tableau suivant.

Tableau IV.7 : Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne en mm.

Paramètre	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	somme
Evaporation moyenne (mm)	123,1	92,2	51,9	42,9	42,7	50,5	75,2	94,1	124,6	156,2	185,6	172,2	1211,2

L'examen de ce tableau montre que l'évaporation est importante pendant la période allant du mois de Mai à Septembre et elle est plus faible du mois de Novembre à Janvier. Le cumul annuel est de 1211 mm.

La station de Boukourdane est une station oscillaire gérée par l'ANRH pour cela elle n'enregistre pas toutes les caractéristiques climatiques, à cet effet, le recours a été fait aux données enregistrées à la station de Dar El Beida qui est une station professionnelle pour déterminer les autres facteurs, cette dernière se localise à 75 Km à vol d'oiseau de la région et enregistre une température moyenne de 17,8 °C assez proche de la température moyenne

enregistrée dans la région d'étude, de plus c'est la seule station qui se trouve la plus proche et qui enregistre toutes les caractéristiques climatiques pour la période (1993 – 2006).

✓ **Humidité relative :**

La distribution mensuelle de l'humidité de l'air est présentée dans le ci-après.

Tableau IV.8:Répartition mensuelle de l'humidité relative de l'air en %.

Paramètre	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
H %	77,8	79,5	75,2	73,9	73,9	68,5	67,9	68,9	67,5	74,8	77,7	76,5	73,5

L'examen du tableau IV.8 montre que l'humidité relative de l'air est généralement plus élevée en saison hivernale. Les valeurs maximales sont atteintes en général durant les mois d'hiver (75 - 80%), lorsque les températures sont minimales.

✓ **Vitesse des vents**

Les valeurs moyennes de la vitesse du vent enregistrées au niveau de la station installée au niveau du barrage de Boukourdane sont présentées dans le tableau IV.9 :

Tableau IV.9 : Vitesse du vent en km/h.

Paramètre	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
Vitesse du vent (km/h)	3,5	3,1	3,2	3,6	3,8	3,7	3,5	3,6	6,1	3,1	3,1	3,0	3,6

Les vitesses du vent sont relativement faibles et homogènes durant toute l'année, La moyenne annuelle est de 3,6 km/h.

Les vents dominants y sont de direction Ouest.

✓ **Ensoleillement:**

La quantité d'heures d'ensoleillement dans la région, présentée dans le tableau IV.10 est assez élevée ; la moyenne annuelle est de 7,7 heures par jour. L'ensoleillement annuel total est de 2821 heures.

Tableau IV.10 : Ensoleillement en heures.

Année/Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Moy	253	225	170	155	167	180	230	244	267	300	328	303	2821
Heure/jours	8,4	7,2	5,5	5,0	5,4	6,2	7,4	8,1	8,6	10	10,6	9,8	7,7

3. Calcul de l'évapotranspiration potentielle ou de référence (ET₀):

C'est l'évapotranspiration d'une culture bien fournie en eau où le sol est à sa capacité de rétention, autrement dit c'est la limite maximale de l'évapotranspiration

Donc pour mieux prédire l'évapotranspiration, on a introduit une valeur de référence que l'on définit comme étant le taux d'évapotranspiration d'une surface du Gazon vert, ayant une hauteur uniforme de 8 à 15 cm, poussant activement, ombrant complètement le sol et ne manquant pas d'eau.

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration de référence, les plus utilisées, sont :

- Méthodes des lysimètres.
- Méthodes des stations expérimentales.
- Méthodes directes de l'évaporation.
- Méthodes empiriques.

En ce qui concerne notre étude, le calcul des besoins en eau des cultures est effectué à l'aide du logiciel *CROPWAT* version 8, qui permet au passage, l'évaluation de l'évapotranspiration de référence, selon la méthode empirique la plus appropriée de *Penman & Monteith* modifiée.

• **Méthode de PENMAN & MOTHEIT modifiée :**

En Angleterre, précisément en 1948, *Penman & Monteith* a proposé une étude théorique de l'évapotranspiration en reliant inséparablement l'énergie solaire incidente. Cette formule est limitée ou bien incomplète, du fait que cette dernière ne prend pas en considération l'effet de quelques paramètres météorologiques.

Les expériences ont montrés que la formule telle qu'elle est, s'applique mieux dans les régions humides, non loin de l'océan et essentiellement recouverte de végétation, que dans les zones arides ou semi-arides de faible humidité.

Pour cela, la nouvelle formule de M^r *Penman & Monteith* modifiée est adoptée, qui prend en compte l'effet du paramètre vent, ainsi que les corrections supplémentaires qui tiennent compte des conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

L'expérience a montrée que l'expression obtenue, prédirait de près, l'évapotranspiration de référence, non seulement dans des régions humides et fraîches comme en Angleterre, mais aussi dans des zones très chaude et semi-aride. La formule de M^r *Penman & Motheit*, modifiée, se présentant comme suite :

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

Où :

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

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

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

$F(u)$: Fonction liée au vent.

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

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

La différence ($ea - ed$) constitue le facteur de correction, afin de compenser les conditions météorologiques diurnes et nocturnes (**site FAO, 2011**)¹.

- **Résultats du calcul :**

Dans le tableau IV.11, représente l'évapotranspiration de référence ET_0 , calculée à l'aide du logiciel *CROPWAT*. 8, selon la formule de *Penman & Monteith*.

Tableau IV.11: Evapotranspiration de référence selon la méthode Penman&Monteith

Station: Boukourdane Latitude: 02°17'59''N Longitude: 36°32'18''E						
Altitude=110m						
Mois	Temp Moy °C	Humidité %	Vent km/jour	Insolation heures	Ray. MJ/m ² /jour	ET ₀ mm/jour
Janvier	10.8	74	4	5.4	10.1	0.94
Février	11.6	69	4	6.2	12.9	1.36
Mars	13.5	68	4	7.4	17.1	2.14
Avril	15.1	69	4	8.1	20.5	2.85
Mai	19.3	68	6	8.6	22.5	3.56
Juin	23.2	75	3	10	25	4.4
Juillet	26.7	78	3	10.6	25.6	4.96
Août	27	77	3	9.8	23.3	4.61
Septembre	23.5	78	4	8.4	19.2	3.47
Octobre	19.9	80	3	7.2	14.8	2.32
Novembre	15.6	75	3	5.5	10.5	1.33
Décembre	12.2	74	4	5	9	0.91
Moyenne	18.2	74	4	7.7	17.5	2.74

- **Précipitation:**

Les précipitations représentent un facteur essentiel dans le bilan hydrologique, sa quantification est faite au niveau de plusieurs stations pluviométriques implantées à travers le territoire algérien dans le but d'avoir une information précise sur ce paramètre.

Pour notre cas, l'étude sera basée sur les données enregistrées au niveau de deux stations pluviométriques se localisant dans les environs immédiats de la région d'étude.

Le tableau IV.12 donne les caractéristiques des deux stations pluviométriques prises en considération dans l'étude.

Ces données pluviométriques recueillies au niveau de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (Direction régionale Centre Soumaa) se présentent sous forme de totaux mensuels et annuels ainsi que des pluies journalières maximales.

¹ (<http://www.fao.org/nr/water/eto.html>).

Tableau IV.12 : Caractéristiques des stations pluviométriques.

N°	Code	Nom	X	Y	Z (m)	Période de Fonctionnement
1	020325	Pont CW 7 Hadjout	475,8	358,8	59	1980 – 2009
2	020329	Boukourdane Barrage	464,3	359,9	110	1988– 2009

Le choix de la meilleure série se fait on assurant les critères cites ci-après.

- **Station de référence :**

On retiendra pour représenter la région d'étude la valeur de la pluie moyenne observée à la station de Boukourdane vu :

1. Sa situation par rapport à la région d'étude qui est très proche,
2. Ces conditions climatologiques similaires,
3. Son altitude moyenne qui est proche de celle de la région d'étude,
4. De plus La carte pluviométrique de l'Algérie du Nord qui a été établie par l'A.N.R.H sur la période (1922-1960 ; 1969-1989), donne une valeur comprise entre (600 – 650 mm) pour la région d'étude qui est avoisinante de celle obtenue pour la station de Boukourdane c'est ce qui conforte notre résultat (**figure IV.1**).

- **Répartition moyenne mensuelle de la pluie:**

La répartition mensuelle de la pluie annuelle de la station (02 03 29) est donnée dans le tableau suivant pour la période (1988– 2009):

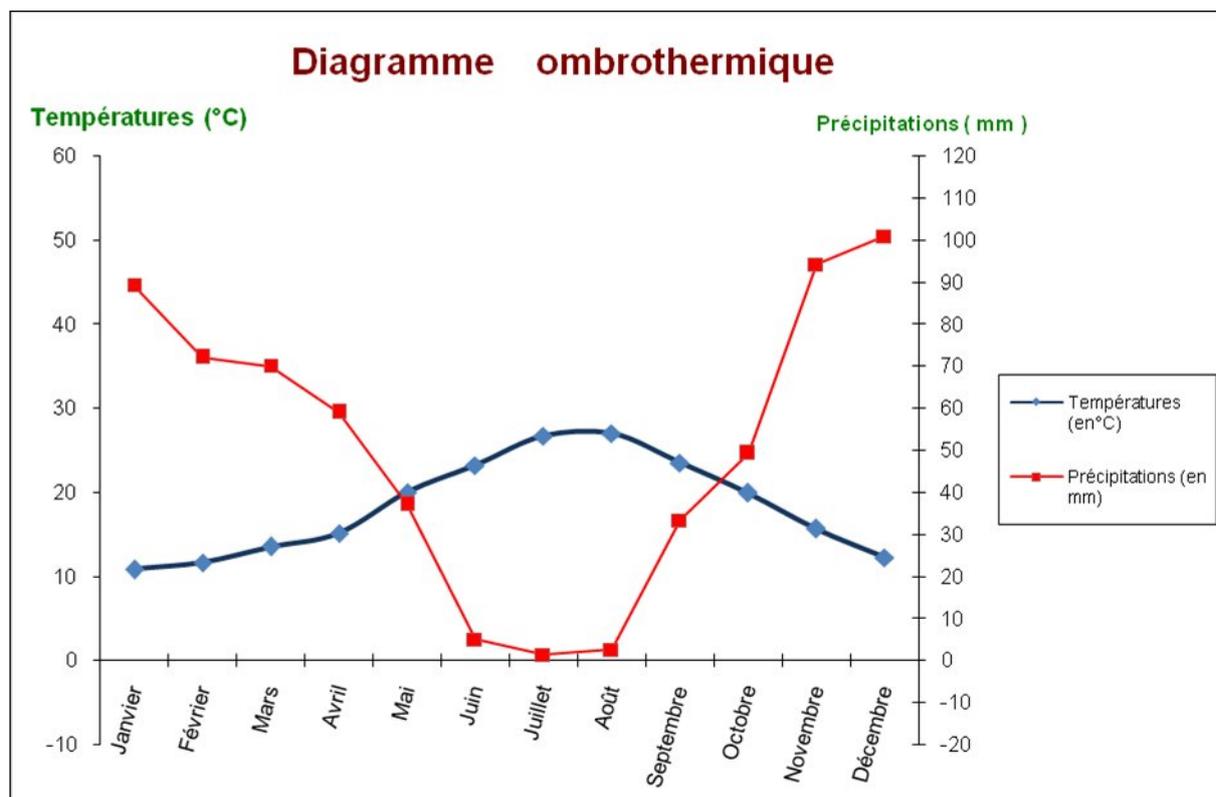
Tableau IV.13: Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle à la station 020329.

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Total
P(mm)	33,2	49,2	94,1	100,9	89,2	72,0	70,1	59,0	38,7	4,9	1,2	2,5	615
%	5,4	8,0	15,3	16,4	14,5	11,7	11,4	9,6	6,3	0,8	0,2	0,4	100

- **Diagramme ombro-thermique :**

Le diagramme Ombrothermique (diagramme Gausson) permet de définir les mois secs de l'année. Les précipitations sont exprimées en mm. Lorsque celles-ci sont égales ou inférieures au double de la température exprimée en degrés centigrades ($P \leq 2T$).

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



Graphique IV.1: Diagramme Ombrothermique de Gausson

- **La pluie efficace:**

Pour tenir compte des pertes, le programme *CROPWAT.8*, nous permettra 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.

Les valeurs de précipitations de probabilité de 80% (P80%) et la pluie efficace (Peff) sont regroupées dans le tableau ci-après :

Tableau IV.14: pluies de projet et pluies efficace de la station du barrage de Boukourdane (020329).

Mois	Pluie (mm)	Pluie eff (mm)
Janvier	89.2	71.4
Février	72	57.6
Mars	70.1	56.1
Avril	59	47.2
Mai	38.7	31
Juin	4.9	3.9
Juillet	1.2	1
Août	2.5	2
Septembre	33.2	26.6
Octobre	49.2	39.4
Novembre	94.1	75.3
Décembre	100.9	80.7
Total	615	492

4. Estimation des besoins en eau des cultures :

La méthode adoptée de calcul des besoins en eau des cultures emploie les informations suivantes :

- La date de plantation.
- La durée des phases de croissance :
 - **initial**
 - **développement,**
 - **mi-saison,**
 - **arrière-saison.**
- Les coefficients culturaux (k_c),
- La profondeur d'enracinement,
- Le tarissement admissible,
- Le coefficient (k_y) de réponse du rendement.
- Le coefficient cultural (K_c) représente le rapport entre l'évapotranspiration réelle de la culture en question et l'évapotranspiration potentielle (ETP) de référence. Ce coefficient dépend de la culture et du cycle végétatif.

Le volume d'eau du sol qui peut être utilisé par la culture dépend directement de sa profondeur d'enracinement et notamment à la phase initiale pour les jeunes plantes et plein développement, au début de la mi-saison ; le tarissement admissible représente l'humidité du sol au-dessous de laquelle le manque d'eau affecte l'évapotranspiration et par conséquent la production de la culture.

Le calcul des besoins en eau des cultures est effectué par décade ; les valeurs du coefficient cultural K_c sont celles des fiches culturales données par le programme *Cropwat 8*.

Tableau IV.15: Représentation de l'assolement choisie dans le secteur C du périmètre de la Mitidja ouest Tr II.

	Culture	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Céréales	Blé			←									→
	Orge		←										→
	Avoine		←										→
Cultures maraichères	Tomate	→						←					→
	Pomme de terre		←			→		←					→
Fourrages	Maïs fourrager								←				→
	Sorgho fourrager										←		→
Arboriculture	Agrumes	←											→
	Vignes	←											→
	Pécher	←											→
	Pommier	←											→
	Olivier	←											→

• **Pertes dans le système d'irrigation (efficience d'irrigation) :**

Les besoins en eau dépendent aussi des pertes dans le système d'apport de l'eau aux plantes, elles sont dues :

- Au système d'irrigation à la parcelle. l'efficience est estimée à d'un système bien géré à :
 - Irrigation à la raie : 40 à 50 % (les pertes sont dues en grande partie au fait qu'il faut donner plus d'eau en tête de raie qu'en bout de raie pour que ce bout soit irrigué suffisamment) ;
 - Irrigation par aspersion : 80 % (les pertes sont dues à l'évaporation des gouttelettes dans un climat chaud et sec ainsi qu'à l'irrégularité due au vent qui oblige à donner plus d'eau que nécessaire) ;
 - Irrigation localisée : 90 % (les pertes sont dues au nettoyage des filtres, au bouchage des goutteurs et au lavage de ceux-ci).
- Aux pertes dans le système de mobilisation de l'eau et le réseau de transport de l'eau à la parcelle : les pertes dans un barrage de retenue correspondent généralement aux pertes par évaporation et infiltration mais aussi aux fuites dans les vannes et aux erreurs de manœuvre.

Les pertes incompressibles dans un grand réseau de transport par tuyaux, même bien géré et entretenu, avoisinent 5 à 10 % des volumes transportés.

D'après les données des périmètres, l'efficience actuelle du transport de l'eau dans les grands périmètres varie de 64 % (le périmètre de la Mitidja en cours de rénovation) à 91 %.

Le tableau IV.16 résume l'efficience de réseaux d'irrigation du périmètre.

Tableau IV.16 : Efficience de réseaux d'irrigation de la Mitidja.

périmètre	Mitidja ouest
efficience de l'amenée	80%
efficience du réseau	80%
efficience totale	64%

Source: Direction des Etudes et des Aménagements Hydrauliques (**mars 2005**).

Un chiffre moyen de 80 % serait ainsi acceptable pour l'efficience du transport de l'eau dans les grands périmètres. Si on ajoute l'efficience à la parcelle, l'efficience globale des réseaux serait de 40 % pour les périmètres irrigués à la raie, 64 % pour les périmètres irrigués par aspersion et 72 % pour les périmètres en irrigation localisée. Ces chiffres sont tout à fait normaux (aux Etats-Unis, des efficacités plus faibles sont fréquentes dans les grands périmètres).

• **Besoins nets et Bruts en eau d'irrigation pour les trois assolements :**

Les besoins en eau d'irrigation des modèles choisies dans le périmètre d'étude dont l'irrigation est assurée à partir du barrage de Boukourdane (volume réel =49 Hm³) sont présentes dans les tableaux IV.17 et IV.18.

Tableau IV.17 : Besoins en eaux unitaires pour l'assolement choisi.

Désignation	Besoins mensuel Mois											Total	
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt		A
Blé	0	0	0	0	0	6	42.7	77.7	136.6	138.3	53.4	0	454.70
Orge	0	0	0	0	0	4	40.5	77.7	130.3	100.4	0	0	352.90
Avoine	0	0	0	0	0	8.5	43	77.7	118.2	53.4	0	0	300.80
Tomate	21.32	0	0	0	0	0	0	0.44	57.62	97.07	176.07	142.20	494.73
P. terre	0	0	0	0	0	0	0	0	73.752	52.745	0	0	126.49
Maïs fourrager	0	0	0	0	0	0	0	0	71.8	157.2	175	165.4	569.40
Sorgho fourrager	0	0	0	0	0	0	0	0	28	125.3	182.2	120.6	456.10
Agrumes	46	8.9	0	0	0	0	4.1	24	61.5	92	102.4	93.4	432.30
Vignes	51.6	12.3	0	0	0	0	0	13.3	52.4	88.3	102.4	97.2	417.50
Pêcher	0	0	0	0	0	0	2.1	48.9	123.7	157.7	144.3	0	476.70
Pommier	0	0	0	0	0	0	0	33.9	107.5	144.6	150.8	109.5	546.30
Olivier	0	0	0	0	0	0	18.9	60.7	116.6	132	38.7	0	366.90

Tableaux IV.18 : Besoins totaux nets et bruts des assolements choisis.**Modèle 01** :

Désignation	Besoins mensuel Mois m3												Total
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	
Blé	0	0	0	0	0	48000	341600	621600	1092800	1106400	427200	0	3637600.00
Orge	0	0	0	0	0	16000	162000	310800	521200	401600	0	0	1411600.00
Avoine	0	0	0	0	0	19839	100362	181351.8	275878.8	124635.6	0	0	702067.20
Tomate	15993.75	0	0	0	0	0	0	330	43218	72802.5	132056.25	106650	371050.50
P.terre	0	0	0	0	0	0	0	0	32819.64	23471.525	0	0	56291.16
Maïs fourrager	0	0	0	0	0	0	0	0	71800	157200	175000	165400	569400.00
Sorgho fourrager	0	0	0	0	0	0	0	0	72338	323712.55	470713.7	311570.1	1178334.35
Agrumes	81420	15753	0	0	0	0	7257	42480	108855	162840	181248	165318	765171.00
Vignes	51600	12300	0	0	0	0	0	13300	52400	88300	102400	97200	417500.00
Pêcher	0	0	0	0	0	0	1680	39120	98960	126160	115440	0	38136000
Pommier	0	0	0	0	0	0	0	27120	86000	115680	120640	87600	437040.00
Olivier	0	0	0	0	0	0	7711.2	24765.6	47572.8	53856	15789.6	0	149695.20
Besoins totaux nets	149013.75	28053	0	0	0	83839	620610.2	1260867.4	2503842.24	2756658.18	1740487.55	933738.1	10077109.40
Besoins totaux bruts	186267.188	35066.25	0	0	0	104798.75	775762.75	1576084.25	3129802.8	3445822.72	2175609.44	1167172.63	12596386.80

Modèle 02 : suite tableau IV.18

Désignation	Besoins mensuel Mois m3												Total
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	
Blé	0	0	0	0	0	39990.00	284595.5	517870.50	910439.00	921769.50	355911.00	0	3030575.50
Orge	0	0	0	0	0	13330.40	134970.3	258943.02	434237.78	334593.04	0	0	1176074.54
Avoine	0	0	0	0	0	16529.10	83617.80	151095.42	229851.72	103841.64	0	0	584935.68
Tomate	22399.78	0	0	0	0	0	0	462.17	60528.24	101962.32	184949.18	149366.88	519668.59
P. terre	0	0	0	0	0	0	0	0	45940.121	32854.861	0	0	78794.98
Maïs fourrager	0	0	0	0	0	0	0	0	95716.58	209563.32	233292.50	220494.74	759067.14
Sorgho fourrager	0	0	0	0	0	0	0	0	96457.2	431645.97	627660.78	415454.94	1571218.89
Agrumes	93610	18111.50	0	0	0	0	8343.50	48840.00	125152.5	187220.00	208384.00	190069	879730.50
Vignes	59334.84	14143.77	0	0	0	0	0	15293.67	60254.76	101536.17	117749.76	111770.28	480083.25
Pêcher	0	0	0	0	0	0	1931.58	44978.22	113779.26	145052.46	132727.14	0	438468.66
Pommier	0	0	0	0	0	0	0	31181.22	98878.5	133003.08	138705.84	100718.1	502486.74
Olivier	0	0	0	0	0	0	8867.88	28480.44	54708.72	61934.40	18158.04	0	172149.48
Besoins totaux nets	175344.62	32255.27	0	0	0	69849.50	522326.56	1097144.67	2325944.39	2764976.77	2017538.24	1187873.94	10193254.00
Besoins totaux bruts	219180.77	40319.08	0	0	0	87311.87	652908.2	1371430.83	2907430.49	3456220.96	2521922.80	1484842.43	12741567.40

Modèle 03 : suite tableau IV.18

Désignation	Besoins mensuel Mois m3											Total	
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt		A
Blé	0	0	0	0	0	43990.80	313067.86	569680.86	1001523.9	1013987.90	391518.12	0	3 333 769.46
Orge	0	0	0	0	0	14663.60	148468.95	284840.43	477666.77	368056.36	0	0	1 293 696.11
Avoine	0	0	0	0	0	18182.35	91981.30	166208.07	252841.62	114227.94	0	0	643 441.28
Tomate	31983.23	0	0	0	0	0	0	659.91	86424.4752	145585.58	264077.28	213271.56	742002.05
P. terre	0	0	0	0	0	0	0	0	65631.905	46937.77	0	0	112 569.68
Maïs fourrager	0	0	0	0	0	0	0	0	71756.92	157105.68	174895	165300.76	569 058.36
Sorgho fourrager	0	0	0	0	0	0	0	0	72293.20	323512.07	470422.18	311377.14	1 177 604.59
Agrumes	78200	15130	0	0	0	0	6970.00	40800	104550	156400.00	174080	158780	734 910.00
Vignes	51600	12300	0	0	0	0	0	13300	52400	88300.00	102400	97200	417500.00
Pêcher	0	0	0	0	0	0	1680.00	39120	98960	126160.00	115440	0	381 360.00
Pommier	0	0	0	0	0	0	0	27120	86000	115680.00	120640	87600	437 040.00
Olivier	0	0	0	0	0	0	7711.20	24765.60	47572.80	53856.00	15789.6	0	149 695.20
Besoins totaux nets	161783.23	27430	0	0	0	76836.75	569879.31	1166494.87	2417621.57	2709809.35	1829262.19	1033529.46	9 992 646.73
Besoins totaux bruts	202229.04	34287.50	0	0	0	96045.9375	712349.137	1458118.59	3022026.96	3387261.69	2286577.73	1291911.83	12490808.40

D'après les trois 03 modèles cités au-dessus, les besoins en eau totaux bruts pour l'irrigation du périmètre sont estimés à environs de **12.74Mm³** (le 1er modèle est le plus exigeant).

Les résultats tirés des deux enquêtes précédentes (le volume d'eau alloué pour irriguer le périmètre de la Mitidja ouest TR II sect. C, et les besoins en eaux de ce périmètre sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IV.19: récapitulatif de la situation hydrique dans le périmètre d'étude

Secteur C			
superficie totale (ha)	superficie irriguées (ha)	besoins en eau bruts (m3)	volume d'eau alloué (2010) (m3)
3 020	2 389	12 741 567.4	1 364 860

Les résultats obtenus nous confirment que la zone d'étude est une zone déficitaire de l'eau d'irrigation, ce déficit est dû au manque d'eau enregistré dans le barrage de Boukourdane durant les années précédentes. Le volume d'eau déficitaire égale à **11 376 797.4 m³** soit de **11.38Mm³**.

NB:

Les besoins en eaux des cultures maraichères sont exclus du volume total déficitaire, car celles-ci ne peuvent pas être irriguées par les eaux épures de la STEP de Hadjout,

La production de la STEP de Hadjout enregistré pour les deux horizons (2010 et 2020) nous la voyant dans le **tableau IV.23**.

Ces données ont été tirées de l'étude de la station d'épuration de la ville de Hadjout (Manuel d'exploitation).

IV .4 Capacité de la STEP de Hadjout

La capacité de la STEP de Hadjout est représentée dans le tableau IV.20 pour les horizons 2010 et 2020.

Tableau IV.20: Les débits de la STEP de Hadjout.

Désignation	Horizon 2010	Horizon 2020
Type de réseau	Unitaire	Unitaire
Capacité de la STEP (EH)	70.000	105.000
Charge Hydraulique		
- Débit journalier (m3/j)	11 200	16 800
- Débit moyen horaire (m3/h)	467	700
- Coefficient de pointe (Cp)	1,79	1,72
- Débit de pointe au (m3/h)	803	1176

Source : STEP de Hadjout

Ces débits ont été estimés à partir des besoins en eaux pour différentes localités sur deux horizons en tenant compte de la population et des différents besoins.

Les débits moyens annuels journaliers enregistrés au niveau de la station d'épuration de Hadjout à différents horizons sont affichés dans le tableau IV.21.

Tableau IV.21 : Production des eaux épurées de la station de Hadjout

Horizon	Débit moyen journalier (m ³ /j)	Volume annuel (m ³)
2010	11 200	4 088 000
2016	12 540	4 577 100
2020	16 800	6 132 000

Source : STEP de Hadjout

IV.5 Conclusion:

Au contraire du périmètre de la Mitidja ouest tr I, la deuxième tranche de ce grand périmètre, et plus précisément le secteur C, est caractérisé par une moyenne de superficie cultivée soit de 63% de la surface totale, dont la céréaliculture est considérée comme l'espèce le plus adapté dans ce secteur, et cela est dû aux raisons de manque des ressources en eaux destinés à l'irrigation. Cette situation hydrique exige aux agriculteurs de la région a ne pas cultiver que dans les périodes hivernales pour garantir l'irrigation naturelle.

Une estimation des besoins en eaux totaux du secteur C nous renseigne que ces derniers sont en valeur assez importante en les comparant avec le volume d'eau alloué, soit d'un volume déficitaire de **11.38 Mm³**.

Les résultats tirés de la station d'épuration de Hadjout nous renseigne aussi que la production annuelle des EUE de celle-ci peut couvrir un volume d'eau de **6.132 Mm³** pour l'horizon **2020**.

Le chapitre suivant sert à projeter un système d'aménagement pour l'irrigation du secteur C à partir des eaux usées épurées de la STEP de Hadjout et renforcer les ressources en eau du périmètre.

Chapitre v

Schéma d'aménagement

Introduction :

La conclusion tirée après traitement des deux derniers chapitres, est :

Une production d'EUE conforme aux normes internationales.

Un déficit d'eau trop important enregistré au niveau du périmètre d'étude.

Une topographie convenable pour faire un stockage d'eau usée épurée.

Le présent chapitre a pour but de proposer un schéma d'aménagement pour irriguer le secteur C du périmètre de Mitidja Ouest tranche II à partir des eaux usées épurées de la STEP de Hadjout, et ce pour renforcer les ressources en eau du périmètre d'étude.

V.1 Orientations du choix du périmètre à aménager :

- Proximité du site de la STEP :

Les zones aptes à l'irrigation qui sont plus proches de la STEP, ont été privilégiées, afin de limiter les coûts des infrastructures d'adduction jusqu'à l'entrée du périmètre, rappelons aussi que la STEP se localise dans la partie Est du périmètre (dans le périmètre).

- Production d'eau conforme en normes :

Les eaux usées épurées de la STEP de Hadjout répondent très largement aux normes internationales prise en considération lors de l'irrigation par les eaux EUE. ces derniers sont rejetées directement sur l'oued de bourkika. D'où l'utilité de les exploiter sera un investissement trop important. Les caractéristiques de l'effluent final, après chloration sur 24 heures :

- DBO5 : inférieure ou égale à 30 mg/l sur 24 heures ;
- DCO : inférieure ou égale à 90 mg/l sur 24 heures ;
- MES : inférieure ou égale à 30 mg/l sur 24 heures ;
- PH : compris entre 6,5 et 8,5 ;
- Coliformes totaux : 20.000 / 100 ml ;
- Coliformes fécaux : 12.000 / 100 ml.

Ces données ont été tirées de l'étude de la station d'épuration de la ville de Hadjout (Manuel d'exploitation).

- Volume d'eau d'irrigation insuffisant :

Le volume d'eaux d'irrigation alloué par le barrage de Boukourdane pour l'irrigation du secteur C ne suffit pas d'assurer tous les besoins en eaux de ce périmètre vu le manque d'eaux enregistré dans le barrage de Boukourdane (source d'alimentation en eau d'irrigation du périmètre). Soit d'un volume d'eau déficitaire de **11.38Mm³**.

- Qualité pédologique des sols :

Le choix a porté sur des sols de bonne qualité, et en tout cas, des sols irrigables ;

- Topographie du site :

Les zones topographiquement les plus basses ont été privilégiées afin de limiter les contraintes et les coûts liés au pompage pour l'alimentation du périmètre ;

- Forme et compacité du périmètre :
Un périmètre compact (d'un seul bloc).
- Critères socio-économiques :
Les zones où le nombre de bénéficiaires est important, où les futurs bénéficiaires sont les plus actifs et motivés pour une mise en valeur en irrigué, ont été privilégiés.

V.2 Description du schéma d'aménagement proposé :

Le volume total des eaux usées épurées produites par la STEP de Hadjout, ne permet pas d'assurer le débit nécessaire pour la desserte de tout le périmètre d'étude durant toute la période de l'année. Pour exploiter en maximum les eaux usées épurées produites par la STEP, il est nécessaire de prévoir des sites de stockage.

Le stockage des eaux épurées se fait dans un bassin jouant le rôle de réservoir, il offre les avantages suivants :

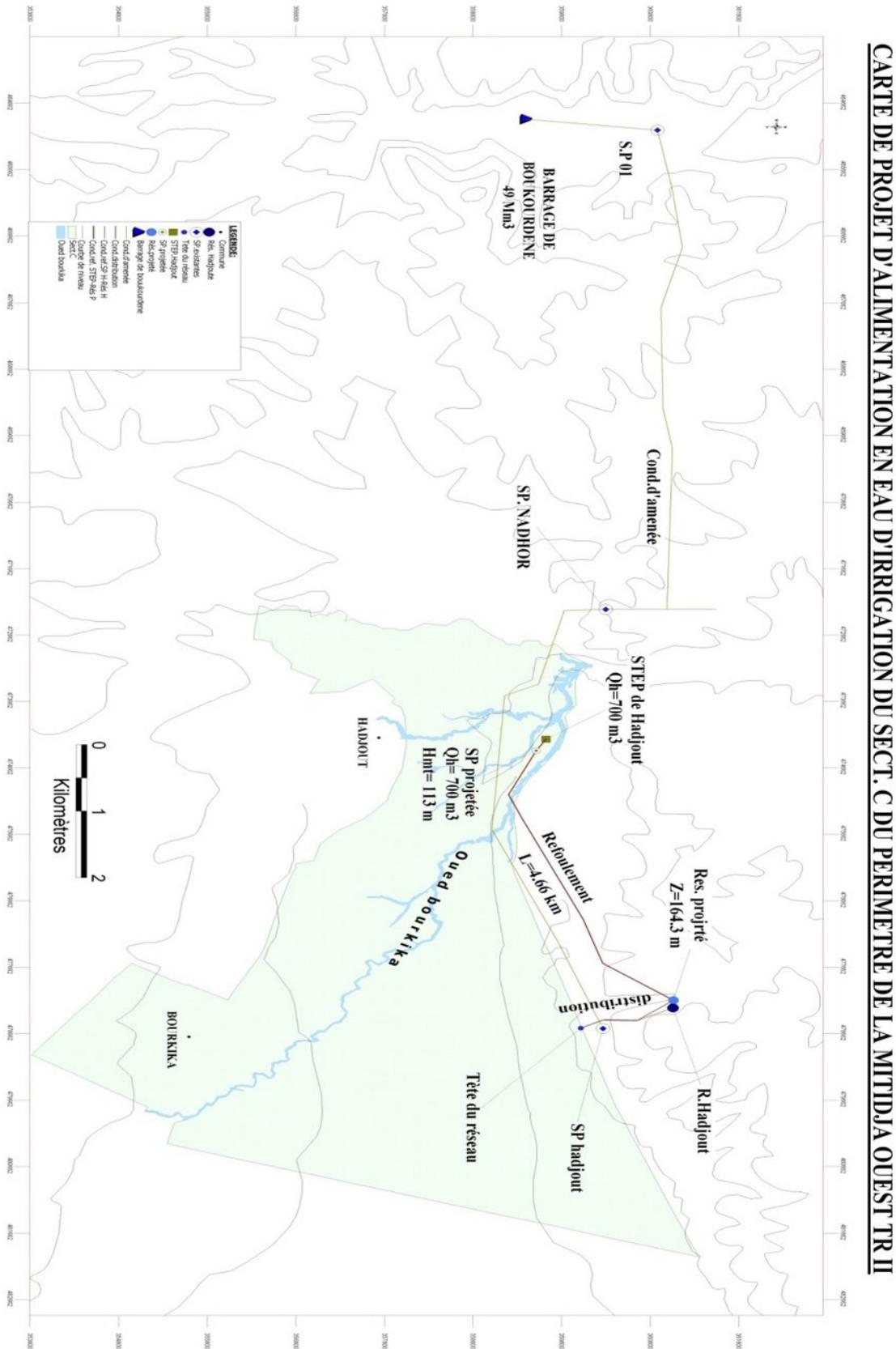
- Garantir une offre d'eau épurée à la demande du calendrier d'irrigation des cultures et indépendamment des variations de débits journaliers des effluents.
- Disposer d'une réserve d'eau en cas d'arrêt momentané de la station d'épuration à cause d'une panne.

Le bassin sert à stocker les volumes excédentaires des eaux épurées produites par la STEP de Hadjout de Septembre à Mars pour combler le déficit d'eau des besoins en eau d'irrigation constatés d'Avril à Août de l'année. Ce bassin, situé à l'extérieur du périmètre d'étude (à l'Est), facilement accessible par route (RN 67) et pistes, emmagasine la totalité du volume à stocker.

Aussi, le réservoir peut jouer un rôle très important pour l'amélioration de la qualité microbiologique des EUE, ce dernier ne doit pas être très profond.

Le principe d'aménagement consiste à projeter une station de pompage à la côte de **62.67** m NGA à côté de la STEP de Hadjout pour refouler les eaux produites par cette dernière dans un bassin en béton armé (**site de stockage**) projeté à la côte **164.3m** NGA et de là, garantir une distribution gravitaire vers la tête du réseau et par la suite, desservir les exploitations de notre périmètre (**figure V.1**).

Figure V.1 : Schéma d'aménagement proposé



V.3 Critères du choix:

Tracé de la conduite :

Pour le choix du tracé de la conduite d'adduction (refoulement) il sera tenu compte de certain impératif que qu'il faut respecter dans la mesure du possible :

- Il est important de chercher un profil en long aussi régulier que possible pour éliminer les contres pentes
- Dans le but d'économie du projet, le tracé doit être le plus court possible;
- Eviter le phénomène de cavitation qui peut engendrer les éclatements et vibration de la canalisation au cours de la phase de surpression ;
- Eviter les forêts, bois et zones marécageuses ;
- Eviter autant que possible la traversée des obstacles (routes, voies ferrées, canaux, oueds,...).

Réservoir:

Dans notre choix, Les critères les plus importants à respecter lors du l'emplacement du bassin du stockage et de distribution sont:

- Adaptation d'une hauteur manométrique assurant la distribution gravitaire touche toutes les cultures du périmètre on assurant le point le plus favorable.
- Adaptation d'une hauteur du réservoir moyennement petite pour assurer le traitement tertiaire par le rayonnement du soleil.
- Connaitre l'homogénéité du terrain ou le réservoir sera implanté par le fait des études géotechniques, afin de connaitre la portance des sols qui recevront ce bassin d'une part et de s'assurer qu'on n'est pas en présence de nappe d'autre part.

L'idée dans notre cas est d'implanter le réservoir à proximité de celui associé a la SP de Hadjout qui sert à accumuler les eaux d'irrigation du périmètre d'étude venant du barrage de Boukourdane, et cela vu son emplacement très proche de la STEP (**5km**) vol d'oiseau et assure la hauteur manométrique demandée par le point le plus exigent dans le périmètre.

Station de pompage :

Les stations de pompage sont des ouvrages hydrauliques servant à relever l'eau à une altitude supérieure. L'implantation de la station de pompage est nécessaire toutes les fois que l'on ne le dispose pas d'une pente suffisante pour véhiculer l'eau gravitairement. Elle est conçue, ainsi, pour abriter les pompes et les moteurs qui les entraînants.

Une station de pompage est projetée à proximité de la STEP de Hadjout soit de 205m vers l'est, vu la topographie et la surface existante convenables.

• Choix des pompes :

Les hauteurs manométriques en fonctions de débits sont données dans les graphes (courbes caractéristiques) de divers groupes centrifuges, ces caractéristiques permettent de choisir les types des pompes en évitant le phénomène de cavitation.

Un grand intérêt est porté à une pompe pouvant fonctionner dans une zone à rendement maximal, ce qui entraîne une réduction de l'énergie à fournir.

Les critères de choix du type de pompe sont :

- Assurer le débit appelé Q_{app} et la hauteur HMT ;
- Meilleur rendement ;
- Vérifier la condition de non cavitation ;
- Encombrement et poids les plus faibles ;
- Vitesse de rotation la plus élevée ;
- Puissance absorbée minimale ;
- Etre fabriquée en série.

On opte pour les pompes Italie (pompes à hautes pressions) de marque CAPRARI qui sont fabriquées en série.

En plus de ses avantages technique et mécanique, ce type de pompe nous assure le débit et la hauteur manométrique totale appelés avec une vitesse de rotation élevée à savoir $n=1450\text{tr}/\text{min}$.

● **Choix du nombre de pompe:**

Le choix du nombre de pompe repose sur les critères suivants :

- Recherche de l'investissement minimal par limitation du nombre de pompe de groupe sans perdre de point de vue la sécurité de fonctionnement ;
- Assure la hauteur et le débit calculer ;
- Assurer le rendement maximal de pompe ;
- Présenter le minimum d'encombrement ;
- La disponibilité, surtout sur le marché national.

● **Couplage des pompes**

On distingue deux types de couplage des pompes :

- Le couplage en série : ce type de couplage est utilisé en vue de l'augmentation de la hauteur d'élévation des pompes.
- Le couplage en parallèle : ce type de couplage est utilisé en vue de l'augmentation du débit refoulé par les pompes.

Pour notre cas, on a adapté à notre installation un couplage en parallèle.

● **Le moteur électrique :**

Les critères de choix du moteur électrique sont :

- Puissance absorbée minimale ;
- Position de l'arbre de transmission horizontale ou verticale ;
- Tension d'alimentation en fonction de la puissance du moteur et de l'investissement.

V.4 Principe de calcul hydraulique et dimensionnement :

L'objectif principal du présent chapitre est d'acheminer l'eau usées épurées de la sortie de la STEP de Hadjout jusqu'à la tête du secteur C du périmètre de Mitidja Ouest tranche II. Pour Cela, plusieurs ouvrages Hydrauliques et génie civiles sont proposés et nécessitent un dimensionnement ; il s'agit de : Conduite de refoulement, station de pompage, réservoir de stockage et de distribution et conduite de distribution gravitaire (jusqu'à la tête du réseau).

1. Conduite de refoulement :

La conduite de refoulement, transporte l'eau sous pression de la station de pompage à la cote de **62.67m**, vers le bassin du stockage à la cote de **164.3m**, cette dernière sera dimensionnée par le débit de la station de pompage projeté, qui doit être égale ou inférieure au débit de la STEP de Hadjout, soit de $Q_{sp} = 700 \text{ m}^3/\text{h}$. avec une longueur totale égale à **4.66km**.

- **Diamètre économique de conduite de refoulement :**

Le choix de la gamme des diamètres sur laquelle portera notre étude sera donnée par les relations:

$$D_{ec} = \sqrt{Q} \quad \dots\dots\dots \text{(Bonin)} \quad \dots\dots\dots \text{(V.1);}$$

$$D_{ec} = 1,5 * \sqrt{Q} \quad \dots\dots\dots \text{(Bresse)} \quad \dots\dots\dots \text{(V.2);}$$

Où :

D_{ec} : diamètre économique de la conduite (m) ;

Q : débit véhiculé par la conduite (m^3/s).

Remarque : La formule de Bresse n'est valable que pour les petits projets (longueur de conduite $\leq 1 \text{ Km}$)

- **Hauteur manométrique totale**

La hauteur manométrique totale sera calculée de la manière suivante :

$$H_{mt} = H_g + \sum \Delta h \quad \dots\dots\dots \text{(V.3)}$$

H_g : Différence de niveau entre le plan d'aspiration et le plan de refoulement (m) ;

$\sum \Delta h$: Somme des pertes de charge linéaires et singulières (m).

Dans le cas des adductions, les pertes de charge singulières sont estimées à **10%** des pertes de charge linéaires.

$$\sum \Delta h = 1,15 * \Delta h_p^{lin} \quad \dots\dots\dots \text{(V.4)}$$

Δh_p^{lin} : Pertes de charge linéaires (m).

$$\Delta h_p^{lin} = \frac{8 * \lambda * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^{5,3}} \quad \text{(Formule de Darcy-Weisbakh)} \quad \text{(V.6)}$$

g : Accélération de la pesanteur (m/s^2) ;

Q : Débit à refouler (m^3/s) ;

L : longueur géométrique de la conduite (m) ;

λ : Coefficient de frottement qui est en fonction de la rugosité de la paroi interne de la conduite et du régime d'écoulement,

$$\text{Avec : } \lambda = (1,14 - 0,86Ln \frac{\varepsilon}{D})^{-2} \quad \text{(Formule de Nikuradzé)} \quad \text{(V.7)}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \text{Log} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 * D} + \frac{2,51}{R_e * \sqrt{\lambda}} \right) \quad \text{(Formule Colebrook)} \quad \text{(V.8)}$$

Remarque :

Dans les calculs introduisant le coefficient λ , ce dernier est estimé par la formule (V.8)

R_e : Nombre de Reynolds ;

$$R_e = \frac{V * D}{\nu} \dots\dots\dots(V.9)$$

V : vitesse d'écoulement dans la conduite (m/s) ;

D : diamètre de la conduite (m) ;

ν : viscosité cinématique de l'eau (m²/s).

ε : Rugosité absolue de la conduite ;

• **Amortissement annuel**

Les frais d'amortissement sont en fonction de la durée d'amortissement de la conduite et du taux d'annuité. Il est déterminé par la relation suivante :

$$A = \frac{i}{(1+i)^n - 1} + i .$$

A : Frais d'amortissement (DA) ;

i : Taux d'annuité ; $i = 8\%$;

n : Durée de l'amortissement de la conduite, $n = 20$ ans.

$$A.N : A = \frac{0,08}{(1+0,08)^{20} - 1} + 0,08 \Rightarrow A = 0,1019 = 10.19\%$$

Pour faire ce calcul, il est préférable de poser une gamme de diamètres normalisés, le tableau V.1 résume le prix d'achat de mètre linéaire de ces conduites en fonction de leurs diamètres normalisés, dont le type de matériaux choisi est de l'acier.

Tableau V.1: Prix d'achat de ml. des conduites de en acier en fct° de leurs diamètres.

Diamètres (mm)	prix de ml (DA)
350	10714.99
400	11867.75
800	30095.65
1000	35162.09
1800	104603.19
2000	119852.27
2500	164179.47

Les résultats de calcul du diamètre économique de la conduite de refoulement sont regroupés dans les tableaux V.2, V.3, V.4 et V.5:

Tel que :

$$Q_{sp} = 0.194 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{alors : } D_c = 660 \text{ mm ;}$$

Tableau V.2: Calcul de la hauteur manométrique totale Hmt:

Diamètre (m)	Vitesse (m/s)	Longueur (m)	Δh	p,d,c total	Hg (m)	HMT (m)
0.5	1.1	4660	0.0288	15.4	97.6	113
0.6	0.686	4660	0.0274	5.87	97.6	103.47
0.7	0.504	4660	0.0262	2.6	97.6	100.2
0.8	0.386	4660	0.0253	1.29	97.6	98.89
0.9	0.305	4660	0.0245	0.69	97.6	98.29

Tableau V.3: Calcul des frais d'amortissement:

Diamètre en (m)	Prix de ml (DA)	L (m)	F amorti (DA)
0.5	12204.5	4660	5795355.64
0.6	16572.6	4660	7869565.40
0.7	21252	4660	5795355.64
0.8	26258	4660	7869565.40
0.9	31025	4660	10091597.20

Tableau V.4: Calcul des frais d'exploitation:

Diamètre (mm)	Puissance (kw)	Energie (kwh)	F exploit (DA)
500	262.25	1914437.47	10931437.98
600	240.14	1753055.42	10009946.46
700	232.56	1697658.91	9693632.39
800	229.50	1675379.20	9566415.21
900	228.12	1665304.42	9508888.25

Tableau V.5 : Bilan du choix du diamètre de la conduite de ref.

diamètre (mm)	F exploit (DA)	F amorti (DA)	bilan
500	10931437.98	5795355.64	16726793.62
600	10009946.46	7869565.4	17879511.86
700	9693632.39	5795355.64	15488988.04
800	9566415.21	7869565.4	17435980.61
900	9508888.25	10091597.2	19600485.46

Les résultats du tableau V.5 mènent à choisir entre deux diamètres de conduites ayant les bilans les plus faibles, soit Ø500 ou Ø700, mais en comparant leurs vitesses d'écoulement l'une à l'autre, le choix est arrêté sur le diamètre **Ø500** du faite que la valeur sa vitesse d'écoulement (1,1 m/s) appartient à l'intervalle des vitesses respectables :[1-2] m/s.

- **Profil en long:**

Le tracé de la conduite de refoulement est fait à l'aide de l'outil DAO covadis9.1, il est présenté dans la liste des planches, (planche n°03).

2. Station de pompage projetée :

Dans notre projet, la station de pompage doit refouler un débit total journalier de **15400m³/j** pendant **22 heures**, soit d'un débit horaire de **700m³/h**. rappelons que la hauteur manométrique Hmt= 113m.

- **Puissance de pompage**

$$P = \frac{g * Hmt * Q}{\eta} \dots\dots\dots (V.10)$$

- P : puissance absorbée par la pompe (Kw) ;
- g : Accélération de la pesanteur (m/s^2) ;
- Hmt : Hauteur manométrique totale (m) ;
- Q : Débit à refouler (m^3/s) ;
- η : rendement de la station de pompage (70 %).

- **Energie consommée par le pompage**

L'énergie consommée par la station de pompage le long d'une année est le produit de la puissance de pompage et d'heures de pompage par année.

$$E = P * t * 365 \dots\dots\dots(V.11)$$

- E : énergie consommée pendant une année (Kwh) ;
- P : puissance de pompage (Kw) ;
- t : temps de pompage par jour (h).

- **Dépense annuelle de l'énergie**

Les dépenses annuelles de l'énergie sont le produit du prix unitaire du Kwh et de l'énergie consommée par année.

$$K = \delta * E \dots\dots\dots (V.12)$$

- K : Dépenses annuelles d'énergie (DA) ;
- E : Energie consommée par année (Kw) ;
- δ : prix unitaire d'un Kw H imposé par la SONELGAZ ($\delta=5.71DA$)

- **Nombre de pompe :**

On note le nombre, le type et les caractéristiques des pompes choisie par le logiciel CAPRARI PUMP TUTOR dans le tableau V.6 :

Tableau V.6 : Choix des pompes.

n	Q appelé (m ³ /h)	HMT appelée (m)	Type de pompe	η (%)	Vitesse (tr/min)	N ^{bre} d'étage	P _{abs} (Kw)	(NPSH) _r (m)
1	700	113	-	-	-	-	-	-
2	350	113	PM150/5B	75.1	1450	5	145	5.06
3	233.33	113	PM150/5D	78.3	1450	5	102	2.46
4	175	113	PM125/5A	74.9	1450	1	68.6	2.39
5	140	113	PM100/6C	76.7	2900	2	60.2	4.64

A partir de ce tableau, on remarque que la 3eme variante (03 pompes en parallèle) est le choix le plus convenable du point de vue rendement, puissance absorbée et nombre de pompes en parallèle. Elles ont les caractéristiques suivantes :

○ **Pompe PM150/ 5D.**

- Centrifuge multicellulaire pour hautes pressions à axe horizontal
- Roues, diffuseurs et corps d'aspiration : en fonte
- Corps d'aspiration, refoulement et corps d'étage : en fonte
- Corps de refoulement avec pieds de support et orifice de refoulement tourné vers le haut ; corps d'aspiration à bouche orientable
- Arbre en acier inoxydable entièrement protégé par une douille en acier inoxydable. Double palier
- Roulements à billes largement dimensionnés pour supporter les charges radiales et axiales dans les deux sens
- Garniture : à tresse, réglable à faible coefficient de frottement
- Hauteur d'arbre normalisée (UNI 2946).

● **Courbes caractéristiques des pompes :**

Pour chaque pompe dont la vitesse de rotation et le diamètre de la roue sont connus, on peut l'associé les courbes caractéristiques suivantes :

$$[H-Q] \quad , \quad [P_{abs} - Q] \quad , \quad [\eta_p - Q] \quad , \quad [(NPSH)_r - Q].$$

Les courbes caractéristiques des pompes choisies Sont représentées dans la figure suivante :

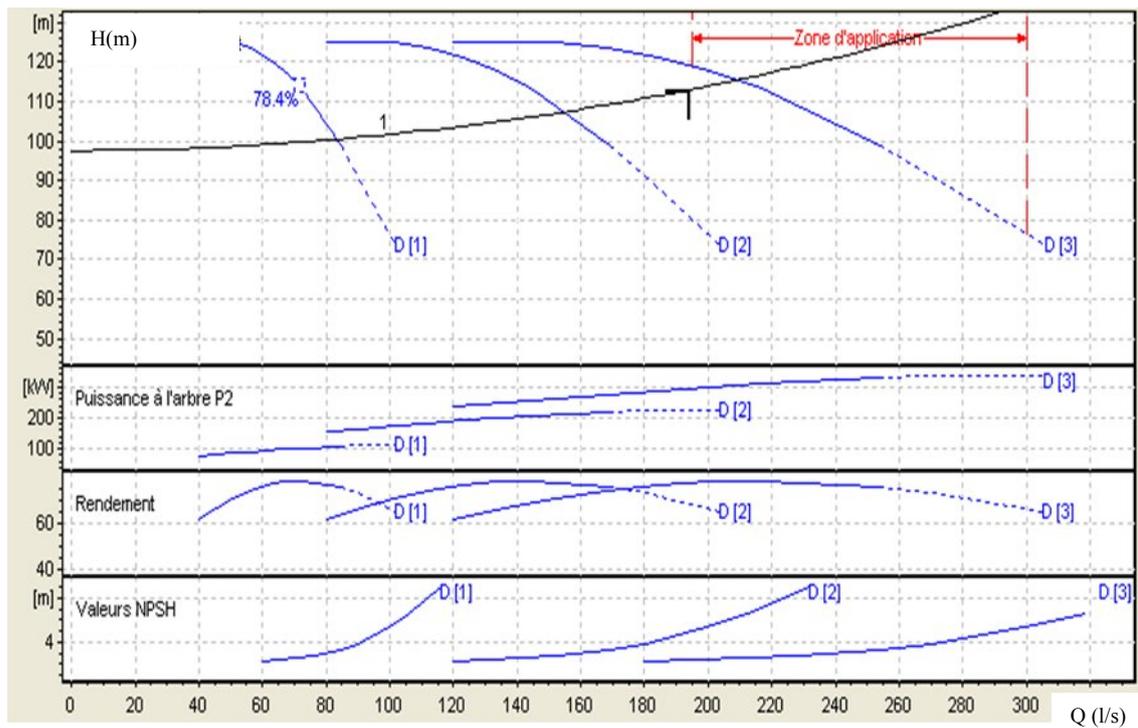


Figure V.2 : Courbes caractéristiques de la pompe choisie.

- **Point de fonctionnement:**

Portant les courbes caractéristiques de la pompe $H=f(Q)$; de la conduite $H_c=f(Q)$ sur le même graphique (H-Q).

Le point d'intersection de ces deux courbes est le point de fonctionnement du système. C'est-à-dire la pompe va pouvoir refouler un débit Q à une hauteur H lorsque ce point se trouve sur la plage du rendement maximal.

La pompe fonctionne alors dans les conditions optimales. Cette condition dans la plupart des cas n'est pas généralement satisfaite, modifications vont être introduites des dans le fonctionnement ou dans le dimensionnement de la pompe afin de l'adapter à des conditions de marche données.

Le point de fonctionnement des trois pompes après une optimisation faite par le logiciel «Caprari» qui sert a attribué un mode de réglage de débit de la pompe, si ce dernier sera différent a celui demander ($Q_{pompe} \neq Q_{demandé}$) dont:

Pour notre cas, le point de fonctionnement indiqué dans la figure précédente (**fig. V.2**) ne situ pas dans la plage de bon fonctionnement, le cas qui se présente ici est : $Q_{pompe} > Q_{demande}$.

Le mode de réglage procédé dans ce cas est la diminution de n^{bre} de tour soit de **1416 tr/mi** au lieu de 1450 (figure V.3).

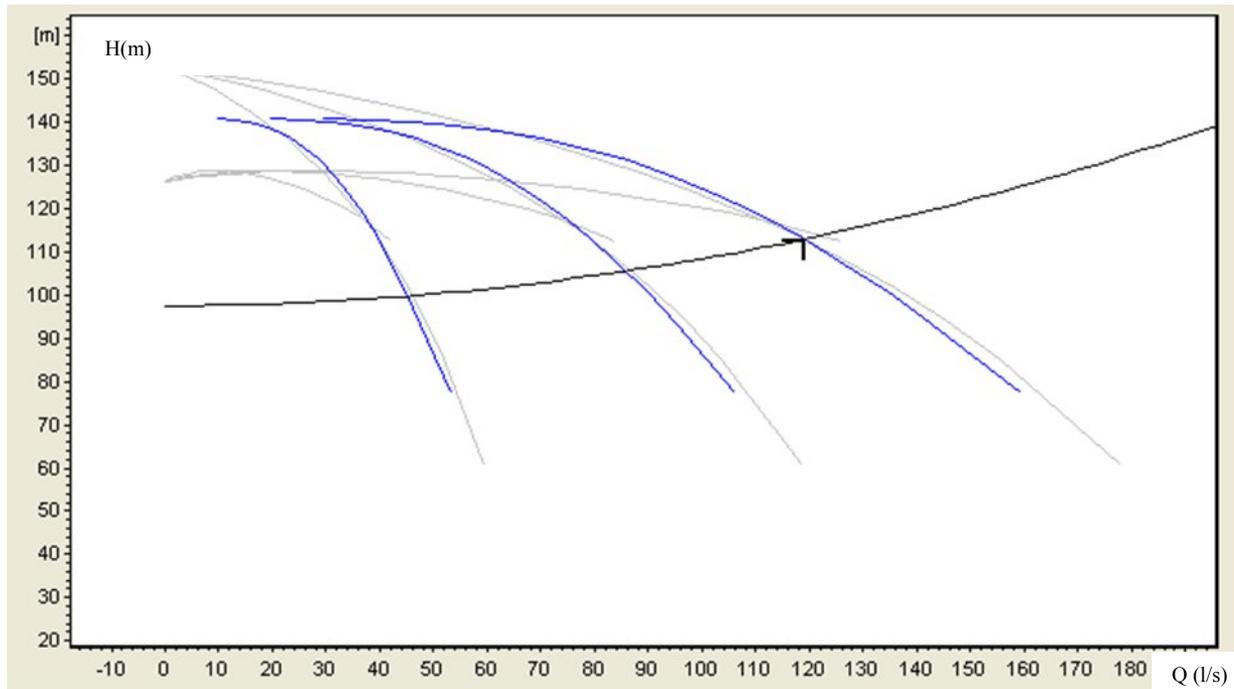


Figure V.3 : point de fonctionnement des pompes choisies.

• **Etude de la cavitation :**

La cavitation est la perturbation du courant liquide juste à l'entrée de la pompe en fonctionnement, cela se produit lorsqu'à une température constante, la pression absolue est inférieure ou égale à la tension de vapeur d'eau.

Afin d'éviter le phénomène de cavitation, la condition suivante doit être vérifiée :

$$(NPSH)_r < (NPSH)_d$$

$(NPSH)_r$: Charge nette d'aspiration requise, elle est fournie par le constructeur ;

$(NPSH)_d$: Charge nette d'aspiration disponible, elle est fournie par l'installateur.

$$(NPSH)_d = (NPSH)_r + r \quad ; \quad r: \text{marge de sécurité, } r = (0,3 - 0,5) \text{ m,}$$

On prend : $r = 0,3 \text{ m}$.

Pour une pompe donnée fonctionnant à une vitesse déterminée, il existe une hauteur limite d'aspiration en deçà de laquelle il convient toujours de se tenir.

Dans notre cas, on a choisi des installations en aspiration au niveau de notre station de pompage, alors la hauteur d'aspiration admissible est régie par la relation suivante :

$$h_{asp}^{adm} = P_{at} - (NPSH)_r - r - T_v - \frac{V_a^2}{2 * g} - \Delta h_{asp} \quad \dots\dots\dots (V.13)$$

V_a : vitesse d'écoulement dans la conduite d'aspiration (m/s) ;

P_{at} : pression atmosphérique (m.c.e) ;

$$P_{at} = 10,33 - 0,00139 * H.$$

Avec : H : altitude de la station.

T_v : tension de vapeur d'eau (m.c.e) ;

Tableau V.7: Variation de la tension de vapeur d'eau en fonction de la température

T° (°C)	5	10	20	30	40	50	80	100
T _v (m.c.e)	0,09	0,12	0,24	0,43	0,75	1,25	4,82	10,33

La tension de vapeur d'eau sera choisie pour une température de 20°C

Δh_{asp} : Perte de charge totale du coté aspiration.

$$\Delta h_{asp} = (1,10 - 1,15) * \Delta h_{asp}^{lin} \dots\dots\dots(V.14)$$

Δh_{asp}^{lin} : Perte de charge linéaire à l'aspiration (m), elle sera estimée pour le collecteur et la conduite d'aspiration moyennant la formule suivante :

$$\Delta h_p^{lin} = 0,001735 * \left(\frac{L_r * Q_{app}^2}{D_c^{5,3}} + \frac{l_r * Q_a^2}{D_a^{5,3}} \right) \dots\dots\dots(V.15)$$

On prend :

L_r : longueur du collecteur d'aspiration, $L_r = 50$ m ;

l_r : longueur de la conduite d'aspiration, $l_r = 1,5$ m ;

Q_a : débit refoulé par une seule pompe (m³/s) ;

$$Q_a = \frac{Q_{app}}{n} \dots\dots\dots(V.16)$$

Avec : n : nombre de pompes en parallèles.

D_c : diamètre du collecteur d'aspiration (m),

$$D_c = \sqrt{\frac{4 * Q_{app}}{\pi * V_c}} \dots\dots\dots(V.17)$$

Avec : V_c : vitesse d'écoulement dans le collecteur d'aspiration (m/s),

On prend: $V_c = 1,5$ m/s.

D_a : diamètre de la conduite d'aspiration,

$$D_a = (1,2 - 1,5) * DN1 \quad (V.18)$$

Avec : DN1 : diamètre de la tubulure d'aspiration (mm).

• Calage de la pompe

Le calage de la pompe est de déterminer la côte exacte de l'axe de la pompe par rapport à niveau du plan d'eau d'aspiration pour qu'elle fonctionne sans le moindre risque de cavitation.

Pour les installations en charge : $\nabla_{axe} = \nabla_{min} - h_{asp}^{adm} + r \dots\dots\dots(V.16)$

∇_{axe} : Niveau de l'axe de la pompe (mNGA) ;

∇_{min} : Niveau minimal du plan d'eau d'aspiration (mNGA) ;

$$\nabla_{min} = C_p - h \quad (V-20) ;$$

C_p : côte du plan d'eau dans le réservoir (mNGA) ;

h : hauteur d'eau dans le réservoir (m) ;

r : marge de sécurité, $r = (0,1 - 0,3)$ m.

• Résultats de calcul :

- La charge nette d'aspiration requise : $(NPSH)_r = 7.24$ m

- La pression atmosphérique : $P_{at} = 10,33 - 0,00139 * 650 \Rightarrow P_{at} = 9.42$ mce

- La tension de vapeur d'eau à une température $T=20\text{ °C}$: $T_v = 0,24\text{ mce}$
- Le diamètre de la conduite d'aspiration : $D_a = 1,5 * DN1$

DN1 = DN300 (UNI PN30), donne par le logiciel CAPRARI.

Donc : $D_a = 1,5 * 200 \Rightarrow D_a = 300\text{mm}$

- La vitesse d'aspiration : $V_a = \frac{4 * 0.065}{3,14 * 0,3^2} \Rightarrow V_a = 0.9\text{m/s}$

- Diamètre du collecteur d'aspiration :

$$D_c = \sqrt{\frac{4 * 0.194}{3,14 * 1,5}} \Rightarrow D_c = 0,89\text{m}$$

On pose $D_c = 0,5\text{m} \Rightarrow V_c = \frac{4 * 0.194}{3,14 * 0,5^2} \Rightarrow V_c = 1\text{m/s}$

Cette vitesse est admissible alors on prend : $D_c = 500\text{mm}$

- La perte de charge linéaire à l'aspiration sachant que :

$$\Delta h_p^{lin} = 0,001735 * \left(\frac{50 * 0.194^2}{0,5^{5,3}} + \frac{1,5 * 0.064^2}{0,2^{5,3}} \right) \Rightarrow \Delta h_p^{lin} = 0,18\text{m}$$

- La perte de charge totale à l'aspiration : $\Delta h_{asp} = 1,15 * 0,18 \Rightarrow \Delta h_{asp} = 0,21\text{m}$
- La hauteur d'aspiration admissible :

$$h_{asp}^{adm} = 9.42 - 2.54 - 0.2 - 0,24 - \frac{0.9^2}{2 * 9,81} - 0,17 \Rightarrow h_{asp}^{adm} = 6.4\text{ m.}$$

- Le niveau minimum du plan d'aspiration : $\Rightarrow \nabla_{\min} = 62.67\text{ mNGA}$.
- La côte de l'axe de la pompe : $\nabla_{axe} = 62.67 + 6.4 - 0,2 \Rightarrow \nabla_{axe} = 69.07\text{ mNGA}$.

3. Réservoir :

• Débit au Bassin :

Le débit du bassin est calculé sur la base des besoins en eau les plus exigeants. Les besoins en eau correspondants pour le mois de pointe pour chaque entité soit un débit fictif continu calculé pour chaque entité.

Dans le cas de cette étude, puisque la production de la STEP est inférieure au volume total des besoins en eau du périmètre, le bassin de stockage sera dimensionné à part du débit produit par la STEP.

Pour une meilleure exploitation du volume d'eau stocké et la bonne gestion du périmètre, deux solutions peuvent être présentées :

- Possibilité d'amener un volume d'eau complémentaire pour subvenir à tout les besoins en eau du périmètre (secteur C) à partir des ressources en eau conventionnelles ou non conventionnelles avoisinantes (STEP de Tipaza par exemple qui se trouve loin de notre bassin de 20 km vol d'oiseau).
- Si non, la réduction de la superficie susceptible a être irriguées par les EUE emmagasinées dans le réservoir se présente comme une deuxième solution.

Il est bien claire à partir des résultats affichés dans Le tableau IV.8 que les besoins en eau des cultures sont beaucoup plus importants que la production des eaux usées épurées, donc le volume total annuel de la STEP ne couvre pas toute la demande en eau surtout pour la période estivale (Mai à Aout).

Pour les dimensions du bassin de stockage, le choix a été arrêté sera dimensionné sur le volume de la production journalière soit de **16 800m³**, le surplus de ce volume sur la période hivernale (tableau V.8) sera rejeté dans l'oued.

On choisit un réservoir de forme rectangulaire ($L \times l \times h$). En fixant une hauteur $h=10m$, les dimensions du réservoir projeté sont : **42×40×10**.

• **Débits fictif continu moyen :**

$$qs = \frac{B_m}{T * t * 3,6 * K} \text{ en}(l / s / ha) \dots \dots \dots (V.17)$$

Tels que :

B_m : Besoins mensuels maximum net en m³/ha.

T : Temps d'irrigation par jour $\approx 20h / j$.

t : Durée d'irrigation en jours =31jours.

K : Coefficient d'efficience globale du système d'irrigation $\approx 0,8$.

Les besoins en eau du mois de pointe (juin) sont de **1077.98 mm/ha**. (Chapitre IV, Tableau IV .18)

Donc :

$$qs = \frac{1077.98}{20 * 31 * 3.6 * 0.8} = 0.60l / s / ha$$

- ✓ Le débit spécifique $qs = 0.604 \text{ l/s/ha}$, il est inférieur à 1.5 l/s/ha donc le choix reste valable.
- ✓ Pour le débit spécifique calculé, le volume journalier demandé par le périmètre est : **124671.4 m³**.
- ✓ Le débit de la station de pompage est égale au débit de la STEP, soit de **700m³/h**, ou **16800m³/j**.

Tableau V.8 : tableau de confrontation entre les besoins d'irrigation et la production de la STEP de Hadjout.

Capacité De Production 100%		Besoins mensuel Mois												Total
Désignation		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	
Besoins Bruts en m3		219 181	40 319	0	0	0	87 312	652 908	1 371 431	2 907 430	3 456 221	2 521 923	1 484 842	12 741 567
Débits de pointe en m3/s		0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.30	0.63	1.35	1.60	1.17	0.69	
Volume de production en m3	Horizon 2010	336 000	347 200	33 600	347 200	336 000	324 800	347 200	336 000	347 200	336 000	347 200	347 200	4 785 600
	Horizon 2020	504 000	520 800	504 000	520 800	504 000	487 200	520 800	504 000	520 800	504 000	520 800	520 800	6 132 000
Débits de production en m3/s	Horizon 2010	0.13												
	Horizon 2020	0.19												

Conduite gravitaire (RES. Tête du réseau) :

- **Calcul du diamètre avantageux pour les conduites gravitaires :**

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

$$\Delta H_t = \frac{K' * L_e * Q^\beta}{D_{av}^m} \dots\dots\dots(V.18)$$

Où :

ΔH_t : Perte de charge totale (m);

$$\Delta H_t = C_{p_{amont}} - C_{p_{aval.}}$$

K' : Coefficient de frottement ;

L_e : Longueur équivalente de la conduite (m) ;

$$L_e = L_g + L_{e_s}$$

L_g : Longueur géométrique de la conduite (m) ;

L_{e_s} : Longueur équivalente des pertes de charge singulière (m) ;

Dans le cas des adductions, les pertes de charge singulières sont estimées à **10%** des pertes de charge linéaires.

$$\Delta H_t = 1,15 * \Delta H_p^{lin} \Rightarrow L_e = 1,15 * L_g$$

Où :

ΔH_t : Perte de charge totale (m) ;

ΔH_p^{lin} : Perte de charge linéaire (m) ;

Q : Débit véhiculé par la conduite (m³/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 V.9

Tableau V.9: Coefficients **K'**, **m**, **β** pour différents types de tuyau :

Tuyau	K'	m	β
Acier et fonte	0,00179 - 0,001735	5,1 - 5,3	1,9 - 2
Amiante-ciment	0,00118	4,89	1,85
Plastique	0,001052	4,772	2

On déduit alors le diamètre calculé de la conduite gravitaire :

$$D_{av} = \sqrt[m]{\frac{K' * L_e * Q^\beta}{\Delta H_t}} \dots\dots\dots(V.19)$$

D'où :

$Q = 0.194 \text{ m}^3/\text{s}$. (c'est le débit max que peut refouler la conduite de distribution, et il égale a celui refoulé par la SP).

On prend aussi : **Pour l'acier et la fonte** : $K' = 0,00179 - 0,001735$, $m = 5,1 - 5,3$, $\beta = 1,9 - 2$.

La procédure de calcul est de poser une gamme de diamètres et de faire varier la cote piézométrique aval (C_p aval : tête du réseau) et donc varier la longueur, en fixant la cote piézométrique amont (C_p amont : radier du réservoir), le choix est fixé pour un diamètre normalisé.

Les résultats sont présentés dans le tableau V.10 :

Tableau V.10: calcul du diamètre avantageux de la conduite gravitaire :

Cp amont (m)	Cp aval (m)	L(m)	Q (m3/s)	PDC(m)	D (mm)
164.3	110	1220	0.194	54.3	0.294
164.3	112	1250	0.194	52.3	0.297
164.3	114	1270	0.194	50.3	0.300
164.3	118	1180	0.194	46.3	0.301

- Le diamètre choisi est de 300 mm.

Conclusion :

Dans cette partie, en se basant sur les données illustres dans les chapitres précédents, nous avons essayé de projetés le schéma d'aménagement du sect. C du périmètre de la Mitidja ouest TR II.

Le tableau V.11 est récapitule les principaux ouvrages installés avec leurs dimensions choisies après dimensionnement :

Tableau V.11 : récapitulatifs des ouvrages installés

<u>Station de Pompage</u>	
Type de pompes	PM150/5D
Nombre de pompes	03 Pompes
Q (m3/s), Hmt(m)	0.194, 113
Cote d'installation (mNGA)	62.67 m
<u>Conduite de refoulement</u>	
Longueur (km)	4.66
Debit refoulé Q(m ³ /s)	0.194
Diamètre économique D (mm)	500
Matériaux choisi	acier
<u>Bassin de stockage</u>	
Cote d'installation (mNGA)	164.3
Volume (m3)	16800
Dimensions (L*l*h), (m)	42*40*10
Matériaux choisi	béton armé
<u>Conduite gravitaire</u>	
Longueur (km)	1.27
Diamètre avantageux D (mm)	300
Matériaux choisi	acier ou fonte

Conclusion générale :

Le monde a trop développé le domaine de l'épuration des eaux usées collectées des agglomérations, la majorité des pays du monde utilise cette technique comme une politique immédiate, car elle sert à; non seulement produire des eaux prêtes à être utilisées comme des sources pour des diverses utilisations (industrie, agriculture...), mais de produire aussi des milieux récepteurs propres et donc de les préserver de la pollution provocante par les rejets directe de ces eaux.

D'autre part, cette technique est relativement ancienne, par rapport aux autres techniques de production de ces eaux, par exemple la désalinisation des eaux de la mer, notant que plusieurs projets étaient fonctionnels dans les années 70 et 1980; mais il reste toujours des sévérités de réutiliser ces eaux là pour des différents fins, et cela vu leurs composition trop compliquée.

L'exemple se pose aussi en Algérie, plus de 80 stations sont fonctionnelles (DAPE¹, 2006), mais peu de celles-ci sont utilisées comme source d'eau produites à des différents fins et plus précisément pour l'irrigation, surtout quand que la plupart de ces stations d'épuration rejettent leurs EUE dans le milieu naturel et par ailleurs les fellahs utilisent ces eaux pour irriguer leurs cultures, et cela d'une manière illicite (non surveillé).

Pour éviter tout cela, il est vivement intéressant d'agir convenablement pour créer des projets de réutilisation gérés régulièrement suite aux normes mondiales.

Sur ce contexte; notre présente étude se résume, elle sert à créer un périmètre qui est le secteur C du périmètre de la Mitidja ouest tr II irrigué par les EUE produites par la STEP de Hadjout.

Les causes qui argumentent la proposition de cette étude sont diversifiées, les plus essentielles sont :

- Une production d'EUE conforme aux normes internationales, peu de type de cultures sont exclues de l'irrigation par cet eau (cultures maraichères).
- Une demande d'eau d'irrigation assez importante Malgré que le périmètre soit irrigué par les eaux du barrage de Boukourdane.

Le traitement de cette présente étude nous aboutis à tirer la conclusion suivante :

- Pour réutiliser les EUE à des différents fins, et plus précisément en l'irrigation, elles doivent être d'une qualité conforme aux normes internationales publiées par des différentes organisations mondiales telles que l'OMS, USPA, et d'autres. Ces normes décrivent en précision les éléments physicochimiques, microbiologiques et métaux lourds qui composent ces eaux avec leurs concentrations acceptés.
- La pollution microbiologique doit être surveillée en terme spécial, car celle-ci présente des restrictions très sévères.
- Les résultats expérimentaux obtenus lors de cette étude montrent que les eaux usées épurées de la station d'épuration de Hadjout ont une qualité favorable permettant leurs réutilisations pour l'irrigation de notre périmètre d'étude, après les avoir stockées au préalable dans un bassin, et qu'elles ne présentent aucun danger sur le milieu récepteur.
- Les sols de la région d'étude sont généralement bons, et ils sont aptes à être irrigués par les eaux épurées provenant de notre station.

¹Direction de l'Assainissement et de la Protection de l'Environnement.

Liste bibliographique:

/1/. Extrait de:**PUIL Claude.** (1998) - La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration. Mém. D.U.E.S.S. "Eau et Environnement", D.E.P., univ. Picardie, Amiens, 62 p.www.picardie.fr

/2/. Thèse en cotutelle Présentée àL'École Nationale d'Ingénieurs de Sfax En vue de l'obtention du Doctorat De l'Université de Sfax fait par : **NEBIL BELAID.** janvier 2010.

/3/.Etude d'aménagement hydro- agricole du secteur VI du périmètre Sahel Algérois Ouest Irrigué à partir deseaux usées épurées des STEP de Hadjout et de Tipaza (dossier des ressources en eaux), **STUCKY-ENHYD**; février 2009.

/4/. REUT– perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action Rapport final; Février 2011. **BRL ingénierie.**

/5/. FAO- Food and agriculture organization,
Site web: <http://www.fao.org/nr/water>, 2011