

BADJI MOKHTAR - ANNABA UNIVERSITY

جامعة باجي مختار-عنابة

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA

Année 2021



Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie
Laboratoire de Recherche de Géologie



Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD
En Géologie
Option : Eau et Environnement

**Valorisation et potentialité de la réutilisation des eaux usées
traitées pour un développement intégré durable. Cas des STEP
dans la région d'Alger. Risques socio-sanitaires et
environnementaux**

Par
DJEMIL Wafa

Directeur de thèse: Pr. HANNOUCHE Mani UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR -ANNABA.

DEVANT LE JURY

Président	DJORFI Sâadane	Professeur	Université Badji Mokhtar - Annaba
Examineurs	MAOUI Amar	Professeur	Université de 8 Mai 45 - Guelma
	LABAR Sofiane	Professeur	Université Chadli Bendjedid - El Tarf
	BENRABAH Samia	MCA	Université Badji Mokhtar - Annaba

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon Seigneur DIEU le tout puissant pour m'avoir donné la foi en Lui, d'avoir éclairé ma route et de m'avoir guidé dans le meilleur et le bon chemin.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon encadreur Professeur HANNOUCHE M. pour son orientation de mon travail de recherche, son encouragement et pour l'intérêt permanent qu'il m'a manifesté tout au long de ce travail.

Au terme de ce travail, je tiens à remercier également Mr. DJORFI S. Professeur à l'université d'Annaba, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de la soutenance.

Je tiens à remercier les membres du jury, Pr. MAOUI A. de l'université de Guelma, Dr. LABAR S. de l'Université d'El Tarf et Dr. TITI- BENRABAH S. de l'université d'Annaba qui ont accepté d'examiner ce travail de recherche, je leur exprime ici ma gratitude.

Je remercie également tout le personnel des STEP de Baraki et Beni Messous pour l'accueil, leur disponibilité et contribution.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à ceux qui me sont les plus chers au monde, mon père et ma mère tout en témoignant de ma grande reconnaissance afin de m'orienter vers la bonne voie.

A tous ceux que j'aime en particulier : Mon mari, ma fille, mon frère, ma sœur, ma belle-sœur, mon neveu, ma nièce et à toute ma famille.

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Résumé	
الملخص	
Abstract	
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : CADRE GENERAL.....	4
Introduction.....	5
1.1. Situation géographique.....	5
1.2. Géomorphologie.....	6
1.2.1. Le massif et le Sahel d'Alger.....	6
1.2.1.1. Le massif d'Alger.....	6
1.2.1.2. Le Sahel d'Alger.....	6
1.2.2. La plaine de la Mitidja.....	8
1.2.3. L'Atlas Blidéen.....	10
1.3. Le réseau hydrographique.....	10
1.3.1. L'Oued El Harrach.....	10
1.3.2. L'Oued Beni Messous.....	10
1.3.3. L'Oued Mazafran.....	10
1.3.4. L'Oued Hamiz.....	11
1.3.5. L'Oued Réghaia.....	11
1.3.6. L'Oued Nador.....	11
1.4. Aperçu Socio-économique.....	11
1.4.1. La population.....	11
1.4.2. Activité agricole.....	12
1.4.3. Activité Industrielle.....	12
Conclusion.....	13

CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET CADRE

REGLEMENTAIRE.....	14
2.1. Généralités sur les eaux usées.....	15
2.1.1. Définition des eaux usées.....	15
2.1.2. Typologie des eaux usées.....	15
2.1.2.1. Eaux usées domestiques.....	15
2.1.2.2. Les eaux usées industrielles.....	16
2.1.2.3. Les eaux agricoles.....	16
2.1.2.4. Les eaux pluviales.....	16
2.1.3. Systèmes de collecte des eaux usées.....	17
2.1.3.1. Système unitaire.....	17
2.1.3.2. Système séparatif.....	17
2.1.4. Composition des eaux usées.....	17
2.1.4.1. Les micro-organismes (qualité microbiologique).....	18
2.1.4.1.1. Les bactéries.....	18
2.2. Situation de l'irrigation et de la réutilisation des eaux usées et traitées en Algérie.....	19
2.2.1. Situation de l'irrigation en Algérie.....	19
2.2.2. Situation de la réutilisation des eaux usées traitées en Algérie.....	19
2.3. Cadre législatif et réglementaire de la réutilisation des eaux usées traitées en Algérie....	20
2.3.1. Dans le cas de rejet et de déversement des eaux usées épurées.....	20
2.3.2. Dans le cas de réutilisation des eaux usées épurées.....	21
Conclusion.....	23
CHAPITRE 3. ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE.....	24
3.1. Climatologie.....	25
3.1.1. Climatologie de la zone d'étude.....	25
3.1.2. Variations des facteurs climatiques.....	26
3.1.2.1. Précipitations.....	26
3.1.2.1.1. Précipitation mensuelles.....	26
3.1.2.1.2. Précipitation annuelles.....	27

3.1.2.1.3. Coefficient pluviométrie annuel (CPa).....	28
3.1.2.2. Température.....	30
3.1.2.3. La courbe pluviométrique (Station de Dar El Beida période, 1980-2015).....	32
3.1.3. Le bilan hydrique.....	32
3.1.3.1. Estimation de l'Evapotranspiration.....	33
3.1.3.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	33
3.1.3.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR).....	34
3.1.3.1.2.1. Formule de Turc.....	34
3.1.3.1.2.2. Formule de Thornthwaite.....	34
3.1.3.2. Calcul du bilan hydrique.....	35
3.1.3.3. Interprétation du bilan hydrique.....	36
3.1.3.4. Estimation du Ruissellement.....	37
3.1.3.5. Estimation de l'Infiltration (I).....	37
Conclusion.....	38
CHAPITRE 4. CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURALE.....	39
4.1. Cadre Géologique et litho-stratigraphique.....	40
4.1.1. La structure plissée du Sahel.....	40
4.1.2. La série stratigraphique	41
4.1.3. La plaine de la Mitidja.....	41
4.1.3.1. Le Quaternaire.....	43
4.1.3.1.1. Les dépôts récents.....	43
4.1.3.1.2. Les formations du Mazafran et Halloula.....	43
4.1.3.1.3. La formation de la Mitidja.....	44
4.1.3.1.4. La formation d'El Harrach.....	46
4.1.3.2. Le Pliocène.....	47
4.1.3.2.1. L'Astien.....	47
4.1.3.2.2. Le Plaisancien.....	47

4.2. Tectonique de la région d'Alger.....	50
---	----

**CHAPITRE 5. VALORISATION ET POTENTIALITES DE LA REUTILISATION
DES EAUX USEES EPUREES POUR UN DEVELOPPEMENT INTEGRE ET
DURABLE DES STATIONS D'EPURATION DE BARAKI ET BENI MESSOUS**

.....	53
-------	-----------

Introduction.....	54
-------------------	----

5.1. Méthode et analyse expérimentale.....	54
--	----

5.1.1. Projet de réutilisation des eaux usées épurées des STEP de Baraki et Béni Messous...54	
---	--

5.1.1.1. La STEP de Baraki.....	54
---------------------------------	----

5.1.1.1.1. Caractéristiques de la STEP de Baraki.....	56
---	----

5.1.1.1.1.1. Objectif de traitement de la charge polluante dans la station de Baraki (sortie)...56	
--	--

5.1.1.1.1.2. Charges hydrauliques dans la station de Baraki.....	56
--	----

5.1.1.2. La STEP de Beni Messous.....	56
---------------------------------------	----

5.1.1.2.1. Caractéristiques de la STEP de Beni Messous.....	57
---	----

5.1.1.2.1.1. Objectif de traitement de la charge polluante dans la station de Beni Messous (sortie)	57
--	----

5.1.1.2.1.2. Charges hydrauliques dans la station de Beni Messous.....	58
--	----

5.1.2. Identification des zones de réutilisation.....	58
---	----

5.1.2.1. La STEP de Baraki.....	58
---------------------------------	----

5.1.2.2. La STEP de Béni Messous.....	59
---------------------------------------	----

5.1.3. L'échantillonnage.....	60
-------------------------------	----

5.1.4. Les méthodes et les analyses expérimentales.....	61
---	----

5.1.4.1. Les analyses physico-chimiques.....	61
--	----

5.1.4.1.1. Mesure de la température.....	61
--	----

5.1.4.1.2. Le potentiel électrique (pH).....	61
--	----

5.1.4.1.3. La conductivité électrique (CE).....	61
---	----

5.1.4.1.4. Le calcium (Ca+).....	62
----------------------------------	----

5.1.4.1.5. Le magnésium (Mg ⁺²).	62
--	----

5.1.4.1.6. Les chlorures (Cl-).....	63
-------------------------------------	----

5.1.4.1.7. Les sulfates (SO ₄ ²⁻).....	63
5.1.4.1.8. Le Potassium (K ⁺).....	63
5.1.4.1.9. Le sodium (Na ⁺).....	64
5.1.4.1.10. Les Nitrites (NO ₂ ⁻).....	64
5.1.4.1.11. Les Nitrates (NO ₃ ⁻).....	65
5.1.4.1.12. L'Ammonium (NH ₄ ⁺).	65
5.1.4.1.13. Le phosphore total (P ₂ O ₅).....	65
5.1.4.1.14. Les phosphates (PO ₄ ⁻).....	66
5.1.4.2. Les analyses des paramètres de pollution.....	66
5.1.4.2.1. Les matières en suspension (MES).....	66
5.1.4.2.2. Demande Biochimique en Oxygène (DBO ₅).....	66
5.1.4.2.3. Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	67
5.1.4.3. Les analyses bactériologiques.....	67
5.1.4.3.1. Bactéries indicatrices spécifiques de pollution fécale.....	67
5.1.4.3.1.1. Les coliformes totaux.....	67
5.1.4.3.1.2. Les coliformes fécaux.....	68
5.1.4.3.1.3. Streptocoques fécaux.....	68
5.1.4.3.2. Les bactéries pathogènes.....	69
5.1.4.3.2.1. Escherichia coli.....	69
5.1.4.3.2.2. Salmonelles.....	69
5.1.4.4. Les métaux lourds.....	69
5.1.4.4.1. Le Plomb.....	69
5.1.4.4.2. Le Manganèse (Mn).....	70
5.1.4.4.3. Le Chrome total (Cr).....	70
5.1.4.4.4. Le Sélénium (Se).....	71
5.1.4.4.5. L'Aluminium (Al).....	71
5.1.4.4.6. Le Cadmium (Cd).....	71

5.2. Résultats analytique et discussions.....	72
5.2.1. Résultats des analyses.....	72
5.2.2. Discussions.....	74
5.2.2.1. Les paramètres physico-chimiques.....	74
5.2.2.2. Les paramètres de pollution.....	82
5.2.2.3. Les nutriments.....	85
5.2.2.4. Les analyses microbiologiques.....	88
5.2.2.5. Les métaux lourds	91
CHAPITRE 6. RISQUES SOCIO-SANITAIRES ENVIRONNEMENTAUX.....	95
Introduction.....	96
6.1. Risques des rejets des eaux épurées sur le milieu naturel et la santé de l’homme (stations de Baraki et Beni Messous).....	96
6.1.1. Risques des rejets sur le milieu naturel.....	96
6.1.2. Risques des rejets des eaux épurées sur la santé de l’homme (stations de Baraki et Beni Messous).....	98
6.1.2.1. Cas de rejet vers la mer Méditerranée via les oueds El-Harrach et Beni Messous....	98
6.1.2.2. Cas de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture.....	99
Conclusion.....	101
CONCLUSION GENERALE.....	102
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique de la wilaya d'Alger.....	5
Figure 2 : Carte géomorphologique et hydrographique de la région d'Alger.....	7
Figure 3 : La plaine de la Mitidja dans son contexte géomorphologique.....	9
Figure 4 : Localisation des stations pluviométriques de la région d'Alger.....	25
Figure 5 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles, Dar El Beida, (Période 1980-2015)	27
Figure 6 : Histogramme des précipitations moyennes annuelles, Dar El Beida, (Période 1980-2015)	27
Figure 7 : Diagramme du coefficient pluviométrique dans la région de Dar El Beida (Période 1980-2015).....	30
Figure 8 : Histogramme des températures moyennes mensuelles, Dar El Beida (Période 1980-2015)	31
Figure 9 : Courbe pluviométrique de la station de Dar El Beida (Période 1980-2015).....	32
Figure 10 : Bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite, Dar El Beida (Période 1980-2015).....	36
Figure 11 : Coupe géologique du Sahel d'Alger selon L. GLANGEAUD (1932).....	40
Figure 12 : Carte géologique schématique de la région d'Alger avec emplacement des coupes.....	42
Figure 13 : Coupes 6 et 7. Coupe géologique NS de la plaine de Mitidja.....	44
Figure 14 : Coupes 1 et 2. Coupes géologiques de plaine de Mitidja (1-Est/Ouest, 2-SE/NO).....	45
Figure 15 : Coupes 3, 4 et 5. Coupe géologique NS de la plaine de Mitidja.....	46
Figure 16 : Carte géologique de la région d'Alger, échelle originale : 1/500 000.....	48
Figure 17 : Evolution de Sahel, de la Mitidja et de l'Atlas pendant le Pliocène et le Quaternaire.....	52
Figure 18 : Lieu de rejet de l'eau usée traitée de la STEP de Baraki.....	55
Figure 19 : Lieu de rejet de l'eau usée traitée de la STEP de Beni Messous.....	57
Figure 20 : Carte de la situation géographique de la station d'épuration de Baraki.....	58
Figure 21 : Carte de situation géographique de la station d'épuration de Beni Messous.....	59
Figure 22 : Points schématique de prélèvement de l'eau dans les stations d'épuration de Baraki et Beni Messous.....	60
Figure 23 : Variation des températures moyennes mensuelles des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014-2015)	75

Figure 24 : Variation des températures moyennes mensuelles des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).....	75
Figure 25 : Variation de pH mensuelle des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).....	76
Figure 26 : Variation de pH mensuelle des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).....	76
Figure 27 : Variation de conductivité mensuelle des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).....	77
Figure 28 : Variation de conductivité mensuelle des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014-2015).....	77
Figure 29 : Variation de la concentration en Ca^+ des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	78
Figure 30 : Variation de la concentration en Mg^{+2} des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	78
Figure 31 : Variation de la concentration en Na^+ des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	79
Figure 32 : Variation de la concentration en Cl^- des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	79
Figure 33 : Variation de la concentration mensuelle de NH_4 des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).....	80
Figure 34 : Variation de la concentration mensuelle de NH_4 des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).....	80
Figure 35 : Variation de la concentration mensuelle en PO_4 des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).....	81
Figure 36 : Variation de la concentration mensuelle en PO_4 des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).....	81
Figure 37 : Variation de la concentration mensuelle de MES des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).....	82
Figure 38 : Variation de la concentration mensuelle de MES des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).....	82
Figure 39 : Variation de la concentration mensuelle de DBO_5 des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).....	83
Figure 40 : Variation de la concentration mensuelle de DBO_5 des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).....	83
Figure 41 : Variation de la concentration mensuelle de DCO des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).....	84

Figure 42 : Variation de la concentration mensuelle de DCO des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).....	84
Figure 43 : Variation de la concentration en NO ₂ ⁻ des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	85
Figure 44 : Variation de la concentration mensuelle en NO ₃ ⁻ des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).....	86
Figure 45 : Variation de la concentration mensuelle en NO ₃ ⁻ des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).....	86
Figure 46 : Variation de la concentration en SO ₄ ²⁻ des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	87
Figure 47 : Variation de la concentration en K ⁺ des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	87
Figure 48 : Variation de la concentration en P ₂ O ₅ des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	88
Figure 49 : Variation de la concentration en coliformes totaux des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	89
Figure 50 : Variation de la concentration en coliformes fécaux des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	89
Figure 51 : Variation de la concentration en Streptocoques fécaux des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	90
Figure 52 : Variation de la concentration en (E.Coli) des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	90
Figure 53 : Variation de la concentration en (Pb) des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	91
Figure 54 : Concentration en (Cd) des eaux usées et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	92
Figure 55 : Variation de la concentration en (Cr T) des eaux usées brutes et traitées à la station de Barak et Beni Messous (2014- 2015).....	92
Figure 56 : Variation de la concentration en (Se) des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	93
Figure 57 : Variation de la concentration en (Al) des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	94
Figure 58 : Variation de la concentration en (Cd) des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).....	94

Liste des tableaux

Tableau 1 : Paramètres géomorphologiques des cinq sous bassins versants.....	8
Tableau 2 : Principales productions végétales	12
Tableau 3 : Zones industrielles de la wilaya d'Alger.....	13
Tableau 4 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées	18
Tableau 5 : Coordonnées géographiques de la station pluviométrique de Dar El Beida.....	26
Tableau 6 : Précipitations moyennes mensuelles, Dar El Beida, (Période 1980-2015).....	26
Tableau 7 : Coefficient pluviométrique annuel de la station de Dar El Beida (Période 1980-2015)...	28
Tableau 8 : Températures moyennes mensuelles, Dar El Beida (Période 1980-2015).....	31
Tableau 9 : ETP Thornthwaite, Dar El Beida (Période 1980-2015).....	34
Tableau 10 : Bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite (Période 1980-2015).....	35
Tableau 11 : Résultats des calculs du ruissellement selon la formule de Tixeront-Berkaloff.....	37
Tableau 12 : Résultats des Calculs de l'infiltration efficace par la Formule de bilan Hydrique	38
Tableau 13 : Distribution générale des formations de remplissage du bassin de la Mitidja.....	49
Tableau 14 : Colonne stratigraphique de la plaine de la Mitidja.....	50
Tableau 15 : Les principales phases tectoniques de la région d'Alger.....	51
Tableau 16 : Charges hydrauliques de la station d'épuration de Baraki.....	56
Tableau 17 : Charges hydrauliques de la station d'épuration de Beni Messous.....	58
Tableau 18 : Résultats d'analyses physico-chimiques de l'effluents de Baraki et Beni Messous (Période 2014 - 2015).....	72
Tableau 19 : Résultats d'analyses bactériologique de l'effluents de Baraki et Beni Messous (Période 2014 - 2015).....	73
Tableau 20 : Résultats d'analyses des métaux lourds de l'effluent de Baraki et Beni Messous (Période 2014 - 2015).....	74

Liste des abréviations

OMS : Organisation Mondiale de la Santé (World Health Organization).

FAO : Food and Agricultural Organization (Organisation des Nations Unies).

JORADP : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.

ISO : International Society Organisation.

ANRH : Agence Nationale de Recherche Hydraulique.

O.N.M : Office National de Météorologie.

DMRE : Direction de Mobilisation des Ressources en Eaux/ MRE.

STEP : Station d'épuration.

EU: Eaux Usées.

EUE : Eaux Usées Epurées

Ha : Hectares.

ppm : Partie par million.

Eqh : (Équivalent habitant) notion utilisée pour exprimer la charge polluante d'un effluent par comparaison avec celle d'un habitant.

CE : Conductivité Électrique.

DBO5 : Demande biochimique en oxygène en cinq jours.

DCO : Demande chimique en oxygène.

MES : Matière en suspension.

K: Potassium.

Cd: Cadmium.

Cr: Chrome.

Pb: Plomb.

NH₄⁺: Azote ammoniacal.

NO₂⁻: Nitrite.

NO₃⁻: Nitrate.

P: Phosphore.

PT: Phosphore total.

CT : Coliformes totaux.

CF: Coliformes fécaux.

E. Coli : Escherichia coli.

Résumé

La présente étude porte sur la valorisation et la potentialité de la réutilisation des eaux usées épurées dans les stations d'épuration de Baraki et Béni Messous (Alger), en se basant sur les résultats obtenus par les analyses physico-chimiques, bactériologiques et des métaux lourds des échantillons prélevés durant la période 2014-2015.

Les résultats obtenus montrent que les eaux usées épurées au niveau de ces deux stations présentent des teneurs inférieures aux normes physico-chimiques pour la température, pH, conductivité électrique, MES, DBO₅, DCO, Ca⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, K⁺ et NO₂⁻. Par contre, les concentrations en NH₄⁺, P₂O₅, PO₄ et NO₂⁻ (station Béni Messous) dépassent les standards (Algérienne, 2012) de qualité des eaux destinées à l'irrigation.

Les teneurs bactériologiques sont également en dessus des normes Algériennes (2012) et de l'OMS (1989) pour les coliformes fécaux et totaux, les streptocoques fécaux et E. Coli pour l'irrigation des cultures destinées à être consommées crues. La présence très importante de ces germes fécaux dans ces eaux usées épurées nous indique une pollution fécale importante d'origine humaine ou animale en amont.

Pour les métaux lourds, les concentrations enregistrées dans les eaux usées épurées (Pb, Mn, Se, et Al) ne dépassent pas les normes Algériennes (2012) et FAO (1985) destinées à l'irrigation exceptés pour le Chrome (0,2 mg/l à la station de Baraki et 0,4 mg/l à la station de Béni-Messous) et le Cadmium (< 0,05 mg/l aux deux stations) qui dépassent largement les normes admises. Au terme de ces concentrations, il s'est avéré que les eaux usées épurées de la station de Baraki destinées à l'irrigation sont les plus réceptives en cas d'utilisation à court et à long terme.

Dans le cadre de l'irrigation des terres agricoles, il convient de porter une attention particulière à l'exposition de groupes vulnérables (agriculteurs, ouvriers agricoles et consommateurs) aux eaux usées épurées.

Les rejets de ces eaux usées épurées vers la mer Méditerranée via les oueds El-Harrach et Béni-Messous ont des impacts sur les milieux aquatiques mais également sur la santé humaine. En effet, il ressort que l'impact de ces eaux domestiques urbaines et industrielles est perceptible sur la qualité des eaux de ces deux Oueds.

Mots clés : Eaux usées épurées, STEP, valorisation agricole, pollution, irrigation.

Abstract

The present study focuses on the recovery and potential of the reuse of purified wastewater in the Baraki and Beni Messous (Algiers) wastewater treatment plants, based on the results obtained from the physico-chemical, bacteriological and heavy metal analyzes of the samples collected during the period 2014-2015.

The results show that the purified wastewater at these two stations has levels below the physico-chemical standards for temperature, pH, electrical conductivity, MES, DBO5, DCO, Ca⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, K⁺ and NO₂⁻. On the other hand, concentrations of NH₄⁺, P₂O₅, PO₄ and NO₂⁻ (Beni Messous station) exceed the standards (Algerian, 2012) for the quality of water intended for irrigation.

Bacteriological levels are also above Algerian (2012) and WHO (1989) standards for fecal and total coliforms, fecal streptococci and E. Coli for irrigation of crops for raw consumption. The very large presence of these fecal germs in these purified wastewater indicates a significant fecal pollution of human or animal origin upstream.

For heavy metals, the concentrations recorded in the purified wastewater (Pb, Mn, Se, and Al) do not exceed the Algerian (2012) and FAO (1985) standards intended for irrigation except for Chromium (0.2 mg / l at the Baraki station and 0.4 mg / l at the Béni-Messous station) and Cadmium (<0.05 mg / l at the two stations) which greatly exceed the accepted standards

At the end of these concentrations, the Baraki station's purified wastewater for irrigation was found to be the most receptive to short- and long-term use.

In the context of irrigation of agricultural land, particular attention should be paid to the exposure of vulnerable groups (farmers, agricultural workers and consumers) to sewage.

Discharges of these purified wastewater to the Mediterranean Sea via the El-Harrach and Beni-Messous wadis have impacts on aquatic environments but also on human health. Indeed, it appears that the impact of these urban and industrial domestic waters is noticeable on the quality of the waters of these two Oueds.

Keywords: Purified wastewater, STEP, agricultural recovery, pollution, irrigation.

ملخص

تركز هذه الدراسة على تقييم إمكانية إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة لمحطات المعالجة براقى وبنى مسوس (الجزائر العاصمة) ، بناءً على النتائج التي تم الحصول عليها من خلال التحليلات الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية والمعدنية الثقيلة للعينات المأخوذة خلال الفترة 2014 و2015.

أظهرت النتائج أن مياه الصرف الصحي المعالجة في هاتين المحطتين لديها قيم أقل من المعايير الفيزيائية والكيميائية كدرجة الحرارة ، ودرجة الحموضة ، والتوصيل الكهربائي ، والمواد المعلقة، والطلب البيوكيميائي للأكسجين ، والطلب الكيميائي للأكسجين، والكالسيوم ، و المغنيزيوم ، و الصوديوم، والكلوريد، والنترات، والكبريتات ، والبوتاسيوم، والنترت. من ناحية أخرى ، فإن تركيزات الامونيوم، و الفوسفور الكلي، و الفوسفات، و النترت (بمحطة بني مسوس) تتجاوز المعايير الجزائرية (لعام 2012) لنوعية المياه المخصصة للري.

القيم البكتريولوجية أعلى أيضاً من المعايير الجزائرية (2012) ومنظمة الصحة العالمية (1989) لكل من بكتيريا القولون البرازية والقولون الكلي ، العقدية البرازية والإشريكية القولونية لري المحاصيل المعدة للأكل نيئة . يشير الوجود الكبير جداً لهذه الجراثيم البرازية في مياه الصرف الصحي النقية هذه إلى تلوث برازي كبير من أصل بشري أو حيواني في أعلى المنبع . بالنسبة للمعادن الثقيلة ، فإن التركيزات المسجلة في مياه الصرف الصحي (الرصاص، المنغنيز، السيلينيوم، الألمنيوم) لا تتجاوز المواصفات الجزائرية (2012) ومنظمة الأغذية والزراعة (1985) المخصصان للري، باستثناء الكروم (0.2 ملغ / لتر في محطة براقى و 0.4 ملغ / لتر في محطة بني مسوس) ، و الكادميوم (>0.05 ملغ / لتر في كلتا المحطتين) الذي يتجاوز المعايير المقبولة بشكل كبير. من خلال هذه التركيزات ، وجدنا أن مياه الصرف الصحي المعالجة من محطة براقى المخصصة للري هي الأكثر فائدة للري من مياه براقى للاستخدام على المدى القصير والطويل.

في حالة ري الأراضي الزراعية ، ينبغي إيلاء اهتمام خاص لتعرض الفئات الضعيفة (المزارعين والعمال الزراعيين والمستهلكين) لمياه الصرف الصحي المعالجة. إن تصريف هذه المياه العادمة النقية إلى البحر الأبيض المتوسط عبر وديان الحراش وبنى مسوس له آثار على البيئات المائية ولكن أيضاً على صحة الإنسان. في الواقع، يبدو أن تأثير هذه المياه المنزلية الحضرية والصناعية واضح على جودة المياه لهذين الوديان.

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي المعالجة ، محطة معالجة مياه الصرف الصحي المعالجة ، تقييم زراعي، التلوث، الري.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'eau est une ressource vitale pour l'homme et son quotidien. Elle est une denrée de plus en plus rare en Algérie et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée. (Djeddi, 2006).

L'Algérie est un pays au climat essentiellement aride à semi-aride, où les précipitations sont faibles et irrégulières, et les ressources en eau sont très limitées (MRE, 2001). À l'instar d'un grand nombre de pays du bassin méditerranéen, elle accuse un déficit hydrique très inquiétant, et se situe parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, qui sont en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³ par habitant et par an. Cette disponibilité décroît de 1500 m³ en 1962 à 500 m³ en 2009, et peut être ne sera plus que de 430 m³ en 2020 (Ouanouki et al, 2009).

La croissance démographique, la fréquence d'apparition des épisodes de sécheresse, la croissance économique ont entraîné l'augmentation des besoins en eau et une pression accrue sur les ressources en eau conventionnelles (MRE, 2001). Cette situation est à l'origine de la recherche d'autres ressources non conventionnelles comme les eaux usées traitées.

Face, aux volumes croissants des eaux usées brutes (600 millions de m³ chaque année) rejetés dans la nature menacent la salubrité de l'environnement urbain et altèrent l'équilibre fragile des milieux naturels recevant ces eaux, d'où la pollution des sols, l'atteinte de la faune et la flore, et pis, la pollution des ressources hydriques, qu'elles soient superficielles ou souterraines, sources où l'homme puise la totalité de son eau potable.

L'Algérie s'est efforcé dès le début de ce siècle de trouver des moyens sûrs et respectant l'environnement pour éradiquer ces menaces. De ce fait, elle a adopté un programme de traitement des eaux usées par la mise en service à la fin 2010, de plus d'une centaine de stations d'épuration, qui ont pour rôle de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous forme de résidus appelés boues, valorisable en agriculture et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises, qui trouve quant-à-elle, une réutilisation dans l'irrigation, l'industrie et les usages municipaux [MRE, 2006].

Compte tenu de ce qui a été évoqué, devant une situation hydrique largement déficitaire, le développement de l'agriculture qu'est le gros consommateur des ressources hydriques et l'accroissement de la demande sur les produits agricoles incite à l'irrigation directe à partir

des eaux usées brutes, bien que interdite par la réglementation. En effet, elle est considérée par les agriculteurs comme une ressource en eau régulière, abondante, riche en éléments fertilisants et gratuite. (Tamrabet, 2011)

La réutilisation des eaux usées traitées, s'est avérée être une option réaliste mobilisant les ressources en eau conventionnelles pour l'approvisionnement domestique et d'autres usages prioritaires de la population algérienne. Cependant, ces eaux récupérées peuvent être considérées comme une source précieuse d'eau. Cette dernière peut présenter des avantages surtout pour le secteur agricole (P.N.U.E., 2005), du fait qu'elle est envisagée comme un point d'eau renouvelable non conventionnelle pour l'irrigation.

La réutilisation des eaux usées épurées est pratiquée essentiellement en agriculture, soit directement (13%) à partir des stations d'épuration ou indirectement (87%) à partir des oueds alimentant les barrages (Lehtihet, 2005). Selon BERDAI et al. (2004), les eaux usées épurées présentent une valeur fertilisante appréciable. Les apports en matière organique par les eaux usées épurées permettent à long terme d'augmenter la fertilité naturelle du sol sur le plan physique, chimique et biologique. Les boues résiduaires issues du traitement ont une valeur importante dans les domaines de l'amendement des sols et de la nutrition des cultures (Tamrabet et al, 2003 b ; Antolin et al, 2005; Goléa et al, 2007).

Bazza et Xanthoulis (2005), ont rapporté que les eaux usées épurées peuvent avoir des impacts défavorables, tels que la pollution du sol, des eaux souterraines et de surface, qui restent parmi les inconvénients potentiels les plus importants. De ce fait, en raison de la nature variable et de la composition des ressources hydriques, leurs réutilisations doivent être gérées soigneusement, surveillées et contrôlées (Chenini et al, 2005).

1. But de l'étude.

Notre étude s'intéressera particulièrement, à la possibilité de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture, à identifier les risques sur l'environnement par la protection des milieux récepteurs et par la préservation des ressources naturelles superficielles.

Dans ce contexte, le travail de recherche porte sur l'évaluation des performances épuratoires de deux stations d'épuration de la région d'Alger (Baraki et Beni Messous), par la connaissance de la qualité physico-chimique, bactériologiques et métaux lourds (Cd, Pb, Cr, Al, Se, Mn) des eaux usées épurées, durant la période 2014-2015.

Ainsi que la valorisation de tous ces éléments par rapport aux recommandations des normes Algériennes, ou l’OMS, ou la FAO destinée à l’irrigation.

2. Méthodologie.

Par cette étude, après cette introduction et afin d’arriver à notre objectif, nous allons développer successivement les chapitres ci-après qui sont étroitement liés. Chacun d’eux correspond à un sujet de préoccupation rencontré lors de notre travail de recherche.

Notre travail est structuré en six chapitres :

- Le premier chapitre est une synthèse des connaissances de la région d’Alger comprenant une situation géographique, une géomorphologie, un réseau hydrographique et un aperçu socio-économique.
- Le deuxième chapitre présente des généralités sur les eaux usées, la situation de l’irrigation et la réutilisation des eaux usées traitées en Algérie.
- Le troisième chapitre correspond à l’étude hydroclimatologique de la région pour évaluer les termes du bilan hydrologique.
- Le quatrième chapitre correspond au cadre géologique et structural qui caractérise la région d’étude.
- Le cinquième chapitre est réservé à la valorisation et aux potentialités de la réutilisation des eaux usées épurées pour un développement intégré et durable de deux stations d’épuration : Baraki et Beni Messous.
- Le sixième chapitre pour sa part traite des risques socio-sanitaires et environnementaux associés à la pollution des milieux naturels par les rejets des eaux usées épurées de deux stations d’épuration (Baraki et Beni Messous).

Chapitre 1

Cadre général

Chapitre 1 Cadre général

Introduction.

Alger est de par son statut, la première ville d'Algérie. Elle comprend les plus importantes concentrations au niveau national de populations, d'activités de services, d'équipements, d'infrastructures, de centres de recherche, d'industries et de grands projets urbains.

1.1. Situation géographique.

La wilaya d'Alger, est située au Nord-centre de l'Algérie, limitée :

- au Nord par la mer Méditerranée,
- au Sud par la wilaya de Blida,
- à l'Ouest par la wilaya de Tipaza et
- à l'Est par la wilaya de Boumerdes.

Le linéaire côtier s'étend sur une longueur de 80 km et une superficie de 809.22 km².

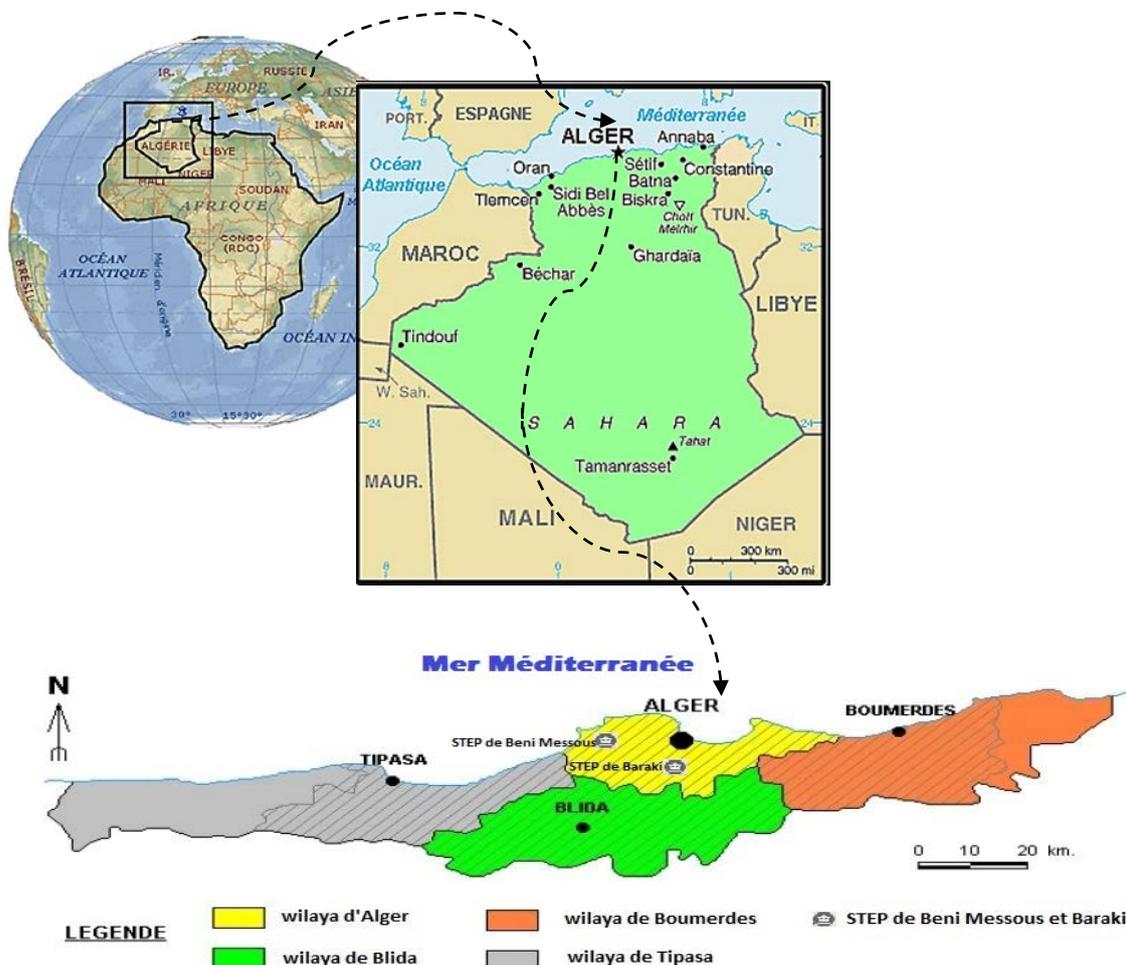


Figure n°1. Situation géographique de la zone d'étude.

W. Djemil (2021): Valorisation et potentialité de la réutilisation des eaux usées traitées pour un développement intégré durable. Cas des STEP dans la région d'Alger (Baraki et Béni Messous), Algérie. Risques socio-sanitaires et environnementaux

1.2. Géomorphologie.

La région d'Alger coïncide avec l'extrémité Nord-Centre de l'Atlas tellien. De point de vue géomorphologique, il englobe vers le Sud l'Atlas Blidéen, au centre la plaine de la Mitidja et vers le Nord le Sahel. (**Figure n°2**).

La région d'étude est constituée de plusieurs ensembles géomorphologiques :

- Le massif et le Sahel d'Alger.
- La plaine de la Mitidja.
- L'Atlas Blidéen.

1.2.1. Le massif et le Sahel d'Alger.

1.2.1.1. Le massif d'Alger : orienté Est-Ouest et s'étend sur une longueur de 20 Km et 6 Km de large. Boisé et recoupé par un réseau de talwegs profonds, sa topographie est très accidentée et son sommet culmine à 407 m.

1.2.1.2. Le Sahel d'Alger : forme une structure anticlinale asymétrique orientée Est-Ouest. Il englobe tous les petits reliefs qui s'étendent entre le massif de Bouzaréah au Nord et les rives gauches de l'Oued El-Harrach au Sud et au Sud-Est. Il est reconnu par trois parties :

- Le Sahel d'Alger, essentiellement marneux d'âge Plaisancien. Sa topographie mamelonnée est traversée par un réseau hydrographique peu dense, typique des terrains très peu perméables.
- Le plateau mollassique d'Alger sur lequel est construit les quartiers d'El- Biar, Ben Aknoun et la place du 1^{er} Mai. Ce massif est limité par les falaises d'El Hamma et de Télémy et celle de Hydra et de Bir-Mourad- Rais.
- Le piémont Sud du Sahel formé de dépôts argilo-caillouteux du comblement de la Mitidja.

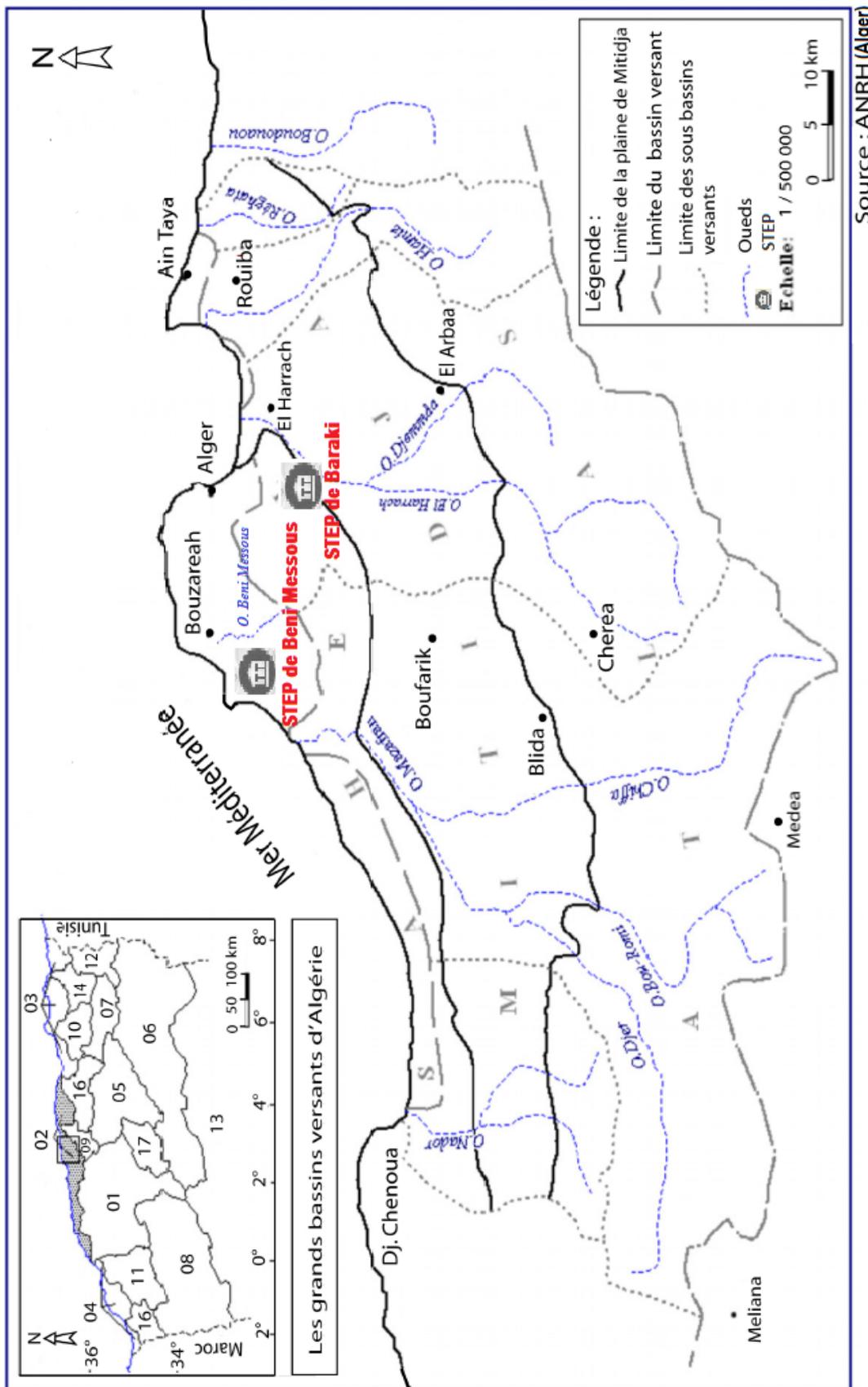


Figure n° 2. Carte géomorphologique et hydrographique de la région d'Algier.

(ANRH, Alger 2007)

1.2.2. La plaine de la Mitidja.

La plaine de la Mitidja est située juste au Sud d'Alger, d'une orientation globale WSW-ENE et d'une altitude moyenne de 100 m. Elle occupe une superficie d'environ 1400 km² depuis l'Oued Boudouaou à l'Est jusqu'au bassin de Menacer à l'Ouest sur une longueur de 100 km avec une largeur qui varie de 8 à 20 km. Elle est limitée au Sud par les piémonts de l'Atlas et au Nord par la ride de Sahel. (**Figure n°3**).

La plaine de Mitidja possède différents exutoires dont les principaux sont :

- L'Oued Mazafran qui traverse le Sahel par une cluse, l'Oued El Harrach, l'Oued Hamiz et l'Oued Réghaia.

Les trois derniers Oueds se jettent directement dans la mer sans rencontrer d'obstacles géomorphologiques.

La plaine s'étale sur cinq sous bassins versants (Réghaia, Hamiz, El Harrach, Mazafran, Nador). Les données physiographiques de ces derniers sont illustrées dans le (**tableau n° 1**) suivant.

Tableau n° 1. Paramètres géomorphologiques des cinq sous bassins versants.

Paramètres sous bassins versants	Paramètres géomorphologiques		Paramètres de forme			Paramètres de relief	
	Surface (Km ²)	Périmètre (Km)	Indice de compacité gravelius Kc	Longueur en (km) du rectangle équivalent (Km)	Largeur du rectangle équivalent (km)	Altitude moyenne (m)	Indice de pente globale (lg) m/km
O. Réghaia	87.70	41.20	1.27	16.68	5.25	55	8.27
O. Hamiz	283.2	102	1.8	38.45	7.36	325.3	19.5
Oued El Harrach	1236.3	188.2	1.5	78.30	15.80	430	13.8
Oued Mazafran	1900	186	1.18	60.50	31.43	367	17.2
O. Nador	230	89	1.64	38.02	6.04	305	21.5

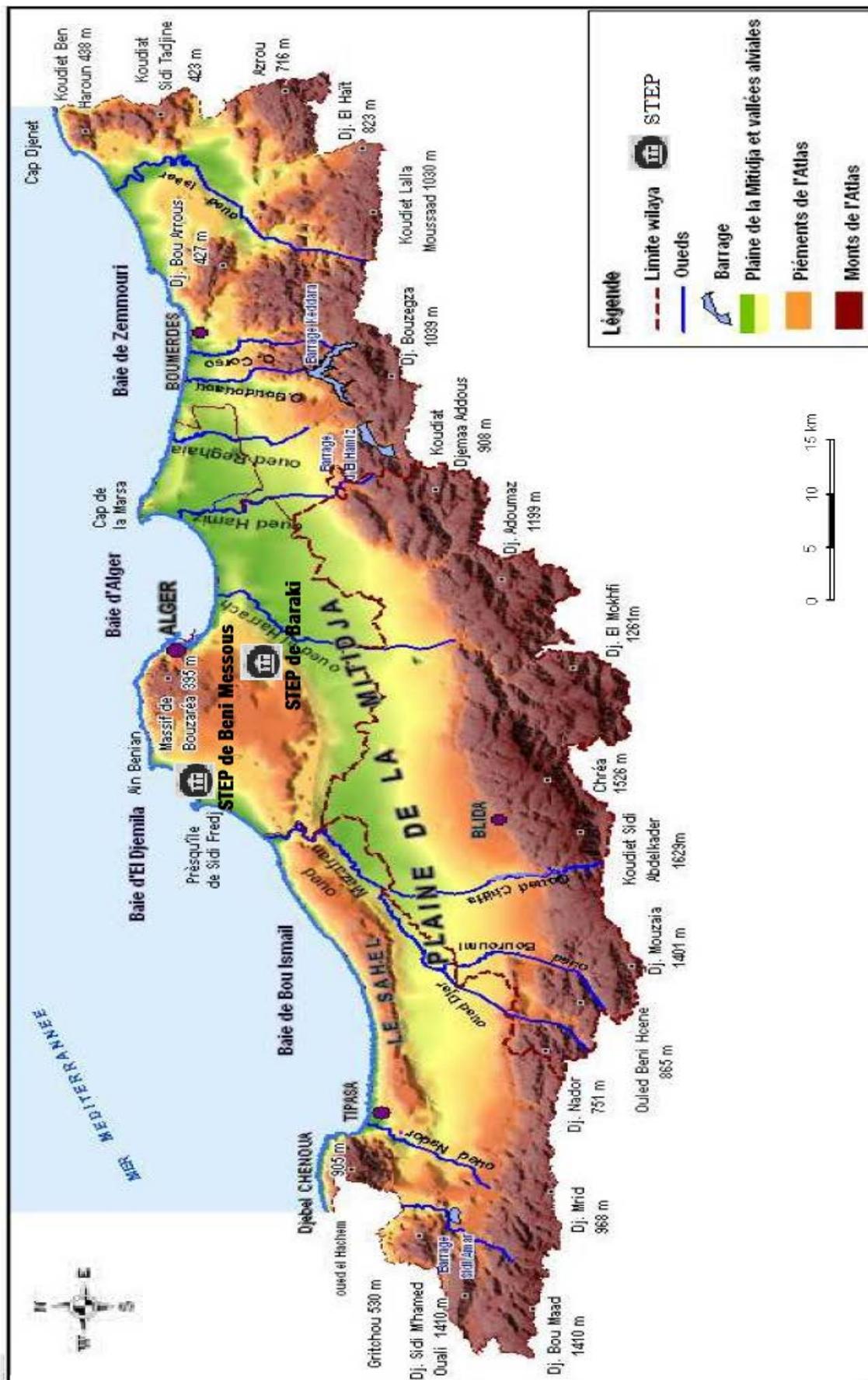


Figure n° 3. La plaine de la Mitidja dans son contexte géomorphologique. (Mimouni, 2010)

W. Djemil (2021): Valorisation et potentialité de la réutilisation des eaux usées traitées pour un développement intégré durable. Cas des STEP dans la région d'Alger (Baraki et Béni Messous), Algérie. Risques socio-sanitaires et environnementaux

1.2.3. L'Atlas Blidéen

C'est un massif montagneux qui s'élève rapidement à partir de la bordure de la plaine de Mitidja et qui peut atteindre des altitudes allant de 1200 à 1600 m. Sa morphologie est caractérisée par la succession de crêtes rabotées par une érosion intense favorisée par une faible couverture végétale et de fortes pentes.

1.3. Le réseau hydrographique.

Les principaux Oueds proche des stations d'épuration de Baraki et Beni Messous sont (**Figure n° 2**) :

1.3.1. L'Oued El Harrach : Il est l'un des plus grands Oueds qui parcourent la plaine de la Mitidja. Il prend naissance dans l'Atlas Blidéen, près de Hammam Melouane, il traverse la plaine en plein milieu de la baie d'Alger après un parcours d'environ 67 kilomètres et se jette dans la mer Méditerranée.

Il irrigue les zones agricoles tout autour, grâce notamment à ses affluents, l'Oued Djemaa, l'Oued Baba Ali et l'Oued El Terreau, mais son principal affluent est l'Oued Smar qui traverse la zone industrielle de la banlieue d'Alger.

L'Oued El Harrach est devenu depuis quelques années, un oued à risque d'inondation importante qu'il faut prendre en charge sérieusement.

1.3.2. L'Oued Beni Messous : se situe à 15 Km entre El Djamila et Club des Pins avec une distance de 11.5 Km et un débit moyen de 0.245 m³/s. Il traverse la commune de Chéraga au Nord, Bouzaréah au niveau d'une agglomération appelée « la Tribu » au Nord-Est, Ain Bénian et débouché au niveau d'une plage appelée « les Dunes » à l'Ouest. En période estivale, son lit est à sec ou réduit à de simples filets d'eau et en hiver il connaît d'importantes crues.

D'autres Oueds situés de part et d'autre de la région d'étude sont :

1.3.3. L'Oued Mazafran : C'est de loin le plus important des Oueds, il occupe une superficie de 1.860 km² dont 60% environ se trouve en montagne. L'Oued Mazafran résulte de la réunion de trois autres oueds: O. Bou Roumi, O. Djer et O. Chiffa. Il se jette dans la mer Méditerranée séparant la Wilaya de Tipaza et celle d'Alger.

L'Oued Mazafran inclut le fameux champ de captage qui sert à l'alimentation en eau potable de la région d'Alger. Il fait partie des Oueds de la plaine de la Mitidja qui provoquent également des risques d'inondations importantes.

1.3.4. L'Oued Hamiz : Il se situe à l'Ouest de la plaine de la Mitidja et occupe une superficie de 380 km². Il prend sa source dans l'Atlas Blidéen avant de traverser la plaine de la Mitidja. La présence du barrage El-Hamiz a réduit considérablement les apports terrigènes dans la baie d'Alger.

1.3.5. L'Oued Réghaia : Il est situé à 30 km à l'Est d'Alger et à 2 km au Nord de la ville de Réghaia, à la limite Nord-Est de la plaine de la Mitidja. C'est l'Oued le plus important de la région Est avec une longueur de 5500 m, une largeur de 10 m, une profondeur de 17 m et une superficie de 87.7 km². Son bassin versant couvre 75 km² dont 25 km² sont constitués d'un territoire monticuleux, le reste étant une plaine inclinée vers la mer Méditerranée.

Il est alimenté par deux affluents, à savoir l'Oued Guesbai et l'Oued Berraba. Il a un cheminement normal jusqu'au marais de Réghaia, seulement sa capacité de drainage est devenue insuffisante suite à un phénomène de capture causé par l'Oued Hamiz.

1.3.6. L'Oued Nador : Il résulte de la réunion d'un certain nombre d'oueds secondaires (O. Bouyerssen, O. Bouerdoun, O. Mered, O. Bourkika), La superficie de son bassin est proche de 230 km², il est le principal oued qui draine ce dernier.

1.4. Aperçu Socio-économique.

1.4.1. La population.

Selon les résultats préliminaires du recensement général de la population et de l'habitat (RGPH 2008), la population totale de la wilaya d'Alger est de 2 988 145 habitants, soit une densité de 3 825,9 habitants par Km².

La commune de Baraki où se trouve la STEP de Baraki compte 116 375 habitants en 2008, soit 6 % de la population totale de la wilaya d'Alger. Elle est classée comme la sixième commune la plus peuplée. La population installée dans la commune d'Ain Bénian où se situe la STEP de Beni Messous est de 68 354 habitants soit une densité de 5155 habitants par Km².

Le taux d'accroissement moyen/an dans la wilaya d'Alger durant la période entre les deux recensements 1998/2008 était de 1,6% égal au taux national qui était de 1,6%. La population de la Wilaya d'Alger (2.988.145 habitants) représente 8.77 % de la population nationale (34.080.030 habitants).

1.4.2. Activité agricole.

Selon l'office national des périmètres irrigués, la wilaya d'Alger compte une superficie agricole utile de 35.726 hectares. Les plus importants périmètres sont, le périmètre de Hamiz et une partie de la Mitidja Ouest, qui comptent une superficie équipée respectivement de 17.000 et 17.680 hectares. La capitale compte 3000 exploitations agricoles (collectives, individuelles, et privées) (MATE, 2005).

La production agricole dans la wilaya d'Alger a enregistré un taux de croissance de plus de 7,7 % en 2014, classant la capitale à la 24^{ème} place à travers le territoire national, a-t-on appris auprès des services de la wilaya

Tableau n°2. Principales productions végétales.

Désignation	Superficies emblavées (Ha)	Superficies récoltées (Ha)	Productions obtenues (Qx)	Rendement (Qx/Ha)
Blé dur	2.118	2.102	23.854	11
Blé tendre	824	824	12.767	15
Orge	833	821	9.353	11
Avoine	405	405	4050	10
Céréales	4180	4152	50024	12
Tomate industrielle	400	291	85800	295

1.4.3. Activité Industrielle.

L'activité économique de la wilaya d'Alger basée sur l'activité industrielle orientée principalement vers le raffinage du pétrole. La métallurgie, le bâtiment, l'automobile, l'agroalimentaire et l'imprimerie. Sa position stratégique et son port, le premier du pays, contribuent à faire de la wilaya un centre exportateur, notamment de produits agricoles. C'est un important nœud routier et ferroviaire, desservi par un aéroport international (MATE, 2005 ; ONS, 2003).

Tableau n°3. Zones industrielles de la wilaya d'Alger.

Désignation	Superficie (Ha)
Oued Smar + extension	320 + 61
El Harrach	78
Sidi Moussa	57
Rouiba- Réghaia	1000
Total wilaya	1455 + 61

Conclusion.

La géomorphologique de la région est constituée par le massif et le Sahel d'Alger, la plaine de la Mitidja et d'un réseau hydrographique dense et ramifié, parmi les oueds les plus proches de nos deux stations d'épuration (Baraki et Beni Messous), se situe l'Oued El Harrach et l'Oued Beni Messous. La région d'étude a une vocation agricole et une activité industrielle importante d'où un besoin important en eau d'irrigation nécessitant un apport de la réutilisation des eaux usées traitées.

Chapitre 2

*Généralités sur les eaux usées et
cadre réglementaire.*

Chapitre 2 Généralités sur les eaux usées et cadre réglementaire.

2.1. Généralités sur les eaux usées.

2.1.1. Définition des eaux usées.

Ramade (2000) définit les eaux usées comme étant des eaux ayant été utilisées pour des usages domestiques, industriels ou même agricoles, constituant donc un effluent pollué, qui sont rejetées dans un émissaire d'égout.

Les eaux usées regroupent les eaux usées domestiques (eaux vannes et ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels (eaux usées des usines). (Baumont et al, 2004). Ces eaux usées sont généralement chargées de débris divers, de matières minérales dissoutes et produits minéraux et organiques en suspension (Bouziani 2000, Der Hoek 2007).

2.1.2. Typologie des eaux usées.

Nombreux travaux de recherches illustrent la typologie des eaux usées, cette dernière est fonction de l'origine des eaux et de leurs modes de collecte qui influencent beaucoup leurs compositions et leurs caractéristiques (Ouali 1999, Frank 2002, Messrouk 2011, Mamadou 2005). Les différents types des eaux usées sont les eaux usées domestiques, industrielles, pluviales et agricoles.

2.1.2.1. Eaux usées domestiques.

Les eaux usées domestiques regroupent les eaux noires et les eaux grises. Elles constituent généralement l'essentiel de la pollution. (Frank 2002, Mamadou 2005, Messrouk 2011). Elles comprennent :

- Les eaux ménagères : qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques...etc ;
- Les eaux vannes : il s'agit des rejets des toilettes chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (Gomella et Guerree 1978).

Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales et des matières organiques. Les matières minérales comprennent les chlorures, les phosphates, les sulfates, etc... et les matières organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, mais aussi d'azote et, dans certains cas, d'autres corps tels que le soufre, le phosphore, le fer, etc...) (Vaillant, 1974).

2.1.2.2. Les eaux usées industrielles.

Les eaux usées industrielles sont les eaux produites par des processus industriels consommateurs d'eau, dont le degré de pollution diffère d'un type à un autre (Ouali 1999, Messrouk 2011). Elles sont très différentes des eaux usées domestiques et leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, d'après Gaujous (1995), elles peuvent également contenir :

- des graisses (industries agroalimentaires) ;
- des hydrocarbures (raffineries) ;
- des métaux (métallurgie) ;
- des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques diverses, tanneries) ;
- de l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
- des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

2.1.2.3. Les eaux agricoles.

L'eau agricole désigne l'eau utilisée à des fins d'agriculture. Selon la FAO, l'agriculture occupe aujourd'hui 11% de la surface des terres émergées de la planète aux fins de la production végétale et utilise 70% de toute l'eau prélevée des aquifères, des cours d'eau et des lacs. C'est une ressource naturelle essentielle et qui peut être menacée ou perturbée par le dérèglement climatique.

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricole issues de terres cultivées chargés d'engrais nitrates et phosphates sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'il ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou de retenues. (Metahri, 2012).

2.1.2.4. Les eaux pluviales.

Les eaux pluviales ou les eaux claires sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées, surtout au début de pluie, par deux mécanismes (Frank 2002, Mamadou 2005, Messrouk 2011) :

- Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées, les déchets solides ou liquides déposés sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les précipitations qui se produisent.
- La remise en suspension des dépôts des collecteurs. Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt des matières décantables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau, le plus important permet la remise en suspension de ces dépôts (Rodriguez-Gracia, 2004).

2.1.3. Systèmes de collecte des eaux usées.

Les systèmes de collecte utilisés en assainissement sont de types, l'un unitaire et l'autre séparatif (Baumont 2000, Mamadou 2005).

2.1.3.1. Système unitaire.

Le réseau unitaire est un système de collecte des eaux usées où toutes les eaux (usées et pluviales) transitent par une seule et même canalisation et se mélangent.

Les réseaux unitaires présentent un avantage économique, puisqu'ils nécessitent des infrastructures moindres par rapport à un réseau séparatif.

2.1.3.2. Système séparatif.

Un réseau séparatif est un réseau d'eaux usées qui collecte séparément les eaux de pluie et les eaux usées domestiques ou industrielles. Le réseau séparatif a comme avantage principal de décharger les stations d'épuration des variations de charges importantes que produisent les événements pluvieux.

2.1.4. Composition des eaux usées.

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, agricole, etc.....), elle est variable et dépend essentiellement de l'activité humaine (Harzallah, 2011). Les eaux usées peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques et les substances nutritives (Baumont et al, 2004) que nous développerons dans ce qui suit.

2.1.4.1. Les micro-organismes (qualité microbiologique).

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (Baumont et al, 2004).

Dans notre travail de recherche, on s'est intéressé uniquement qu'aux bactéries.

2.1.4.1.1. Les bactéries.

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 μm . La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ 10^{12} bactéries/g (Asano, 1998). Elles sont les microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux usées (Toze, 1999) (**tableau n°4**). Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonella dont on connaît plusieurs centaines de sérotypes différents, dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Des germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau ce sont les coliformes thermotolérants (Faby, 1997).

Tableau n° 4. Les bactéries pathogènes dans les eaux usées.

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination principales
<i>Salmonella</i>	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose	23 à 80 000	Ingestion
<i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire	10 à 10 000	Ingestion
<i>E. coli</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Yersinia</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Campylobacter</i>	Gastro-entérite	37 000	Ingestion
<i>Vibrio</i>	Choléra	100 à 100 000	Ingestion
<i>Leptospira</i>	Leptospirose		Cutanée/Inhalation/Ingestion
<i>Legionella</i>	Légionellose		Inhalation
<i>Mycobacterium</i>	Tuberculose		Inhalation

(Source : adapté d'ASANO T, 1998)

2.2. Situation de l'irrigation et de la réutilisation des eaux usées et traitées en Algérie.

2.2.1. Situation de l'irrigation en Algérie.

En Algérie, la sécheresse qui a commencé à sévir depuis des décennies et une pluviométrie capricieuse rendent la situation de l'agriculture très difficile car, les ressources en eau sont relativement limitées et se réduisent progressivement.

La superficie irriguée dans notre pays est ainsi passée de 350.000 ha en 2000 à 1.330.669 ha à fin 2018, soit un taux d'accroissement de 380%. Ces superficies sont réparties entre plus de 1,24 million ha irrigués à partir de la petite et moyenne hydraulique (puits, forages, retenus collinaire, épandage de crues et souvent les eaux usées.) et 87.000 ha de grands périmètres d'irrigation (barrages ou de batteries de forages profonds) (SIEE Pollutec, 2019).

2.2.2. Situation de la réutilisation des eaux usées traitées en Algérie.

La réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles est devenue l'un des axes principaux de la stratégie du secteur des ressources en eau en Algérie.

Cette stratégie vise la collecte des eaux usées à travers un vaste programme de remise à niveau et d'extension du réseau d'assainissement national, l'épuration des eaux usées par la réalisation de stations d'épuration à travers le territoire national, la réutilisation de ces eaux au niveau de l'agriculture, de l'industrie et à un degré moindre, la recharge artificielle des nappes souterraines, notamment les nappes côtières pour faire reculer le biseau salé (DAPE, 2013).

L'Algérie est pionnière à l'échelle africaine en matière de réalisation des stations d'épuration des eaux usées, environ 172 stations du genre sont en exploitation à travers le territoire national, et offrent près d'un milliard de mètres cubes d'eaux traitées destinées à l'irrigation agricole.

La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie peut être qualifiée d'embryonnaire et les volumes réutilisés sont très faibles (environ 15 millions m³/an).

Actuellement, 2% du volume d'eau usée épurée est réutilisée pour irriguer une superficie de 1285 ha d'une façon réglementaire (DMRE, 2013). Les chiffres suivants précisent les volumes des eaux usées épurées réutilisées par an en Algérie :

- Agriculture : 13 424 789 m³.
- Lutte contre l'incendie : 138 066 m³.

- Arrosage des arbres : 1 077 665 m³.
- Lavage des chaussées : 370 m³.

2.3. Cadre législatif et réglementaire de la réutilisation des eaux usées traitées en Algérie.

Comme pour tout projet hydraulique, les projets de réutilisation des eaux usées traitées doivent répondre à des contraintes de transfert, de stockage et de qualité des eaux (notamment en matière de bactériologie, de salinité et de métaux lourds), donc pour garantir la protection de la santé publique, il est indispensable de mettre en place des normes et des réglementations strictes et adaptées à la spécificité des différentes cultures (Bahri et Houmane, 1987).

2.3.1. Dans le cas de rejet et de déversement des eaux usées épurées.

- **La loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux :**

L'article 99 interdit d'évacuer, de jeter ou d'injecter dans les fonds du domaine public hydraulique des matières de toutes natures, et notamment, des effluents urbains et industriels, contenant des substances solides, liquides ou gazeuses, des agents pathogènes, en quantités et en concentrations de toxicité susceptible de porter atteinte à la santé publique, à la faune et à la flore ou nuire au développement économique.

Par ailleurs, l'article 100 stipule que le déversement ou l'immersion dans les fonds du domaine public hydraulique de matières ne présentant pas les risques prévus à l'article 99 ci-dessus, est soumis à une concession d'utilisation du domaine public hydraulique, appelée autorisation de déversement.

- **La loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable :**

L'article 50 exige aux installations de déversement dès leur mise en service de fournir des effluents conformes aux conditions fixées par voie réglementaire.

- **La loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau :**

L'article 45 spécifie que l'autorisation prévue à l'article 44 est refusée, notamment lorsque les effluents ou les matières sont de nature à nuire :

- à la capacité de régénération naturelle des eaux ;

- aux exigences de l'utilisation des eaux ;
- à la santé et la salubrité publiques ;
- à la protection des écosystèmes aquatiques ;
- à l'écoulement normal des eaux ;
- aux activités de loisirs nautiques.

2.3.2. Dans le cas de réutilisation des eaux usées épurées.

▪ La loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux :

L'article 137 spécifie que les eaux usées épurées peuvent être utilisées, soit pour certains besoins du secteur industriel, soit pour les besoins de l'irrigation de certaines cultures dans le secteur agricole.

▪ La loi n° 05 - 12 du 04 août 2005 relative à l'eau :

- Extrait de l'article 2 spécifie que la valorisation des eaux non conventionnelles est assignée pour accroître les potentialités hydriques ;
- Extrait de l'article 4 considère que les eaux usées épurées et utilisées dans un but d'utilité publique font partie du domaine public hydraulique naturel ;
- Extrait de l'article 6 stipule que la mobilisation, la production et l'utilisation des eaux non conventionnelles sont soumises aux conditions particulières ;
- Extrait des articles 77 et 82 instituent la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ou d'arrosage d'espaces verts.

➤ Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 :

Ce décret exige que l'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation doive être conforme aux clauses d'un cahier des charges-type que tout concessionnaire doit le souscrire.

Aussi, ce décret exige que la demande de concession doive être l'objet d'une étude technique faite par les services de l'hydraulique de la wilaya, en concertation avec les services de l'agriculture, de la santé et de la protection de l'environnement.

Ce décret prescrit aussi des mesures préventives afin de limiter les risques liés à l'usage des eaux usées épurées. Parmi ces mesures, nous citons :

- L'interdiction d'irriguer les cultures maraîchères dont les produits sont susceptibles d'être consommés crus ;

dans le cas des arbres fruitiers, tout système d'irrigation mettant l'eau usée épurée en contact avec les fruits est interdit ;

- l'interdiction du pâturage direct sur les parcelles irriguées par des eaux usées épurées ;
- l'obligation d'un éloignement suffisant des périmètres irrigués par les eaux usées épurées par rapport aux routes, habitations, puits de surface et autres ouvrages destinés à l'alimentation en eau potable. Cet éloignement est fixé à 100 mètres.

Il prescrit aussi la réalisation de contrôle régulier de la qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation.

Aussi, il prescrit que les analyses doivent être effectuées par des laboratoires dont la liste est fixée par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de la santé, du commerce et de l'agriculture.

En plus, ce décret définit les taches des différents intervenants du point de vue suivi et contrôle, où :

Les services de l'hydraulique de la wilaya sont tenus de mettre en place un dispositif de suivi et de contrôle de :

- La qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation ;
- L'évolution de la qualité de l'eau de la nappe souterraine ;
- L'état des ouvrages de stockage et de distribution des eaux usées épurées.

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

Les services de l'agriculture de la wilaya doivent assurer :

- Un contrôle phytosanitaire des cultures irriguées avec les eaux usées épurées ;
- le suivi de l'évolution des caractéristiques des sols, sous irrigation avec des eaux usées épurées.

Les services du commerce de la wilaya doivent assurer un contrôle biologique et physicochimique des produits agricoles irrigués avec les eaux usées épurées.

Arrêté interministériel du 02 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation ;

Arrêté interministériel du 02 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées (voir l'annexe);

Aussi, un arrêté interministériel portant la liste des laboratoires agréés pour l'analyse des eaux usées épurées est en train d'élaboration.

Conclusion

Dans notre région d'étude, il existe quatre types d'eaux usées à savoir : domestiques, industrielles, agricoles et pluviales. La collecte de ces eaux usées s'effectue selon un réseau unitaire.

Le rejet en milieu naturel d'eaux usées, génère une pollution catastrophique pour la biodiversité et la qualité des ressources en eau. C'est pourquoi il est nécessaire de traiter les eaux usées et de favoriser leur réutilisation afin de préserver la santé publique et la ressource en eau et l'environnement.

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

Les conditions de REUT doivent être encadrées réglementairement par des lois et des décrets afin de prévenir les risques sanitaires et les menaces potentiels sur les usagers, le sol et les cultures irriguées, ainsi que sur l'environnement.

Chapitre 3

Etude hydroclimatologique

Chapitre 3 Etude hydroclimatologique

3.1. Climatologie.

Le climat est un facteur important dans la vie et l'évolution d'un écosystème. Il dépend de nombreux facteurs : température, précipitations, humidité, évaporation, vent, lumière, pression atmosphérique, reliefs....etc. (Dajoz, 2000). Pour connaître les caractéristiques du climat, l'étude doit reposer sur une période d'observation assez longue (ici dans notre cas 35 ans).

La région d'Alger est régie par un climat méditerranéen caractérisé par l'alternance d'une saison sèche et chaude et d'une saison humide, pluvieuse et relativement froide. Une synthèse des paramètres climatiques à savoir la température ($T^{\circ}\text{C}$) et les précipitations (P mm) s'avère nécessaire pour compléter les informations caractérisant le site étudié.

3.1.1. Climatologie de la zone d'étude.

Les données climatiques utilisées dans cette étude ont été fournies par l'ANRH/Alger de la station météorologique de Dar El Beida (ONM) (**figure n° 4**). Ces dernières fournissent des données climatiques les plus complètes (températures et précipitations) dont les caractéristiques sont représentées dans le **tableau n° 5**.

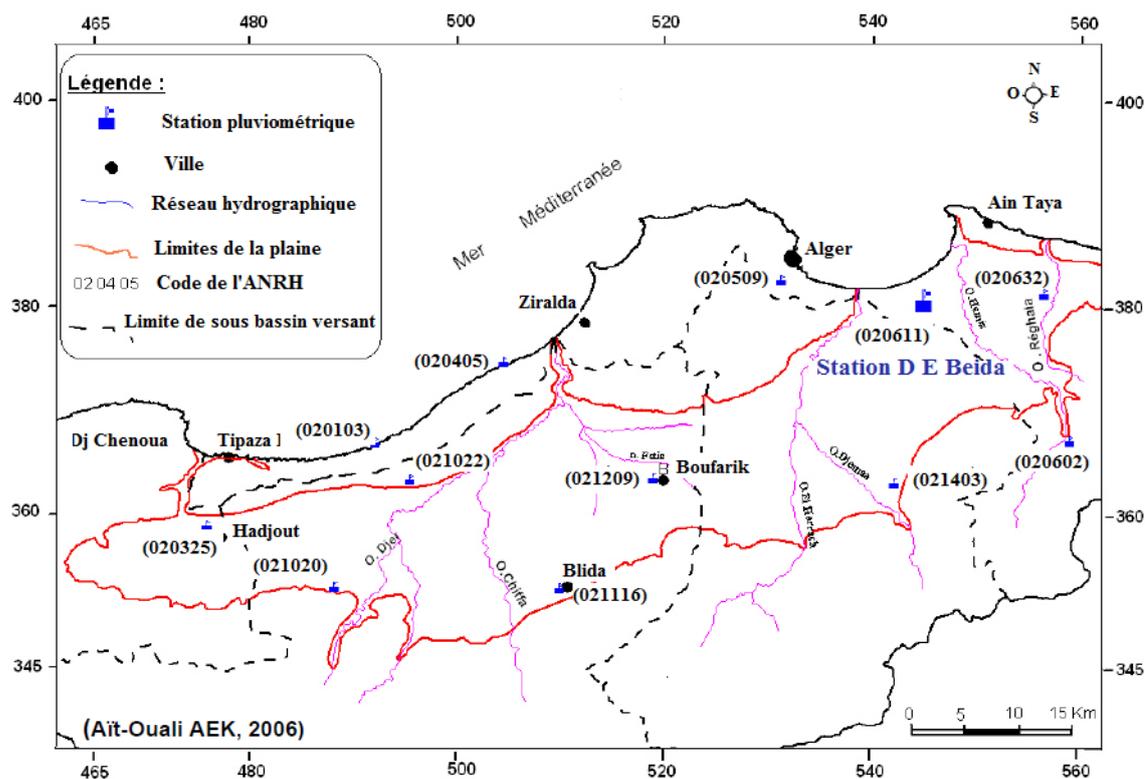


Figure n° 4. Localisation des stations pluviométriques de la région d'Alger.
(Ait-Ouali AEK, 2006)

Tableau n° 5. Coordonnées géographiques de la station pluviométrique de Dar El Beida.

Station	Code	Coordonnées Lambert		Altitudes m
		X	Y	
Dar El Beida	020611	547.400	379.600	24

3.1.2. Variations des facteurs climatiques.

3.1.2.1. Précipitations.

La connaissance de la répartition pluviométrique saisonnière et annuelle, constitue un élément important dans l'analyse d'un climat.

Selon Seltzer (1946), les pluies qui tombent en Algérie sont pour la plus part influencées par le relief. La tranche annuelle augmente dans une région donnée avec l'altitude. En effet la hauteur pluviométrique est donc déterminée par la direction des axes montagneux par rapport à la mer et aux vents humides.

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale (Ramade, 1984). C'est la hauteur annuelle de précipitations en un lieu exprimé en centimètres ou en millimètres (Dreux, 1980). Pour l'interprétation des données pluviométriques, nous avons utilisé des séries de précipitations sur une période de 35 ans (1980 - 2015), pour la station Dar El Beida décrite précédemment.

3.1.2.1.1. Précipitations mensuelles.

La région d'Alger est bien arrosée où l'analyse des valeurs de précipitations mensuelles (**tableau n°6**), montre qu'elles sont assez importantes, mais inégalement réparties dans l'année. Il pleut 599.71 mm par an, avec un volume maximal en hiver (91.92 mm en décembre). Par contre, les précipitations les plus faibles sont marquées au mois de juillet (4.5 mm) (**Figure n° 5**).

Tableau n° 6. Précipitations moyennes mensuelles, Dar El Beida, (Période 1980-2015).

Mois	Sep	Octo	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Précip/Moy/ Annuelle
P (mm)	37,62	53,3	91,83	91,92	72,6	67,1	55,11	49,31	55,1	14,51	4,5	6,9	599.71

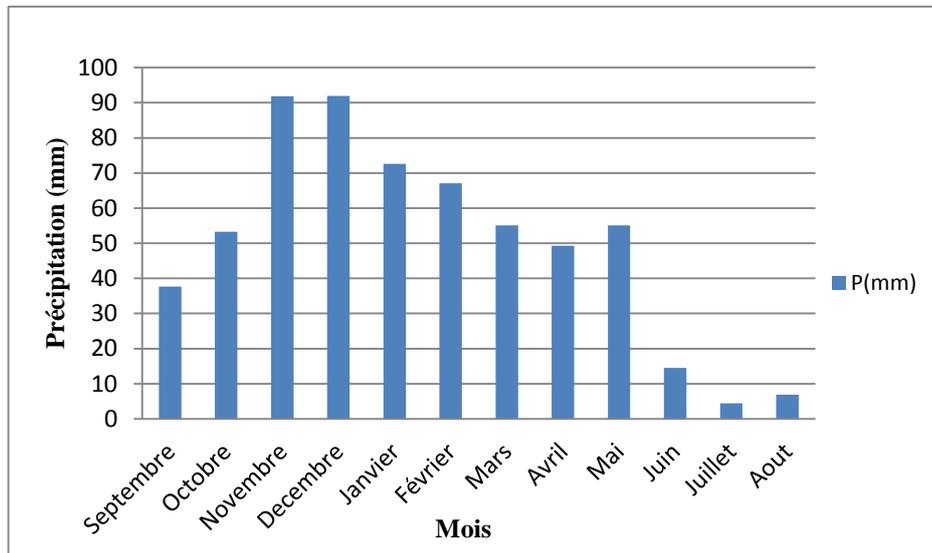


Figure n° 5. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles, Dar El Beida, (Période 1980-2015).

3.1.2.1.2. Précipitation annuelles.

Les précipitations annuelles maximales (977.45 mm/an) sont enregistrées durant l'année 1984, tandis que les valeurs minimales de pluie (267.4 mm/an) sont relevées en 2000.

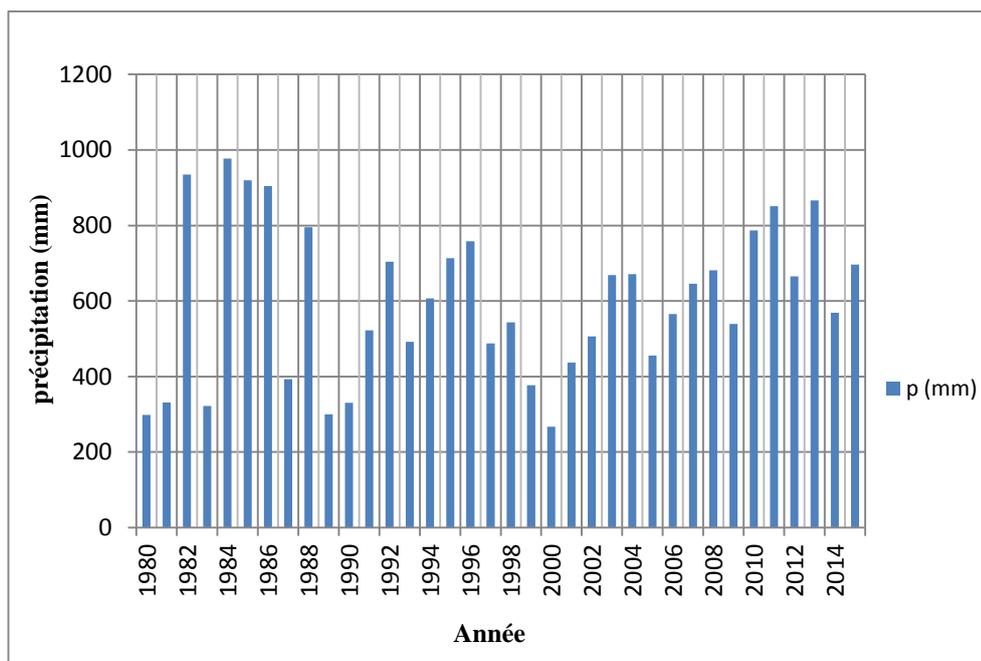


Figure n° 6. Histogramme des précipitations moyennes annuelles, Dar El Beida, (Période 1980-2015).

3.1.2.1.3. Coefficient pluviométrie annuel (CP_a).

Le coefficient de pluviométrie annuel (CP_a) est en relation proportionnelle avec la pluviométrie. Il est calculé par le rapport de la pluviométrie de l'année considérée sur la pluviométrie moyenne de la série observée à une station donnée. (Dans notre étude la station de Dar El Beida) (**Figure n° 7**).

- Formule : $CP_a = P / P_{moy}$

Où : CP_a= Coefficient pluviométrie annuel.

P= Hauteur des pluies annuelles en (mm).

P_{moy} = Moyenne annuelle pluviométrique en (mm)=599.61 mm.

Nous avons deux cas :

Si CP_a > 1 → on a une année excédentaire.

Si CP_a < 1 → on a une année déficitaire.

Les résultats sont illustrés dans le **tableau n° 7**.

Tableau n° 7. Coefficient pluviométrique annuel de la station de Dar El Beida (Période 1980-2015).

Année Hydrologique	Station de Dar El Beida	
	Hauteur annuelle de pluie (mm)	CP _a
1980-1981	30,99	0,05 AD
1981 -1982	934,71	1,55 AE
1982 -1983	322,1	0,53 AD
1983-1984	977,45	1,62 AE
1984-1985	919,98	1,53 AE
1985-1986	904,25	1,50 AE
1986-1987	393,42	0,65 AD
1987-1988	795,05	1,32 AE
1988-1989	299,97	0,50 AD
1989-1990	330,24	0,55 AD

1990-1991	522,774	0,87	AD
1991-1992	703,85	1,17	AE
1992-1993	491,75	0,82	AD
1993-1994	607,27	1,01	AE
1994-1995	713,24	1,18	AE
1995-1996	758,36	1,26	AE
1996-1997	487,59	0,81	AD
1997-1998	543,78	0,90	AD
1998-1999	377,02	0,62	AD
1999-2000	267,4	0,44	AD
2000-2001	437,25	0,72	AD
2001-2002	506,03	0,84	AD
2002-2003	669,07	1,11	AE
2003-2004	671,04	1,11	AE
2004-2005	455,86	0,76	AD
2005-2006	565,28	0,94	AD
2006-2007	646,03	1,07	AE
2007-2008	681,22	1,13	AE
2008-2009	539,46	0,89	AD
2009-2010	787,14	1,31	AE
2010-2011	851,63	1,42	AE
2011-2012	664,9	1,10	AE
2012-2013	866,46	1,44	AE
2013-2014	569,24	0,94	AD
2014-2015	696,79	1,16	AE
Moyenne	599,71	/	/

A la lecture du **tableau n° 7 et la figure n° 7**, on a une moyenne pluviométrique (P_{moy}) de 599.71 mm sur une période de 35 ans (1980-2015).

On distingue 18 années présentant un coefficient pluviométrique supérieur à 1 où l'année 1983-1984 est la plus pluvieuse avec une valeur de l'ordre de 977.45 mm, donc elles sont excédentaires (AE).

Le reste, c'est-à-dire 17 années, présentent un coefficient pluviométrique annuel inférieur à 1 où l'année 1980-1981 est la plus sèche avec une valeur de 30.99 mm, donc elles sont déficitaires (AD).

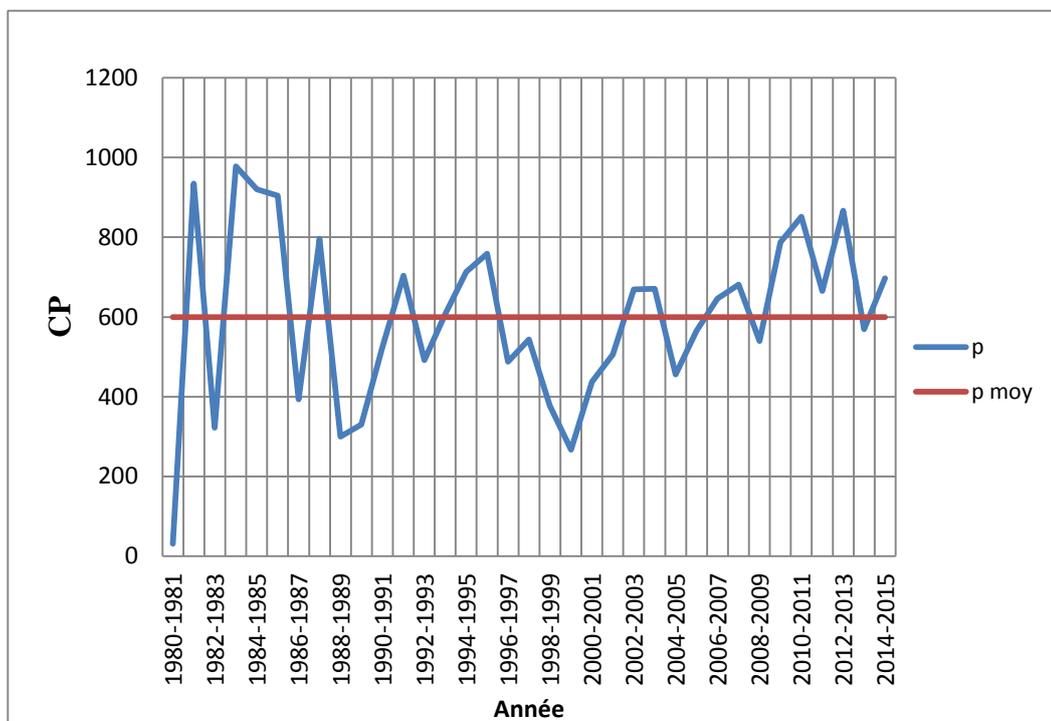


Figure n° 7 .Diagramme du coefficient pluviométrique dans la région de Dar El Beida (Période 1980-2015)

3.1.2.2. Température.

La température représente un facteur limitant, car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne, de ce fait, la répartition de la totalité des espèces et des communautés des êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 1993).

Parmi les facteurs climatiques, la température est la plus importante (Dreux ,1980). La température de l'air est un des facteurs ayant une grande influence sur le climat et sur le bilan hydrique car il conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration réelle. Elle est fonction de l'altitude, de la distance de la mer, des saisons (Ozenda, 1982) et de la topographie (Toubal, 1986).

La température moyenne maximale (26,2 °C) est enregistrée durant la période estivale (mois d'Août) et la température moyenne minimale (11,4°C) est relevée au mois de janvier (**tableau n° 8**).

Tableau n° 8. Températures moyennes mensuelles, Dar El Beida (Période 1980-2015).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
T ° C	23,22	20,2	15,6	12,6	11,4	11,73	13,4	15,6	18,8	22,6	25,5	26,2	18,05

La température moyenne annuelle est de l'ordre 18,05°C. Les résultats du **tableau n° 8** sont illustrés dans l'histogramme suivant (**Figure n°8**).

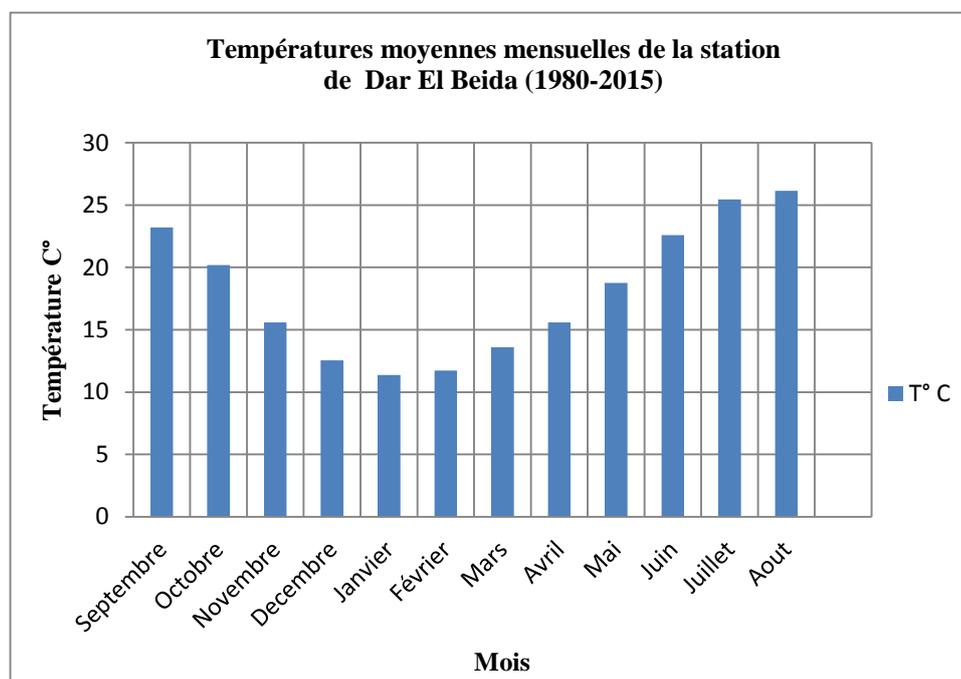


Figure n° 8. Histogramme des températures moyennes mensuelles, Dar El Beida (Période 1980-2015).

Les analyses des moyennes de la température annuelle (Figure n° 8) nous a permis de distinguer :

- Une période chaude s'étalant du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre avec un maximum durant le mois d'Aout (26.2°C).
- Une période relativement froide allant du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril avec minimum durant le mois de Janvier (11.4°C).

3.1.2.3. La courbe pluviométrique (Station de Dar El Beida, période : 1980-2015).

▪ Le diagramme pluviométrique.

C'est la combinaison des températures et des précipitations moyennes mensuelles sur la même période d'observation où $P=2T$, il a pour but de déterminer les périodes sèches et humides tel qu'il est mentionné dans la figure n° 9 :

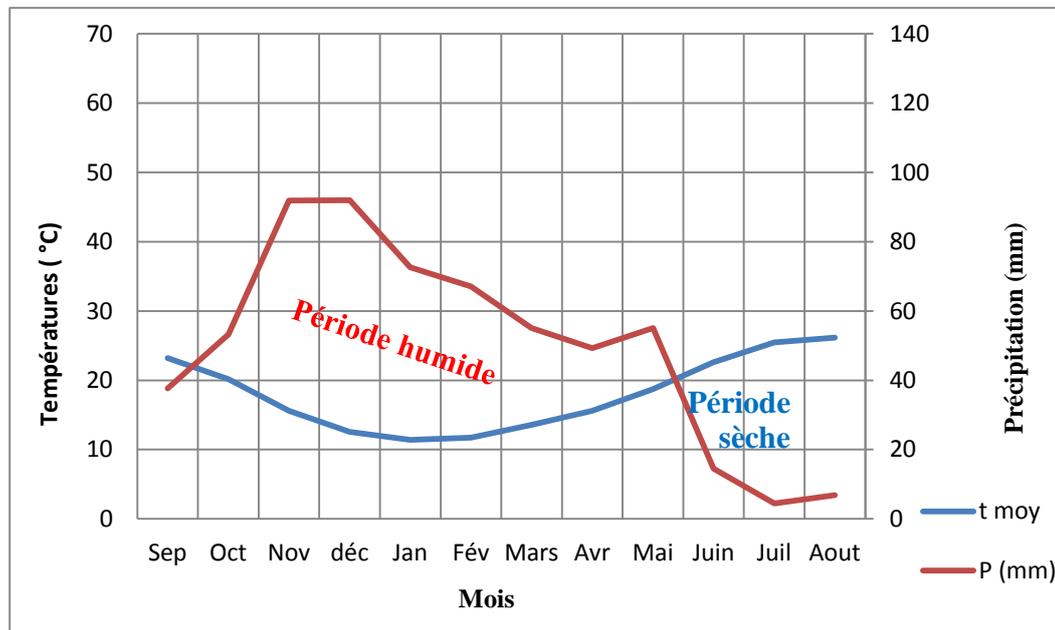


Figure n° 9. Courbe pluviométrique de la station de Dar El Beida (Période 1980-2015)

L'étude de la courbe pluviométrique sur une période de 35 ans (1980-2015) montre que la région étudiée est caractérisée par deux périodes :

- L'une humide et pluvieuse s'étalant de la fin du mois de Septembre jusqu'à la fin du mois de Mai, caractérisée par une précipitation relativement élevée qui atteint 91.92 mm pendant le mois de Décembre.
- L'autre sèche s'étalant de la fin du mois de Mai jusqu' au mois de Juillet avec une pluviométrie moyenne maximale de 4,5 mm au mois d'Août.

3.1.3. Le bilan hydrique.

L'étude du bilan hydrique d'une région permet d'évaluer la répartition des quantités d'eaux reçues sur une surface entre ses différents composants (écoulement, infiltration et évaporation). Il est calculé par la méthode de THORNTHWAITE, cette dernière est la plus appliquée, car se rapprochant au mieux de la réalité de la zone d'étude, elle prend en

considération la RFU, qui elle-même tient compte d'une part du type de sol, de l'enracinement et des plantes et d'autre part la température, de la pluie et de l'ETP, selon la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en (mm).

R : Ruissellement moyen annuel en (mm).

I : Infiltration moyenne annuelle en (mm).

3.1.3.1. Estimation de l'Evapotranspiration.

L'évapotranspiration est la plus importante des paramètres, c'est la somme des quantités d'eau exprimées en mm, évaporées par la surface du sol et utilisées par les plantes.

On distingue :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP).
- L'évapotranspiration réelle (ETR).

3.1.3.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP) (Tableau n° 9).

Est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si ceux-ci contiennent en permanence la quantité d'eau suffisante.

Elle est estimée par la formule de « THORNTHWAITE » appliquée pour le climat sub-humide et semi-aride par la formule suivante :

$$ETP = 16(10 t / I)^a \cdot K$$

Avec :

$$a = 0.016 I + 0.5 \quad ; \quad I = \sum i \quad ; \quad i = (t / 5)^{1.514}$$

ETP: Evapotranspiration potentielle mensuelle en (mm)

t : Température moyenne mensuelle en (°C).

i : Indice thermique mensuel.

I : La somme des indices mensuels.

K : Facteur correctif intégrant la durée d'insolation et la température.

Tableau n° 9. ETP Thornthwaite, Dar El Beida (Période 1980-2015).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	TOT
I	10.22	8.3	5.6	4.02	3.5	3.63	4.4	5.6	7.4	9.81	11.7	12.24	86.42
ETP	107.4	77.55	41.6	26.9	23.2	24	37.8	53.9	84.8	121.9	155.1	152.9	907.01

3.1.3.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR).

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme de l'évapotranspiration et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie.

Elle est estimée par les formules suivantes :

3.1.3.1.2.1. Formule de Turc.

Cette formule tient compte de la durée de l'insolation et applicable à tous les types de climat, la formule est la suivante :

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand :

$L=300+25t+0.05t^3$, où t est la température moyenne annuelle en °C.

3.1.3.1.2.2. Formule de Thornthwaite.

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, on utilise la méthode de C.W. Thornthwaite, où on distingue :

- 1^{er} cas : $P \geq ETP \rightarrow ETR = ETP$

Il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation, le surplus va représenter l'écoulement superficiel.

- 2^{ème} cas : $P < ETP \rightarrow ETR = P + RFU$:

Dans ce cas, la RFU (réserve facilement utilisable) va s'épuiser jusqu'à satisfaction de l'ETP.

- 3^{ème} cas : $P > ETP$ et $RFU = 0 \rightarrow ETR = P$:

Il y aura donc un déficit agricole (DA) représenté par la quantité d'eau qui doit être apportée pour l'irrigation.

3.1.3.2. Calcul du bilan hydrique.

Le tableau n° 10 résume le bilan hydrique pour la station de Dar El Beida, établie selon la méthode de Thornthwaite.

Tableau n° 10. Bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite (Période 1980-2015).

MOIS	T (°C)	I	K	ETP (mm)	P (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	Def (mm)	Exc (mm)
S	23,22	10,22	1,03	107,4	37,62	0,0	37,62	69,8	0,0
O	20,2	8,3	0,97	77,5	53,3	0,0	53,28	24,2	0,0
N	15,6	5,6	0,86	41,6	91,83	50,3	41,6	0,0	0,0
D	12,6	4,02	0,81	26,97	91,92	100,0	26,97	0,0	15,2
J	11,4	3,5	0,87	23,2	72,6	100,0	23,2	0,0	49,4
F	11,73	3,63	0,85	24,0	67,1	100,0	24,0	0,0	43,1
M	13,4	4,4	1,03	37,8	55,11	100,0	37,8	0,0	17,3
A	15,6	5,6	1,10	53,97	49,31	95,4	53,97	0,0	0,0
M	18,8	7,4	1,21	84,8	55,1	65,7	84,8	0,0	0,0
J	22,6	9,81	1,22	121,9	14,51	0,0	80,2	41,7	0,0
J	25,5	11,7	1,24	155,1	4,5	0,0	4,5	150,7	0,0
A	26,2	12,24	1,16	152,9	6,9	0,0	6,9	146,0	0,0

Moy (T) = 18,05

Som (ETR) = 474,56

BH = 368,74

Som (ETP) = 907,01

Som (Dfe) = 432,45

Som (P) = 599,71

Som (Exc) = 125,05

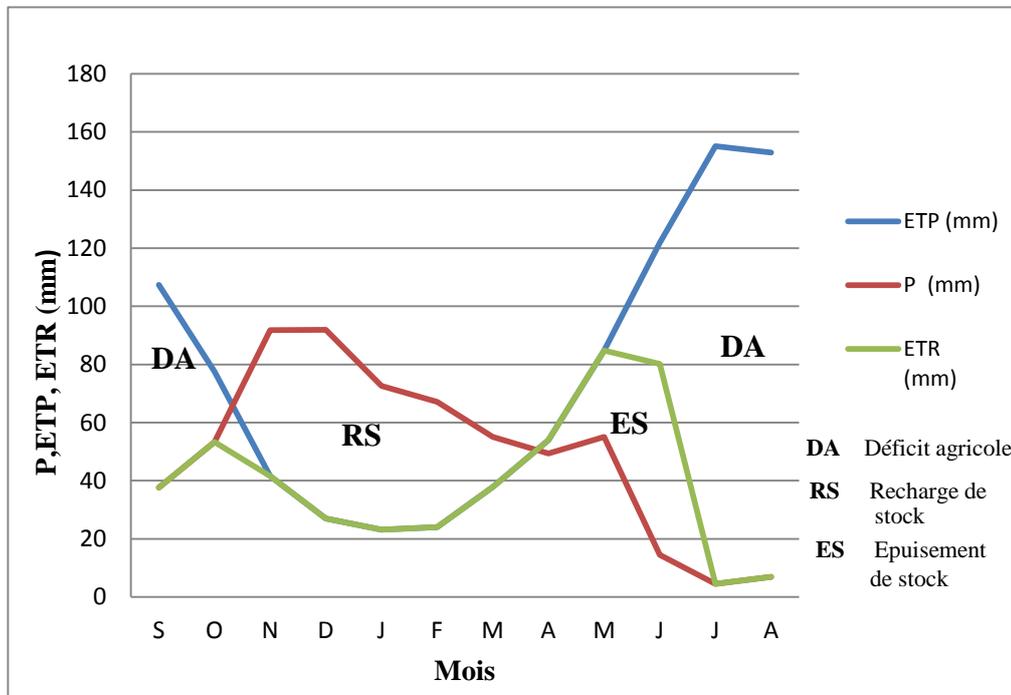


Figure n° 10. Bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite, Dar El Beida (Période 1980-2015).

3.1.3.3. Interprétation du bilan hydrique.

Les résultats du bilan hydrique de la station de Dar El Beida illustré dans le tableau 10 et la figure 10, permettent les observations suivantes :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP) : atteint le maximum au mois d'Aout (152,9 mm) et le minimum au mois de Janvier (23,2 mm), alors que le total est de l'ordre de 907,01 mm.
- L'évapotranspiration réelle (ETR) : le total est de l'ordre de 474,56 mm.

La reconstitution de la réserve facilement utilisable (RFU) atteint son maximum à partir des mois de Décembre. Elle s'effectue entre les mois de Novembre et Mai. Elle commence à s'épuiser à partir du mois de Juin jusqu'au mois d'octobre, période marquée par un déficit agricole d'une moyenne annuelle de 432,45 mm. Ce déficit s'étale du mois de Juin au mois d'Octobre. Le maximum est observé au mois de Juillet d'ordre de 150,7 mm.

- L'excédent variable selon la rétention potentielle du sol annuel est de l'ordre de (125,05 mm).

3.1.3.4. Estimation du Ruissellement (Tableau n° 11).

Le ruissellement, un paramètre fondamental du bilan hydrologique et aussi un facteur principal des débits des pointes des crues, Il est difficile à évaluer. L'évaluation du ruissellement est impérative pour estimer l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface du sol.

En 1961, Tixeront et Berkaloff ont donné une formule permettant de calculer une valeur approchée du ruissellement pour des précipitations ne dépassent pas les 600 mm :

$$R = P^3 / 3 \times ETP^2$$

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle annuelles (mm).

R : Ruissellement (mm).

Tableau n ° 11. Résultats des calculs du ruissellement selon la formule de Tixeron-Berkaloff.

Paramètre	P(mm)	ETP(mm)	R(mm)	R %
résultats	599,71	907,01	87.34	14.56

Le ruissellement est de l'ordre de 87.34 mm ce qui représente 14.56 % des précipitations.

3.1.3.5. Estimation de l'Infiltration (I) (Tableau n° 12).

L'infiltration est le taux de renouvellement des réserves souterraines d'une nappe, et aussi c'est la quantité d'eau qui parvient à la surface de la nappe. Elle dépend de plusieurs facteurs, la nature du sol. La perméabilité et la porosité du terrain, la couverture végétale, l'intensité de la pluie, topographie du terrain.

Elle est déduite de l'équation fondamentale du bilan hydrique :

$$P = ETR + R + I \quad \rightarrow \quad I = P - (R + ETR)$$

Avec:

I : L'infiltration en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

R : Ruissellement en (mm).

ETR : Evapotranspiration annuelle en (mm).

Tableau n ° 12. Résultats des Calculs de l'infiltration efficace par la formule de bilan Hydrique.

Paramètre	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)	I %
résultats	599.71	416,76	87.34	95.51	15.92

L'infiltration efficace est de l'ordre de 95.51 mm ce qui représente 15.92 % des précipitations. Nous constatons que l'infiltration efficace est supérieure au ruissellement en raison des fortes perméabilités des terrains.

Conclusion.

Cette synthèse met en évidence une variation saisonnière marquée des facteurs climatiques. La région d'étude est régie par un climat méditerranéen caractérisé par l'alternance d'une saison sèche et chaude et d'une saison humide, pluvieuse et relativement froide. La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 599.71 mm /an. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 18.06°C.

L'étude du bilan hydrique a permis de ressortir Les résultats suivants :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP) : atteint le maximum au mois d'Août (152,9 mm) et le minimum au mois de Janvier (23,2 mm), alors que le total est de l'ordre de 907,01 mm.
- L'évapotranspiration réelle (ETR) est égale à 474,56 mm
- La reconstitution de la réserve facilement utilisable (RFU) atteint son maximum à partir des mois de Décembre. Elle s'effectue entre les mois de Novembre et Mai. Elle commence à s'épuiser à partir du mois de Juin jusqu'au mois d'octobre, période marquée par un déficit agricole d'une moyenne annuelle de 432,45 mm. Ce déficit s'étale du mois de Juin au mois d'Octobre. Le maximum est observé au mois de Juillet d'ordre de 150,7 mm.
- L'excédent variable selon la rétention potentielle du sol annuel est de l'ordre de (125,05 mm).
- Le ruissellement est de l'ordre de 87.34 mm ce qui représente 14.56 % des précipitations.
- L'infiltration efficace est de l'ordre de 95.91 mm ce qui représente 15.92 % des précipitations. Nous constatons que l'infiltration efficace est inférieure au ruissellement en raison des faibles perméabilités des terrains.

Chapitre 4

Cadre géologique et structurale

Chapitre 4 Cadre géologique et structurale

4.1. Cadre Géologique et litho-stratigraphique.

4.1.1. La structure plissée du Sahel.

Le Sahel d'Alger présente une structure géologique complexe, constituée de terrains métamorphiques anciens et sédimentaires d'âge mio-plio-quaternaire. Les terrains métamorphiques apparaissent dans le massif d'Alger au centre, à Sidi Fredj à l'Ouest, et à Tamenfoust-El-Marsa à l'Est. Ce massif est formé de gneiss, de micaschistes, de marbres, de schistes, et de quartzites. Ce socle est surmonté en discordance par le mio-plio-quaternaire sédimentaire. Ces séries se prolongent vers le Sud en position synclinale dans le bassin de la Mitidja. L'analyse géologique de cette zone a permis de relever la disposition du terrain. (Glangeaud, 1932) (**Figure n° 11**)

Le Sahel d'Alger est divisé en trois parties d'âge Tertiaire et Quaternaire :

- Marnes bleues d'âge plaisancien,
- Grès d'âge Astien (Faciès marno-sableux, calcaro-sableux, mollassique, gréseux et sableux).
- Dépôts continentaux et marins d'âge quaternaire (dunes, terrasses,...)

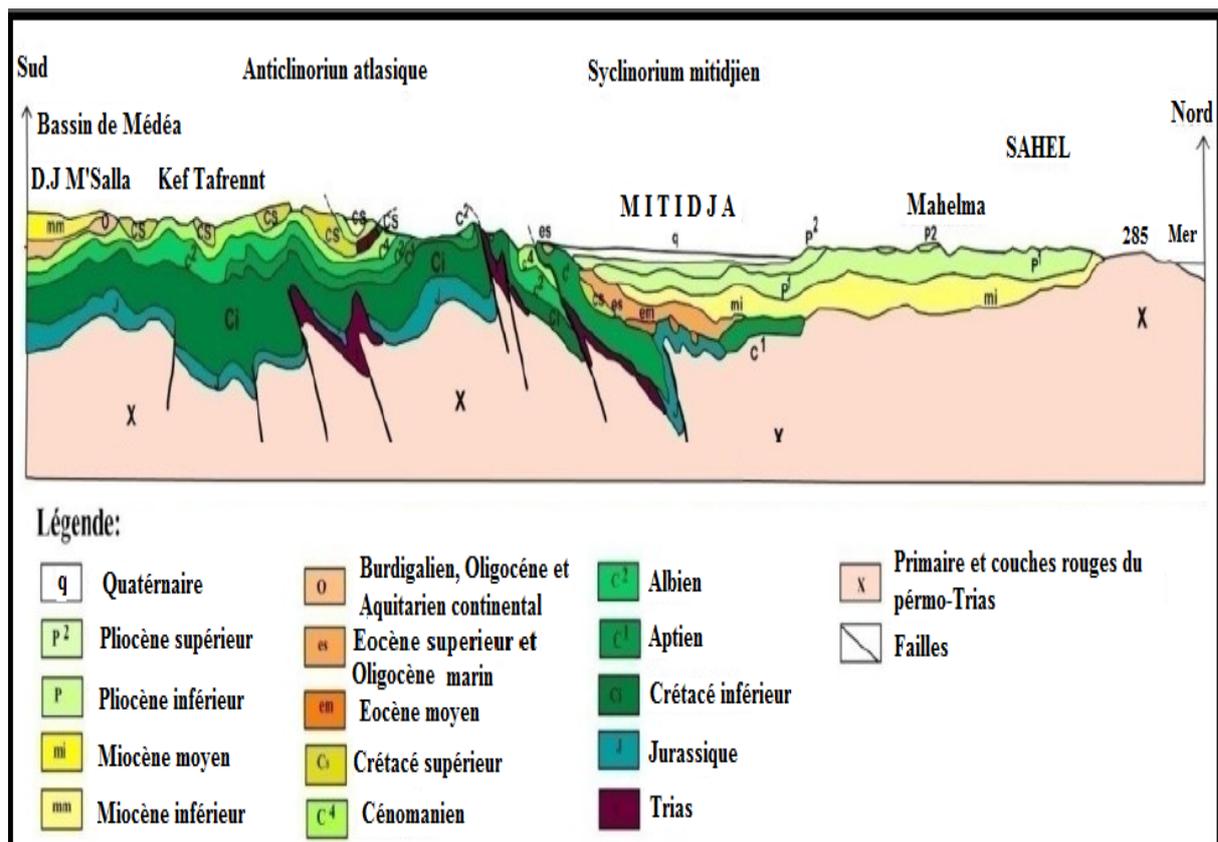


Figure n° 11 .Coupe géologique du Sahel d'Alger selon L. GLANGEAUD (1932).

4.1.2. La série stratigraphique.

Le Primaire représenté par des affleurements réduits isolés dans le massif d'Alger dans les régions de Bordj-El-Bahri et Arbatrach. Ces affleurements sont formés par des schistes, des calcaires plus au moins métamorphisés, des micaschistes et de gneiss (Saadalla, 1984).

On notera toutefois une lacune du secondaire dans toute la zone d'étude.

- Le Tertiaire discordant sur le primaire est représenté par le Miocène et le Pliocène.
- Le Miocène est présent sous la plaine de la Mitidja et dans le cœur de l'anticlinal du Sahel. Il affleure par endroits dans l'Atlas blidéen sur la bordure Sud du bassin de la Mitidja (Glangeaud, 1952 ; Aymé, 1956).
- Le Pliocène est bien développé à l'Est de Koléa, à la limite Sahel-Mitidja. Il apparait en affleurements réduits à la bordure Ouest du bassin à l'immédiat de Hadjout où il est masqué par les formations Quaternaires. D'après Glangeaud (1952) ; le Pliocène dans le Sahel est représenté de bas en haut par des :
 - Argiles bleues d'âge indéterminé.
 - Niveaux fossilifères glauconieux.
 - Marnes jaunes et mollasses.
 - Grés rouges, poudingues et sables du pliocène supérieur ou Calabrien.

4.1.3. La plaine de la Mitidja.

D'après Glangeaud (1935) et Aymé (1956), la plaine de la Mitidja est une zone d'effondrement entre deux massifs de terrains secondaires avec émission de roches éruptives bordant le pourtour de la Mitidja. Ces dépôts seraient d'âge Plio-Quaternaire.

L'étude de la succession stratigraphique du remplissage a été effectuée par de nombreux auteurs (Glangeaud, 1935 ; Aymé, 1956) ainsi que par l'interprétation de données récentes de forages (Binnie & Partners, 1983, carte géologique montrant les différentes coupes de 1 à 7, **figure n°12**). La synthèse des différents travaux, appuyés par de nombreux sondages hydrauliques montre deux grands ensembles stratigraphiques d'âge Quaternaire et Pliocène.

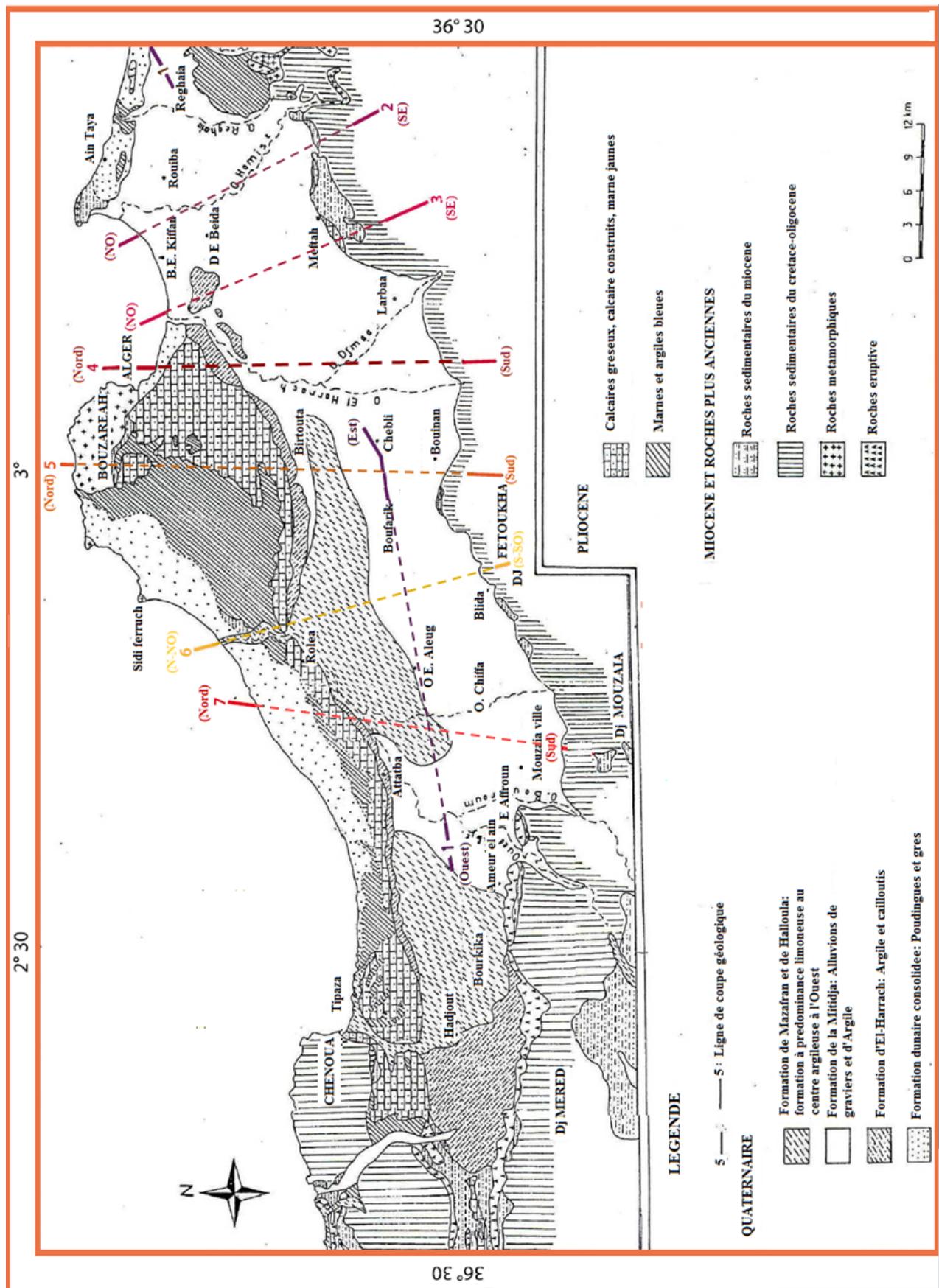


Figure n° 12. Carte géologique schématique de la région d'Alger (d'après Binnie & Partners 1983) avec emplacement des coupes.

4.1.3.1. Le Quaternaire.

Il est constitué par les formations suivantes :

- Les dépôts récents ;
- Les formations du Mazafran et Halloula (Rharbien) ;
- La formation de la Mitidja (Soltano-Tensiftien) ;
- La formation d'El-Harrach (Villafranchien).

4.1.3.1.1. Les dépôts récents.

Ils comprennent des dépôts de lit d'Oueds, de sables dunaires et de piémont de l'Atlas :

- Les dépôts de lits d'oueds sont des alluvions déposées principalement au cours des crues des oueds qui sillonnent la Mitidja. Elles sont constituées de cailloutis, de graviers, de sable graveleux et limoneux. L'épaisseur de ces alluvions est peu importante, inférieure à 10 mètres.
- Les dépôts de sables dunaires, épais de 20 à 40 mètres, sont composés de sables fins à moyens et des couches fossilifères consolidées. Ils occupent une partie de la baie d'Alger et la région de Réghaia.
- Les dépôts de piémont de l'Atlas constituent le premier contact avec la plaine ; il s'agit des cônes de déjection de Blida et de Bougara, qui s'étendent respectivement du Sud de la rive gauche de l'Oued Chiffa jusqu'à Bouinan et de l'Oued El-Harrach jusqu'à la hauteur de Meftah. Ils sont constitués d'éléments grossiers hétérométriques liés par une matrice limono-argileuse. Leurs épaisseurs varient de quelques mètres à quelques dizaines de mètres.

4.1.3.1.2. Les formations du Mazafran et Halloula.

Ces deux formations contenues dans la plaine sont séparées par les Oued Djer et Bou-Roumi.

A l'Ouest de l'Oued Djer, dans l'ancien lac Halloula, les dépôts sont limoneux et argilo limoneux de couleur généralement noire ou gris, et sont probablement des vases et/ou des argiles organiques, riches en matière organiques. Leur épaisseur est de 10m en moyenne.

A l'Est de l'oued Djer, les limons de la formation du Mazafran se localisent le long de la cluse de l'oued Mazafran. Selon Montouchet, 1952, ces dépôts limoneux sont déposés dans une basse marécageuse dite : « marais des Ouleds-Mendil ». L'épaisseur maximale de cette formation est de 60 m (**figure n° 13, coupe 6**).

4.1.3.1.3. La formation de la Mitidja.

La formation de la Mitidja, constituée essentiellement de matériaux alluvionnaires : sable, argiles sableuses, argiles graveleuses, graviers, galets, graviers et galets gréseux souvent argileux ou limoneux. Celle-ci est présente sur toute l'étendue de la plaine l'exception de la partie occidentale (**figure n° 13, coupe 7**) où ces alluvions sont recouvertes par les marnes et argiles de la basse plaine du Mazafran et de Halloula.

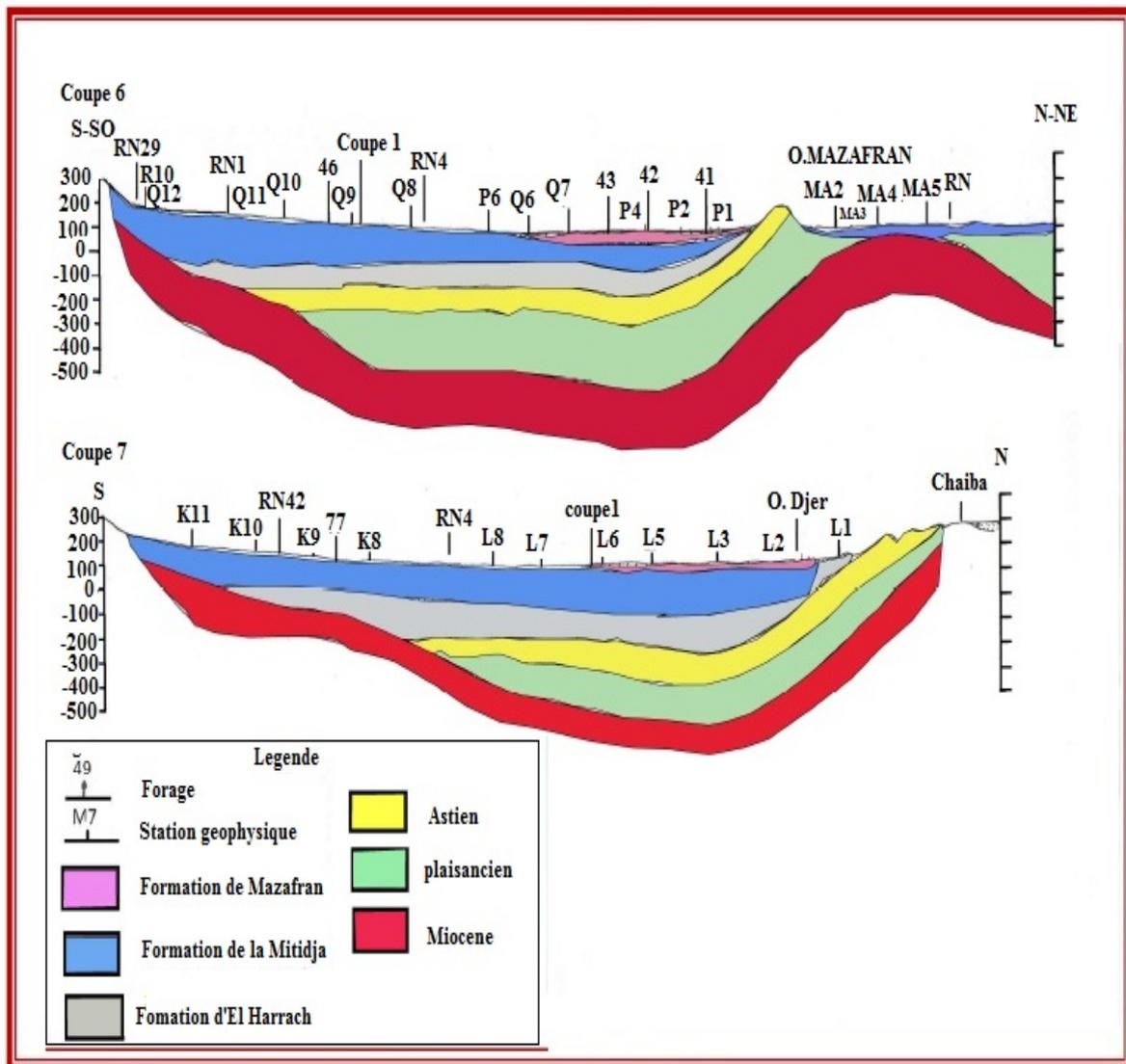


Figure n° 13, coupes 6 et 7. Coupe géologique NS de la plaine de Mitidja. (D'après Binnie & Partners 1983)

L'épaisseur de la formation de la Mitidja est variable d'un endroit à l'autre. Les situés sur les bordures Nord et Sud, montrent des épaisseurs beaucoup plus faibles que celles observées dans

les forages situés au centre de la plaine, ce qui est tout à fait normal pour un bassin de comblement.

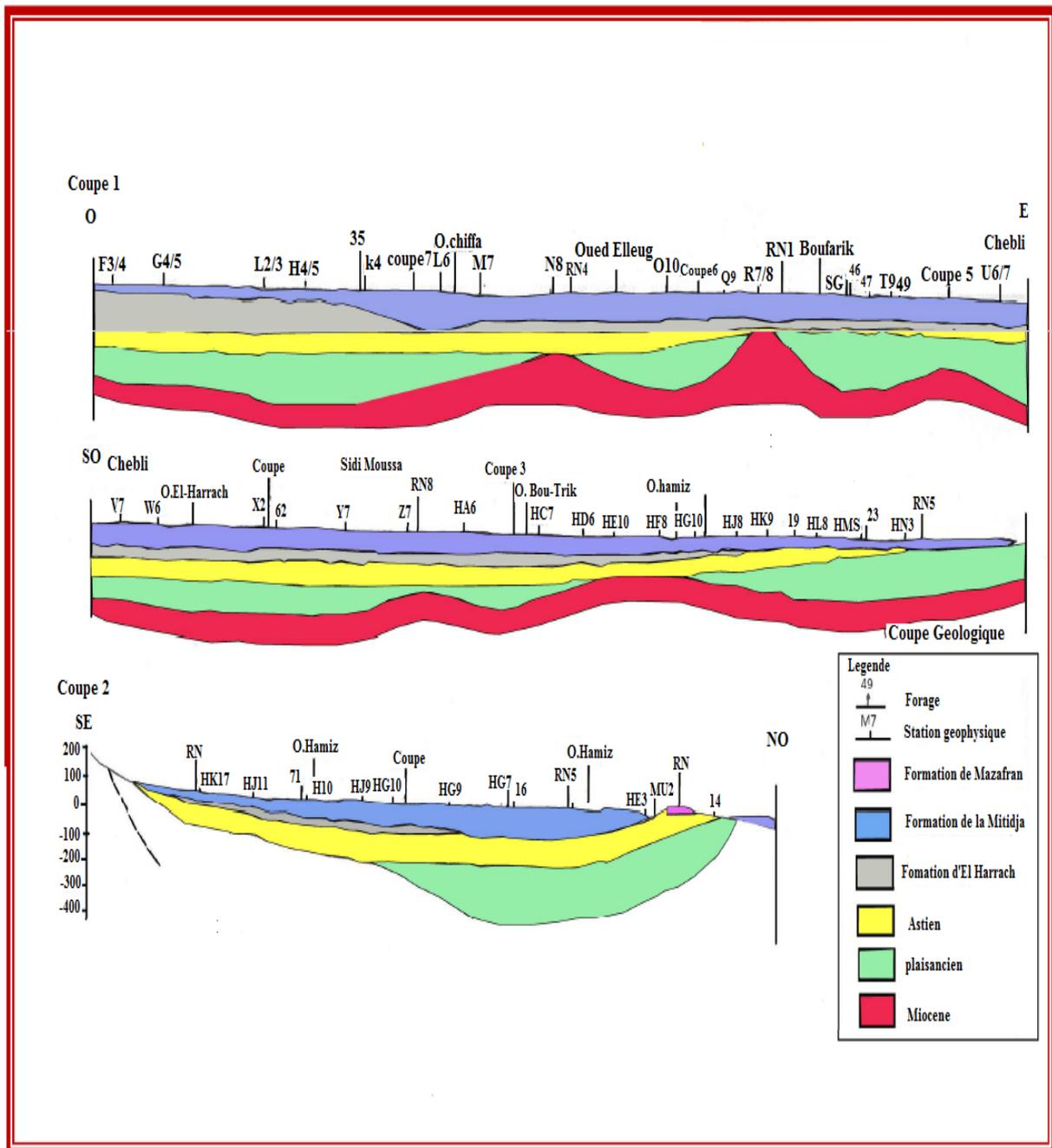


Figure n° 14, coupes 1 et 2. Coupes géologiques de la plaine de Mitidja (1-Est/Ouest, 2-SE/NO). (D’après Binnie & Partners 1983)

Les coupes géologiques interprétatives d’après les données des forages et de sondages électriques (C.G.G, 1967 et Binnie & Partners, 1983 et SOGREAH plus récemment) donnent à la formation de la Mitidja une puissance moyenne de 100 à 150 mètres (**figure n° 13 et 15**).

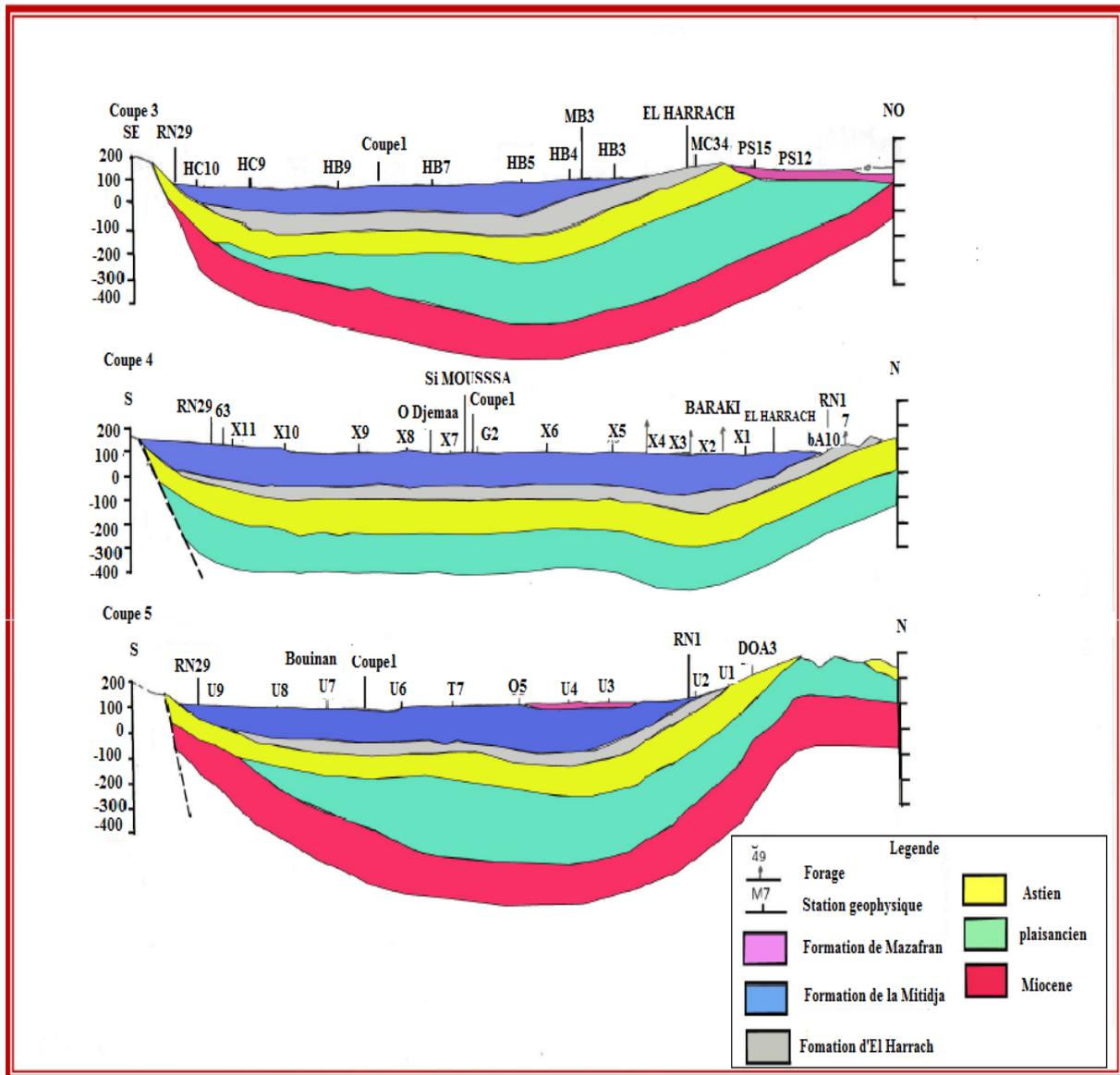


Figure n° 15, coupes 3, 4 et 5. Coupe géologique NS de la plaine de Mitidja.

(D'après Binnie & Partners 1983)

4.1.3.1.4. La formation d'El Harrach.

C'est une formation (dénommée par Glangeaud « argiles de Maison carrée ») constituée par des argiles plastiques jaunâtre dont la base est grise. On y rencontre des niveaux lenticulaires de graviers, de sables et de lits tourbeux de deux à six mètres d'épaisseur. (Géohydraulique ,1972)

Nous la retrouvons visible, en surface, dans la région d'El-Harrach, le long du versant Sud du Sahel et à l'Ouest de Hadjout. Sa présence au-dessous de la formation de la Mitidja a été mise en évidence par Glangeaud, 1932 et confirmée peu après par l'étude des forages.

Le forage de « Oued El Alleug profond » a traversé plus de 140 m d'argiles plastiques et de marnes. Les épaisseurs des passées graveleuses qui se trouvent dans cette formation sont de l'ordre de 4 à 8 m. (Figure n° 14, coupe 1)

Les forages situés dans la région de Rouiba et Réghaia ne montrent pas l'existence de cette formation, mais un passage directe de la formation de la Mitidja (Soltano-Tensiftien) au pliocène supérieur (**figure n°14 & 15, coupe 2 et 3**).

L'étude par sondages électriques réalisée par le bureau d'étude Géohydraulique en 1972 et Binnie & Partners, 1983 montre que cette formation atteint son épaisseur maximale 200 m dans la partie Ouest du bassin. Son épaisseur moyenne au centre du bassin est d'environ 100 m.

4.1.3.2. Le Pliocène. (Figure n° 16)

Il est formé par des dépôts astiens et plaisanciens bien distincts. Il est bien développé à l'Est de Koléa, à la limite 'Sahel Mitidja' et apparaît très peu sur la bordure Sud près de Hadjout. Sur cette bordure méridionale le pliocène est masqué par les formations quaternaires qui viennent recouvrir les formations du paléocène. Le pliocène comprend :

4.1.3.2.1. L'Astien.

Décrit auparavant comme niveau aquifère peu exploité car peu connu et ce en raison de la rareté des forages ayant atteint ce faciès dans la plaine de la Mitidja. Les descriptions lithologiques les plus complètes de l'Astien proviennent des séries rencontrées dans le Sahel.

L'Astien montre une lithologie variée composée de calcaires sableux, grés, argiles calcaires de couleur jaune et des calcaires à faciès récifal ou sub-récifal. L'épaisseur moyenne de cette série est située entre 100 et 130 m.

Ce faciès mollassique, se retrouve localisé autour du Chenoua, dans le pourtour de Koléa et aux alentours d'Alger. La base de la mollasse est marquée par une couche glauconieuse souvent fossilifère.

Les affleurements de l'Astien, que l'on rencontre sur le côté Sud du Sahel, sont plissés. Ils forment ainsi une structure monoclinale de pendage variable (20 à 40°) vers le Sud. Mis à part la région de Rouiba où on les rencontre à de faibles profondeurs en raison de l'action de l'érosion (Glangeaud et Aymé, 1935), l'Astien se trouve généralement à des profondeurs allant de 250 à 300 m au dessous de la surface du sol (Binnie & Paetners, 1983).

4.1.3.2.2. Le Plaisancien.

Les affleurements du Plaisancien ne sont visibles que sur le Sahel en dessous de l'Astien et dans la région de Khemis-El-Khechna où ils viennent reposer en discordance sur les formations miocène (Rivoirard, 1952).

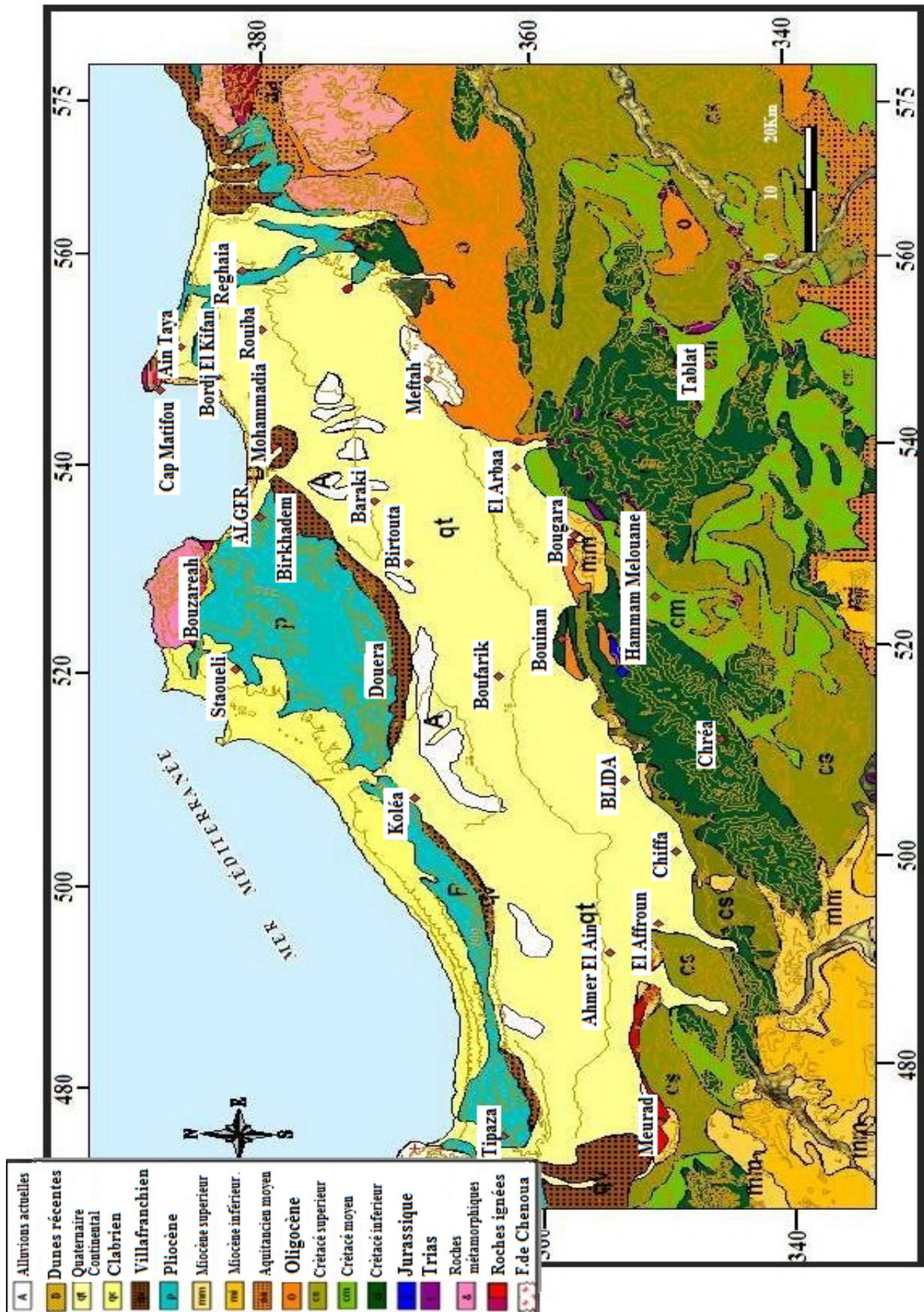


Figure n° 16. Carte géologique de la région d'Alger, échelle originale : 1/500 000.
(Source Cornet. A, 1964. Tirée de divers travaux et publications)

Glangeaud (1952) rapporte dans sa description qu'il s'agit d'une formation constituée de niveaux fossilifères glauconieux et de marnes jaunes et grises parfois sableuses largement recouvertes par les formations astiennes et quaternaires.

La Lithostratigraphie de la plaine de la Mitidja est sommairement résumée dans les **tableaux 13 et 14**. L'étude géologique montre que certains problèmes de détail ne sont pas encore totalement résolus. Mis à part le problème de terminologie du plio-pleistocène, le calabrien reste tout de même absent dans le Sahel d'Alger. Plusieurs études sur le pliocène du Sahel occidental, admettent que le calabrien est difficilement observable sur le terrain en tant qu'entité sédimentologique dissociable du Pliocène.

Tableau n° 13. Distribution générale des formations de remplissage du bassin de la Mitidja. (Mimouni, 2010)

		AGES	FORMATIONS	LITHOLOGIES	EPAISSEURS	
QUATÉNAIRE	ACTUEL / RECENT		Alluvions des oueds, Dunes, cônes de déjections	Sables et graviers.	< 10 m	
				Sables éoliens	10 à 20 m	
				Matériaux hétéromorphes	-	
				Limons et argiles	-	
	PLEISTOCÈNE	RHARBIEN		Formation du Mazafran Formation de Halloula Formations dunaires	Limons et argiles limoneuses	10-60 m
					Sables consolidés et lumachelles	15-50 m
		SOLTANIEN TENSIFTIEN		Formation de la Mitidja	Alternance de graviers et argiles	100 à 200m
		AMERIEN SALETIEN		Non identifié dans la plaine de la Mitidja	-----	-----
		VILLAFRANCHIEN		Formation d'El-Harrach	Argiles et cailloutis par endroits	200 m En moyenne
	TERTIAIRE	PLIOCÈNE		Formation de l'Astien Formation du Plaisancien	Grés, sables, calcaires, poudingues	100 à 130 m
Marnes et argiles bleues à la base					200 m	
MIOCÈNE ET ROCHES PLUS ANCIENNES			Roches sédimentaires métamorphiques et éruptives	A l'Ouest de la Mitidja, le Miocène inférieur et moyen est représenté par des marnes, calcaires, grés et roches éruptives et des conglomérats.		

Tableau n °14. Colonne stratigraphique de la plaine de la Mitidja. (D’après Binnie & Partners, 1983)

SYSTEME	ETAGE	LITHOLOGIE	Epaisseur(m)		
QUATENAIRE	Holocène	Actuel récent	20		
	PLEISTOCENE	Flandrien/ Rharbien	Limons, Argiles limoneuses	30	
			Sables consolidés à lumachelles	30	
		Soltanien/ Tensifien	Alternance de graviers et d’argiles	150	
		Calabrien/ Villafranchien	Argiles et cailloutis	100	
	TERTIAIRE	ASTIEN	Grès, Sables, Calcaires	120	
			Plaisancien	Marnes et Argiles bleues	200
		MIOCENE	Vindobonien	Marnes à lentilles de calcaire	50
			Burdigalien	Marnes à lentilles de grès	?

4.2. Tectonique de la région d’Alger.

La reconstitution de l’histoire tectonique de la région d’Alger sera basée sur les travaux de plusieurs auteurs dont : (Glangeaud, 1932 et 1952 ; Aymé, 1956 ; Saad Allah ,1984; Benie, Partners, 1983; Djediet et al, 1997)

Cette zone a subi plusieurs phases tectoniques depuis au moins le Paléozoïque (voir plus ancien) jusqu’au Quaternaire, dont la phase ultime est celle du post–astien qui se résume selon les successions suivantes (**Figure n° 17**) :

- Transgression du Pliocène permettant des dépôts du Plaisancien et de l'Astien.
- Diminution de la profondeur de la mer, suite à un mouvement tectonique.
- Dépôt des marnes et cailloutis du comblement de la Mitidja, dont l'axe synclinal s'individualise de plus en plus.
- Naissance du Sahel à la faveur du mouvement tectonique.
- Enfouissement de la cuvette synclinale, accentuée par le poids des matériaux.
- Achèvement du remblaiement de la Mitidja.

Pour mieux cerner les problèmes tectoniques, on a résumé les principales phases tectoniques de la région sur le **tableau 15**.

Tableau n°15. Les principales phases tectoniques de la région d'Alger.
(Guelmami, 2007)

Age	Style tectonique	Principales manifestations
(controversés : I, II ou III) (phase hercynienne)	Chevauchement et charriage (vergence Nord)	<ul style="list-style-type: none"> • Morphisme cata à épizonal. • Formation de filons par injection.
Tertiaire (Miocène inférieur au Pliocène) (phase miocène).	Flexion à grands rayons de courbures	<ul style="list-style-type: none"> • Phase de sédimentation, commençant par des grès et des conglomérats (Miocène) et se terminant par des dépôts gréseux de la mer astienne, peu profonde. • Différenciation de la région en bassin sub sident (Mitidja) et en zones élevées (Sahel et Atlas).
Astien et début du Quaternaire		<ul style="list-style-type: none"> • Surrection définitive de l'Atlas, plissement du Sahel et subsidence de la Mitidja, qui se maintient depuis le Miocène jusqu'à l'actuel.
Quaternaire	Eustatisme Néotectonique : mise en place des terrasses marines	<ul style="list-style-type: none"> • Apparition de zones séparées de la mer par le cordon littoral dunaire. • Naissance de la baie d'Alger. • Apparition de zones marécageuses au Nord de la Mitidja. • L'eustatisme a donné naissance aux terrasses calabriennes qui peuvent atteindre 180 m d'altitude. La Néotectonique a surélevé certaines de ces terrasses à une altitude atteignant 380 m.

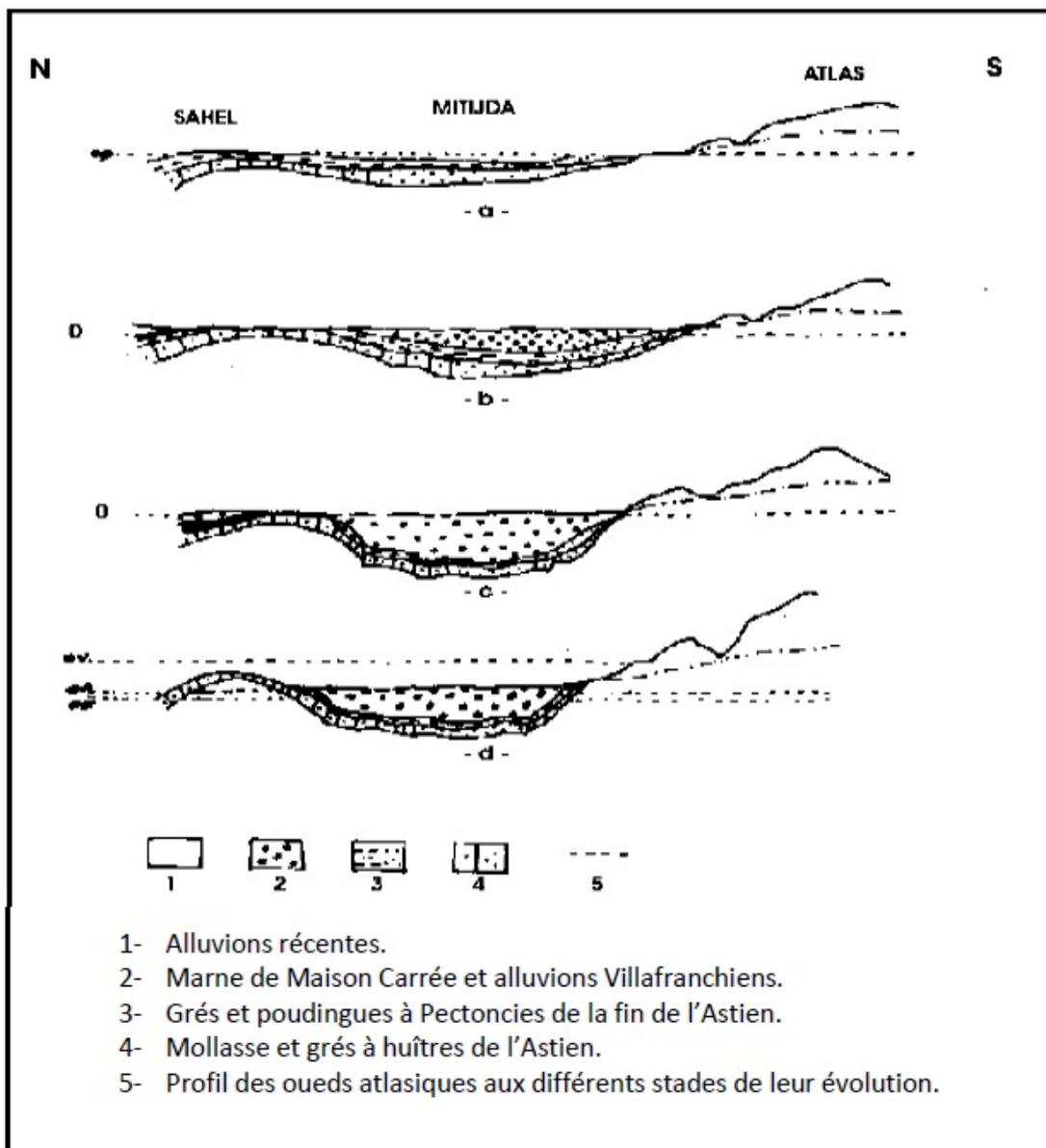


Figure n°17. Evolution de Sahel, de la Mitidja et de l'Atlas pendant le Pliocène et le Quaternaire.
 (D'après Glangeaud, 1932).

Chapitre 5

Valorisation et potentialités de la réutilisation des eaux usées traitées pour un développement intégré et durable des stations d'épuration de Baraki et Beni Messous.

Chapitre 5 Valorisation et potentialités de la réutilisation des eaux usées traitées pour un développement intégré et durable des stations d'épuration de Baraki et Beni Messous.

Introduction.

Les eaux usées sont de plus en plus convoitées de par le monde pour pallier au stress hydrique devenu un fait en raison de l'amenuisement des ressources en eau, fragilisées, faut-il le rappeler par la pollution d'une part et les changements climatiques d'autre part. Donc, le recours à la réutilisation des eaux usées devient une nécessité, voir une priorité pour les pouvoirs publics qui misent sur l'épuration des eaux usées pour les utiliser à des fins agricoles et industrielles.

Cette réutilisation des eaux usées pour l'irrigation concerne en priorité les zones déficitaires en eaux conventionnelles (MRE, 2012).

En 2011, le volume réutiliser est estimé à 17 millions de m³ pour irriguer plus de 10 000 hectares de superficie agricole (MRE, 2012). Ce volume a évolué en 2014 d'une manière significative pour atteindre 200 millions de m³.

L'objectif de ce travail dans ce chapitre consiste à étudier la possibilité de la valorisation et potentialités de la réutilisation des eaux usées traitées des deux stations d'épuration dans la région d'Alger (Baraki et Beni Messous) pour répondre aux besoins de l'agriculture qui ne cessent d'augmenter d'une part et doivent répondre à certaines contraintes qualitatives pour pouvoir être utilisées d'autre part.

L'étude porte sur :

- L'analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologique des eaux usées brutes épurées.
- L'analyse de certains métaux lourds.

5.1. Méthode et analyse expérimentale.

5.1.1. Projet de réutilisation des eaux usées épurées des STEP de Baraki et Béni Messous.

5.1.1.1. La STEP de Baraki.

La station d'épuration de Baraki est la station principale de traitement des eaux usées d'Alger. Elle est la 2^{ème} plus grande installation de son genre en Algérie et s'étend sur une superficie de 10 km.

Les eaux usées reçues dans cette station sont d'origine urbaine (égouts), industrielles (Saidal, Sonalgaz) et domestique de l'agglomération des communes d'El Harrach, Birtouta, Bab Ezzouar, Bab Ali, Oued Samar, Hussein Dey et Dar El Beida.

La station de Baraki a une capacité épuratoire de 900 000 Eq.Hab pour un débit moyen théorique de 147.000 m³/j. Elle est de type boues activées à moyen charge. Elle a reçu en moyenne 63.400 m³/jour en 2013 et produit 12.200 tonnes de boues à 23.9 % de siccité. Les performances de traitement permettent de garantir une conformité du rejet supérieur à 99% et un rendement d'élimination de la pollution supérieur à 95% (SAAL, 2018).

Actuellement la station d'épuration de Baraki avec la mise en service de la 2^e tranche (900.000 Eq.Hab), a doublé ses capacités à 1,8 million équivalent habitants (Eq.Hab). De plus avec une troisième tranche de 900.000 Eq.Hab, la station permettra à la société des eaux et de l'assainissement d'Alger (SEAAL) de traiter les eaux usées que génèrent les habitants d'une trentaine de communes notamment celles du centre-ville de la capitale.

Notons que les eaux usées traitées de cette station d'épuration sont déversées au centre de la baie d'Alger via l'Oued El Harrach (**Figure n°18**).



Figure n° 18. Lieu de rejet de l'eau usée traitée de la STEP de Baraki.
(Image Maxar technologies, données cartographiques 2020)

5.1.1.1.1. Caractéristiques de la STEP de Baraki.

5.1.1.1.1.1. Objectif de traitement de la charge polluante dans la station de Baraki (sortie).

L'objectif ciblé requis en sortie de la station de Baraki de la charge polluante est :

- DBO₅ ≤ 40 mg/l
- DCO ≤ 120 mg/l
- MES ≤ 30 mg/l

5.1.1.1.1.2. Charges hydrauliques dans la station de Baraki.

Tableau n° 16. Charges hydrauliques de la station d'épuration de Baraki.

Paramètres	STEP de Baraki
Débit nominal (m ³ /j)	146 880
Débit moyen horaire (m ³ /h)	6 120
Débit de pointe de temps sec (m ³ /h)	7 920
Débit de pointe de temps de pluie (m ³ /h)	15 840

5.1.1.2. La STEP de Beni Messous.

La station d'épuration de Beni Messous est la station la plus récente d'Alger, elle a été mise en service en juin 2007. Elle a une capacité épuratoire de 250 000 Eq.Hab pour un débit moyen théorique de 50.400 m³/j. Cette station a reçu en moyenne 33.400 m³/jour en 2013 et produit 8.800 tonnes de boues à 22.9 % de siccité. Les performances de traitement permettent de garantir une conformité du rejet de 100% en 2013 et un rendement d'élimination de la pollution de 95%.

Actuellement la station d'épuration de Beni Messous a doublé ses capacités avec la mise en service de la 2^e tranche (500.000 Eq.Hab). De plus avec les deux extensions ultérieures qui sont prévues avec 810.000 Eq.hab à l'horizon 2025, la station pourrait traiter un débit avec 80800 m³/jour à l'horizon 2030.

Cette station d'épuration fonctionne sur la base du process Boue activée à moyenne charge. Elle prend en charge des eaux usées du bassin versant Ouest de la wilaya d'Alger (Ain Bénian, Chéraga, Béni Messous, Ouled Fayet, Dely Brahim et Bouzareah en partie).

Les eaux usées épurées de cette station seront déversé dans la mer Méditerranée via l'Oued Beni Messous (**Figure n° 19**).



Figure n° 19. Lieu de rejet de l'eau usée traitée de la STEP de Beni Messous. (Image Maxar technologies, données cartographiques 2020)

5.1.1.2.1 Caractéristiques de la STEP de Beni Messous.

5.1.1.2.1.1. Objectif de traitement de la charge polluante dans la station de Beni Messous (sortie).

L'objectif ciblé requis en sortie de la station de Beni Messous de la charge polluante est :

- DBO₅ ≤ 30 mg/l
- DCO ≤ 30 mg/l
- MES ≤ 120 mg/l

5.1.1.2.1.2. Charges hydrauliques dans la station de Beni Messous.

Tableau n° 17. Charges hydrauliques de la station d'épuration de Beni Messous.

Paramètres	STEP de Beni Messous
Débit nominal (m ³ /j)	50 400
Débit moyen horaire (m ³ /h)	2 100
Débit de pointe de temps sec (m ³ /h)	2 750
Débit de pointe de temps de pluie (m ³ /h)	5 500

5.1.2. Identification des zones de réutilisation.

5.1.2.1. La STEP de Baraki.

La station d'épuration de Baraki se situe dans La commune de Baraki (**Figure n° 20**). Cette dernière se situe à quinze kilomètres au sud de la capitale d'Alger, à treize kilomètres de la Mer Méditerranée et à quarante kilomètres à l'Est de Blida. Elle est limitée :

- Au Nord par la commune d'El Harrach.
- À l'Ouest par la commune de Saoula.
- À l'Est par la commune Les Eucalyptus.
- Au Sud par la commune de Sidi Moussa.



Figure n° 20. Carte de la situation géographique de la station d'épuration de Baraki. (map.google.dz, données cartographiques 2017)

5.1.2.2. La STEP de Béni Messous.

La station d'épuration de Beni Messous se situe dans la commune d'Aïn Bénian. Cette dernière est située à 15 Km à l'Ouest de la capitale Alger. Sa situation géographique en bord de la mer Méditerranée est conjuguée à un large plateau qui la surplombe. Sa côte en forme de « L » d'une longueur de 10 Km est formée par une altération de criques de falaises et un ensemble de petites plages. Elle est limitée : **(Figure n° 21)**

- À l'Est par la commune de Beni Messous.
- Au Sud et Sud par la commune Chéraga.
- Au Nord et à l'Ouest par la Mer Méditerranée.



Figure n° 21. Carte de situation géographique de la station d'épuration de Beni Messous. (map.google.dz, données cartographiques 2017)

L'objectif de cette station porte sur :

- L'irrigation du Parc Dounia.
- L'irrigation à des fins agricoles.

Le site de la zone de la réutilisation des eaux usées traitées de la station de Beni Messous est le Parc Dounia. Ce dernier est situé au long de l'axe autoroutier Est-Ouest de la ville d'Alger. Ce parc est un véritable poumon pour la capitale, dans une zone où les vents sont si importants et si violents par moment. (Hamadache, 2014)

Le site retenu pour recevoir le futur parc Dounia se situe sur le territoire de trois communes d'Alger (Ouled Fayet, El Achour, Dely Brahim) au lieu dit « grand vent ».

Il s'étend sur une superficie de 800 hectares dont 75% d'espace vert réparti comme suit :

- Commune d'Ouled Fayet : 143 hectares.
- Commune d'Al Achour : 447 hectares.
- Commune de Dely Brahim : 210 hectares

5.1.3. L'échantillonnage.

Les prélèvements des échantillons des eaux usées brutes et traitées ont été effectués dans les deux stations d'épuration (Baraki et Beni Messous). Pour les eaux brutes le point de prélèvement a été réalisé dans le canal venturi (A la tête de la station), tandis que pour les eaux traitées (A la sortie), le prélèvement a été effectué après l'étape du clarificateur (**Figure n° 22**).

Notons que les échantillons d'eau ont été contenue dans les bouteilles prélèvement propre, rincées plusieurs fois avec de l'eau à analyser et conservées dans une glacière puis acheminer vers le laboratoire exploitant d'analyse des STEP de Baraki et de Beni Messous d'une part et le laboratoire Horizon d'Annaba d'autre part.

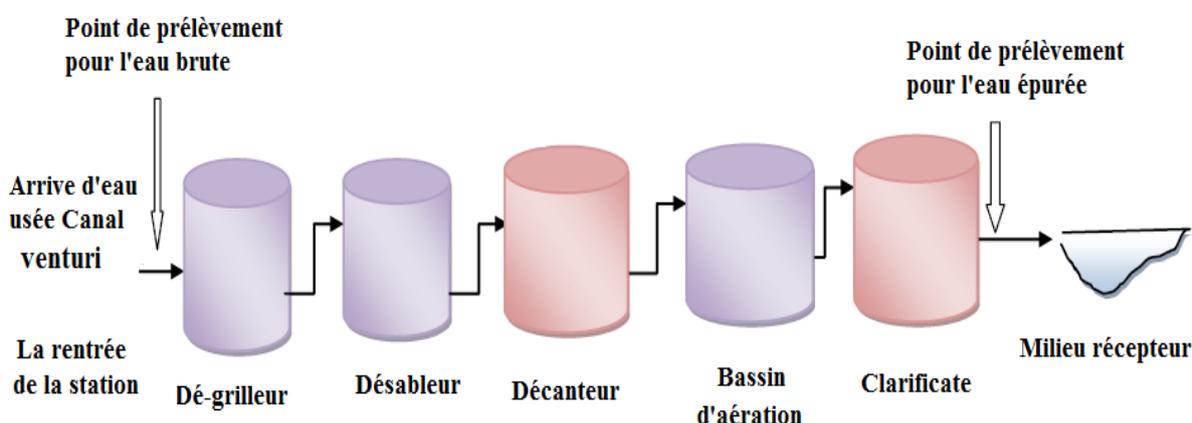


Figure n °22. Points schématique de prélèvement de l'eau dans les stations d'épuration de Baraki et Beni Messous.

5.1.4. Les méthodes et les analyses expérimentales.

Les analyses des échantillons d'eau concernent la période de Janvier et Juillet 2014 à Décembre 2015 pour les paramètres physico-chimiques, bactériologiques et les métaux lourds.

Les paramètres de ces eaux usées mesurés peuvent déterminer le degré de la pollution. Ceux-ci sont des indicateurs de la pollution de l'eau et permettent notamment de s'assurer de la conformité des eaux usées traitées aux normes algériennes en vigueur.

5.1.4.1. Les analyses physico-chimiques.

5.1.4.1.1. Mesure de la température.

La température (°C) est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32 °C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures de 12 à 15 °C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5 °C. (Bollag, 1973 ; Rodier et al, 2005).

La T° joue également un rôle dans la solubilité des sels, et dans la détermination du pH (Rodier et al, 1996). Elle est mesurée à l'aide d'un thermomètre, l'unité est le degré Celsius (°C).

5.1.4.1.2. Le potentiel électrique (pH).

Le pH est l'un des facteurs les plus importants qui influe sur l'activité biologique de la microflore des eaux. La grande négativité des microorganismes se développe dans une zone de pH comprise entre 4,5- 8 et les optima se situent entre 5,5- 7,5. (Batton et al 1990, Merrill et al 1977)

Ce protocole opératoire de la mesure de pH des eaux s'effectue par la méthode potentiométrique à l'aide d'une électrode platine combinée à une sonde de T° dont la valeur est comprise entre 0 et 60 °C et un pH compris entre 3 et 10.

5.1.4.1.3. La conductivité électrique (CE).

La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (REJSEK, 2002). Sa mesure est indispensable dans le cas d'une réutilisation des eaux usées

traitées en irrigation, est utile car au-delà de la valeur limite de la salinité correspondant à 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la prolifération de microorganismes peut être réduite d'où une baisse du rendement épuratoire.

Le protocole opératoire décrit la méthode de mesure de la conductivité par l'utilisation d'un conductimètre électrique et s'exprime en micro Siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

5.1.4.1.4. Le calcium (Ca^+).

C'est un métal alcalino-terreux gris-blanc et assez dur. Il n'existe pas à l'état de corps pur dans la nature. C'est le cinquième élément le plus abondant de la croûte terrestre (plus de 3 %). Il est vital pour de nombreuses espèces : formation des os, des dents et des coquilles. Le calcium joue également un rôle très important en physiologie cellulaire, tout en étant un poison cellulaire au-delà d'une certaine dose.

Le métabolisme du calcium est régi par des mécanismes homéostatiques efficaces, les effets toxiques de cet élément ne se manifestent qu'en cas d'absorption de très importantes quantités. Si l'alimentation est riche en calcium, la biodisponibilité des autres minéraux absorbés peut être perturbée.

Le protocole opératoire de la mesure du Calcium (Ca^+) de ces eaux est déterminé par la méthode de spectrophotométrie d'absorption norme DIN 38406-E3.

5.1.4.1.5. Le magnésium (Mg^{+2}).

Le magnésium est un métal alcalino-terreux. C'est le huitième élément le plus abondant de la croûte terrestre, le troisième métal derrière l'aluminium et le fer.

Le magnésium est utilisé en mécanique pour sa masse volumique faible (la plus faible des métaux structuraux) notamment dans le domaine de l'automobile, il entraînerait également des gains environnementaux importants dans le domaine de l'aviation. C'est aussi un réactif important en chimie.

Le magnésium est un minéral essentiel à toute cellule de notre corps. La moitié de nos réserves en magnésium sont situées dans les cellules des organes, de la peau et des muscles. De manière générale, les troubles observés en cas de surdosage de magnésium sont très rares. Il peut s'agir de : diarrhées, vomissements, hypotension, une faiblesse musculaire et des difficultés respiratoires (en cas de surdosage très important), une apnée du sommeil, de troubles de conduction cardiaque, une paralysie voire d'un coma dans des cas très extrêmes.

Le protocole opératoire de la mesure de magnésium (Mg^{+2}) des eaux usées épurées a été effectué par la méthode EDTA.

5.1.4.1.6. Les chlorures (Cl^-).

Les cultures très sensibles peuvent être affectées par des teneurs en chlore de la solution du sol à partir de 1 meq/l. Toutefois, certaines cultures peu sensibles peuvent être affectées par des concentrations plus fortes. Les symptômes de toxicité sont : la brûlure du feuillage ou le dessèchement des tissus foliaires qui se produisent de manière caractéristique tout d'abord à l'extrême pointe des feuilles plus âgées puis progressives vers l'arrière en suivant les bords, à mesure que le phénomène s'aggrave.

Le protocole opératoire de la mesure des chlorures (Cl^-) des échantillons s'effectue par la méthode spectrophotomètre norme DIN EN ISO 15682-D31.

5.1.4.1.7. Les sulfates (SO_4^{2-}).

Les sulfates sont les sels de l'acide sulfurique (H_2SO_4). Dans la nature, le groupe des sulfates compte de nombreuses espèces minéralogiques (plus de 200), parmi lesquelles un peu plus d'une vingtaine ont une réelle importance géologique.

Des produits à base de sulfates ou d'acide sulfurique servent dans la fabrication de nombreux produits chimiques, dans les industries des mines, de la papeterie, de la métallurgie et du placage, dans l'épuration des eaux d'égout et dans la transformation du cuir.

Les sulfates font partie des polluants de l'air et en particulier lors des phénomènes de smog. Des doses importantes de sulfate dans l'eau que nous buvons peuvent avoir un effet laxatif sur l'organisme. Il est susceptible dans ce cas de provoquer des diarrhées entraînant à la longue une grave déshydratation, des troubles digestifs ainsi que des nausées peuvent survenir et entraîner chez certaines personnes des douleurs abdominales aiguës.

Le mode opératoire décrit la méthode des sulfates (SO_4^{2-}) par spectrophotométrie DIN 38405-D5-2.

5.1.4.1.8. Le Potassium (K^+).

Le potassium joue un rôle fondamental dans l'absorption des cations, dans l'accumulation des hydrates des protéines, l'organisation de la cellule, le maintien de la turgescence de la cellule et la régulation de l'économie de l'eau des plantes (régulation des stomates). Il est très mobile dans la plante et est rapidement distribué dans les différents

organes du végétal. C'est un élément de résistance des plantes au gel et à la sécheresse ; c'est un activateur du système enzymatique.

Le potassium contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou l'environnement. C'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement des cultures et leur qualité.

Le mode opératoire de la mesure du potassium (K^+) des eaux a été réalisé par la méthode du photomètre à flamme norme NFT 90-019.

5.1.4.1.9. Le sodium (Na^+).

Certaines cultures, comme la vigne, les agrumes, les noyers, l'avocatier et le haricot, les groseilliers, les fraisiers et d'une manière générale, les fruits à pépins et à noyaux sont sensibles à des concentrations relativement faibles en Na (Faby, 1997).

Les plantes absorbent le sodium en même temps que l'eau et celui-ci se concentre dans les feuilles, pouvant entraîner des dégâts (toxicité) si son accumulation atteint une concentration dépassant la tolérance de la culture. Les symptômes caractéristiques en sont la brûlure ou le dessèchement des tissus situés sur les bords de la feuille qui, à mesure que le phénomène s'aggrave progressivement vers l'intérieur entre les nervures.

La toxicité du sodium est souvent modifiée ou réduite si le calcium est suffisamment disponible dans le sol (Ayers et Westcot, 1989).

La méthode opératoire de la mesure du Sodium (Na^+) de ces eaux a été réalisé par la méthode de photomètre à flamme NFT 90-19.

5.1.4.1.10. Les Nitrites (NO_2^-).

Les nitrites sont les produits intermédiaires de plusieurs réactions d'oxydation et de réduction impliquées dans les différents processus de transformation de l'azote (Burgin et Hamilton, 2008). Ils résultent de la 1ère étape de processus de nitrification.

Les nitrites sont des molécules transitoires dans l'environnement, ils s'oxydent rapidement en nitrate (Paul et Clarke, 1989; Hébert et Légaré, 2000). Leur détermination de concentration spécifique est généralement négligée, en étant incluse dans l'analyse de NO_3^- effectuée lors des suivis de qualité de l'eau.

Les nitrites sont très toxiques pour la plupart des formes de vies aquatiques comparativement aux nitrates qui sont relativement non toxiques. Leur toxicité agit au niveau

cellulaire pour les microorganismes, et au niveau de la respiration pour les organismes plus complexes.

Le protocole opératoire de la mesure des nitrites (NO_2^-) de ces eaux s'effectue par la méthode spectrophotométrie norme DIN EN 26777 D10.

5.1.4.1.11. Les Nitrates (NO_3^-).

Le nitrate est une substance chimique naturelle qui entre dans le cycle de l'azote. Il est beaucoup utilisé dans les engrais inorganiques et les explosifs, comme agent de conservation des aliments et comme substance chimique brute dans divers procédés industriels.

Le nitrate représente la plus stable des deux formes de l'azote, mais sous l'action microbienne, il peut être réduit en nitrite (NO_2^-), qui est la forme la plus toxique.

Le nitrate est produit par nitrification de l'azote ammoniacal. Il joue un rôle important dans le développement des algues et participe au phénomène d'eutrophisation. (Grosclaude, 1999).

Le mode opératoire décrit la méthode d'analyse des nitrates par spectrophotométrie norme DIN 38405 D9-2.

5.1.4.1.12. L'Ammonium (NH_4^+).

L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. Il provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. C'est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel.

Le NH_4^+ est dangereux pour la faune aquatique car il participe à l'abaissement de la concentration en oxygène, notamment à cause de la prolifération bactérienne qu'il favorise. De plus, le NH_4^+ devient toxique lorsque le pH est supérieur à 8 car il se retransforme en NH_3 gazeux qui reste dissous dans l'eau.

Le mode opératoire décrit la méthode d'analyse de l'Ammonium (NH_4^+) par spectrophotométrie norme DIN 38406-E5.

5.1.4.1.13. Le phosphore total (P_2O_5).

Le phosphore total de formule chimique P_2O_5 est un paramètre cumulatif qui englobe les composés phosphorés organiques et inorganiques. La plus grande partie du phosphore total présent dans les eaux usées revêt une forme inorganique dissoute.

Le mode opératoire décrit la méthode d'analyse du phosphore total par spectrophotométrie EPA 365,2+3, APHA 4500-P-E, DIN EN ISO 6878-D11.

5.1.4.1.14. Les phosphates (PO_4).

Les phosphates sont les oxydes de phosphore les plus connus. Ce sont les sels de l'acide orthophorique H_3PO_4 .

L'orthophosphate (ions PO_4) est la forme la plus simple et la plus répandue des phosphates dans l'eau, sa présence en trop grande quantité peut favoriser l'eutrophisation. La majeure partie de l'orthophosphate provient des déjections animales et des produits de la lessive.

Le mode opératoire décrit la méthode d'analyse (Kit Hach) du phosphate par Spectrophotomètre DR 3800.

5.1.4.2. Les analyses des paramètres de pollution.

5.1.4.2.1. Les matières en suspension (MES).

La détermination des matières en suspension (MES) est essentielle pour évaluer la répartition de la charge polluante entre pollution dissoute et pollution sédimentable, car le devenir de ces deux composantes est très différent, tant dans le milieu naturel que dans les systèmes d'épuration (Tarmoul, 2007).

Aussi la détermination de MES est importante pour orienter le choix du système d'irrigation dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, car selon la FAO, 2003, les quantités excessives de matières en suspension causent le colmatage des systèmes d'irrigation où les problèmes de colmatage les plus sérieux se produisent avec les systèmes goutte à goutte.

La mesure des matières en suspension (MES) des échantillons a été réalisé par la méthode selon la norme séparation des matières en suspension par centrifugation-Norme NFT 90-105.

5.1.4.2.2. Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5).

Berne et Cordonnier (1991), définissent la DBO_5 comme étant la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C à l'obscurité, et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction

de matière organique carbonée. Pour déterminer l'efficacité du traitement et prévoir l'impact des effluents sur les eaux réceptrices, on effectue des tests de DBO_5 , avant et après le traitement (Gaujous, 1995).

La détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO_5) de ces eaux a été effectuée par la méthode manométrique-Norme NFT 90-103.

5.1.4.2.3. Demande Chimique en Oxygène (DCO).

La demande chimique en oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenu dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 150 °C. (Suschka et Ferreira, 1986). Sa mesure correspond donc à une estimation corrélative des matières oxydables présentes dans l'eau, quel que soit leur origine : organique ou minérale (Bliefert et Perraud, 2001). Elle est exprimée en $mg\ O_2/l$.

Le protocole opératoire de la mesure de la demande chimique en oxygène (DCO) de ces eaux a été réalisé par la méthode spectrophotométrie-Norme NFT 90-101.

5.1.4.3. Les analyses bactériologiques.

L'analyse bactériologique des eaux usées traitées des stations d'épuration de Baraki et de Beni Messous, se base sur la quantification des germes indicateurs de contamination fécale qui sont les coliformes totaux, coliformes fécaux et les streptocoques fécaux. Elle implique aussi certains germes pathogènes comme *Escherichia coli* et *Salmonella*. En effet, la recherche des organismes pathogènes de manière spécifique est trop coûteuse et aléatoire, c'est pourquoi l'on s'intéresse aux concentrations de germes témoins pour estimer la population de pathogènes. Car il existe une corrélation entre la présence de ces bactéries témoins et la présence de bactéries pathogènes (Baumont et al, 2004).

5.1.4.3.1. Bactéries indicatrices spécifiques de pollution fécale.

5.1.4.3.1.1. Les coliformes totaux.

Ils sont définis comme l'ensemble des bactéries aérobies et anaérobies facultatives gram négatif, non sporulantes, en forme de bâtonnet, oxydase négative, capables de se multiplier en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface ayant des propriétés équivalentes et de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 48 h à 35-37°C.

Les principaux germes inclus dans les coliformes totaux sont : Citrobacter, Entirobacter, Escherichia coli, Klebsiella et Serratia (CEAEQ, 2000). La presque totalité des espèces est non pathogène et ne représente pas de risque direct sur la santé (Edberg et al 2000, OMS 1983) à l'exception de certaines souches d'Escherichia coli ainsi que de rare bactéries pathogène opportuniste.

Le protocole opératoire de la mesure des coliformes totaux dans les eaux a été réalisé par la méthode Colimétrie par filtration sur membrane-Norme ISO 9308-1: 2014.

5.1.4.3.1.2. Les coliformes fécaux.

Le groupe de coliformes fécaux (ou plus exactement coliformes thermotolérants) est constitué de bactéries ayant les mêmes caractéristiques et propriétés fermentatives que les coliformes totaux, mais à une température d'incubation de 44-44.5°C. Dans ce groupe, l'espèce Escherichia coli (E.coli) représente toutefois 80 à 90 % des coliforme thermotolérants détectés (Edberg et al 2000, Barthe et al 1999), mais le groupe comprend également des espèces des genres Citrobacter, Yersinia, Klebsiella et Enterobacter (Haslay & Leclerc 1993).

Les coliformes fécaux sont considérées comme plus appropriés comme indicateur de contamination fécale que les coliformes totaux.

La méthode opératoire de la mesure des coliformes fécaux de ces eaux a été réalisée par la méthode Colimétrie par filtration sur membrane- Norme ISO 9308-1: 2014.

5.1.4.3.1.3. Streptocoques fécaux.

Les streptocoques fécaux ou Entérocoques fécaux sont des bactéries d'origine fécale et animale. Ils sont appelé des streptocoques D, ce sont des bactéries aérobies facultatives, Gram positives, sous formes de chainettes ou cocci ovalaires ou sphériques de 0,6 à 1 µm en moyenne (immobiles en général). Leur température de croissance est de 20°C à 42°C et un pH qui varie de 7,2 à 7,4 (Larpent et Gourgaud, 1997).

Les entérocoques fécaux sont divisés en deux sous-groupes : Enterococcus et Streptococcus. Ils sont généralement considérés comme un indicateur fiable de pollution fécale.

Le protocole opératoire de la mesure des entérocoques fécaux des échantillons s'effectue par la méthode Streptométrie par filtration sur membrane-Norme ISO 7899-2: 2000.

5.1.4.3.2. Les bactéries pathogènes.

5.1.4.3.2.1. Escherichia coli.

Escherichia coli (colibacille) est une entérobactérie mobile capable de fermenter le lactose et de produire de l'indole. Elle est un commensal du tube digestif de l'homme et de nombreux animaux. Il représente à lui seul la plus grande partie de la flore bactérienne aérobie de l'intestin (espèce aérobie dominante) à raison de 10⁸ par gramme de fécès (flore totale : 10¹¹ à 10¹² bactéries par gramme).

E. coli est à l'heure actuelle la souche la plus utilisée comme indicateur de contamination fécale (WHO, 2006).

Le protocole opératoire de la mesure *Escherichia coli* de ces eaux est déterminé par la méthode Colimétrie par filtration sur membrane-Norme ISO 9308-1: 2014.

5.1.4.3.2.2. Salmonelles.

Les salmonelles sont des bacilles Gram négatif, appartenant à la famille des entérobactéries mobiles, aéro-anaérobies facultatifs non sporulant, se cultivent bien dans des milieux ordinaires (exemple milieu Hektoen) pendant 24 à 48 heures. Elles fermentent le glucose et possèdent la nitrate-réductase et sont dépourvues d'oxydase uréase (Larpen et Gourgaud, 1997)

La détermination de Salmonelles des eaux a été effectuée par la méthode d'ensemencement sur gélose spécifique-Norme ISO/TS 6579-2 : 2012.

5.1.4.4. Les métaux lourds.

Nous nous sommes intéressés qu'aux métaux lourds mesurés (Pb, Mn, Cr, Se, Al et Cd).

5.1.4.4.1. Le Plomb.

Le plomb est un élément chimique de la famille des cristallogènes, de symbole Pb et de numéro atomique 82. Il est relativement abondant dans la croûte terrestre, il est l'un des métaux les plus anciennement connus et travaillés. Il est présent sous diverses formes dans tous les compartiments environnementaux. Il constitue 0.014% de la masse de la croûte

terrestre, trouvé essentiellement sous forme de sulfure (PbS) de carbonate (PbCO) ou de sulfate (PbSO₄).

La majeure partie de pollution par le plomb provient des activités humaines, l'exposition au plomb par l'eau est généralement faible par rapport à l'exposition par l'air ou par les aliments. Le symptôme le plus marquant est le saturnisme: troubles digestifs (coliques), sanguins (anémie, perturbation de la synthèse d'hémoglobine), nerveux (paralysie des extenseurs de la main, encéphalopathie), troubles rénaux: néphrites.

Le mode opératoire de la mesure de l'élément plomb (Pb) dans les échantillons s'est effectué par la méthode spectrophotométrie à la dithizone.

5.1.4.4.2. Le Manganèse (Mn).

Le manganèse est un élément chimique, de symbole Mn et de numéro atomique 25. Du point de vue des classifications biologiques, il fait partie des oligo-éléments, c'est-à-dire des micronutriments indispensables au bon fonctionnement de l'organisme. Il est un métal de transition gris-blanc qui ressemble au fer. C'est un métal dur et fragile, il fond sans difficulté, mais il est facilement oxydé. Le manganèse n'est ferromagnétique qu'après un traitement spécifique. Le métal et ses ions les plus communs sont paramagnétiques (Mahan, 1987).

L'excès de Mn dans l'eau peut causer cirrhose du foie chez l'homme. Toutefois l'inhalation est beaucoup plus dangereuse parce qu'elle génère pneumonies, et si l'exposition est chronique il peut causer des problèmes neurologiques (Plumlee et Ziegler, 2003).

La détermination de l'élément Manganèse dans les eaux a été réalisé par la méthode de norme-DIN 38 406-E2.

5.1.4.4.3. Le Chrome total (Cr).

Le chrome est présent en petites quantités dans la nature. Il est plus important dans les roches de type basique que dans celles de type siliceux. D'une façon générale, sa solubilité est faible vis-à-vis des phénomènes de lessivage des sols (RODIER et al., 2009).

On peut être exposé au chrome en respirant, en mangeant, en buvant ou par contact de la peau avec du chrome ou des composés chromés.

Le Cr (III) peut provoquer des cancers des voies respiratoires ; trouble du métabolisme du glucose; atteintes rénales. Le Cr (VI) provoque des hémorragies gastrointestinales; il est responsable des ulcères cutanés et d'ulcères de la muqueuse nasale, de dermites, etc.

La mesure de l'élément chrome (Cr) total dans les échantillons a été effectuée par la méthode norme-DIN 38 405-D24.

5.1.4.4.4. Le Sélénium (Se).

Très peu abondant dans la croûte terrestre, le sélénium est un constituant de très rares minéraux. Dans les roches du socle il accompagne les minéraux sulfurés et est associé aux minéraux formés par l'argent, le cuivre, le plomb et le nickel. Dans les terrains sédimentaires il est présent dans certaines formations riches en matière organique. Sa libération dans les eaux est déterminée par les variations de potentiel redox et s'observe le plus souvent dans les nappes captives car il est soluble en conditions oxydantes.

Les formes les plus toxiques du sélénium sont les sélénites, sélénates et la sélénométhionine qui sont solubles et bien absorbées. Le sélénium est un toxique cumulatif, peut provoquer une sélénose (lésions des phanères et de la peau) suite à une exposition prolongée.

Le protocole opératoire de la mesure de l'élément Sélénium (Se) dans les eaux a été réalisé par la méthode spectrophotométrie par adsorption atomique-Norme NF ISO 17379-2.

5.1.4.4.5. L'Aluminium (Al).

C'est le métal le plus abondant de l'écorce terrestre. Il représente en moyenne 8 % de la masse des matériaux de la surface solide de la planète. L'aluminium peut s'avérer neurotoxique dans certaines situations. Les personnes exposées à l'aluminium, par exemple à la suite d'une dialyse, peuvent être sujettes notamment à des troubles du système nerveux central ou des troubles de la mémoire. On note aussi que les cellules cérébrales des patients atteints d'Alzheimer affichent une concentration en aluminium très supérieure à la normale.

La mode opératoire de la mesure de l'élément Aluminium (Al) dans les échantillons a été effectuée par le test conforme-Norme APHA 3500 AL D.

5.1.4.4.6. Le Cadmium (Cd).

Le cadmium n'existe pas à l'état natif, très rare et inexploité. Il est présent dans presque tous les minerais de zinc, de plomb et de cuivre, ainsi que dans des phosphates naturels (Hurlbut Jr. et Klein, 1982).

Le Cd est le métal le plus préoccupant à l'égard de la contamination par la chaîne alimentaire. Il s'accumule facilement dans les plantes et les animaux parce qu'il remplace le Zn dans certains enzymes. Également, il est plus mobile dans les sols et plus absorbé par les plantes que d'autres métaux comme le Cu et le Pb. En conséquence, la probabilité qu'il soit transféré du sol vers la plante et puis vers l'humain est plus grande (Kkebir, 2011).

Le Cd est très toxique sous toutes ses formes (métal, vapeur, sels, composés organiques), il provoque notamment des problèmes rénaux et l'augmentation de la tension (Plumlee et Ziegler, 2003). Les effets toxiques du Cd ne le sont pas seulement pour l'homme, mais aussi pour les végétaux et les animaux (Benito et al. 1999).

La détermination de l'élément cadmium (Cd) dans les échantillons a été réalisée par la méthode spectrophotométrie utilisant un colorant triazène, le « cation ».

5.2. Résultats analytiques et discussions.

Il s'agit de faire une évaluation qualitative et quantitative de la charge polluante issue des éléments des STEP de Baraki et Beni Messous. Nous avons procédé aux analyses des différents paramètres de pollution mesurés à l'entrée et à la sortie des stations d'épurations. Tout en s'assurant de la conformité des eaux aux normes Algériennes (2012), FAO (1985) et OMS (1989).

5.2.1. Résultats des analyses.

Les résultats des analyses physico-chimiques, bactériologiques et métaux lourds des eaux usées épurées des stations de Baraki et Beni Messous effectuées durant la période 2014-2015 sont représentés dans les tableaux 18, 19 et 20.

Tableau n° 18. Résultats d'analyses physico-chimiques de l'effluents de Baraki et Beni Messous (Période 2014 - 2015)

Paramètres	STEP de Baraki		STEP de Beni Messous		Normes de fiabilité des eaux destinées à l'irrigation (J.O.R.A 2006 ¹ , 2012 - FAO 1985* - OMS 1989 **)
	E. usées brute	E. usées traitées	E. usées brute	E. usées traitées	
T (°C)	15,3	15,1	17,36	16,23	30
PH	7,61	7,75	7,71	7,72	6 < pH < 8.5
CE (µS/cm)	1465,25	1432,34	1434,08	1348,75	700 -3000*
MES (mg/l)	933,75	10,01	237,11	11,95	30

DBO ₅ (mg/l)	449,1	12,38	211,37	8,75	30
DCO (mg/l)	801	43	210,5	20.33	90
Ca ²⁺ (mg/l)	107	50	114	121	400*
Mg ⁺² (mg/l)	10.4	4.8	11.1	11.9	60,75*
Cl ⁻ (mg/l)	185	82	144	100	1065*
SO ₄ ⁻² (mg/l)	28	136	15	142	20 à 240 ²
K ⁺ (mg/l)	6	4	10	14	50*
Na ⁺ (mg/l)	55	25	27	36	920*
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0.09	0.1	0.08	7.8	1*
NO ₃ ⁻ (mg/l)	2.22	14.15	2.21	12.42	30
NH ₄ ⁺ (mg/l)	20.88	2.28	19.6	1.84	2**
P ₂ O ₅ (mg/l)	40.2	10.7	30.2	19.5	10 ¹
PO ₄ (mg/l)	2.63	1.78	2.48	1.9	0.94**

2 : normes préconisées par Peterson, 1999

Tableau n° 19. Résultats d'analyses bactériologiques de l'effluent de Baraki et Beni Messous (Période 2014 – 2015)

Microorganismes (UFC/100ml)	STEP de Baraki		STEP de Beni Messous		Normes de fiabilité des eaux destinées à l'irrigation (J.O.R.A 2012 - O.M.S 1989* - CSHPF 1991**)
	E. usées brutes 10 ⁶	E. usées traitées 10 ⁴	E. usées brutes 10 ⁶	E. usées traitées 10 ⁴	
Coliformes totaux	29.65	12.74	39.75	22.17	≤ 2.2*
Coliformes fécaux	22.67	11.02	25.89	12.34	≤ 1000*
Streptocoques fécaux	39.88	18.94	36.51	15.38	< 1000*
E. Coli	21.54	5.89	24.47	7.62	< 1000**
Salmonelles	abs	abs	abs	abs	abs *

** CSHPF: Conseil supérieur d'hygiène publique de France en 1991. Elles sont des normes largement inspirées de celles de l'OMS, avec quelques précautions supplémentaires.

Tableau n° 20. Résultats d'analyses des métaux lourds de l'effluent de Baraki et Beni Messous (Période 2014 – 2015)

Paramètres	STEP de Baraki		STEP de Beni Messous		Normes maximale admissible REUE en agriculture (J.O.R.A 2012 - FAO 1985)	
	E. usées brutes	E. usées traitées	E. usées brutes	E. usées traitées	Court terme	Long terme
Plomb (mg/l)	3.44	4.25	4.29	4.08	10	5
Manganèse (mg/l)	0.70	0.09	0.4	0.1	10	0.2
Chrome T (mg/l)	0.50	0.20	0.3	0.4	1	0.1
Sélénium (mg/l)	0.012	0.011	0.018	0.011	0.02	0.02
Aluminium (mg/l)	0.001	0.001	0.00	0.002	20	5
Cadmium (mg/l)	0.21	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	0.01

5.2.2. Discussions.

5.2.2.1. Les paramètres physico-chimiques.

Les températures moyennes des eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous sont respectivement égales à 15,3 °C et 17,36 °C, celles des eaux usées épurées sont de 15,1 °C et 16,23 °C.

Elles ne dépassent pas les normes Algériennes admises qui sont de 30°C.

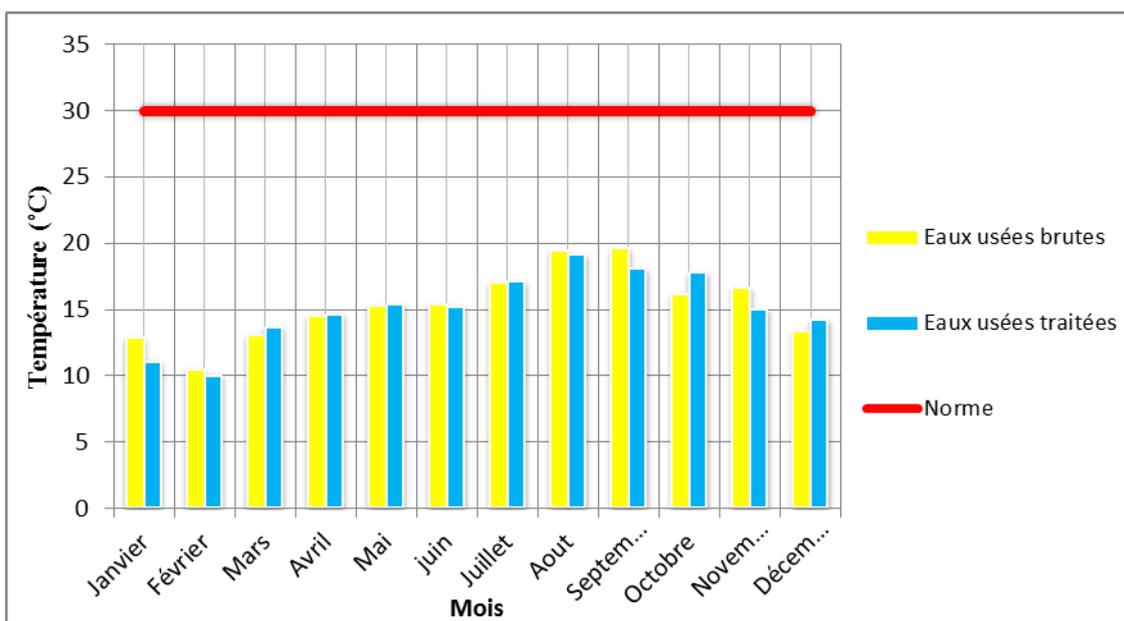


Figure n° 23. Variation des températures moyennes mensuelles des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).

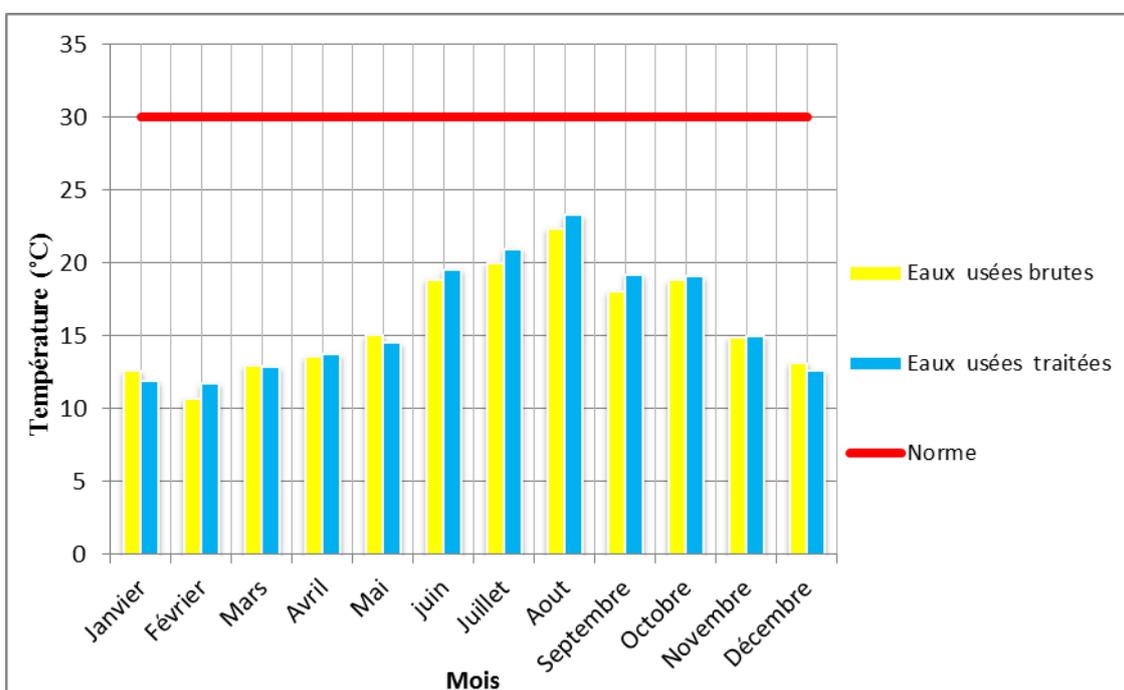


Figure n° 24. Variation des températures moyennes mensuelles des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).

Les eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous présentent respectivement un pH égal à 7.61 et 7.71, celles des eaux usées épurées sont de 7.75 et 7.72. Elles ne dépassent pas le pH admis par les normes Algérienne ($6,56 < \text{pH} < 8.5$).

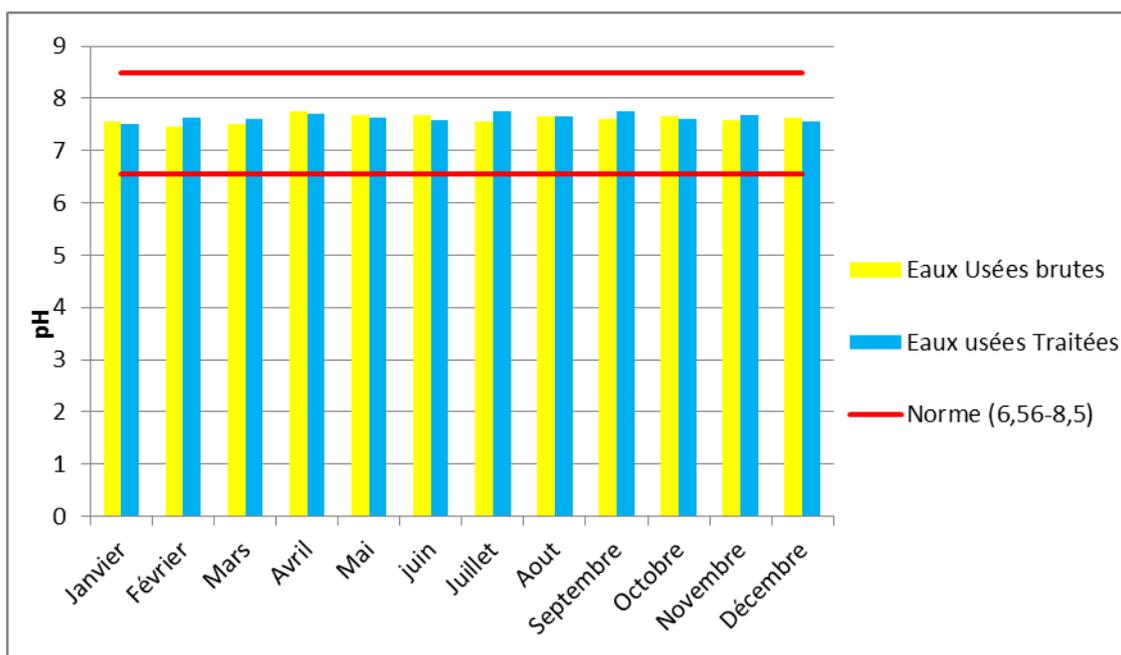


Figure n° 25. Variation de pH mensuelle des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).

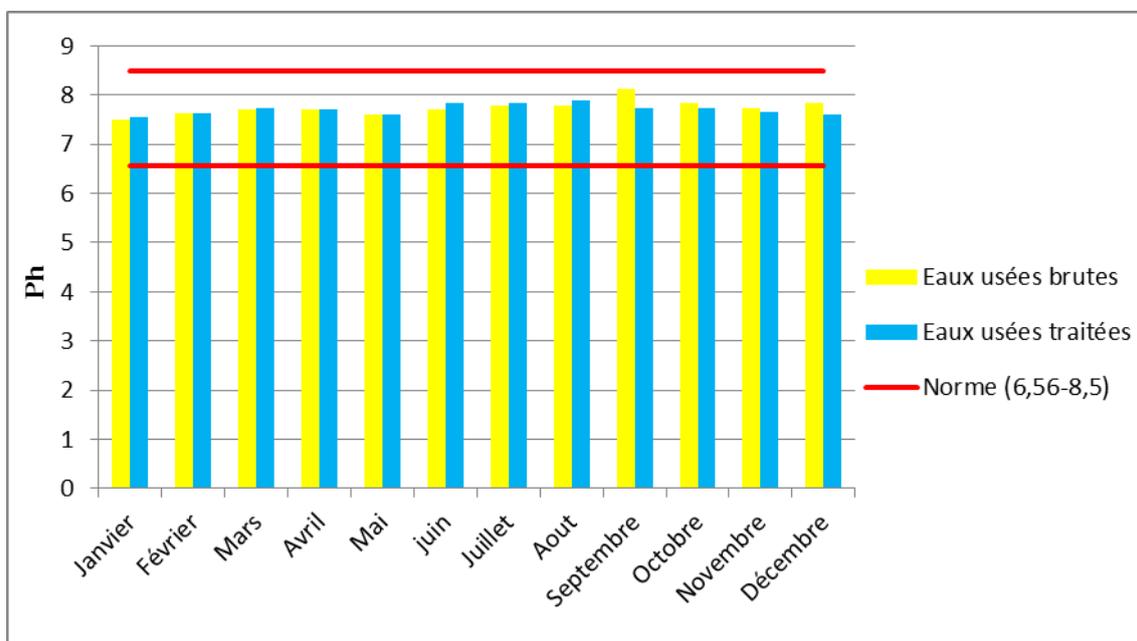


Figure n° 26. Variation de pH mensuelle des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).

Les valeurs mesurées de la conductivité des eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous sont respectivement égales à 1465.25 $\mu\text{s/cm}$ et 1434.08 $\mu\text{s/cm}$, celles des eaux usées épurées égales à 1432,34 $\mu\text{s/cm}$ et 1348,75. Elles sont comprises dans l’intervalle des normes Algériennes admise (700-3000 $\mu\text{s/cm}$).

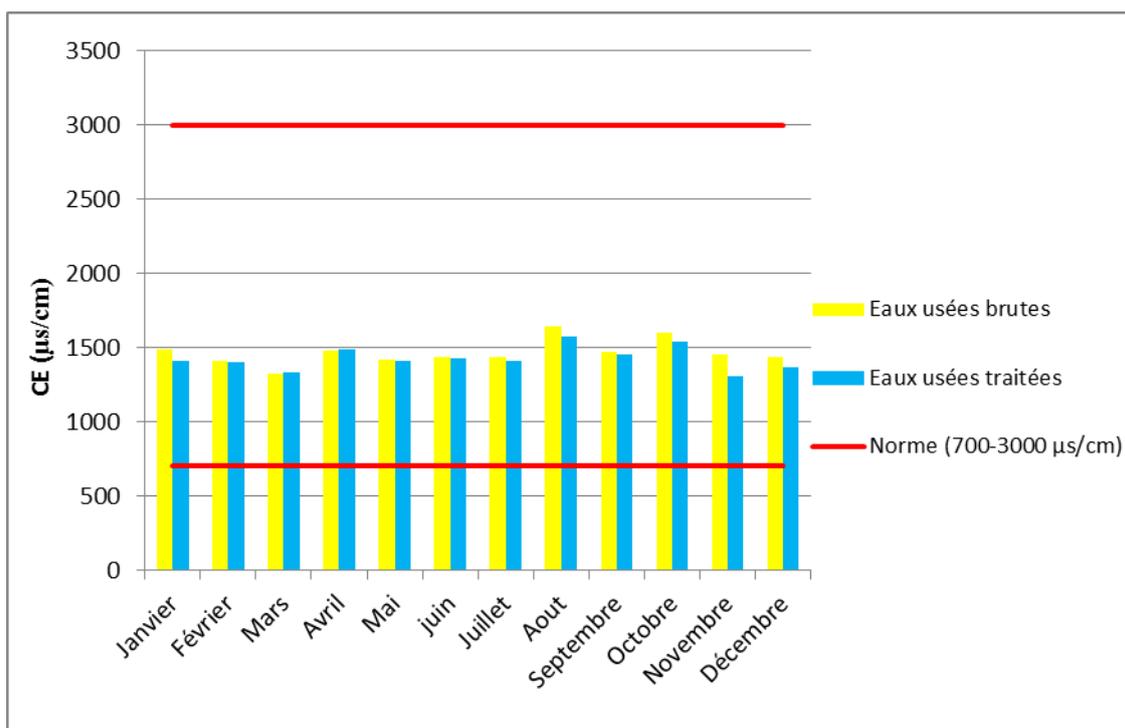


Figure n° 27. Variation de conductivité mensuelle des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).

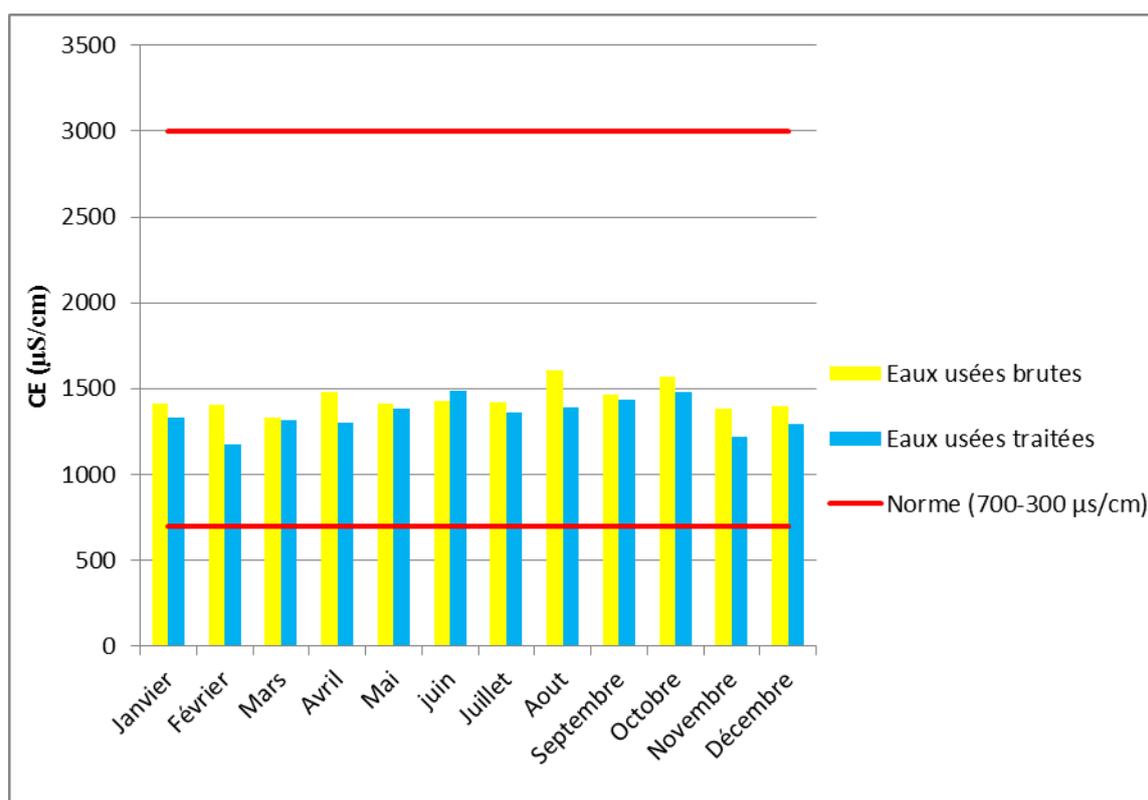


Figure n° 28. Variation de conductivité mensuelle des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).

Les teneurs en calcium des eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous sont respectivement de 107 mg/l et 114 mg/l, celles des eaux usées épurées sont égales à 50 mg/l et 121 mg/l et sont dans la fourchette des valeurs admises par la FAO (400 mg/l).

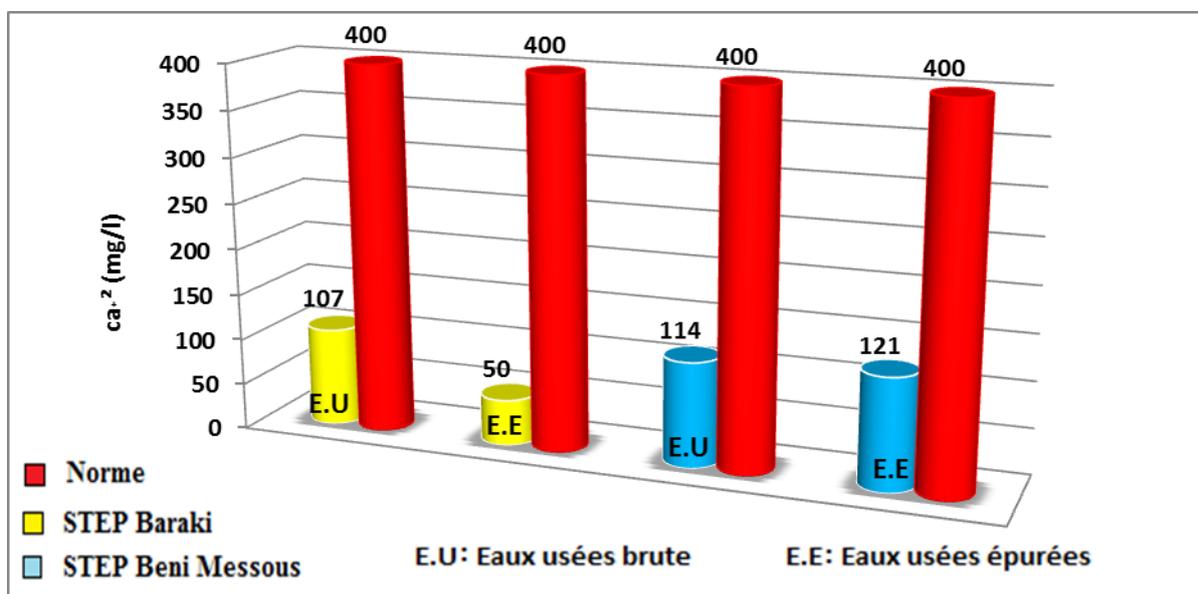


Figure n° 29. Variation de la concentration en Ca^{+} des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

Les eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous présentent respectivement une teneur en Mg^{+2} égale à 10,4 mg/l et 11,1 mg/l, celles des eaux usées épurées sont de 4,8 mg/l et 11,9 mg/l et sont à la limite de la norme admises par la FAO (60,75 mg/l) pour l'irrigation.

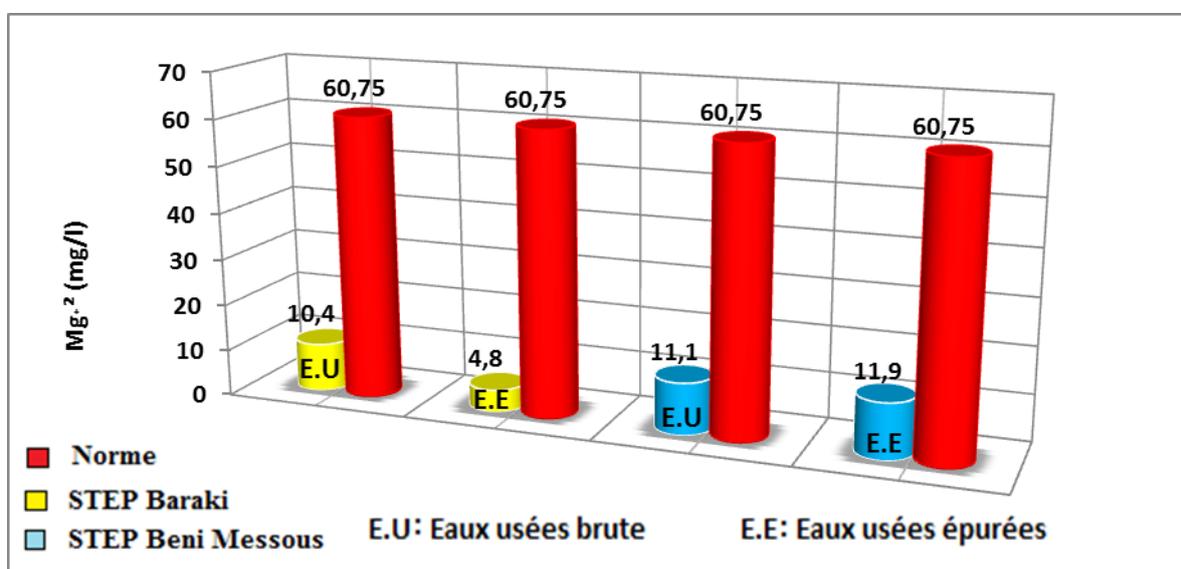


Figure n° 30. Variation de la concentration en Mg^{+2} des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

Les concentrations en sodium des eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous sont respectivement de 55 mg/l et 27 mg/l, celles des eaux usées épurées sont égales à 25 mg/l et 36 mg/l. Elles ne dépassent pas les normes admises par la FAO (920 mg/l).

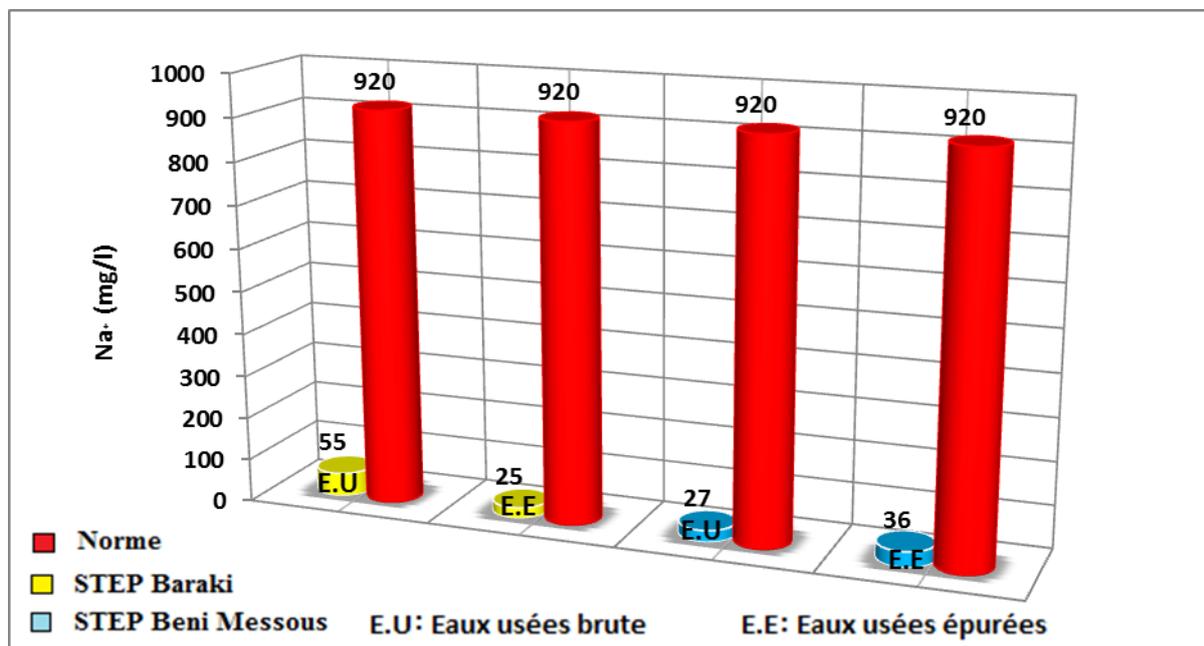


Figure n° 31. Variation de la concentration en Na^+ des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

Les eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous présentent respectivement une concentration du Cl^- égale à 185 mg/l et 144 mg/l, celles des eaux usées épurées sont de 82 mg/l et 100 mg/l et sont conformes aux normes de la FAO (1065 mg/l) pour l'irrigation.

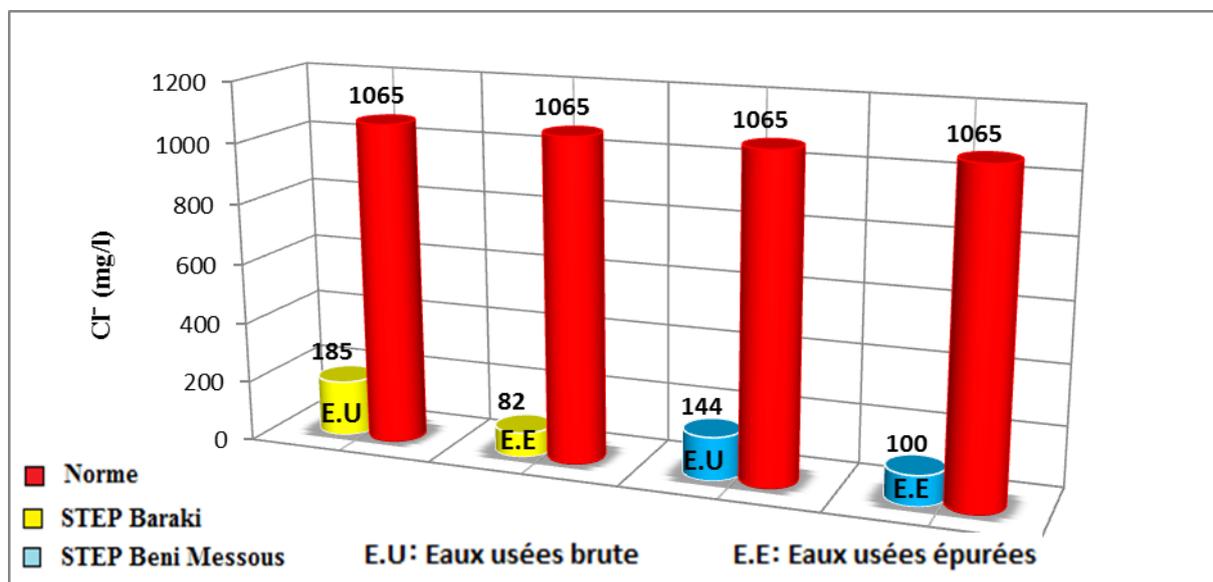


Figure n° 32. Variation de la concentration en Cl^- des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

Les valeurs moyennes de taux de NH_4^+ des eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous sont respectivement égales à 20.88 mg/l et 19.6 mg/l, celles des eaux usées épurées de la STEP de Baraki sont de 2.28 mg/l dépassent la valeur admissible pour des eaux d'irrigation selon l'OMS (2 mg/l), cela est due probablement à un processus de dégradation incomplet de la matière organique due à une insuffisante oxygénation au niveau du bassin d'aération. Alors que les valeurs moyennes des eaux épurées enregistrées au niveau de la station de Beni Messous (1.84 mg/l) respectent la norme recommandée par l'OMS.

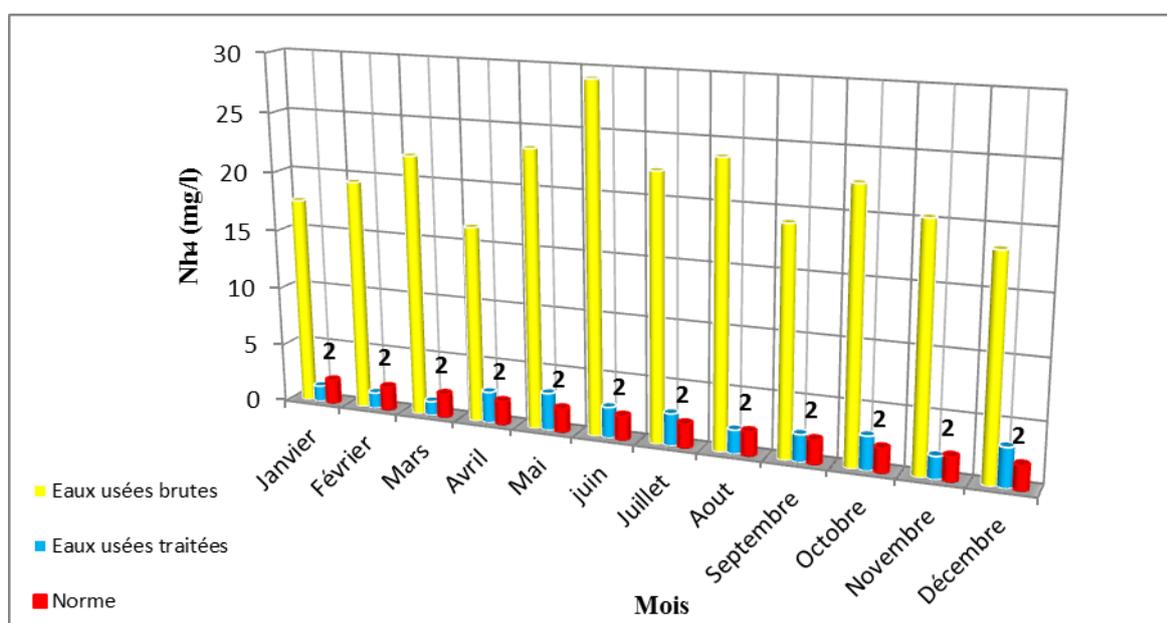


Figure n° 33.Variation de la concentration mensuelle de NH_4 des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).

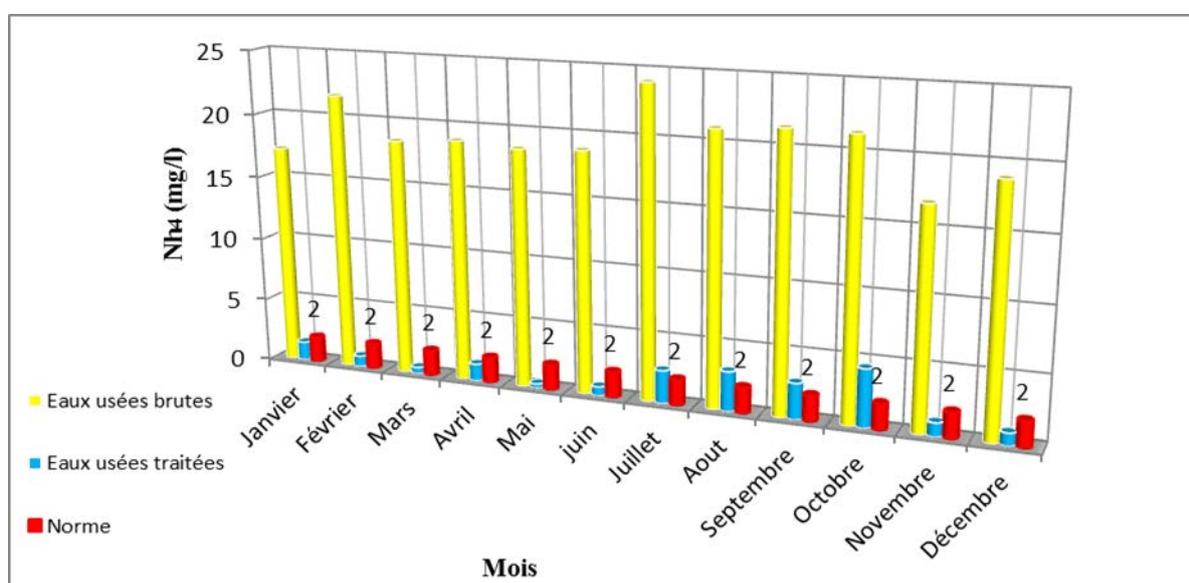


Figure n° 34.Variation de la concentration mensuelle de NH_4 des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).

Les valeurs mesurées du PO_4 des eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous sont respectivement de 2.63 mg/l et 2.48 mg/l. celles des eaux usées épurées sont égales à 1.78 mg/l et 1.9 mg/l. Elles dépassent largement le seuil des eaux destinées à l'irrigation (< 0.94 mg/l), recommandée par l'OMS.

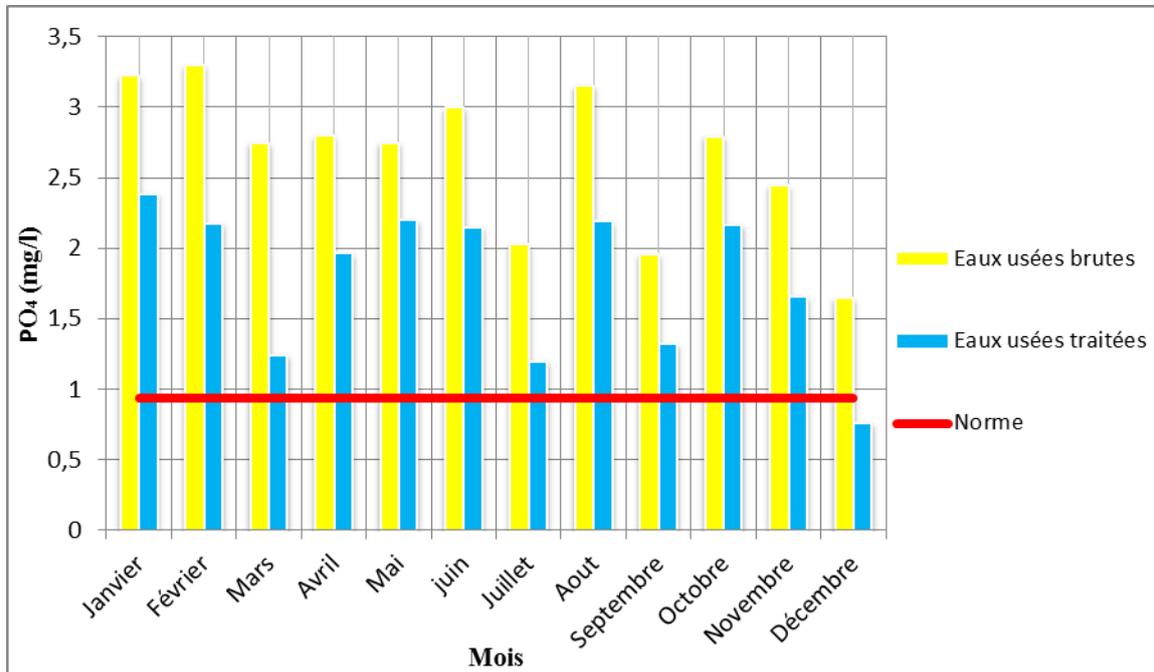


Figure n° 35. Variation de la concentration mensuelle en PO_4 des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).

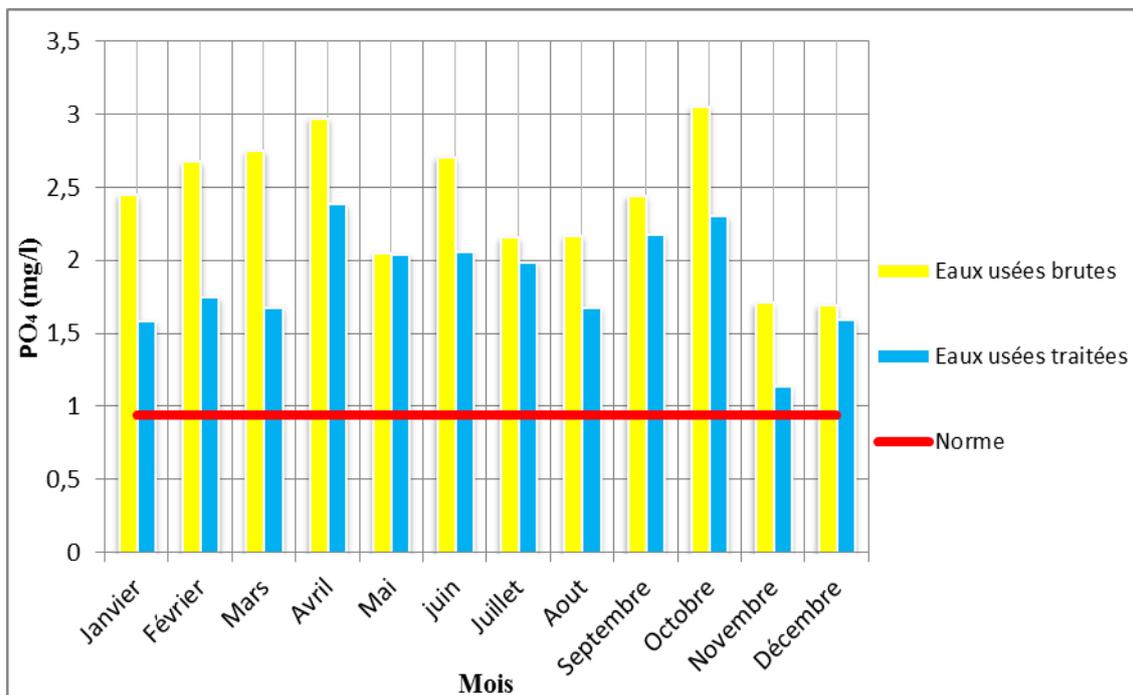


Figure n° 36. Variation de la concentration mensuelle en PO_4 des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).

5.2.2.2. Les paramètres de pollution.

Les valeurs moyennes mesurées dans les eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous sont égales respectivement à 933.75 mg/l et 237.11 mg/l, celles des eaux usées épurées sont égales à 10.01 mg/l et 11.95 mg/l et ne dépassent pas les normes Algériennes admises (30 mg/l). La diminution des concentrations de MES à la sortie s'interprète par la décantation de la matière organique.

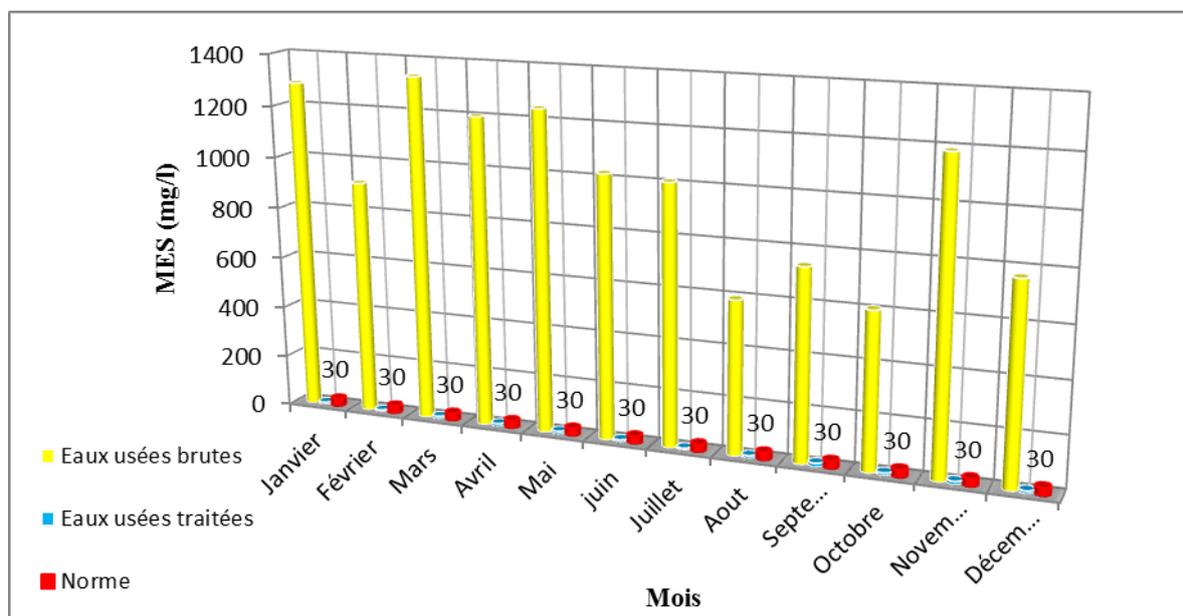


Figure n° 37. Variation de la concentration mensuelle de MES des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).

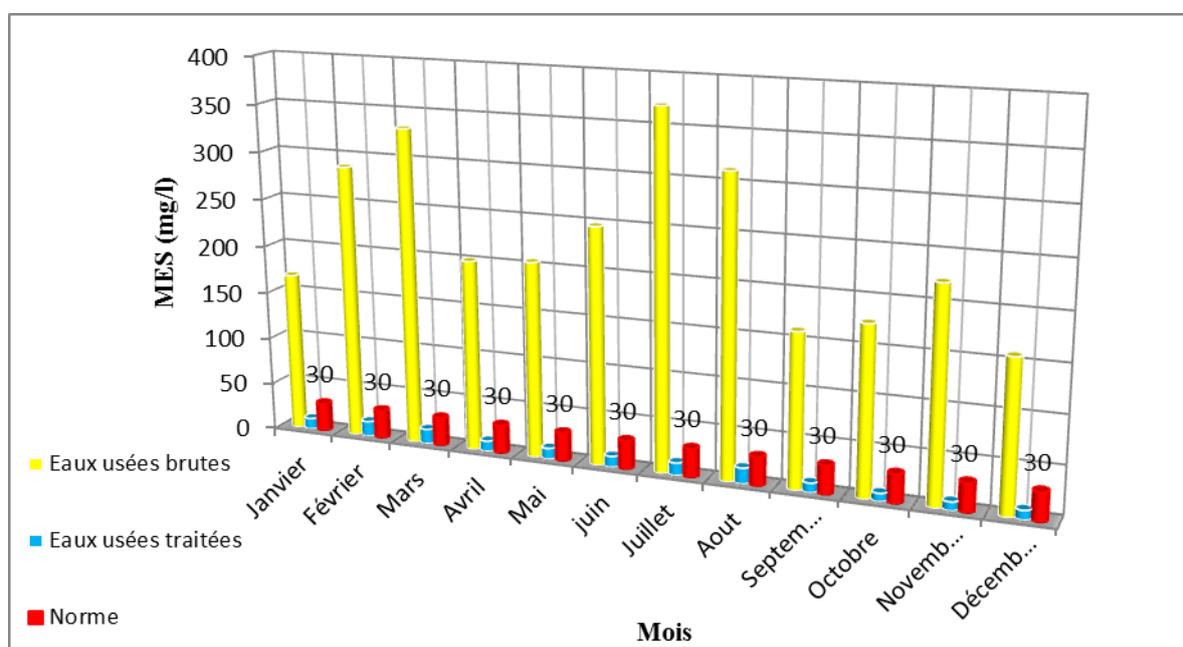


Figure n° 38. Variation de la concentration mensuelle de MES des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).

Les eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous présentent respectivement une DBO₅ de 449.1 mg/l et 211.37 mg/l, celles des eaux usées épurées sont égales à 12.38 mg/l et 8.75 mg/l ne dépassent pas les normes Algériennes préconisées (30 mg/l).

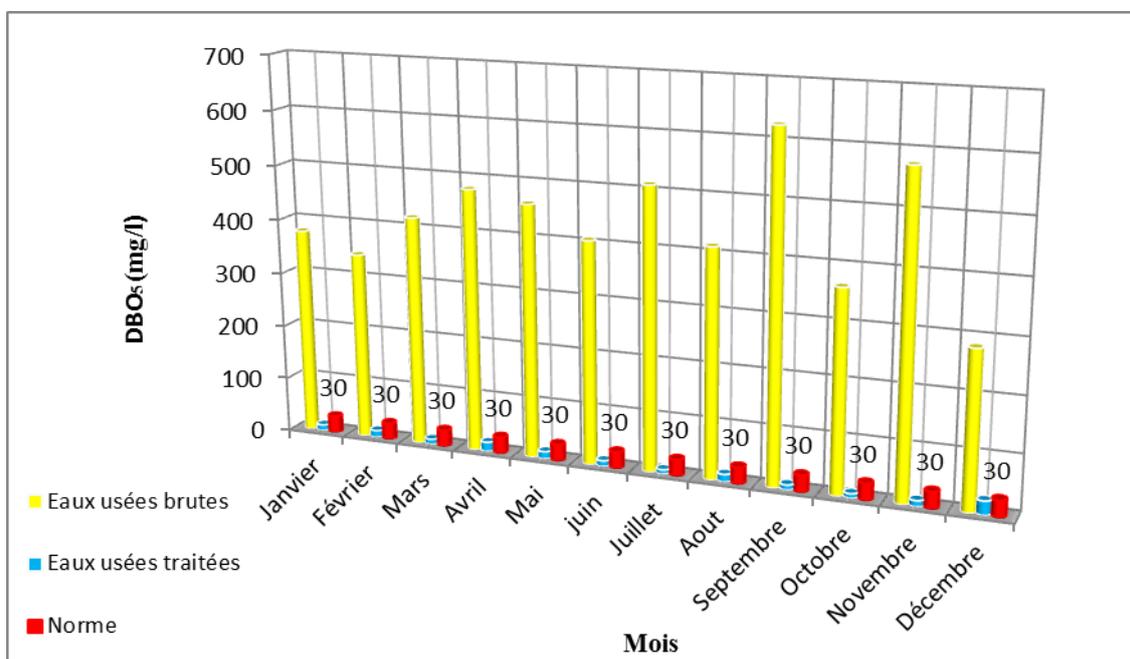


Figure n° 39. Variation de la concentration mensuelle de DBO₅ des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).

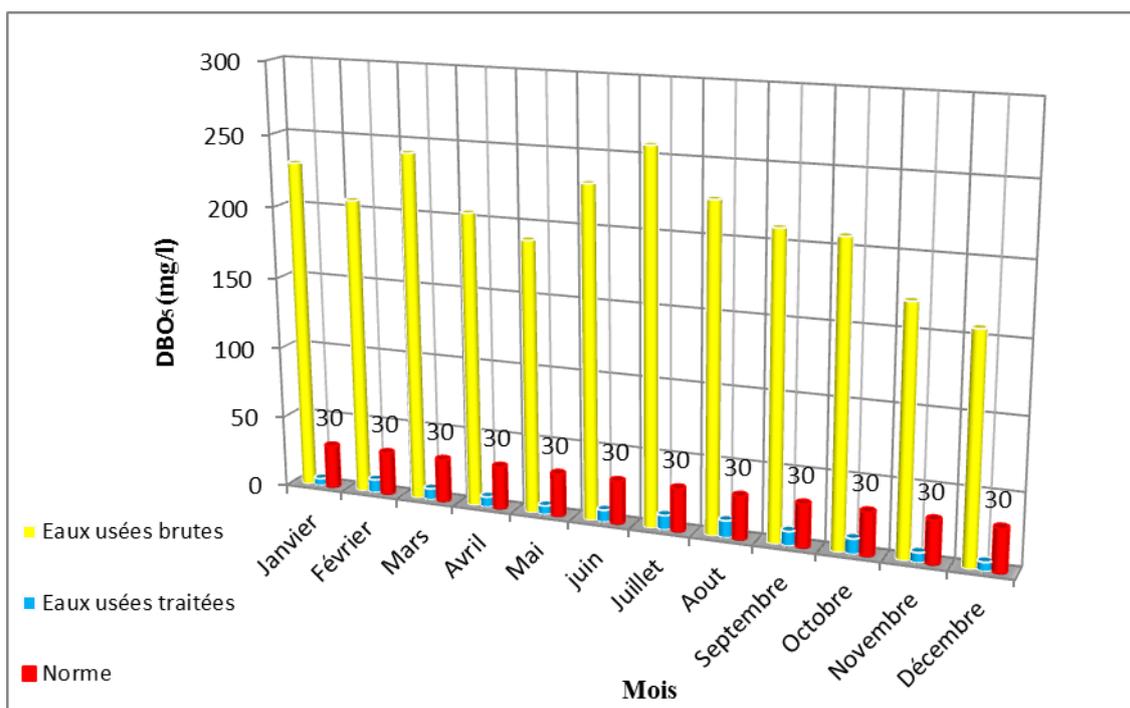


Figure n° 40. Variation de la concentration mensuelle de DBO₅ des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).

La DCO enregistrée des eaux usées brutes dans les stations de Baraki et Beni Messous est respectivement de 801 mg/l et 210.5 mg/l. Celle des eaux épurées de la STEP de Baraki est égale à 43 mg/, répond aux normes Algériennes (90 mg/l) mais dépasse les normes admises par l’OMS (40 mg/l) destinée à l’irrigation. Ceci est justifié par la réception des eaux industrielles avec un débit très important qui dépasse la capacité d’élimination de la station.

Les valeurs des eaux épurées enregistrées au niveau de la station de Beni Messous (20.33 mg/l) sont conforme aux normes Algériennes et de l’OMS.

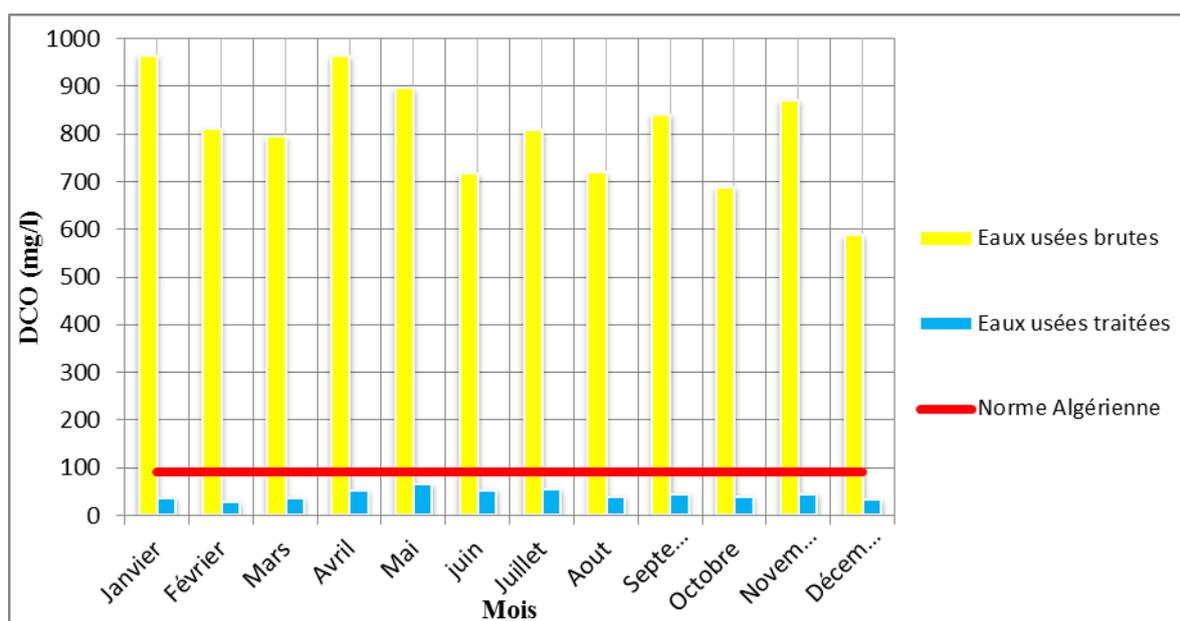


Figure n° 41. Variation de la concentration mensuelle de DCO des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).

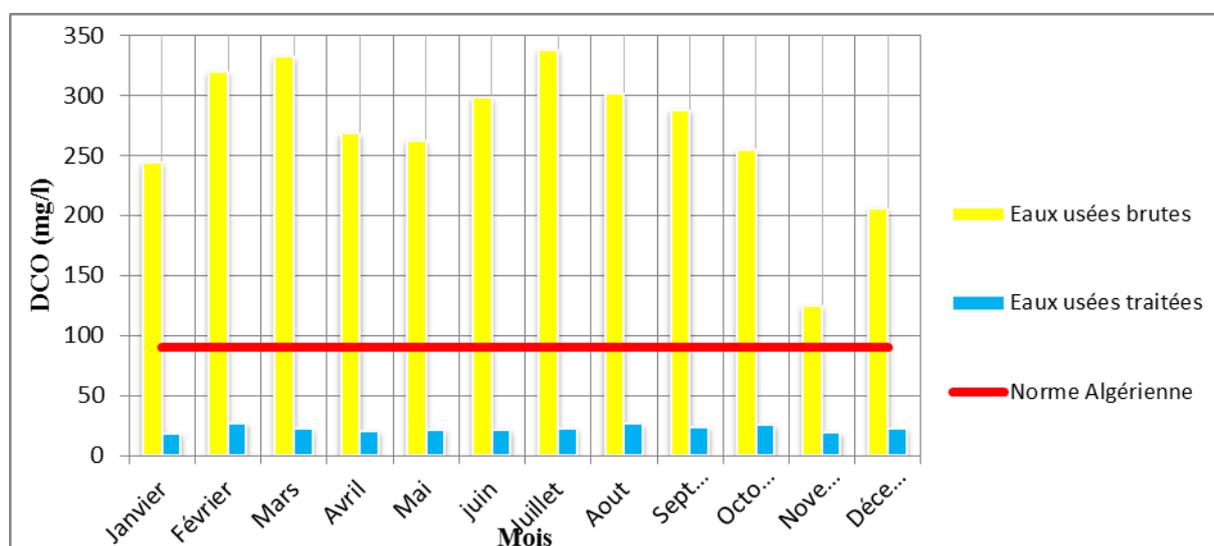


Figure n° 42. Variation de la concentration mensuelle de DCO des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).

5.2.2.3. Les nutriments.

Les eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous présentent respectivement une teneur de NO_2^- de 0.09 mg/l et 0.08 mg/l, celles des eaux usées épurées de la STEP de Baraki sont égales à 0,1 mg/l, conforme aux normes recommandées par l’OMS (1 mg/l). Les teneurs en NO_2^- des eaux usées épurées enregistrées au niveau de la station de Beni Messous (7.8 mg/l) dépassent largement les normes préconisées.

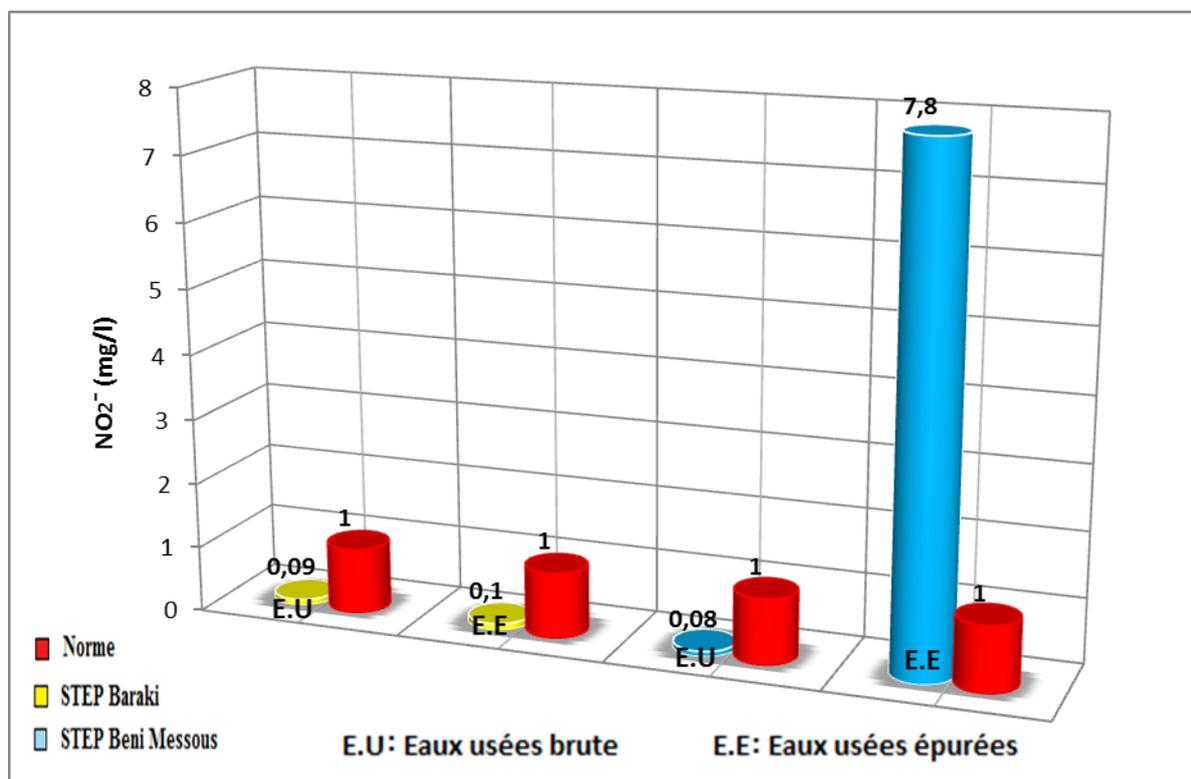


Figure n° 43. Variation de la concentration en NO_2^- des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

Les teneurs en NO_3^- des eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous sont égales respectivement à 2.22 mg/l et 2.21 mg/l. celles des eaux usées épurées sont de l’ordre de 14.15 mg/l et 12.42 mg/l, nous permettent selon les normes Algériennes et de la FAO (5 mg/l - 30 mg/l) de classer cette eau comme ayant un degré de restriction à l'usage d'irrigation légère à modéré.

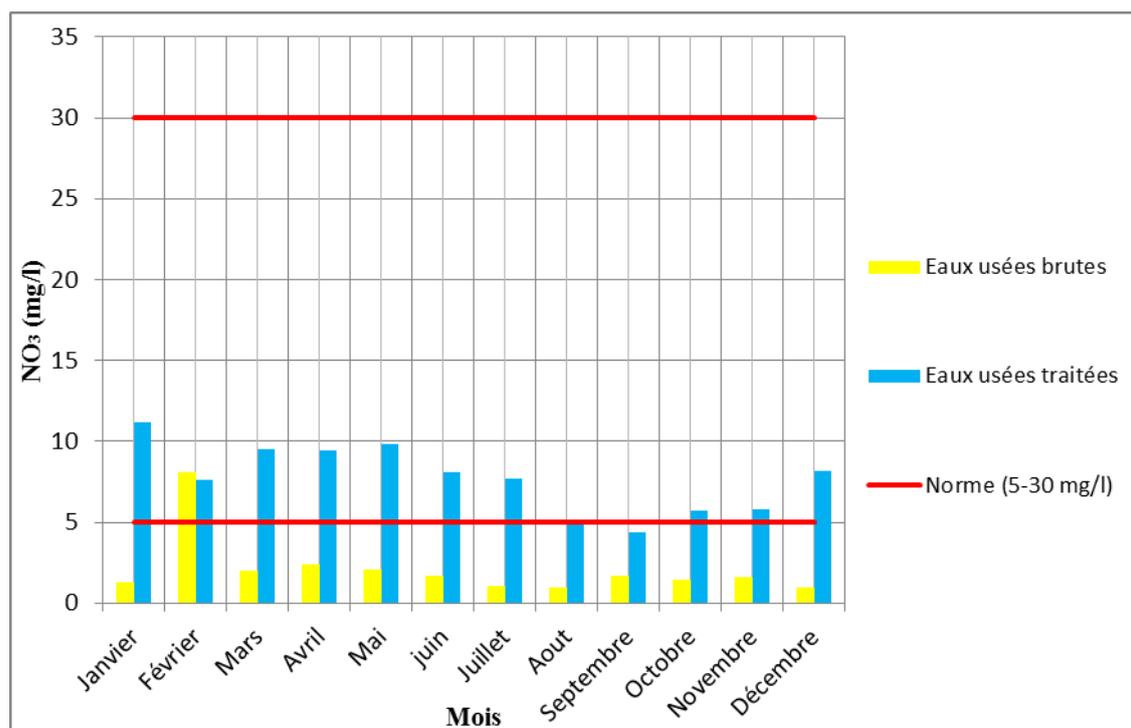


Figure n° 44. Variation de la concentration mensuelle en NO₃⁻ des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki (2014- 2015).

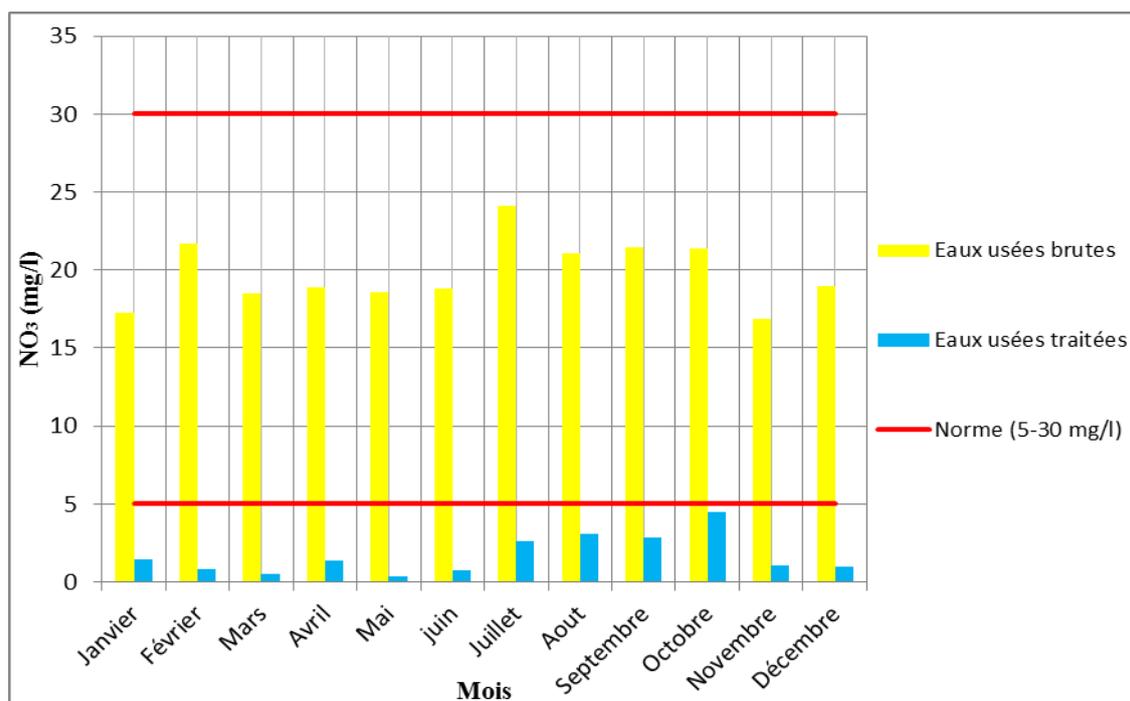


Figure n° 45. Variation de la concentration mensuelle en NO₃⁻ des eaux usées brutes et traitées à la station de Beni Messous (2014- 2015).

Les eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous présentent respectivement une teneur en SO₄⁻² de 28 mg/l et 15 mg/l, celles des eaux usées épurées sont égales à

136 mg/l et 142 mg/l. Donc, elles sont conformes aux normes préconisées par Peterson, 1999 (24 à 240 ppm).

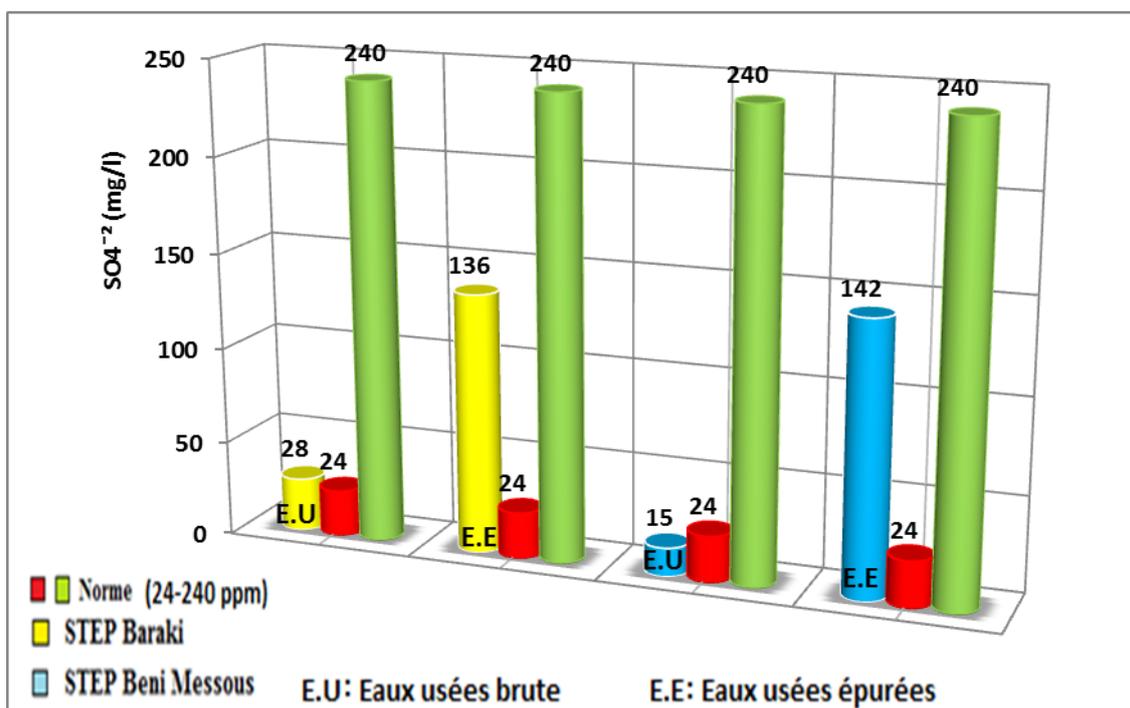


Figure n° 46. Variation de la concentration en SO_4^{2-} des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

Les teneurs en K^+ des eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous sont égales respectivement à 6 mg/l et 10 mg/l, celles des eaux usées épurées sont de l'ordre de 4 mg/l et 14 mg/l conforme aux normes de la FAO (50 mg/l) destinée à l'irrigation.

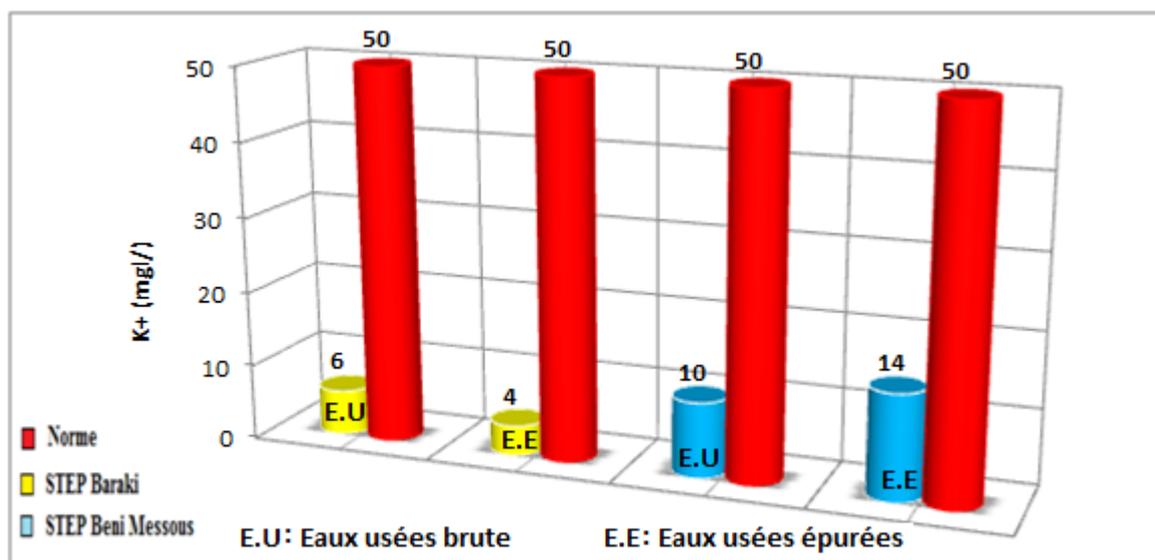


Figure n° 47. Variation de la concentration en K^+ des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

Les eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous présentent respectivement une teneur en P_2O_5 de 40.2 mg/l et 30.2 mg/l, celles des eaux usées épurées sont égales à 10,7 mg/l et 19,5 mg/l. Donc, elles dépassent largement les normes Algériennes (10 mg/l) destinée à l'irrigation.

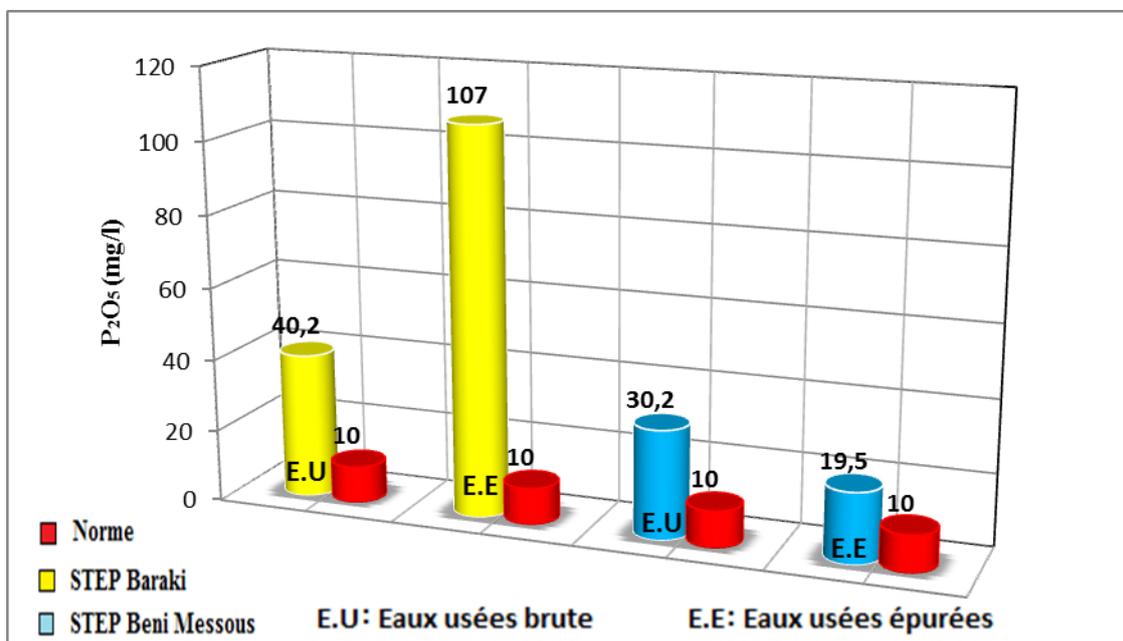


Figure n° 48. Variation de la concentration en P_2O_5 des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

5.2.2.4. Les analyses microbiologiques.

Les concentrations en coliformes totaux des eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous sont égales respectivement à 29.56×10^6 UFC/100 ml et à 39.75×10^6 UFC/100 ml, celles des eaux usées épurées sont de l'ordre de $12,74 \times 10^4$ UFC/100 ml et $22,17 \times 10^4$ UFC/100 ml. Elles sont supérieures à la norme recommandée par l'OMS qui est de 2.2 UFC /100 ml.

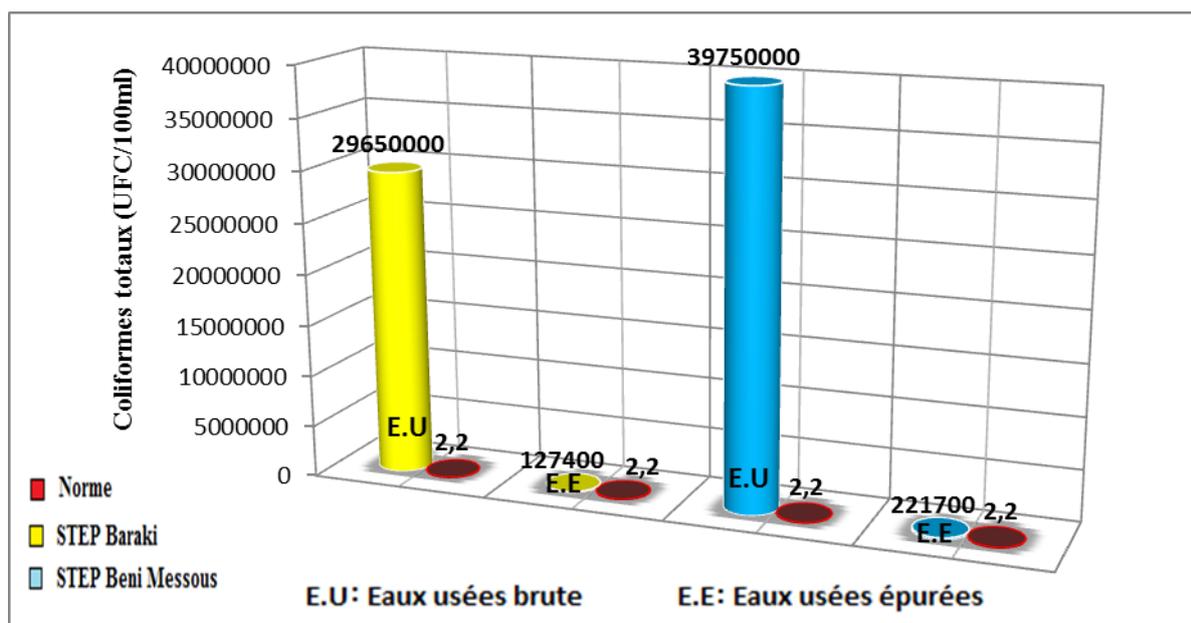


Figure n° 49. Variation de la concentration en coliformes totaux des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

Les eaux usées brutes au niveau des stations de Baraki et Beni Messous se caractérisent respectivement par une concentration de coliformes fécaux de $22,67 \times 10^6$ UFC/100ml et $25,89 \times 10^6$ UFC/100 ml, celles des eaux usées épurées sont égales à $11,02 \times 10^4$ UFC/100ml et $12,34 \times 10^4$ UFC/100ml. Ces valeurs dépassent largement les normes Algériennes et la concentration limite (< 1000 UFC/100 ml) recommandée par l’OMS pour irrigation de cultures destinées à être consommées crues.

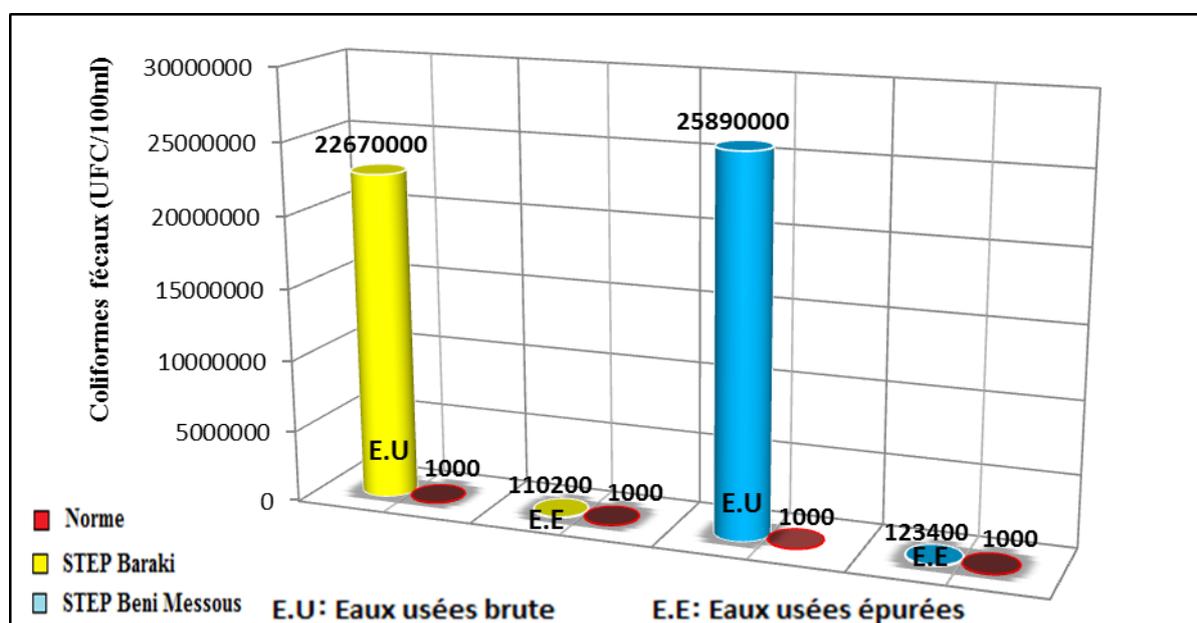


Figure n° 50. Variation de la concentration en coliformes fécaux des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

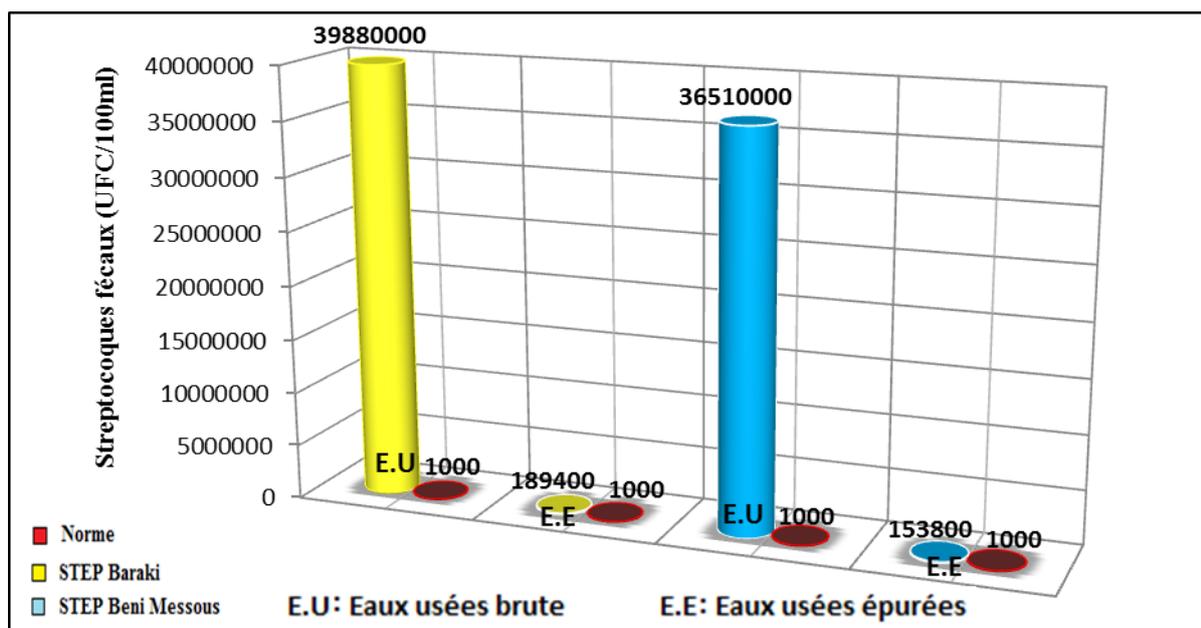


Figure n° 51. Variation de la concentration en Streptocoques fécaux des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

Les valeurs des streptocoques fécaux des eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous sont respectivement de $39,88 \times 10^6$ UFC/100ml et $36,51 \times 10^6$ UFC/100 ml, celles des eaux usées épurées sont égales à $18,94 \times 10^4$ UFC/100ml et $15,38 \times 10^4$ UFC/100ml. Elles dépassent largement les normes données par l’OMS (< 1000 UFC /100 ml) destinée à l’irrigation.

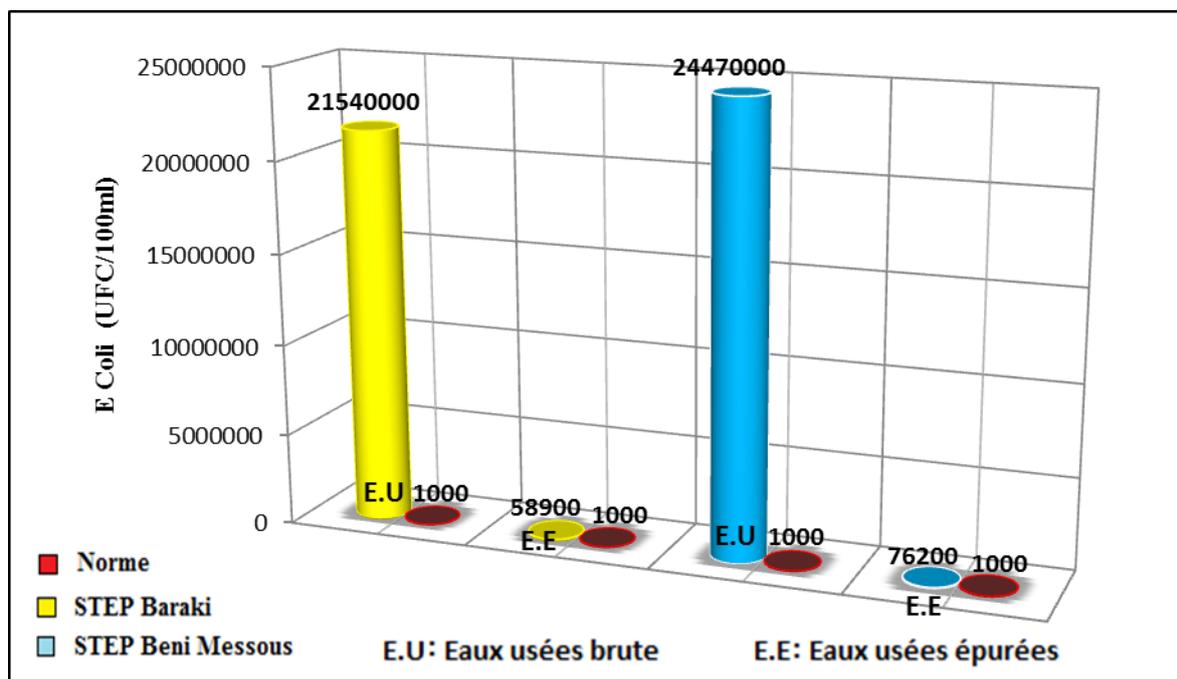


Figure n° 52. Variation de la concentration en (E.Coli) des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

Les concentrations en E. Coli des eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous sont égales respectivement à 21.54×10^6 UFC/100 ml et à 24.47×10^6 UFC/100 ml, celles des eaux usées épurées sont de l'ordre de 5.89×10^4 UFC/100 ml et $7,62 \times 10^4$ UFC/100 ml. Elles dépassent largement le seuil des eaux destinées à l'irrigation (<1000 UFC/100 ml), recommandée par l'OMS. Ceci peut être expliqué que les eaux usées traitées de ces deux stations semblent offrir un milieu favorable au développement de cette bactérie qui vit à un pH neutrophile et résiste à une température élevées (de 8°C à 48 °C).

La recherche de Salmonelle a une importance particulière, sa présence dans l'environnement hydrique est signe d'une contamination fécale. Les résultats obtenus des eaux usées traitées dans les stations de Baraki et Beni Messous ne montrent aucun cas positif. (Absence de Salmonelle dans les deux stations).

5.2.2.5. Les métaux lourds.

Les concentrations en plomb (Pb) des eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous sont respectivement de 3.44 mg/l et 4.29 mg /l, celles des eaux usées épurées sont égales à 4.25 mg/l et 4.08 mg /l. Elles sont conformes aux normes Algérienne et de la FAO destinées à l'irrigation, à court (10 mg/l) et à long terme (5 mg/l).

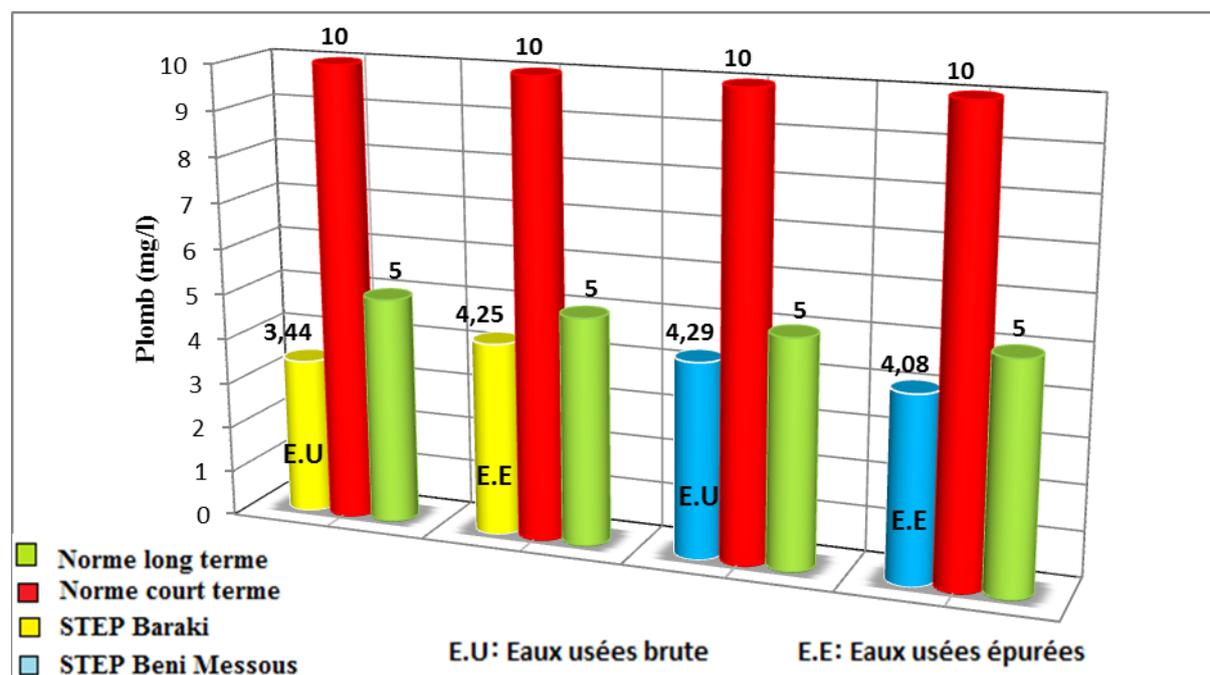


Figure n° 53. Variation de la concentration en (Pb) des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

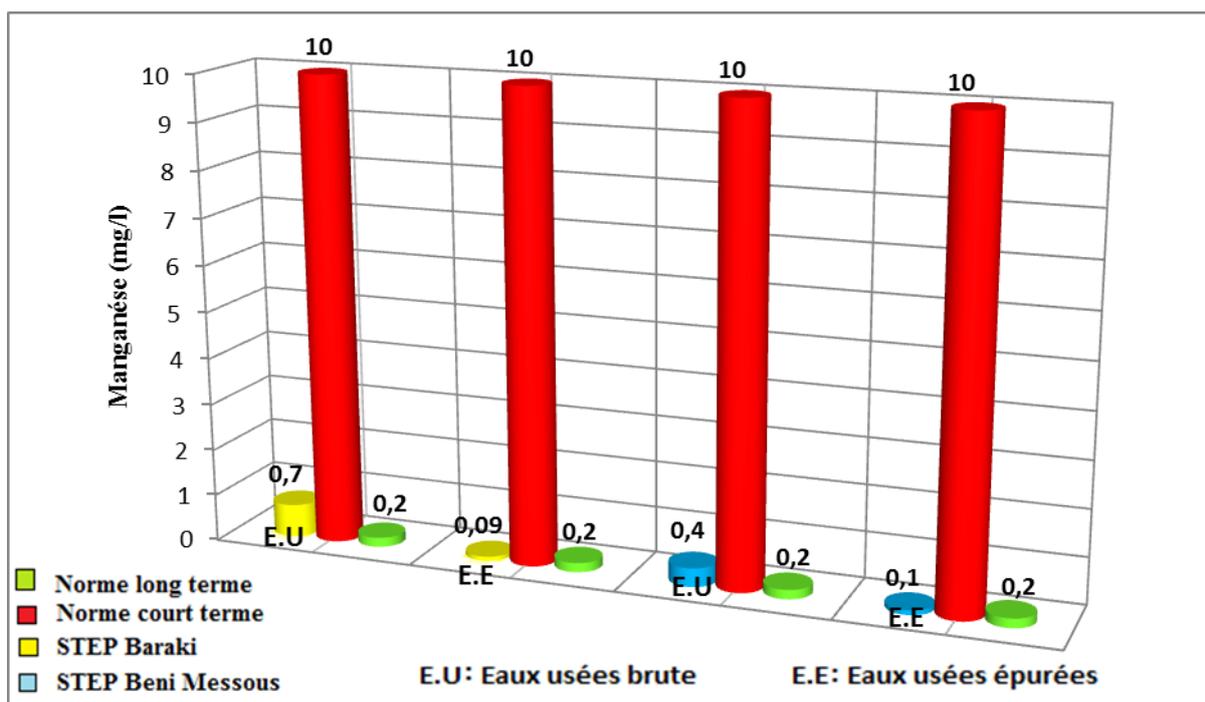


Figure n° 54. Variation de la concentration en (Mn) des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

Les eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous présentent respectivement une concentration en Mn de 0,70 mg/l et 0,4 mg/l, celles des eaux usées épurées sont égales à 0,09 mg/l et 0,1 mg/l. Ces valeurs répondent aux normes Algérienne et de la FAO destinées à l’irrigation, à court (10 mg/l) et à long terme (0.2 mg/l).

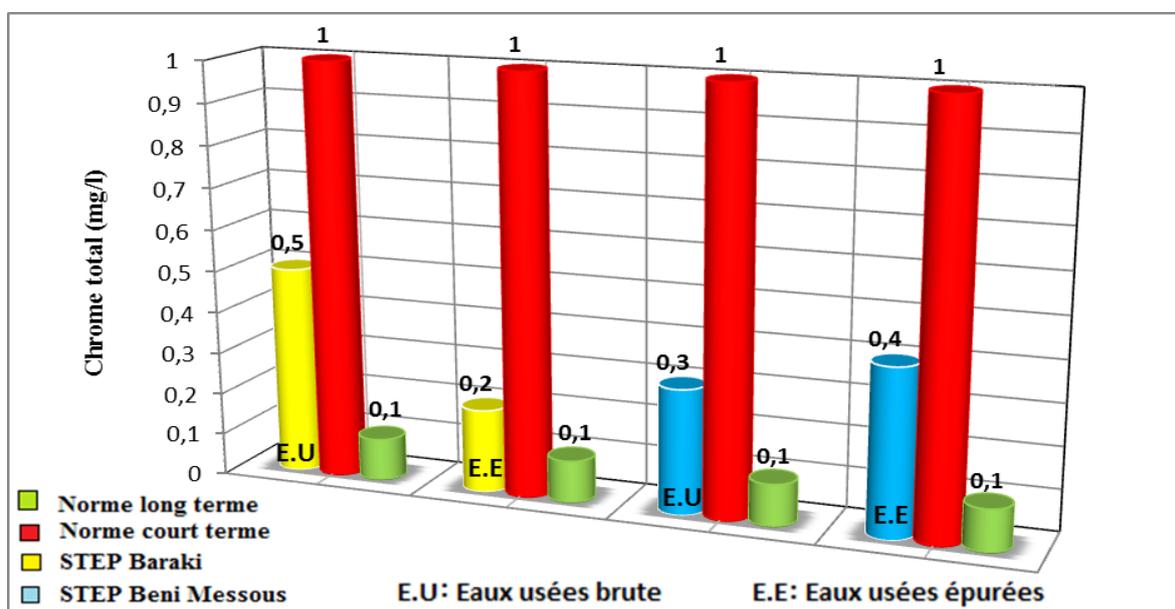


Figure n° 55. Variation de la concentration en (Cr_T) des eaux usées brutes et traitées à la station de Barak et Beni Messous (2014- 2015).

Les teneurs en Chrome totale (Cr) des eaux usées brutes au niveau des stations de Baraki et Beni Messous sont respectivement de 0.5 mg/l et 0.3 mg/l, celles des eaux usées épurées sont égales à 0.2 mg/l et 0.4 mg/l dépassent largement, les normes Algérienne et de la FAO destinées à l'irrigation à long terme (0.1 mg/l), mais elles sont dans la fourchette des valeurs admises à l'irrigation à court terme (1 mg/l).

Les concentrations en Sélénium (Se) des eaux usées brutes sont respectivement de 0.012 mg/l et 0.018 mg/l, celles des eaux usées épurées sont égales à 0.011 mg/l pour les deux stations. Elles sont conformes aux normes Algérienne et de la FAO destinées à l'irrigation, à court et à long terme (0.2 mg/l).

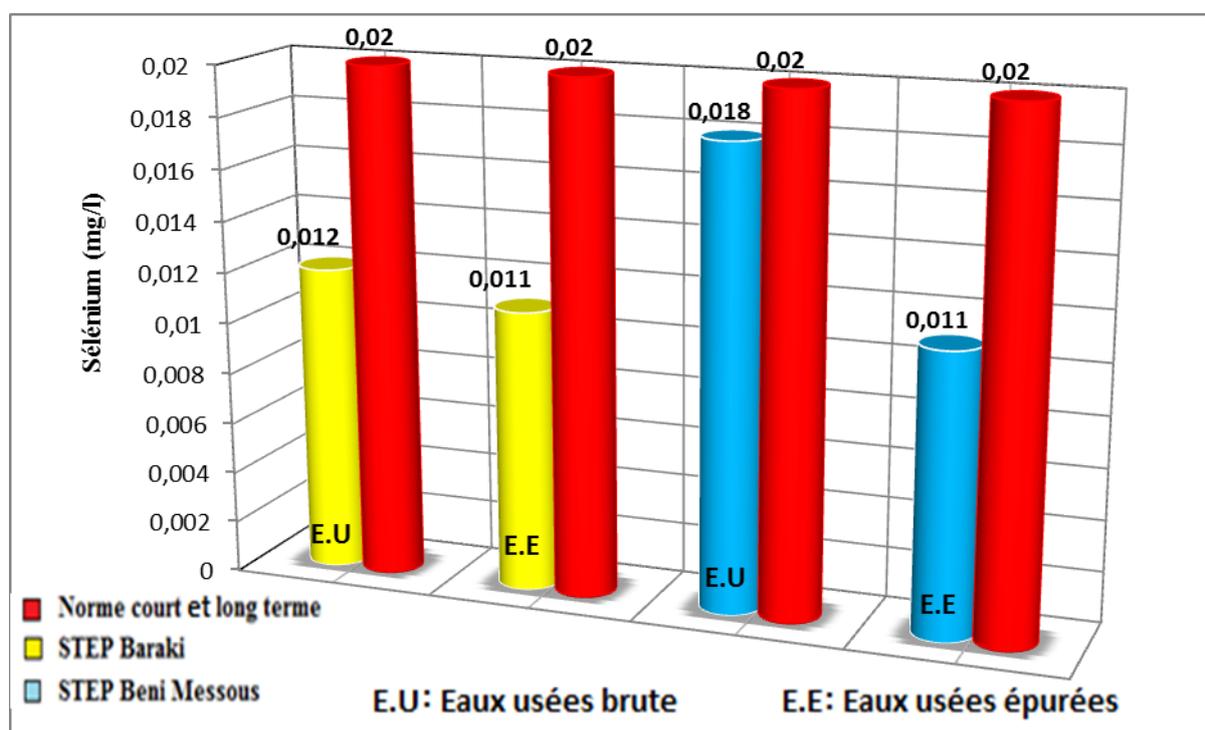


Figure n° 56. Variation de la concentration en (Se) des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

Les teneurs en Aluminium (Al) des eaux usées brutes au niveau des stations de Baraki et Beni Messous sont respectivement de 0.001 mg/l et 0.00 mg/l, celles des eaux usées épurées sont égales à 0.001 mg/l et 0.002 mg/l. Elles répondent aux normes Algériennes et de la FAO recommandées à l'irrigation, à court (20 mg/l) et à long terme (5 mg/l).

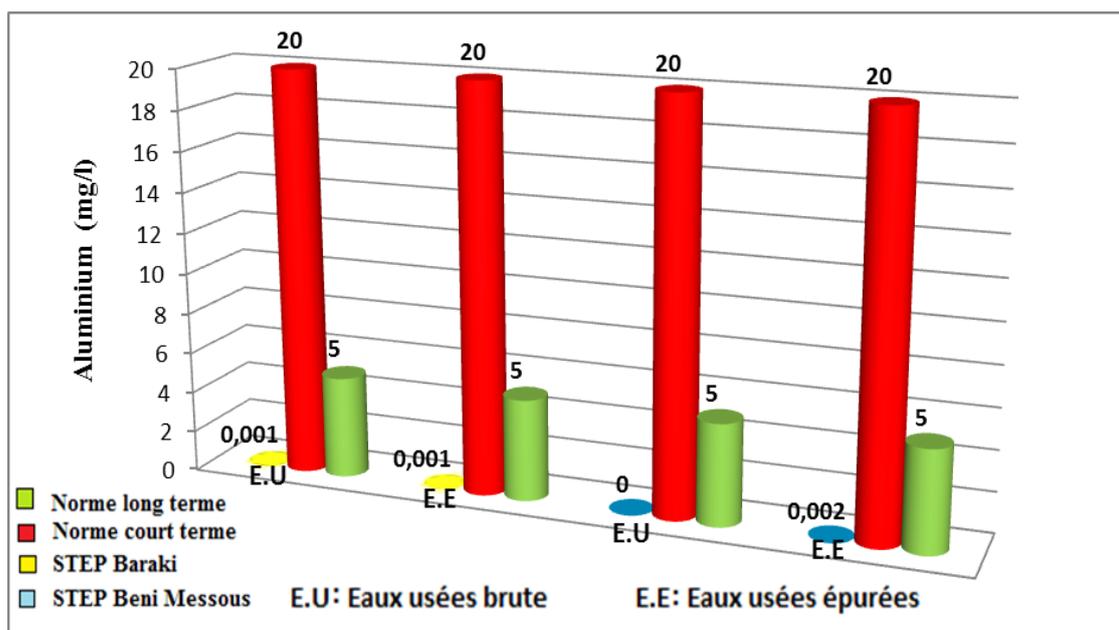


Figure n° 57. Variation de la concentration en (Al) des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

Les concentrations en cadmium des eaux usées brutes des stations de Baraki et Beni Messous sont respectivement de l'ordre de 0.21 mg/l et < 0.05 mg/l, celles des eaux épurées sont égales à <0.05 mg/l. Ces teneurs dépassant largement les normes Algériennes et le seuil des valeurs des eaux destinées à l'irrigation à long terme (0.01mg/l) recommandé par la FAO, alors qu'elles sont à la limite des valeurs admises à court terme (0.05 mg/l).

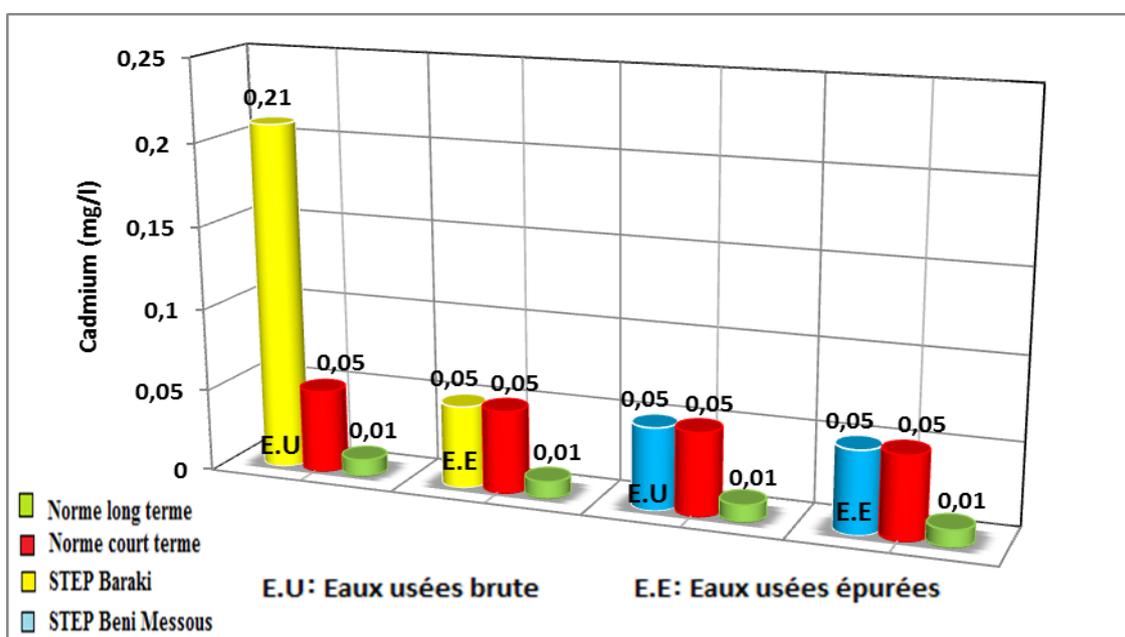


Figure n° 58. Variation de la concentration en (Cd) des eaux usées brutes et traitées à la station de Baraki et Beni Messous (2014- 2015).

Chapitre 6
Risques socio-sanitaires
et environnementaux.

Chapitre 6 Risques socio-sanitaires et environnementaux.

Introduction.

La santé est un enjeu particulièrement sensible dans la mesure où un grand nombre de maladies infectieuses est véhiculé par l'eau avec des conséquences désastreuses sur la vie et l'environnement.

Les eaux usées sont de plus en plus convoitées de par le monde pour pallier au stress hydrique devenu un fait en raison de l'amenuisement des ressources en eau conventionnelle, fragilisées, faut-il le rappeler par la pollution d'une part et les changements climatiques d'autre part.

Aujourd'hui, la stratégie nationale du développement durable en Algérie se matérialise à travers un plan stratégique qui réunit trois dimensions: Sociale, Économique et Environnementale. (MRE, 2012)

Dans ce chapitre, on vise à mettre en évidence les risques socio-sanitaires et environnementaux des rejets des eaux usées épurées dans les deux stations d'épuration (Baraki et Beni Messous), afin de définir les priorités et les solutions préventives et/ou de traitement à mettre en œuvre si les risques sont avérés.

6.1. Risques des rejets des eaux épurées sur le milieu naturel et la santé de l'homme (stations de Baraki et Beni Messous).

6.1.1. Risques des rejets sur le milieu naturel

Parmi la principale contrainte liée à l'épuration des eaux usées est de respecter les critères de **rejet** fixés par la réglementation Algérienne notamment les lois (n° 83-17 du 16 juillet 1983, n° 03-10 du 19 juillet 2003 et n° 05-12 du 4 août 2005).

Les eaux usées traitées dans les stations d'épuration de Baraki et de Beni Messous sont rejetées respectivement dans l'Oued El Harrach et l'Oued Beni Messous qui à leur tour se déversent dans la mer Méditerranée. Cette dernière, considérée comme particulièrement sensible, conditionne fortement le niveau de traitement imposé et la qualité des eaux de rejet.

L'observation des résultats des analyses montre que les valeurs des paramètres physico-chimiques (température, pH, MES, DBO₅, DCO, PO₄) et des métaux lourds (Al, Cd, Mn, Cr_I) des eaux usées traitées de la STEP de Baraki et Beni Messous sont conformes aux normes des rejets Algériennes en vigueur (2012).

Tandis que les éléments suivants :

- Les teneurs en P_{tot} des eaux usées traitées des stations de Beni Messous dépassent la limite normative de rejet Algérienne (15 mg/l), en particulier dans le cas des rejets issus de la station de Beni Messous (19.5 mg/l).
- Les concentrations en Pb des eaux usées traitées des stations de Baraki et Beni Messous se caractérisent respectivement par des valeurs (4.25 et 4.08 mg/l) par des valeurs relativement élevées par rapport aux normes algériennes de rejet recommandées (0.75 mg/l).

Le rejet des eaux usées traitées des stations d'épuration de Baraki et de Beni Messous dans la mer Méditerranée via les oueds El-Harrach et Beni Messous peut présenter un risque sur le milieu naturel par :

- La forte concentration en phosphore total des eaux usées traitées des stations de Baraki (10.7 mg/l) et Beni Messous (19.5 mg/l), augmente la croissance des organismes dépendant du phosphate, comme par exemple les algues et les lentilles d'eau. Ces organismes utilisent de grandes quantités d'oxygène et empêchent la lumière de pénétrer dans l'eau, cette dernière devient donc plutôt invivable pour les autres organismes (Ce phénomène est appelé eutrophisation).
- La forte concentration de plomb contenus dans les eaux usées épurées des stations d'épuration de Baraki (4.25 mg/l) et Beni Messous (4.08 mg/l) peut entraîner d'une part une contamination des sols et d'autre part une contamination de l'environnement aquatique.

- ✓ Une fois le plomb accumulé dans le sol, il peut être absorbé par les plantes. Ainsi sa concentration excessive, toxique, dans les tissus de plantes, conduit à des diminutions de la germination, de l'allongement racinaire, de la biomasse, et une inhibition de la biosynthèse chlorophyllienne (Sharma et Dubey, 2005).

Donc, la présence de plomb dans des plantes induit d'une part la production d'espèces réactives de l'oxygène qui perturbe le statut redox des cellules, causant un stress oxydant (Pourrut. 2008) et d'autre part il peut affecter de nombreux processus physiologiques de la plante et de son état hydrique en provoquant un stress hydrique, notamment par la fermeture des stomates.

- ✓ une contamination de l'environnement aquatique peut avoir des effets sur la croissance d'espèces phytoplanctoniques, sur la respiration, sur le développement et sur le comportement des vertébrés : par exemple la toxicité du plomb varie selon les espèces, les œufs des très jeunes poissons y sont plus vulnérables que les œufs des

adultes). Pour les invertébrés : par exemple les larves sont probablement plus vulnérables au plomb que chez les adultes. Chez les nématodes le plomb peut présenter des troubles de la reproduction.

6.1.2. Risques des rejets des eaux épurées sur la santé de l'homme (stations de Baraki et Beni Messous).

Lorsque les ressources en eau classiques sont rares, les agriculteurs se tournent vers les sources d'eau non conventionnelles. Et, si les rejets des eaux usées épurées sont utilisés dans l'agriculture sans précautions de sécurité nécessaires, les polluants microbiologiques et chimiques peuvent s'accumuler dans les cultures, les produits de l'élevage et le sol et avoir de graves répercussions sur la santé des consommateurs d'aliments et travailleurs agricoles exposés.

L'évaluation des risques sanitaires des rejets des eaux usées traitées des stations de Baraki et Beni Messous, s'effectue par le suivi de la qualité bactériologique de ces eaux durant la période 2014/2015.

L'observation des résultats des analyses montre :

- Des concentrations en Coliformes totaux dépassent largement les valeurs guides de rejet (500 UFC/100 ml) et limites (10 000 UFC/100 ml) définies selon les normes Algériennes (2012).
- Des concentrations en Coliformes fécaux sont supérieures aux valeurs guides de rejet (100 UFC/100 ml) et limites (2000 UFC/100 ml) recommandées par les normes Algériennes (2012).
- Des concentrations en streptocoque fécaux dépassent largement les valeurs guides de rejet (100 UFC/100 ml) préconisées par les normes Algériennes (2012).

6.1.2.1. Cas de rejet vers la mer Méditerranée via les oueds El-Harrach et Beni Messous.

Le rejet des eaux usées traitées des stations d'épuration de Baraki et de Beni Messous vers la mer Méditerranée via les oueds peut engendrer des risques sanitaires car elles contiennent :

- Une forte concentration en Coliformes totaux qui comprennent des espèces et des souches bactériennes qui colonisent l'intestin des animaux homéothermes, mais aussi d'autres qui croissent dans le sol et sur la végétation (CEAEQ, 2015). Ces Coliformes totaux peuvent être des indicateurs de la présence potentielle de virus entériques humains (Locas *et al.*, 2008; Payment et Locas, 2011).
- Une forte concentration en Coliformes fécaux qui sert à détecter une contamination d'origine fécale et la présence de micro-organismes entéropathogènes (Zmirou *et al.*, 1987) et peuvent être, aussi à l'origine des maladies gastro-intestinales relativement graves dont les symptômes sont :diarrhée; crampes abdominales; nausées; vomissements.
- Une forte concentration en streptocoque fécaux qui peut être à l'origine d'angines rouges, d'infections cutanées (impétigo), d'abcès, d'infections broncho-pulmonaires, rhumatisme articulaire aigu (si la maladie n'a pas été traitée étant jeune) chez l'homme. En pathologie vétérinaire, le streptococcus est reconnu responsable de mammites chez la vache et peut alors se retrouver dans le lait en quantité anormale.

6.1.2.2. Cas de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture.

La réutilisation en irrigation des eaux usées épurées peuvent engendrer des problèmes sanitaires, par la transmission des microorganismes pathogènes et l'exposition aux éléments chimiques toxiques aux agriculteurs ou aux ouvriers utilisant cette eau.

Cette transmission peut se produire, soit par :

- L'inhalation de microgouttelettes d'eau contaminée est également possible dans le cas d'irrigation par aspersion. Les travailleurs agricoles et la population environnante seraient alors les plus exposés.
- Ingestion de micro-organismes éventuellement présents à la surface des plantes consommées ; de métaux lourds, certains d'entre eux s'accumulant dans les plantes, et pouvant atteindre des niveaux préjudiciables à la santé.

Un approvisionnement faible en eau traitée pour l'irrigation et un apport en éléments nutritifs essentiels (NO_2^- , NO_3^- . Potassium, Phosphore total, Sulfates, Azote NTK) constituent des intrants indispensables pour le système de production agricole.

Les eaux usées épurées de la STEP de Baraki présentent un taux élevés de concentration en ammonium (2.28 mg/l), donc son inhalation par l'homme peut provoquer

des toux, son contact avec la peau ou les yeux des rougeurs, son ingestion des nausées, des mal de gorge, des vomissements. Aussi en cas d'inhalation il est préférable de rester à l'air frais au repos et de consulter un médecin. En cas de contact avec la peau ou les yeux il faut rincer abondamment avec de l'eau.

De même, les eaux usées épurées de la STEP de Beni Messous présentent un taux élevés de teneurs en NO_2^- (7.8 mg/l), donc son exposition peut provoquer chez l'homme des irritations aux yeux, au nez et à la gorge et peut aussi causer par inhalation, des irritations des poumons et réduire la fonction pulmonaire. Les oxydes d'azote favorisent des problèmes respiratoires, une hyperréactivité des bronches chez les asthmatiques, et une augmentation de la sensibilité des bronches aux infections microbiennes chez les enfants. En cas d'exposition importante, une intoxication aiguë (toux, dyspnée, hémoptysies) est possible.

Les eaux usées épurées de la STEP de Baraki et de Beni Messous présente respectivement:

- une augmentation de concentration de phosphore total (10.7 et 19.5 mg/l) peut causer chez l'être humain une intoxication aiguë (maux d'estomac, vomissement, fatigue, saignement du nez, urines albumineuses), intoxication chronique (caries dentaires, anémies profondes).

- une augmentation de concentration du phosphate (1.78 et 1.9 mg/l), peut causer chez l'homme une ostéoporose ou des problèmes aux reins, de nausées, de crampes d'estomac, et de somnolence. Elle peut provoquer aussi des brûlures de la peau.

- une forte teneur en Chrome total (0.2 et 0.4 mg/l), donc l'exposition ou consommation de ce dernier par l'homme à long terme peut causer une toxicité aiguë (L'ingestion de fortes doses de chrome induit des vertiges, une sensation de soif, des douleurs abdominales, des diarrhées hémorragiques), une toxicité chronique (une irritation, des démangeaisons nasales, une atrophie de la muqueuse nasale, des ulcérations et des perforations du septum nasal, des bronchites, une diminution des fonctions pulmonaires et des pneumonies) et cancers (Le temps de latence des cancers est d'environ 20 ans. Le chromage électrolytique a été accusé d'excès de cancers surtout pulmonaires).

- Une forte concentration en cadmium (< 0.05 mg/l) donc l'exposition à longue durée par l'homme par inhalation peut causer une diminution de la fonction pulmonaire et l'emphysème, des désordres osseux graves, incluant l'ostéoporose et l'ostéomalacie et par ingestion a comme conséquence des atteintes rénales qui peuvent continuer de progresser même après la cessation de l'exposition,

- une forte concentration en bactéries pathogènes (E. Coli) (5.89×10^4 UFC/100 ml et $7,62 \times 10^4$ UFC/100 ml) produit chez l'être humain des toxines responsables de troubles gastro-intestinaux et peuvent causer des diarrhées sanguinolentes, le syndrome hémolytique et urémique.

Conclusion.

Le rejet des eaux usées épurées des stations d'épuration de Baraki et Beni Messous vers la mer Méditerranée via respectivement les Oueds El Harrach et Beni Messous peut causer des problèmes environnementaux. Il ressort que l'impact de ces eaux domestiques urbaines et industrielles est perceptible sur la qualité des eaux de ces oueds. Certains éléments chimiques, microbiologiques et métaux lourds mesurés de ces eaux ont un niveau supérieur par rapport aux normes Algériennes (2012), de l'OMS (1989) et de la FAO (1985). Donc, la mobilité des ces contaminants et leur capacité à s'accumuler aggravent la menace qu'ils posent pour l'environnement.

De plus, l'utilisation de ces eaux constitue un risque pour la santé des agriculteurs, des travailleurs et des consommateurs de la chaîne alimentaire, en raison de la possibilité de contamination microbienne et chimique. En conséquence, ils sont confrontés à des risques accrus pour la santé, dont l'exposition aux agents pathogènes. Ces eaux usées traitées devront donc passer par des techniques d'application convenablement contrôlées, et éventuellement subir un traitement supplémentaire si besoin.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les eaux usées de différente composition et de diverses origines constituent un problème pour la nature lors du rejet sans subir de traitements. Afin de montrer l'intérêt de leur épuration, notre étude de recherche a porté sur la valorisation et les potentialités de la réutilisation des eaux usées traitées des stations d'épuration de Baraki et Beni Messous (région d'Alger), ainsi que l'appréciation des risques sanitaires et de dégradation du milieu naturel.

Les stations d'épuration des eaux usées de la région d'Alger (Baraki et Beni Messous) génèrent des volumes considérables d'eau usées épurées rejetées vers la mer Méditerranée via les oueds El- Harrach et Beni Messous.

Notre étude nous a permis d'apprécier la qualité des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et métaux lourds de ces eaux usées épurées pour une valorisation agricole et en s'assurant du niveau de conformité en comparaison avec les normes Algérienne (2012), OMS (1989) et FAO 1985.

L'observation des résultats des analyses mesurées montre que :

- Les températures enregistrées dans les eaux usées épurées à la station de Baraki (15.1°C) et Beni Messous (16.23 °C) sont incluses dans la fourchette des valeurs limites de rejets directs dans le milieu récepteur et des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (30°C). Une température très élevée des eaux usées épurées dans les deux stations influera beaucoup sur l'oxygène dissous indispensable à la vie aquatique.
- Le pH mesuré dans les eaux usées épurées à la sortie des stations de Baraki (7.75) et Beni Messous (7.27) se situent dans la fourchette des limites de rejets directs et des normes Algériennes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ($6,5 < \text{pH} < 8.5$). Le bon maintien de ce pH dépend donc de la présence des éléments nutritifs dans ces eaux usées épurées.
- La conductivité enregistrée dans les eaux usées épurées à la sortie des stations de Baraki (1432.34 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et Beni Messous (1348,75 $\mu\text{s}/\text{cm}$) se situe dans l'intervalle des normes de rejets directs et des normes Algériennes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (700-3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Une forte minéralisation naturelle (sols) et une présence de polluants dans ces eaux usées épurées augmenteront la teneur en conductivité.

- Les MES des eaux usées traitées à la sortie des stations d'épuration Baraki et Beni Messous sont à la limite de la norme Algérienne (30 mg/l) et celle de l'OMS (70 mg/l) pour l'irrigation. Les MES jouent un rôle majeur dans l'environnement, elles absorbent et transportent de nombreux polluants et contribuent à leurs transferts. En très grande quantité dans ces eaux usées épurées, ces MES constitueront une pollution solide.

- La DBO₅ mesurée dans les eaux usées épurées à la sortie des stations de Baraki (12.38 mg/l) et Beni Messous (8.75 mg/l) sont incluses dans la fourchette habituelle des eaux usées urbaines Algériennes (30 mg/l). La diminution des concentrations de la DBO₅ à la sortie de ces deux stations s'interprète par la décantation de la matière organique et l'enrichissement des bassins en oxygène.

- La DCO enregistrée dans les eaux usées épurées à la sortie des stations de Baraki (43 mg/l) et Beni Messous (20.33 mg/l) sont incluses dans les normes Algériennes (90 mg/l). La diminution de la concentration de la DCO à la sortie de ces deux stations s'interprète également par la décantation de la matière organique et l'enrichissement des bassins en oxygène. Cette DCO est donc représentative de la majeure partie des composées organiques mais également des sels minéraux oxydables (Sulfate, chlorure.....).

Le rapport DCO/DBO₅ à la station de Baraki est supérieur à 3, donc l'effluent est plus ou moins difficilement biodégradable (industrie). Par contre, à la station de Béni Messous le rapport est compris entre 2 et 3, donc l'effluent est urbain domestique.

- Les concentrations des éléments suivants des eaux usées brutes et traitées : Calcium, Magnésium, Sodium, Chlorures, Nitrates, Sulfates et Potassium ne dépassent pas les valeurs limites de rejets directs et indirects dans le milieu récepteur par rapport aux normes Algériennes, OMS et FAO de qualité des eaux destinées à l'irrigation.

Les teneurs des NO₃⁻ permettent selon les normes Algériennes et la FAO (5 mg/l - 30 mg/l) de classer ces eaux comme ayant un degré de restriction à l'usage d'irrigation légère à modéré.

- La teneur des nitrites dans les eaux usées épurées de la station de Baraki (0.1 mg/l) ne dépassent pas les normes admises par la FAO (1 mg/l). Par contre, dans la station de Beni Messous (7.8 mg/l), les nitrites dépassent largement les normes. Dans l'eau les nitrites sont toxiques pour les humains (problèmes respiratoires, affaiblissement...), c'est pour cela que la concentration ne devrait pas dépasser 1 mg NO₂ /l dans les rejets de station d'épuration.

- La concentration des NH_4^+ des eaux usées épurées dans la station de Baraki (2.28 mg/l) dépassent largement la valeur admissible pour les eaux d'irrigation selon l'OMS (2 mg/l). Cela est dû probablement à un processus de dégradation incomplet de la matière organique lié à une insuffisance oxygénation au niveau du bassin d'aération. Par contre, au niveau de la station de Beni Messous, la teneur des NH_4^+ (1.84 mg/l) est dans la fourchette des valeurs admises par l'OMS.

- Les concentrations du phosphore total (P_2O_5) et des phosphates (PO_4) dans les eaux usées épurées à la sortie des stations de Baraki et Beni Messous dépassent les valeurs limites de rejets directs dans le milieu récepteur selon les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation.

Notons que les phosphates sont des facteurs limitant pour lequel il est possible de jouer efficacement pour réduire l'eutrophisation.

- Les concentrations en coliformes totaux des eaux usées traitées au niveau des stations de Baraki ($12,74 \times 10^4$ UFC/100 ml) et Beni Messous ($22,17 \times 10^4$ UFC/100 ml) sont supérieures à la norme recommandée par l'OMS qui est de < 2.2 UFC /100 ml.

- Les concentrations en coliformes fécaux des eaux usées traitées des stations de Baraki ($11,02 \times 10^4$ UFC/100 ml) et Beni Messous ($12,34 \times 10^4$ UFC/100 ml) dépassent largement les normes Algériennes et la concentration limite (< 1000 UFC/100 ml) recommandée par l'OMS pour irrigation de cultures destinées à être consommées crues.

- Les teneurs en streptocoques fécaux des eaux usées traitées des stations de Baraki ($18,94 \times 10^4$ UFC/100 ml) et Beni Messous ($15,38 \times 10^4$ UFC/100 ml) dépassent largement les normes données par l'OMS (< 1000 UFC /100 ml) destinées à l'irrigation.

- Les concentrations en E. Coli des eaux usées traitées de la station de Baraki ($5,89 \times 10^4$ UFC/100 ml) et Beni Messous ($7,62 \times 10^4$ UFC/100 ml) dépassent largement le seuil des eaux destinées à l'irrigation (< 1000 UFC/100 ml), recommandée par l'OMS. Ceci peut être expliqué que les eaux usées traitées de ces deux stations semblent offrir un milieu favorable au développement de cette bactérie.

La présence très importante de ces germes fécaux dans ces eaux usées épurées nous indique une pollution fécale importante d'origine humaine ou animale en amont.

- Aucune concentration des salmonelles dans les eaux usées traitées des deux stations de Baraki et Beni Messous. La recherche de Salmonelle à une importance particulière, sa présence dans l'environnement hydrique est signe d'une contamination fécale.
- Les concentrations en plomb (Pb) des eaux usées traitées des stations de Baraki (4.25 mg/l) et Beni Messous (4.08 mg /l) sont comprises dans les normes Algériennes et de la FAO destinées à l'irrigation, à court (5 mg/l) et à long terme (10 mg/l).
- Les concentrations en Manganèse (Mn) des eaux usées traitées des stations de Baraki (0,09 mg/l) et Beni Messous (0,1 mg/l) répondent aux normes Algériennes et de la FAO destinées à l'irrigation, à court (10 mg/l) et à long terme (0.2 mg/l). Il peut provenir de dépôts de déchets industriels et en plus grande quantité, il peut être indésirable.
- Les teneurs en Chrome totale (Cr) des eaux usées traitées au niveau des stations de Baraki (0.2 mg/l) et Beni Messous (0.4 mg/l) dépassent largement, les normes Algériennes et de la FAO destinées à l'irrigation à long terme (0.1 mg/l), mais elles sont dans la fourchette des valeurs admises à l'irrigation à court terme (1 mg/l). Sous la forme chrome VI et chromates (CrO_4), il est extrêmement toxique.
- Les concentrations en Sélénium (Se) des eaux usées traitées des stations de Baraki et Beni Messous (0.011 mg/l) répondent aux normes Algériennes et de la FAO destinées à l'irrigation, à court et à long terme (0.2 mg/l). L'agriculture n'augmente pas seulement la présence de Sélénium dans le sol, mais aussi les concentrations en sélénium dans les eaux de surface car le Sélénium est transporté dans les eaux d'irrigation.
- Les teneurs en Aluminium (Al) des eaux usées traitées au niveau des stations de Baraki (0.001 mg/l) et Beni Messous (0.002 mg/l) répondent aux normes Algériennes et de la FAO recommandées à l'irrigation, à court (20 mg/l) et à long terme (5 mg/l). S'il est présent de plus en plus dans les eaux, c'est qu'il provient des déchets ménagers ou bien du sulfate d'alumine utilisé dans les stations de traitement des eaux.
- Les concentrations en Cadmium des eaux usées traitées de la station de Baraki et Beni Messous (< 0.05 mg/l) dépassant largement le seuil des valeurs des eaux destinées à l'irrigation à long terme (0.01mg/l) recommandé par la FAO et les normes Algériennes, alors qu'elles sont à la limite des valeurs admises à court terme (0.05 mg/l). Les teneurs du Cadmium supérieures aux normes proviennent des rejets industriels.

Donc, les teneurs physico-chimiques, bactériologiques et métaux lourds des eaux usées traitées diffèrent d'une station à l'autre selon les normes Algériennes, de l'OMS et de la FAO destinée à l'irrigation dont les plus réceptives sont les eaux de la station de Baraki (en cas d'utilisation à court et à long terme).

Les rejets des eaux usées épurées des stations d'épuration de Baraki et Beni Messous vers la mer Méditerranée via respectivement les Oueds El Harrach et Beni Messous peut causer :

- Des problèmes environnementaux importants tels que, l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques causée par l'excès du phosphore total, la toxicité en plomb qui peut menacer la faune et la flore aquatique mettant ainsi en cause la valeur écologique des milieux.
- Des risques sanitaires, par la transmission des coliformes fécaux et streptocoques fécaux qui peuvent être à l'origine des affections morbides, par l'exposition aux éléments chimiques toxiques comme l'ammonium, les nitrites, le phosphore total, les phosphates, le chrome total le cadmium et par la transmission des bactéries pathogènes (E. Coli) en cas de réutilisation de ces eaux épurées en irrigation.

Recommandations

Comme recommandations à ce travail de recherche qui constitue la valorisation des potentialités de la réutilisation des eaux usées épurées pour un développement durable, et en raison des risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement, la réutilisation de ces eaux exige :

- 1°- Une réglementation stricte et des programmes de contrôle, d'évaluation et de conformité fiables.
- 2°- La mise en œuvre d'analyses périodiques pour voir le comportement des polluants afin de définir les zones vulnérables surtout dans le cadre de l'irrigation des terres agricoles.
- 3°- D'améliorer la qualité microbienne et chimique de ces eaux usées épurées par un traitement tertiaire pour assurer l'élimination de la pollution microbiologique.
- 4°- En dernier, sensibiliser les agriculteurs, les ouvriers agricoles qui irriguent à partir de l'eau des oueds d'El- Harrach et Beni Messous, ne connaissant pas le danger de contamination.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

ANDI.,2014.Agence nationale de Développement de l'Investissement ..Wilayad'Alger.,5- 6 pp.

Antolin M A., Pascual I., Garcia C., Polo A., and Sanchez'Diaz M., 2005. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 94.,224-237 pp.

Asano T., 1998. Wastewater reclamation and reuse. *Water quality management librarj.*, 1475 p.

Ayers R S., Westcot D W., 1989. Water quality for agriculture, *Bulletin FAO d'irrigationet de drainage*, No. 29, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Rév. 1.,174 p.

Aymé A., 1956. Contribution à l'étude de la plaine de Mitidja occidentale et de son bordure atlantique. *Bul. Serv. Carte. Géol. D'Algérie.* n°347-362., 50-56 pp.

Bahri A., Houmane B., 1987. Effet de l'épandage des eaux usées traitées et des boues résiduaires sur les caractéristiques d'un sol sableux de Tunisie. *SCIENCE DU SOL* 1987 - Vol. 25/4. PLAISIR-FRANCE.,267-278 pp.

Barthe B., 1999. Gestion collective de l'activité de travail et variation de la vigilance nocturne : le cas d'équipes d'hospitalières de travail en postes de nuit longs. (Thèse de doctorat). Université Toulouse 2., 45 p.

Batton S S., 1990. "Nonaqueousdeacidificationat Princeton, 1982-89: A progress report," *AbbeyNewsl.* 14(5)., 80-82 pp.

Baumont S., 2000. Réutilisation des eaux usées épurées risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. *Inst. D'Aménagement et d'Urbanisme de la région Ile-de-France. L'ORS Ile-de-France. Observatoire régional de santé d'Ile-de-France. École Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse (ENSAT).*, 222 p.

Baumont S., Camard J-P., Lefranc A., Franconi A.,2004. Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. *Rapport ORS.*, 220 p.

Bazza M., Xanthoulis D., 2005. Irrigation avec les eaux usées traitées : Présentation du manuel d'utilisation, réutilisation des eaux usées traitées et des sous-produits : Optimisation, Valorisation & Durabilité. *Séminaire Inter. Tunis 24-25 septembre 2003.*, pp 9.

Bennie &Partners., 1983. Schéma d'aménagement des ressources en eau de la région d'Alger Et du Sébaou. *Mission. B : Evolution des ressources en eau dans l'aire d'étude.*, 1 p.

Benito, V., Devesa, V., Munoz, O., Suner, M.A., Montoro, R., Baos, R., Hiraldo, F., Ferrer, M., Fernandez, M. et Gonzalez, M.J., 1999.Trace elements in blood collected from birds feeding in the area around Donana National Park affected by the toxic spill from the Aznalcollar mine. *Science of The Total Environment*, 242(1-3)., 309-323 p.

Berdai H., Benchokroun T., ElHamouri B.,2004.Epuration et réutilisation des eaux usées à des fins agricoles (Expérience OUARZAZATE) .*Revue H.T.E. N° 129 - Juin 2004.*,30-41 p.

- Berne F et Cordonnier J.,1991.** Traitement des eaux. Edition Technip., 306 p.
- Briefert C et Perraud R.,2001.** Chimie de l'environnement Air, Eau, Sols, Déchets. Edition De Boeck université Bruxelles. Belgique.,115 p.
- Bollag J M., 1998.** Interaction entre les minéraux des sols, les composés organiques et les microorganismes. Ed. Scientifique, Regist n°404, Synposum n°41., 35 p.
- Bouziani M., 2000.** L'eau de la pénurie aux maladies. Ed. IbnKhaldounOran., 117 p.
- Burgin., AJ and Hamilton S K.,2008.** N03- driven sol- production in freshwater ecosystems: Implications for N and S cycling. Ecosystems II., 908-922 pp.
- CEAEQ., 2000.** Recherche et dénombrement des coliformes fécaux; méthode par filtration sur membrane. Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec., 24 p.
- CEAEQ., 2015.** Recherche des coliformes totaux et d'Escherichia coli avec le milieu de culture Colilert: méthode présence/absence. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec., 30 p .
- C.G.G., 1967.** Etude par prospection électrique de la plaine de Mitidja. Compagnie générale de géophysique.Paris. rapport.ANRH.Alger.,5 p.
- Chenini F., Agodzo SK., Huibers FP., Maldonado P.,2005.**Use of Treated Wastewater for Irrigated Agriculture: Proposals for a Comparative Study of Bolivia, Ghana and Tunisia. Sémi. Inter. Réutilisation des eaux usées traitées et des sous-produits : Optimisation, Valorisation & Durabilité. Tunisie 24-25 septembre 2003., 26-31 p.
- CSHPF.,1995.** Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines., 22 p.
- Dajoz R.,2000.**Précis d'écologie. 7 émeédition., 600 p.
- DAPE., 2013.** Direction d'Assainissement et de Protection de l'Environnement /MRE.
- Der HokWV., 2007.** A Framework for a Global Assessment of the Extent of Wastewater Irrigation: The Need for a Common Wastewater Typology. Wastewater Use in Irrigated Agriculture coordinating the Livelihood and Environmental Realities. Eds. CAB Inter. Inter Water Management Institute, and Inter. Devel. Research Centre., 16-29 p.
- DjeddiH., 2007.** L'utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines, mémoire de magistère, université Mentouri Constantine, département des sciences de la nature et de la vie., 56 p.
- Djediat Y., Bouhamadouche M., 1997.** Les phénomènes d'érosion littoral est algérois, Algérie : Aspects hydrodynamiques, sédimentologiques et géotechniques. Engineering geology and the environment. Volume 1. ISBN : 9054108789., 847 p.
- DMRE., 2013.** Direction de la Mobilisation des Ressources en Eau /MRE Bilan Semestriel 2013.
- Dreux P., 1980.** Précis d'écologie. Ed. Presses universitaires de France. Paris., 231 p.

- Edberg SC., EW Rice., RJ Karlin et MJ Allen., 2000.** Escherichia coli : the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology.*, :106S-116S., 88 p.
- Faby JA., Brissaud F., 1997.** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau., 76 p.
- FAO., 1985.** Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage paper 29, Rev. 1., FAO, Rome., 4 p.
- F.N.S.A., 2009.** Fédération Nationale des Syndicats de l'Assainissement et de la maintenance industrielle. Panorama des techniques de traitement des Déchets d'Assainissement, matières de vidange, déchets gras et déchets sableux., 60 p.
- Frank R., 2002.** Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Ed. Scéen CRDP AQUITAINE. BORDEAUX., 171 p.
- Gaujous D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques ; aide-mémoire. Ed. Techniques et documentations. Lavoisier. Paris., 220 p.
- Géohydraulique., 1968-1972.** Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger. Bull. Serv. Carte. Géol. Algérie., 5 p.
- Glangeaud L., 1932.** Etude géologique de la région littorale de la Province d'Alger, Bull. Soc. Géol. Algérie, 2ème Série, n. 8., 350–598 pp.
- Glangeaud L., Aymé A., 1935.** Notice détaillée de la carte géologique au 1/50 000 de l'Arabaa et essai d'hydrologie de la Mitidja. Services de la carte géologique de l'Algérie 2ème série, n°11 ONIG. Alger., 52 p.
- Glangeaud L., 1952.** Histoire géologique de la province d'Alger. IV congrès géologique international. Monographie région d'Alger. Vulnérabilité des nappes souterraines. Mem. Ingénieur. Univ. EchChelf., 27 p.
- Glangeaud L., Aymé A., 1952.** Histoire géologique de la province d'Alger, XIX cong. Géol. Inter, Monogr. Région Algérie, 1ère série, n°25., 129–137 pp.
- Goléa D., Tamrabet L., Kribaa M., Bendhia L., Annab W., 2007.** Effets des boues résiduelles et des déchets de betterave sur les propriétés du sol et la productivité de l'orge (*Hordumvulgare L.*) variété Jaidor. In: Actes du congrès international 'Eau et Déchets'. Université Mohamed I, Oujda, Maroc., 78-79 pp.
- Gomella C et Guerree H., 1978.** Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées. Edition Eyrolles .Paris., 262 p.
- Grosclaude Gérard dir., 1999.** L'eau, tome 1 : Milieu naturel et maîtrise et tome 2 : Usages et polluants. Versailles, Institut National de la recherche Agronomique (Coll. « Un point sur ... »), (ISBN 2-7380-0855-0 et 2-7380-0864-X), 204 -210 pp.
- Guelmami A., 2006.** Dimensionnement d'un ouvrage souterrain par la méthode des éléments finis. Cas de station de métro, Mémoire de magister, université de Badji Mokhtar Annaba, département des mines., 115 P.

Hamadache A., 2014. Principaux itinéraires techniques des principales espèces de grandes cultures pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du Nord (agriculture conventionnelle). Grandes cultures. Ouvrage, Alger., 87 p.

Haslay C., et Leclerc H., 1993. Microbiologie des eaux d'alimentation. Techniques et documentation, Lavoisier, Paris, France., 469 p.

Hartani T., 2004. La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en Algérie Thème 2 Vers une gestion durable de l'irrigation : conséquences sur les options de modernisation. Projet INCO-WADEMED. Actes du séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée. Rabat, du 19 au 23 avril 2004., 11 p.

Harzallah B., 2011. Etude de la biodégradation du 2,5-diméthylphénol par le micro-biote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'IBN ZIAD. Mém. Magister. Microbiologie Appliquée. Univ. Mentouri Constantine., 102 p.

Hébert S., and Légaré S., 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, envirodoqn⁰ ENV-2001-0141, rapport nO QE- 3 annexes., 123-24 pp.

Hurlbut Jr., C.S. et Klein, C., 1982. Manual de Mineralogía de Dana. Editorial Reverté, Barcelona., 564 p.

Journal Officiel de la RADP., 2012. Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012, fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation. Journal N°41(15 juillet, 2012), 3 p.

Kebir T., 2011. Etude de contamination, d'accumulation et de mobilité de quelques métaux lourds dans des légumes, des fruits et des sols agricoles situés près d'une décharge industrielle de l'usine ALZINC. Thèse de doctorat. Université d'Abou BekrBelkaid- Telemcen., 221 p.

Larpen Gourgaud Monique., Michaux Odile., Lrpent JP., Desmases Nathalie., Desmazeaud Michel., Mangin Irène., Masson Florence., Montel MC., et Tailliez Patrick., 1997. Les ferments lactiques et bactéries apparentées In Microbiologie alimentaire Techniques de laboratoire. Larpen J-P. Tec&Doc, Lavoisier., 199-255 pp.

Lehtihet L., 2005. La réutilisation des eaux usées en Algérie : Situation actuelle et perspectives de développement. Communication personnelle., 30 p.

Locas., A., C Barthe., AB Margolin et P Payment., 2008. Groundwater microbiological quality in Canadian drinking water municipal wells. Canadian Journal of Microbiology, 54., 472-478 pp.

Mahan B H., 1987. Química. Curso Universitario. Fondo Educativo Interamericano S. A., 30-35 pp.

Mamadou LN., 2005. Impacts des eaux usées sur l'évolution chimique et microbiologique des sols : étude de cas à Pikine (Dakar-Sénégal). Diplôme d'études supérieures en sciences naturelles de l'environnement. Univ. LAUSANNE., 102 p.

MATE., 2005. Ministère de l'Aménagement Territoire et de l'environnement ; -programme d'Aménagement côtier- Zone côtière Algérois- Gestion intégrée des ressources en eau et assainissement liquide- Tendances et alternative- Avril., 6 p.

Merrill L., 1977. The scavenging of magnesium and other chemical species by biogenic opal in deep sea sediments. *Chem. Geol.* 19., 167- 186 pp.

Messroukh H., 2011. Contribution à l'évaluation et au traitement des eaux usées dans la région d'Ouargla: Cas des composés phénoliques. Mém. Magister. Univ. KasdiMerbahOuargla., 127 p.

Metahri M S., 2012. Elimination simultanée de la pollution azotée phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP EST de la ville de Tizi-Ouzou, thèse de doctorat, université Mouloud Mammeri de Tizi –Ouzou,département des Sciences agronomiques., 6 p.

Mimouni O., 2010. Les eaux de la région d'Alger. Risques de pollution et d'inondation, thèse de doctorat, université des sciences de la technologie Houari Boumdienne, département Science de la terre., 34 p.

Ministère des Ressources en Eau., (2001). Les ressources en eau d'Algérie. Rapport de synthèse. MRE, Alger, Algérie., 73 p.

Ministère des Ressources en Eau., (2006). Les ressources en eau d'Algérie. Rapport de synthèse. MRE, Alger, Algérie., 11 p.

Ministère des Ressources en Eau., (2012). Les ressources en eau d'Algérie. Rapport de synthèse. MRE, Alger, Algérie.,15 p.

OMS., 1983. Détermination des coliformes fécaux dans les bivalves par le test des tubes multiples. N°5. Rev.1.,3 p.

OMS., 1989. L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquiculture : recommandation a visées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.,3-4 p.

ONS., 2003. Office National de Statistique. Annuaire statistique de la wilaya d'Alger., 80 p.

Ouali M., 1999. Précis d'assainissement urbain. Offic. Pub. Univ. Blida., 79 p.

Ouanouki B., Abdellaoui N., Ait Abdallah N., 2009. Application in agriculture of treated wasterwater and sludge from a treatment station. *European Journal of ScientificResearch.* Vol. 27. N° 4. France., 602 – 619 pp.

Ozenda P., 1982. Les végétaux dans la biosphère. Doin.Ed : Paris. 431 p.

Paul E A., and Clark F E., 1989.Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, San Diego., 272 p.

Pourrut B., 2008. Implication du stress oxydatif dans la toxicité du plomb sur une plante modèle, *Vicia faba*. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse., 56 p.

Peterson H G., 1999. Water quality and Micro-irrigation for Horticulture, Agriculture et Agroalimentaire Canada., 4 p.

Plumlee GS., et Ziegler T L., 2003.The medical geochemistry of dust, soils and other earth materials. In: B.S. Lollar (Ed.), *Environmental Geochemistry. Treatise on Geochemistry.*Elservier-Pergamon, Oxford., 264-310 pp.

Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) en coopération avec l'OMS., 2005. Lignes directrices pour l'utilisation des eaux usées municipales dans la région méditerranéenne. Plan d'action pour la méditerranée. Réunion des coordonnateurs nationaux pour le 8 MED POL Barcelone, Espagne, 24 - 27 mai 2005., 73 p.

Ramade F., 2000. Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed. Ediscience international, Paris., 689 p.

Ramade F.,1993. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement .Edition Ediscience., 822 p.

Rejsek F., 2002. Analyse de l'eau : Aspects réglementaire et technique .Ed CRDP d'Aquitaine .France .,358 p.

RGPH.,2008.Recensement Général de la Population et de l'Habitat., 6 p.

Rivoirard R.,1952. Aperçu sur l'hydrologie algérienne. XIX Cong. Géol. inter. Alger., 25 p.

Rodier J., Bazin C., Chambon P., Broutin J P., Hampsaud H et Rodi L.,1996. Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème édition. Edition DUNOD, Paris., 1350 p.

Rodier J., Bazin C., Bourtin J.P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L.,2005. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Ed. Dunod, Paris.8eme edition., 1383 p.

Rodier J., LegubeB., Merlet N.,2009.Analyse de l'eau. 9ème édition. Ed. DUNOD, Paris., 1579 p.

Rodriguez-Gracia.,2004. Étude de la congélation comme technique de traitement des eaux: applications spécifiques A. Thèse de doctorat. L'institut national des sciences appliquées de Toulouse. Université de Toulouse. France. 101 p.

Saadallah.,1984. Tectonique globale et active en Algérie alpine septentrionale: facteurs déterminants pour une approche de la définition de l'aléa sismique. Conférence Internationale sur la Microzonation sismique, Actes de la Conférence, Tome II, pp., 121-135 p.

Seltzer P., 1946. Le climat de l'Algérie. Alger Carbogel., 21 p.

Sharma P., Dubey RS.,2005. Lead toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology 17 (1)., 35-52 p.

SIEE Pollutec.; 2019. Salon international des équipements, des technologies, des services de l'eau et de l'environnement. Organisé du 11 au 14 février.

Sources Nouvelles., 2006. Actualité du secteur eau et assainissement. No. 40, 3.

Suschka J., Ferreira E., 1986. Activated sludge respirometric measurements- Water Research., 20, 2.,137-144 pp.

Tamrabet L., Bouzerzour H., Kribaa M et Golea D., 2003b. Le devenir des boues résiduaires : Réponse de deux graminées fourragères, l'orge et l'avoine, aux apports de boue résiduaire. In: Actes du Colloque international HYDROTOP, Marseille, France., 67-68 pp.

Tarmoul F., 2007. Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel "cas de la lagune de Beni-messous. Mémoire DEUA .Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral., 58 p.

Toubal O., 1986. Phytoécologie, biogéographie et dynamique des principaux groupements végétaux du massif de l'Edough (Algérie Nord orientale). Cartographie au 1/25 000 ème. U.S.T.M. Univ. Grenoble. Doct. 3 èmecycle.,111 p.

Toze S., 1999.PCR and the detection of microbial pathogens in water and wastewaters. Water Res. 33., 3545-3556 pp.

U.N.E.S.C.O (Organisation des Nation Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture),2008. Traitement des eaux usées par lagunage fiche technique. Bureau de l'UNESCO à Rabat, Bureau Multi-pays pour le Maghreb., 8 p.

Vaillant JR., 1974.Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Ed. Eyrolles. Paris., 413 p.

Zmirou., D, JP Ferley., JF Collin., M Charrel et J Berlin., 1987.A follow-up study of gastro-intestinal diseases related to bacteriologically substandard drinking water. American Journal of Public Health, 77., 582-584 pp.

WHO., 2006. world Health Organization Writing Group Nonpharmaceutical interventions for pandemic influenza, international measures., Emerg Infect. Dis.;12:10.3201/eid1201.051370., 81-87 pp.

www.hc-sc.gc.ca

<http://www.ona.dz/SME.html>

<http://www.dknews-dz.com/article/35590-bilan-de-la-production-agricole-7-7-de-taux-de-croissance-enregistre-a-alger-en-2014.html>