

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE-ARBAOUI Abdellah-

DEPRTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option: Conception des Systèmes D'irrigation et Drainage

THEME :

**IRRIGATION DE LA REGION DE BAINEM A PARTIR DE LA
STATION D'EPURATION DE BENI MESSOUS
(W.ALGER)**

Présenté par :

M^r ATROUS Dhia Eddine

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M^r T.KHETTAL	M C. A	Président
M^{me} A.AZIEZ	M A. A	Examinatrice
M^{me} D.DJOU DAR	M A. A	Examinatrice
M^r D.KOLIAI	Ingénieur en Chef	Examineur
M^{me} S.LEULMI	M A. A	Examinatrice
M^r RAISSLO	Ingénieur en Chef	Promoteur

Septembre-2012

DEDICACES

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

✚ *A ma mère qui est un être cher et celle qui ma bercer d'un amour sincère.*

✚ *A mon frère.*

✚ *A mes tantes.*

✚ *A tous mes amis de l'ENSH ; spécialement (Djamel, Hamza, Abd errazak, Brahim, HICHEM, ...)*

ATROUS DHIA EDDINE

Remerciements

- *Je tiens à remercier vivement tous ceux qui m'ont apporté un soutien pour l'élaboration de ce mémoire de fin d'études.*
- *Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à mon promoteur Mr. Omar .RAISSI, pour ces multiples efforts et ces apports précieux afin de mener ce travail à terme.*
- *Toute ma gratitude pour mes parents et mon frère et ma soeur pour leurs soutiens moraux et financiers.*
- *Je remercie Mme BAHBOUH pour sa disponibilité dans le laboratoire et de répondre a nos questions.*
- *Je remercie le président et les membres de jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.*
- *Je tiens à présenter pour l'occasion tout mon respect à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation du primaire jusqu'au cycle universitaire.*
- *Mes remerciements particuliers à Leila Zerrougui la représentante spéciale du secrétaire général de l'ONU pour les enfants et les conflits armes, ainsi que toute la famille Cherief*
- *Je remercie tous mes amis particulièrement, Hamza, Djamel, Abder errezake, Brahim, Abd Errahmane, Ayoub.*
- *Enfin, à tous ceux qui m'ont soutenu de prés ou de loin je leurs dis merci.*

Dhia Eddine

ملخص

هذا المشروع يهدف إلى دراسة شاملة لإعادة استعمال المياه القذرة التي تم تصفيتها على مستوى محطة بني مسوس و تحديد الأبعاد لشبكة توزيع المياه لسقي غابة بينام و الأراضي الزراعية الواقعة بضواحيها .
لهذا الغرض قمنا بدراسة دقيقة لنوعية المناخ التربة والمياه.

Résumé

Ce projet a pour objet de faire une étude complète de la réutilisation des eaux épurées au niveau de la station d'épuration des eaux usées épurées de Beni Messous, et de dimensionner le réseau pour l'irrigation du reboisement de la forêt de Bainem ainsi que les domaines de la région Ouest d'Alger.

Pour cela une étude précise de qualité du climat, du sol et d'eau a été faite.

Abstract

This dissertation aims of studying the reuse of the dirty water which had been cleaned in Beni Messous station. Moreover, it aims at making the dimension of the network to distribute the water in order to irrigate Bainem's forest and Ain Benian fields.

For this reason, we have made a precise study of the quality of climate, soil and water had been made.

Sommaire

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

I.1.Introduction.....	2
I.2.Situation géographique.....	2
• La STEP DE BENI MESSOUS.....	3
• La foret de Bainem.....	3
I.3.Cadre climatique.....	4
I.3.1.Les précipitations.....	4
I.3.2.La température.....	6
I.3.3.L'ensoleillement.....	6
I.3.4.Les Vents	7
I.3.5.L'évaporation.....	8
I.3.6.L'humidité.....	9
I.3.7.L'évapotranspiration.....	9
I.4. Synthèse climatique.....	9
I.4.1.L'indice d'aridité de DEMARTON.....	10
I.4.2.Diagramme Ombrothermique.....	11
I.4.3.Classification du climat selon l'indice De MARTON.....	12
I.4.4.Diagramme D'EMBERGER.....	12
I.5-Caractéristiques sismiques.....	13
I.6 Hydrologie et hydrogéologie.....	16
I.6.1.Hydrologie.....	16
-L'oued Beni Messous.....	16
I.6.2.Hydrogéologie.....	16
• Au niveau régional.....	16
I.6.3.La pédologie.....	17
a)Les sols peu évolués.....	17
b) Les sols calcimagnésiques.....	18
c)Les vertisols.....	18

Chapitre II

présentation de la station d'épuration de Beni Messous

Introduction.....	19
II.1.Données de base de la STEP	19
a)Capacité de la population raccordée.....	19
b)Débit d'eau usée.....	19
c)Charge polluante.....	19

d) Rendements de décantation	
primaire.....	19
II.2. Qualité de l'effluent rejeté	20
II.3. La filière de traitement	20
II.3.1. PRETRAITEMENT MECANIQUE.....	21
II.3.1.1. STATION DE DEPOTAGE.....	21
II.3.1.2. DEVERSOIR D'ORAGE.....	21
II.3.1.3. Degrillage grossier	21
II.3.1.4. Degrillage fin.....	21
II.3.1.5. Dessablage/Deshuilage.....	22
II.3.1.6. Chenal de compactage et d'échantillonnage	24
II.3.1.7. Décantation primaire et pompage des boues primaires.....	24
II.3.1.8. Bassin d'aération.....	25
II.3.2. Décantation secondaire et ligne des boues actives.....	26
II.3.2.1. Station d'eau épurée.....	28
II.3.2.2. Épaississement des boues.....	28
II.3.2.3. Bassin et stabilisation des boues.....	29
II.3.2.4. Déshydratation mécanique des boues.....	31
II.3.2.5. Groupe hydrophore.....	32
II.4. Lagunage naturel de Beni Messous.....	33
II.4.1. Localisation géographique.....	33
II.4.2. Dimensionnement et caractéristiques des lagunes.....	34
II.4.3. Temps de séjour dans les lagunes.....	34
II.5. Désinfection avancée.....	35
II.5.1. Chloration/Dechloration.....	36
II.5.2. Irradiation UV.....	37
II.5.3. Ozonation.....	39
II.5.4. Filtration par membrane.....	40
II.5.5. Sélection de procédés de désinfection	40

Chapitre III

Réutilisation des eaux usées épurées

Introduction.....	43
III.1. Caractéristiques physique et chimique des eaux usées.....	43
III.2. Aspects Environnementaux de réutilisation d'eaux usées dans l'agriculture	44
III.3. Critères de qualité biologique.....	46
III.4. Méthodes d'irrigation.....	47
III.4.1. Méthodes de surface.....	47
III.4.2. Méthodes d'irrigation sous pression.....	47
III.4.2.1. Asperseur.....	47
III.4.2.2. Goutte à goutte.....	47
III.4.2.3. Irrigation souterraine.....	47
III.5. Choix du système d'irrigation.....	48
III.6. La réutilisation des eaux usées épurées dans le bassin méditerranéen.....	48
III.7. Recyclage des eaux usées urbaines pour l'irrigation des forêts et des arbres.....	49
III.7.1. Avantages du recyclage des eaux usées en irrigation.....	51
III.7.2. Utilisation des éléments fertilisants à des fins productives.....	51

III.7.3.Création d'espaces verts.....	51
III.7.4.Recyclage des eaux usées urbaines pour l'irrigation forestière.....	52
III.7.4.1.Une plantation de peupliers irriguée avec des eaux usées, en Inde.....	53
III.7.4.2.L'expérience sur la forêt de Cogolin en France.....	54
III.8.Conclusion.....	54

Chapitre IV Appréciation des aspects quantitatifs et qualitatifs des eaux épurées

Introduction.....	55
IV.1. Prélèvement et échantillonnage	55
IV.2.Résultats analytiques et interprétations	55
a. Résultats des analyses	55
b.Interprétation des résultats	59
- Températures.....	59
- PH	59
-La salinité.....	59
-Conductivité	60
-Dureté	60
-Alcalinité.....	60
- Turbidité.....	60
- Demande biochimique en oxygène (DB05).....	60
- Demande chimique en oxygène (DCO).....	61
- Matières en suspension (MES).....	61
-Nitrites.....	61
- Nitrates.....	61
- Azote total.....	61
-Phosphore total.....	61
-Potassium.....	62
- Chlorures.....	62
- Sulfates.....	62
- Métaux lourds.....	62
-Paramètres bactériologiques.....	62
c- Les résultats d'analyses des échantillons montrent.....	63
Conclusion sur les résultats d'analyses obtenus	63

Chapitre V Estimation des besoins en eau d'irrigation

Introduction.....	64
V.1.Les précipitations dont la probabilité d'occurrence est de 80% (l'année sèche).....	64
V.1.1.Interprétation des résultats :.....	65
V.1.2.Détermination de l'année de calcul :.....	65
V.2. Évapotranspiration de référence.....	68
V.3.Évapotranspiration des cultures ETc.....	68
V.3.1. La valeur du Kc pour les arbres forestiers:.....	69
V.3.1.1. Exemples de quelques essais pour la détermination du Kc.....	70
V.3.2. La valeur du Kc pour les cultures maraîchère et l'arboriculture.....	70
V.4. Pluies efficaces	71

V.5. Bilan hydrique.....	71
V.5.1.Le système racinaire.....	73
V.5.1.1. De l'Eucalyptus.....	73
V.5.1.2. Des cultures maraîchères et l'arboriculture.....	73
V.5.2. La réserve utile et facilement utilisable.....	74
V.5.2.1. La réserve utile et facilement utilisable pour les arbres d'Eucalyptus.....	74
V.5.2.2.La réserve utile et facilement utilisable pour les cultures maraîchères.....	74
V.5.2.3. La réserve utile et facilement utilisable pour les arbres fruitiers.....	74
V.6. Débit spécifique.....	77
V.7. Débit caractéristique.....	77
V.8.Conclusion.....	77

Chapitre VI

Adduction et Réseau de distribution

Introduction.....	78
VI.1.Choix du tracé	78
VI.2.Schéma hydraulique du réseau.....	78
VI.3.Étude technique de la variante retenue	79
VI.3.1.Adduction gravitaire	79
VI.3.2.Adduction par refoulement	79
VI.4.Estimation du débit d'adduction	79
VI.4.1.Estimation du débit de pointe	80
VI.4.1.1.De la STEP vers les lagunes	80
VI.5.Calcul du diamètre de la conduite d'adduction	82
VI.6.Type de la conduite	82
VI.7.Calcul des pertes de charge sur la conduite de refoulement	82
VI.7.1.Pertes de charge linéaire	82
VI.8.Station de pompage projetée	84
VI.9.Protection anti-bélier.....	84
VI.10.1.Méthode de BERGERON	85
VI.10.2.Résultats de calcul de la méthode de BERGERON	85
VI.11.Système de transfert projetée:.....	86
VI.11.1.Transfert des EUE de la STEP vers les lagunes de BENI MESSOUS	86
VI.1.2.Transfert des EUE des lagunes vers la retenue de Bainem.....	86
VI.12.Construction du système de distribution.....	87
VI.12.1.Structure du réseau	87
VI.12.2.Plan de bornage	87
VI.12.3.Tracé ramifié du réseau	89
VI.12.3.1.Principe	89
VI.12.2.Simulation du trace	89
VI.12.3.Résultats de Simulation.....	90
VI.13. Vannes.....	90
VI.14. Ventouses.....	91

VI.15. Vidange.....	91
VI.16.Cheminée d'équilibre ou d'entrée d'air.....	91

Chapitre VII Dimensionnement du reseau d'irrigation

Introduction.....	92
VII.1 Choix du Mode d'irrigation.....	92
VII.1.1 Comparaisons selon le fonctionnement de l'installation.....	92
VII.1.2 Comparaison en fonction des modes d'apport.....	93
VII.1.3 Le système choisit.....	93
VII.2 Projection du réseau d'irrigation localisée.....	94
VII.2.1 La dose pratique.....	94
VII.2.2 La dose nette pratique réelle.....	94
VII.2.3 dose brute.....	95
VII.2.4 Fréquence d'arrosage.....	95
VII.2.5 Dose fictive à apporter.....	95
VII.2.6 durée d'arrosage.....	95
VII.2.7 nombre de poste.....	96
VII.2.8 Surface d'un poste.....	96
VII.2.9 Surface correspondant à une rampe.....	96
VII.2.9 Surface correspondant à une rampe.....	96
VII.2.10 Nombre de rampes par postes.....	96
VII.2.11 Nombre de goutteur par rampe.....	97
VII.3 Calcul hydraulique.....	97
VII.3.1 Débit de porte rampe.....	97
VII.3.2 Perte de charge.....	97
VII.3.2 Dimensionnement des différents segments du réseau	98
VII.3.2.1 Diamètre des rampes.....	98
VII.3.2.2 Diamètres des portes rampes.....	99
VII.3.2.3 Calcul de la canalisation principale.....	99

Conclusoin Gènirale

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Moyennes mensuelles et annuelle des précipitations.....	5
Tableau I.2: Moyennes mensuelles et annuelles des températures.....	6
Tableau I.3 : moyennes mensuelles et annuelle de l'ensoleillement.....	6
Tableau I.4 : Moyennes mensuelles et annuelle de l'évaporation.....	7
Tableau I.5 : Moyennes mensuelles et annuelle de la vitesse des vents.....	8
Tableau I.6 : Fréquences et directions des vents.....	8
Tableau I.7: Moyennes mensuelles et annuelle de l'humidité.....	9
Tableau I.8 : Moyennes mensuelles et annuelle de l'évapotranspiration.....	9
Tableau I.9 : Indice d'aridité.....	10
Tableau I.11 : Quotient pluviométrique.....	12
Tableau I.12 : principaux séismes de forte magnitude.....	13

Chapitre II

TableauII.1 : Données du débit d'eau usée entrant à la STEP	19
TableauII.2 : Valeurs de la charge polluante des eaux usées.....	19
TableauII.3 : Valeurs limites de l'effluent traité.....	20
TableauII.4 : Temps de séjour en fonction de la charge hydraulique.....	24
TableauII.5 : Dimensions du bassin d'aération.....	25
TableauII.6 : Temps de séjour de la décantation secondaire en fonction du débit.....	27
TableauII.7 : Valeurs de la vitesse ascensionnelle.....	27
TableauII.8 : Temps de séjour dans les lagunes.....	35
TableauII.9: Classification des types de la qualité des eaux usées traitées obtenue par des traitements différents.....	36
TableauII.10: Comparaison des paramètres technico-économiques des technologies avancées de désinfection.....	41

Chapitre III

TableauIII.1: Constituants principaux de l'eau résiduaire et des eaux usées destinées à l'irrigation et l'intérêt de leur traitement avant réutilisation.....	45
	46

Chapitre IV

Tableau IV.1: Paramètres physicochimiques des eaux usées a la sortie de la STEP	55
---	----

Tableau IV.2: Résultats des analyses des eaux usées a la sortie de la STEP.....	56
Tableau IV.3: Paramètres bactériologiques des EUE de la STEP de Beni Messous Source:(SEAAL-CNTC).....	57
Tableau IV.4: Résultats d'analyses Métaux Lourds : Source:(SEAAL-CNTC).....	58

Chapitre V

TableauV.1 : La pluie moyenne mensuelle de fréquence de probabilité80% pour une période sèche.....	65
Tableau V.2: Ajustement de la série pluviométrique a une loi Normal « Gauss ».....	66
TableauV.3: Évapotranspiration de référence en mm /jour.....	68
Tableau V.4: Variation de l'évapotranspiration réelle journalière et des indicateurs de l'état hydrique en fonction de l'occupation du sol.....	69
Tableau V.5: Coefficient cultural (Kc) des différents cultures (selon J. Doorenboset al).....	70
Tableau V.6 : Les précipitations efficaces dans les zones de projet.....	71
Tableau V.7 : densité apparente de l'ensemble de type de sol en fonction de la texture.....	72
TableauV.8: Représentation de la texture et l'humidité pondérales à pf2,5 et pf4,2 des profils échantillonné et analysés.....	72
TableauV.9 : profondeur d'enracinement des cultures selon la base de données de Cropwat.....	73
TableauV.10: Besoins en eau de l'Eucalyptus.....	75
TableauV.11: Besoins en eau du raisin.....	75
Tableau V.12: Besoins en eau de l'olivier.....	75
Tableau V.13: Besoins en eau de la pastèque.....	76
TableauV.14: Besoins en eau de la pomme de terre.....	76
TableauV.15: Besoins en eau annuelle.....	76

Chapitre VI

Tableau VI.1 : Estimation du débit de pointe.....	80
Tableau VI.2 : Caractéristiques de la station de pompage projetée au niveau des lagunes de Beni Messous vers la forêt de Bainem.....	84
TableauVI.3 : Dimensions et caractéristiques des lagunes	86

Tableau VI-4 : Caractéristiques de la retenue projetée au niveau de la forêt de Bainem.....	86
Tableau VI.5 : choix de diamètre de la borne.....	88
Tableau VI.6: choix des ventouses.....	91

Chapitre VII

Tableau VII.1 : calculs des paramètres pour l'Eucalyptus.....	96
Tableau VII.2 : les différents paramètres calculé de la rampe	98
Tableau VII.3 : les différents paramètres calculé de la porte rampe.....	99

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.01 : Carte de situation de la zone d'étude extrait de la carte d'Algérie (cheraga).....	2
Figure .I.2. Foret de Bainem (Source Google Earth).....	2
Figure I.03 : La step de Béni Messous. Source :(Google Earth).....	3
Figure I.04 : Variation des precipitation Moyennes mensuelles	5
Figure I.05 : Variation de la températures moyenne de l'air.....	6
Figure I.06 : Variation de l'ensoleillement moyennes mensuelles	7
Figure I.07 : Variation des vitesse moyennes mensuelles du vent.....	7
Figure I.08 : Variation de l'évaporation Moyennes mensuelle	8
Figure I.09 : Moyennes mensuelles et annuelle de l'humidité	9
Figure I.10 : Moyennes mensuelles et annuelle de l'évapotranspiration.....	10
Figure I.11 : Diagramme bioclimatique d'EMBERGER	11
Figure I.13 : carte de sismicité de la région d'Alger	14

Chapitre II

Figure II.01 : Déversoir dorage et poste de dégrillage fin mécanisé	22
Figure II.02 : poste de dessablage-déshuilage	24
Figure II.03 : poste d'aération et de décantation primaire	26
Figure II.04 : poste de décantation secondaire	28
Figure II.05 : poste d'épaississement	31
Figure II.0 6: boues déshydratées et station de préparation de polymère.....	33
Figure II.7: Vue générale de la station de lagunage de Béni-Messous.....	34
FigureII.8 : Photo satellite du lagunage naturel de Béni-Messous (Google Earth).....	34
Figure II.9: Schéma du lagunage naturel de Béni-Messous.....	35
Figure II.10 : schéma représente système de traitement tertiaire. chloration –déchloration.	38
Figure II.11 : vue d'une lampe UV	39
Figure II. 12: installation des équipements d'ozonation.....	40

Chapitre V

Figure V.01: ajustement a une loi de GAUSS.....	67
FigureV.2 : Évolution de la croissance des arbres au cours de la saison d'expérimentation (toutes essences confondues) Foret Cogolin France.....	70

Chapitre VI

Figure VI.1 : Image de la zone d'étude (Source : Google Earth).....	79
---	----

FigureVI.2: Réseau de distribution par canaux.....	87
FigureVI.3 :Exemple de tracé par proximité.....	89
Figure VI.4:Exemple de tracé à 120°.....	89
FigureVI-5 : Schema de simulation par EPANET.....	90

INTRODUCTION

L'Algérie est caractérisée par un climat semi-aride à aride marqué par une forte diminution des précipitations constatée au cours des trois dernières décennies, entraînant une baisse significative des ressources en eau disponibles.

L'Algérie connaît par ailleurs actuellement une forte croissance démographique et un important développement économique et social, entraînant une croissance exponentielle des demandes en eau. Malheureusement les ressources en eau disponibles diminuent significativement de jour en jour non seulement en raison des changements climatiques, mais également en raison d'une plus forte exploitation des ressources disponibles par les activités productives telles que l'agriculture et l'industrie.

De même la problématique de la reconstitution des peuplements forestiers est posée, eu égard à la difficulté qu'éprouve les formations forestières à se reconstituer d'où la nécessité de l'intervention de l'homme par des opérations de reboisement.

Afin de ne pas freiner le développement économique du pays tout en garantissant de meilleures conditions de vie, l'optimisation de la gestion des ressources en eau et la mise en place d'actions permettant de protéger et d'économiser les ressources disponibles et de promouvoir le recours à des ressources non conventionnelles, telles que les eaux usées traitées est devenu nécessaire.

Les eaux usées traitées présentent en effet de nombreux avantages pour leur réutilisation en agriculture. Les volumes produits annuellement sont significatifs, leur production est assurée en continu et elles constituent une source de nutriments non négligeable pour l'agriculture.

Le présent mémoire caractérise, les pollutions résiduelles contenues dans l'effluent épuré rejeté au milieu naturel et les dangers sanitaires associés. Il aborde ensuite les objectifs de la réutilisation et les niveaux de qualité à atteindre pour pouvoir recycler l'eau et comment des traitements adéquats permettent de réduire cette charge en polluants.

Enfin, au dimensionnement du réseau de distribution des eaux Épurées de la station de la ville de Beni Messous afin d'irriguer le reboisement de la forêt de Bainem et les terres agricoles qui se trouvent à proximité.

I- 1-Introduction :

Ce chapitre va traiter la situation environnementale de la zone d'étude et de son insertion dans le milieu physique.

I-2-Situation de la zone d'étude



Figure J.1 Carte de situation de la zone d'étude extrait de la carte d'Algérie (cheraga)
Echelle:1/500.000 Source:(NEE)



Figure J.2. Foret de Bainem (Source Google Earth)

- **de la zone d'étude :**

La zone d'étude constitue le principal site industriel algérien et se caractérise actuellement par une phase de fort développement démographique et urbain. Le secteur urbanisé se situe surtout sur le versant Nord-Est de la montagne du Sahel, en direction de la mer, au-dessous de la partie occidentale de la baie d'Alger et jusqu'à la plaine de la métidja.

Le littoral représente, dans ce secteur, l'une des plus importantes régions touristiques de la zone d'étude. La région a une importante fonction de détente et de loisirs pour l'ensemble du bassin versant.

1-2-1-1-la STEP de BENI MESSOUS :

La STEP de BENI MESSOUS est destinée à épurer les eaux usées de la partie Ouest de la wilaya d'Alger. Elle est située sur la route nationale N°11, à environ 15 km sur le territoire de la commune de Ain Benian, en bordure de la mer Méditerranée et à l'embouchure de l'oued Beni Messous. délimitée par la mer Méditerranée à Ouest, l'Oued Beni Messous au Sud et la RN 11 reliant Ain Benian à Staoueli à l'Est. Elle occupe une superficie totale d'environ 17 ha. La station est destinée à épurer les eaux usées de la partie Ouest de la wilaya d'Alger et fonctionne par le procédé boues activées à moyenne charge. Cette dernière a une spécificité particulière, celle d'être implantée dans un site à vocaton touristique et à développement urbain très important.



Figure .I.3. La STEP de Béni Messous (Source Google Earth)

- ***Forêt de Bainem :***

La forêt se trouve dans le massif de Bouzaéah-Bainem dont l'altitude atteint 407 m. Elle est située à 15 km à l'ouest d'Alger, limitée au Nord par la mer méditerranéenne, au Sud par Chéraga, à l'Est par Bouzaréah et à l'Ouest par Ain —Benian. (DHW ALGER 2012)

Les pins et les eucalyptus constituent les principales essences de la forêt. Ils occupent respectivement une superficie de 174 ha et 255 ha. Les autres espèces couvrent une superficie de 75 ha. Parmi les premiers, nous citons :

- *Pinus halepensis* (pin d'Alep)

- Pinus canariensis (pin des canaris)
- Pinus pinaster (pin maritime)

Les eucalyptus comportent de nombreuses essences telles que :

- E.cladocalyx
- E.gomphocephala
- E.camaldulensis

Diverses essences existent aussi, il s'agit de quelques espèces de chêne (Quercus, coccifera et Quercus suber) et des cyprès (Cupressus sempervirens et Taxodium districhum).

Le sous-bois est plus ou moins dense et c'est en fonction de la topographie, les principaux sont :

- Pistacia lentiscus (lentisques)
- Olea europea (l'oléastre)
- Ampelodesma mauritanica (le diss)
- Erica arborea (la bruyère arborescente)
- Lavandula stoechas (la lavande)
- Rubus ulmifolius (les ronces)
- Phyllaria angustifolia (phyllaire)
- **Description des bassins versants de la forêt de Bainem :**

La forêt de Bainem présente un relief très hétérogène où les pentes sont très variées, le point culminant de la forêt est à 290 m d'altitude, le point de plus basse altitude étant à 60 m.

- Le bassin versant Est, coté Bouzaréah présente un relief convexo-concave à pente > 35 % ou s'installe de nombres talwegs disposés le plus souvent en parallèles, sa superficie est de 1,44 Km², le point le plus haut se localise à 100 m d'altitude. Il draine ces eaux pluviales vers la mer. (DHW Alger 2012)
- Le bassin versant Ouest du coté de Ain Benian est moins accidenté que le versant Est; il présente des pentes qui varient entre 15 à 25 % et une superficie de 0,75 Km², le point culminant se trouve à une altitude de 290 m ces eaux pluviales sont drainées vers Oued Béni Messous et puis vers la mer. (DHW Alger 2012)
- Le bassin versant Nord-ouest de la forêt est concave à l'amont et convexe à mi- distance, la pente est irrégulière (10 à 25 %) et une superficie de 0,35 Km², il draine ces eaux vers Oued Béni Messous. Le bassin versant Sud-est est plus ou moins rectiligne (5 à 20 % de pente) et une superficie 0,15 Km², il draine ces eaux pluviales vers oued Béni Messous.
- Le bassin versant Nord présente des pentes abruptes de 20 à 35 % qui diminuent régulièrement de l'amont vers l'aval sa superficie est d'environ 2 Km², les eaux sont drainées directement vers la mer. (DHW Alger 2012)
- Le bassin versant Sud est en général de moyenne à faible pente (5% à 15%) donnant un relief presque rectiligne et une superficie totale qui avoisine 1,4 Km², ces eaux sont évacuées vers

I-3-Les conditions climatiques:

L'analyse des paramètres climatiques est basée sur les données de la station la plus proche, celle de Dar El Beida présentant les mêmes caractéristiques de la région d'étude.

- Caractéristiques de la station de référence (Dar El Beida) :

<i>Indicatif</i>	390
<i>Latitude</i>	36°41
<i>Longitude</i>	03°13E
<i>Altitude</i>	25 m

Source :(ONM)

I-3-1-Pluviométrie :

Tableau I-1 : Moyennes mensuelles et annuelle des précipitations.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M.A
P (mm)	73,56	54,27	45,47	48,66	29,15	5,80	4,50	9,50	26,99	51,12	89,37	77,80	516,19

Source ONM

- ✓ À Béni-Messous, les pluies sont fréquentes en automne et en hiver et diminuent dès la fin du printemps et deviennent presque nulles en été.
- ✓ Deux saisons humides se distinguent : l'une allant du mois de Novembre à Février où la moyenne mensuelle maximale atteint 89.37 mm et l'autre plutôt sèche allant du mois de Juin au mois d'Octobre avec un minimum de 4.5mm. Il existe cependant, une période transitoire entre Mars et Mai où les précipitations moyennes varient entre 45 et 29.15mm.

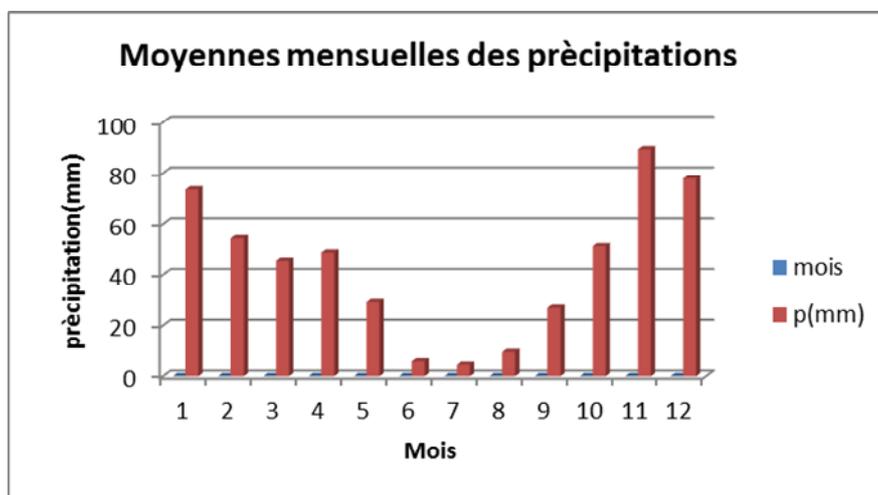


Figure I-4 : Variation des précipitations moyenne mensuelles.

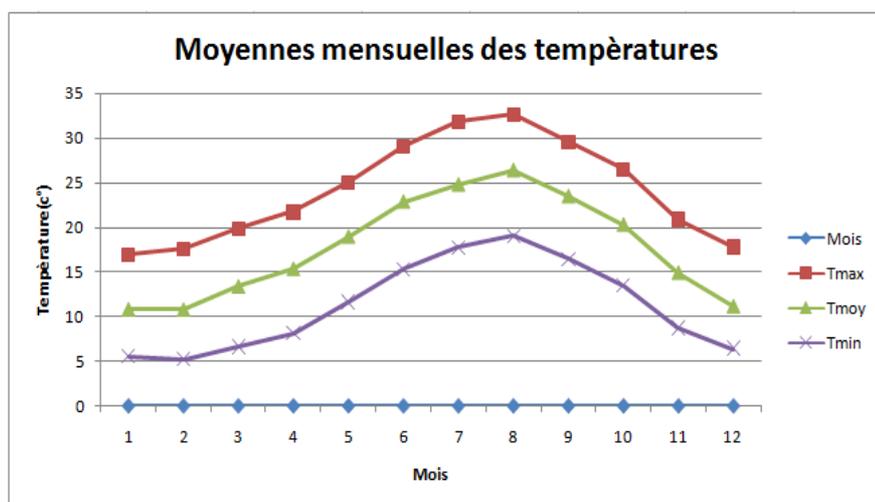
I-3-2-Température :**Tableau I-2:** Moyennes mensuelles et annuelles des températures (station Dar El Beida)**Période : 1994-2008**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M.A
Tmax	16,95	17,59	19,87	21,73	25,07	29,06	31,8	32,64	29,55	26,54	20,9	17,83	24,13
T moy	10,82	10,79	13,37	15,34	18,93	22,84	24,75	26,34	23,43	20,26	14,91	11,18	14,75
T min	7,58	5,24	6,62	8,18	11,66	15,27	17,7	19,03	16,39	13,47	8,72	6,42	11,36

Source ONM

Deux saisons dominant dans la région de Béni-Messous ; une saison chaude qui s'étale de Juin à Octobre où les températures moyennes de l'air varient entre 20°C et 27°C et se rafraichissent en Novembre et une autre saison qui débute en Décembre et s'achève en Mars où les températures moyennes varient entre 11°C et 18°C.

Sur la figure suivante nous pouvons apprécier la variation moyenne des températures maximales et minimales entre 1995 et 2005.

**Figure I-5:** Profil de variation des températures moyennes de l'air. (Station Dar El Beida)**I-3-3 Ensoleillement :****Tableau I-3 :** moyennes mensuelles et annuelle de l'ensoleillement (Station Dar El Beida)**Période : 1994-2008**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M.A
Ensoleillement (h/j)	6,04	6,57	7,22	7,4	8,31	10,3	7,25	9,85	7,55	6,56	6,07	5,13	7,35

La région de Béni-Messous est caractérisée par un été ensoleillé et un hiver nuageux. La figure suivante révèle l'existence de trois périodes où l'ensoleillement est :

- ✓ Fort entre Juin et Août atteignant son maximum, 329 h en Juillet ;
- ✓ Faible de Novembre à Février avec une moyenne de 210 h ;
- ✓ Moyen réparti en deux phases, de Mars à Mai et de Septembre à Octobre.

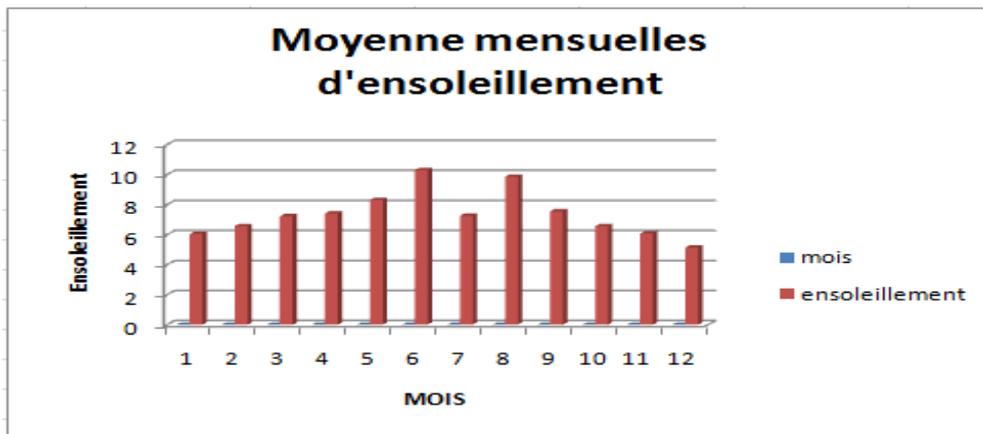


Figure I-6: Variation de l'ensoleillement mensuel moyen dans la région de Béni-Messous.

I-3-4- Vents :

Tableau I-4 : Moyennes mensuelles et annuelle de la vitesse des vents

Période : 1994-2008

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M.A
V (moy) m/s	1.74	2,35	2,81	2,52	2,51	2,74	2,68	2,39	2,3	1,76	2,17	2,05	2,32

Source ONM

Les vents soufflent environ 60 % du temps dans la région de Béni-Messous. Cependant, les plus importants d'entre eux, de secteur Sud-ouest, ne soufflent que 14 % du temps.

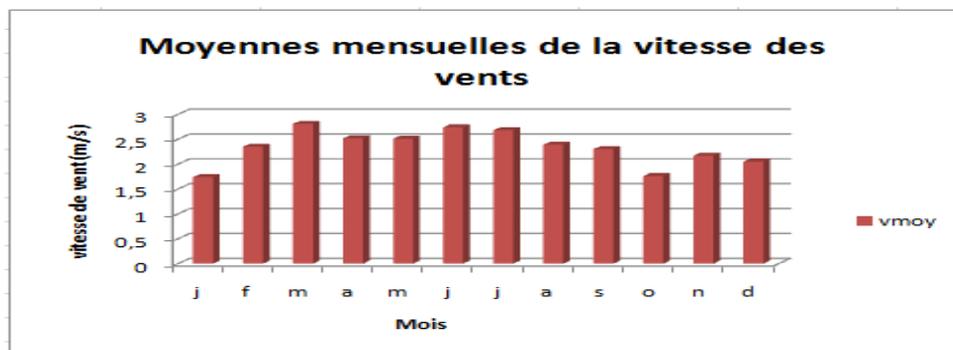


Figure I-7 : Profile des vitesses moyennes mensuelles du vent

L'analyse des régimes des vents effectuée par l'ONM de Dar EL Beida sur une période de 44ans a montré que les vents les plus fréquents par leur direction sont de secteur (Ouest, Sud-Ouest) et (Nord, Nord-Est). Pendant la période estivale les vents les plus fréquents sont de secteurs Nord et Nord-Est. La figure suivante donne la fréquence annuelle des vends (moyenne établie sur une période de 44 ans par l'ONM)

Tableau I-5 : Répartition annuelle des vents sur huit directions dans la région de Béni-Messous.

Secteurs	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calme
11,8%	11,9%	4%	1,3%	5,3%	13,5%	10,1%	4,9%	37,1%	

Source ONM

I-3-5- Évaporation :

Tableau I-6 : Moyennes mensuelles et annuelle de l'évaporation

Période 1994-2008

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M.A
Evaporation (mm)	40,00	48,07	61,27	64,87	81,10	93,50	107,17	111,00	92,07	67,60	55,90	46,50	868,68

Source ONM

L'évaporation dans la région de Béni-Messous atteint son maximum au mois d'Août avec une valeur de 111 mm ; tandis qu'au mois de Janvier, elle enregistre sa moyenne mensuelle minimale avec une valeur de 40 mm. La moyenne annuelle est de 868.68 mm.

La figure 12 indique qu'il existe trois périodes :

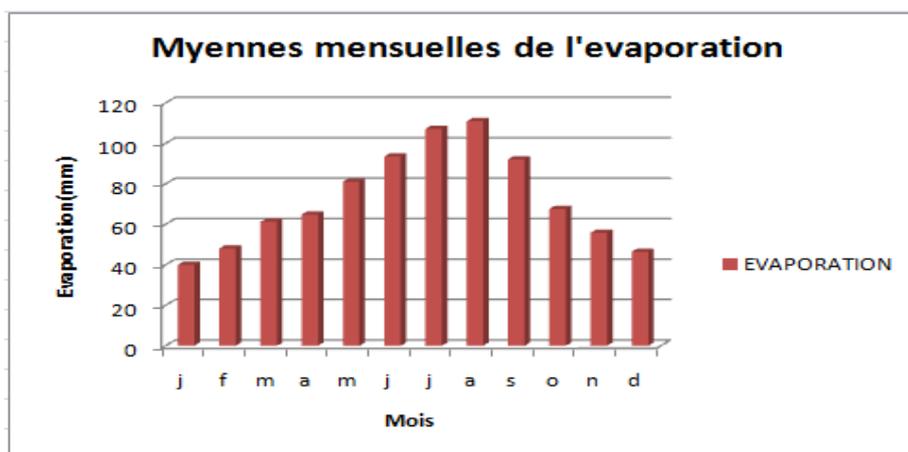


Figure I-8 : La variation de l'évaporation moyenne mensuelle

Une première, où l'évaporation est plus importante que les précipitations correspondant ainsi à une saison sèche de Mai à Octobre ;

Une deuxième, où les précipitations sont plus importantes de Novembre à Février ;

Une troisième, de transition, où l'évaporation est légèrement supérieure aux précipitations et qui ne dure que deux mois, de Mars à Avril.

I-3-6- L'humidité :

Tableau I-7: Moyennes mensuelles et annuelle de l'humidité.

Période : 1994-2008

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M.A
Hu %	75,25	73,4	73,65	75,75	69,1	66,75	65,65	66	67,15	75,3	79,3	80,1	72,1

Source : ONM

D'après ce tableau Le taux d'humidité relative de l'air dans le Sahel varie entre 65,65 et 80 %. Il diminue en direction des montagnes. En outre, l'humidité est plus faible vers midi que le matin et le soir. La valeur moyenne annuelle d'humidité est 72,1 %.

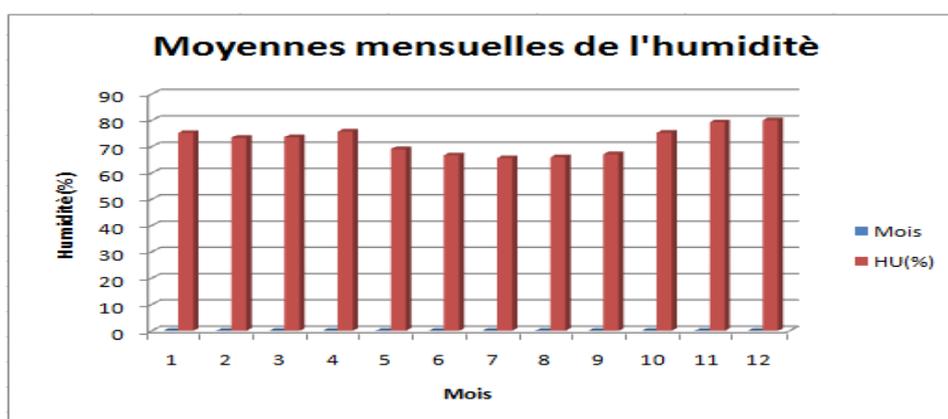


Figure I-9: Moyennes mensuelles et annuelle de l'humidité

I.3.7. L'évapotranspiration :

Tableau I-8 : Moyennes mensuelles et annuelle de l'évapotranspiration (St Dar El Beida)

Période : 2001-2008

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M.A
ET (mm)	14,9	31,1	55,2	68,3	85,6	123,4	120,33	110,8	78,9	50,8	27,5	17,8	784,63

Source : ONM

D'après ce tableau sur les huit (08) ans d'observation, l'évapotranspiration mesurée présente un maximum de 123 mm en Juin et un minimum de 14.9 mm enregistré en Janvier. Le total annuel de l'évapotranspiration moyenne est de 784,63 mm.

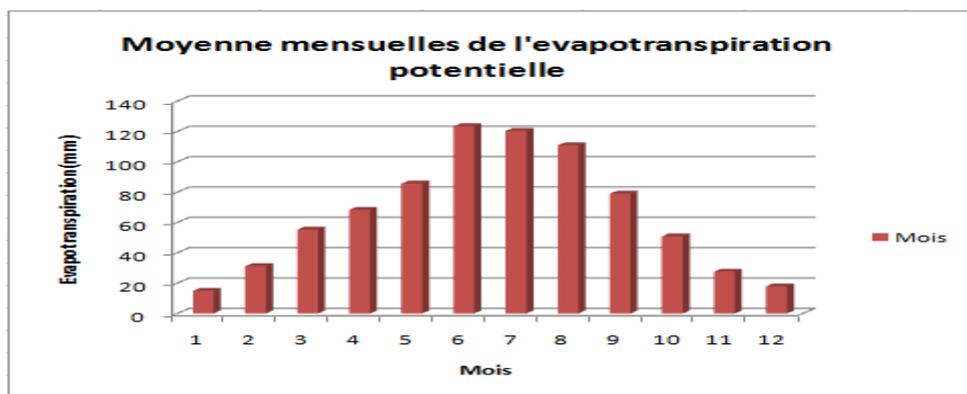


Figure -I-10: Moyennes mensuelles et annuelle de l'évapotranspiration

I-4-Synthèse climatique:

A travers les deux facteurs importants du climat, la température et la pluviométrie, trois paramètres peuvent être déterminés :

- L'Indice d'aridité minimum
- Le Diagramme Ombrothermique
- Le Climagramme d'EMBERGER

I-4-1- L'indice d'aridité de DEMARTON:

Il est défini par la formule suivante:

$$I = 12 P / (T + 10)$$

Avec :

- P : Pluviométrie moyenne mensuelle
- T : Température moyenne mensuelle
- I : Indice d'aridité

Tableau I-9: Indice d'aridité.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
I (°C)	42,40	31,33	23,35	23,04	12,09	2,11	1,55	3,10	9,69	20,27	43,05	44,07

Source ONM

Le tableau ci-dessus met en évidence deux catégories :

- Une saison humide et longue s'étale d'Octobre au mois de Mai dont la valeur maximale est celle du mois de décembre (44.07°C).

- Une saison sèche et courte s'étale de Mai à Septembre dont la valeur minimum est celle du mois de Juillet (1,55°C).

I-4-2. Diagramme Ombrothermique

En appliquant la formule $P = 2T$, le diagramme permet de déterminer la période sèche, où le mois sec est celui où le total moyen des précipitations est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle exprimée en degrés centigrades. Quand la courbe de température est au-dessus de celle des précipitations, la zone délimitée représente la zone sèche. Etabli pour la station de Dar El Beida, il ressort une période sèche qui s'étale du mois de Mars jusqu'au mois d'Octobre.

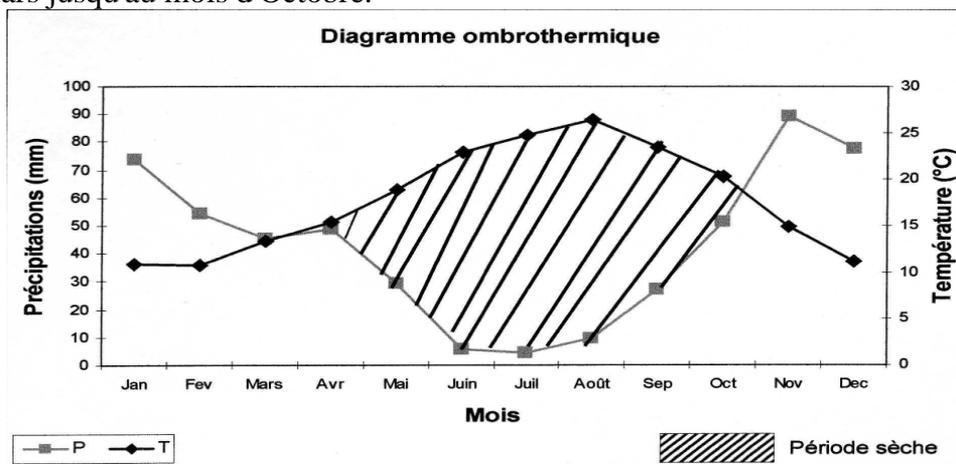


Figure I-11 : Diagramme Ombrothermique (Station Dar Al Beida)

I-4-3- Classification du climat selon l'indice De MARTON :

L'indice d'aridité De MARTON est un paramètre de classification du climat afin de nous permettre de savoir si l'irrigation est indispensable ou pas par rapport au type de climat.

L'indice d'aridité est donné par l'expression :

$$I_A = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

IA : indice De MARTON

P : précipitation annuelle totale de la région en mm/an

T : température moyenne annuelle en °c

Tableau I-10: classification de climat selon MARTON

VALEURS DE I	TYPE DE CLIMAT	IRRIGATION
$I < 5$	désertique	Indispensable
$5 < I < 10$	Très sec	Indispensable
$10 < I < 20$	Sec	Souvent indispensable
$20 < I < 30$	Relativement humide	Parfois utile
$I > 30$	Humide	Inutile

Pour : $P=516,19\text{mm}$
 $T=14.75\text{ }^{\circ}\text{C}$

On aura :
$$I_{\bar{A}} = \frac{516.19}{14.75 + 10} = 21$$

Selon l'indice d'aridité calculé, on constate d'après la classification ci-dessus que la région est soumise à un régime Relativement humide, où l'irrigation est Parfois utile.

I-4-4-Diagramme D'EMBERGER:

Son calcul se base essentiellement sur les températures et les précipitations. Ce quotient n'est applicable qu'aux climats de type méditerranéen. Mis au point par EMBERGER (1930), il s'exprime par la formule :

$$Q2 = 2000 P / (M2 - m2)$$

Avec :

- P : pluviométrie moyenne annuelle (mm).
- M : Température moyenne des maxima du mois le plus chaud ($^{\circ}\text{K}$)
- m : Température moyenne des minima du mois le plus froid ($^{\circ}\text{K}$).

En utilisant les deux valeurs Q2 et m, EMBERGER a défini les étages bioclimatiques qui sont reconnus par référence à un diagramme comportant un réseau de lignes séparatrices dans un espace orthonormé portant en ordonnées Q2 et en abscisse le m (Figure I.12).

Le calcul du quotient pluviométrique donne les valeurs suivantes :

Tableau I-11 : Quotient pluviométrique

Précipitations (mm)	m ($^{\circ}\text{K}$)	M ($^{\circ}\text{K}$)	Q2	Etage bioclimatique
---------------------	--------------------------	--------------------------	----	---------------------

516,19	283,82	299,34	114,07	Sub-humide
--------	--------	--------	--------	------------

A l'analyse de la figure I.12, on constate que la région se caractérise par un climat sub-humide très chaud.

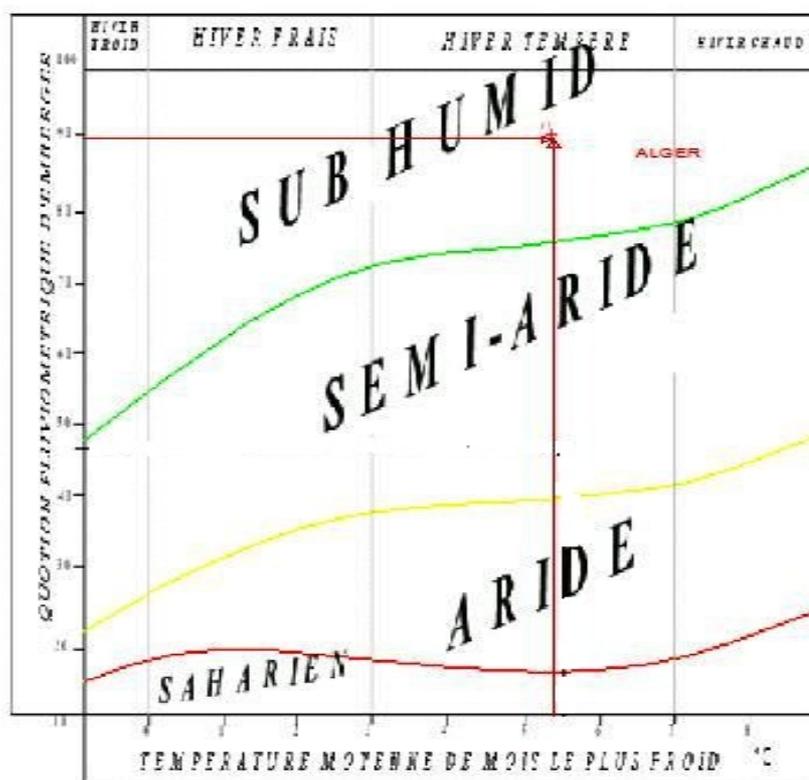


Figure I.12 Diagramme bioclimatique d'EMBERGER

I-5-Characteristiques sismique :

Les communes de (Bainem Ain Benian et Cheraga) se trouvent sur le bourrelet Nord du sahel. L'activité sismique de la région d'Alger est localisée essentiellement dans le bassin néogène de la Mitidja. Dans cette région, d'importants séismes se sont produits au cours de l'histoire, causant des dégâts matériels et humains. C'est notamment le cas du séisme de 1365, de 1716 et du séisme de Blida en 1825.

Les principaux séismes de forte magnitude qui ont frappées la région d'Alger (1365-2005) sont représentés dans le tableau suivant : (RPA, 2003)

Lieu	Date	11M	M	Victimes
Alger	03/01/1365	X	-	Plusieurs victimes
Alger	10/03/1673	-	-	-
Mitidja	03/02/1716	X	-	20.000
Blida	02/03/1825	X	-	7000
Djidjelli	22/08/1856	X	-	-
Gouraya	15/01/1891	X	-	38

Tipaza	29/10/1989	VIII	6,0	22
Boumerdes-Alger	21/05/2003	X	6,8	2300

Tableau I-12: principaux séismes de forte magnitude

Les études effectuées dans le bassin de la Mitidja montrent que la tectonique active se manifeste le long des bordures Nord et Sud du bassin par de nombreuses failles et plis failles à jeu inverse de direction NE-SW (pli-faille du sahel), recoupés par des accidents conjugués de direction NW-SE, qui déforment peu à peu ces versants et surélèvent la Région littorale.

La région d'Ouest d'Alger où se sont produits les séismes du 29 octobre 1989 (Ms : 6,0) et du 4 septembre 1996 (Ms : 5,7), est marquée par la présence de l'anticlinal du sahel, structure majeure de près de 60 km de longueur et d'orientation NE-SW. (DHW ALGER-2012)

Cette région présente des déformations tectoniques récentes qui affectent les niveaux plio-quaternaires (faille F1). Des décrochements de direction NW-SE, localisés principalement dans la région d'Attatba et de Mahelma, affecte l'anticlinal du sahel. (DHW ALGER-2012)

En Mer, l'extension marine de la faille du Chenoua (faille F2) ainsi que l'accident de Khayr Eddine, récemment cartographiés par la campagne Maradja, représente deux autres structures majeures de la région d'Alger.

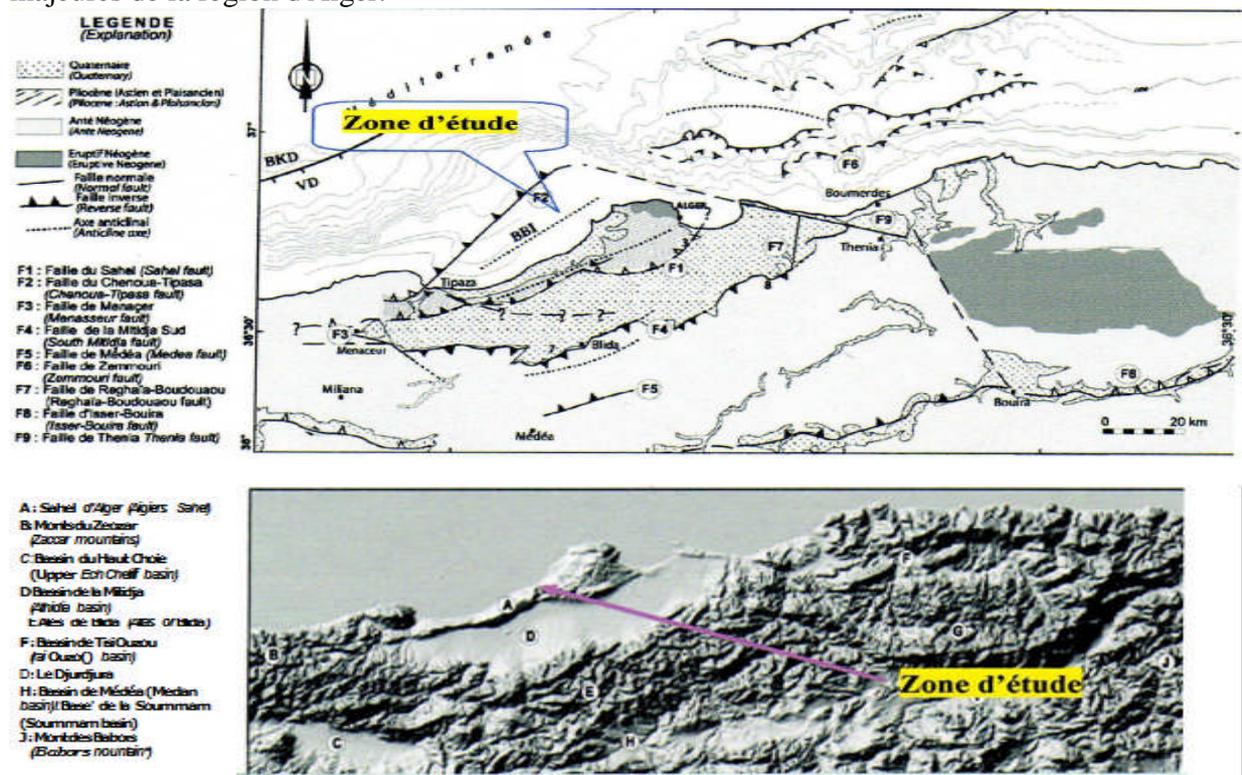


Figure I-13: carte de sismicité de la région d'Alger (source RP.A 2003)

Un Zoning sismique actualisé a été établi par le Règlement Parasismique Algérien (R P.A 2003) suite au séisme du 21 Mai 2003 qui a touché la région de Boumerdes et ses environs.

Cinq zones de sismicité croissante ont été établies au niveau national (Voir carte de zoning sismique ci-après), soit :

- Zone 0 : Sismicité négligeable
- Zone I : Sismicité faible
- Zone IIa et IIb : Sismicité moyenne
- Zone III : Sismicité élevée

Cette nouvelle classification, situe notre zone d'étude dans la Zone sismique III qui est de sismicité élevée. (RPA, 2003)

I-5-1. Le Pliocène supérieur (Astien) :

L'Astien que l'on rencontre dans le Sahel et même dans la Mitidja sous le recouvrement quaternaire présente plusieurs faciès :

- ✓ Faciès argileux sableux de couleur grise ou jaune. Il affleure l'Est d'El Achour et se prolonge vers le Sud ainsi que dans la région de Château neuf.
- ✓ Un faciès gréseux ou argileux gréseux. Formant une large bande de direction NW-SE entre Cheraga et Delly 13rahim. Il se présente sous forme de dalles, de miches. Ou de plaquettes, avec ou sans argiles
- ✓ Un faciès calcaire, ou calcaréo-gréseux, qui affleure sur une grande surface entre El Achour et Tixeraine. Il est généralement associé à un faciès aruilo-sableux.
- ✓ Les calcaires à lithotamniées, *qui occupe de grandes surfaces allant de Ben Aknoun au Nord-Ouest jusqu'à Birkhadem et Shaoula au Sud-Est, en passant par Hydra, El Biar, et Mustapha. (RPA, 2003)

Il s'agit d'une formation de calcaire littoral, qui se présente sous forme de bancs réguliers, parfois dur et compacte et souvent tendre, avec de nombreuses stratifications croisées.

Le Quaternaire, représenté par :

- ✓ Le Pléistocène : Constitué par des dunes consolidées, qui ont été déposés lors de la phase de régression de la mer. Elles s'étendent le long de la côte depuis Zeralda jusqu'à Baïnem en passant par Staoueli.
- ✓ Le Villafranchien : Recouvre le Plaisancien et une partie du Pléistocène. Il est constitué par des sables argileux plus ou moins rubéfiés, et en certains endroits par des graviers provenant de la décalcification des poudingues marins.

Il couvre toute la zone située à l'ouest de Cheras.;a et s'étend jusqu'à Staoueli et Bouchaoui. On le retrouve également dans la région de Béni Nflessous et de manière discontinue au-dessus des calcaires à Lithotamniées entre Ben Aknoun et Bir Mourad Raïs.

Les formations actuelles : Sont représentées par des dunes actuelles le long de la cote entre Zeralda et La Madrague. Ce sont des alluvions récentes (dépôts torrentiels du plateau de Ain Benian) que l'on retrouve au contact du mole de Bouzereah sur sa bordure Ouest.

I.5.2. Géologie locale :

La zone d'étude est constituée principalement par :

- Le Plaisancier : Sous forme de marnes de couleur grise bleue. Celles-ci sont présente dans tout le Sahel, mais en certains endroits, elles sont recouvertes soit par les formations du Pliocène, soit par le Quaternaire comme dans la région Cheraga et Staoueli .
- Le sable argileux plus ou moins rubéfié
- Les graviers provenant de la décalcification des poudingues mais (du villafranchien aux temps actuels)

Les autres formations ne sont pas représentées que de manière ponctuelle par quelques lambeaux de calcaire d'âge Pliocène ainsi que par de lambeaux de terrasses du Quaternaire constituées de poudingue a ciment calcaire répartis le long du méridien passant par Cheraga. (DHW-ALGER, 2012)

1.5.2.1 Géomorphologie :

Notre zone d'étude appartient au versant Nord du Sahel, zone des plateaux, celle-ci a été modelé en une succession de surfaces d'aplanissement couvertes de produits d'épandages détritiques d'origines torrentielles associées à des lambeaux de terrasses marines anciennes appartenant aux niveaux les plus élevées et à des formations (grès et sables calcaire) d'origine éolienne.

Ces dépôts détritiques sont souvent hétérogènes d'épaisseurs et de natures variées. Ce sont des sables et des argiles graveleuses ou caillouteuses à galets siliceux rous, des grès conglomérats, des argiles bariolées. Ils ont pu ultérieurement être remaniés par le ruissellement. A ces dépôts sont ajoutés des produits de colluvionnement local à partir des marnes et des marno-calcaires pliocènes.

Ces plateaux plus ou moins déformés, reposent sur le substratum marneux.

La zone des plateaux comporte plusieurs niveaux :

- ✓ Les plus élevés (180-200 m et 220-230m) couronnent les marnes plais anciennes, ou parfois les sédiments marno et greso-calcaire de l'astien. Ces plateaux forment alors les lignes de crêtes.
- ✓ D'autres niveaux nets des plateaux s'étagent aux altitudes de 130-150 m

I-6 Hydrologie et hydrogéologie:

I-6-1- Hydrologie:

La région étudiée est caractérisée par des oueds pérennes qui ont un débit d'étiage extrêmement faible :

- ✓ l'Oued Beni Messous qui draine le plateau de Chéraga-Ain Benian
- ✓ l'Oued Bridja qui prolonge l'oued Faouara (oued à réseau égorgé) dans la région de Bouchaoui.

L'Oued Beni Messous est le plus grand oued côtier, son bassin est clairement délimité sur le versant Ouest du sahel. C'est le réceptacle de toutes les eaux usées domestiques et industrielles.

L'Oued Beni Messous descend vers l'Ouest en direction de CHERAGA puis tourne à droite pour terminer sa course entre Ain Benian et Staoueli. Par sa longueur 11,5 Km et son débit, c'est le moins important du massif de Bouzareah. Il coule au milieu de petites collines et sur un plateau qui le borde. Dans la partie haute de son cours, il traverse des vergers, des vignobles et des jardins maraîchers. Son embouchure traverse des marécages et se termine au milieu des

sables, dans une forêt de roseaux et de lauriers roses. Le littoral près de l'embouchure de cet oued présente l'une des plus importantes régions touristiques de la zone de projet.

I-6-2- Hydrogéologie :

➤ **Au niveau régional :**

Les eaux souterraines se manifestent sous forme de sources ou de nappes aquifères. L'eau est localisée dans les fissures, diaclases et fractures. On peut définir deux ensembles de réserves aquifères :

- **La nappe du sahel** : est constituée par des dunes, poudingues et grés et par des sables plus ou moins argileux et rubéfiés. Ces formations géologiques forment un bar aquifère alimenté essentiellement par la pluviométrie et par une circulation diffuse souterraine.
- **La nappe du sahel**: les interstices se trouvant dans les grés constituent une roche favorable à l'emmagasinement de l'eau, mais l'essentiel se trouve entre l'astien et le plaisansien dont ce dernier constitue la couche planché permettant de garder une nappe de 5 m de hauteur, des sources de résurgence peuvent apparaître en surface à certains endroits. (DHW-ALGER, 2012)

La carte hydrogéologique de la wilaya d'Alger dressée en 1952, décrit des faciès géologiques et identifie des zones dont la perméabilité des sols et donc le niveau d'infiltration de l'eau dans le sol, est différente.

La très grande majorité des sols de la wilaya d'Alger est composée de marnes. La région d'étude se situe dans les zones I et II à savoir :

- ✓ Zone I : Une frange côtière avec des formations dunaires consolidées. Elle couvre approximativement les communes de Zéralda et Staoueli, mais également les communes de Ain Taya, El Masa et Heroua à l'Est, ainsi que les communes de Hamma El anasser et Hussein Dey au centre. La perméabilité est bonne. Le risque de glissements de terrain est quasi nul. (DHW-ALGER, 2012)
- ✓ Zone II : Une zone de marnes et argile bleues du Pliocène inférieur qui s'étend sur tout ou partie des communes de Chéraga, Ouled Fayet, El Achour, Draria, Baba Hssen, Mahelma, Rahmania et Douira. La perméabilité des sols est très faible et les sols sont relativement stables. Cependant, cette zone reste potentiellement sensible aux glissements de terrain induits par des activités humaines susceptibles de remettre en cause cette stabilité : travaux publics modifiant la topographie (construction d'habitations, ouverture de routes, creusement de tranchées pour les réseaux divers). (DHW-ALGER, 2012)

I.6.3 La pédologie :

La région Ouest d'Alger renferme une variété de sols, ces sols se répartissent en 03 classes :

- Les sols peu évolués
- Les Vertisols
- Les sols calcimagnésiques

PH : Les valeurs du pH sont comprises entre 6,47 et 7,84, fréquemment de l'ordre de 7,5. Les sols sont légèrement acides à basiques dans les différentes type de sol. (ANRH ALGER, 2012).

a) Les sols peu évolués :

Sous-groupe : Modal

Ces sols sont très riches en argiles 54 % en surface et 51 % en profondeur.. Leur pH est faiblement alcalin (7,70 - 7,78).

Sous-groupe : Hydro morphe

La texture très fine. Le taux d'argile dépasse les 50 %,

Le taux de matières organiques décroît (1,87 - 1,39 %).

b) Les sols calcimagnésiques:

➤ **Sous-groupe : Modal**

Le pH est légèrement alcalin (7,57 — 7,67), matières organiques (0,29-1,22%). texture argileuse

➤ **Sous-groupe vertique**

- Texture fine à très fine ,Le pH est faiblement alcalin
- La conductivité électrique varie entre 1,03 et 2,85 mmhos /cm
- La teneur en matière organique est moyenne en surface et faible en profondeur

➤ **Sous-groupe : hydromorphe**

teneurs en matières organiques sont faibles texture du sol est grossière

c) Les vertisols

➤ **Sous-groupe : Modal**

Texture du sol est fine, lateneur en matière organiques est moyenne dans le 1^{er} horizon, Le pH est faiblement alcalin,La conductivité électrique est faible en surface et élevée en profondeur (6,08 mmhos/cm) (ANRH ALGER, 2012)

➤ **Sous-groupe : hydromorphe**

Texture du sol est très fine. Les teneurs en matières organiques sont faibles. Le pH est faiblement alcalin. La conductivité électrique est élevée en profondeur. (Voir carte pedologique Annexe 7).

Introduction:

La station d'Épuration est prévue pour traiter les eaux usées du bassin versant Ouest de l'agglomération du Grand Alger et situant dans la ville de BENI MESSOUS pour un débit journalier moyen de 35 770 m³/j.

La chaîne de traitement est composée de deux lignes : une ligne d'eau et une ligne de boue. Le débit est divisé sur certains ouvrages afin d'améliorer la fiabilité, les opérations de maintenance et la souplesse de fonctionnement de la station.

II.1. Données de base de la STEP:

a) **Capacité de la population raccordée :** 250.000 équivalents habitants (Eq.Hab)

Les dotations principales suivantes pour la partie urbaine ont été prises en compte :

Consommation spécifique : 143 l/hab.j

DBO₅ : 50 g/hab.j

MES : 60 g/hab.j

Tableau II.1 : Données du débit d'eau usée entrant à la STEP

Paramètre	Valeur du paramètre		
	Unité	1 ^{ère} phase	2 ^{ème} phase
Equivalent Habitant	Eq.Hab	250.000	500.000
Débit moyen journalier	m ³ /j	35 770	50 400
Débit moyen horaire - temps sec	m ³ /h	1.490	2.100
Débit de pointe horaire au temps sec	m ³ /h	1 800	2 750
Débit de pointe horaire - temps de pluie	m ³ /h	3.600	5.500

(Source :WABAG-2012)

b) **Charge polluante :**

Tableau II.2 : Valeurs de la charge polluante des eaux usées

Désignation	Valeur du paramètre	
	1 ^{ère} phase	2 ^{ème} phase
Charge massique en MES à l'entrée de la STEP	15 000 Kg/j	30 000 Kg/j
Charge massique en DBO ₅ à l'entrée de la STEP	12 500 Kg/j	25 000 Kg/j
Charge massique en DCO à l'entrée de la STEP	25 000 Kg/j	30 000 Kg/j
Charge massique en N _{org} à l'entrée de la STEP	2 500	5 000 Kg/j
Charge massique en NTK à l'entrée de la STEP	****	****
Charge massique en P _{tot} à l'entrée de la STEP	625 Kg/j	5 000 Kg/j

WABAG-2012

c) **Rendements de décantation primaire:**

- Abattement en DBO₅ : 33%

- Abattement en M.E.S : 64%

II-2-Qualité de l'effluent rejeté :

Tableau II.3 : Valeurs limites de l'effluent traité:

	Par temps sec		Par temps de pluie	
	Valeur Instantanée	Valeur sur 24 heures (1)	Valeur Instantanée	Valeur sur 24 heures (1)
DBO ₅ (mg/l)	40	30		
DCO (mg/l)		120		
MES (mg/l)		30		

(1): Echantillons moyens pondérés sur 24 heures

II.3. La filière de traitement :

Elle comprend ainsi en totalité et successivement :

- Prétraitement mécanique constituée de :
 - Une station de dépotage
 - Dégrillage mécanique grossier
 - Dégrillage mécanique fin
 - Ouvrage de Désablage & déshuilage
 - Chenal de comptage et de mesure
- Décantation primaire constituée de
 - Ouvrage de répartition
 - Deux décanteurs primaires circulaires
 - Station de pompage de boues primaires
- Traitement biologique constituée de :
 - Deux bassins d'aération avec 3 aérateurs de surface chacun
- Décantation secondaire et pompage des boues en excès constituée de :
 - Ouvrage de répartition
 - Deux décanteurs secondaires circulaires
 - Ouvrage de pompage des boues activées et de recirculation des boues
 - Un canal de comptage et de mesure
- Epaissement & stabilisation des boues constituée de :
 - Deux épaisseurs de boues
 - Station de pompage des eaux troubles
 - Station de pompage des boues épaissies
- Stabilisation des boues constituée de :
 - Deux bassins de stabilisation des boues avec 02 aérateurs de surface chacun
 - Station de pompage de boues stabilisées
- Déshydratation de boue constituée de :
 - Deux chaînes de déshydratation avec deux filtres à bandes
 - Station de lavage des filtres à bandes
 - Station de préparation de polymère

II-3-1-PRETRAITEMENT MECANIQUE :**II-3-1-1-STATION DE DEPOTAGE :**

Le produit de dépotage est transféré gravitairement de la fosse 10 m³ vers la fosse 100 m³ de dépotage proprement dite, moyennant une vanne manuelle.

Le mélangeur ML1.1 sert à mélanger en continu le produit dans la fosse de dépotage 100 m³

II-3-1-2-DEVERSOIR D'ORAGE :

La protection contre les sur débits est assurée par le déversoir d'orage placé en amont et en aval du dégrilleur grossier. Facilement accessible (faible profondeur), l'entretien du déversoir (curage, ...) doit être régulièrement effectué.

L'installation d'un bassin d'orage qui reçoit les eaux de pluie les plus chargées s'impose systématiquement. Les bassins d'orage doivent être impérativement brassés et aérés.

II-3-1-3-DEGRILLAGE GROSSIER :

Les dégrilleurs assurent la protection des équipements électromécaniques et réduisent les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d'épuration. Il s'agit de grilles qui récupèrent les déchets plus ou moins volumineux entraînés par les eaux s'écoulant dans les canalisations d'assainissement. (WABAG,2012)

Cette station est précédée ainsi d'un pré-dégrillage grossier à espacement entre barreaux aux 60 mm servant pour retenir les matières solides de grandes tailles.

Il comprend, deux canaux de dégrillage de 1 m de large, équipé d'une grille inclinée à nettoyage automatique **GM1.1/1.2** de caractéristiques suivantes :

- Largeur : 1,00 m
- Angle d'inclinaison : 75 °
- Espacement entre barreaux : 60 mm

Le refus du pré-dégrillage est évacué à l'aide d'un râteau mécanisé dans un bac d'égouttage installé dans la partie supérieure de la grille. Après égouttage, le refus est repris au moyen d'une bande transporteuse **CV1.1** pour être déchargé dans un conteneur de volume 5 m³.

Les deux grilles peuvent être isolées, chacune par deux vannes batardeaux.

II-3-1-4-DEGRILLAGE FIN :

Les effluents prédégrillés seraient dirigés vers l'ouvrage de dégrillage fin. Ce Dégrillage fin a pour rôle de débarrasser les eaux brutes des déchets solides ayant échappés à la grille grossière GM1.1/1.2 et installée à l'entrée de la station.

Il comprend, deux canaux de dégrillage de 1 m de large, équipé d'une grille inclinée à nettoyage automatique.

Les refus du dégrillage sont déversés dans une vis transporteuse **CV1.2** et qui seront alternativement compactées afin de réduire par la même occasion le volume de ces déchets collectés avant de retomber dans une benne de volume 5 m³. Les eaux de percolation seront récupérées dans le canal de dégrillage fin.

Les deux grilles peuvent être isolées, chacune par deux vannes batardeaux. (WABAG,2012)



FIGURE II.1 : DEVERSOIR DORAGE ET POSTE DE DEGRILLAGE FIN MECANISE

II-3-1-5-DESSABLAGE DESHUILAGE :

Le dessableur est un ouvrage dans lequel les particules denses, dont la vitesse est inférieure à 0,3 m/s, vont pouvoir se déposer. Il s'agit principalement des sables. Il est en effet souhaitable de les récupérer en amont de la station plutôt que de les laisser s'accumuler en certains points (bassin d'aération, ...) où ils engendrent des désordres divers. (WABAG, 2012)

Le déshuileur a pour objet la rétention des graisses par flottation naturelle et accélérée par injection de fines bulles. Les teneurs en graisses sont appréciées analytiquement par la mesure des MEH (Matières Extractibles à l'Hexane). Ces matières grasses sont susceptibles de nuire à la phase biologique du traitement (mousses, ...). (WABAG, 2012)

L'ouvrage se compose de deux canaux rectangulaires, de section trapézoïdale, de 2,4 m de large et 30 m de long chacun, avec une hauteur d'eau moyenne de 3,60 m représentant donc un volume total de deux ouvrages de 518 m³.

Dans chaque canal, un baffle à claire voile installé parallèlement à l'axe principal délimite deux zones distinctes du point de vue fonctionnel : une zone turbulente de déssablage et une zone calme pour le déshuilage.

Dans la première zone, les filets d'eau décrivent un mouvement en forme d'hélice résultant de la conjugaison de l'avancement horizontal de l'eau et du mouvement vertical ascendant engendré par les bulles d'air émises par les rampes de diffusion d'air situées à environ 2,80 mètres sous le niveau d'eau.

Ce mouvement et ce brassage ont pour effet d'empêcher la sédimentation des matières plus légères lavées c'est-à-dire les matières organiques et autres en suspension.

Les sables décantent et se retrouvent au fond de l'ouvrage dans une partie approfondie où le système Air lift va pouvoir remonter le sable.

L'autre zone située à l'opposé de l'axe d'installation des rampes d'air est séparée de la zone de dessablage par un baffle installé sur toute la longueur de l'ouvrage.

C'est dans la zone de déshuilage que l'on observe la flottaison des huiles et graisses entraînées à la surface par leur poids spécifique plus léger que l'eau et aidées par des bulles d'air fixées à ces matières.

Les turbulences de la zone de dessablage confinent les flottants à l'arrière du baffle de tranquillisation, facilitant leur concentration et évacuation.

Un Pont transversal de reprise du sable, commun aux deux canaux, constitué principalement d'une passerelle en profilés supportée par deux ensembles de roulements reliés à un groupe moto-réducteur d'entraînement **PR1.1**, assure cette opération de dessablage et déshuilage de l'effluent brut provenant du dégrilleur. En effet :

Le compresseur Air lift embarqué **CA1.1/1.2** sert à pomper les sables piégés au fond de l'ouvrage du pont dessableur vers un autre chenal à côté dit de collecte de sables. Cette opération de pompage est facilitée au moyen des Surpresseurs d'air **SA1.1/1.2/1/3** qui fournissent de l'air surpressé au fond de l'ouvrage.

A partir de deux goulottes de collecte de sable, le mélange eau et sable est envoyé vers un classificateur à sables **CS1.1** installé au pied de l'ouvrage.

Ce dernier est un séparateur dans lequel les particules de sable sédimentent et sont extraites du fond de la machine par une vis sans fin et rejetées dans une benne, tandis que l'eau est récupérée en partie supérieure et revient gravitairement en tête de la Station. (**WABAG, 2012**)

D'autre part, l'insufflation d'air assurée par les Surpresseurs assure entre autres le passage des particules de graisses et des huiles de la zone agitée vers une goulotte longitudinale tranquille, limitée par des cloisons de tranquillisation.

Les matières flottantes retenues dans cette zone longitudinale seront ensuite évacuées vers une fosse à graisse accolée à l'ouvrage, au moyen d'un système de raclage fixé au pont roulant à chaque passage à la fin de course aval du pont. (**WABAG, 2012**)

Une pompe à flottants **PF1.1**, installée dans la dite fosse sert à évacuer les flottants collectés dedans et à les transférer dans un conteneur de graisse.

Tout l'ouvrage peut être isolé en amont par deux vannes batardeaux. (**WABAG, 2012**)



Figure II.2 : poste de dessablage-déshuilage

II-3-1-6-CHENAL DE COMPTAGE & D'ECHANTILLONNAGE :

La mesure de débit à l'entrée de la STEP FIT1.1 se fait au niveau du canal de liaison déssableur/déshuileur et ouvrage de by-pass. Du type « Venturi », cette mesure est associée à un transmetteur monté à proximité du canal. (WABAG, 2012)

II-3-1-7-DECANTATION PRIMAIRE & POMPAGE DES BOUES PRIMAIRES :

Les effluents ainsi prétraités seraient ensuite dirigés sur un ouvrage de répartition puis sur deux décanteurs primaires cylindro-coniques de caractéristiques unitaires suivantes :

- Diamètre : 29 m
- Hauteur cylindrique : 3,4 m
- Volume : 2.223 m³

Les décanteurs, équipés de 2 Ponts racleurs radiaux **PR2.1/2.2**, actionnés par deux moto-réducteurs d'entraînement, sont de type à raclage mécanique des boues (par un ensemble de racleurs de fond).

Chaque décanteur peut être isolé à l'amont, au niveau de l'ouvrage de répartition par 2 Vannes murales d'isolement, 1000x1000 mm.

Le Temps de séjour (Ts) en fonction de la charge hydraulique

Tableau II.4 : Temps de séjour en fonction de la charge hydraulique

Débit / Charge hydraulique (m ³ /h)	Temps de séjour Ts (h)
1 490 m ³ /h	2,98 h
1800 m ³ /h	2,46 h
3600 m ³ /h	1,23 h

Le temps de séjour important dans l'ouvrage permettra un bon abattement de la matière en suspension grossière contenue dans l'effluent prétraité (jusqu'à 64 %) dite désormais la boue primaire.

Ces boues primaires ainsi décantées seront soutirées directement de chaque décanteur, via une tuyauterie d'extraction des boues en acier Ø 200 mm, par deux pompes à vis excentrique **PBP2.1/2.2** vers les deux Epaisseurs.

Le pompage des boues se met en marche normalement pour une concentration de MS supérieure à 15 g/l. La mesure de la concentration de boues primaires est faite quotidiennement au niveau du laboratoire. (**WABAG, 2012**)

L'installation de pompage des boues mixtes comprend :

- 02 électropompes horizontales **PBP2.1** et **PBP2.2**, du type vis excentriques, de caractéristiques unitaires :
 - o Débit : 28 m³/h
 - o Pression de refoulement : 2 bar

II-3-1-8-BASSIN D'AERATION :

Afin d'assurer le métabolisme microbien et le besoin énergétique pour la biodégradation des matières organiques, un apport d'oxygène est donc indispensable pour le traitement biologique, une teneur d'oxygène dissous de l'ordre de 1 à 3 mg/l devrait être maintenue dans le système d'aération. (**WABAG, 2012**)

Pour ce fait, l'effluent en provenance des Décanteurs primaires est introduit en tête de deux bassins d'aération de forme rectangulaire dimensionnés sur les dimensions suivantes:

TableauII.5 : Dimensions du bassin d'aération

Dimensions	
Nombre de bassin	2
Longueur au plan d'eau (m)	55,5
Largeur au plan d'eau (m)	18,5
Hauteur d'eau (m)	4,58
Volume net unitaire (m ³)	4 700
Volume net total (m ³)	9 400

Pour assurer les objectifs classiques appliqués à cette station d'épuration à boues activées, le dimensionnement du bassin d'aération prendra généralement en compte Les conditions de fonctionnement suivantes :

- Charges massique : 0,233 kg DBO₅/kg MESxj
- Concentration en boues activées : 4 g/l
- Age des boues : 5,4 j

Le Temps de séjour des eaux usées dans le bassin d'aération, sur la base d'un taux de recyclage de boue de 73 % (voir section prochaine), est :

- au débit moyen par temps sec : 3,64 h
- au débit de pointe par temps sec : 3,01 h
- au débit de pointe par temps de pluie : 1,51 h

Les équipements prévus pour l'épuration biologique sont :

- 3 aérateurs de surface pour chaque bassin
- 1 Turbine à 16 pales d'acier de diamètre 2400 mm pour chaque aérateur
- 1 Déversoir de sortie du bassin avec baffle siphonide de protection pour chaque bassin

Chaque turbine ayant une capacité d'oxygénation de 130 kg O₂/h, sous conditions Standards, l'ensemble permet donc de fournir 780 kg O₂/h.

Située à l'aval de chaque bassin, une paroi siphonide exécutée en béton retient dans le bassin d'aération les mousses et autres flottants qui pourraient être générés par la rotation des aérateurs de surface. Cette paroi siphonide sert également de paroi de tranquillisation.

Un système d'arrosage branché sur le réseau d'eau de service permet de combattre ce phénomène s'il se présente. (WABAG, 2012)



Figure II.3 : poste d'aération et de décantation primaire

II-3-2-DECANTATION SECONDAIRE & POMPAGE DES BOUES ACTIVES :

La liqueur mixte de boues activées est ensuite dirigée vers les ouvrages de décantation secondaire après passage dans un ouvrage de répartition.

Le but de cette opération est la séparation de l'eau épurée des boues qu'elle contient. La liqueur mixte est introduite en son centre ; l'eau clarifiée déborde en périphérie dans une double goulotte de reprise et les boues se déposent sur le radier. (WABAG, 2012)

Chaque décanteur, équipé d'un Pont roulant radial **PR4.1/4.2**, actionné par un moto-réducteur d'entraînement, disposant d'un racleur de surface (récupération des flottants) et d'un racleur de fond (concentration des boues décantées vers le centre de l'ouvrage).

Le racleur de fond reposant sur un radier lisse et muni de bavettes en caoutchouc, est conçu en persienne (non continu) afin d'augmenter le temps de séjour des boues. Pour faciliter le raclage de ces boues, le radier de l'ouvrage est muni d'une pente de 10 – 15 %.

La récupération des flottants, quant à elle, s'effectue alors par l'intermédiaire d'une lame radiale en caoutchouc et d'une double goulotte périphérique de récupération placée sur un rayon du bassin.

Le système d'écumage est équipé, en outre, d'un ensemble de déversoirs et cloisons pare-écume permettant de chasser les flottants ayant échappé à l'ouvrage de déshuilage et qui seront collectés gravitairement dans la chambre des eaux troubles prévue pour ce fait.

Chaque décanteur peut être isolé à l'amont, au niveau de la tour de répartition par une Vanne murale d'isolement à commande par volant de Ø 1200x1200 mm. (WABAG, 2012)

Le rendement d'un décanteur secondaire dépend du débit d'eaux usées appliqué par superficie unitaire horizontale de décantation ou en d'autres termes de la vitesse ascensionnelle. Cette dernière dépend elle-même de la profondeur moyenne d'eau, du flux massique de la liqueur mixte introduit dans les décanteurs, de l'indice de Molhman de la liqueur mixte ainsi que du taux de retour des boues décantées vers le bassin d'aération.

De ce fait, pour un débit d'eaux usées relativement constant, la performance des décanteurs secondaires ne doit dépendre que du flux de la liqueur mixte entrant dans ces décanteurs.

Temps de séjour (TR) en fonction du débit des eaux usées (Q)

Tableau II.6 : Temps de séjour de la décantation secondaire en fonction du débit

Débit des eaux usées	Q (m ³ /h)	TR (h)
Débit moyen par temps sec	1 490	12,59
Débit de pointe par temps sec	1 800	10,42
Débit de pointe par temps de pluie	3 600	5,21

(WABAG, 2012)

Vitesse ascensionnelle (VA) en fonction du débit des eaux usées (Q)

Tableau II.7 : Valeurs de la vitesse ascensionnelle

Débit des eaux usées	Q (m ³ /h)	VA (m/h)
Débit moyen par temps sec	1 490	0,63
Débit de pointe par temps sec	1 800	0,76
Débit de pointe par temps de pluie	3 600	1,52

Les boues en excès produites par le processus biologique sont prélevées par deux groupes électropompes immergés (un de secours). Ces groupes refoulent ces boues activées en tête de deux épaisseurs.

Ces boues excédentaires sont comptabilisées, pour les bilans de rendement de la station, au moyen d'un débitmètre électromagnétique **FIT4.2**. [3]

Le but de la recirculation des boues du ou des décanteurs secondaires vers le réacteur biologique est d'y maintenir une concentration constante et correcte de la liqueur mixte permettant de respecter une charge massique de fonctionnement considérée ou, ce qui revient au même, de limiter le temps de séjour dans les décanteurs pour garantir une bonne qualité et un âge de boue bien défini et d'éviter conséquemment l'accumulation et le débordement du

lit de boue dans les décanteurs.

Soit « C_r » la concentration de la boue active en excès, « C_{lm} » la concentration de la liqueur mixte et « R » le taux de recirculation des boues en retour soutirées de la bêche en provenance des décanteurs secondaires. En fonction de, la concentration des boues de retour et celle de la liqueur mixte, ce taux de recyclage est déterminé comme suit :

$$R (\%) = C_{lm} / (C_r - C_{lm})$$

Le débit de boue recirculée est tributaire du débit journalier arrivant sur la station. Sur la base d'un taux de recirculation de 100 % du débit moyen d'eau à traiter, sont prévus deux vis de relevage (un de secours) d'une capacité unitaire de 2220 m³/h pour le refoulement, en tête du bassin d'aération, des boues activées décantées.

Chaque fosse des boues à recirculer est isolée en amont et en aval par des vannes murales et ce afin de faciliter l'accès au poste de recirculation et de ménager, en prévoyant une alternance dans le fonctionnement des vis, des interventions nécessitant souvent une vidange de la bêche.



Figure II.4 : poste de décantation secondaire

II-3-2-1-STATION D'EAU EPRUREE :

A la sortie de la décantation secondaire, le débit traité **FIT4.1** sera mesuré sur un venturi en canal ouvert avant rejet. La lecture du débit instantané ainsi que le totaliseur sera transmise au niveau de la salle de contrôle. (WABAG, 2012)

II-3-2-2-EPAISSISSEMENT DES BOUES :

Il s'agit d'une étape intermédiaire dans la diminution du volume de boues produites par la station. Les boues excédentaires (primaires et secondaires activées), seront injectées en tête de deux épaisseurs **PR5.1/5.2** afin d'améliorer la concentration de ces boues en terme de matières solides. En effet, la concentration des boues en excès avant l'épaississement est de l'ordre 12 g/l, quant à celle après épaisseur, elle peut atteindre 40 g/l.

L'ouvrage prévu pour cet effet ayant les caractéristiques suivantes : (WABAG,2012)

Dimensions	
Nombre des épaisseurs	2
Diamètre (m)	16,00
Hauteur de boue (m)	3,50
Surface (m ²)	201,1
Volume net unitaire (m ³)	703,7
Volume net total (m ³)	1408
Charge superficielle (kg/m ² .j)	38,6
Temps de séjour (j)	1,44

Les deux épaisseurs sont équipés de trop-plein d'évacuation du surnageant et d'une conduite d'extraction des boues épaissies. .

Ces boues épaissies seront ainsi pompées en tête de deux bassins de stabilisation. L'installation de pompage de ces boues épaissies comprend :

- 02 électropompes horizontales **PBE5.1/5.2**, du type vis excentriques

Il est à noter que le temps de passage des boues en phase d'épaississement ne doit pas être dépassé, faute de quoi:

Un séjour prolongé des boues secondaires induit rapidement des phénomènes de fermentation. Les surnageants d'épasseurs qui retournent en tête du traitement sont alors souvent septiques et responsables de problèmes biologiques (foisonnement, mousses) et de nuisances olfactives.

Seules les boues biologiques « fraîches » se prêtent bien à une déshydratation ultérieure (mécanique). (WABAG, 2012)

Les eaux surnageantes seront récupérées dans une bache dite des eaux troubles. Ces dernières, provenant, en outre du débordement de la fosse des flottants de l'ouvrage de dessablage, du Classificateur de sable, des écumes de la décantation secondaire et des filtrats des boues déshydratées (voir ultérieurement), seront pompés au moyen deux pompes submersibles **PET5.1/5.2** (une de secours) en tête de deux bassins d'aération.

II-3-2-3-BASSIN DE STABILISATION DES BOUES :

Après avoir oxydé toute la matière organique polluante biodégradable, les microorganismes, présentés dans les boues activées mixtes (primaires et secondaires), nécessitent un apport supplémentaire d'oxygène afin d'achever le processus biologique avec le deuxième stade correspondant à la biosynthèse et à la phase de respiration endogène.

Pour ce fait, la boue ainsi épaissie en provenance des épasseurs est introduite en tête de deux bassins de stabilisation de forme rectangulaire ayant les dimensions suivantes:

Dimensions	
Nombre de bassin	2
Longueur au plan d'eau (m)	35,0
Largeur au plan d'eau (m)	17,5
Hauteur d'eau (m)	4,02
Volume net unitaire (m ³)	2 461
Volume net total (m ³)	4 922

Les équipements prévus pour la stabilisation aérobie des boues sont :

- 02 aérateurs de surface pour chaque bassin
- 1 Turbine à 16 pales d'acier de diamètre 2400 mm pour chaque aérateur
- 1 Déversoir mobil à la sortie de chaque bassin avec servomoteur.

Chaque turbine ayant une capacité d'oxygénation de 130 kg O₂/h, sous conditions Standards, l'ensemble permet donc de fournir 520 kg O₂/h.

L'ouvrage est équipé en outre de :

- Un instrument de mesure de l'oxygène dissous dans chaque bassin OXIT6.1/6.2
- Une mesure de pH à l'entrée de chaque bassin pHIT6.1/6.2
- Une mesure du niveau de boue dans chaque bassin LIC6.1/6.2
- Une mesure du lit de boue dans la fosse des boues stabilisées LIC6.3

Afin de régler :

- le taux d'immersion des aérateurs du bassin de stabilisation
- le temps de séjour de la boue dans le bassin de stabilisation

Chaque bassin est équipé à sa sortie d'un déversoir mobile

Après avoir subie une stabilisation aérobie, les boues stabilisées seront pompées vers les lignes de déshydratation des boues. L'installation de pompage de ces boues stabilisées comprend :

02 électropompes horizontales **PBS6.1/6.2**, du type vis excentriques. (WABAG, 2012)



Figure II.5: poste d'épaississement

II-3-2-4-DESHYDRATATION MECANIQUE DES BOUES :

La station d'épuration produit en permanence des boues dont l'excès doit être évacué à intervalles réguliers pour garantir un bon fonctionnement du système. En effet, l'extraction permet de maintenir une quantité de MES nécessaire et suffisante afin d'obtenir une qualité d'épuration optimale.

Ces boues, principalement constituées d'eau (> 96 %, le plus souvent) représentent des volumes importants que la filière de traitement des boues va s'attacher à réduire autant que faire se peut, afin d'abaisser les coûts d'évacuation de ces sous-produits de l'épuration.

Une gestion rationnelle de la boue produite dans la station reste une condition nécessaire de la qualité de l'épuration. Le rôle du personnel exploitant apparaît à cet égard fondamental.

La production de boue est directement liée à la quantité de pollution retenue. Il s'en suit une augmentation de la biomasse dans le système, ce qui induit un accroissement des concentrations en MES. (WABAG, 2012)

II-3-2-4-1-PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT GENERAL :

Deux chaînes de déshydratation mécanique des boues sont prévues. Chaque chaîne est constituée principalement des équipements suivants :

- une pompe à boues stabilisées PBS 6.1/6.2
- une pompe de dosage de polymère PP 6.1/6.2
- une pompe de lavage filtre PEL 6.1/6.2
- un blutoir BL6.1/6.2
- un filtre à bandes FB 6.1/6.2
- un convoyeur de boues horizontal BT 6.1 (commun pour les 02 chaînes)
- une pompe de gavage PG6.1 (commun pour les 02 chaînes)
- un compresseur d'air comprimé CA 6.1 (commun pour les 02 chaînes)

Suivant le besoin, les deux chaînes peuvent fonctionner en parallèle ou indépendamment. Un sélecteur à deux positions CH1/CH2 (sur façade TBT4) est prévu pour fixer la chaîne prioritaire. En cas de non disponibilité de la chaîne sélectionnée prioritaire et après un temps de contrôle Tc (60 s environ), l'autre chaîne (si disponible) se met en service selon principe défini ci-après ;

Une fois la chaîne prête, sa mise en service normale doit se dérouler comme suit :

- mise en marche du compresseur d'air CA 6.1
- vérification de la pression d'air à l'entrée de chaque filtre (PISL 6.1/6.2)
- mise en marche de la pompe de gavage PG6.1
- mise en marche du convoyeur à boues BT 6.1
- mise en marche de la pompe de lavage associée PEL 6.1/6.2
- vérification des sécurités du filtre à bandes (AU et Fdc)
- mise en marche du moteur de traction des bandes FB 6.1/6.2
- mise en marche du blutoir BL6.1/6.2
- vérification des sécurités des pompes à boues et polymères PBE 6.1/6.2 et PP 6.1/6.2
- mise en marche en parallèle de :
 - la pompe de dosage de polymère associée PP6.1/6.2
 - la pompe à boues stabilisées associée PBS 6.1/6.2

Tous les équipements de déshydratation mécanique des boues sont alimentés à partir de l'armoire locale désignée TBT4. (WABAG, 2012)

Deux arrêts d'urgence placés, le premier sur façade de TBT4 le deuxième dans le local proprement dit, si appuyés arrêtent tous les équipements et émettent une alarme sonore et visuelle.

Pour la mise en marche d'une chaîne, l'opérateur doit actionner un sélecteur à 02 positions ON/OFF en position ON (sur façade de TBT4) : activation chaîne.

Mises à part les vérifications et conditions principales ci-dessus indiquées, les équipements associés à la chaîne doivent être disponibles (sélectionnés en mode distant / Auto et pas en défaut)

Dès lors, les équipements concernés se mettent en service en cascade et selon déroulement ci-dessus indiqué.

L'arrêt normal de la chaîne et après remise du sélecteur ON/OFF sur position OFF (arrêt chaîne), les équipements concernés se mettent à l'arrêt en cascade inverse de celle de la mise en marche. Les temps de cascade sont de l'ordre de quelques minutes (réglable à partir du poste de supervision) afin de permettre le lavage des toiles des filtres.

L'arrêt anormal (en cas de défaut ou arrêt d'urgence par exemple) de l'un des équipements de la chaîne arrête immédiatement les équipements situés en amont et en cascade temporisée (en mn) comme définie ci-avant, les équipements situés en aval continuent à fonctionner normalement. (WABAG, 2012)

L'arrêt cascadié du convoyeur à boues BT6.1 et de la pompe de gavage servant à l'évacuation des boues déshydratées, reste associée à celui du dernier filtre à bandes étant arrêté.

L'arrêt anormal de l'une des pompes à boues doit aussi provoquer l'arrêt immédiat de la pompe à polymère associée et vice versa.

En cas de coupure de courant et après remise sous tension, le redémarrage de l'une ou des deux chaînes se fait selon cascades définies ci-dessus. La chaîne sélectionnée prioritaire démarre en premier lieu.

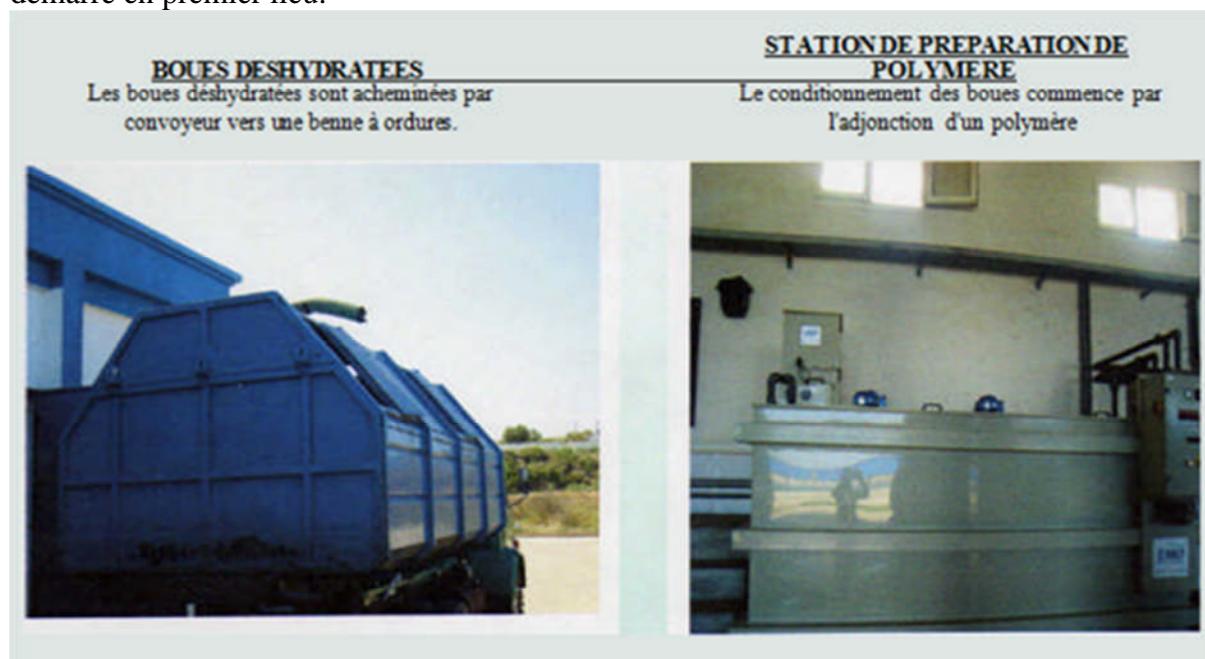


Figure II.6: boues déshydratées et station de préparation de polymère

II-3-2-5-GROUPE HYDROPHORE : GH 6.1

Le groupe hydrophore est doté de son propre coffret de puissance et de commande local. GH 6.1 est principalement constitué de 03 pompes de 10 m³/h chacune.

Le niveau LSL6.3 si atteint, arrête le groupe hydrophore afin de réserver un volume d'eau suffisant dans le réservoir pour le lavage d'un filtre à bande BF6.1/6.2

L'alimentation électrique est assurée depuis l'armoire TBT4 selon un départ protégé 3X400V AC + N + T.

Les signaux d'état de marche /arrêt et défauts des pompes sont reportés au système de supervision moyennant l'organe d'automatisme et de liaison installé dans l'armoire TBT4.

II-4-Lagunage naturel de Béni-Messous :

II-4-1-Localisation géographique :

La station de lagunage, dont fait l'objet notre étude, se situe dans la commune de Béni-Messous, du côté Ouest de la wilaya d'Alger. Elle se trouve à 5 Km de l'embouchure de l'oued de Béni Messous qui origine à l'Est de la commune de Bouzaréah, traverse les communes de Béni-Messous et Chéraga et débouche du côté Ouest dans la baie d'EL Djamila au niveau de la plage « Les Dunes ».



Figure II.7: *Vue générale de la station de lagunage de Béni-Messous.*

Constituée de quatre bassins en série et occupant environ 13 hectares, la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous s'implante entre la commune de Ain Benian et celle de Chéraga ; à proximité du chemin wilayal, CW n°11 et adjacente à des terres agricoles. (voir figureII-8).



Figure II.8 : *Photo satellite du lagunage naturel de Béni-Messous (Google Earth).*

II-4-2-Dimensionnement et caractéristiques des lagunes :

Le plan schématique du lagunage naturel de Béni-Messous, représenté par la figure II-9, présente la série des quatre bassins, en parallèles à l'Oued de Béni-Messous, ainsi qu'un déversoir (dispositif contre les fortes crues) à l'extrémité gauche du premier et du deuxième bassin. Avant d'être acheminées vers le premier bassin de la station, les eaux usées brutes passent par un dégrilleur.

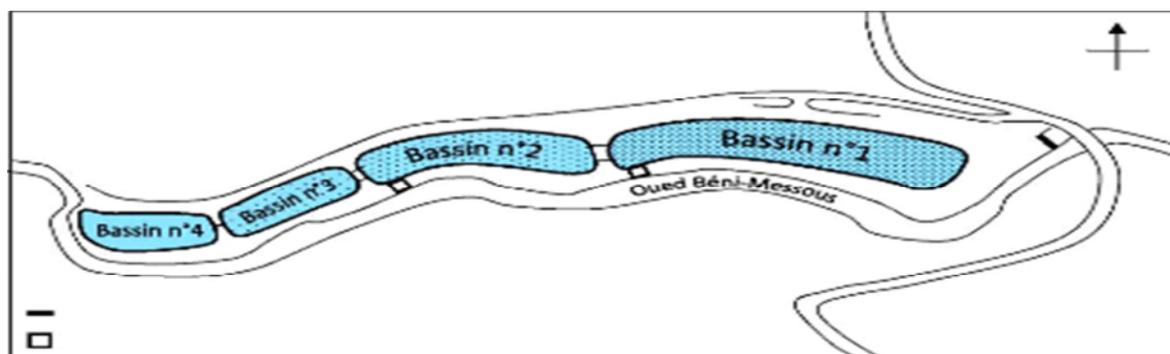


Figure II.9: Schéma du lagunage naturel de Béni-Messous.

II-4-3-Temps de séjour dans les lagunes :

Le temps de séjour (TS) désigne le temps nécessaire que doivent séjourner les eaux usées dans chaque bassin pour permettre leur épuration. Si l'on considère l'écoulement des eaux comme un écoulement laminaire, on admettra que le débit est constant. Le temps de séjour pourra être calculé grâce à l'équation suivante :

$$TS = V/Q$$

Où :

- TS : Temps de séjour (j) ;
- V : Volume du bassin (m³) ;
- Q : Débit moyen d'entrée des eaux usées (m³/j).

Les lagunes de Béni-Messous ont chacune, en correspondance à leurs volumes différents, un temps de séjour propre. Ci-après sont regroupés, les temps de séjour des quatre lagunes ainsi que le temps de séjour global :

Tableau II.8 : Temps de séjour dans les lagunes

Bassin n°	Temps de séjour (j)
1	7
2	2
3	1
4	1
TOTAL	11

Source : CABINET MERLIN

II-5-DESINFECTION AVANCEE :

Les techniques conventionnelles de traitements primaires et secondaires sont capables d'éliminer, dans des proportions variables, les matières en suspension et les matières organiques. Mais aucune d'entre elles n'offre une véritable protection vis à vis des risques

sanitaires. A cet égard, la réglementation relative à la réutilisation des eaux usées distingue plusieurs niveaux de qualité d'eau, en fonction de l'élimination des oeufs de parasites et des coliformes fécaux (Baron, J. 1997).

Tableau II.9: Classification des types de la qualité des eaux usées traitées obtenue par des traitements différentes

Type d'eau	Teneur en œufs d'helminthes intestinaux	Concentration en coliformes thermo tolérants
A	1 par litre	103/100 ml
B	1 par litre	pas de contrainte
C	pas de contrainte	pas de contrainte

Les procédés conventionnels d'épuration primaire et secondaire ne garantissent pas l'élimination complète des œufs de parasite. Les effluents issus de ces stations, typiquement les effluents des stations à boues activées, sont du type C (Baron, J. 1997).

Pour obtenir une eau de type B, il faut éliminer pour une grande part les œufs d'helminthes; ce qui peut être fait en complétant la chaîne de traitement par un procédé de traitement tertiaire (Baron, J. 1997).

Les procédés extensifs, comme le lagunage ou l'infiltration percolation seraient capable pour obtenir une eau de type B, mais considérant la grand capacité de la station d'épuration de Beni Messous ces options ne sont pas appropriées à cause d'une trop grande surface requise.

Une filtration rapide devrait aussi pouvoir remplir ce rôle mais les données qui pourraient confirmer son efficacité font encore défaut (Baron, J. 1997).

Une eau de type A exigé en plus l'élimination des coliformes fécaux par une méthode de désinfection avancée. Ce traitement complémentaire revêt une importance particulière car, en dépit des restrictions imposées par les recommandations du OMS, les eaux de type A ouvrent sur les réutilisations les plus attractives pour les collectivités locales.

L'élimination des coliformes fécaux par la désinfection avancée exige un traitement conventionnel transposé des techniques de préparation des eaux potables. Ces techniques sont soit chimiques - utilisation du chlore et de ses dérivés, ozonation - soit physiques - rayonnements ultra-violets, filtration par membrane. L'efficacité de ces procédés dépend, dans une large mesure, de la qualité de l'eau traitée et, en particulier, de sa teneur résiduelle en matière organique et en matières en suspension (Baron, J. 1997).

Il est important de souligner que le choix d'un procédé de désinfection donné n'est pas seulement une fonction des objectifs de qualité d'eau. Les autres facteurs doivent être considérés, tel que les coûts, rénovation des équipements ou la toxicité résiduelle des effluents. Dans les paragraphes qui suivent, on réexaminera les technologies de désinfection intensives réalisables techniquement, économiquement et écologiquement. (Baron, J. 1997).

II-5-1CHLORATION / DECHLORATION :

C'est la méthode de désinfection d'eaux usées la plus universellement expérimentée depuis 1940. La chloration joue un rôle majeur dans la prévention des maladies hydriques

contagieuse dans le monde. Plusieurs dérivés de chlore tel que chlore gazeux, hypochlorite ou chloramine sont utilisés à cet effet. Les conditions de chloration des eaux usées varient considérablement en fonction de la qualité des effluents. Les composés organiques, les rejets industriels, de même que la concentration en ammoniacque peuvent influencer d'une manière considérable la demande en chlore. L'efficacité de chloration peut être améliorée par le type et les caractéristiques de contacteur utilisé pour la mixtion ainsi que la stratégie de processus contrôlée appliquée. Les doses typiques de chlore pour la désinfection d'eaux usées communales varient de 5-20 mg/I pour un temps de contact de 30-60 mn. Des concentrations plus élevées sont exigées pour les eaux usées de mauvaise qualité telle que les effluents primaire ou ceux de lits bactériens. Plusieurs auteurs ont rapportés que le chlore inhibe les micro-organismes. Les bactéries sont habituellement totalement éliminées, bien que la présence de solides en suspension puisse affecter le rendement du procédé. D'après King *et al.* (1988) les fortes concentrations en chlore libre rendent totalement inactifs les kystes et quelques virus inquiétants. Les ciliates et amoebias peuvent résister au chlore libre résiduel à des concentrations de 4 à 10 mg/I (pH 7,0, 25°C), et restent toujours viables dans des solutions de chlore avec des concentrations résiduelles plus basses après un temps d'exposition de 30 à 60 minutes.

Plusieurs études montrent aussi que l'efficacité de chloration peut être fortement affectée par la nitrification (N-organique, l'ammoniacque, les concentrations de nitrite et nitrate). L'influence est remarquablement prononcée par la présence de nitrite ou le manque d'ammoniacque. Le désavantage principal de chlore est la génération de dérivés toxiques (DBP). Ce phénomène a été découvert depuis les 1970. Les DBPs ont été identifiés comme substances potentiellement cancérigènes et nuisibles pour l'environnement même à des concentrations basses, moins que 0,1 mg/I (Abarnou et Miossec, 1992). C'est important de s'assurer que les concentrations en ammoniacque et en DCO résiduelle dans les effluents sont très basses. Rebhun (1997) a montré que le potentiel de formation d'halogènes organiques dissous est jusqu'à 4 fois plus bas dans un effluent complètement nitrifié en comparaison à un effluent contenant de l'ammoniacque. Une autre inquiétude importante est l'impact d'effluents chlorés sur les écosystèmes. Il est confirmé que la source majeure de toxicité aiguë dans les effluents chlorés est le chlore résiduel. Pour cette raison, la dechloration aux composés de S (IV) est souvent demandée sur de tels effluents. Historiquement, de la plupart des stations de traitement des eaux usées municipales ont utilisé le gaz de dioxyde de soufre pour la dechloration de leurs effluents. En plus d'être une toxine, le dioxyde de soufre a été récemment reconnu comme étant une substance cancérigène, à cet effet beaucoup de stations utilisent d'autres composés soufrés. Les solutions de bisulfite de sodium ordinaire sont actuellement utilisées, elles ont donné des résultats fiables de dechloration. Bien que la plupart des études toxicologiques ont montré que la dechloration réduit la toxicité des effluents chlorés, nous continuons toujours à avoir du chlore résiduel dans les effluents déchlorés dépassant les limites réglementaires EPA (Helz et Nweke, 1995). De plus, la dechloration augmente la salinité et consomme de l'oxygène dissous, exigeant parfois une aération supplémentaire. Les désavantages principaux de désinfection de chlore peuvent être résumés comme suit : (1) la production de sous-produits toxiques ; (2) inactivation pauvre de spores, de kystes et quelques virus aux dosages bas utilisés pour l'enlèvement coliforme ; (3) les règlements de sécurité rigoureux conduisent

à un investissement important pour protéger le système et les équipements de sécurité ; (4) le besoin d'augmenter la dechloration ainsi la désinfection coûte environ 2030%.

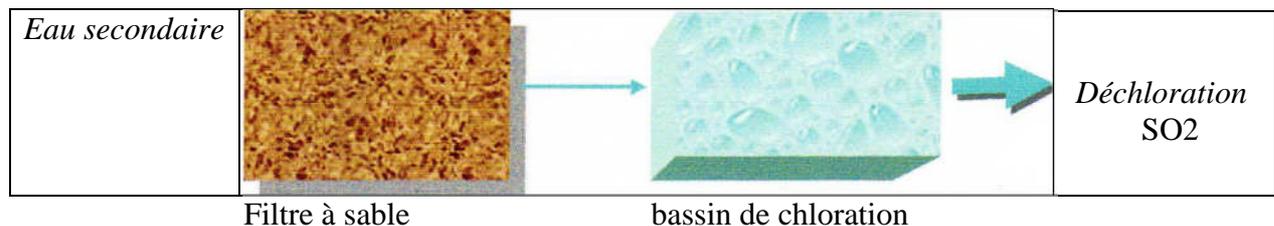


Figure II.10: schéma représente système de traitement tertiaire. *Chloration -déchloration*

II-5-2-IRRADIATION UV :

L'irradiation ultraviolette devient l'alternative la plus ordinairement utilisée par rapport à la chloration avec une efficacité de désinfection comparable. Elle est souvent plus efficace vis-à-vis des virus et des bactéries (EPA, 1992). Actuellement, des milliers d'installations à travers le monde pratique la désinfection ULTRAVIOLETTE utilisant les lampes à mercure à basse ou moyenne pression. Le succès de la technologie ULTRAVIOLETTE est principalement attribuable à son coût bon marché et à l'absence de dérivés toxiques dans l'effluent (Linden et al. 1998). Beaucoup d'études de grandes envergures ont démontrés que cette désinfection aux ULTRAVIOLETES peut atteindre régulièrement l'objectif des 200 FC/100ml (Braunstein et al. 1996, Lazarova 1997). De plus, quelques systèmes ULTRAVIOLETES industriels ont reçus l'accord de l'état de Californie pour atteindre le Titre 22 conditionné par 2,2 TC/100 ml.

Les données de désinfection obtenues sur divers types d'eaux usées ayant subi un traitement secondaire et tertiaire ont montré que des doses de rayonnement ULTRAVIOLET de 30-45 mW s/cm² étaient suffisantes pour éliminer jusqu'à log 3 à 5 les coliformes totaux et fécaux et les streptocoques fécaux. Les doses ULTRAVIOLETES exigées pour l'élimination de pathogène donné sont significativement influencées par la qualité des eaux usées. Dans plusieurs études (EPA, 1992, Mandra 1996, Wright et al., 1998), l'inactivation pathogène a été significativement diminuer avec l'augmentation de la concentration de solides en suspension dans l'effluent. L'effet de filtrage avant la désinfection était remarquable. Les effluents primaires, y compris les procédés primaires chimiquement améliorés exige des doses ULTRAVIOLETES considérablement plus élevée.

Il a été rapporté que la photo réactivation et la réparation en obscurité désavantagent la désinfection ULTRAVIOLETTE (Kashimada el al, 1996). Aucune relation n'a été observée entre la réparation et les solides en suspension ou la transmittance ULTRAVIOLETTE dans la gamme de 10-60 mg/I respectivement 10-80% (Whitby et Palmateer, 1993). Il est important de souligner qu'aucune réparation significative n'est observée pour les microorganismes présentant des risques de santé tels que les streptocoques fécaux, la Salmonelle et coliphages Somatique. Il n'existe pas de consensus entre les ingénieurs ni dans les agences régulatrices en ce qui concerne l'inclusion de réparation dans la conception de système ULTRAVIOLETTE.

Le manque de normalisation dans la détermination du dosage ULTRAVIOLET dans les systèmes ULTRAVIOLETES rend la conception très difficile et affecte la comparaison de résultats des différentes études. Les expériences dites « Collimated beam » sont une des méthodologies proposées pour le calibrage des ULTRAVIOLETES pour la désinfection d'un

effluent d'eaux usées donné (Tchobanoglous1996). Dans ce banc de test, l'échantillon d'eau est exposé au rayonnement ULTRAVIOLET, les conditions opératoires UV sont hautement-contrôlées. Par conséquent, la dose ultraviolette appliquée aux microorganismes peut être considérée comme uniforme. Ces résultats nous servent à ajuster les doses UV industrielle en tenant compte de l'âge des lampes et de leur l'encrassement, ainsi que des caractéristiques hydrodynamiques du réacteur. Le vrai comportement à l'échelle industrielle de grande envergure ne peut être directement déduit de ce genre de test. En effet, les réacteurs industriels n'émettent pas une seule dose « moyennes » en raison des variations spatiales des champs d'intensité et des vitesses. C'est pour cette raison que le calibrage de stations ultraviolettes industrielles est habituellement fait en se basant sur l'expérience ou les corrélations empiriques.

Les études existantes examinant la formation de dérivés de désinfection ULTRAVIOLETE dans les divers effluents ne montrent pas de changements significatifs dans la composition organique lors de l'irradiation de l'eau usée avec des lampes à basse ou moyenne pression. Une augmentation linéaire des concentrations en aldéhyde et formaldéhyde a été observé et a été expliqué par l'oxydation de glycérol dans la membrane cytoplasmique de lipide (Revêtu 1998). De nombreuses études ont rapporté que les coûts généraux de systèmes ULTRAVIOLETS sont similaires ou même inférieurs aux coûts de chloration/dechloration pour les stations de tailles de 20.000-1.000.000 eq.H (Lazarova 1997). Les coûts d'opération incluent le remplacement de lampe et leur nettoyage qui représente environ 50% de coûts annuels totaux. Pour les lampes basses pressions, les coûts d'énergie sont environ 15-20% des coûts d'opération. Les avantages majeurs de la désinfection ULTRAVIOLETE sont sa simplicité, son encombrement minimum et l'absence de dérivés toxiques.

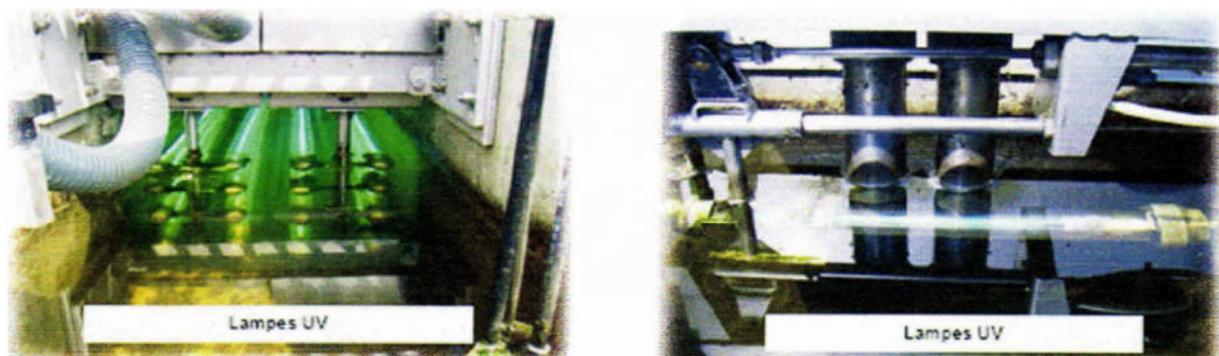


Figure II.11: vue d'une lampe UV

II-5-3-OZONISATION :

Développé en l'Europe pour le traitement d'eau potable depuis presque un siècle, l'ozonation est aussi utilisée pour la désinfection d'eaux usées depuis 1975 aux USA. L'ozone est un oxydant fort efficace dans la destruction de bactéries et de virus, ainsi que des kystes formant des parasites protozoaires tel que Giardia et Cryptosporidium qui sont particulièrement résistant à la plupart des autres désinfectants (Perrine, 1990). Malgré la complexité des mécanismes impliqués, il a été confirmé que l'ozone moléculaire dissous est principalement responsable de la destruction d'E. Coli dans l'eau potable.

Comme pour les autres procédés, la qualité des eaux usées à traiter influence extrêmement l'efficacité de l'ozonation. Les réactions parallèles ou secondaires contribuent à un besoin supplémentaire en ozone qui fait donc augmenter la «demande d'ozone». Les expériences conduites sur différents effluents ont menés aux valeurs de demande d'ozone qui s'étendent de quelques mg d'ozone/l d'eau pour le cas des effluents secondaires et tertiaires, jusqu'à plus de 10 mg/l pour un effluent primaire.

La conception d'unités de désinfection d'ozone est habituellement basée sur le concept de CT, produit de la concentration d'ozone résiduelle et du temps de contact hydraulique.

Aucun composé toxique n'a été trouvé dans un effluent secondaire ozonisé. Plusieurs études sur ozonation d'eaux usées ont rapporté une amélioration de la qualité de l'eau avec une réduction DCO d'environ 20% et une diminution de couleur (Lazarova 1997). Les données de littérature sur le potentiel de reconstitution après ozonation sont contradictoires. Cipparone et al. (1997) a rapporté l'augmentation substantielle du nombre de bactéries après ozonation, pendant que Lazarova et al. (1998) a montré qu'un effluent traité à l'ozone n'avantage pas la croissance d'E. Coli contrairement à la reconstitution significative observée dans un effluent désinfecté aux acides de chlore et per acétique. L'avantage principal de l'ozonation est la très haute efficacité de désinfection pour tous pathogènes s'y trouvant dans les eaux usées (les bactéries, les virus et les parasites). L'Ozonation améliore aussi la qualité de l'eau et est une solution acceptable pour les grandes stations de traitement et les conditions rigoureuses sur l'élimination de virus.



Figure II. 12: installation des équipements d'ozonation

II-5-4-FILTRATION PAR MEMBRANE :

La Microfiltration (MF) et l'Ultrafiltration (UF) sont intensivement étudiés en Europe et aux USA pour la désinfection d'eaux usées et l'élimination de colloïdes et de produits organiques à hauts poids moléculaires. Ces technologies sont basées sur un concept de barrière physique. A cause de la qualité supérieure de l'eau traitée, la filtration par membrane utilisée en Australie, Japon, et USA pour des applications de réutilisation spécifique, telles que le rechargement des nappes souterraines, recyclage des eaux brutes et des eaux usées industrielles recyclant » (Renaud 1997). De plus, l'absence de croissance bactérienne et de toxicité résiduelle peut constituer un avantage important par rapport aux autres procédés utilisés dans le domaine de la réutilisation. Les essais pilotes d'UF à membranes hydrophiles

(0,01 μm) réalisés sur différents effluents ont montrés l'élimination complète de coliformes, streptocoques, Salmonelle, Clostridium, virus et bactériophages entériques (Mandra 1993). Récemment, l'enlèvement de parasites et de virus de l'effluent tertiaire a été étudié sur un module MF (0,2 μm). L'UF et l'01 ont été utilisés pour le Projet de purification d'eau de San Diego (Adham 1998). Avec l'intégration de fibres UF l'élimination totale de virus a été régulièrement atteinte, tandis qu'avec la MF on obtient des effluents avec un log 0,1 à 3,2, l'exécution dépend fortement du comportement de la membrane (fouling). Des flux autour de 501/h.m² sont conventionnellement adoptés pour UF et MF. Cependant, les variations de qualité des effluents peuvent avoir pour résultat des changements dans la périodicité de nettoyage des membranes (Langlais1993). La désinfection à l'UF combinée avec le traitement biologique intensif dans un bioréacteur à membrane (MER a donné plein succès. Grace à sa construction compacte qui lui attribue un avantage certain. Cette technologie est très utilisée pour le traitement d'eaux usées urbaines ou industrielles destinées au recyclage ou récupération.

II-5-5-SELECTION DES PROCEDES DE DESINFECTION :

Le choix d'un procédé de désinfection donné est généralement basé sur plusieurs critères, tels que la rentabilité, la sécurité, l'impact écologique et la santé publique. Les procédures systématiques ne peuvent pas être utilisées pour faciliter le choix, parce que les contraintes spécifiques du site (les permis, la sécurité, la chaîne de traitement existante, etc.) prévalent dans beaucoup de cas. Cependant, les quelques tendances générales, les avantages et les désavantages peuvent fournir des indications serviables pour la sélection de procédé de désinfection. La bonne définition de critères appropriés pour le choix de procédé est très importante de nos jours, quand de nouveaux indicateurs ou pathogènes autre que les bactéries s'y trouvent dans les eaux usées et décharges (les virus, E. coli, etc). Le but de cette section est d'évaluer l'efficacité des procédés de désinfection décrits en se basant sur les caractéristiques des procédés choisis. Une étude générale technico-économique est basée sur deux facteurs; les objectifs de la désinfection et les paramètres de conception.

La procédure d'évaluation qui associe les hypothèses de coûts d'investissement et opération sont décrites en détails par Lazarova et al. (1997).

Tableau II.10: Comparaison des paramètres technico-économiques des technologies avancées de désinfection

Caractéristiques	Chloration/ déchloration	UV	Ozone	MF	UF
Criteres de securite	+	+++	++	+++	+++
Elimination de bacteries	++	++	++	+++	+++
Elimination de Virus	+	+	++	+	+++
Elimination de Protozoaires	-	-	++	+++	+++
Reconstitution bcteriele	+	+	+	-	-
Toxicité résiduelle	+++	-	+	-	-
Sous-produits	+++		+	-	-
Coûts Opératoires	+	+	++	+++	+++
Coûts d'invetissement	++	++	+++	+++	+++

"- " non; "+"bas ; "++" moyen ; "+++"

L'analyse de ces résultats montre que la chloration est un moyen fiable d'élimination de bactéries en respectant les règles conventionnelles de la désinfection d'effluents primaires, secondaires et tertiaires. Cependant, les dérivés toxiques peuvent présenter un risque pour la santé publique. Dans la plupart des cas, la présence de chlore résiduel représente une menace pour l'environnement (décharge dans les ruisseaux d'eau, recharge des nappes souterraines), la dechloration devient une nécessité qui augmente ainsi le coût global de la désinfection. De plus, l'efficacité du chlore sur quelques virus est discutable. Le protozoaire n'est pas affecté par les doses de chlore ordinairement appliquées et les temps de séjour.

Pour fabriquer économiquement de plus grandes quantités d'ozone, on se sert du déchargement électrique calme. Le produit de réaction se désagrège très rapidement dans l'oxygène moléculaire et atomique. Par conséquent, l'ozone ne peut pas être mis en bouteilles et transporté et doit être produit sur place.

L'ozone a un pouvoir oxydant fort. L'efficacité dépend de la quantité d'ozone, du temps de réaction, du chargement organique de l'eau à traiter et de la valeur du pH. Malgré tout, des produits d'oxydation indésirables (peroxyde, etc) peuvent résulter de l'oxydation. Sous des conditions favorables, des taux de réduction de 10^2 à 10^3 sont atteints avec des microorganismes et des virus. Des taux de réduction encore plus élevés peuvent être atteints avec la combinaison des UV; dans ce cas la consommation énergétique est plus importante, de ce fait les coûts augmentent.

En considérant des propriétés de l'ozone présentant un danger pour la santé, des mesures de sécurité suffisantes doivent être prévues pour les postes de travail dans le secteur des installations d'ozone.

On appelle microfiltration la séparation des particules dans un secteur de dimension de 0,02 à 10. On différencie la filtration statique et dynamique. Des gros problèmes pour la mise en marche des installations de microfiltration sont provoqués par des dépôts sur la membrane à cause des colloïdes et microorganismes qui conduisent à un colmatage du filtre et donc à une réduction du débit de filtrat. C'est la raison pour laquelle les filtres doivent être lavés à contre-courant et des produits chimiques doivent être utilisés.

L'ultrafiltration est une forme de filtration qui utilise des membranes pour séparer préférentiellement différents fluides ou ions. L'ultrafiltration n'est pas un procédé aussi fin que la nano filtration, mais elle n'exige pas autant d'énergie pour effectuer la séparation. L'ultrafiltration utilise également une membrane qui est partiellement perméable pour effectuer la séparation, mais les pores de la membrane sont en général beaucoup plus grands que les pores de membrane qui sont utilisés dans la nano filtration.

L'ultrafiltration est capable de concentrer des bactéries et quelques protéines. L'ultrafiltration n'est typiquement pas efficace pour séparer les coulées organiques.

En plus, la nanofiltration et l'ultrafiltration sont plus coûteuses en énergie et en maintenance que les autres possibilités de désinfection.

La fiabilité de désinfection ULTRAVIOLETTE est établie aussi bien pour la désinfection secondaire que tertiaire des effluents. Son avantage principal sur la chloration/déchloration est l'absence de toxicité et de dérivés, les coûts sont comparables. De plus, les systèmes ULTRAVIOLETS n'exigent pas de contrôle spécifique de sécurité et de l'équipement. Tous ces nombreux avantages de l'irradiation ULTRAVIOLETTE particulièrement favorable à la désinfection d'eau usée et aux diverses applications de réutilisation, plaident pour l'utilisation dans la STEP de Beni Messous.

Avec un coût légèrement supérieur, l'ozonation peut seulement être recommandée dans les grandes stations où sont ciblés les virus et/ou parasites protozoaires. Ceci n'est pas le cas ici puisque les microorganismes épidémiques tels que virus, Giardia et Cryptosporidium ne sont pas considérés dans les normes algériennes actuelles des eaux usées réutilisées dans l'irrigation.

La filtration par membrane est un procédé extrêmement efficace pour la désinfection d'eaux usées. L'excellente qualité des effluents le place comme procédé favorable aux applications de recyclage strictement contrôlées. Il est surtout adapté au rechargement des nappes où la reconstitution microbienne est basse, de même que la concentration en matières en suspension. Son désavantage principal est son coût relativement élevé, cependant c'est la seule technologie qui garantit la fiabilité, l'absence de toxicité et la désinfection totale exigée par les applications avancées telles que la réutilisation comme eau potable.

Pour toutes ces raisons nous devons écarter la solution de traitement par chloration-déchloration et opter pour le traitement par la technique des UV c'est la solution idéale pour traiter les effluents après un traitement secondaire et avant rejet en mer ou réutilisation.

Introduction :

Les eaux usées sont utilisées de plus en plus pour l'irrigation des champs agricoles dans les pays en voie de développement comme dans ceux industrialisés. Les principales raisons qui font que cette pratique d'usage d'eaux usées ne cesse d'augmenter sont :

- montée du manque ou rareté d'eau et tension,
- augmentation de la population mondiale,
- la disponibilité et la fiabilité d'eaux usées pour l'irrigation près des villes, et
- les efforts globaux pour l'atteinte des objectifs du développement Millénaire, surtout ceux qui assurent la durabilité écologique et l'élimination de la pauvreté et la faim.

Par rapport à la réutilisation et la récupération des eaux usées, les pays méditerranéens ont beaucoup de similitudes en matière de conditions climatiques, de disponibilité en ressources hydriques, conditions sociales et économiques qui sont spécifiques au fait que l'été est relativement long et la saison pluvieuse pendant l'hiver et le printemps plutôt courte.

Le manque d'eau causé par la sécheresse, l'activité intense du secteur de l'agriculture qui représente l'une des principales activités économiques, le manque de fond pour investissement et fonctionnement du secteur public (SEL, 2000) contribuent aussi en faveur de la réutilisation des eaux usées épurées.

Ainsi, une politique intense et responsable de réutilisation d'eaux épurées doit être pratiquée à grande échelle dans les pays méditerranéens, non seulement en raison du besoin croissant en eau dans l'irrigation, mais aussi de tels arrangements fournissent dans certains pays une opportunité « l'encouragement positif » d'investissement public dans le traitement d'eaux usées, les équipements de réduction de pollution et la maintenance continuellement de ces équipements.

III.1 Caractéristiques chimiques et physiques des eaux usées :

Les constituants importants dans l'eau usée sont donnés en tableau III-1. Il reste que pour une approche de gestion appropriée, les constituants principaux qui préoccupent les agriculteurs sont :

- **les matières solides** en suspension, puisque la filtration peut être nécessaire, en particulier avec des systèmes de micro-irrigation;
- **les nutriments** afin d'ajuster la fertilisation;
- **la salinité** afin d'estimer la fraction de lessivage et sélectionner les cultures les mieux appropriées;
- **les micro-organismes pathogènes** pour les mesures de précaution, en choisissant le modèle d'emblavement et le système d'irrigation appropriés.

III.2 ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DE REUTILISATION D'EAUX USEES DANS L'AGRICULTURE :

L'emploi des eaux usées dans l'agriculture est très ancien, les champs d'épandage ont constitué les premiers systèmes d'épuration. Le sol est un filtre efficace, un hectare peut contenir jusqu'à une ou deux tonnes de micro-organismes « épurateurs ». Aujourd'hui l'intérêt principal de la réutilisation des eaux usées en culture est plus souvent l'apport d'eau indispensable aux plantations que l'épuration par le sol ou l'apport d'éléments nutritifs.

Des dispositions doivent être prises pour éviter les dépôts et la corrosion dans le système de distribution et un traitement préliminaire de décantation des effluents bruts est dans tous les cas à conseiller. Un prétraitement biologique est aussi recommandé. Il permet, en particulier, de réduire sensiblement les risques d'odeurs voire d'accidents liés au dégagement de H₂S (bâche de stockage). Deux catégories de risques sont liées à cet usage des eaux usées :

-Les risques sanitaires concernant les travailleurs agricoles, les populations avoisinantes et les consommateurs de produits agricoles surtout frais. Suivant l'état sanitaire endémique local, les méthodes culturales, les habitudes de vie et les conditions climatiques, les risques sont différents. Cependant l'utilisation d'eaux résiduaires non traitées ou même après un traitement secondaire sur ou à proximité de végétaux à consommer crus est à écarter. L'utilisation d'eaux résiduaires sur les prairies de fauche ne semble pas poser de grands problèmes; il n'en est pas de même sur les prairies pâturées, pour l'arrosage des parcs récréatifs etc. Les cultures les plus adaptées sont l'arboriculture, les céréales, les betteraves et les oléagineux. L'épandage par irrigation est préférable à celui par aspersion (contamination élargie via aérosols). Les possibilités de réutilisation sont de plus en plus encadrées par des normes toutefois très variables d'un pays à l'autre (Faby J.-A. et Brissaud F. 1997).

-Les risques pour les sols et les cultures: colmatage du sol, accroissement de salinité, apport de toxiques. Les propriétés physiques du sol peuvent être modifiées par les pratiques d'épandage. La structure de sol argileux peut, en particulier, être détruite par un apport excessif de sodium et une absence de lessivage (en particulier dans les zones à trop faible pluviométrie). La connaissance du SAR (rapport d'absorption de sodium) de l'effluent est alors importante :

$$\text{SAR} = \text{NA} / \sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) / 2}$$

Il y a danger si le SAR approche 10; cela n'arrive en général que sous l'influence de rejets industriels concentrés (distilleries, sucreries, fromageries) ou en cas de contamination par de l'eau de mer.

Une trop forte salinité de l'effluent (1-2 g/l suivant les cultures) entraîne aussi des difficultés et conduit à un contrôle plus attentif des quantités d'eaux épandues et de l'évolution de la salinité du terrain de culture. Le drainage des terrains est alors nécessaire pour y éviter l'accumulation de sels (Faby J.-A. et Brissaud F. 1997).

Le rapport C/N reste essentiel pour les besoins culturaux. La relation N/P/K présente généralement un fort excès d'azote dans les effluents domestiques. Enfin, un des inconvénients de la réutilisation agricole peut être l'enrichissement de la nappe en nitrates (sauf après passage par une station avec nitrification et dénitrification).

Les eaux usées sont aussi utilisées pour l'arrosage de terrains de loisirs, golfs, parcs etc. Cet arrosage est fréquemment réalisé par aspersion. Le traitement nécessaire est alors poussé et

doit se terminer par une désinfection après élimination des matières en suspension et de la pollution organique (Faby J.-A. et Brissaud F. 1997).

Tableau III.1: Constituants d'intérêt spécial dans le traitement des eaux résiduaires et de l'irrigation avec des eaux usées traités

Constituants	Paramètres mesurés	Raison et intérêt du traitement
Matières en suspension	Matières en suspension y compris matières volatiles et fixes	Les solides en suspension peuvent mener au développement des dépôts de boue et de conditions anaérobies lorsque l'eau usée non traitée est rejetée dans l'environnement aquatique. Les quantités excessives de matières en suspension causent le colmatage des systèmes d'irrigation.
Matières organiques biodégradables	Demande biochimique en oxygène, demande chimique en oxygène	Composé principalement de protéines, d'hydrates de carbone et de graisses. Si elles sont rejetées dans l'environnement, leur décomposition biologique peut mener à l'épuisement de l'oxygène dissout des eaux réceptrices et au développement de conditions septiques.
Pathogènes	Organismes indicateurs coliformes totaux et fécaux	Les maladies contagieuses peuvent être transmises par les microbes dans l'eau usée : bactéries, virus, parasites.
Nutriments	Azote, Phosphore, Potassium	L'azote, le phosphore et le potassium sont les nutriments essentiels à la croissance des plantes et leur présence augmente normalement la valeur de l'eau pour l'irrigation. Une fois déchargés dans le milieu aquatique, l'azote et le phosphore peuvent mener à la croissance d'une vie aquatique indésirable. Déchargée en quantité excessive dans les sols, l'azote peut également mener à la pollution des eaux souterraines.
Matières organiques stables (réfractaires)	Composés spécifiques (phénols, pesticides, hydrocarbures chlorés)	Ces produits organiques résistent à des méthodes conventionnelles de traitement des eaux résiduaires. Quelques composés organiques sont toxiques pour l'environnement et leur présence peut limiter la convenance de l'eau usée pour l'irrigation.
L'activité de l'ion hydrogène	pH	Le pH des eaux usées affecte la solubilité des métaux et l'alcalinité des sols. La gamme normale de l'eau usée municipale est : $6,5 < \text{pH} < 8,5$ mais les eaux usées industrielles peuvent modifier le pH de manière significative.
Métaux lourds	Eléments spécifiques (Cd, Zn, Ni, Hg)	Quelques métaux lourds s'accumulent dans l'environnement et sont toxiques pour les plantes et les animaux. Leur présence peut limiter la convenance de l'eau usagée pour l'irrigation.
Matières minérales dissoutes	Matières totales dissoutes, conductivité électrique, éléments spécifiques (Na, Ca, Mg, Cl, B)	La salinité excessive peut endommager certaines cultures. Les ions spécifiques tels que le chlorure, le sodium, le bore sont toxiques pour certaines cultures. Le sodium peut poser des problèmes de perméabilité du sol.
Chlore résiduel	Chlore libre et combiné	Des quantités excessives de chlore libre disponible ($>5\text{mg/l}$ de Cl^2) peuvent causer des nécroses foliaires et endommager certaines cultures sensibles. Cependant, la plupart du chlore dans l'eau usée épurée est sous forme combinée et n'endommage pas les cultures. Quelques inquiétudes existent quant aux effets toxiques des matières organiques chlorées sur les eaux souterraines.

(Source : FAO, L'IRRIGATION AVEC DES EAUX USEES TRAITEES, 2003).

III.3 Critères de qualité biologique :

Les critères de qualité de l'eau usée traitée et les directives de son utilisation sont les bases essentielles d'une installation réussie de tout projet de recyclage d'eau usée traitée. La qualité microbiologique est le critère le plus important pour les ouvriers qui travaillent au champ ainsi que pour le public qui peut être exposé directement ou indirectement à l'eau usée épurée. Une réutilisation restrictive ou non restrictive peut être adoptée en fonction de la qualité microbiologique. Dans ce manuel, les critères microbiologiques de qualité ne sont pas développés. On suppose que chaque pays possède des directives et/ou règlements auxquels les agriculteurs doivent obligatoirement se conformer. Les agriculteurs doivent cependant être informés de ces directives comme de la qualité de l'eau usée qui leur est fournie, de façon à appliquer une gestion appropriée dans des limites de risques acceptables pour la santé et l'environnement. Les pays qui n'ont pas encore développé leurs directives nationales sont encouragés adopter celles de l'OMS (tableau III.2). Il est à noter que chaque pays devrait avoir ses propres directives et ses codes de bonnes pratiques.

Tableau III.2 : Directives de qualité microbiologique recommandée pour l'usage d'eau usée en agriculture

	Catégories		
	A	B	C
Conditions de réalisation	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics	Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B. si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés
Groupe exposé	Ouvriers agricoles et consommateurs public	Ouvriers agricoles	Néant
Nématodes intestinaux (nombre d'oeufs/litre) moyenne arithmétique	Maximum 1	Maximum 1	Sans objet
Coliformes intestinaux (nombre par 100 ml) moyenne géométrique	Maximum 1.000	Aucune norme n'est recommandée	Sans objet
Procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulue	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent	Rétention en bassins de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé d'élimination des helminthes et des coliformes intestinaux	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins sédimentation primaire

(Source : OMS, 1989)

III.4 Méthodes d'irrigation :

III.4.1 Méthodes (traditionnelles) de surface :

- irrigation par submersion (à la planche ou par bassin), humecte presque toute la surface du terrain
- Irrigation par tuyaux.
- Irrigation à la raie (ou par sillon), une partie de la surface du terrain est humectée.

Ces méthodes sont utilisées sur presque 95% des superficies irriguées à travers le monde. Elles sont peu coûteuses, simples à comprendre et à mettre en œuvre. Elles conviennent à beaucoup de pays en voie de développement, en particulier si l'eau n'est pas le facteur limitant pour la production agricole.

III.4.2 Méthodes d'irrigation sous pression :

III.4.2.1 Asperseurs : (asperseurs de capacité élevée, mini asperseurs ordinaires et asperseurs). Les cultures et le sol sont mouillés de la même manière qu'avec la pluie.

III.4.2.2 Goutte à goutte : (système d'irrigation ponctuel ou localisé). Les caractéristiques principales du système sont:

- efficacité élevée d'application. Si elle est employée correctement, c'est probablement la meilleure méthode d'irrigation dans les endroits où la pénurie de l'eau est un problème.
- méthode appropriée pour faire face aux problèmes associés à la salinité de l'eau d'irrigation et à l'alcalinité du sol.
- cette méthode est sûre et pourrait être la plus prometteuse pour l'irrigation avec l'eau usée, en particulier si le traitement est suffisant pour empêcher l'obstruction des orifices.
- le contact de l'eau usée avec les agriculteurs et les cultures irriguées est réduit au minimum.
- aucun aérosol ne se forme et, en conséquence, aucune pollution de l'atmosphère et de la zone proche des champs irrigués ne se produit.

III.4.2.3 Irrigation souterraine : Ce système n'est pas encore employé avec l'eau usée, mais il pourrait être utile pour irriguer avec de l'eau usée de mauvaise qualité et à risque sanitaire élevé. L'irrigation souterraine et l'irrigation localisée peuvent assurer une meilleure protection sanitaire. (Faby J.-A. et Brissaud F. 1997).

III.5 Choix du système d'irrigation :

Le choix du système d'irrigation approprié dépend de la qualité de l'eau usée, de la culture, des coutumes, de l'expérience, de la compétence, de la capacité des agriculteurs à gérer les différentes méthodes et du risque potentiel sur l'environnement et sur la santé des agriculteurs et du public. Le tableau 19 qui évalue la convenance des méthodes d'irrigation, à savoir, la planche, la raie (ou sillon), l'aspersion, le goutte à goutte, par rapport à l'eau saumâtre est également valable pour l'eau usée traitée, en particulier en ce qui concerne la salinité. Les problèmes de colmatage des asperseurs, des mini asperseurs, des goutteurs et des systèmes d'irrigation souterrains peuvent être sérieux. Son développement (dépôts biologiques, bactéries, etc.) dans les asperseurs, les orifices d'émission ou les canalisations d'alimentation, produit le colmatage. Les sels et les solides en suspension peuvent également produire le colmatage. Le colmatage le plus sérieux se produit avec l'irrigation goutte à goutte, qui est considérée comme le système idéal en ce qui concerne la protection sanitaire et la contamination des plantes, mais pourrait être difficilement utilisable si l'eau usée contient de fortes concentrations de matières en suspension (MES). (Faby J.-A. et Brissaud F. 1997).

III.6 La réutilisation des eaux usées épurées dans le bassin méditerranéen :

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.

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. La réglementation y est très stricte et inspirée du modèle californien. La région Dan en Israël est concernée par un projet de très grande ampleur de réutilisation indirecte des eaux usées. L'eau à traiter provient de la ville de Tel-Aviv et des municipalités voisines. Ce projet concerne 1,3 millions de personnes. La méthode de recharge des eaux souterraines, développée et pratiquée avec succès dans le projet de la région Dan, est apparentée à un traitement par infiltration dans le sol (FAO, (1985)).

En **Tunisie**, si la demande en eau ne devrait théoriquement rejoindre les disponibilités qu'en 2015, on constate déjà que 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 de culture de citrons. En effet, les eaux du sous-sol contaminées par des intrusions d'eau salée n'étaient plus de qualité suffisante pour l'irrigation de ces cultures. Ainsi, la réutilisation avait permis de sauver 600 hectares de cultures. Basé sur l'expérience de La Soukra, une ambitieuse politique de réutilisation des eaux usées est mise en place depuis les années 80. La Tunisie est le premier pays de l'Ouest Méditerranéen à avoir adopté des réglementations en 1989 pour la réutilisation de l'eau. Ce sont le Ministère de l'Agriculture et l'autorité sanitaire (ONAS) qui ont en charge la recherche de moyens pour améliorer l'efficacité de la politique nationale de réutilisation de l'eau. Une analyse technico-

économique a conclu qu'à la vue des conditions locales, les bassins de maturation devraient être préférés aux rayonnements ultraviolets, à la chloration et à la filtration comme traitement de désinfection (FAO, (1985)).

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. Les eaux usées traitées sont donc utilisées pour irriguer les arbres fruitiers (citrons, olives, pêche, pommes, poires...), les vignobles, les fourrages (sorgho, luzerne), le coton, le tabac, les céréales, les terrains de golf (Tunis, Monastir, Hammanet, Sousse) et des jardins d'hôtel à Jerba et Zarzis. Le contrôle de la qualité des eaux réutilisées concerne les paramètres physico-chimiques une fois par mois, les éléments traces tous les six mois et les œufs d'helminthes toutes les deux semaines. Mais l'efficacité de la politique tunisienne dépend du développement du secteur agricole. Celui-ci se met progressivement à jour, ce qui augmente la demande en eau (FAO, (1985)).

En **Grèce**, la ville d'Athènes a développé en 1996 une stratégie de réutilisation des eaux usées traitées. La réutilisation est une solution particulièrement attractive vu les difficultés d'approvisionnement en eau rencontrées ces dernières années. Les différentes alternatives étudiées sont celles les plus fréquemment appliquées dans les programmes de réutilisation des eaux usées urbaines à travers le monde (FAO, (1985)).

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. L'estimation de l'utilisation des eaux usées traitées pour l'alimentation des chasses d'eau ne devrait pas voir sa part progresser (6.2%). En effet, en bord de mer, le pompage excessif des eaux souterraines conduit à des intrusions salines dans la nappe. Enfin, cela devrait permettre une promotion des espaces verts à Athènes car les ressources existantes ne sont généralement pas suffisantes pour de tels usages.

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, à Majorque, en Catalogne espagnole. Ainsi, furent publiés en 1991 les résultats et les conclusions d'un suivi d'une réutilisation d'eaux usées urbaines épurées et traitées par le chlore dans le cadre de l'irrigation d'un parcours de golf à Castell Platja d'Aro sur la Costa Brava (FAO, (1985)).

III.7 Recyclage des eaux usées urbaines pour l'irrigation des forêts et des arbres :

L'augmentation constante des quantités d'eau utilisée et d'eaux usées produites par les communautés urbaines et les industries dans le monde présente des risques pour la santé et l'environnement. Les pays s'efforcent de trouver des moyens sûrs, respectueux de l'environnement et rentables pour traiter et éliminer les eaux usées. Parallèlement, on s'intéresse davantage au rôle que la sylviculture traditionnellement rurale peut jouer dans

l'amélioration de l'environnement urbain et périurbain. On peut concilier ces deux préoccupations, notamment en recyclant les eaux usées urbaines (à la fois les eaux d'égout et les effluents industriels) pour irriguer des forêts, des plantations forestières, des espaces verts et des arbres d'agrément (Vincent DUPIN, 1983)

Le recyclage des eaux usées pour l'irrigation est probablement aussi ancien que l'agriculture elle-même, mais leur utilisation contrôlée à grande échelle ne remonte qu'au siècle dernier, lorsqu'ont été créés les fameux champs d'épandage² en Europe, en Australie, en Inde et aux Etats-Unis, afin d'évacuer les eaux usées et de lutter contre la pollution des rivières. Même si des cultures étaient produites dans ces champs d'épandage, la production agricole était secondaire. Il y a aussi des exemples de champs d'épandage où des plantations d'arbres étaient irriguées par les eaux usées, telles que l'établissement d'El-Gabal El-Asfar situé à environ 30 km au nord-est du Caire. A l'origine, une plantation d'arbres de 200 ha a été créée en 1911 pour éliminer les eaux d'égout de la ville. Au milieu des années 80, la forêt a été transformée en zone de production d'agrumes, de céréales et de légumes. La superficie agricole était entre-temps passée à 1 260 ha. (Vincent DUPIN, 1983)

Dans certains cas, on entend par «champs d'épandage» des stations d'épuration des eaux usées. Mais l'utilisation commune de ce terme suggère la présence d'une exploitation agricole conçue pour éliminer les eaux usées grâce à l'irrigation de cultures et parfois d'arbres.

Au cours de ce siècle, et en particulier depuis une vingtaine d'années, l'irrigation des cultures avec les eaux usées des villes est devenue une pratique plus courante, surtout dans les zones arides et semi-arides des pays développés et des pays en développement. Le recyclage contrôlé des eaux usées, traitées ou non traitées, en irrigation est maintenant largement pratiqué en Europe, aux Etats-Unis, au Mexique, en Australie, en Chine, en Inde et au Proche-Orient et, dans une moindre mesure, au Chili, au Pérou, en Argentine, au Soudan et en Afrique du Sud (Bartone et Arlosoroff, 1987). En Chine, par exemple, plus d'1,33 million d'hectares, essentiellement de terres cultivées, sont irrigués avec des eaux usées. Le plan de recyclage des eaux usées de la ville de Mexico est le plus grand du monde (90 000 ha irrigués) et cette pratique existe dans tout le pays dans la plupart des villes équipées d'un réseau d'assainissement. L'épandage des effluents traités se pratique couramment dans les zones sèches des Etats-Unis; par exemple, 7 à 8 pour cent du volume total des eaux usées urbaines produites dans l'Etat de Californie est recyclé par l'agriculture, l'irrigation des espaces verts (terrains de golf, pelouses, plantations en bords de route, etc.) et pour reconstituer la nappe aquifère. L'Inde disposait en 1988 de 73 000 ha de champs d'épandage, dont la gestion n'était toutefois pas rigoureuse et qui présentaient des risques pour la santé et l'environnement. Depuis 20 ou 30 ans, plusieurs programmes de recyclage des eaux usées par l'irrigation de cultures et d'espaces verts (parcs, bords de route, terrains de jeu, terrains de golf, etc.) ont été lancés au Proche-Orient et dans certaines zones d'Afrique du Nord, à la fois pour évacuer efficacement les eaux usées et pour conserver et recycler l'eau (voir encadré).

Tandis que les eaux usées servent couramment à irriguer des cultures et des espaces verts dans de nombreuses régions, leur utilisation pour l'irrigation des arbres est beaucoup moins étudiée et exploitée. L'irrigation des arbres d'ombrage et d'agrément (le long des rues) et des espaces verts des villes avec des effluents traités transportés par camions-citernes se pratique dans certaines villes (notamment au Caire, à Téhéran et ailleurs au Proche-Orient, en Inde et aux Etats-Unis); on peut trouver dans la documentation publiée des exemples d'utilisation des

affluents pour la sylviculture de production. Par exemple, certaines communautés d'Égypte utilisent des eaux usées ou des eaux ayant subi un traitement primaire pour irriguer des parcelles boisées. Les essences le plus couramment utilisées sont *Casuarina glauca*, *Eucalyptus camaldulensis* et *Tamarix aphylla*. Celles-ci permettent de couvrir les besoins locaux de bois de feu et de fabriquer des poteaux à vendre sur les marchés locaux (El-Lakany, 1995).

Dans l'ensemble, toutefois, le recyclage des eaux usées pour irriguer des plantations d'arbres ou des forêts est encore relativement limité et il s'agit le plus souvent d'évacuer et de traiter des eaux usées plutôt que de favoriser les productions forestières. (Vincent DUPIN, 1983)

III.7.1 Avantages du recyclage des eaux usées en irrigation :

Le recyclage des eaux usées urbaines en irrigation offre de nombreux avantages, y compris l'épuration et l'élimination sûres et peu coûteuses des eaux usées; la conservation de l'eau et la recharge des réserves de la nappe aquifère; et l'utilisation des éléments fertilisants que contiennent les eaux usées à des fins productives. On peut aussi avec profit irriguer des arbres avec les eaux usées. Lorsque l'eau est relativement abondante, l'irrigation des cultures ou des plantations d'arbres servira principalement au traitement et à l'évacuation des eaux usées. Dans les zones arides et semi-arides, la recharge de la nappe aquifère, l'arboriculture et les productions végétales peuvent devenir primordiales. (Vincent DUPIN, 1983)

III.7.2 Utilisation des éléments fertilisants à des fins productives :

Les eaux usées et même les affluents issus du traitement secondaire sont riches en éléments minéraux nécessaires à la croissance des plantes (azote, phosphore, potassium et oligoéléments). Des expériences ont montré à maintes reprises la productivité accrue des cultures ou des arbres lorsqu'ils sont irrigués avec des eaux usées par comparaison avec de l'eau propre. Ces éléments fertilisants sont une ressource extrêmement précieuse si on les compare aux coûts correspondants des engrais. L'application d'eaux usées à des taux qui respectent l'équilibre entre les apports d'éléments fertilisants et les quantités exportées par les plantes assurera une croissance optimale des végétaux tout en limitant les risques de pollution. Des calculs ont été effectués en Australie sur les apports d'éléments fertilisants et leur utilisation par les plantations d'arbres irriguées avec des eaux usées (CSIRO, 1995). Comme la teneur en azote des affluents se situe entre 10 et 30 mg/litre (moyenne 20 mg/litre) et la teneur en phosphore (P) entre 4 et 10 mg/l (moyenne 7 mg/litre), dans l'hypothèse d'un taux d'application moyen annuel d'eaux usées de 8 000 m³/ha, l'apport total en azote (N) est de 160 kg/ha/an et en phosphore (P) de 56 kg/ha/an. Une jeune plantation qui se développe rapidement peut exporter jusqu'à 120 à 150 kg de N/ha/an et environ 12 kg de P/ha/an; par conséquent, des concentrations suffisantes de ces éléments fertilisants seront disponibles pour une croissance potentielle maximale. L'équilibre est atteint entre les apports et les exportations d'azote qui, sous forme de nitrates, est mobile et crée un très grand risque de lessivage et de contamination des eaux souterraines. L'excès de phosphore sera retenu dans le sol et ne crée pas de risque de pollution. (Vincent DUPIN, 1983)

III.7.4 Recyclage des eaux usées urbaines pour l'irrigation forestière

Le recyclage des eaux usées urbaines pour l'irrigation de forêts ou de plantations d'arbres est encore relativement limité. Une recherche sérieuse, bien conçue et systématique sur la question reste à mener. Il existe toutefois quelques exemples de recherche qui permettent d'illustrer le parti que l'on pourrait tirer des eaux usées pour l'irrigation des forêts et les situations qui s'y prêtent.

Des études pilotes sur le recyclage des eaux usées urbaines après traitement sur des terrains forestiers pour purifier l'eau et recharger la nappe aquifère ont été menées en Pennsylvanie centrale aux Etats-Unis de 1963 à 1977 (Sopper dans FAO, 1978). Des eaux usées qui avaient subi un traitement secondaire ont été répandues sur trois sites forestiers différents: un peuplement mixte de feuillus composé essentiellement de chênes (*Quercus* spp.), une plantation de pins rouges d'Amérique (*Pinus resinosa*) et une plantation éparse d'épicéas canadiens (*Picea glauca*). Différents taux d'application ont été employés, allant de 2,5 à 15 cm par semaine, sur des durées variables allant de 16 semaines en période de végétation à la totalité des 52 semaines de l'année. La composition chimique des eaux usées était comparée aux concentrations présentes dans le sol et dans l'eau du sol. Les résultats ont montré que l'irrigation contrôlée des forêts avec jusqu'à 2,5 cm/ha d'affluents par semaine pendant un an permet effectivement d'éliminer par filtrage l'azote, le phosphore et d'autres éléments, la qualité de l'eau devenant acceptable pour la boisson; au taux d'application de 15 000 m³/ha/an (environ 2,5 cm par semaine), 95 pour cent des eaux usées rejoignent le réservoir de la nappe aquifère; et les éléments fertilisants présents dans les eaux usées accélèrent la croissance des arbres (mesurée en diamètre) de 80 à 186 pour cent. Ces résultats montrent que les eaux usées urbaines peuvent être recyclées grâce aux écosystèmes forestiers et redevenir de l'eau de boisson, recharger les réserves d'eaux souterraines et accélérer la croissance des arbres.

Un modèle d'épuration des eaux usées similaire à celui testé en Pennsylvanie a été adopté dans certaines régions d'Espagne; par exemple, dans des communautés situées le long du Río Cinca dans la municipalité de Monzón (Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, pas de date; Navarro, 1977). A partir de 1955, un programme de reboisement avec des peupliers (*Populus euroamericana*) arrosés avec l'eau de la rivière a été mené sur 14 ha pour stabiliser les berges du Río Cinca et contenir les eaux de crue. Depuis le début des années 60, cette plantation est irriguée exclusivement avec des eaux usées non traitées. Les peupliers, qui sont l'essence la plus adaptée, qu'il s'agisse de l'exportation d'éléments fertilisants, de leur capacité de résister aux inondations en hiver et de la production économique de bois, sont cultivés en rotations de 12 ans pour la production de bois. Ce système est adopté ailleurs en Espagne.

L'Australie a aussi de plus en plus recours aux épandages pour éliminer de manière productive et sans danger les eaux usées ayant subi un traitement secondaire, car leur rejet dans les rivières a provoqué la prolifération d'algues et l'eutrophisation par endroits. Les plantations d'arbres éliminent efficacement l'azote et le phosphore des affluents traités avant que ceux-ci ne rejoignent la nappe aquifère et elles contribuent en outre aux espaces verts en Australie et aux industries forestières locales. La superficie des plantations d'arbres irriguées par des eaux usées est passée de 500 ha en 1991 à environ 1 500 ha en 1995. Il existe à l'heure actuelle plus de 60 plantations irriguées de cette manière dont la superficie varie de un

à plusieurs centaines d'hectares (CSIRO, 1995). Malgré l'augmentation rapide de la superficie des plantations irriguées par des eaux usées, il reste encore beaucoup à apprendre sur la gestion optimale des systèmes afin d'assurer la sécurité de l'environnement et les meilleurs rendements économiques.

Des études systématiques sur l'irrigation des plantations forestières avec des eaux usées ayant subi un traitement secondaire sont menées par le CSIRO dans le cadre d'un projet de recherche de six ans (1991-1997) à Wagga Wagga dans le bassin des fleuves Murray et Darling en Nouvelle-Galles du Sud. Des données sont rassemblées sur les taux d'arrosage et l'accumulation d'éléments fertilisants par diverses variétés d'arbres, la variation saisonnière des besoins en eau et de la croissance des arbres, les risques de contamination des eaux souterraines, le caractère durable et la rentabilité économique des plantations.

III.7.4.1 Une plantation de peupliers irriguée avec des eaux usées, en Inde :

En Inde, qui produit chaque jour 10 milliards de litres d'eaux usées domestiques, 37 pour cent seulement des eaux subissent un traitement primaire et 8 pour cent seulement un traitement secondaire. La plupart des villes de l'intérieur épandent environ les deux tiers de leurs eaux usées dans les champs. (Vincent DUPIN, 1983)

Diverses agences officielles en Inde ont effectué des travaux sur le recyclage des eaux usées par l'irrigation de plantations d'arbres (Shende *et al.*, 1988; Das et Kaul, 1992). Parmi ces travaux, on retiendra les études lancées en 1981 par l'Institut central de recherche sur la salinité des sols à Karnal (Etat du Haryana) pour évaluer les qualités des eaux usées non traitées pour irriguer des forêts (CSSRI, 1989). Trois essences forestières ont été testées: *Eucalyptus tereticornis*, *Populus deltoides* et *Leucaena leucocephala*. Les arbres ont été plantés sur des bilions de 1 m de large et de 50 cm de haut et arrosés avec des eaux usées non traitées déversées dans des tranchées peu profondes de 2 m de large. La quantité d'eau utilisée a été adaptée à l'âge et à la variété des arbres et pour assurer que l'eau ne stagne pas plus de 12 à 18 heures afin d'éviter les mauvaises odeurs, la prolifération des moustiques et l'engorgement. Trois irrigations (15 cm d'eaux usées chaque jour, 15 cm d'eaux usées tous les 15 jours, 15 cm d'eaux usées par mois) ont été testées et comparées à un témoin (15 cm d'eau de puits par mois). Les expériences se sont poursuivies pendant cinq ans et ont donné les résultats ci-après:

- Pour les trois essences, les arbres arrosés une fois par mois avec des eaux usées ont poussé plus vite que ceux arrosés avec de l'eau de puits à la même fréquence: les eucalyptus avaient une croissance supérieure de 6 % à 48 mois; les leucaena mesuraient 12 % de plus à 36 mois; et les peupliers 4 pour cent de plus à 24 mois.
- Une croissance plus rapide a été obtenue avec des arrosages fréquents; les eucalyptus et les leucaena ont poussé le plus vite avec des arrosages tous les 15 jours et les peupliers avec un arrosage quotidien (Vincent DUPIN, 1983).

Bien que les arbres n'aient manifesté aucun symptôme négatif en cinq ans du fait d'un apport massif en éléments fertilisants, les effets à long terme de l'irrigation avec des effluents non traités sur les sols ne sont pas vraiment connus. Des recherches apparentées menées par l'Institut national indien de recherches techniques sur l'environnement (NEERI) ont montré que les cultures soumises à des irrigations prolongées avec des eaux usées non traitées avaient des rendements inférieurs aux cultures irriguées avec des effluents primaires ou

secondaires, d'où la recommandation de faire séjourner les eaux usées dans des bassins d'oxydation/décantation et/ou des lagunes d'aération avant l'épandage. Il faut donc poursuivre les recherches sur les effets de la surcharge en éléments fertilisants et de la gestion des systèmes eaux usées-sols-cultures, et les espèces à irriguer doivent être choisies avec soin.

III.7.4.2 L'expérience de la forêt de Cogolin en France :

En région méditerranéenne, deux des questions les plus difficiles auxquelles sont confrontées les collectivités locales sont la prévention des incendies de forêt et l'élimination des eaux usées. L'installation de Cogolin est la première tentative faite en France dans la valorisation des eaux usées par l'irrigation en forêt. Les eaux utilisées pour l'irrigation sont les effluents de la station de Cogolin qui ont subi un traitement par boues activées en aération prolongée ainsi qu'une double filtration (par tamis de 180 à 120 microns successivement). Les méthodes d'irrigation utilisées sont l'aspersion et la micro-irrigation (irrigation localisée). Ainsi, l'irrigation de la forêt méditerranéenne avec des eaux usées contribue à la résolution de deux graves problèmes :

- D'une part, elle induit une diminution de la pollution des eaux douces ou marines due aux effluents de la station d'épuration (problème particulièrement aigu en été où coïncident maximum de population et étiage des cours d'eau)
- et en favorisant la croissance rapide d'arbres préexistants ou plantés. Ceux-ci atteignent plus rapidement le stade où leur couvert est suffisamment élevé et sombre pour constituer un pare-feu arboré non combustible (Marcel CADILLON et al, 1986).

III.8. Conclusions :

Il y a de bonnes raisons d'examiner de plus près la possibilité d'irriguer des forêts et des plantations d'arbres avec les eaux usées. Il s'agit notamment de facteurs sanitaires (risque réduit de contamination des cultures vivrières par des agents pathogènes ou des métaux lourds), de considérations écologiques (développement des espaces verts et autres plantations forestières urbaines et périurbaines), d'avantages économiques (valeur des produits forestiers et des services liés à un meilleur environnement - généralement sous-évalués) et préoccupations d'ordre social et esthétique. Avec la forte demande, dans de nombreuses villes en développement, de bois de feu et de matériaux de construction pour un nombre croissant de citadins à faible revenu et l'augmentation des prix du bois sur le marché, tous ces facteurs ont suscité un intérêt croissant pour les plantations d'arbres irriguées avec les eaux usées.

Dans ce contexte, certains pays ont commencé des recherches. Celles qui ont été menées sur les plantations d'arbres irriguées avec des eaux usées montrent dès à présent que c'est une solution économique de traitement et une utilisation productive des eaux usées, à condition que des terres soient disponibles. Comme pour l'irrigation de n'importe quelle culture, cependant, il y a un certain nombre de critères et de gestion à respecter. Les arbres diffèrent des productions agricoles du fait de leur nature pérenne et, pour certaines essences et produits, de la longueur de la rotation; de leurs besoins en eau et en éléments fertilisants; des utilisations finales; de la sensibilité à la toxicité des minéraux et à la salinité; et d'autres facteurs. Il faut mettre au point des techniques d'irrigation adaptées et des normes pour la qualité de l'eau destinée à l'irrigation des arbres.

Introduction

Dans ce chapitre, il s'agit de faire une évaluation qualitative et quantitative de la charge polluante issue des effluents de la STEP de BENI MESSOUS. Pour cela, nous avons procédé aux analyses des différents paramètres de pollution.

IV.1. Prélèvement et échantillonnage :

Les prélèvements ont été effectués dans des bouteilles propres, rincées plusieurs fois avec de l'eau à analyser, ces bouteilles ont été conservées dans une glacière et acheminer vers les laboratoires d'analyse.

Plusieurs campagnes de prélèvements ont été effectuées pour l'analyse des eaux usées épurées de la STEP de BENI MESSOUS. Les prélèvements ont été effectués sur une période d'un mois à raison de deux prélèvements par jour.

IV.2. Résultats analytiques et interprétations :

a) Résultats des analyses :

Les résultats d'analyses des principaux paramètres sont enregistrés dans les tableaux suivants :

Tableau N°IV.1: Paramètres physicochimiques des eaux usées a la sortie de la STEP :

Paramètres analysés	Unités	E1	E2	E3	E4	E5
PH	-	7,33	7,29	7,32	7,31	7,22
TAC	F°	28,4	28	28,2	28,4	28,8
DBO5	mgo2/l	20	10	10	10	10
DCO	mgo2/l	60	50	70	60	40
MES a150°c	mg/l	10	10	20	18	14
N Total	mg/l	2,14	3,15	Trace	Trace	12,3
P Total	mg/l	1,76	1,91	1,83	1,67	1,61
Chlorures	mg/l	205,9	198,8	191,7	184,6	198,8
Potassium	mg/l	16,16	15,65	16,32	15,81	15,5
Calcium	mg/l	130,66	128,65	129,05	128,25	129,85
Magnésium	mg/l	30,13	32,07	31,1	31,59	31,59
Sodium	mg/l	143,9	143,9	132,55	132,55	133,33

(Source la SEAAL, CNTC)

Suite tableau N°IV.1: Paramètres physicochimiques des eaux usées à la sortie de la STEP

Paramètres	Unités	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13
PH	-	7,29	7,19	7,22	7,29	7,3	-	-	-
TAC	F°	28,4	28,6	28,8	28,6	28,8		-	-
DBO5	mgo2/l	20	20	20	10	10		-	21
DCO	mgo2/l	30	35	30	40	30	<30	<30	<30
MES a150°c	mg/l	18	4	2	10	8	53,75	73,75	36,5
N Total	mg/l	9,8	4,9	8,5	8,32	6,59	1,12	1,12	1,45
P Total	mg/l	1,76	2	2	1,4	1	-	-	-
Chlorures	mg/l	205,9	213	205,9	213	205,9		-	214
Potassium	mg/l	14,5	15	15	13,33	13,33	15	15	8,57
Calcium	mg/l	129,05	127,45	126,65	127,45	126,65	129,85	121,04	125,04
Magnésium	mg/l	31,59	31,1	30,07	31,1	30,07	25,75	30,61	31,1
Sodium	mg/l	133,33	133,33	133,33	166,66	166,66	166,66	166,66	133,33

(Source la SEAAL, CNTC)

Avec: CNTC: Centre National des Technologies et du consulting
SEAAL: Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger

Tableau N°IV.2: Résultats des analyses des eaux usées à la sortie de la STEP (*Source* SEEAL_CNTC)

<i>Paramètres</i>	Unités										Les moyennes	Norme FAO	Observation
<i>analysés</i>		E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22			C/NC
PH	-	-		-		-	8,4	8,26	7,96	7,97	7,53	6,5-8,4	C
Température	°C	-	-				25,8	26	24,5	25	25,3		-
Conductivité	µs/cm	-		-	-	-	1514	1472	1439	1475	1475	700-3000	C
TH	Mg/I	-	-	-	-	-	40	41	40	39,5	354,3	-	-
TAC	F°	-	-	-	-	-	24	25	24	24	27,28		-
Turbidité	NTU	-	-	-	5,54	2,99	3,2	3,5	4,5	3,5	3,87	5.2 (USEPA)	NC
DBO ₅	mg d'O ₂ /I	20	0	0	5	6	25	23	25	23	14,35	10 (USEPA)	NC
DCO	mg d'O ₂ /I	<30	<30	<30			58	59	65	59	43,3	-	-
MES à 105 °C	mg/I	22,5	62,5	83,75	-	-	3,17	5,77	6,08	5,77	23,37	-	-
NH ₄ '	mg/I	-	-	-		-	22	16,3	20	18	19		-
Nitrate	mg/I	0,19	0,125	0,242	0,2	0,11	49	47	51,24	45	19,33	mag-30	C
Nitrite	mg/I	-	-	-	-	-	13,5	9	11	7,34	10,21		-
N Total	mg/I	1,06	1,26	1,28	-	-	23,16	21,65	24,8	21,65	7,71	40	C
P Total	mg/I	-	-	-			11,67	17,06	22,14	17,06	5,95	10	C
Chlorures	ring/l	213	177,5	184,6	191,7	184,6	170	175	165	175	193,6		-
Potassium	mg/I	8,57	15	15	16	16	16,2	12	16,4	17	14,6	30	C
Calcium	mg/I	125,04	121,0	120,2	120,24	119,4	115	111	119	120	124,11	-	-
Magnésium	mg/I	31,1	29,16	29,46	32,07	32,56	30	29	32,4	29,8	30,61		-
Sodium	mg/I	133,33	166,6	166,6	166,66	166,6	146	138,8	150	153	148,81	-	-
Sulfates	mg/I						177	176	164	173	172,5		

Tableau N°IV.3: Paramètres bactériologiques des eaux usées épurées de la STEP de beni Messous: (*Source* SEAAL-CNTC)

Paramètres analysés	Unités	E"1	E"2	E"3	E"4	E"5	E"6	E"7	Les moyennes	Norme OMS	Observation C/NC
Germes aérobies mésophiles à 37°	NPP/1m1		1287	321	438	720	1060	1054	813	-	-
Germes aérobies mésophiles à 22°	NPP/1m1		2888	1300	740	1004	1356	2390	1613	-	-
Coliformes totaux	NPP/I	1610	2300	2300	2200	3760	4230	6940	2343	≤10.00	C
Coliformes fécaux	NPP/100 ml	20	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	1	11	≤_1000	C
Streptocoques D	NPP/50m1	-	Absence	-	-						
Salmonella	NPP/25m1	-	Absence	-	-						
Clostridium.S.R	NPP/20m1	-	3	3	6	8	-	-	5	-	-
CEufs d'helminthes	NPP/11	-	0	0	0	0	0	1	1	≤0,1	NC

Tableau N°IV.4: Résultats d'analyses Métaux Lourds : *Source:*(SEAAL-CNTC)

Paramètres analysés	Unités	E'1	E'2	E'3	E'4	E'5	moyennes	Norme FAO	Observation C/NC
Fer	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	0,088	0,062	0,06	5	C
Manganèse	mg/l	<0,04	<0,04	<0,04	0,021	0,021	0,03	0,2	C
Zinc	Mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	trace	trace	0,006	0,2	C
Cuivre	mg/l	<0,04	<0,04	<0,04	trace	trace	0,024	0,2	C
Chrome	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	Trace	trace	0,03	0,1	C
Cadmium	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03	trace	trace	0,018	0,01	C
Plomb	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10	Trace	trace	0,06	5	C
Co	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	Trace	trace	0,03	0,05	C
Ni	mg/l	<0,06	<0,06	<0,06	0,013	trace	0,038	0,2	C

Avec : C: Résultat conforme à la valeur exigée

NC: Résultat non conforme à la valeur exigée

b) *Interprétation des résultats :*

b.1. Paramètres physico-chimiques:

Les résultats des analyses physico-chimiques des effluents épurées de la STEP de BENI MESSOUS, qui enregistrés au niveau du canal venturi, peuvent être interprétés comme suite :

- **Température:**

La température moyenne de l'effluent épuré se situe autour de 25,3°C. Cela indique que l'eau à la sortie de la station est dans des conditions optimales de Température.

Des températures extrêmes <8°C et >35°C peuvent avoir une influence négative sur la vie des microorganismes, en particulier lors des variations importantes et soudaines.

- **Le pH:**

L'intérêt de la mesure réside dans la détermination de l'agressivité de l'eau vis-à-vis du ciment et des métaux, ainsi que pour la désinfection de l'eau par le chlore.

Les valeurs mesurées du pH pour les échantillons, oscillent entre 7,19 et 8,4 avec une moyenne de 7,53.

Nous constatons que cette moyenne est conforme aux valeurs préconisées par la FAO(1985) qui est de 6,5 — 8,4.

- **La salinité:**

La connaissance de la concentration moyenne en Na⁺ (148,81 mg/l) dans ces échantillons et à partir des valeurs moyennes de Ca²⁺ et Mg²⁺, qui sont respectivement

124,11 et 30,61 mg/l, nous permet de calculer le ratio d'adsorption du sodium (*SAR*) qui est égale à 3,1. Cette valeur nous permet selon la norme recommandée par la FAO(1985) de classer cette eau comme ayant un degré de restriction à l'usage d'irrigation léger à modéré.

- **Conductivité :**

La conductivité permet de connaître le degré de minéralisation des eaux, elle mesure la concentration des sels ioniques et nous informe sur le degré de salinité de l'eau.

La conductivité d'une eau varie grandement selon le degré d'impureté de cette même eau, ainsi plus la concentration ionique des sels dissous est grande et plus la conductivité est grande. Une conductivité électrique de l'eau supérieure à 1500 $\mu\text{s/cm}$, reflète une minéralisation excessive.

La conductivité de l'effluent examiné varie entre 1439 et 1514 $\mu\text{s/cm}$ avec une moyenne de 1475 $\mu\text{s/cm}$, cela nous permet selon la norme recommandée par la FAO(1985) de classer cette eau comme ayant un degré de restriction à l'usage d'irrigation moyenne.

- **Dureté**

Une dureté supérieure à 18 F° signifie que l'eau est très dure.

Dans notre cas, les valeurs de nos échantillons analysées varient entre 39,5 et 441,89 mg/l avec une moyenne de 354,35 mg/l équivalent à 35,4 $^\circ\text{F}$. Cela signifie que notre eau est très dure.

- **Alcalinité**

La connaissance de la valeur moyenne en TAC (27,28 F°) dans les échantillons analysés, nous permet de déduire la teneur en HCO_3 qui est égale à 5,56 méq/l. Cette valeur nous permet selon la norme recommandée par la FAO(1985) de classer notre eau comme ayant un degré de restriction à l'usage d'irrigation moyenne.

- **Turbidité**

La turbidité recommandée, pour les eaux usées épurées destinées à l'irrigation, par l'USEPA (2004) est 2 NTU.

Les résultats obtenus pour les échantillons analysés oscillent entre 2,99 et 5,54 NTU

Avec une moyenne de 3,87 NTU, cette valeur est supérieure à la norme et cela nécessite un traitement approprié de l'eau épurée de la STEP de BENI MESSOUS pour qu'elle soit réutilisée en irrigation.

- **Demande biochimique en oxygène (DB05)**

La mesure de la DBO donne une indication de l'importance des matières polluantes biodégradables.

L'USEPA limite la DBO₅ à moins 10 mg O₂/l pour la réutilisation des EUE en irrigation, les

valeurs analysées de ces échantillons varient entre 0 et 25 mg/l avec une moyenne de 14,35 mg/l. Ces valeurs est supérieure à la norme et cela nécessite un traitement approprié de l'eau épurée de la STEP de BENI MESSOUS pour qu'elle soit réutilisée en irrigation.

- ***Demande chimique en oxygène (DCO)***

Les résultats obtenus pour ces échantillons analysés oscillent entre 30 et 70 mg/l avec une Moyenne de 43,3 mg/l. Ces valeurs reflètent celle d'une eau épurée par boues activées. Sont conçues pour fournir des effluents mois de 100 mg/l de DCO

- ***Matières en suspension (MES)***

Les matières en suspension se composent des matières organiques et minérales.

Les valeurs de nos échantillons analysées varient entre 2 et 83,75 mg/l avec une moyenne de 23,37 mg/l.

Ces valeurs confirment que notre eau est un peu chargée en matières en suspension et nécessite un traitement approprié

- ***Les nutriments***

-Nitrites

Les résultats obtenus pour les échantillons analysés montrent que les nitrites se trouvent avec une moyenne de 10,21 mg/l On peut constater que cette moyenne est inférieur à la valeur préconisée par la FAO 992).

- Nitrates

Dans les eaux naturelles non polluées, le taux de nitrates est très variable suivant la saison et l'origine des eaux ; il peut varier de 1 à 15 mg/l et une concentration de 2 ou 3 mg/l peut être considérée comme normale.

Les valeurs des échantillons analysées varient de 0,11 à 51,24 mg/l avec une moyenne de 19,33 mg/l équivalent à 6,2 méq/l, cela nous permet selon la norme recommandée par l'OMS de 30 mg/l de classer cette eau comme ayant un degré de restriction à l'usage d'irrigation moyenne.

- ***Azote total***

L'azote en générale dans les eaux usées urbaines provient principalement des urines humaines, les sels représentent environ le 1/10 de la quantité totale libérée.

La teneur en azote de l'eau usée urbaine après traitement secondaire varie de 20 à 60 mg/l.

La valeur moyenne retenue en azote total est de 7,71 mg/l. On peut constater que cette moyenne est inférieur à la valeur préconisée par la FAO 992) qui est de 40 mg/l.

- ***Phosphore total***

Le phosphore dans l'eau usée après traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l à moins qu'un traitement tertiaire l'élimine. L'évaluation de P dans l'eau usée traitée devrait être réalisée en concomitance avec les analyses de sol pour les conseils de fumure. Source:(3)

Les valeurs retenues en Phosphore total oscillent entre 1 et 22,14 mg/I avec une moyenne de 5,95 mg/I. Ce dernier est inférieur la valeur préconisée par la FAO (1992) qui est de 10 mg/I. Mais Ilya des supérieure à la valeur préconisée par la FAO si pour ça nécessite un traitement approprié

- **Potassium**

Le potassium est présent dans les effluents secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/I. Cette quantité doit être prise en compte pour préparer le programme de fertilisation en fonction des besoins des cultures.

Les valeurs des ces échantillons analysées varient de 8,57 à 16,4 mg/I avec une moyenne de 14,6 mg/I. Ce dernier est inférieur la valeur préconisée par la FAO (1992) qui est de 30 mg/I.

- **Chlorures**

En concentration élevée, les chlorures peuvent même corroder l'acier inoxydable et sont très dangereux pour la végétation Source:(FAO1985 water qualité for agriculture) La concentration moyenne en Cl⁻ de ces échantillons analysés est de 193,64 mg/I (5,46 méq/I). Cette valeur nous permet de classer notre eau comme ayant un degré de restriction à l'usage d'irrigation limite, selon la norme recommandée par la FAO(1985).

- **Sulfates**

En agriculture, des concentrations élevées (plusieurs centaines de milligrammes par litre) peuvent poser des problèmes, pour l'irrigation et l'abreuvement. Une teneur supérieure à 480 mg/I rend l'eau impropre à l'agriculture.

Dans notre cas, la valeur moyenne de ces échantillons analysés est de l'ordre de 172,5 mg/I.

- **Métaux lourds**

Dans notre cas, les concentrations enregistrées sur les métaux lourds (Cr, Cu, Ni, Pb, Cd, Zn, Fe, Mn, Co) de l'effluent examiné restent largement inférieures aux valeurs maximales applicables pour les eaux destinées à l'irrigation, si l'on se réfère aux limites recommandées par la FAO(1985).

- **Paramètres bactériologiques**

Dans divers textes réglementaires, il existe des interdictions exige que l'eau réutilisée ne doit pas contenir de micro-organismes pathogènes, l'OMS se borne à la spécification de critères microbiologiques ; une eau destinée à l'irrigation ne doit pas contenir plus de 0,1 Œuf d'helminthe par litre, 1000 coliformes fécaux par 100 ml et 10.000 coliformes totaux par litre.

C) Les résultats d'analyses des échantillons montrent :

- L'absence des agents pathogène (Salmonella et Streptocoques).
- La présence des coliformes totaux dont le nombre varie entre 1610 et 6940 NPP/l, cette valeur est inférieure à la norme préconisée par l'OMS (2000).
- La présence des coliformes fécaux dont le nombre varie de 1 à 20 NPP/100 ml, cette valeur est inférieure à la norme préconisée par l'OMS (2000).
- La présence de Clostridium sulfito-réducteurs dont le nombre varie de 3 à 8 NPP/20 ml, ainsi que la présence de germes aérobie dont le nombre oscille entre 321 et 2390 NPP/l.
- La présence des œufs d'helminthes, soit 1 œuf/l, cette valeur est supérieure à la norme fixée par l'OMS (2000).
- L'absence des agents pathogènes et des valeurs conforme aux normes de l'OMS pour les coliformes fécaux et totaux, permet de classer notre eau de bonne qualité microbiologique.

IV.3. Conclusion sur les résultats d'analyses obtenus :

Les valeurs obtenues pour les eaux usées épurées de la STEP de BENI MESSOUS, montrent une conformité aux normes de tous les paramètres physico-chimiques exceptés pour les MES et la DBO et le phosphore avec des valeurs légèrement supérieures à la norme.

Pour les analyses microbiologiques, les valeurs obtenues montrent l'absence de germes pathogènes et des valeurs conformes pour les autres germes.

Pour ce qui est de la parasitologie, les œufs d'helminthes ont été retrouvés, ces derniers peuvent avoir des conséquences néfastes sur la santé publique et de ce fait un Traitement tertiaire s'impose.

En fin le rendement de décontamination de La STEP de BENI MESSOUS n'est pas suffisant pour assurer le respect des valeurs limites de la catégorie A de qualité hygiénique recommandée par l'OMS. Pour ce qui est de la qualité organique, les normes de la FAO sont respectées (Degré de restriction à l'usage en irrigation léger à modéré)

Introduction :

La détermination des besoins en eau d'une culture nécessite la connaissance de divers paramètres concernant aussi bien la plante elle-même que les données climatiques ou pédologiques de la région :

- les données climatiques donneront les indications nécessaires concernant les besoins en eau de la culture ;
- les paramètres pédologiques permettront d'estimer la réserve en eau utile du sol;
- les données culturales préciseront la réserve en eau facilement utilisable par la plante.

Les besoins nets en eau des cultures représentent la quantité d'eau nécessaire pour compenser l'évapotranspiration d'une culture en bon état sanitaire, bien fertilisée, cultivée sur de larges superficies sous des conditions optimales de l'eau, du sol et assumant une production potentielle selon des conditions climatiques données

Les besoins nets d'irrigation, qui peuvent également s'exprimer sous le terme de déficit hydrique, se définissent comme la différence entre l'évapotranspiration réelle (ETR) de la culture considérée et les précipitations efficaces (Peff).

Nous procéderons dans ce chapitre à une analyse des besoins en eau des principales cultures de la zone d'étude, Foret de Bainem ainsi que les différents domaines de la région (Bainem et Ain Benian). Pour définir des ordres de grandeur des quantités d'irrigation nécessaires, on se basera sur l'année sèche, qui conduira à des besoins en irrigation, qui par la suite sera la base du dimensionnement du réseau d'irrigation sous pression à la demande.

V.1 Les précipitations dont la probabilité d'occurrence est de 80% (l'année sèche) :

Pour calculer les valeurs des précipitations mensuelles dont la probabilité d'occurrence est de 80%, on a utilisé les données pluviométriques mensuelles disponibles sur une série de données historiques de 32ans (**Voir Annexe 4**) :

La méthode utilisée est la méthode de la fréquence cumulée qui se fait selon les étapes suivantes :

- Calcul des moyennes mensuelles pour toutes les années.
- Classification par ordre croissant des valeurs des précipitations mensuelles (voir tableau4-2).
- Calcul de la fréquence d'occurrence pour chaque valeur de pluviométrie en utilisant la formule suivante :

La méthode utilisée pour l'ajustement de la série pluviométrique est la loi de GAUSS qui admet la fonction suivante comme fonction de répartition :

$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u \text{Exp} \left(-\frac{1}{2} \frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2} \right) dx$$

Avec :

F(X) : La fonction de répartition

U : Variable réduite de Gauss donnée par la formule :

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

Pour faire l'ajustement nous avons utilisé le logiciel « Hydrolab » développé à l'université de Nice (France) par le C.N.R.S (Centre Nationale de Recherche Scientifique). Ce logiciel nous permis également de tracer le graphique d'ajustement (voir graphique) et de déterminer les principales caractéristiques de la série pluviométrique.

Les résultats d'ajustement de la série de pluies moyennes annuelles de la station pluviométrique de Dar El Baida sont présentés dans le tableau V-2

V.1.1 Interprétation des résultats :

Nous remarquons sur le graphique que toutes les valeurs observées sont très proches de la droite d'ajustement (droite d'Henri), ce qui signifie que nous avons une bonne corrélation et que la loi d'ajustement considérée est bonne.

V.1.2 Détermination de l'année de calcul :

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

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

Les valeurs annuelles correspondantes aux probabilités de dépassements de : 80%, 50% et 20% sont :

$$P_{80\%} = 469.23 \text{ mm (année sèche)}$$

$$P_{50\%} = 575.10 \text{ mm (année Normale)}$$

$$P_{20\%} = 680.97 \text{ mm (année humide)}$$

Application:

- $P_{\text{Theorique(80\%)}} / P_{\text{theorique(50\%)}} = 0,82$
- En appliquant la formule, on obtient la série des pluies moyennes mensuelles de l'année de calcul ($P_{\text{moy } 80\%}$) représentée dans le tableau V.1

Tableau V.1 : La pluie moyenne mensuelle de fréquence de probabilité 80% pour une période sèche.

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P _{moy} 80% (mm)	20.22	41.44	71.84	75.10	64.07	58.54	43.21	46.42	37.48	6.39	2.92	4.04

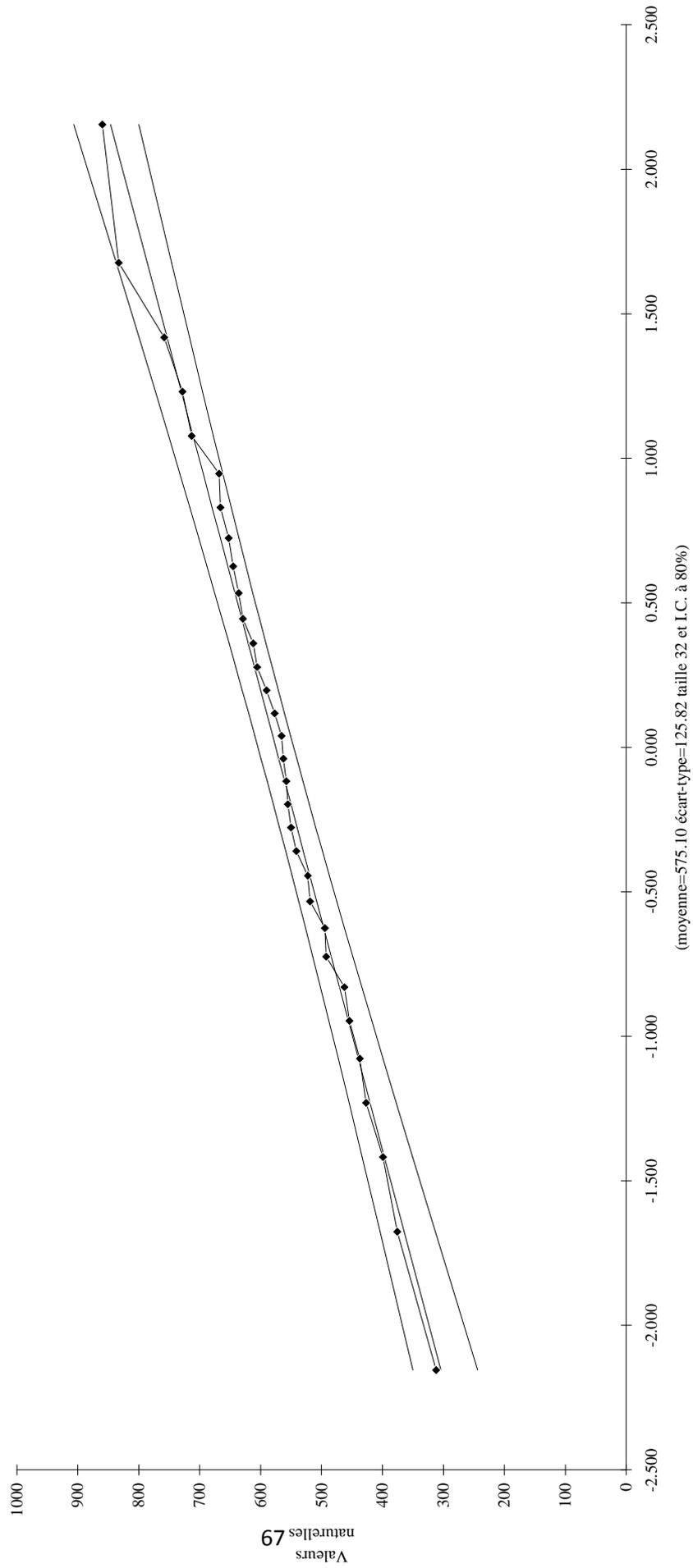
- La pluie annuelle de fréquence 80% est de 471,67 mm /an.

Tableau V.2: Ajustement de la série pluviométrique a une loi Normal « Gauss »

Ajustement à une loi de Gauss								
Taille n=	32	Moyenne=	575.1					
		Ecart-type=	125.81716		I.C. à (en%)=	80	U Gauss=	1.2817
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
859.9	312	1	0.0156	-2.154	312	304.04983	243.59269	350.22508
541.5	375.8	2	0.0469	-1.676	375.8	364.19169	313.26064	404.00978
590.3	399.2	3	0.0781	-1.418	399.2	396.68439	350.5497	433.41818
555.5	426.6	4	0.1094	-1.230	426.6	420.34469	377.49072	455.04446
758.2	437.1	5	0.1406	-1.078	437.1	439.52619	399.17042	472.73844
645	454.2	6	0.1719	-0.947	454.2	455.98813	417.64074	488.0594
566	462.6	7	0.2031	-0.830	462.6	470.62936	433.94795	501.80611
652.4	492.2	8	0.2344	-0.724	492.2	483.97657	448.70352	514.44824
494.6	494.6	9	0.2656	-0.626	494.6	496.36827	462.29906	526.28904
833	518.8	10	0.2969	-0.533	518.8	508.03747	475.00284	537.5385
612.1	522.7	11	0.3281	-0.445	522.7	519.15352	487.00869	548.35048
668.2	541.5	12	0.3594	-0.360	541.5	529.84538	498.46295	558.84329
462.6	549.8	13	0.3906	-0.277	549.8	540.21541	509.48067	569.11204
492.2	555.5	14	0.4219	-0.197	555.5	550.34815	520.15565	579.23646
312	558.1	15	0.4531	-0.118	558.1	560.31621	530.56723	589.28621
454.2	562.6	16	0.4844	-0.039	562.6	570.18441	540.78507	599.32474
666.2	566	17	0.5156	0.039	566	580.01559	550.87526	609.41493
522.7	576.9	18	0.5469	0.118	576.9	589.88379	560.91379	619.63277
426.6	590.3	19	0.5781	0.197	590.3	599.85185	570.96354	630.04435
636.1	605.7	20	0.6094	0.277	605.7	609.98459	581.08796	640.71933
576.9	612.1	21	0.6406	0.360	612.1	620.35462	591.35671	651.73705
549.8	628.9	22	0.6719	0.445	628.9	631.04648	601.84952	663.19131
713	636.1	23	0.7031	0.533	636.1	642.16253	612.6615	675.19716
562.6	645	24	0.7344	0.626	645	653.83173	623.91096	687.90094
518.8	652.4	25	0.7656	0.724	652.4	666.22343	635.75176	701.49648
399.2	666.2	26	0.7969	0.830	666.2	679.57064	648.39389	716.25205
437.1	668.2	27	0.8281	0.947	668.2	694.21187	662.1406	732.55926
728	713	28	0.8594	1.078	713	710.67381	677.46156	751.02958
628.9	728	29	0.8906	1.230	728	729.85531	695.15554	772.70928
605.7	758.2	30	0.9219	1.418	758.2	753.51561	716.78182	799.6503
558.1	833	31	0.9531	1.676	833	786.00831	746.19022	836.93936
375.8	859.9	32	0.9844	2.154	859.9	846.15017	799.97492	906.60731

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0.8	0,001	680.96969	649.71274	717.80502	680.96969	0,001	05
0.5	0,000	575.10001	545.84134	604.35868	575.10001	0,001	02
0.2	-0,001	469.23031	432.39498	500.48726	469.23031	0,000	01

Graphique d'ajustement interannuel des pluies moyennes (1975-2006) a la loi normale
Station Dar El Baida



V.2 Évapotranspiration de référence :

C'est la quantité d'eau perdue par évapotranspiration d'une culture de référence, (généralement un gazon ayant une bonne alimentation hydrique et une hauteur de 12cm), ou d'un bac d'eau choisi pour servir de référence dans des conditions climatiques données.

Dans le bulletin de la FAO 56, il est recommandé d'utiliser l'équation de Penman-Monteith qui est la méthode standard pour estimer l'évapotranspiration de référence, cette méthode se base sur tous les facteurs climatiques (Température, humidité, vent, rayonnement, pression de vapeur d'eau...) :

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

Avec :

- 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

Le calcul de l'évapotranspiration a été effectué par le logiciel Cropwat.

Tableau V.3: Évapotranspiration de référence en mm /jour

Mois	Temp Min	Temp Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ETo
	°C	°C	%	m/s	heures	MJ/m ² /jour	mm/mois
Janvier	7.6	16.9	75	1.7	6	9.7	43.68
Février	5.2	17.6	73	2.4	6.6	12.5	56.72
Mars	6.6	19.9	74	2.8	7.2	16.1	86.02
Avril	8.2	21.7	76	2.5	7.4	19	98.47
Mai	11.7	25.1	69	2.5	8.3	21.9	133.57
Juin	15.3	29.1	67	2.7	10.3	25.2	163.8
Juillet	17.7	31.8	66	2.7	7.3	20.6	163.93
Août	19	32.6	66	2.4	9.8	22.8	171.68
Septembre	16.4	29.6	67	2.3	7.5	17.3	127.06
Octobre	13.5	26.5	75	1.8	6.6	13.3	86.05
Novembre	8.7	20.9	79	2.2	6.1	10.2	55.11
Décembre	6.4	17.8	80	2	5.1	8.2	40.61
Moyenne	11.4	24.1	72	2.3	7.3	16.4	188.72

L'évapotranspiration atteint la plus grande valeur pendant le mois d'Aout 171.68 mm par contre le mois de Décembre représente la plus faible valeur 40.61 mm.

V.3 Évapotranspiration des cultures ETc :

C'est la quantité d'eau dont une culture a besoin dans des conditions phytosanitaires et de fertilisation satisfaisantes afin de compenser l'eau perdu par évapotranspiration.

Les facteurs affectant l'ETc sont les suivants :

- Climat : le rayonnement, la température, l'humidité et le vent.
- Cultures : l'espèce, la variété, le stade de développement (hauteur, rugosité, couverture du sol,...)
- Conditions de gestion et environnement : salinité du sol, la fertilisation, contrôle des maladies.....

$$ETc = Kc * ET0$$

Avec :

- ETc: Évapotranspiration des cultures (mm/mois).
- ET0 : Évapotranspiration de référence (mm/mois).
- Kc : Coefficient cultural.

V.4.1 La valeur du Kc pour les arbres forestiers :

Pour une même culture, sa valeur peut varier fortement au cours du cycle végétatif selon l'activité physiologique, le taux de recouvrement du sol, etc. Elle augmente progressivement du semis à la période de pleine croissance, puis diminue généralement durant la maturation des cultures annuelles. Sa valeur précise devrait être déterminée expérimentalement.

Les nombreux essais sur espèces pérennes à enracinement profond montrent que le niveau d'apport de $(0,5-0,6)*ETP$ permet une alimentation satisfaisante des arbres.

V.3.1.1 Exemples de quelques essais pour la détermination du Kc :

- **Estimation de l'évapotranspiration d'un couvert forestier en Algérie par télédétection :**

Tableau V.4: Variation de l'évapotranspiration réelle journalière et des indicateurs de l'état hydrique en fonction de l'occupation du sol.

Type d'occupation des sols	Λ (-)	ETR (mm)	α (-)
Sol nu, jachère et urbain	0,1826	1,66	0,27
Culture et parcours	0,2353	2,34	0,34
Couverture forestière claire	0,3097	3,26	0,44
Couverture forestière dense	0,3546	3,98	0,50
Surface d'eau libre (barrage)	0,9392	10,72	1,22

- **L'expérience de la forêt de Cogolin (France) :**

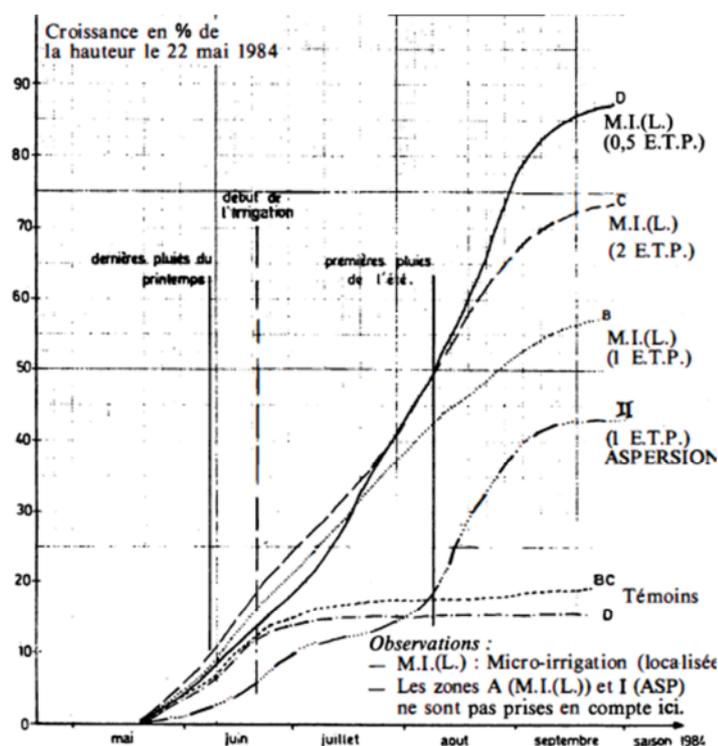


Figure V.2 : Évolution de la croissance des arbres au cours de la saison d'expérimentation (toutes essences confondues) Forêt Cogolin France.

V.3.2 La valeur du K_c pour les cultures maraîchère et l'arboriculture :

Tableau V.5: Coefficient cultural (K_c) des différents cultures (selon J. Doorenboset et al)

CULTURES			durée totale de la période végétative dans des conditions d'humidité (HR > 70 %) et vent faible (V < 5 m/s)
Cultures maraichère	Haricot	vert	0,85
		sec	0,7
	choux	0,7	
	pois, frais	0,8	
	poivron, frais	0,7	
	pomme de terre	0,75	
	pastèque	0,75	
Arboriculture fruitière	Agrumes	sarclé	0,65
		Sans sarclage	0,85
	olivier	0,4	
	raisin	0,55	

Source: Réponse des rendements à l'eau

Le tableau ci-dessus représente les valeurs du coefficient culturales des cultures maraîchères les plus cultivées ainsi les arbres fruitiers, le K_c de chaque culture est spécifique au stade de développement de la culture (un K_c d'une culture au début du cycle végétatif est différent au celle en fin du cycle végétatif).

V.4 Pluies efficaces :

C'est la partie de la pluie emmagasinée dans la zone racinaire qui sera utilisée par la plante, l'autre partie est perdue par ruissellement superficiel, percolation profonde ou évaporation.

Pour la calculer, on utilise la méthode USDA qui tient en compte la pluie totale qui correspond à la pluie probable ayant 80 % de probabilité d'occurrence, l'évapotranspiration culturale et la réserve utile du sol. La méthode est basée sur les formules suivantes :

- $P_{\text{eff}} = P_{\text{Tot}} \left(1 - \left(0.2 \times P_{P\%} / 125\right)\right)$ Pour $P_{P\%} < 250\text{mm}$.
- $P_{\text{eff}} = 125 + \left(0.1 \times P_{P\%}\right)$ Pour $P_{P\%} > 250\text{mm}$.

P_{eff} : Pluie annuelle efficace en (mm/mois).

$P_{P\%}$: Pluie annuelle de probabilité de dépassement de 80%, en (mm).

Les valeurs de précipitations de probabilité de dépassement 80% ($P_{80\%}$) et la pluie efficace (P_{eff}) sont regroupées dans le tableau ci-après :

Tableau V.6 : Les précipitations efficaces dans les zones de projet

	Pluie	Pluie eff.
	mm	mm
Janvier	64.1	57.5
Février	58.5	53.1
Mars	43.2	40.2
Avril	46.4	43
Mai	37.5	35.2
Juin	6.4	6.3
Juillet	2.9	2.9
Août	4.04	4
Septembre	20.2	19.6
Octobre	41.4	38.7
Novembre	71.8	63.6
Décembre	75.1	66.1
Total	471.7	430.2

V.5 Les besoins en eau des cultures:

Les besoins théoriques mensuels sont déterminés par le bilan hydrique

$$B = \text{ETP} - (\text{Peff} + \text{RFU})$$

Avec :

- B : besoin en eau d'irrigation (mm).
- E.T.P : évapotranspiration (mm / jour).
- RFU : réserve facilement utilisable.

$$\text{RFU} = a * (\text{Hcc} - \text{Hpf}) * \text{Da} * \text{Z}$$

Avec :

- Da : densité apparente.
- a : degré de tarissement.
- Z : profondeur d'enracinement.
- Hcc : humidité à la capacité au champ.
- Hpf : humidité au point de flétrissement

Tableau V.7 : densité apparente de l'ensemble de type de sol en fonction de la texture

Texture	Densité apparente
Sable	1,65
Limon-sableux	1,50
Limon	1,40
Limon-argileux	1,35
Argile-limoneuse	1,30
Argile	1,25

(Source: FAO, 1976)

Pour l'obtention d'une valeur représentative de la densité apparente de l'ensemble des profils traités lors de l'étude pédologique on exploite les données fournies par la FAO et qui sont indiqués dans le tableau V-7.

Tableau V.8: Représentation de la texture et l'humidité pondérales à pf2,5 et pf4,2 des profils échantillonnés et analysés

Profils	Texture			Horizon					
	H1	H2	H3	H1		H2		H3	
				Pf 2,5	Pf 4,2	Pf 2,5	Pf 4,2	Pf 2,5	Pf 4,2
P1	SA	A	AL	24,6	14,3	29,7	18,6	22,9	13,1
P2	SA	SA	-	6,3	3,8	6,3	3,9		
P3	S	S	-	5,6	3,6	3,7	2,4		
P4	S	LS	-	4,2	2,9	2,4	1,7		
P5	LS	LS	S	7,1	5,2	2,5	1,7		
P6	LS	LS	-	7,8	4,7	8,6	5,1		
P7	S	-	-	4	3,1				
P8	S	S	-	3,2	2,4	2,9	2,0		
P9	SL	L	SL	10,6	5,4	11,7	6,1	20,0	13,6
P10	LS	LAS	LS	11,2	5,7	18,2	10,1	16,8	8,9
P11	S	S	-	4,2	2,6	3,8	2,2		
P12	SL	SL	-	5,1	2,8	8,6	4,8		
P13	SL	LS	-	6,8	4,6	12,3	8,1		
P14	LS	LAS	-	14,8	8	13,6	8		
P15	LS	LS	-	8,7	4,4	11	5,5		
P16	LAS	LAS	LAS	13,6	7,3	14,9	8,6	20,4	12,1
P17	LAS	AS	-	20,5	7,24	9,6	7,40		
P18	LS	S	-	10,9	5,3	5,1	2,7		
P19	SL	SL	-	6,5	3,1	5,4	2,0		
P20	S	S	-	6,1	9				
P21	A	A	AL	30	19,4	31,4	19,2	24,8	16,1
P22	A	A	A	29,7	17,3	29,40	17,70	19	11,2
P23	SL	SL	-	16,8	7,7	9,8	5,3	-	-
P24	S	S	SA	7,9	3,3	8,1	3,9	7,8	3,2
Moyenne	La texture représentative des profils est limoneuse à limono-sableuse.			11,09	6,38	11,31	6,68	18,78	11,17

(Source ANRH Alger)

Avec :

- **H** : Horizon ; **L** : limon
- **S** : sable ; **A** : argile ; **P** : profile

- D'après les échantillons décrit et analysés dans l'étude pédologique du sahel Algérois la tendance de la texture des sols de la région est limoneuse à limon-sableux et d'après le tableau N.V.6 qui représente les valeurs de la densité apparente ; on peut extraire une valeur de da intermédiaire entre les deux textures.

$$da = da_1 + da_2 / 2$$

- da : densité apparente représentative de l'ensemble des profils étudiés
- da_1 : densité apparente d'un sol a texture limoneuse (Tableau V.5)
- da_2 : densité apparente d'un sol a texture limono-sableuse. (Tableau V.5)

$$da = 1,40 + 1,50 / 2$$

$$da = 1,45$$

- L'humidité pondérale d'après le tableau V.6 à la capacité au champ moyenne entre les deux premiers horizons est de 11,2 %.
- L'humidité pondérale d'après le tableau V.6 au point de flétrissement moyenne entre les deux premiers horizons est de 6,53 %.

V.5.1 Le système racinaire :

V.5.1.1 De l'Eucalyptus :

L'Eucalyptus ont un système racinaire constitué d'une racine pivotante (principale) permettant un bon enracine au sol et des racines traçantes pouvant s'étendre sur 5m .Elles permettent à la plante de capter l'eau et les éléments minéraux nécessaires à sa croissance (Louméto, 1986).

V.5.1.2 De les cultures maraîchères et l'arboriculture (ou la profondeur du sol à humecter) :

D'après la base de données fournie dans le logiciel de pilotage de l'irrigation, on prend les profondeurs représentées dans le tableau 5-9 suivant :

Tableau V.9 : profondeur d'enracinement des cultures selon la base de données de CROPWA T4.

Cultures		Profondeur d'enracinement durant le cycle végétative (m)	Profondeur médiane d'enracinement (m)
Cultures maraichères	Haricot Vert	0,30 - 1	0,54
	Haricot sec	0,30 - 1	
	choux	0,25 - 0,50	
	poivron, frais	-	
	pomme de terre	0,25 - 1	
	tomate	0,25 - 1	0,62
Arboriculture fruitière	agrumes	1,40	1,40
Petites végétation		0,30 - 0,60	0,45

V.5.2 La réserve utile et facilement utilisable**V.5.2.1 La réserve utile et facilement utilisable pour les arbres d'Eucalyptus :**

$$RU = (H_{cc} - H_{pf}) \times d_a \times P$$

$$RU = (0,11 - 0,06) \times 1,45 \times 5000$$

$$RU = 362,50 \text{ mm}$$

$$RFU = a * RU$$

Avec :

➤ RFU : réserve facilement utilisable : est fonction de la texture du sol

- Pour un sol sableux $a = 1/2$
- Pour un sol Argileux $a = 2/3$

➤ Comme les sols en tendance à la texture sableuse que argileuse on prend le Coefficient $1/2$

$$RFU = 1/2 \times 362,5 = \mathbf{181,25 \text{ mm}}$$

V.5.2.2 La réserve utile et facilement utilisable pour les cultures maraîchères :

$$RU = (H_{cc} - H_{pf}) \times d_a \times P$$

$$RU = (0,11 - 0,06) \times 1,45 \times 540$$

$$RU = 39,15$$

$$RFU = a * RU$$

$$RFU = 1/2 \times 39,15 = \mathbf{19,57 \text{ mm}}$$

V.5.2.3 La réserve utile et facilement utilisable pour les arbres fruitiers :

$$RU = (H_{cc} - H_{pf}) \times d_a \times P$$

$$RU = (0,11 - 0,06) \times 1,45 \times 1000$$

$$RU = 72,5$$

$$RFU = a * R$$

$$RFU = 1/2 \times 72,5 = \mathbf{36,25 \text{ mm}}$$

Les besoins en eau mensuels des différentes cultures sont inscrits dans le tableau suivant :

Tableau V.10: Besoins en eau de l'Eucalyptus.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
RFU mm	0	181.25	181.25	181.25	181.25	90.63	90.63	90.63	90.63	0	0	0	
ET ₀ mm/mois	127.06	86.05	55.11	40.61	43.68	56.72	86.02	98.45	133.57	163.8	163.93	171.68	
Pluie _{mm}	20.22	41.44	71.84	75.1	64.07	58.54	43.21	46.42	37.48	6.39	2.92	4.04	
P _{efficace} mm	19.6	38.7	63.6	66.1	57.5	53.1	40.2	43	35.2	6.3	2.9	4	
Kc	0.56	0.56	0.55	0.55	0.52	0.52	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.58	
ETM mm/mo	71.1536	48.188	30.3105	22.3355	22.7136	29.4944	43.01	49.225	66.785	98.28	98.358	99.5744	
Is													
B (mm/ mois)	51.5536	-171.762	-214.54	-225.015	-216.036	-114.236	-87.82	-84.405	-59.045	91.98	95.458	95.5744	
La somme (mm/mois)	51.55	0	0	0	0	0	0	0	0	91.98	95.46	95.57	334.56

Tableau V.11: Besoins en eau du raisin.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
RFU mm	0	36.25	36.25	36.25	36.25	18.13	18.13	18.13	18.13	0	0	0	
ET ₀ mm/mois	127.06	86.05	55.11	40.61	43.68	56.72	86.02	98.45	133.57	163.8	163.93	171.68	
Pluie _{mm}	20.22	41.44	71.84	75.1	64.07	58.54	43.21	46.42	37.48	6.39	2.92	4.04	
P _{efficace} mm	19.6	38.7	63.6	66.1	57.5	53.1	40.2	43	35.2	6.3	2.9	4	
Kc	0.42	0.54	0.54	0.55	0.55	0.54	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.47	
ETM mm/mo	53.3652	46.467	29.7594	22.3355	24.024	30.6288	45.5906	52.1785	70.7921	86.814	86.8829	80.6896	
Is													
B (mm/ mois)	33.77	-28.48	-70.09	-80.01	-69.73	-40.60	-12.74	-8.95	17.46	80.51	83.98	76.69	
La somme mm/mois	33.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.46	80.51	83.98	76.69	292.41

Tableau V-12: Besoins en eau de l'olivier

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
RFU mm	0	36.25	36.25	36.25	36.25	18.13	18.13	18.13	18.13	0	0	0	
ET ₀ mm/mois	127.06	86.05	55.11	40.61	43.68	56.72	86.02	98.45	133.57	163.8	163.93	171.68	
Pluie _{mm}	20.22	41.44	71.84	75.1	64.07	58.54	43.21	46.42	37.48	6.39	2.92	4.04	
P _{efficace} mm	19.6	38.7	63.6	66.1	57.5	53.1	40.2	43	35.2	6.3	2.9	4	
Kc	0.3	0.39	0.39	0.4	0.4	0.39	0.39	0.39	0.38	0.38	0.38	0.34	
ETM mm/mo	38.12	33.56	21.49	16.24	17.47	22.12	33.55	38.40	50.76	62.24	62.29	58.37	
Is													
B (mm/ mois)	18.52	-41.39	-78.36	-86.11	-76.28	-49.11	-24.78	-22.73	-2.57	55.94	59.39	54.37	
La somme mm/mois	18.52	0	0	0	0	0	0	0	0	55.94	59.39	54.37	188.22

Tableau V-13: Besoins en eau de la pastèque :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
RFU	0	19.57	19.57	19.57	19.57	9.79	9.79	9.79	9.79	0	0	0	
mm													
ET ₀ mm/mois	127.06	86.05	55.11	40.61	43.68	56.72	86.02	98.45	133.57	163.8	163.93	171.68	
Pluie _{mm}	20.22	41.44	71.84	75.1	64.07	58.54	43.21	46.42	37.48	6.39	2.92	4.04	
P _{efficace} mm	19.6	38.7	63.6	66.1	57.5	53.1	40.2	43	35.2	6.3	2.9	4	
Kc	0.57	0.74	0.74	0.75	0.74	0.74	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72	0.63	
ETM mm/mo	72.42	63.68	40.78	30.46	32.32	41.97	62.79	71.87	96.17	117.94	118.03	108.16	
Is													
B (mm/ mois)	52.82	5.41	-42.39	-55.21	-44.75	-20.92	12.80	19.08	51.18	111.64	115.13	104.16	
B (mm/ mois)	52.82	5.41	0	0	0	0	12.8	19.08	51.18	111.64	115.13	104.16	472.22

Tableau V-14: Besoins en eau de la pomme de terre:

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
RFU	0	19.57	19.57	19.57	19.57	9.79	9.79	9.79	9.79	0	0	0	
mm													
ET ₀ mm/mois	127.06	86.05	55.11	40.61	43.68	56.72	86.02	98.45	133.57	163.8	163.93	171.68	
Pluie _{mm}	20.22	41.44	71.84	75.1	64.07	58.54	43.21	46.42	37.48	6.39	2.92	4.04	
P _{efficace} mm	19.6	38.7	63.6	66.1	57.5	53.1	40.2	43	35.2	6.3	2.9	4	
Kc	0.5	0.64	0.74	0.75	0.74	0.65	0.58	0.53	0.53	0.53	0.53	0.52	
ETM mm/mo	63.53	55.072	40.7814	30.4575	32.3232	36.868	49.8916	52.1785	70.7921	86.814	86.8829	89.2736	
Is													
B (mm/ mois)	43.93	-3.198	-42.3886	-55.2125	-44.7468	-26.022	-0.0984	-0.6115	25.8021	80.514	83.9829	85.2736	
La somme (mm/ mois)	43.93	0	0	0	0	0	0	0	25.8021	80.514	83.9829	85.2736	319.5026

Tableau V.15: Besoins en eau annuelle

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Somme B mm/an
B mm/mois OLIVE	18.52	0	0	0	0	0	0	0	0	55.94	59.39	54.37	188.22
B mm/mois Raisin	33.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.46	80.51	83.98	76.69	292.41
B (mm/ mois) Pomme de terre	43.93	0	0	0	0	0	0	0	25.8021	80.514	83.9829	85.2736	319.5026
B (mm/ mois) Pastèque	52.82	5.41	0	0	0	0	12.8	19.08	51.18	111.64	115.13	104.16	472.22
B mm/mois Eucalyptus	51.55	0	0	0	0	0	0	0	0	91.98	95.46	95.57	334.56
Somme des besoins mm/mois	200.59	5.41	0	0	0	0	12.8	19.08	94.4421	420.584	437.9429	416.0636	1606.9126

- les *besoins* du mois de pointe : **4379.4m³/ha** (Juillet).
- Consommation annuelle : **16069.10m³/ha**.
- Besoin de la culture la plus exigeante en eau : **1151.3 m³/ha**.

V-6-Débit spécifique:

Le débit caractéristique a été déterminé pour la culture la plus exigeante en eau

$$q_{\text{spécifique}} = \frac{B_{\text{net}} \cdot 10 \cdot 1000}{N_h \cdot n_j \cdot 3600 \cdot E_i} \quad , \text{ en l/s/ha}$$

Avec :

- B : besoins nets en eau des cultures (m³/ha).
- Nh : durée de l'irrigation en jours (T = 31).
- nj: durée de l'irrigation en heures par jour (t = 24h).
- E : valeurs de l'efficience des irrigations.
- 0.75 : efficience à la parcelle

$$q = \frac{115.13 \cdot 10^4}{31 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 0.75} = 0.57 \text{ (l/s/ha)} < 1.5 \text{ (l/s/ha)}$$

Le debit spécifique=0,57 l/s/ha

V.7 Débit caractéristique :

Le calcul des débits caractéristiques permet de définir le débit maximum que le système d'irrigation collectif devra fournir au niveau du périmètre, déterminé en multipliant le débit de pointe par la surface agricole utile

$$Q_b = q \times S$$

- q = débit fictif continu (l/s/ha)
- S = Superficie (Ha)

La superficie totale du périmètre atteint 1000 ha y compris les terrains urbanisés. La superficie agricole est de l'ordre de 941.9 ha, dont la superficie agricole utile est estimée à 512.9 ha. Le foret de Bainem occupe 429ha.

$$Q = 0.57 \times 941.9 \text{ ha} = 536.88 \text{ l/s.}$$

V.8 Conclusion :

L'étude faite au niveau de ce chapitre nous a permis de déterminer les besoins en eau d'irrigation de la culture de notre parcelle ainsi que de connaître les modalités de son application (dose, débit spécifique...etc).

Introduction:

Ce chapitre consiste en la construction d'un modèle de réseau d'irrigation performant à partir de l'utilisation d'un outil de simulation qui permet le suivi et l'analyse de fonctionnement du réseau, la prévision de leur comportement au vu d'un scénario prédéfini de mise en culture et de distribution. Il permet d'assister les gestionnaires dans la prise de décision pour remédier aux défaillances éventuellement décelées et de garantir en conséquence, un niveau de productivité optimale.

Un réseau de distribution d'eau d'irrigation bien conçu doit pouvoir répondre à certaines exigences. Il faut en effet, non seulement livrer l'eau à un bon débit, à la bonne pression et au bon moment, mais, en outre, avec une grande sécurité de fonctionnement et une facilité de gestion aussi bien pour le consommateur que pour le gestionnaire.

Dans le cas des systèmes collectifs d'irrigation conçus pour fonctionner à la demande, la distribution d'eau consiste à assurer la livraison de l'eau à la prise 24 h sur 24h, en garantissant les débits et pression du projet à toutes les prises ouvertes simultanément.

VI.1 Choix du tracé:

Le choix a été fait en suivant le tracé le plus direct entre la source et les réservoirs d'accumulation. Ce tracé est basé sur les reconnaissances du terrain, levés topographiques et les résultats des investigations géotechniques.

Au vu des résultats du tracé, un bon nombre d'obstacles et de singularités sont à franchir. Une attention particulière a été portée à ces singularités qui sont principalement les routes nationales (RN), les chemins de wilaya (CW), les oueds, mais aussi les cours d'eau et les talus.

VI.2 Schéma hydraulique du réseau :

La STEP de BENI MESSOUS dont la capacité est de 250.000 EH, alimente gravitairement la station de pompage existante au niveau de la STEP. Cette dernière refoule un débit moyen de 50.400 m³ j sur la conduite existante Φ 800 en fonte sur un linéaire de 5004ML pour alimenter les quatre lagunes de BENI MESSOUS (lagunes existantes à réhabiliter d'une capacité totale de 113.000m³). À l'aval de ces lagunes une station de pompage avec des pompes à vitesse constante est projetée afin d'alimenter la retenue collinaire projetée au niveau de la forêt de Bainem (capacité : 70.000 m³).

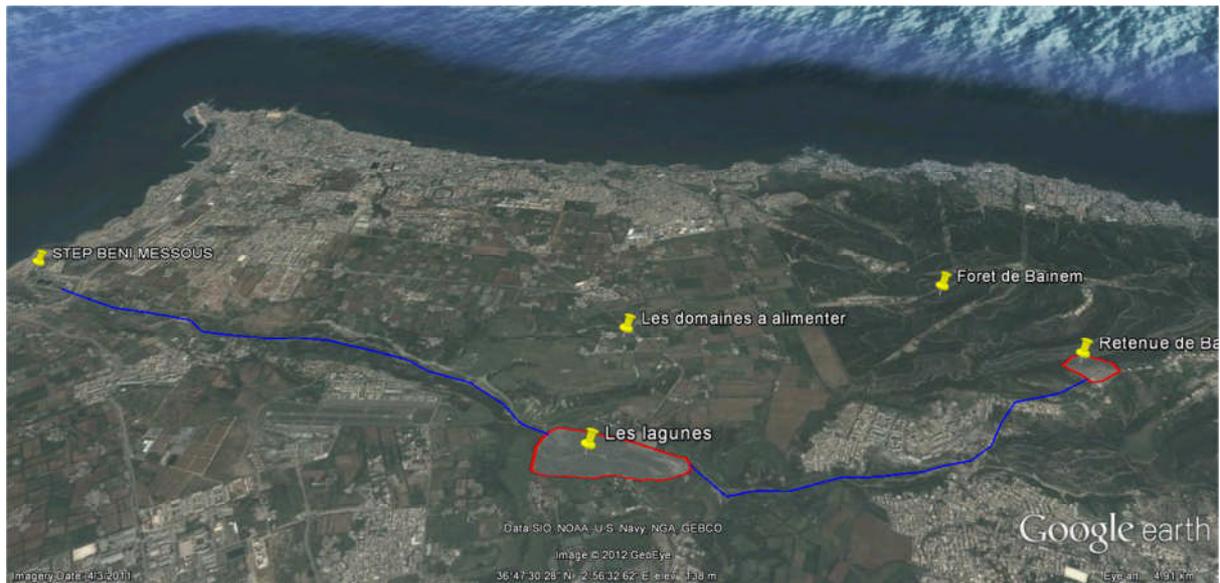


Figure VI-1 : Image de la zone d'étude (Source : Google Earth)

VI.3 Étude technique de la variante retenue :

Dans notre étude, on est appelé à choisir une adduction mixte et cela au vue de la topographie de la zone du projet qui relie la station de pompage et la retenue de stockage au niveau de l'exploitation.

VI.3.1 Adduction gravitaire :

Pour les conduite gravitaires, le diamètre est dimensionne de telle sorte qu'à l'extrémité aval de la conduite, la charge résiduelle soit positive c'est-à-dire que la charge hydraulique à l'extrémité amont de la conduite diminuée des pertes de charge totales le long de la conduite, soit supérieure à la cote géographique à l'extrémité aval de la conduite.

VI.3.2 Adduction par refoulement :

Pour les conduites de refoulement, le diamètre et la station de pompage sont lies économiquement. En effet, plus le diamètre de la conduite n'est petit pour un même débit à relever, plus les pertes de charge et l'énergie dépensée seront important.

Le diamètre économique optimal pour la conduite de refoulement correspond à des :

- Charges annuelles d'amortissement et d'exploitation de la conduite.
- Charges annuelles d'amortissement et d'exploitation de la station.

VI.4 Estimation du débit d'adduction :

L'estimation du débit moyen d'adduction repose essentiellement sur la surface à couvrir et la dotation de chaque hectare.

VI.4. Estimation du débit de pointe :**VI.4.1.1 De la STEP vers les lagunes :**

L'estimation du débit de pointe est donnée par la formule suivante :

$$Q_{pte} = D_{pte} * S$$

Avec :

- Q_{pte} : Débit de pointe (m³/mois de pointe)
- D_{pte} : Dotation de chaque hectare (m³/mois de pointe/ha)
- S : Surface à couvrir (ha)

Les résultats sont présentés sur le tableau 6-1.

Tableau 6-1 : Estimation du débit de pointe.

Surface (ha)	Dotation (m ³ /mois de pointe/ha)	Q_{pte} (m ³ /mois de pointe)
1508	500	754000

NB : La valeur de la dotation utilisée pour le dimensionnement de la conduite de refoulement vers les lagunes prend en considération les autres régions alimentée par la lagune telle que Forêt Bouchaoui, Parc Donia et les domaines de Cheraga (Source DHW Alger 2012)

VI.4.1.1 A partir des lagunes vers la forêt de Bainem :

Le calcul du débit véhiculé par chaque tronçon est indispensable dans le dimensionnement des conduites du réseau, il permettra aussi de déterminer les pertes de charge linéaires et aussi les vitesses d'écoulement. Pour calculer le débit maximal qui devrait être fourni pour l'irrigation du périmètre, on peut calculer la somme des débits des bornes considérées. Mais la probabilité que tous les agriculteurs ouvrent en même temps toutes les bornes du réseau est si faible qu'on risque de sur-dimensionner le réseau donc c'est pour un débit inférieur qu'il faudrait dimensionner le réseau. Pour estimer ce débit, on se base sur une approche probabiliste.

Vu que le réseau est conçu de façon à fonctionner à la demande, La méthode de calcul du débit recommandée est la méthode de Clément généralisée. Cette méthode permet de déterminer le débit qui a une certaine probabilité d'être dépassé et on dimensionne le réseau en conséquence. (SINBAD, 2010)

Pour le cas de cette étude, le dimensionnement du réseau se fait sur la base d'un débit total demandé correspondant à une probabilité d'occurrence de 95 % (on a une probabilité 5 % que ce débit sera dépasser).

La formule de Clément donne le débit véhiculé par un tronçon comme suit :

$$Q = \sum R_j P_j d_j + U(Pq) * \left(\sum_j R_j P_j (1 - P_j) d_j^2 \right)^{1/2}$$

Avec :

R_j : Nombre de borne à l'aval du tronçon j .

P_j : probabilité d'ouverture des bornes se trouvant à l'aval du tronçon j .

Cette probabilité est donnée par :

$$P = \frac{q_s * A}{r * R * d}$$

- q_s : Débit spécifique continue= 0,57 l/s/ha
- A : Surface totale irriguée, $A=941.9$ ha
- r : Coefficient d'utilisation, c'est un coefficient de sécurité qui considère que le réseau est fonctionnel un temps T inférieur à 24 heures. On adopte généralement une durée T de 16 heures ($r=0.667$)
- R : Nombre total des bornes : 584
- d : Le débit nominal de la borne
- d_j : Somme des débits des bornes ouvertes à l'aval du tronçon j
- U : Variable réduite de la loi de Gauss. Si on se fixe la probabilité d'ouverture d'une prise $P=95\%$, alors U sera égal à 1.645 d'après la table relative à la loi de Gauss.

Le calcul de ce débit est assuré par le logiciel COPAM (combined optimization and performance analyses développé par N.LAMADDALENA, FAO-IAM-Bari)

La valeur du débit trouvé : **$Q=0.21 \text{ m}^3/\text{s}$**

VI.5 Calcul du diamètre de la conduite d'adduction :

Le diamètre économique du diamètre d'adduction sera comparé entre les deux diamètres donnée par l'application des formules BRESS et BONNIN suivantes :

-Formule de BRESS

$$D = 1.5 \cdot \sqrt{Q}$$

Formule de BONNIN

$$D = \sqrt{Q}$$

Avec :

- Q : Débit a élevé en m³/s
- $Q_{moy1} = \frac{754000}{(30 \cdot 24 \cdot 3600)} = 0.29 m^3/s$
- $Q_{moy2} = 0.21 m^3/s$

Et : $\sqrt{Q} \leq D \leq \sqrt{Q}$ donc :

- D₁ = 800 mm
- D₂ = 500 mm

Ce diamètre est effectué de façon à ce que la vitesse d'écoulement dans la canalisation soit admissible et comprise entre : 0,2 à 2,00 m/s et cela, afin de ne pas provoquer certaine contrainte d'ordre technique : risque de coups de bélier violents lors des changements brusques du régime d'écoulement ou difficulté d'alimenter correctement les points à desservir.

VI.6 Type de la conduite :

Refoulement : la fonte

En gravitaire : Le PEHD

VI.7 Calcul des pertes de charge sur la conduite de refoulement**VI.7.1 Pertes de charge linéaire :**

Pour un tronçon donne, les pertes de charges linéaires dépendent :

- Du diamètre D de la conduite en m ;
- Du débit Q en (m³/s) ;
- De la rugosité absolue K_s exprime en mm ;
- De la longueur du tronçon L en m ;

$$\Delta H_1 = I * L = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{D * 2g}$$

Avec :

V : vitesse moyenne d'écoulement en (m/s)

ΔH_1 : Perte de charge linaires en (m)

I : Gradient hydraulique en (m/m)

Le coefficient λ est obtenu par la formule suivante :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{K_x}{3,7 * D} + \frac{2,51}{R_e * \sqrt{\lambda}} \right) \quad (\text{Formule de Colebrook})$$

❖ R : nombre de Reynolds, calcule comme suit :

$$R_e = \frac{V * D}{\nu}$$

V : viscosité cinématique de l'eau calculée par la formule de STOCKS :

$$\nu = \frac{0,0178}{(1 + 0.0337 * t + 0.000221 * t^2)}$$

Avec :

- ❖ T : température de l'eau en degré ;
- ❖ A t = 20 C; $\nu = 0.01$ Stocks = 10^{-6} m²/s.

La rugosité absolue est déterminée en mesurant l'épaisseur de rugosité des parois du tuyau

$$K_s = K_0 + \alpha T$$

Avec :

K_0 : rugosité absolue du tuyau neuf, égale à 0.8mm.

A : vieillissement déterminé à partir de l'abaque de « PETER-LAMONT »

Pertes de charge singulières :

Elles sont occasionnées par les singularités des différents accessoires de la conduite (Coude, vannes, clapets,...) et estimées à 15% des pertes de charge linéaire.

$$\Delta H_s = 0.15 * \Delta H_1$$

VI.7.2 Pertes de charge totale (ΔH_t) :

Ce sont la somme des pertes de charge linéaires et de la perte de charge singulière, alors :

$$\Delta H_t = \Delta H_l + \Delta H_s$$

VI.8 Station de pompage projetée :

La hauteur manométrique totale est la somme de pertes et de hauteur géométrique

$$HMT = H_g + \Delta H_t$$

Avec :

- ❖ H_g : hauteur géométrique.
- ❖ ΔH_t : pertes de charge totale.

La puissance absorbée par la pompe est donnée par la formule suivante :

$$P_{abs} = \frac{P_{util}}{\eta}$$

Avec :

- ❖ P_{abs} : Puissance absorbée (puissance fournie par le courant), KW
- ❖ P_{util} : Puissance utile (puissance fournie par la pompe. $P_{util} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$), KW
- ❖ η : Rendement de la pompe $\eta = (80-90)\%$ on prend $\eta = 0.75\%$ le cas le plus défavorable
- ❖ Q : Débit de la pompe, m^3/s
- ❖ H : Hauteur manométrique, m

P : Masse volumique de l'eau, Kg/m^3

- ❖ $P_{moteur} = P_{abs} * 1.15$
- ❖ $P_{totale1} = P_{moteur} * \text{nombre de pompes}$
- ❖ Pour une consommation alaise on ajoute un coefficient de 1.1
 $P_{totale} = P_{totale1} * 1.1$

Le tableau ci-après représente les caractéristiques de la station de pompage projetée au niveau des lagunes de Beni Messous :

Tableau VI.2 : Caractéristiques de la station de pompage projetée au niveau des lagunes de Beni Messous vers la forêt de Bainem

Refoulement vers	Foret de Bainem
Débit nominal de la SP (m^3/s)	0.21
Cote de Terrain naturel CTN (m)	103
Hauteur manométrique totale HMT (m)	147.5
Nombre de pompe	2 pompes + 1 pompe de secoure
Pabs	202.56 KW

VI.9 Protection anti-bélier :

Le coup de bélier étant un cas particulier du régime transitoire. Est un phénomène oscillatoire se manifeste dans les conduite entre deux régimes permanents.

On entend aussi sous le terme « coup de bélier » un écoulement non permanent du liquide accompagné de variations pratiquement sensibles de la pression qui peuvent devenir dangereuse pour la tuyauterie. Ces variations résultent d'une perturbation des conditions permanentes d'écoulement.

Ils existent différents moyens de protection des installations contre le coup de bélier : Réservoirs d'airs, Cheminée d'équilibre, Soupape de décharge, volant d'inertie.

Dans notre étude nous avons prévu une protection par réservoirs d'air, ce dispositif est le plus simple et protégera les installations aussi bien contre les surpressions que contre les dépressions.

La célérité qui caractérise l'onde est donnée par la formule suivante :

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}} \text{ (m/s)}$$

Avec :

- ❖ D : diamètre de la conduite en (m)
- ❖ e : épaisseur de la conduite en (mm)
- ❖ K : coefficient dépendant du matériau constituant la canalisation K=1 pour la fonte

VI.10 Calcul des réservoirs d'air :

Le calcul du réservoir d'air permet de déterminer les valeurs de la surpression et de la dépression maximales dans les conduites de refoulement et le volume du réservoir d'air.

VI.10.1 Méthode de BERGERON :

La méthode de BERGERON est la plus répandue, elle donne de bons résultats que ça soit pour les petites ou les grandes installations.

➤ Valeurs du coup de bélier :

- Cas de la fermeture brusque :

La valeur numérique du coup de bélier :

$$B = \frac{aV_0}{g} \quad (\text{m})$$

Où

- V_0 : vitesse moyenne d'écoulement (m/s).
- g : accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$B < (1+0.6) * PN$$

- $PN \geq B.\alpha$ et $\alpha = (1,3 \text{ à } 1,6)$
- PN : pression nominale de la conduite (10a20bar) en prendre 16 bar

VI.10.2 Résultats de calcul de la méthode de BERGERON :

- **Refoulement vers la forêt de Bainem :**

On a: $U_0 = 2\text{m}^3$ $d = 125\text{mm}$

$V_0 = 1.07\text{m/s}$ $D = 250\text{mm}$

$\varnothing = 5\text{mm}$

Pression maximale.	207,89m
Pression minimale	77,19m
Volume d'air maximal	$2,9\text{m}^3$
Volume d'air minimal	1.5m^3

VI.11 Système de transfert projetée:

VI.11.1 Transfert des eaux usées épurées de la STEP vers les lagunes existantes de BENI MESSOUS :

Le transfert des eaux usées épurées de la STEP vers les lagunes s'effectuera par relevage en longeant l'oued BENI MESSOUS. Les eaux usées épurées sont refoulées par la conduite existante en $\varnothing 800$ sur une longueur de 5.04 Km, et véhicule un débit de pointe de $2304\text{m}^3/\text{h}$

Le tableau suivant donne les caractéristiques des lagunes :

TABLEAU VI-3 : Dimensions et caractéristiques des lagunes

Lagunes	Lagune 1	Lagune 2	Lagune 3	Lagune 4
Surface (m^2)	13.700	6900	4160	3400
Profondeur (m)	4	4	4	4
Volume (m^3)	54.800	27.600	16.640	13.600
Surface totale des lagunes (m^2)	28.200			
Volume totale des lagunes (m^3)	113.000			

VI.1.2 Transfert des eaux usées épurées des lagunes vers la retenue de Bainem :

A l'aval des lagunes, une station de pompage d'une capacité de $1900\text{m}^3/\text{h}$ est projetée. Du premier départ, le refoulement s'effectuera vers la retenue de Bainem par une conduite projetée en $\varnothing 500$ sur une longueur de 3,3 Km et véhiculera un débit de pointe de $612\text{m}^3/\text{h}$.

Le tableau suivant donne les caractéristiques de la retenue projetée au niveau de la forêt de Bainem :

Tableau VI-4 : Caractéristiques de la retenue projetée au niveau de la forêt de Bainem.

<p>Détail de la retenue projetée au niveau de la forêt de Bainem</p> <p>Volume= 70.000m^3</p> <p>CTN= 240m</p> <p>Pour alimenter en EUE :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Le reboisement de la Forêt ▪ Protection contre les incendies ▪ Domaine AMIROUCHE (209.02ha) ▪ Domaine CHABANE (41.48h) ▪ Domaine SI EL HAOUASSE (222.80ha) ▪ Domaine MBAREK (13ha) ▪ Domaine Mahidine (26.60ha)

VI.12 Construction du système de distribution :

VI.12.1 Structure du réseau :

Le périmètre à irriguer est dominé par le canal principal, dont le tracé est faiblement incliné sur les courbes de niveau. Transportant des débits importants sur de grandes distances. Issus du canal principal, les canaux secondaires sont implantés dans l'axe de la plus grande pente du terrain. Ils donnent naissance aux canaux tertiaires, à nouveau légèrement inclinés sur les courbes de niveau. Sur ces canaux tertiaires se trouvent les prises d'irrigation propres à chaque parcelle, points de livraison du module. Le tour d'arrosage est assuré au niveau du tertiaire : le débit transité par le tertiaire (un ou plusieurs modules) est réparti sur les prises selon l'horaire préétabli du tour d'arrosage. Cette hiérarchisation du réseau en deux niveaux (secondaire et tertiaire) est la plus courante. Elle n'est pas immuable ; pour de petits périmètres très allongés en bordure de rivière, le réseau peut être réduit à une série de secondaires issus du canal principal, et sur lesquels est organisé le tour d'arrosage. Au contraire, des périmètres couvrant de grandes surfaces pourront être équipés de canaux quaternaires (ou rigoles de distribution), issus des canaux tertiaires et implantés dans le sens de la pente. Les tours d'eau sont alors organisés au niveau de chaque quaternaire qui ne portera généralement qu'un seul module. Avec une structure de distribution à deux niveaux (secondaire et tertiaire), le périmètre est découpé en un ensemble d'unités correspondant à la surface desservie par chaque tertiaire. La taille retenue pour ces unités élémentaires fixe l'écartement à adopter entre secondaires et entre tertiaires.

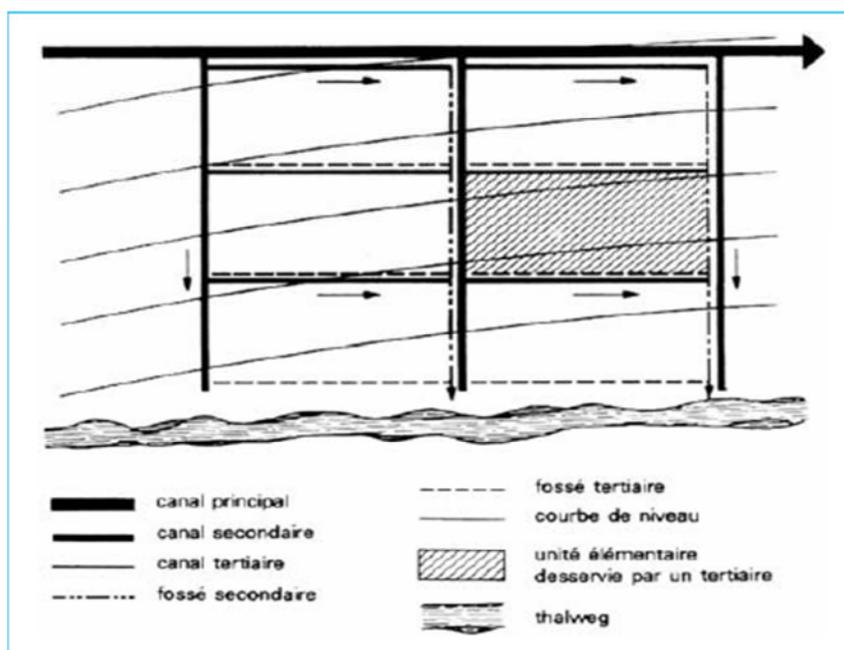


Figure VI-2: Réseau de distribution par canaux

VI.12.2 Plan de bornage :

Le plan de bornage est le plan d'implantation des différentes bornes du réseau. Il est le résultat d'un compromis entre l'intérêt des utilisateurs, qui souhaiteraient disposer d'une borne chacun, idéalement située par rapport à leur champ, et celui de l'organisme d'aménagement, qui cherche à en limiter le nombre, de manière à diminuer le coût du réseau collectif. Le rayon d'action de chaque borne est limité à environ 200 à 300 m, afin d'éviter des pertes de charge trop considérables dans le matériel

mobile. La base du regroupement des parcelles, sur une même borne, est le découpage des propriétés. Dans le cas de petites propriétés morcelées, on cherchera à implanter les bornes en limite de parcelles, de manière à pouvoir desservir plusieurs îlots d'exploitation (six au maximum) par la même borne. Pour les grandes propriétés, la borne sera implantée de préférence au centre de la zone à desservir. Les diamètres des bornes en fonction des débits sont comme suit:

$$Q_b = q \times S$$

q = débit fictif continu (l/s/ha)

S = Superficie (Ha)

Tableau VI.5 : choix de diamètre de la borne

Débit fourni	Diamètre de la borne	Surface maximale irrigable
$Q < 8$ l/s	D=65 mm	1.5ha
$8 < Q < 20$ l/s	D=100 mm	3ha
$20 < Q < 25$ l/s	D=150 mm	6ha
$Q > 25$ l/s	D=200 mm	>6ha

VI.12.3 Tracé ramifié du réseau :

VI.12.3.1 Principe :

Il s'agit de relier le plus économiquement possible les différentes bornes du réseau à l'origine de celui-ci (réservoir de mise en charge, prise sur canal, station de pompage, etc.). Le tracé recherché est un réseau ramifié. On peut montrer, en effet, que cette solution conduit à un coût inférieur à celui d'un réseau maillé. Le maillage de conduites n'est envisagé que dans l'optique du renforcement d'un réseau déjà construit, ou à titre de sécurité. La détermination du tracé est effectuée pragmatiquement si l'on s'impose de suivre les limites des parcelles, les chemins ou les routes. Mais, dans le cas contraire, il y a une infinité de solutions au problème, et il faut rechercher la solution de coût minimal. La méthode généralement adoptée comprend trois phases successives.

■ **Le tracé n° 1** ou tracé par proximité déterminera le tracé de longueur minimale ayant pour sommets les bornes du réseau. On utilise à cette fin une adaptation pratique d'un algorithme classique de la théorie des graphes (algorithme de Kruskal, article Théorie des graphes [AF 205] dans le traité Sciences fondamentales). En partant du point le plus éloigné de son origine, on remonte le réseau par une simple loi de proximité ; on passe ainsi d'un réseau à $(n - 1)$ bornes à un réseau à (n) bornes par adjonction toujours extérieure au réseau $(n - 1)$. La figure 19 illustre le résultat de cette procédure.

■ **Le tracé n° 2** ou tracé à 120° améliore le tracé précédent en créant de nouveaux sommets du tracé, distincts des bornes. On peut montrer, en effet, que, si toutes les canalisations ont le même diamètre (donc le même prix au mètre), les tracés au point de jonction où se rencontrent trois canalisations (un adducteur et deux dérivés) font, entre eux, un angle de 120° ; la généralisation de cette propriété sera appliquée au tracé n° 1 et conduira à un réseau présentant les caractéristiques suivantes :

—les sommets auront au maximum trois arêtes incidentes ;

—les angles des arêtes incidentes seront égaux à 120° (dans le cas de trois arêtes incidentes) ou supérieurs à 120° (dans le cas de deux arêtes incidentes). La réalisation pratique du tracé à 120° peut se faire facilement à l'aide d'un papier transparent sur lequel on a reporté trois droites à 120° ; par superposition sur le plan du réseau, on obtient le nouveau sommet à créer à partir de trois sommets initiaux ; pour quatre sommets initiaux concernés, la construction des deux nouveaux sommets s'effectuera avec deux papiers transparents.

■ **Le tracé n° 3** ou tracé économique : le tracé à 120° correspond au tracé de longueur minimale, après création éventuelle de sommets intermédiaires distincts des bornes ; mais il est clair que ce n'est pas le tracé le plus économique : on aura intérêt à raccourcir la longueur des conduites de diamètre important, quitte à augmenter la longueur de celles de petit diamètre ; les angles aux points de jonction seront ainsi quelque peu modifiés. On peut démontrer que le coût du tracé sera minimal lorsque les vecteurs, ayant pour directions les trois tracés aboutissant à une jonction et ayant pour longueurs des segments proportionnels au prix unitaire des conduites correspondantes, ont une résultante géométrique nulle; on en déduit des constructions géométriques permettant de déterminer la solution optimale ; mais on notera que cette détermination suppose la connaissance des diamètres des conduites ; il faudra donc préalablement effectuer une optimisation des diamètres.

VI.12.3.2 Mise en œuvre :

Il est sûr que la deuxième et la troisième opérations, décrites pré-cédemment, améliorent le tracé initial n° 1. Mais il n'est pas certain qu'en partant d'un tracé initial différent du tracé par proximité on ne puisse obtenir de meilleurs résultats quant au coût du réseau. L'optimum atteint par la procédure proposée n'est relatif qu'à une structure initiale donnée, dont le tracé par proximité ne constitue que la variante de plus courte longueur. En pratique, la programmation sur ordinateur des méthodes décrites précédemment permettra de tester successivement plusieurs structures initiales du réseau. La première d'entre elles sera le tracé par proximité. Les autres seront définies empiriquement par le projeteur, compte tenu des informations dont il dispose (cote des bornes à desservir et éloignement à l'origine du réseau) et qui lui permettent de déceler les bornes défavorables potentielles. Par une série d'itérations successives, on pourra ainsi définir une bonne solution, sinon l'optimum théorique.

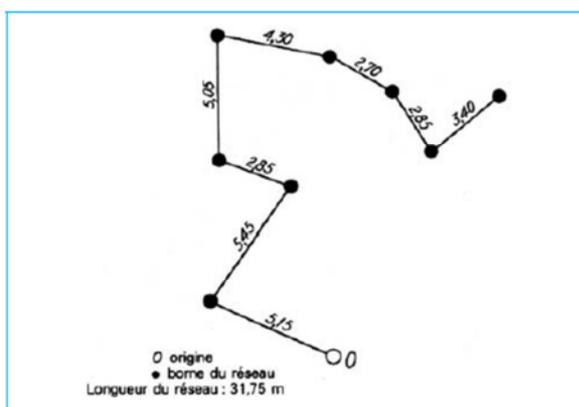


Figure VI.3 : Exemple de tracé par proximité

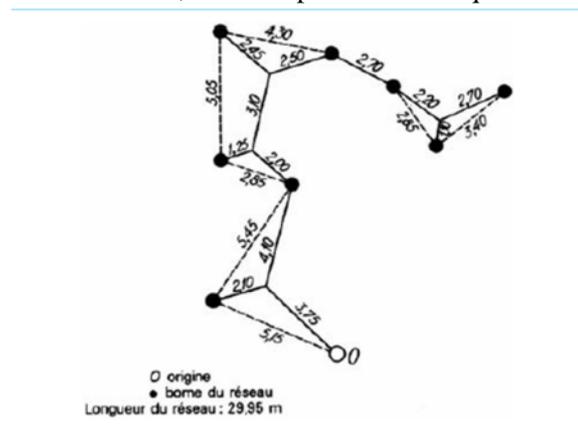


Figure VI.4: Exemple de tracé à 120°

VI.12.2 Simulation du tracé :

Le logiciel utilisé pour construire le modèle d'irrigation s'appelle EPANET, c'est un outil de calcul automatique et d'analyse des réseaux ramifiés, Il permet de générer un nombre très important des configurations possibles ce qui permet de calculer les différentes valeurs de pression au niveau de chaque prise pour chaque configuration et pour chaque couple débit-pression en chaque point du réseau.

Le logiciel permet de calculer et d'optimiser les diamètres des conduites de distribution, il est capable de générer les débits en chaque conduite et surtout à la tête du réseau, il pourra déterminer les pertes de charges linéaires et les pressions au niveau de chaque borne située en chaque parcelle agricole ou ilot (groupement de parcelles).

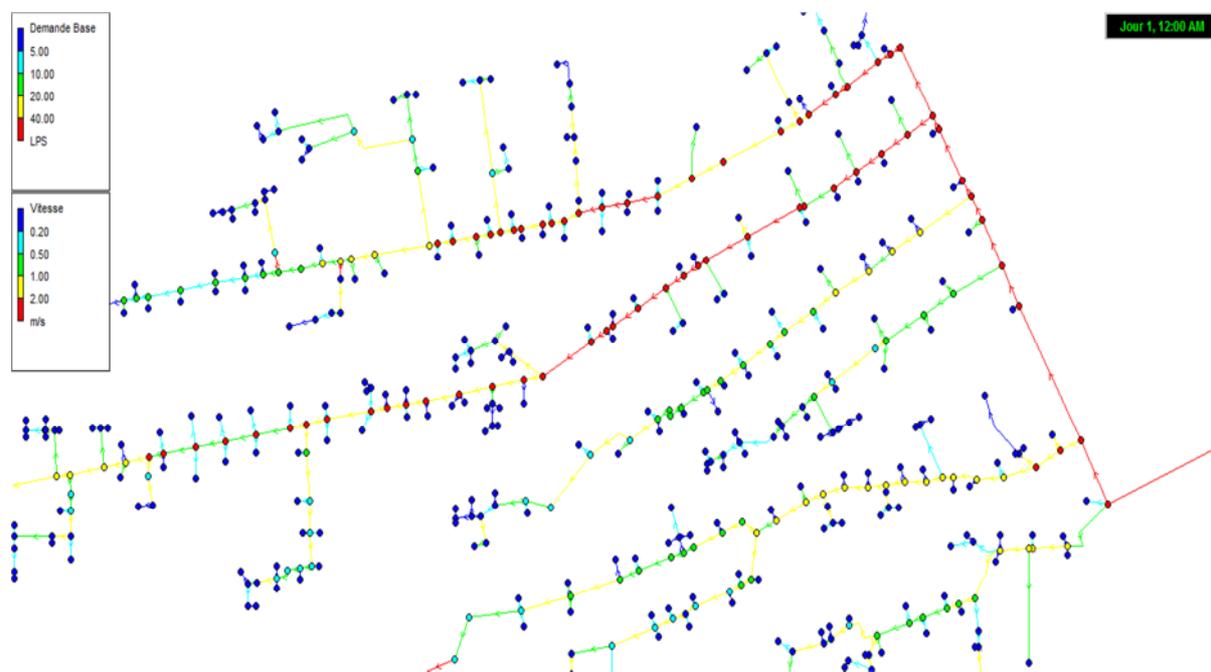


Figure VI-5 : Schéma de simulation par EPANET

VI.12.3 Résultats de Simulation :

A partir des résultats du tableau (Voir Annexe 5 et Annexe 6) on peut distinguer :

1/ Zone à forte pression (pression statique entre 6 et 7 bars)

Dans cette zone il est prévu: l'installation des bornes d'irrigation équipées de régulateurs de pression seront installées.

2/ Le réseau est calculé pour desservir sous 1 bar minimum. Le tableau des caractéristiques des bornes montre la pression statique souvent supérieure à 4 bars, il sera donc possible de pratiquer l'aspersion pour l'irrigation hors des mois de pointe. Certaines bornes qui disposent d'une pression comprise entre 2 et 3 bars pourront pratiquer l'irrigation localisée (arbre).

3/ Les pressions en mode de fonctionnement hivernal (transfert) sont différentes de celles du fonctionnement en été. Les réseaux ont été calculés pour le fonctionnement été, ce qui suppose qu'en hiver pendant le transfert, les réseaux soient isolés de l'adducteur.

VI.13 Vannes :

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

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

VI.13.1 Vanne de sectionnement :

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

Assurer une rotation entre les deux secteurs, en cas ou la STEP ne produit plus le débit
Nécessaire au périmètre

VI.14 Ventouses :

Comme nous l'avons dit précédemment les ventouses sont placées aux points hauts des addictions, voir le tableau ci-après.

Tableau VI.6: choix des ventouses

Diamètre de la conduite	Diamètre de l'orifice d'évacuation de l'air
$D < 500\text{mm}$	$D=80\text{mm}$
$500 < D < 900\text{mm}$	$D=100\text{mm}$
$900 < D < 1250\text{mm}$	$D=150\text{mm}$

VI.15 Vidange :

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

VI.16 Cheminée d'équilibre ou d'entrée d'air :

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

VI.17 Clapet de non-retour :

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

Introduction:

Les avantages de l'utilisation en forêt d'eaux usées domestiques après un traitement plus ou moins poussé en station d'épuration sont :

- l'élimination d'une source de pollution pour le milieu naturel (cours d'eau ou milieu marin) à un moment où coïncident l'étiage des rivières, l'utilisation maximale des plages, et la pointe de volume des eaux usées résultante de la saison touristique.

- la constitution d'une ressource en eau complémentaire pour le milieu forestier dont la protection contre les incendies serait grandement facilitée par la création de pare-feu arborés à couvert dense ainsi que la conservation des sols contre l'érosion. Accessoirement la productivité de la forêt, actuellement très faible, pourrait être augmentée de façon notable.

La forêt de Bainem présente les caractéristiques suivantes: orientation au Nord, pente importante, faible épaisseur d'un sol de texture sablo-limoneuse. Ces caractéristiques permettent de se servir de l'expérience de la forêt méditerranéenne de Cogolin (France) comme référence, étant donné que les forêts de Bainem et de Cogolin présentent les mêmes caractéristiques. Pour rappel, d'autres expériences réalisées dans d'autres régions du monde, (en Inde) ont donné les mêmes résultats.

VII.1 Choix du Mode d'irrigation :***VII.1.1 Comparaisons selon le fonctionnement de l'installation :***

Le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque : ainsi, l'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes peuvent avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation. L'irrigation par aspersion crée des aérosols qui peuvent être contaminants (Marcel CADILLON et al (1986)).

La fiabilité d'une installation d'irrigation par aspersion en couverture intégrale n'est plus à démontrer, même en eau usée : le bouchage des buses d'asperseur de 4 mm de diamètre n'est pas à craindre avec une eau filtrée à 120 microns et les tubes d'alliage aluminium résistent bien à la corrosion par les sels dissous dans l'eau (Marcel CADILLON et al (1986)).

Par contre en micro-irrigation, même avec une filtration préalable de l'eau, il y a risque de bouchage des ajutages, les eaux usées contenant des matières en suspension de nature minérale et organique susceptible de provoquer des obstructions d'ordre physique ou biologique, ainsi que des sels dissous pouvant entraîner des obstructions d'ordre chimique (Marcel CADILLON et al (1986)).

Avec les ajutages utilisés à Cogolin, dont les diamètres de l'orifice s'étagent entre 1,2 et 2,1 mm par dixième de millimètre, on peut craindre 2 types de bouchage :

- Une obstruction physique, consécutive à un arrêt prolongé de l'installation, au cours duquel les matières fines en suspension dans l'eau (que l'équipement de filtration a laissé passer) qui se sont déposées dans les canalisations, s'agglomèrent en se desséchant. A la remise en eau de l'installation, ces agglomérats, que le gel de l'hiver ou la dessiccation aura fragmentés, sont entraînés par le courant et vont colmater les ajutages qui, au contraire des goutteurs à cheminement long, ont une entrée unique très sensible à une obstruction brutale par une particule de grosse dimension.
- Une obstruction biologique due essentiellement à des développements d'algues ou de gels bactériens dans les rampes qui, entraînés par le courant, viennent obstruer plus ou moins complètement l'orifice des ajutages. (Marcel CADILLON et al, 1986)

Ces 2 types de bouchage peuvent être évités en procédant lors de l'arrêt des arrosages avant hivernage à une purge efficace de l'ensemble de l'installation (rampes, porte-rampes et canalisation d'amenée) précédée, pour la rendre plus efficace, d'une chloration massive (plus de 100 ppm pendant 3 à 4 heures). C'est ce mode de maintenance qui a été mis en œuvre à Cogolin et qui s'est révélé efficace durant ces 3 années d'expérimentation où seulement quelques bouchages accidentels ont été constatés (Marcel CADILLON et al, 1986).

Les 2 filtres à tamis, placés l'un, auto-nettoyant, sur l'aspiration et l'autre en sécurité, sur le refoulement de la pompe de mise en pression ont fonctionné sans faille (l'essentiel de la filtration étant assuré d'ailleurs par le premier), quelle que soit la qualité de l'effluent rejeté par la station d'épuration (Marcel CADILLON et al, 1986).

VII.1.2 Comparaison en fonction des modes d'apport :

L'aspersion dont l'installation est plus simple et moins coûteuse ne correspond pas du tout aux objectifs visés. La dose apportée est répartie sur toute la surface et profite beaucoup plus à la végétation adventice et notamment aux herbacées qu'aux arbres, jeunes ou adultes (Marcel CADILLON et al, 1986).

En micro-irrigation (localisée), par contre, la dose calculée à l'unité de surface est en fait apportée sur environ 15 % de celle-ci, au pied des arbres. Elle est donc ponctuellement beaucoup plus importante et peut alors pénétrer en profondeur et bénéficier aux arbres. Les arbustes peuvent en bénéficier également car nombre d'espèces du maquis ont un enracinement profond mais il y a moins d'herbacées.

VII.1.3 Le système choisit :

L'expérience d'irrigation de forêts avec des eaux usées provenant de la station d'épuration permet de tirer les enseignements suivants :

- La micro-irrigation apparaît comme le mode d'apport le plus adéquat et le plus performant, mais il est indispensable de prévoir un système de filtration à 2 niveaux (sur l'aspiration et sur le refoulement de la pompe) efficace et d'assurer une maintenance constante des

installations. (Marcel CADILLON et al, 1986)

- La nette diminution de l'inflammabilité des espèces qui composent le maquis dans les zones irriguées ne doit cependant pas être considérée comme la panacée en matière de lutte contre les incendies; elle est en effet très largement compensée par l'augmentation de la biomasse de broussailles qui, globalement, accroît de façon importante la combustibilité de la forêt. La réponse de la végétation arbustive dont le développement rapide et important transforme en deux ou trois ans les parcelles irriguées en « forêt vierge », représente un inconvénient majeur.

L'expérience montre qu'un débroussaillage annuel est, nécessaire dès le départ, ceci en attendant que les espèces forestières procurent un couvert suffisamment dense pour obtenir un contrôle total et définitif de ces broussailles (Marcel CADILLON et al, 1986).

- Les espèces forestières introduites au niveau de la forêt de Cogolin ont eu des réactions en général positives à l'irrigation avec des eaux usées épurées.

VII.2 Projection du réseau d'irrigation localisée :

VII.2.1 La dose pratique :

$$D_p = \text{RFU} \cdot P\%$$

Tel que :

- P : volume de sol humidifié.

Avec :

$$P = \frac{n \cdot S_{pd} \cdot S_h}{S_a \cdot S_r}$$

- n : Nombre de point de distribution par arbre: 2
- S_{pd} : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre ; 0.8(m)
- S_h : Largeur de la bande humidifiée ; 5(m).
- S_r : Ecartement entre rangs d'arbre ; 5(m)
- S_a : Espacement des arbres sur les rangs ; 5(m)

$$P = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 5}{5 \cdot 5} = 0.32$$

Donc:

$$D_p = \text{RFU} \cdot P = 58 \text{ mm}$$

VII.3.2 La dose nette pratique réelle

$$D_{r,\text{net}} = 85\% D_p$$

$$D_{r,\text{net}} = 0.85 \cdot 58 = 49.3 \text{ mm}$$

VII.2.3 dose brute :

$$D_B = \frac{Dr .nett}{Cu .Eff}$$

- **Cu** : coefficient d'informaté
- **Eff** : Efficience en irrigation localisée, rendement de système en suppose= 0.9

$$DB = \frac{49.3}{0.95 * 0.9} = 57.66 \text{ mm}$$

Db=57.66 mm

VII.3.4 Fréquence d'arrosage :

$$Fr = \frac{D_{r.net}}{B_{Jloc}}$$

- $B_{JLOC} = Kr. Bnet$
- **Kr**: Coefficient de réduction, tel que: $Kr = CS + 0,5 (1-CS)$, (Freeman et Garzoli)
- **CS**: Couverture du sol; pour l'Eucalyptus $CS = 60\%$ $Kr = 0,6 + 0,5 (1 - 0,6) = 0,8$.

$$B_{JLOC} = 0,8. 3,08 = 2,456 \text{ mm/j.}$$

D'où:

$$Fr = \frac{49,3}{2,46} = 20 \text{ jours}$$

VII.2.5 Dose fictive à apporter :

$$p(g) = \frac{q(g) * 2}{Sr * Spd}$$

Avec :

- **q (g)** : Débit de goutteur, $q (g) = 4 \text{ l/h}$.
- **Sr** : Espacement entre les rangs, $Sr = 5 \text{ m}$.
- **Spd** : Espacement entre les goutteurs, $Spd = 0.8 \text{ m}$.

$$p(g) = \frac{4 * 2}{5 * 0.8} = 1.25 \text{ mm / h}$$

VII.2.6 durée d'arrosage :

$$t = \frac{D_{brute} \times S_{pd} \times S_r}{n.q}$$

- **q**: débit d'un goutteur
- **n** : nombre de goutteur

$$t = \frac{57.66 \times 0.8 \times 5}{2.4} = 28.83 \text{ heures}$$

Les 28.83 heures sont répartie sur 20 jours par mois donc dans une journée on a: $D_j = 1.44$ heures.

$D_j = 2$ heures

VII.2.7 nombre de poste :

Théoriquement on prend une durée de travail de 18h

$$N(p) = \frac{Dr.net}{BJloc} = \frac{18}{2} = 9 \text{ postes}$$

VII.2.8 Surface d'un poste :

$$S(p) = \frac{S(t)}{N(p)}$$

- **S (t)** : Surface totale en ha.
- **N (p)** : Nombre de poste.

$$S(p) = \frac{4.5}{9} = 0.5 \text{ ha}$$

VII.2.9 Surface correspondant à une rampe :

Al = longueur de la rampe \times espacement entre les rampes

$$Al = 200 \times 5 = 1400 \text{ m}^2 = 0.14 \text{ ha}$$

VII.2.10 Nombre de rampes par postes :

$$N(r) = \frac{S(p)}{Al}$$

Avec :

- **S (p)** : Surface du poste en m^2 .
- **Al** : Surface correspondant à une rampe en m^2 .

$$N(r) = \frac{5000}{1400} = 4$$

VII.2.11 Nombre de goutteur par rampe :

$$Ng = \frac{Lr}{Sr}$$

- Lr : longueur de la rampe
- Sr : espacement entre arbre

$$Ng = \frac{85}{5} \cdot 2 = 34$$

Donc : Ng=34 goutteurs/ rampe

Les paramètres calculés sont repartés dans le tableau VII-3.

VII.3 Calcul hydraulique :**VII.3.1 Débit d'une rampe :**

$$Qr = Qg Ng$$

- Qg : Débit de goutteur
- Ng: Nombre des goutteurs par rampe

$$Qr = 4 \cdot 34 = 136 \text{ L/h}$$

Tableau VII.1 : calculs des paramètres pour l'Eucalyptus

Paramètres calculés	Ng	Dj (h/jour)	Np	Sp (ha)	Al (m ²)	Qr (l/h)	N(r)	Pg(mm/h)
Eucalyptus	34	2	9	0.5	1400	136	4	1.25

VII.3.2 Débit de porte rampe :

$$Qpr = Qr \cdot Nr$$

$$Qpr = 136 \cdot 4 = 544 \text{ l/h} = 0.151 \text{ l/s}$$

VII.3.3 Perte de charge :

●type de goutteur:

$$q = K \times H^x$$

- x : dépend de type de goutteur=0.5

●Règle de CHRISTIAHSEN

D'après ce savant :

$$\triangleright \Delta q / q = 10\% \text{ ou } \frac{\Delta H}{H} = 0.2$$

Pression minimale $H = 10 \text{ mce} = 1 \text{ bar}$

$$\triangleright \frac{\Delta q}{q} = x \times \frac{\Delta H}{H_n} \leftrightarrow \Delta H = \frac{\Delta q}{q} \cdot H / x$$

$$\leftrightarrow \Delta H = 10\% \cdot \frac{10}{0.5} = 2 \text{ m}$$

Alors pour satisfaire la condition ($\frac{\Delta q}{q} \leq 10\%$) il faut que $\Delta H = 2 \text{ m}$ c'est-à-dire la perte de charge

admissible $\Delta H = 2 \text{ m}$

- la perte de charge singulière $h_s = 10\% \Delta H$; $h_s = 0.2$
- perte de charge linéaire $h_L = \Delta H - h_s = 2 - 0.2$; $h_L = 1.8 \text{ mce}$
- La répartition de la perte de charge est :
 - 1/3 sur la porte rampe
 - 2/3 sur les rampes

VII.3.2 Dimensionnement des différents segments du réseau :

VII.3.2.1 Diamètre des rampes :

$$\hat{O} = (2.75 \cdot P_{dcr} / 0.478 \cdot L_r \cdot Q^{1.75})^{-1/4.75}$$

- P_{dcr} : perte de charge dans la rampe

$$P_{dcr} = \frac{2}{3} \times 1.8 = 1.2 \text{ mce}$$

- L_r : longueur de la rampe
- Q : débit de rampe

$$\hat{O} = (2.75 \cdot 1.2 / 0.478 \cdot 85.136^{1.75})^{-1/4.75}$$

$$\hat{O} = 11 \text{ mm}$$

$$\hat{O} = 16 \text{ mm (PEHD)}$$

• vérification:

$$P_{dc} = \frac{0.478}{2.75} \cdot L_r \cdot Q^{1.75} \cdot \hat{O}^{-4.75}$$

$$= 0.90 < 1.2 \rightarrow \text{vérifiée}$$

Donc : $\hat{O} = 16 \text{ mm}$

Tableau VII.2 : calcul de D_{cal} de la rampe

Cultures	L r(m)	Ng	Qr(l/h)	h _l (m)	D _{cal} (mm)	D _n (mm)	Pdc(m)
Eucalyptus	85	80	136	1.2	17.01	16	0.91

VII.3.2.2 Diamètres des portes rampes :

$$\hat{O} = (2,75 \cdot P_{dcp} / 0,478 \cdot L_{pr} \cdot Q^{1,75})^{-1/4,75}$$

- P_{dcp} : perte de charge dans la rampe

$$P_{dcp} = \frac{1}{3} \times 1.8 = 0.6 \text{ mce}$$

- L_{pr} : longueur de la rampe
- Q_p : débit de la porte rampe

$$\hat{O} = (2,75 * 0,6 / 0,478 * 58.83 * 544^{1,75})^{-1/4,75}$$

$$\hat{O} = 25 \text{ mm (PEHD)}$$

- verification:

$$P_{dc} = \frac{0.478}{2.75} * L_{pr} * Q^{1,75} * \hat{O}^{-4,75}$$

$$= 0.56 < 1.2 \rightarrow \text{vérifiée}$$

Donc: $\hat{O} = 25 \text{ mm}$

Tableau VII.3 : calcul de D_{cal} de la porte rampe.

Cultures	L _{pr} (m)	N _p	Qr(l/h)	Q _{pr} (l/s)	h _l (m)	D _{cal} (mm)	D _n (mm)	Pdc(m)
Eucalyptus	58.8	9	136	0.15	0.6	18,49	25	0.56

VII.3.2.3 Calcul de la canalisation principale :

La vitesse de l'eau devra être inférieure à 2m/s

Avec Q_{poste} = 0.36l/s

Pour 9 postes on a Q = 3.24 l/s

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{3.24 * 10^{-3}}{1.5} = 0,00216 \text{ m}^2$$

$$D_{cal} = \sqrt{\left(\frac{4 * S}{\Pi}\right)} = 52.44 \text{ mm}$$

On prend D_n = 75mm

CONCLUSION GENERALE

Au terme de cette étude, nous constatons que les eaux usées représentent une ressource d'eau renouvelable qu'il faudra exploiter dans l'agriculture, l'industrie et d'autres usages municipaux, donc, constituer sans doute, demain, l'une des solutions incontournables pour notre pays qui souffrant énormément de déficit hydrique.

Les résultats expérimentaux obtenus lors de cette étude montrent que les eaux usées de la station d'épuration de Béni Messous sont d'une qualité médiocre nécessite un traitement tertiaire qui permet de les utiliser dans le domaine agricole (l'irrigation), un stockage est nécessaire pour mieux affiner ces eaux.

L'enquête effectuée nous a permis de constater qu'il existe réellement des possibilités d'utilisation de l'eau épurée par la station de Béni Messous, sans risque, dans le secteur agricole en améliorant par des traitements complémentaires.

En fin, il faut noter que cette utilisation doit être rendue optimale et pour qu'il en soit ainsi, les conditions suivantes doivent être remplies :

- il faut adapter les systèmes d'irrigation à la qualité de l'eau employée,
- il faut optimiser l'apport d'eau et ajuster la fertilisation aux besoins des cultures,
- Les normes existantes de qualité et les directives pour le recyclage des eaux usées en irrigation s'appliquent aux productions agricoles; il n'y a pas de normes ou de directives détaillées pour les arbres. Il y a de bonnes raisons d'examiner de plus près la possibilité d'irriguer des forêts et des plantations d'arbres avec les eaux usées. Il s'agit notamment de facteurs sanitaires (risque réduit de contamination des cultures vivrières par des agents pathogènes ou des métaux lourds), de considérations écologiques (développement des espaces verts et autres plantations forestières urbaines et périurbaines), d'avantages économiques (valeur des produits forestiers et des services liés à un meilleur environnement - généralement sous-évalués) et préoccupations d'ordre social et esthétique. Avec la forte demande, dans de nombreuses villes en développement, de bois de feu et de matériaux de construction pour un nombre croissant de citoyens à faible revenu et l'augmentation des prix du bois sur le marché, tous ces facteurs ont suscité un intérêt croissant pour les plantations d'arbres irriguées avec les eaux usées.

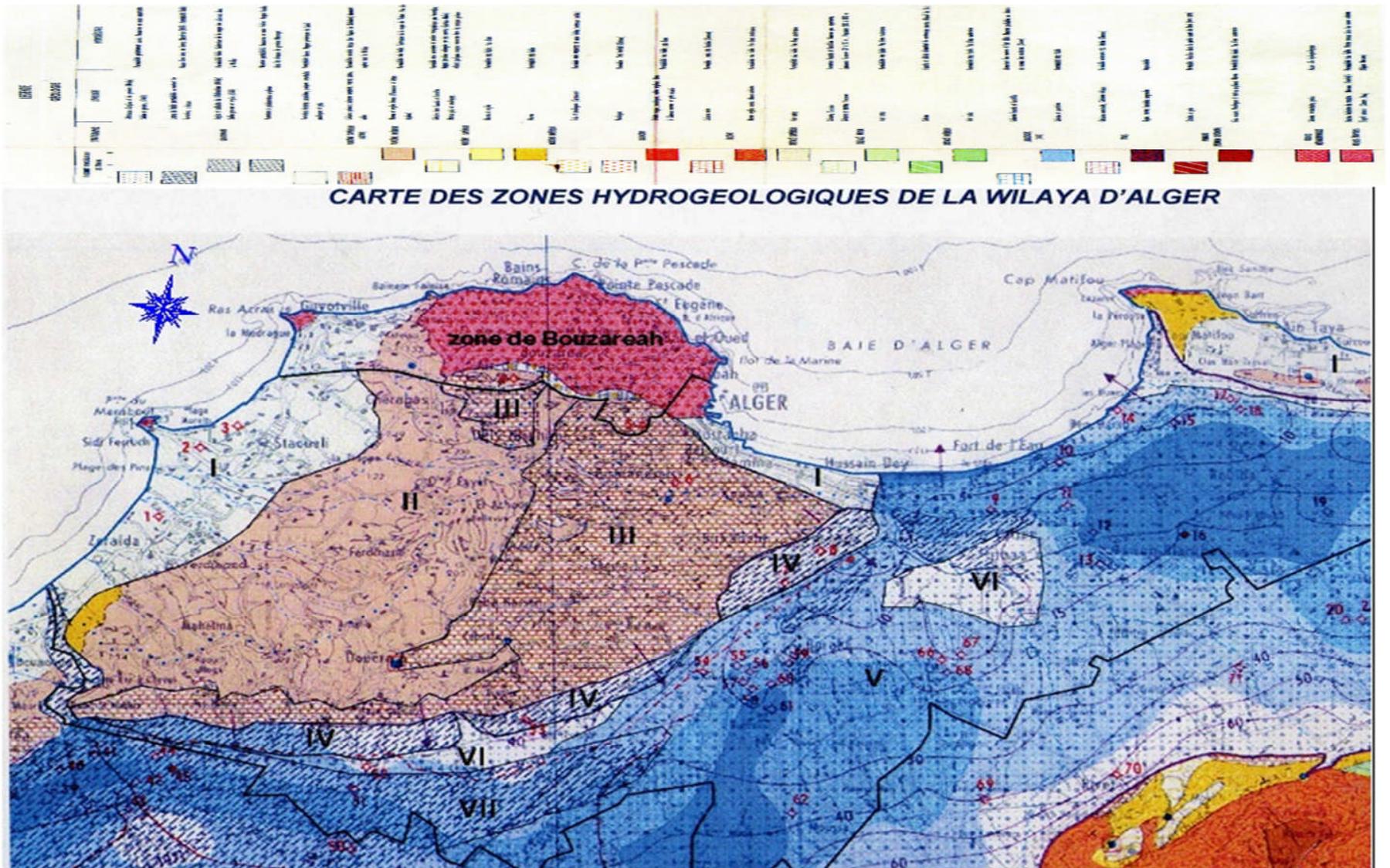
BIBLIOGRAPHIE

- ❖ Abarnou, A. and Miossec, L. Chlorinated waters discharged to the marine environment chemistry and environmental impact. An overview. *The Science of Total Environment*,(1992) 126, p.173-197
- ❖ ANRH d'Alger Rapport Méthodologie de l'étude pédologique du sahel algérois (2011)
- ❖ Baron, J. Repair of wastewater microorganisms after ultraviolet disinfection under seminatural conditions. *Wat. Environ. (1997)Res.*, 69, 5, p. 992-998
- ❖ BELVAUX et Gerard TRON *Forêt méditerranéenne XVII*, n^o 4 Expérimentation d'arrosage de boisement en forêt méditerranéenne. (1996)
- ❖ DHW Alger :
 - étude d'environnement d'Alger (projet de collecte et dépurations des eaux usées-rapport Mission B –Tome II) 2012
 - rapport Méthodologie de l'étude de Réutilisation des eaux Epurées de la station d'épuration de Baraki 1^{ère} partie 2012
- ❖ EPA Ultraviolet Disinfection Technology Assessment.EPN832/R-92/004. US EPA, Washington D.C.(1992)
- ❖ FAO, Water quality for agriculture, R.S. Ayres and D.W, Westcot, FAO Irrigation and Drainage Paper 29, FAO, Rome(1985).
- ❖ King, C.H.; Shotts, E.B.; Wooley R.E. and Porter, K.G. Survival of coliforms and bacterial pathogens within protozoa during chlorination. *Appl. Environ. Microbiol.*(1988) p.54, 12, 3023-3033
- ❖ Marcel CADILLON, André MALAVAL Christian RI PERT et Lidia TREMEA. *forêt méditerranéenne VIII n^o2*, (1986) p. 151-160
- ❖ Rebhun, M., Heller-Grossman, L. and Manka, J. Formation of disinfection byproducts during chlorination of secondary effluent and renovated water. *Water Environ.*(1997) Res. 69, 6, pp.1154-1162
- ❖ Réglement Parasismique Algerian-(RPA- 2003)
- ❖ SINBAD, Elaboration préliminaire des Plans de gestion des eaux usées retenus pour les sites pilotes de Réghaia et Constantine(2010)
- ❖ -Station d'épuration de Béni Messous 2012

- ❖ VINCENT BUTIN, De la forêt a l'irrigation. (1984)
- ❖ WABAG, Descriptif de Fonctionnement et d'Exploitation De la Station d'Épuration des Eaux Usées de la Ville De BENI MESSOUS (2012) p. 2-12

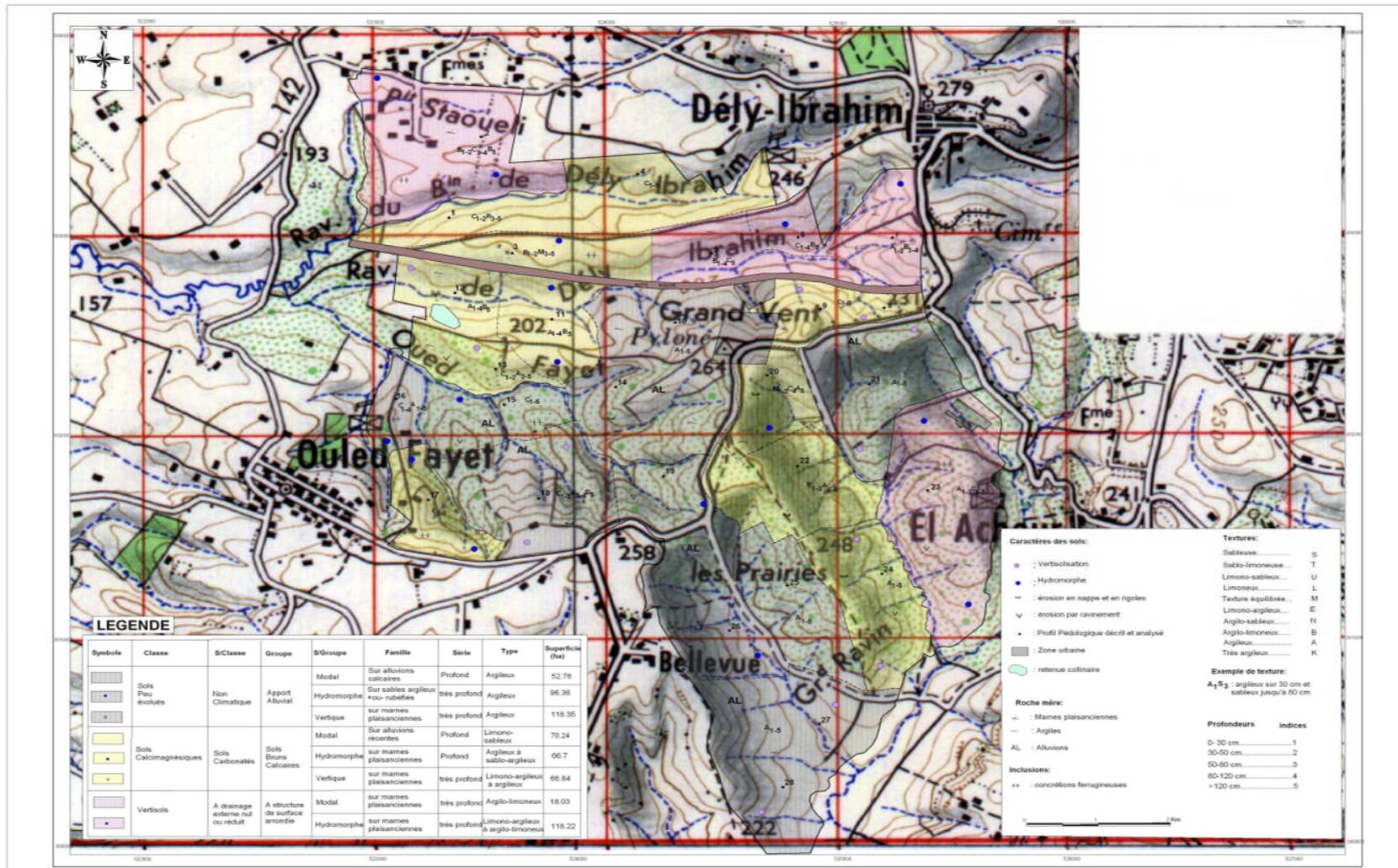
Annexe

Annexe N1: CARTE HYDROGEOLOGIQUES DE LA REGION D'ALGER Echelle:1/500. (Source ANRH)



Annexe

Annexe N°2 : Carte pedologique de la region ouest d'Alger



Annexe

Annexe4 : Tableau de la pluviométrie moyenne mensuelle et interannuelle de zone d'étude

Anné	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Total
1975	5.95	22.15	267.8	71.4	94.2	223.4	19.35	52.25	58.6	13.5	18.2	13.0	859.9
1976	16.9	107.1	79.9	85.6	57.4	30.1	22.4	95.3	43.8	3	0	0	541.5
1977	0.7	6.6	130.0	8.9	86.0	35.3	67.1	175.3	79.8	0.5	0.0	0.0	590.3
1978	9.3	78.5	62.3	46.9	63.7	145.2	93.0	39.4	5.7	6.8	0.0	4.8	555.5
1979	93.0	69.6	176.2	76.1	74.4	28.8	58.9	132.5	47.8	0.7	0.0	0.3	758.2
1980	1.5	49.0	83.5	229.8	35.8	68.4	47.9	66.7	37.4	3.7	0.0	21.5	645.0
1981	3.7	57.3	16.6	82.3	153.2	131.9	33.6	20.8	38.3	23.3	0.4	4.8	566.0
1982	46.0	104.2	229.1	109.2	1.2	66.1	33.5	13.3	3.6	0.0	20.7	25.6	652.4
1983	0.5	24.2	38.5	56.2	93.3	77.4	47.6	35.6	108.4	12.9	0.1	0.0	494.6
1984	26.4	178.6	40.4	143.1	106.1	29.5	189.2	6.7	111.4	0.2	0.0	1.5	833.0
1985	53.3	40.2	105.8	56.1	57.7	62.9	165.4	26.8	2.3	21.5	18.3	1.7	612.1
1986	42.2	46.2	93.1	205.5	85.3	146.4	15.1	0.2	10.9	20.5	1.0	1.9	668.2
1987	23.1	38.1	78.5	40.0	58.5	52.0	49.0	45.5	37.6	40.2	0.2	0.0	462.6
1988	39.3	6.7	64.9	173.7	35.0	23.7	35.6	92.3	8.2	4.2	0.9	7.7	492.2
1989	14.5	20.8	34.8	11.4	37.0	0.1	26.8	58.9	78.7	8.0	21.3	0.0	312.0
1990	6.7	32.5	42.8	103.5	51.8	92.5	46.9	41.5	29.4	3.8	0.0	2.8	454.2
1991	26.2	127.2	39.4	8.1	154.9	31.4	83.6	90.6	86.6	13.0	5.2	0.0	666.2
1992	6.1	52.0	138.5	92.3	27.2	79.9	17.0	70.1	37.6	0.1	1.3	0.6	522.7
1993	38.9	40.7	67.7	78.0	96.1	36.5	23.1	37.3	1.8	3.0	1.2	2.4	426.6
1994	55.5	48.7	47.6	78.1	146.0	65.8	83.7	66.0	10.7	18.0	0.6	15.5	636.1
1995	28.5	41.1	29.0	41.4	67.6	135.1	34.5	135.1	22.6	29.8	6.4	5.8	576.9
1996	28.5	77.9	68.9	64.1	35.5	43.2	36.0	87.0	83.5	6.6	1.7	17.1	549.8
1997	46.8	51.2	144.5	93.8	45.9	76.3	60.2	62.9	123.5	3.5	0.0	4.5	713.0
1998	23.6	42.6	106.6	96.0	108.4	91.9	50.8	24.8	7.3	3.1	0.0	7.7	562.6
1999	28.2	28.5	150.7	171.9	37.1	16.8	22.0	25.4	34.0	4.4	0.0	0.0	518.8
2000	9.4	39.6	68.5	38.2	108.9	75.9	8.0	34.3	13.5	0.0	0.0	2.9	399.2
2001	26.1	21.6	85.2	71.8	83.1	58.1	34.3	32.2	14.2	0.0	0.9	9.8	437.1
2002	22.4	45.3	88.1	136.5	170.8	82.7	36.2	84.6	55.4	2.3	4.0	0.0	728.0
2003	24.3	30.3	42.7	92.1	121.0	67.8	68.8	43.0	129.5	0.0	9.1	0.4	628.9
2004	12.0	46.4	102.3	139.9	100.2	107.4	42.1	21.1	33.8	0.0	0.0	0.4	605.7
2005	14.9	33.8	73.3	95.0	100.8	78.1	41.1	29.1	86.8	1.3	0.0	4.4	558.1
2006	14.8	8.4	6.4	133.7	6.3	23.9	93.4	64.8	19.9	1.5	2.3	0.6	375.8
P_{moy}	24.66	50.53	87.61	91.58	78.14	71.39	52.69	56.60	45.71	7.79	3.56	4.93	

Source : ONM

Annexe

Annexe5 : l'Etat des nœuds dans le réseau :

	Altitude(m)	Debit(l/s)	Charge(m)	Pression(m)		ALT	Debit	Charge	Pression
N2	174	195.9	209.74	35.74	B45	149	0.5	205.24	56.24
N121	146	84.1	177.45	31.45	N39	150	36.71	204.89	54.89
B138	145	3.92	176.75	31.75	B49	150	0.47	204.87	54.87
N10	149	17.93	205.58	56.58	N40	148	36.24	204.6	56.6
N15	147	2.31	205.5	58.5	B50	149	0.55	204.57	55.57
N114	164	98.03	182.38	18.38	N41	147	35.69	204.38	57.38
B129	163	2.37	181.27	18.27	N42	147	1.61	203.91	56.91
N116	157	94.66	180.81	23.81	N44	144	33.63	204.01	60.01
B132	155	2.17	179.79	24.79	B55	143	0.51	203.99	60.99
N118	152	91.87	179.44	27.44	N43	145	34.08	204.2	59.2
B134	152	1.8	178.78	26.78	B54	144	0.46	204.18	60.18
N119	151	90.07	179.35	28.35	B42	161	0.58	203.53	42.53
B135	151	1.18	179.24	28.24	B40	160	0.58	203.68	43.68
B88	147	1.82	195.62	48.62	B41	157	0.37	203.68	46.68
N76	147	6.28	195.62	48.62	N86	180	199.46	193.21	13.21
N77	144	17.66	195.1	51.1	B102	179	4.37	193.03	14.03
B90	143	2.87	194.44	51.44	N4	156	30.19	209.49	53.49
B91	143	1.38	194.42	51.42	B3	155	1.01	209.49	54.49
N70	180	219	200.04	20.04	B4	158	0.6	209.44	51.44
B83	178	4.62	200.04	22.04	N5	154	28.58	208.63	54.63
N72	166	14.92	198.16	32.16	B5	155	1.09	208.55	53.55
N124	143	82.21	176.75	33.75	N6	153	27.49	206.53	53.53
B142	142	1.03	175.9	33.9	B6	147	2.3	203.58	56.58
N127	140	79.66	175.9	35.9	N7	151	26	206.11	55.11
B146	141	2.31	175.9	34.9	B7	152	0.38	206.09	54.09
B143	143	1.03	175.82	32.82	B8	150	0.26	206.08	56.08
B139	145	3.92	176.7	31.7	B2	170	1.61	209.39	39.39
N74	152	10.8	197.95	45.95	N117	154	92.14	180.18	26.18
B87	152	2.17	197.33	45.33	B133	154	0.27	180.17	26.17
B86	153	2.35	197.21	44.21	N18	145	1.97	204.11	59.11
N33	168	45.1	205.88	37.88	N19	145	1.58	202.88	57.88
B38	168	3.33	204.9	36.9	B21	142	0.48	202.88	60.88
N34	158	41.77	205.7	47.7	B18	144	0.39	204.04	60.04
B39	159	2.59	203.68	44.68	B19	144	0.18	204.04	60.04
N35	152	39.19	205.51	53.51	N17	146	2.16	204.47	58.47
B43	154	3.68	205.46	51.46	B17	145	0.19	204.47	59.47
N36	152	38.51	205.37	53.37	N16	147	2.31	205.47	58.47
B44	151	3.21	205.37	54.37					
N37	151	38.3	205.26	54.26					

Annexe

Suite de l'Annexe4

B15	147	0.14	205.47	58.47
B20	143	0.22	204.04	61.04
N12	148	15.35	205.23	57.23
B12	148	1.19	205.13	57.13
N11	148	15.63	205.35	57.35
B11	147	0.98	205.31	58.31
N13	147	14.16	205.04	58.04
B13	146	1.34	204.88	58.88
N14	146	12.82	204.97	58.97
B14	146	1.54	204.76	58.76
N20	145	11.28	204.85	59.85
B23	144	1.86	204.54	60.54
B22	144	1.1	202.63	58.63
N22	142	4.63	202.44	60.44
B25	143	0.31	202.4	59.4
N23	142	4.32	202.29	60.29
B26	142	0.34	202.28	60.28
N21	142	5.01	203.09	61.09
B24	142	0.36	203.09	61.09
N30	138	2.7	195.67	57.67
B34	136	0.39	195.65	59.65
N31	137	2.3	192.17	55.17
B35	135	0.63	192.14	57.14
N28	141	3.86	203.92	62.92
B31	140	0.43	203.79	63.79
N27	142	4.41	204.2	62.2
B30	142	0.55	204.17	62.17
B32	139	0.43	203.79	64.79
N32	133	1.68	190.59	57.59
B37	128	1.37	190.28	62.28
B36	131	0.31	190.58	59.58
N29	140	3.43	202.35	62.35
B33	139	0.74	202.33	63.33
N9	150	0.93	206.03	56.03
B9	150	0.22	206.03	56.03
N45	142	33.12	203.85	61.85
N46	142	2.25	202.42	60.42
B56	142	1.48	199.94	57.94
B57	143	0.38	199.9	56.9
B58	141	0.89	199.74	58.74
N47	141	30.87	203.75	62.75
B59	141	1.71	203.49	62.49
N48	139	29.16	203.59	64.59
B60	138	0.51	203.57	65.57
N61	137	12.01	202.37	65.37
B73	136	0.58	202.35	66.35
N62	136	11.43	202.14	66.14
B74	136	1.56	202	66
N63	135	9.87	201.58	66.58
B75	135	0.54	201.56	66.56
N64	134	9.33	200.56	66.56
B76	135	0.65	200.54	65.54
N65	133	0.68	199.69	66.69
B77	132	0.97	199.62	67.62
N66	132	7.71	198.81	66.81
B78	132	0.8	198.77	66.77
N67	131	6.91	198.14	67.14
B79	132	0.94	198.07	66.07
B80	131	0.91	198.09	67.09
N69	125	3.53	191.96	66.96
B82	124	3.53	190.84	66.84
N68	128	5.06	193.2	65.2
B81	127	1.53	192.52	65.52
B51	146	1.15	202.28	56.28
B52	147	0.5	202.22	55.22
N24	139	3.98	199.89	60.89
B27	138	0.73	199.83	61.83
N25	136	3.1	199.23	63.23
B28	134	1.27	199.08	65.08
N26	132	1.43	198.19	66.19
B29	132	0.82	198.13	66.13
N79	140	3.51	194.6	54.6
B96	140	0.81	194.57	54.57
B97	140	0.44	194.58	54.58
N81	138	2.26	194.35	56.35
B98	138	0.39	194.34	56.34
N84	135	0.45	193.64	58.64
N85	134	0.45	193.63	59.63
N82	136	1.34	194.32	58.32
B100	136	0.18	194.31	58.31

Annexe

Suite de l'Annexe4

N88	167	22.51	190.12	23.12	B238	143	1.45	175.47	32.47
B103	167	0.42	190.1	23.1	N233	139	59.25	173.5	34.5
N89	166	22.09	189.98	23.98	B241	139	0.86	173.46	34.46
B104	165	0.58	189.95	24.95	N234	137	57.87	171.98	34.98
N90	163	21.51	189.87	26.87	B242	137	0.83	171.92	34.92
B105	163	0.36	189.86	26.86	B239	143	0.74	175.59	32.59
N92	147	18.81	188.41	41.41	B240	139	0.53	173.49	34.49
B107	147	0.95	188.31	41.31	B243	137	1.06	171.84	34.84
N93	146	17.87	187.85	41.85	N38	151	37.8	205.13	54.13
N94	145	17.16	187.6	42.6	B46	153	0.63	204.63	51.63
B109	144	1.3	187.47	43.47	B47	154	0.22	204.63	50.63
N91	148	21.14	188.96	40.96	B48	152	0.41	204.63	52.63
B106	149	2.33	188.18	39.18	B99	137	0.52	194.28	57.28
N217	155	72.66	181.61	26.61	N120	147	88.89	178.25	31.25
N218	152	1.6	181.47	29.47	B136	147	1.41	178.05	31.05
N219	152	0.3	181.44	29.44	N101	137	11.76	186.69	49.69
B228	151	0.6	181.46	30.46	N95	142	15.86	187.24	45.24
B229	152	0.3	181.44	29.44	B111	143	1.27	187.11	44.11
N216	156	73.47	182.16	26.16	N98	139	13.25	186.87	47.87
B227	156	0.81	182.16	26.16	B114	139	1.27	186.75	47.75
N220	154	71.06	180.31	26.31	N83	135	1.16	193.73	58.73
N221	151	1.52	179.81	28.81	B101	136	0.71	193.7	57.7
N222	149	1.52	179.4	30.4	N97	139	13.73	186.89	47.89
N223	146	1.52	179.25	33.25	B113	138	0.48	186.85	48.85
B230	146	0.66	179.21	33.21	N99	138	11.98	186.75	48.75
B231	146	0.92	179.19	33.19	B115	137	0.22	186.74	49.74
N227	149	3.13	177.74	28.74	N96	140	14.13	187.01	47.01
N229	150	65.04	178.25	28.25	B112	140	0.39	187	47
B236	151	1.2	178.16	27.16	B110	142	0.47	187.22	45.22
N230	148	63.85	176.93	28.93	B131	157	0.35	180.8	23.8
N231	147	63.85	176.28	29.28	N115	159	95.66	181.54	22.54
B237	146	2.41	174.84	28.84	B130	161	1	181.49	20.49
N228	147	3.13	167.98	20.98	N122	145	83.18	177.3	32.3
B235	146	2.35	167.18	21.18	B140	145	0.3	177.29	32.29
B234	147	0.78	167.93	20.93	N123	143	82.88	177.05	34.05
N224	152	152.87	179.84	27.84	B141	144	0.67	177.02	33.02
B232	152	0.8	179.81	27.81	N242	133	52.74	170.36	37.36
N225	151	68.75	178.99	27.99	B247	134	1.14	170.24	36.24
B233	150	0.57	178.95	28.95	N245	131	50.1	170.05	39.05
N232	143	61.44	175.64	32.64	B250	130	0.89	169.97	39.97

Annexe

Suite de l'Annexe4

N250	129	43.74	169.91	40.91
B254	128	0.71	169.87	41.87
N252	126	148.85	169.75	43.75
B256	125	0.94	169.67	44.67
N237	137	2.2	168.64	31.64
B244	135	0.27	164.66	29.66
N238	136	2.2	164.67	28.67
N239	133	1.78	162.79	29.79
N240	130	1.53	162.36	32.36
B245	122	0.36	162.33	40.33
N246	130	49.2	169.96	39.96
N247	128	5.47	164.48	36.48
N249	119	3.11	146.24	27.24
B252	121	1.91	145.99	24.99
B253	118	1.2	146.08	28.08
N254	123	39.46	169.53	46.53
N257	117	3.34	166.89	49.89
N256	121	8.8	167.88	46.88
N259	114	1.09	161.91	47.91
N258	117	5.46	163.38	46.38
N261	109	0.43	158.78	49.78
N260	111	1.29	158.86	47.86
B263	109	0.86	158.78	49.78
B264	108	0.43	158.76	50.76
B262	114	0.25	161.9	47.9
B261	113	0.95	161.84	48.84
N248	128	1.51	163.98	35.98
B251	127	0.74	163.91	36.91
N255	121	10.19	168.17	47.17
B258	122	1.24	168.01	46.01
B259	117	1.56	166.76	49.76
B260	117	1.78	166.61	49.61
N241	135	53.78	170.48	35.48
B246	134	1.04	170.38	36.38
N243	132	51.6	170.27	38.27
B248	132	0.58	170.25	38.25
N244	131	51.02	170.1	39.1
B249	131	0.92	170.05	39.05
N251	128	43.02	169.84	41.84
B255	128	1.67	169.59	41.59
N253	125	40.41	169.6	44.6
B257	125	0.95	169.53	44.53
B89	147	0.56	195.62	48.62
N78	142	4.03	195	53
B95	143	1.89	194.79	51.79
N73	160	12.92	198.05	38.05
B85	160	2.11	197.66	37.66
N269	117	20.55	169.05	52.05
B268	117	1.33	168.9	51.9
N235	136	55.98	170.66	34.66
N274	112	0.62	144.75	32.75
B269	113	0.62	144.72	31.72
N275	112	1.17	144.17	32.17
B270	112	0.43	144.16	32.16
N276	110	0.74	143.7	33.7
B271	110	0.49	143.69	33.69
N279	112	17.43	168.94	56.94
B273	112	0.64	168.9	56.9
N280	110	16.79	168.92	58.92
B274	110	0.58	168.89	58.89
N281	109	14.97	168.89	59.89
B276	109	0.58	168.87	59.87
B275	110	1.24	168.82	58.82
B277	109	1.72	168.75	59.75
N282	110	12.67	168.87	58.87
B278	110	0.87	168.82	58.82
N283	107	11.8	168.85	61.85
B279	108	1.03	168.79	60.79
N284	106	10.78	168.85	62.85
B280	106	0.19	168.85	62.85
N285	105	10.58	168.85	63.85
B281	106	1.69	168.66	62.66
N286	103	8.89	168.84	65.84
B282	103	0.42	168.82	65.82
N288	101	1.86	165.19	64.19
B283	102	0.46	165.17	63.17
N289	100	1.4	164.13	64.13
B284	100	1.4	164.02	64.02
N290	102	6.61	168.84	66.84
B286	101	0.5	168.81	67.81

Annexe

Suite de l'Annexe4

N291	102	3.71	168.84	66.84
B287	101	0.25	168.83	67.83
N292	101	4.46	168.84	67.84
B288	100	0.23	168.83	68.83
N293	100	3.23	168.84	68.84
B289	99	0.19	168.83	69.83
N270	114	19.22	169	55
N271	113	19.22	168.96	55.96
N272	113	6.44	154.46	41.46
N273	113	1.79	144.81	31.81
N278	110	0.26	143.68	33.68
B272	110	0.26	143.67	33.67
N287	103	8.47	168.84	65.84
N262	119	28.45	169.24	50.24
B265	119	2.88	168.36	49.36
N263	119	25.57	169.14	50.14
B266	118	1.73	168.82	50.82
B128	166	0.46	184.36	18.36
N112	166	171.96	184.38	18.38
B127	173	0.62	188.81	15.81
N111	170	172.58	188.84	18.84
B92	144	0.13	194.43	50.43
B93	145	0.19	194.41	49.41
B94	145	0.18	194.4	49.4
N264	118	23.84	169.1	51.1
N265	118	3.3	164.96	46.96
N266	116	1.2	162.6	46.6
N267	116	1.2	162.24	46.24
N268	116	0.99	161.99	45.99
B267	116	0.49	161.94	45.94
N51	135	16.64	203.1	68.1
B61	135	0.53	200.08	65.08
B62	133	1.7	192.81	59.81
B65	131	0.93	192.65	61.65
N55	131	14.41	192.66	61.66
B66	131	0.67	192.62	61.62
N52	134	16.11	202.88	68.88
N57	128	13.24	190.5	62.5
B69	127	1.43	190.5	63.5
B68	128	1.87	189.98	61.98
N58	123	9.94	189.49	66.49
B71	122	0.86	189.44	67.44
B70	123	1.38	189.34	66.34
N56	130	13.73	192.62	62.62
B67	130	0.49	195.59	65.59
N3	176	264.1	206.04	30.04
N49	137	28.64	203.5	66.5
N59	118	7.71	199.03	81.03
N60	114	7.71	198.41	84.41
B72	105	7.71	149.45	44.45
N50	136	16.64	203.31	67.31
N53	133	16.11	202.81	69.81
N54	133	14.41	202.76	69.76
B53	146	0.66	202.16	56.16
N87	175	195.09	190.41	15.41
N100	137	11.76	186.7	49.7
N102	136	11.76	186.66	50.66
B117	136	0.48	186.64	50.64
N71	182	214.38	198.39	16.39
N75	151	6.28	197.4	46.4
N80	139	2.26	194.51	55.51
N104	130	7.69	183.9	53.9
B116	136	1.54	186.48	50.48
N125	142	81.18	176.33	34.33
B144	142	0.88	176.15	34.15
N126	140	80.3	175.98	35.98
B145	140	0.64	175.95	35.95
N128	138	79.65	175.73	37.73
B147	138	0.8	175.68	37.68
N134	130	74.51	173.65	43.65
B154	129	0.57	173.61	44.61
N135	127	73.94	172.92	45.92
N136	127	1.04	172.35	45.35
N137	126	0.62	172.32	46.32
B157	126	0.31	172.32	46.32
B158	126	0.31	172.32	46.32
N139	122	69.85	171.59	49.59
B161	122	0.33	171.58	49.58
N140	122	69.52	171.26	49.26
B162	122	1.42	171.11	49.11

Annexe

Suite de l'Annexe4

B163	122	0.39	171.21	49.21
N141	121	67.71	170.98	49.98
N142	120	67.25	170.76	50.76
B168	119	1.18	170.6	51.6
N143	116	65.34	170.25	54.25
B170	117	1.57	169.97	52.97
N156	115	50.79	167.76	52.76
B183	115	0.74	167.7	52.7
N157	113	48.96	166.97	53.97
B184	113	0.98	166.86	53.86
N105	127	6.2	182.86	55.86
N106	125	6.2	182.54	57.54
N108	121	4.26	182.28	61.28
N109	120	2.16	182.27	62.27
N110	120	1.59	182.27	62.27
B119	130	1.49	183.7	53.7
N103	133	9.74	185.19	52.19
B118	132	2.05	184.78	52.78
B120	124	1.39	182.41	58.41
N107	124	4.81	182.34	58.34
B121	125	0.54	182.32	57.32
B124	122	0.56	182.24	60.24
B122	116	2.11	180.09	64.09
B123	115	2.11	179.79	64.79
B125	121	0.52	182.25	61.25
B126	119	1.07	182.24	63.24
B84	166	2	197.79	31.79
B165	119	0.73	170.49	51.49
B166	119	0.46	170.48	51.48
B167	119	0.27	170.49	51.49
B164	121	0.46	170.96	49.96
B169	116	1.29	170.12	54.12
N155	116	52.08	168.76	52.76
B181	116	1.29	168.56	52.56
B182	114	1.09	167.59	53.59
B185	113	0.78	166.88	53.88
N144	116	62.48	169.3	53.3
N145	116	10.4	168.76	52.76
N146	116	9.43	166.76	50.76
N147	114	8.43	165.84	51.84
N148	113	6.89	165.24	52.24
N149	112	6.21	165.08	53.08
N150	112	5.55	164.96	52.96
N151	111	5.55	164.88	53.88
N152	111	3.06	163.76	52.76
B179	112	1.46	163.49	51.49
N153	111	3.06	163.51	52.51
N154	110	1.59	163.46	53.46
B176	112	0.66	165.08	53.08
B173	114	0.55	165.83	51.83
B174	114	0.99	165.78	51.78
B175	113	0.68	165.22	52.22
B177	112	1.54	164.88	52.88
B172	116	1.01	166.67	50.67
B171	116	0.95	168.71	52.71
B180	110	0.48	163.44	53.44
B178	111	0.95	164.88	53.88
N138	124	70.85	172.22	48.22
B159	125	0.44	172.2	47.2
B160	123	0.56	172.19	49.19
N129	133	78.85	174.12	41.12
N130	130	4.34	169.17	39.17
N131	126	3.61	168.2	42.2
N132	125	1.95	167.85	42.85
N133	124	0.73	167.62	43.62
B150	128	1.66	167.93	39.93
B148	130	0.22	169.16	39.16
B149	129	0.51	169.15	40.15
B152	126	0.39	167.83	41.83
B151	125	0.83	167.79	42.79
B153	124	0.73	167.59	43.59
B63	133	0.23	202.8	69.8
B64	132	0.55	202.78	70.78
B155	127	0.21	172.34	45.34
B156	126	0.22	172.34	46.34
N158	113	47.2	166.32	53.32
B187	112	1.6	165.91	53.91
B186	114	0.84	166.2	52.2
N159	112	44.76	165.72	53.72
B188	111	1.58	165.43	54.43

Annexe

Suite de l'Annexe4

B189	111	0.44	165.7	54.7
N163	111	37.66	165.16	54.16
B192	110	0.55	165.13	55.13
B191	111	2.06	164.82	53.82
N175	110	28.88	164.48	54.48
N176	107	2.32	163.2	56.2
B203	107	0.83	163.18	56.18
N178	108	0.7	162.17	54.17
N179	109	0.7	161.92	52.92
N177	108	1.49	162.19	54.19
B204	107	0.33	162.18	55.18
B205	108	0.46	162.18	54.18
B206	108	0.42	161.91	53.91
B207	109	0.29	161.92	52.92
B285	103	2.41	168.42	65.42
N294	100	3.03	168.84	68.84
N295	100	1.16	168.27	68.27
B290	102	1.16	168.15	66.15
N296	98	1.88	168.84	70.84
B291	100	1.88	168.64	68.64
N164	109	35.05	164.91	55.91
N165	109	1.13	163.94	54.94
B195	109	0.91	163.89	54.89
B194	109	0.22	163.94	54.94
N166	109	33.92	164.58	55.58
N167	109	5.04	164.4	55.4
N168	109	5.04	164.3	55.3
N169	109	4.02	161.61	52.61
N170	108	2.75	160.52	52.52
N171	112	2.12	159.56	47.56
B197	108	1.27	161.4	53.4
B198	108	0.63	160.5	52.5
N172	110	1.15	159.49	49.49
N173	105	0.67	159.45	54.45
B201	102	0.31	159.45	57.45
N174	105	0.36	159.37	54.37
B196	109	1.02	164.23	55.23
N180	114	26.56	163.97	49.97
N181	111	2.62	161.72	50.72
N182	108	1.91	161.29	53.29
N183	109	1.16	161.22	52.22
N184	109	0.8	161.2	52.2
N185	109	0.49	161.12	52.12
N186	109	0.2	161.08	52.08
B210	108	0.19	161.22	53.22
B209	111	0.17	161.22	50.22
B212	108	0.17	161.2	53.2
B211	110	0.14	161.2	51.2
n664	108	0.14	161.12	53.12
B213	110	0.15	161.12	51.12
B214	107	0.2	161.07	54.07
N187	109	0.76	161.08	52.08
N188	105	0.49	161.06	56.06
B216	106	0.49	161.04	55.04
B215	108	0.27	161.07	53.07
B208	111	0.71	161.69	50.69
B200	110	0.48	159.48	49.48
B199	111	0.97	159.51	48.51
N189	108	23.94	163.5	55.5
N190	105	2.94	163.39	58.39
N191	104	23.94	163.34	59.34
N192	99	22.59	163.21	64.21
N195	96	21.21	163.17	67.17
N194	98	21.67	163.18	65.18
N196	94	21.21	163.15	69.15
N198	61	16.08	123.96	62.96
N199	64	10.97	162.85	98.85
N202	60	10.97	110.77	50.77
N203	54	10.73	108.7	54.7
N204	50	9.68	100.66	50.66
N205	46	9.41	91.62	45.62
N206	42	9.15	102.59	60.59
N207	40	8.73	100.01	60.01
N208	39	8.16	100.68	61.68
N209	30	7.04	92.86	62.86
N210	24	6.48	74.39	50.39
N211	19	6.01	79.14	60.14
N212	10	4.77	64.95	54.95
N213	8	4.77	58.55	50.55
N214	7	2.86	69.5	62.5

Annexe

Suite de l'Annexe4

B226	6	1.6	69.19	63.19
B225	6	1.91	68.84	62.84
B217	103	1.35	163.22	60.22
B219	96	0.46	163.11	67.11
N193	95	0.92	162.67	67.67
B218	96	0.92	162.61	66.61
N197	70	21.21	163	93
B220	67	5.13	112.67	45.67
B221	58	3.02	123	65
N200	50	2.09	110.62	60.62
N201	37	1.56	98.14	61.14
B222	23	0.49	81.05	58.05
B223	60	0.24	115.77	55.77
B224	54	0.3	102.7	48.7
B202	105	0.36	159.36	54.36
N160	112	42.74	165.48	53.48
N113	165	171.5	183.24	18.24
N215	158	73.47	182.31	24.31
N226	150	68.18	178.71	28.71
N236	136	2.2	170.01	34.01
B137	147	3.38	177.05	30.05
B10	148	0.71	205.88	57.88
B108	146	0.71	187.7	41.7
N1	180	583.18	227.16	47.16
B1	187	287.28	226.68	39.68
N161	112	5.08	164.44	52.44
N162	114	4.91	160.47	46.47
B190	114	0.59	160.43	46.43
Retenue	240		241	1

Annexe

Annexe 5 : Etat des tronçons dans le réseau.

Troncon	Diamètre mm	Vitesse m/s	Pert.Charge m/km
N121-B138	65	0.55	6.45
N10-N15	200	0.41	0.92
N114-B129	65	0.71	10.37
N116-B132	65	0.65	8.78
N118-B134	65	0.54	6.19
N119-B135	65	0.36	2.84
B88-N76	200	0.23	0.01
N77-B90	65	0.53	5.88
N70-B83	200	0.15	0.14
N124-B142	65	0.62	7.97
N127-B146	65	0.09	0.26
B142-B143	65	0.31	2.21
B138-B139	65	0.28	1.8
N74-B87	65	0.65	8.78
N74-B86	65	0.71	10.2
N33-B38	65	1	19.73
N34-B39	65	1.24	29.62
N35-B43	65	0.2	1.04
N36-B44	65	0.26	0.13
N37-B45	65	0.25	0.6
N39-B49	65	0.24	0.54
N40-B50	65	0.27	0.71
N41-N42	65	1.18	6.93
N44-B55	65	0.25	0.62
N43-B54	65	0.24	0.52
B39-B42	65	0.27	0.78
B39-B40	200	0.22	0
B39-B41	200	0.21	0
N86-B102	100	0.56	3.77
N4-B3	200	0.25	0.02
B3-B4	65	0.18	0.83
N5-B5	65	0.33	2.45
N6-B6	65	0.69	9.8
N7-B7	65	0.21	0.37
N7-B8	50	0.23	0.67
N117-B133	65	0.28	0.2
N19-N18	65	0.95	17.86
N19-B21	65	0.14	0.56

Annexe

B18-B19	50	0.9	0.35
N17-B17	65	0.6	0.11
N16-B15	65	0.4	0.04
B18-B20	65	0.7	0.14
N12-B12	65	0.36	2.88
N11-B11	65	0.3	2.02
N13-B13	65	0.4	3.58
N14-B14	65	0.46	4.63
N20-B23	65	0.56	6.58
N19-B22	65	0.33	2.49
N23-B26	65	0.21	0.31
B24-N21	65	0.31	0.34
B34-N30	65	0.22	0.39
B35-N31	65	0.29	0.91
B31-N28	65	0.26	1.59
B30-N27	50	0.28	2.57
B32-B31	200	0.21	0
N32-B37	65	0.41	3.73
N32-B36	65	0.39	0.26
N29-B33	65	0.22	1.21
N9-B9	65	0.37	0.14
N45-N46	65	1.51	42.94
B56-B57	50	0.39	1.32
B56-B58	50	0.45	6.2
N47-B59	65	0.52	5.63
N48-B60	65	0.35	0.62
N61-B73	65	0.37	0.78
N62-B74	65	0.47	4.75
N63-B75	65	0.36	0.69
N64-B76	65	0.2	0.96
N65-B77	65	0.29	1.98
N66-B78	65	0.24	1.4
N67-B79	65	0.28	1.87
N67-B80	65	0.27	1.77
N69-B82	65	1.06	22.05
N68-B81	65	0.46	4.58
N42-B51	50	1.18	37.25
B51-B52	50	0.25	2.16
N24-B27	65	0.22	1.18
N25-B28	65	0.38	3.25
N26-B29	65	0.25	1.46

Annexe

N79-B96	65	0.24	1.43
N79-B97	65	0.33	0.48
N81-B98	65	0.32	0.39
N84-N85	65	0.34	0.5
N82-B100	50	0.29	0.36
N88-B103	65	0.33	0.44
N89-B104	65	0.37	0.78
N90-B105	65	0.31	0.34
N92-B107	65	0.49	1.91
N94-B109	65	0.39	3.39
N96-B106	65	0.7	10.04
N217-N218	100	0.46	1.65
N218-N219	65	0.28	0.83
N218-B228	100	0.38	0.1
N219-B229	65	0.29	0.25
N216-B227	200	0.23	0.01
N220-N221	100	0.78	7.15
N223-B230	65	0.2	0.99
N223-B231	65	0.28	1.8
N229-B236	65	0.36	2.92
N231-B237	65	0.73	10.7
N227-B228	65	1.89	46.25
N228-B234	65	0.24	1.33
N224-B232	65	0.24	1.4
N225-B233	65	0.57	0.76
N232-B238	65	0.44	4.15
N233-B241	65	0.26	1.59
N234-B242	65	0.25	1.49
N232-B239	65	0.22	1.21
N233-B240	65	0.26	0.67
N234-B243	65	0.32	2.33
N38-B46	65	0.38	3.2
B46-B47	65	0.27	0.14
B46-B48	65	0.32	0.42
N81-B99	50	0.26	2.32
N120-B136	65	0.42	3.94
N95-B111	65	0.38	3.25
N98-B114	65	0.38	3.25
N83-B101	65	0.21	1.13
N97-B113	65	0.14	0.56
N99-B115	65	0.27	0.14

Annexe

N96-B112	65	0.42	0.39
N95-B110	65	0.14	0.54
N116-B131	65	0.31	0.32
N115-B130	65	0.3	2.1
N122-B140	65	0.09	0.25
N123-B141	65	0.2	1.02
N242-B247	65	0.34	2.66
N245-B250	65	0.27	1.7
N250-B254	65	0.21	1.13
N252-B256	65	0.28	1.87
N240-B245	65	0.31	0.34
N247-N249	65	1.87	65.44
N249-B252	65	0.58	6.92
N249-B253	65	0.36	2.93
N260-B263	65	0.26	1.59
N261-B264	65	0.13	0.46
N259-B262	65	0.28	0.18
N259-B261	65	0.29	1.91
N248-B251	65	0.22	1.21
N255-B258	65	0.37	3.11
N257-B259	65	0.47	4.75
N257-B260	65	0.54	6.07
N241-B246	65	0.31	2.25
N243-B248	65	0.37	0.78
N244-B249	65	0.28	1.8
N251-B255	65	0.5	5.39
N253-B257	65	0.29	1.91
N78-B95	65	0.57	6.78
N73-B85	65	0.64	8.33
N269-B268	65	0.4	3.53
N235-N241	800	2	3.42
N241-N242	800	1.89	3.07
N242-N243	800	1.78	2.74
N243-N244	800	1.68	2.44
N244-N245	800	1.57	2.16
N250-N251	800	1.26	1.4
N251-N252	800	1.17	1.22
N252-N253	600	1.55	2.96
N254-N253	600	1.4	2.44
N274-B269	65	0.29	0.88
N275-B270	65	0.23	0.46

Annexe

N276-B271	65	0.25	0.58
N279-B273	65	0.29	0.94
N280-B274	65	0.27	0.78
N281-B276	65	0.27	0.78
N280-B275	65	0.37	3.11
N271-B277	65	0.52	5.69
N282-B278	65	0.26	1.63
N283-B279	65	0.31	2.21
N284-B280	65	0.26	0.11
N285-B281	65	0.51	5.51
N286-B282	65	0.23	0.44
N288-B283	65	0.24	0.52
N289-B284	65	0.42	3.89
N290-B286	65	0.25	0.6
N291-B287	65	0.28	0.18
N292-B288	65	0.27	0.15
N293-B289	65	0.36	0.11
N269-B270	600	0.74	0.71
N270-N271	600	0.67	0.59
N271-N272	65	3.86	47.91
N272-N273	65	1.92	68.73
N273-N274	65	0.37	3.11
N273-N275	65	1.01	19.95
N275-N276	65	0.53	5.88
N276-N278	65	0.26	0.65
N278-B272	65	0.28	0.19
N271-N279	600	0.56	0.42
N279-N280	600	0.49	0.33
N280-N281	600	0.43	0.25
N281-N282	600	0.37	0.19
N282-N283	600	0.32	0.15
N283-N284	600	0.27	0.11
N284-N285	600	0.23	0.08
N285-N286	600	0.29	0.06
N286-N287	600	0.36	0.04
N287-N288	65	1.54	44.95
N288-N289	65	0.84	14.2
N287-N290	600	0.11	0.02
N290-N291	600	0.27	0.01
N291-N292	600	0.26	0.01
N292-N293	600	0.24	0

Annexe

N262-B265	65	0.87	14.98
N263-B266	65	0.52	5.75
N254-N262	600	1.13	1.61
N262-N263	600	1.02	1.32
N112-B128	65	0.24	0.52
N111-B127	65	0.29	0.88
B92-B93	65	0.21	0.35
B93-B94	50	0.29	0.36
N264-N265	65	2.16	56.42
N266-N267	65	0.81	13.07
N267-N268	65	0.45	4.31
N268-B267	65	0.25	0.58
N51-B61	65	0.36	0.67
B62-B65	65	0.28	1.84
N55-B66	65	0.2	1.02
N57-B69	200	0.21	0.08
B68-B69	65	0.56	6.65
N58-B71	65	0.26	1.59
N58-B70	65	0.42	3.78
N56-B67	65	0.15	0.58
N3-N33	800	1.6	2.23
N33-N34	800	1.51	1.98
N34-N35	800	1.41	1.75
N35-N36	800	1.34	1.57
N36-N37	800	1.26	1.4
N37-N38	650	1.79	3.54
N38-N39	600	1.96	4.66
N39-N40	600	1.83	4.08
N40-N41	600	1.7	3.53
N41-N43	600	1.56	2.99
N43-N44	600	1.44	2.56
N44-N45	600	1.32	2.16
N45-N47	600	1.18	1.75
N47-N48	600	1.07	1.44
N48-N49	600	0.96	1.18
N49-N61	250	1.6	9.07
N61-N62	250	1.34	6.47
N62-N63	200	1.69	13.18
N63-N64	200	1.35	8.64
N64-N65	150	1.84	22.32
N65-N66	150	1.75	20.18

Annexe

N66-N67	150	1.27	10.85
N67-N68	100	1.74	32.95
N68-N69	100	0.9	9.31
N56-N57	200	1.65	12.65
N57-N58	200	1.12	6.04
N58-N59	200	0.74	2.7
N59-N60	150	0.87	5.32
N60-N72	50	3.93	35.26
N49-N50	400	1.31	3.5
N50-N51	400	1.18	2.85
N53-N54	400	0.76	1.23
N54-N55	400	0.65	0.9
N55-N56	400	0.53	0.61
B51-B53	50	0.34	3.58
N46-B56	50	1.4	52.02
N87-N88	600	1.11	1.54
N88-N89	600	1.02	1.33
N89-N90	600	0.94	1.14
N90-N91	400	1.95	7.52
N91-N92	400	1.76	6.18
N92-N93	400	1.61	5.16
N93-N94	400	1.46	4.28
N94-N95	400	1.31	3.49
N95-N96	400	1.17	2.81
N96-N97	400	1.06	2.3
N97-N98	400	0.94	1.85
N98-N99	400	0.83	1.45
N99-N100	400	0.73	1.14
N102-B117	65	0.14	0.56
N71-N72	400	0.8	1.37
N72-N73	400	0.67	0.97
N73-N74	400	0.55	0.67
N74-N75	200	1.71	13.56
N75-N76	200	1.51	10.67
N76-N77	200	1.27	7.6
N77-N78	200	0.65	2.13
N78-N79	150	0.82	4.72
N79-N80	150	0.55	2.23
N80-N81	150	0.42	1.36
N81-N82	150	0.24	0.49
N82-N83	65	0.83	13.91

Annexe

N83-N84	50	0.46	6.33
N100-N101	400	0.64	0.88
N101-N102	400	0.54	0.65
N102-B116	65	0.46	4.63
N125-B144	50	0.45	6.07
N126-B145	65	0.19	0.94
N128-N147	65	0.24	1.4
N134-B154	65	0.17	0.76
N135-N136	65	0.82	13.35
N136-N137	100	0.16	0.38
N137-B157	65	0.29	0.26
N137-B158	65	0.29	0.26
N139-B161	65	0.1	0.29
N140-B162	65	0.43	3.99
N140-B163	50	0.2	1.38
N142-B168	65	0.36	2.84
N143-B170	65	0.47	4.8
N156-B183	65	0.22	1.21
N157-B184	65	0.3	2.02
N104-N105	200	1.07	5.47
N105-N106	200	0.87	3.7
N108-N109	200	0.19	0.21
N109-N110	200	0.1	0.07
N104-N109	65	0.45	4.36
N103-B118	65	0.62	7.9
N106-B120	65	0.42	3.83
N106-N107	200	0.63	2
N107-N108	200	0.46	1.11
N107-B121	65	0.16	0.69
N109-B124	65	0.17	0.74
N108-B122	65	1.27	31.01
B122-B123	65	0.64	8.33
N110-B125	65	0.36	0.65
N110-B126	65	0.32	2.37
N72-B84	65	0.6	7.54
N142-B165	65	0.44	4.2
B165-B166	65	0.24	0.52
B165-B167	65	0.28	0.2
N141-B164	65	0.34	0.52
N143-B169	65	0.39	3.34
N155-B181	65	0.39	3.34

Annexe

N156-B182	65	0.33	2.45
N157-B185	65	0.24	1.33
N144-N145	250	1.41	7.15
N145-N146	200	1.85	15.76
N146-N147	200	1.52	10.75
N147-N148	200	1.2	6.84
N148-N149	200	0.96	4.46
N149-N150	200	0.74	2.72
N150-N151	200	0.56	1.63
N151-N152	100	1.23	16.9
N153-N154	100	0.26	0.95
N149-B176	100	0.08	0.12
N147-B173	65	0.37	0.71
N147-B174	65	0.3	2.06
N148-B175	65	0.2	1.04
N151-B177	200	0.45	0.02
N146-B172	65	0.3	2.13
N145-B171	65	0.29	1.91
N151-B178	200	0.33	0.01
N138-B159	65	0.13	0.48
N138-B159	65	0.17	0.74
N138-B160	100	1.91	39.39
N129-N130	100	1.26	17.75
N130-N131	100	0.59	4.2
N132-N133	65	0.44	4.2
N131-B150	65	0.5	5.33
N130-B148	65	0.27	0.14
N130-B149	65	0.35	0.62
N132-B152	65	0.32	0.39
N132-B151	65	0.25	1.49
N133-B153	65	0.22	1.18
N53-B62	200	0.31	0.08
B62-B63	65	0.27	0.15
B62-B64	65	0.27	0.71
N136-B155	65	0.26	0.13
N136-B156	65	0.27	0.14
N158-B187	65	0.48	4.97
N158-B186	65	0.25	1.53
N159-B188	65	0.48	4.86
N159-B189	65	0.23	0.48
N163-B192	65	0.27	0.71

Annexe

N163-B191	65	0.62	7.97
N177-B204	65	0.3	0.29
N177-B205	65	0.24	0.52
N179-B206	65	0.23	0.44
N179-B207	65	0.29	0.23
N290-B285	65	0.73	10.7
N293-B294	600	0.33	0
N294-N295	65	0.7	9.96
N295-B290	65	0.35	2.75
N294-N296	600	0.31	0
N296-B291	65	0.57	6.72
N164-N165	65	0.68	9.48
N165-B195	65	0.27	1.76
N165-B194	65	0.07	0.14
N166-N167	200	0.83	3.42
N167-N168	200	0.67	2.28
N168-N169	100	1.92	40
N169-N170	100	1.25	17.41
N170-N171	100	0.82	7.78
N169-B197	65	0.38	3.25
N170-B198	65	0.19	0.91
N171-N172	100	0.42	2.27
N172-N173	100	0.22	0.66
N173-B201	65	0.29	0.26
N173-N174	65	0.22	1.16
N168-B196	65	0.31	2.17
N180-N181	100	1.41	21.96
N181-N182	100	0.98	11.06
N520-N183	100	0.49	2.92
N183-N184	100	0.29	1.14
N184-N185	65	0.36	2.84
N185-N186	50	0.2	1.45
N183-B210	65	0.26	0.11
N183-B209	65	0.25	0.08
N184-B212	65	0.35	0.08
N184-B211	65	0.24	0.04
N185-N664	65	0.34	0.04
N185-B213	65	0.35	0.05
N186-B214	50	0.1	0.43
N187-N182	65	0.61	7.61
N187-N188	100	0.12	0.25

Annexe

N188-B216	65	0.15	0.58
N187-B215	65	0.28	0.2
N181-B208	65	0.21	1.13
N172-B200	65	0.34	0.56
N171-B199	65	0.29	1.98
N189-N190	600	0.99	1.25
N190-N191	600	0.98	1.23
N198-N199	400	0.91	1.72
N202-N203	400	0.73	1.14
N203-N204	400	0.64	0.89
N204-N205	400	0.56	0.7
N205-N206	400	0.49	0.54
N206-N207	200	1.67	12.88
N207-N208	200	1.39	9.06
N212-N213	100	1.42	22.27
N213-N214	65	1.34	34.48
N214-B226	65	0.48	4.97
N213-B225	65	0.58	6.92
N191-B217	65	0.41	3.63
N194-B219	50	0.23	1.86
N193-N192	65	0.55	6.45
N193-B218	65	0.28	1.8
N197-B220	65	1.55	45.12
N198-B221	65	0.91	16.39
N202-B223	65	0.27	0.17
N203-B224	65	0.29	0.25
N174-B202	65	0.11	0.34
N127-B128	600	0.54	0.09
N128-N129	600	0.52	0.09
N129-N134	600	0.86	0.32
N134-N135	600	0.82	0.29
N135-N138	600	0.78	0.26
N138-N139	600	0.74	0.24
N139-N140	600	0.7	0.21
N140-N141	600	0.66	0.19
N141-N142	600	0.62	0.17
N142-N143	600	0.58	0.15
N143-N144	600	0.54	0.13
N144-N145	600	0.47	0.1
N155-N156	600	0.44	0.09
N156-N157	600	0.41	0.08

Annexe

N157-N158	600	0.38	0.07
N158-N159	600	0.35	0.06
N159-N160	600	0.32	0.05
N160-N163	600	1.83	4.06
N163-N164	600	1.68	3.47
N164-N166	600	1.55	2.96
N166-N175	600	1.34	2.23
N175-N180	600	1.21	1.83
N113-N114	600	1.67	1.14
N114-N115	800	0.91	0.25
N115-N116	800	0.87	0.23
N116-N117	800	0.84	0.22
N117-N118	800	0.81	0.2
N118-N119	800	3.14	6.33
N119-N120	800	0.76	0.18
N120-N121	800	0.73	0.16
N121-N122	800	0.7	0.15
N122-N123	800	0.67	0.14
N123-N124	800	0.65	0.13
N124-N125	800	0.62	0.12
N125-N126	800	0.59	0.11
N126-N127	800	0.57	0.1
N215-N216	800	0.63	0.13
N216-N217	800	0.61	0.12
N220-N217	800	0.58	0.11
N221-N222	100	0.59	4.18
N222-N223	100	0.39	1.99
N220-N224	800	0.56	0.1
N224-N225	800	0.51	0.08
N225-N226	800	0.49	0.08
N228-N235	65	0.71	10.2
N226-N227	100	1.2	16.04
N226-N229	800	0.46	0.07
N229-N230	800	0.44	0.06
N230-N231	800	0.42	0.06
N231-N232	800	0.4	0.05
N232-N233	800	1.52	1.54
N233-N234	800	1.44	1.39
N234-N235	800	1.36	1.25
N235-N236	100	1.34	20.02
N236-N237	100	1.06	12.79

Annexe

N4-N5	400	1.95	7.49
N5-N6	200	6.84	20.67
N6-N7	400	1.47	4.37
N7-N9	100	0.24	0.78
N10-N11	350	1.31	4.07
N11-N12	350	1.13	3.1
N12-N13	350	0.96	2.26
N13-N14	350	0.8	1.6
N14-N20	350	0.65	1.08
N21-N22	150	1.18	9.52
N22-N23	150	0.9	5.7
N23-N24	100	1.44	23
N24-N25	100	0.84	8.24
N25-N26	65	0.68	9.4
N27-N28	150	1.03	7.34
N28-N29	100	1.73	32.48
N29-N30	65	2.83	45.38
N30-N31	65	1.9	36.87
N31-N32	65	1.01	20.07
N15-N16	200	0.34	0.64
N16-N17	100	1.05	12.59
N17-N18	100	0.75	6.67
N18-B18	65	0.24	1.37
N2-N3	800	1.6	0.57
N3-N70	800	1.38	0.43
N70-N71	800	1.33	0.4
N71-N86	800	1.27	0.37
N86-N87	800	7.67	36.79
N87-N111	800	1.12	0.29
N111-N112	800	1.09	0.27
N112-N113	800	1.05	0.26
N113-N115	800	0.42	0.04
N180-N189	600	1.08	1.47
N120-B137	65	1.02	20.3
N52-N53	400	0.92	1.75
N51-N52	400	1.04	2.25
N9-B10	65	0.21	1.13
N210-N209	200	0.9	3.99
N210-N211	200	0.7	2.44
N211-N212	200	0.51	1.34
N76-B89	200	0.22	0

Annexe

B108-N93	65	0.21	1.13
N175-N176	100	0.96	10.55
N1-N2	800	1.69	0.64
N1-B1	500	1.46	3.29
N238-N239	65	1.11	23.74
N247-N248	65	0.68	9.4
N246-N247	100	1.77	34.31
N266-N265	65	1.17	26.4
N160-N161	100	1.35	20.17
N161-N162	65	1.66	51.6
N162-B190	65	0.28	0.81
N176-B203	65	0.25	1.49
N176-N177	65	1.32	33.45
N177-N178	65	0.64	8.33
N178-N179	65	0.42	3.94
N196-N197	600	0.58	0.45
N197-N198	600	0.48	0.32
N22-B25	50	0.36	0.92
N20-N21	150	1.49	14.77
N20-N27	150	1.31	11.63
N7-N10	400	1.25	3.16
N2-B2	65	0.49	5.03
N2-N4	600	0.98	1.22
B90-B92	65	0.35	0.6
B90-B91	65	0.31	0.37
N201-B222	65	0.25	0.58
N201-N200	65	0.62	7.9
N198-N200	65	1.25	29.89
N209-N208	200	1.13	6.08
N199-N202	400	0.82	1.41
N239-N240	65	0.57	6.78
N237-N238	65	1.85	33.82
N238-B244	65	0.28	0.2
N245-N246	800	1.47	1.9
N246-N250	800	1.35	1.6
N255-N256	200	0.84	3.43
N254-N255	200	1.2	6.84
N256-N257	100	0.85	8.38
N256-N258	100	1.37	20.83
N258-N259	65	0.69	9.72
N258-N260	65	0.91	16.28

Annexe

N260-N261	65	0.26	1.59
N154-B180	65	0.14	0.56
N263-N264	600	0.92	1.09
N264-N269	600	0.81	0.86
N102-N103	200	1.73	13.93
N103-N104	200	1.36	8.7
N152-N153	100	0.84	8.17
N153-B179	100	0.19	0.5
N192-N194	600	0.81	0.84
N194-N195	600	0.73	0.7
N195-N196	600	0.65	0.56
N191-N192	600	0.89	1.02
N1-N5	800	1.87	0.78