

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



Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des sciences Biologiques et Agronomiques
Département d'Agronomie



Mémoire de fin d'études

En vue d'obtention du Diplôme de Master en Agronomie

Spécialité : Traitement et Valorisation des Ressources Hydriques

Thème

**Suivi de la qualité des eaux usées traitées de la STEP
de BARAKI pour une réutilisation agricole**

Réalisé par :

M^{elle} LOUAGUENOUNI Kahina

Soutenu devant le jury composé de :

M ^{me} BENAHMED DJILALI A.	Maitre de conférences	UMMTO	Présidente
M ^{me} BEROUANE N.	Maitre assistante	UMMTO	Examinatrice
Mr. METAHRI Mohamed Saïd	Maitre de conférences	UMMTO	Promoteur

2016-2017

***À TOUTES LES PERSONNES QUE JE PORTE DANS LE CŒUR
ET QUI SE RECONNAITRONT CAR ELLES EN FONT AUTANT.***

Remerciements

Mes vifs remerciements vont d'emblée à Dieu le tout puissant qui m'a doté d'une grande volonté et d'un savoir adéquat pour mener à bien ce modeste travail. Mes remerciements sont adressés également à mes chers parents pour tous les sacrifices consentis à mon égard et leur énorme soutien.

A tous mes proches amis (e).

A mon encadreur, en l'occurrence : Mr METAHRI Mohammed Saïd, qui m'a inculqué une grande confiance, m'a orienté dans le bon sens quant à l'élaboration de ce projet, sa rigueur pour le travail bien fait et ses suggestions pertinentes.

Je tiens aussi à remercier vivement Monsieur ALIOUA, chef de services assainissement au niveau de la Direction des Ressources en Eau de la wilaya d'Alger, pour sa disponibilité, sa gentillesse et qui a accepté de m'accueillir en stage au sein de son organisme.

Je voudrai remercier également tout le personnel de la station d'épuration de Baraki et le personnel de la SEAAL pour leurs collaborations en mettant à ma disposition toutes les données nécessaires.

Mes plus vifs remerciements s'adressent aussi à tous les cadres du Ministère des Ressources en Eau qui m'ont ouvert toutes les portes du secteur et qui m'ont fourni toutes l'aide nécessaire pour la réalisation de ce mémoire. Je tiens à exprimer aussi mes vifs remerciements à :

Mme BENAHMED DJILLALI qui a accepté de présider le jury de soutenance, qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde et sincère reconnaissance.

Mme BEROUANE, pour tout ce qu'elle a pu m'apprendre durant mon parcours universitaire et d'avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner et de juger ce travail

L'ensemble de nos enseignant, tout le personnel de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'université de Mouloud Mammeri de nous avoir permis d'acquérir notre savoir et nos expériences .

Enfin, je ne pourrais finir ces remerciements sans penser à ma famille dont l'affection, l'amour, le soutien et l'encouragement constants m'ont été d'un grand réconfort et ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

À tous, encore une fois, un grand merci

Liste des abréviations

CE : Conductivité

CEC : capacité d'échange Cationique

CRAAQ : centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec

DBO : demande biochimique en oxygène

DCO : demande chimique en oxygène

DAPE : direction de l'assainissement et de protection de l'environnement

EB : Eau brute

EUE : eaux usées épurées

EU : eaux usées

EUT : eaux usées traitées

FAO : organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

Ha : hectare

MES : matières en suspension

MM : matières minérales

MO : matière organique

MRE : ministère des ressources en eau

MS : matière sèche

MV : matières volatiles

MVS : matières volatiles en suspension

OIEau : office international de l'eau

OMS : organisation mondiale de la santé

ONA : office national d'assainissement

ppm : partie par million

REU : réutilisation des eaux usées

SAR: sodium adsorption ratio

SEAAL: société des eaux et d'assainissement d'Alger

STEP: station d'épuration

TDS: total dissolved solids

Liste des tableaux

TABLEAU 1: CLASSES DE TURBIDITE USUELLES	3
TABLEAU 2: GUIDE POUR L'INTERPRETATION DE LA QUALITE D'UNE EAU D'IRRIGATION (FAO, 1985).....	13
TABLEAU 3: DEGRE RELATIF DE DURETE DE L'EAU SELON LA QUANTITE DE CARBONATE DE CALCIUM	13
TABLEAU 4 : ABSORPTION EN NPK (EN %) EN FONCTION DU MODE D'IRRIGATION (FAO/RNEA, 1992)	14
TABLEAU 5 : NORMES DE REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES (MRE ,2014).....	18
TABLEAU 6 : LISTE DES CULTURES POUVANT ETRE IRRIGUEES AVEC DES EAUX USEES EPUREES	21
TABLEAU 7 : PROGRAMME D'EXPLOITATION (M.R.E., 2016)	26
TABLEAU 8 : PROGRAMME DE TRAVAUX (M.R.E, 2016).....	26
TABLEAU 9 : PROGRAMME D'ETUDE DONT LA PRODUCTION D'EAU EPUREE POTENTIELLEMENT REUTILISABLES (M.R.E., 2016).....	27
TABLEAU 10 : STEP EN EXPLOITATION DONT LA PRODUCTION D'EAU EPUREE EST POTENTIELLEMENT REUTILISABLE (M.R.E., 2016)	27
TABLEAU 11: STEP EN COURS DE REALISATION DONT LA PRODUCTION EN EAU EPUREE EST POTENTIELLEMENT REUTILISABLE (M.R.E., 2016)	28
TABLEAU 12: LA PLUVIOMETRIE DANS LA WILAYA D'ALGER (M.R.E. 2013)	31
TABLEAU 13: LES VALEURS DE LA DOTATION DES DIFFERENTES CHARGES (DRE, 2017). ..	40
TABLEAU 14 : LES VALEURS DES CHARGES HYDRAULIQUE (DRE, 2017).	40
TABLEAU 15: LES VALEURS DES CHARGES POLLUANTES (DRE, 2017).	41
TABLEAU 16 :RESULTATS D'ANALYSES DES BOUES RESIDUAIRES	51

Liste des figures

FIGURE 1 : LOCALISATION DES CONTROLES ET DES ANALYSES	16
FIGURE 2 : VOLUME ANNUEL DES EAUX USEES RECYCLEES PAR HABITANT.....	22
FIGURE 3 : COMPARATIF DES QUANTITES D’EAUX USEES GENEREES, EPUREES ET REUTILISEES.....	24
FIGURE 4 : COMPARATIF DES TAUX DES EAUX USEES EPUREES ET REUTILISEES.....	24
FIGURE 5 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DE LA WILAYA D’ALGER.	29
FIGURE 6 : STATIONS D’EPURATION EN EXPLOITATION DE LA WILAYA D’ALGER	34
FIGURE 7 : VUE AERIENNE DE LA STEP DE BARAKI	35
FIGURE 8 : STATION D’EPURATION DES EAUX USEES DE BARAKI (1ERE ET 2EME TRANCHES)	36
FIGURE 9 : PLAN D’IMPLANTATION DE LA 1ERE ET 2EME TRANCHES DE LA STATION D’EPURATION DE BARAKI.....	37
FIGURE 10 : COLLECTEUR DE BABA ALI DN 3300.....	39
FIGURE 11: COLLECTEUR RIVE GAUCHE DN 3600 DEPUIS SRG2	39
FIGURE 12: VARIATION DU PH DE L’EAU EPUREE.....	45
FIGURE 13: VARIATION DES NITRATES DE L’EAU EPUREE (MG/L).....	46
FIGURE 14: VARIATION DU PHOSPHORE TOTAL DE L’EAU EPUREE (MG/L).....	47
FIGURE 15: VARIATION DE LA DBO5 DE L’EAU EPUREE (MG O2 /L).....	48
FIGURE 16: VARIATION DE LA DCO DE L’EAU EPUREE (MG O2 /L).	49
FIGURE 17 : VARIATION DES MATIERES EN SUSPENSION DE L’EAU EPUREE (MG/L).....	49
FIGURE 18: VARIATION DE LA CONDUCTIVITE (MS/CM).	50
FIGURE 19 : VARIATION DES METAUX DANS LES BOUES SECHES	52

Sommaire

Introduction générale

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES

Introduction	1
1. Définition des eaux usées	1
2. Origine des eaux usées	1
➤ Les eaux usées domestiques	1
➤ Les eaux usées industrielles	1
➤ Les usées eaux agricoles	2
➤ Les eaux pluviales	2
3. Paramètres physico-chimique et microbiologiques des eaux usées	2
3.1 Paramètres physiques	2
3.1.1 La température	2
3.1.2 Turbidité	2
3.1.3 Matières en suspension	3
3.2 Paramètres chimiques	3
3.2.1 Potentiel Hydrogène	3
3.2.2 Oxygène dissous	3
3.2.3 La conductivité électrique	4
3.2.4 Demande biologique en oxygène	4
3.2.6 La biodégradabilité	4
3.2.7 Les nutriments	5
➤ L'azote	5
➤ Phosphore	5

3.3 Paramètres biologiques	6
3.3.1 Les helminthes.....	6
3.3.2 Les bactéries.....	6
➤ Les coliformes totaux et coliformes fécaux	6
➤ Les streptocoques fécaux et salmonelles	7
Conclusion	7

CHAPITRE II : VALORISATION AGRICOLE DES EFFLUENTS TRAITES DE STEP

Introduction	8
1. Définition de la réutilisation	8
2. Les types de réutilisation	9
2.1. Réutilisation directe	9
2.2. Réutilisation indirecte	9
➤ Ressource naturelle peu disponible	9
➤ Difficulté de rejet direct	9
➤ Valorisation des nutriments.....	10
3. Avantages de la réutilisation des eaux usées traitées.....	10
4. Méthodologie d'utilisation des eaux usées épurées dans l'hydro agricole	11
5. Qualité des eaux usées épurées	12
5.1. Principaux critères d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation.....	12
5.1.1. La salinité.....	12
5.1.2. Sodium.....	12
5.1.3. Alcalinité	13
6. Choix du système d'irrigation	13
6.1. Système d'irrigation et efficacité d'absorption de N, P et K.....	14
7. Stratégie pour protéger la santé humaine et l'environnement	14

8. Contrôle des EUE destinées à l'irrigation	15
9. Exigence au niveau microbiologique pour la REUE en agriculture	17
9.1. Normes actuellement en usage	17
9.1.1. Normes et critères OMS et FAO.....	17
9.1.2. Normes et réglementation algérienne	19
➤ Loi.....	19
➤ Décret.....	19
➤ Arrêtés.....	19
9.1.3. Normes microbiologiques et critères de l'USEPA	20
10. Liste des cultures autorisées	20
11. La réutilisation dans le monde.....	22
11.1. La REUE dans quelques pays méditerranéens.....	23
11.2. Situation de la réutilisation des EUE en Algérie.....	24
➤ Situation des stations d'épurations	24
➤ Situation actuelle de La réutilisation.....	25
➤ Perspectives de réutilisation des EUE en agriculture.....	27
Conclusion	28

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODOLOGIE

1. Situation géographique de la ville d'Alger	29
2. La population	29
3. Taux d'accroissement.....	29
4. Climat	30
5. Pluviométrie	30
6. Le relief.....	32
7. La pédologie	33

8. Les Steps au niveau de la wilaya	33
9. Présentation de la STEP de Baraki	35
9.1. Situation géographique	35
9.2. Description et caractéristiques de la station	36
➤ La filière initiale de traitement des eaux est de type boues activées à moyenne charge et comporte les étapes suivantes	37
➤ Filière initiale de traitement de boues	38
9.3. Les caractéristiques techniques de la STEP	38
9.4. Arrivée de l'eau usée à la station	39
9.5. Capacité de traitement	40
➤ Filière de traitement des eaux.....	40
➤ Charges hydrauliques	40
➤ Charges polluantes.....	41
9.6. Caractéristiques de la situation de l'agriculture de la périphérie de la STEP de Baraki	41
9.7. Infrastructures d'irrigation et du stockage d'eau	42

CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSION

1. Introduction.....	44
2. Traitement des eaux résiduaires urbaines	44
3. Caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux épurées	44
3.1. Prélèvement de l'eau épurée	45
3.2. Le pH.....	45
3.3. Les Nutriments	46
3.3.1. L'azote	46
3.3.2. Le phosphore.....	47
3.4. La charge organique.....	48

3.5. Les matières en suspension	49
3.6. La conductivité	50
3.7. Critères de qualité biologique	50
3.8. Les métaux lourds.....	51
Conclusion	52

Conclusion générale

Resumé

Introduction générale

L'importance de la ressource hydrique pour la consommation humaine, la production agroalimentaire, l'industrie, le transport, les loisirs et les écosystèmes n'est plus à démontrer.

A l'heure actuelle, la rareté et l'irrégularité des ressources en eau constitue une problématique préoccupante dans la quasi-totalité des régions de notre pays.

Cette situation rend nécessaire l'adoption d'une nouvelle approche intégrée qui tient compte de la gestion de la demande et le recours à l'utilisation des ressources en eaux non conventionnelles (dessalement d'eau de mer et réutilisation des eaux usées épurées).

La réutilisation des eaux usées épurées est une pratique très répandue dans le monde et essentiellement dans les régions affectées par des pénuries de ressources en eau et/ou par le stress hydrique.

En général, la principale motivation qui justifie un projet de réutilisation des eaux usées épurées est de réaliser des économies d'eau de première main ou accroître la ressource.

Cette motivation peut aussi être renforcée par des objectifs de protection du milieu récepteur : cours d'eau, plans d'eau, eaux littoral, voir les eaux souterraines qui, autrement, auraient pu être pollués par les rejets des stations d'épuration.

L'agriculture en Algérie connaît des difficultés en matière d'irrigation. L'eau destinée à cet effet est insuffisante et le recours à des solutions alternatives afin de compenser le déficit est indéniablement indispensable. Ainsi, la réutilisation des eaux usées traitées (EUT) figure parmi les options de la stratégie nationale de mobilisation des ressources en eaux (MREE, 2016).

L'objectif de notre travail consiste à étudier la qualité physico-chimique, chimique et bactériologique des eaux usées de la station de Baraki, pour une éventuelle réutilisation dans le domaine de l'agriculture, le mémoire comporte deux parties :

- Partie bibliographique qui contient la partie théorique.
- Partie expérimentale permettant l'identification des divers paramètres physico-chimique, chimique et bactériologique.

Introduction

On entend par pollution des eaux tout déversement, écoulement, dépôt direct ou indirect d'eaux ou de matières et plus généralement tout fait susceptible d'altérer la qualité des eaux de surface, souterraines ou marines.

1. Définition des eaux usées

C'est des eaux souillées par une quelconque utilisation et toute eau circulant dans le réseau d'évacuation. Elles peuvent être de types domestiques, commerciaux, industriels, pluviaux ou agricoles.

2. Origine des eaux usées

Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue quatre catégories d'eaux usées :

➤ Eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains, des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents, de graisses appelées eaux grises et de toilette chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires (Metahri, 2012).

➤ Eaux usées industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques. Selon leur origine industrielle elles peuvent également contenir :

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

Avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux usées industrielles doivent faire l'objet d'un traitement. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations (Metahri, 2012).

➤ **Eaux agricoles**

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 agricoles issues de terres cultivées chargés d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils 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 des retenues (Metahri,2012)..

➤ **Eaux de ruissellement :**

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulés polluants atmosphériques, poussières, débris, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluies, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique (Metahri, 2012).

3. Paramètres physico-chimique et microbiologiques des eaux usées

3.1 Paramètres physiques

3.1.1 Température

La température des eaux est fortement influencée par les conditions environnementales liées à la position géographique de la localité, à la géologie des terrains traversés, à l'hydrologie et surtout au climat. Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision.

En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, et dans la détermination du pH (Rodier et al., 2005).

3.1.2 Turbidité

Elle désigne la teneur d'un liquide en matières qui le troublent. Elle est causée par des particules en suspension qui diffusent ou réfléchissent la lumière. En relation avec la mesure des matières en suspension, elle donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales d'origine minérale ou organique. (voir le tableau n°1)

Tableau 1:Classes de turbidité usuelles

Turbidité (NTU)	classe de l'eau
NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

Source: ONA

Une importante turbidité de l'eau entraîne une réduction de sa transparence qui réduit la pénétration du rayonnement solaire utile à la vie aquatique (photosynthèse).

3.1.3 Matières en suspension

Les MES sont des particules en suspension dans l'eau, d'origine organique ou minérale. Elles se subdivisent en 2 groupes :

- Les matières volatiles en suspension (MVS) représentent la fraction organique des matières en suspension; elles sont mesurées par calcination à 550°C, d'un échantillon, dont on connaît déjà la teneur en MES; elles constituent environ 70 - 80 % des MES pour les eaux usées urbaines.
- Les matières minérales (MM), c'est la différence entre les MES et MVS; elles représentent donc le résidu de la calcination et correspondent à la présence des sels, silices, poussières par exemple.

$$\text{MES (mg/l)} = \text{MM (mg/l)} + \text{MVS (mg/l)}$$

3.2 Paramètres chimiques

3.2.1 Potentiel Hydrogène

Le pH mesure la concentration des ions H⁺ dans l'eau. La valeur du pH de l'eau représente son acidité et son alcalinité.

L'influence du pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les métaux dont il peut diminuer ou augmenter la disponibilité et donc la toxicité.

3.2.2 Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques.

La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu.

La concentration en oxygène dissous est exprimée en mg O₂/l (Rejsek, 2002).

3.2.3 La conductivité électrique

Ce paramètre mesure la capacité d'un liquide à transmettre un courant électrique à une température précise; la mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...). (Hamadech, 2006).

3.2.4 Demande biologique en oxygène

La demande biochimique en oxygène (DBO₅), exprimée en mgO₂/l, permet l'évaluation des matières organiques biodégradables dans les eaux à 20 °C et à l'obscurité, pendant 5 jours pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau usée. Pour être complète, l'oxydation biologique demande un temps de 21 à 28 jours. On obtient alors la DBO ultime. (Degremont, 1978).

3.2.5 Demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène (DCO), exprimée en mg d'O₂/l, correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique et dans des conditions définies la matière organique et inorganique contenue dans l'eau. Elle représente donc, la teneur totale des matières oxydables présentes dans l'eau. (Degremont, 1978)

La valeur du rapport DCO/DBO indique le coefficient de biodégradabilité d'un effluent, il permet aussi de définir son origine (Suschka et Ferreira, 1986). Généralement la valeur de la DCO est :

DCO = 1.5 à 2 fois DBO	Pour les eaux usées urbaines ;
DCO = 1 à 10 fois DBO	Pour tout l'ensemble des eaux résiduaires ;
DCO > 2.5 fois DBO	Pour les eaux usées industrielles.

La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO₅ et la DCO est donnée par l'équation suivante :

$$\text{MO} = (2 \text{ DBO}_5 + \text{DCO})/3$$

3.2.6 Biodégradabilité

C'est un facteur qui traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé sous l'action des microorganismes et qui nous permet de déterminer le choix du traitement à adopter. (khacheba , 2004)

Biodégradabilité = $K = DCO/DBO_5$

- Si $K < 1,5$ \Rightarrow L'effluent est biodégradable;
- Si $1,5 < K < 2,5$ \Rightarrow L'effluent est moyennement biodégradable;
- Si $K > 2,5$ \Rightarrow L'effluent n'est pas biodégradable.

3.2.7.Nutriments

➤ Azote

Dans les eaux usées urbaines l'azote est très présent sous forme organique et ammoniacal (NH_4^+). On constate le plus souvent une faible teneur voire une absence de nitrites (NO_2^-) et de nitrates (NO_3^-). (Baumont , 2009)

- Azote Kjeldahl (NK) = Azote ammoniacal + Azote organique ;
- Azote global = Azote de kjeldahl + Nitrites + Nitrates.

➤ Phosphore

Dans les eaux urbaines, le phosphore provient environ pour moitié des rejets humains et pour moitié de l'utilisation des détergents (lessives). (Baumont , 2009)

On distingue :

- Phosphore organique: résidu de la matière vivante, organophosphoré (ATP, ADP, AMP, phospholipides);
- Phosphore minéral: essentiellement constitué d'orthophosphates (PO_4^{3-}) qui représente 50 % de la totalité contenue dans les eaux usées urbaines.

3-2-8.Métaux lourds

Les métaux lourds ou éléments traces sont des éléments ayant une densité supérieure à $4,6 \text{ g/m}^3$ ils sont en concentration dans les êtres vivants à moins de 1‰ certaines sont essentiels à la vie, ce sont les oligo-éléments (Le Clech, 1998).

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/l}$) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces (Djeddi ,2006).

Ils proviennent de différentes sources qui contribuent plus ou moins à enrichir les eaux en micropolluants. Les différentes sources par ordre croissant de contribution sont : la sédimentation dans les tuyaux qui conduisent les eaux usées et les eaux de pluie, les dépôts atmosphériques, les eaux de ruissellement, la circulation routière, les produits chimiques introduits dans les stations de traitement, les bâtiments, les eaux domestiques, les eaux industrielles et en fin le reste est inconnu (Jalby, 2007).

3.3 Paramètres biologiques

Ces Organismes présents en grande quantité dans les eaux usées et qui peuvent provoquer des maladies (virus, bactéries, protozoaires, champignons.).(Khacheba , 2004).

3.3.1 Helminthes

Ce sont des vers parasites internes du tube digestif de l'homme; ils sont fréquemment rencontrés dans les eaux usées et le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10^1 à 10^3 par litre.

Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. (Edeline F., 1980).

3.3.2 Bactéries

Les bactéries sont couramment recherchées dans l'eau, principalement comme témoins de contamination fécale (Baumont, 2009).

L'OMS en 1979 a choisi plusieurs témoins répondant à certaines exigences; il s'agit des coliformes et des streptocoques fécaux.

Dans 100ml d'eau usées urbaines sont dénombrés le plus souvent 10^7 à 10^8 coliformes totaux et 10^6 à 10^7 coliformes fécaux. (Champiat et Larpent , 1988).

➤ Coliformes totaux et coliformes fécaux

La recherche et le dénombrement de l'ensemble des coliformes (coliformes totaux), est capital pour la vérification de l'efficacité d'un traitement désinfectant. (Edeline , 1980).

Les coliformes fécaux, sont un sous-groupe des coliformes totaux: Ce sont des bâtonnets Gram (-), aérobies et facultativement anaérobies (ex. *Escherichia coli*). (Champiat et Larpent , 1988).

➤ Les streptocoques fécaux et salmonelles

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries /100 ml, dont 10^3 sont pathogènes. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonelles dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. (Champiat et Larpent, 1988).

Conclusion

Les conséquences de la pollution des eaux sont préjudiciables à tous les niveaux : Sanitaire, économique et écologique ce phénomène étant étroitement lié aux rejets de polluants complexes que variés. Il convient pour endiguer ce phénomène, de généraliser le traitement de tous les rejets d'eaux usées.

Introduction

Pour toutes les régions du monde souffrant de stress hydrique, le recours à la réutilisation des eaux usées épurées est devenu une opération incontournable.

Les démographies galopantes des pays en développement, l'effet de la pollution sur les eaux de surface et souterraines, la distribution inégale des ressources en eau et les sécheresses à répétitions, ont forcé les agences de l'eau à rechercher de nouvelles ressources innovatrices d'approvisionnement. Les eaux usées épurées deviennent une autre manière de répondre à la demande en eau, associant l'approvisionnement en eau et en nutriments au développement de systèmes d'égouts et aux questions d'urbanisation.

Etant donné que plus de 70% de l'eau est utilisée par l'agriculture, les 30% restant, partagés entre les besoins de consommation humaine, commerciale et industrielle. Il est actuellement reconnu le grand potentiel de la réutilisation des eaux usées en agriculture, en particulier dans les zones de pénurie (Asano 1991). Ces techniques ont connues un essor certain dans beaucoup de pays (Espagne, Mali, Tunisie, Maroc, Grèce USA...), à titre d'exemple en Inde 25 % des eaux usées sont utilisé pour l'irrigation, en Afrique du Sud 24% et 67% pour un pays du moyen orient.

Les systèmes d'utilisation d'eaux usées épurées, lorsqu'ils sont correctement planifiés et contrôlés peuvent avoir un impact environnemental et sanitaire positif, à côté du rendement agricole (Shelf et Kanarek, 1995).

La réutilisation des eaux usées ou bien le recyclage de l'eau consiste à récupérer l'eau après plusieurs traitements en éliminant les impuretés afin de stocker et d'employer cette eau à nouveau.

Elle a un double objectif :

- Réduire la pression sur les ressources conventionnelles et économiser l'eau.
- Diminuer le volume des rejets polluants. La réutilisation peut être effectuée en toute sécurité quand la filière de traitement est adaptée (Metahri, 2015).

1. Définition de la réutilisation

La réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques.

2. Les types de réutilisation

On distingue deux types de réutilisation :

2.1.Réutilisation directe

La réutilisation directe d'eau existe surtout dans le secteur industriel, où d'importants efforts sont faits pour réduire les prélèvements et les rejets d'eau. Dans la mesure où le second usage est identique au premier, on réserve à cette pratique le terme de recyclage plutôt que de réutilisation.(tecsult,2008)

2.2.Réutilisation indirecte

La plupart des systèmes d'assainissement rejettent leurs effluents dans les eaux de surface, qui sont elles-mêmes prélevées en aval pour d'autres usages : industrie, irrigation, eau potable. L'on estime ainsi qu'à Paris en période d'étiage la Seine serait constituée pour moitié d'eau issue des dispositifs d'assainissement. Ce type de réutilisation passe par le milieu naturel : l'eau est prélevée au cours de son cycle hydrologique et a en quelque sorte « perdu son identité » : il s'agit donc de réutilisation indirecte.(tecsult,2008)

En fait le débouché potentiel majeur pour la réutilisation directe d'effluents urbains reste l'irrigation.

Trois motifs principaux peuvent conduire à la réutilisation en irrigation :

➤ **Ressource naturelle peu disponible**

L'eau usée étant d'abord de l'eau, sa réutilisation prend tout son intérêt lorsque la ressource naturelle est rare (climats arides, milieux insulaires)

➤ **Difficulté de rejet direct**

Dans le cas de cours d'eau ayant un débit d'étiage très faible, le rejet d'effluents constitue toujours une source majeure de pollution, même si le traitement est très poussé. D'autres exemples concernent les rejets en milieu karstique (risque de pollution des eaux souterraines) ou en bord de mer (zone touristiques ou conchylicoles). Dans ces cas il est possible d'envisager une réutilisation agricole des eaux usées, le complexe sol-plante servant alors de procédé d'épuration extensif complémentaire. L'un des avantages est que la période sensible (étiage) est aussi celle qui correspond aux besoins en eau maximum des plantes.(tecsult,2008)

➤ Valorisation des nutriments

Les eaux usées domestiques contiennent des éléments fertilisants habituellement utilisés en agriculture : azote, phosphore, potassium, calcium... Il peut être séduisant de considérer que la réutilisation est une manière de valoriser ces éléments. Toutefois cet apport n'est pas un élément décisif dans l'adoption de projets de réutilisation, car, par rapport aux besoins des plantes, les nutriments sont soit surabondants (azote et phosphore), soit pas assez (potassium).

Le stockage intermédiaire des eaux usées (en partie assainies) peut s'effectuer dans des nappes phréatiques, des lacs ou des réservoirs artificiels. Le taux de dilution des eaux usées réutilisées avec l'eau des ressources naturelles varie de 16 à 40 %. Aucun impact négatif sur la santé humaine de ce type d'eau réutilisée n'a jamais été détecté. (tecsult, 2008)

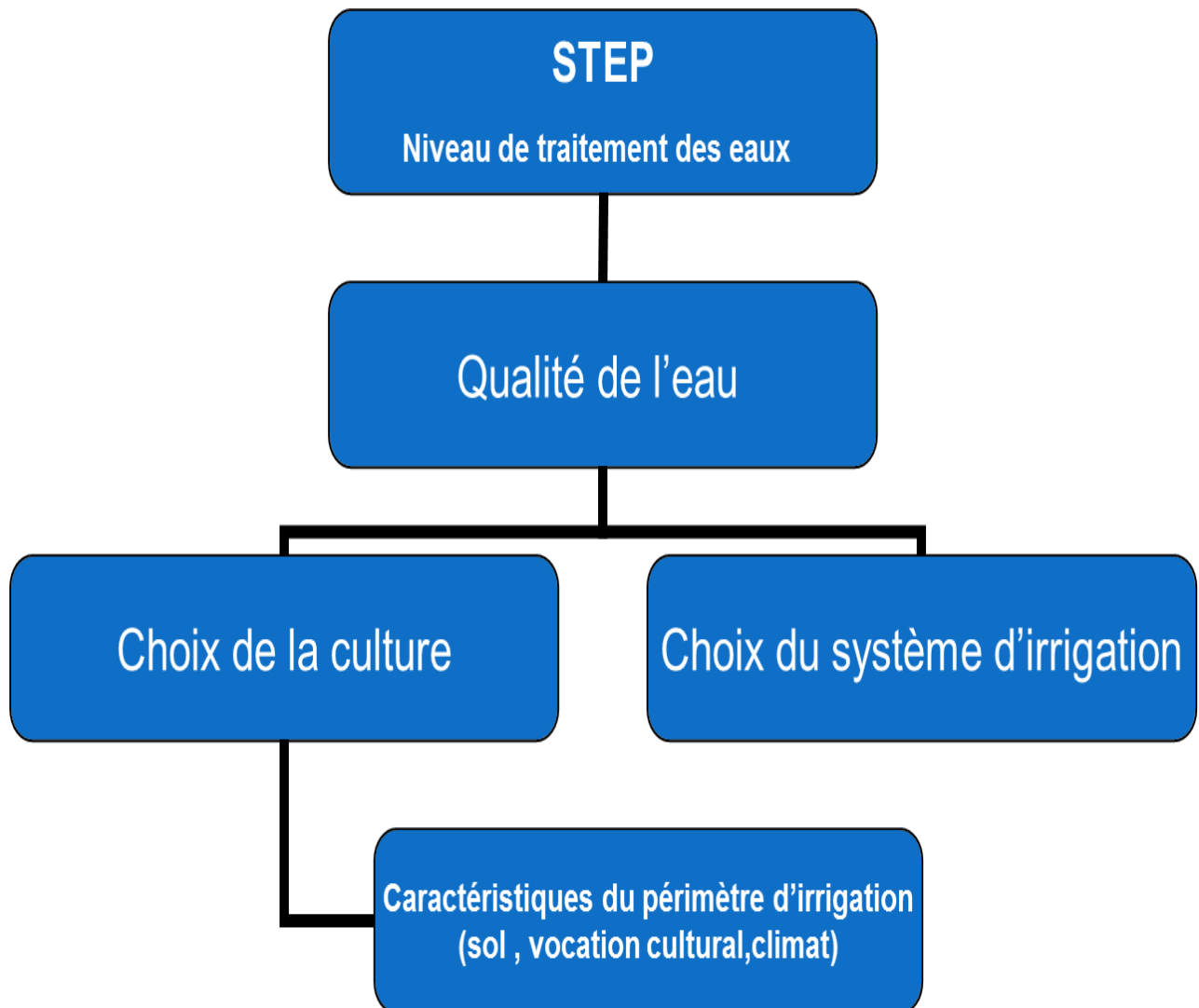
3. Avantages de la réutilisation des eaux usées traitées

Pour les agriculteurs, l'incitation principale est le bénéfice attendu de l'utilisation de l'eau usée en irrigation, ainsi qu'elle est une source fiable même en années de sécheresse.

Les avantages peuvent être brièvement récapitulés comme suit :

- Economie d'eau claire ;
- Economie des fertilisants ;
- Accroissement des rendements ;
- Protection de l'environnement ;
- Création d'emplois (Metahri, 2012).

4. Méthodologie d'utilisation des eaux usées épurées dans l'hydro agricole



5. Qualité des eaux usées épurées

5.1. Principaux critères d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation

Les nutriments que contiennent ces eaux (azote, potassium, phosphore, zinc, bore et soufre, par exemple) doivent être présents à des concentrations appropriées, faute de quoi ils peuvent être préjudiciables aux cultures et/ou à l'environnement.

Par exemple, les eaux usées renferment souvent de fortes concentrations d'azote. Or, si les végétaux ont besoin d'azote pour se développer, une quantité excessive de cet élément peut stimuler exagérément la croissance, retarder la maturité et donner des produits de piètre qualité

5.1.1. Salinité

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. (M.R.E., 2007)

5.1.2. Sodium

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation ; le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. (M.R.E., 2007)

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'adsorption du sodium (RAS). Le RAS décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation.

Le RAS (le sodium, le calcium, et le magnésium sont exprimé en meq/l) :

$$\text{RAS} = \text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) / 2}$$

Pour faciliter l'appréciation de la qualité de l'eau d'irrigation du point de vue de la salinité, on peut se référer au tableau N° 2.

Tableau 2: Guide pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (FAO, 1985)

Paramètre		Unité	Guide pour la qualité d'eau		
			Aucun risque	Risque léger à modéré	Risque élevé
Salinité	CE	dS/cm	< 0,7	0,7-3,0	> 3,0
	TDS	mg/l	< 450	450-2 000	> 2 000
Sodium (Na)	Irrigation de surface	SAR	< 3	3-9	> 9
	Irrigation par aspersion	SAR	< 3	> 3	
Chlorure (Cl)	Irrigation de surface	még/l	< 4	4-10	> 10
	Irrigation par aspersion	még/l	< 3	> 3	

5.1.3. Alcalinité

L'alcalinité est une mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides, en d'autres termes, l'alcalinité mesure la résistance à tout changement de pH. Le pouvoir neutralisant de l'eau est attribué principalement à la présence de bicarbonates de calcium dissous dans l'eau, généralement exprimée en mg/l de carbonate de calcium (CaCO₃). (Edeline, 1980)

Tableau 3: Degré relatif de dureté de l'eau selon la quantité de carbonate de calcium

Dureté (ppm CaCO ₃)	Degré relatif de dureté
0-50	Très douce
50-100	douce
100-200	Modérément douce
200-300	Dure
300 et plus	Très dure

Source: CRAAQ, 2003

6. Choix du système d'irrigation

Moyennant quelques précautions et adaptations, les différents modes d'irrigation (irrigation de surface, aspersion et goutte à goutte) pourraient être utilisés avec les eaux usées épurées. Ces

adaptations sont nécessaires en raison de la charge et la qualité particulière de l'eau épurée. Tous les systèmes présentent des avantages et des inconvénients mais généralement les contraintes sanitaires imposent le choix d'irrigation (MRE, 2012).

6.1. Système d'irrigation et efficacité d'absorption de N, P et K

L'efficacité d'absorption potentielle d'éléments nutritifs par une plante diffère avec le système d'irrigation. En général, plus l'efficacité d'un système d'irrigation est élevée, plus élevée est également l'efficacité de prélèvements de nutriments. Pour un système d'irrigation bien conçu et avec un bon programme d'irrigation, le potentiel d'absorption en N, P et K par une culture est donné au tableau 4. (Metahri, 2012).

Tableau 4 : Absorption en NPK (en %) en fonction du mode d'irrigation (FAO/RNEA, 1992)

Mode d'irrigation	Azote	Phosphore	Potassium
Raie	40-60	10-20	60-75
Aspersion	60-70	15-25	70-80
Localisée	75-85	25-35	80-90

Le système d'irrigation ponctuel ou localisé reste de loin le plus efficace, et le plus adapté à utiliser les eaux usées traitées voire tableau 14, ces caractéristiques principales sont:

Efficacité élevée d'application. Si elle est employée correctement, c'est probablement la meilleure méthode d'irrigation dans les endroits où la pénurie de l'eau est un problème ;

Méthode appropriée pour faire face aux problèmes associés à la salinité de l'eau d'irrigation et à l'alcalinité du sol ;

Cette méthode est sûre et pourrait être la plus prometteuse pour l'irrigation avec l'eau usée, en particulier si le traitement est suffisant pour empêcher l'obstruction des orifices ;

Le contact de l'eau usée avec les agriculteurs et les cultures irriguées est réduit au minimum

Aucun aérosol ne se forme et, en conséquence, aucune pollution de l'atmosphère et de la zone proche des champs irrigués ne se produit (Metahri, 2012).

7. Stratégie pour protéger la santé humaine et l'environnement

La santé humaine et l'environnement pourraient être protégés au travers de quatre groupes de mesures (Mara et Cairncross, 1988 ; Kypris, 1989) :

- Le niveau de traitement des eaux résiduaires ;
- La restriction des cultures pratiquées ;
- La méthode d'irrigation ;
- Le contrôle de l'exposition humaine aux eaux usées épurées et l'hygiène.

Le traitement complet des eaux usées empêche les microorganismes pathogènes excrétés d'atteindre le champ.

Cependant, les agriculteurs, dans la plupart des cas, doivent faire face à l'eau usée d'une certaine qualité. A cause de cela, la restriction des cultures, le choix du système d'irrigation et le contrôle de l'exposition humaine sont très importants.

Une combinaison de mesures agro-techniques à sélectionner, selon les conditions socioculturelles, institutionnelles et économiques locales peut assurer la protection sanitaire (Metahri, 2012).

8. Contrôle des EUE destinées à l'irrigation

Dans un système de réutilisation des eaux usées épurées, cinq niveaux de contrôle doivent être instaurés, à savoir : l'eau épurée en sortie de la STEP, l'eau d'irrigation, le sol, la plante et nappe (Figure1). Par ailleurs, le circuit de commercialisation et de distribution des fruits et légumes devra être restructuré pour un meilleur contrôle des produits (traçabilité, ...).

Quel que soit le mode d'irrigation, tous les produits doivent être soumis à un contrôle de qualité microbiologique à la récolte (MRE 2012).

Il convient également de bien laver les produits, notamment maraîchers, avant utilisation ou livraison sur le marché.

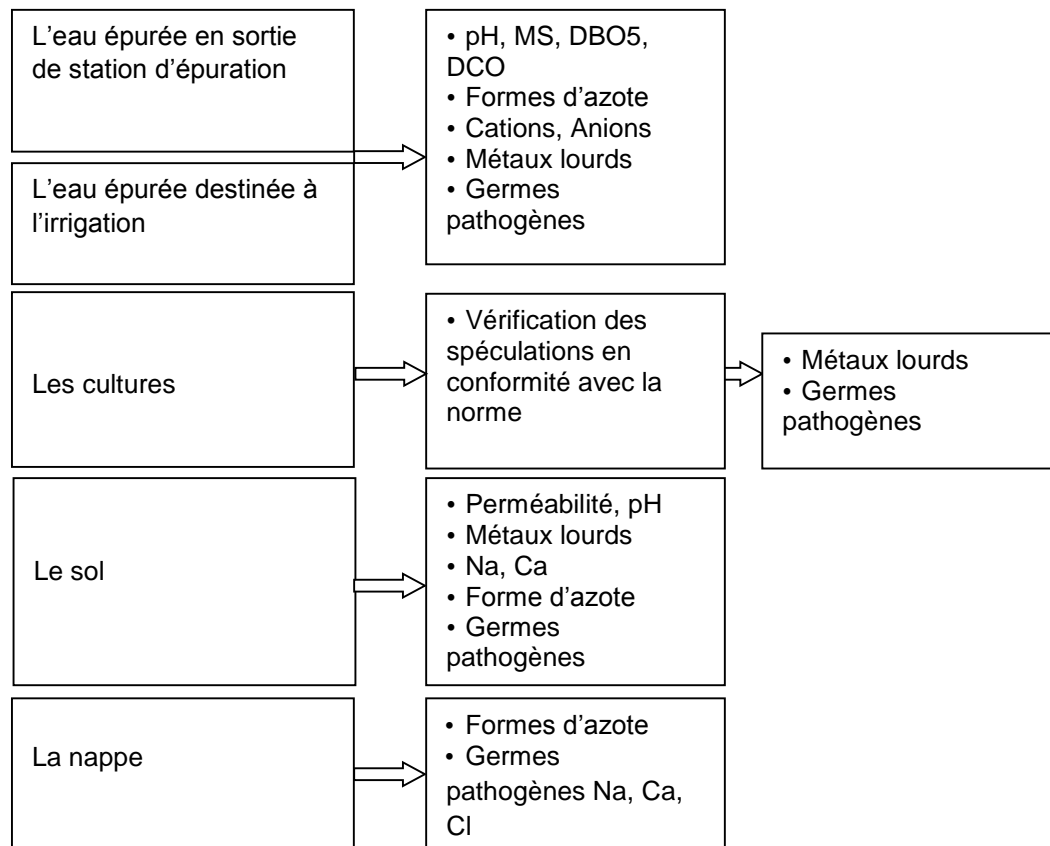


Figure 1 : Localisation des contrôles et des analyses (JORAD, 2012)

Le décret exécutif n°07-149 du 23 mai 2007, fixant les modalités de concession d'utilisation des EUE à des fins d'irrigation, stipule art. 27 que le concessionnaire (personne physique ou morale qui se propose de distribuer, à des usages, des eaux usées épurées à des fins d'irrigation) et les différents intervenants (direction de wilaya de l'hydraulique, de la santé, de l'agriculture et du commerce) sont tenus de procéder à un contrôle régulier de la qualité des eaux distribuées afin de s'assurer en permanence, que la qualité de EUE est conforme aux normes fixées par la réglementation en vigueur (normes OMS et FAO). (JORAD, 2012).

Les différents intervenants dans le processus de contrôles :

- **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
- **Les services de l'agriculture de la wilaya** doivent assurer :
 - Un contrôle phytosanitaire des cultures irriguées par les eaux usées épurées ;
 - L'évolution des caractéristiques des sols, sous irrigation avec des eaux usées épurées
- **Les services de la santé de la wilaya** doivent assurer :
 - Un contrôle régulier de la santé du personnel affecté à l'irrigation avec les eaux usées épurées.
 - La qualité bactériologique du produit agricole

9. Exigence au niveau microbiologique pour la REUE en agriculture

9.1. Normes actuellement en usage

9.1.1. Normes et critères

Les paramètres minimal de qualité bactériologique des EUE à la sortie de la STEP permettant d'assurer la protection sanitaire des agriculteurs et des consommateurs, sont ceux de l'OMS (1989, 2000 et 2006). Les paramètres de qualité physico-chimique des EUE admissibles pour un usage agricole adéquat sont ceux de la FAO (1985). (M.R.E., 2007).

CHAPITRE II : VALORISATION AGRICOLE DES EFFLUENTS TRAITES DE STEP

Tableau 5 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées (MRE ,2014)

Paramètres	Unité	Normes		
		FAO* (1985)	OMS**(1989)	JORA (2012)
pH		6,5-8,4*		6.5-8,5
CE	ds/m	<0,7 * Aucune restriction		3
		0,7 – 3,0 * restriction légère à modérée		
		> 3,0 * Forte restriction		
MES	mg/l	<30**		30
DCO	mg O2/ l	< 40 **		90
DBO₅	mg O2/ l	<10 **		30
NO₃⁻	mg/l	50 **		30
NO₂⁻	mg/l	< 1 **		Non disponible
NH₄⁺	mg/l	< 2 **		Non disponible
PO₄³⁻	mg/l	< 0,94 **		Non disponible
SAR	meq/l	<3* Aucune restriction		Non disponible
		3-9* restriction légère à modérée		
		>9* Forte restriction		
Coliformes totaux	UFC/100ml	Non disponible		Non disponible
Streptocoque fécaux	UFC/100ml	1000 **		Non disponible
Salmonelles	UFC/ 1L	Absence **		Non disponible

9.1.2. Normes et réglementation algérienne

9.1.2.1. Normes

Norme Algérienne N°17683 «**Réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles, municipales et industrielles - Spécifications physico-chimiques et biologiques** » est disponible au niveau de l'Institut Algérien de Normalisation IANOR ; Où également un guide technique pour les bonnes pratiques de la REUE pour différentes fins.(MRE,2007).

9.1.2.2. Cadre réglementaire de la Réutilisation

➤ Loi

La loi n°05-12 du 04 Août 2005, relative à l'eau, a institué la concession de l'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (JO n°60-année 2005 art56, 71, 82)

➤ Décret

Le décret n°07-149 du 20 mai 2007, fixant les modalités de concession de l'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent. Scindé en cinq principaux chapitres :

- Chapitre I. Dispositions préliminaires
- Chapitre II. Concession d'utilisation des eaux épurées.
- Chapitre III. Prévention des risques liés à l'usage des eaux usées épurées.
- Chapitre IV. Contrôle sanitaire.
- Chapitre IV. Disposition financière.

➤ Arrêtés

Les arrêtés interministériels du 02 janvier 2012 qui prennent en application les dispositions de l'article 2 du décret exécutif n°07-149, publiés par le ministère des ressources en eau. (JO n°41) Ces arrêtés fixent :

- Les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation et notamment en ce qui concerne les paramètres microbiologiques et les paramètres physico-chimiques
- La liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

9.1.3. Normes microbiologiques et critères de l'USEPA

Ils sont basées sur un objectif de « zéro pathogène » dans les eaux réutilisées et en conséquence, les normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes, les normes de l'USEPA concernent tous les usages envisageables pour des EUE (usages urbains, agricoles, recharge de nappe, etc.). (MRE, 2007).

Les principaux paramètres sont le pH, la DBO₅, la turbidité ou les solides en suspension et les coliformes fécaux, la turbidité ne doit pas dépasser en général 2 NTU. La DBO₅ maximale est fixée entre 10 et 30 mg/L, selon les usages. Les coliformes fécaux doivent être :

- Soit en concentration inférieure à 200 CF/100 ml (pour l'irrigation avec restriction) ;
- Soit à un niveau de non-déteçtabilité (pour l'irrigation sans restriction).(MRE,2007).

10. Liste des cultures autorisées

Une autre réglementation a été mise en œuvre, c'est l'arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

Ce texte est promulgué par les ministres chargés des ressources en eau et de l'environnement, de l'agriculture et de la santé.

Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée (Tableau n° 6).

CHAPITRE II : VALORISATION AGRICOLE DES EFFLUENTS TRAITES DE STEP

Tableau 6 : Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées

(Extrait de Journal Officiel n°41 du décret exécutif n°07-149, publiés en Janvier 2012)

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers (*)	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine
Cultures fourragères (**)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.
Culture industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin
Cultures céréalières	Blé, orge, triticale et avoine.
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricot et petit pois
Arbustes fourragers	Acacia et atriplex.
Plantes florales à sécher ou à usage industrie	Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin

Préventions requises :

(*) L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins deux (2) semaines avant la récolte.

Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.

(**) Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

L'irrigation, avec des eaux usées épurées des cultures maraîchères dont les produits sont consommés crus est interdite.

Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée.

Les parcelles irriguées, au moyen des eaux usées épurées, doivent être éloignées de plus de 100 mètres des routes, des habitations, des puits de surface et autres ouvrages destinés à l'alimentation en eau potable. Tout raccordement avec une canalisation transportant de l'eau potable est interdit.

11. Réutilisation dans le monde

Pendant les dernières années, la réutilisation des eaux usées a connu un développement très rapide avec une croissance des volumes d'eaux usées réutilisées de l'ordre de 10 à 29 % par an, en Europe (surtout les pays méditerranéens), aux États Unis et en Chine, et jusqu'à 41 % en Australie. (Lazarova et Brissaud, 2007).

Le volume journalier actuel des eaux réutilisées dépasse le chiffre impressionnant de 1 millions de m³ par jour dans plusieurs pays, comme par exemple aux États Unis et en Chine.

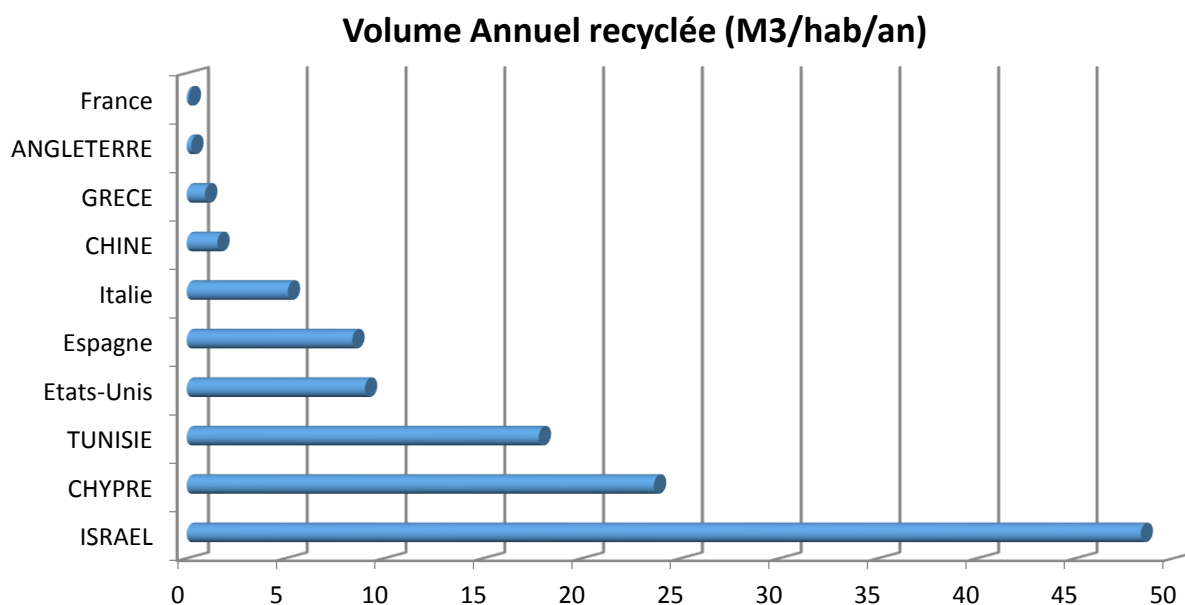


Figure 2 : Volume annuel des eaux usées réutilisées par pays

(Le volume moyen journalier des eaux usées recyclées : données pour les années 2000-2003, adaptées de Jiménez et Asano, 2007 d'après Lazarova et Brissaud, 2007).

La réutilisation des eaux usées est une pratique très répandue dans les régions du monde affectées par des pénuries de ressources en eau. Elle est très développée aux États-Unis, mais aussi en Asie et dans les pays du Golfe Persique. Le bassin méditerranéen est l'une des régions du Monde où la réutilisation agricole des eaux usées urbaines est la plus pratiquée. Elle est largement systématisée en Israël.

CHAPITRE II : VALORISATION AGRICOLE DES EFFLUENTS TRAITES DE STEP

La Tunisie et Chypre ont également une politique nationale de réutilisation (voir figure 2). L'Espagne et l'Italie sont les deux pays européens dans lesquels la réutilisation se développe le plus rapidement.

En France, la ressource en eau est bien supérieure à la demande ce qui justifie le faible développement de la réutilisation des eaux épurées. (Lazarova et Brissaud, 2007).

En France, dans le Midi méditerranéen, les zones les moins bien pourvues sont adossées à des reliefs beaucoup plus arrosés. Par ailleurs, ces régions sont desservies par de grands équipements hydrauliques, Canal de Provence, Canal du Bas Rhône Languedoc, capables de satisfaire leurs besoins en eau. En revanche, on voit apparaître, des installations qui répondent à des nécessités locales. (Faby et Brissaud, 1997).

L'irrigation des cultures agricoles ou d'espaces verts est la voie la plus répandue de réutilisation des eaux usées urbaines au niveau mondial.

11.1. REUE dans quelques pays méditerranéens

La réutilisation des eaux usées devient un moyen important dans la lutte contre la pollution des milieux récepteurs, pour les régions arides et les régions au déficit temporaire en eau ces eaux deviennent une ressource alternative importante.

Le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée. (PUIL, 1998)

La figure 3 illustre les volumes d'eaux usées traitées et réutilisées dans cinq pays méditerranéens : Egypte, Liban, Maroc, Syrie et Tunisie.

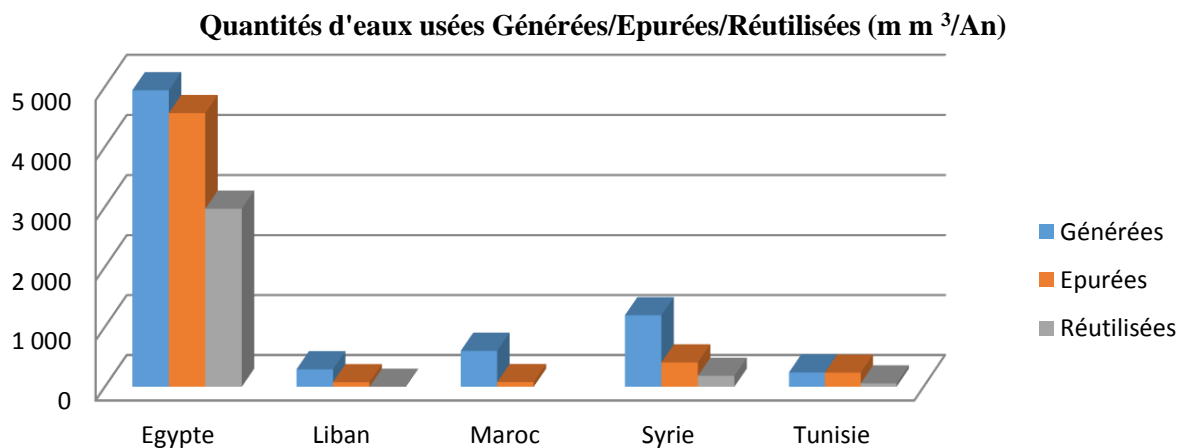


Figure 3 : Comparatif des quantités d'eaux usées Générées, Epurées et Réutilisées

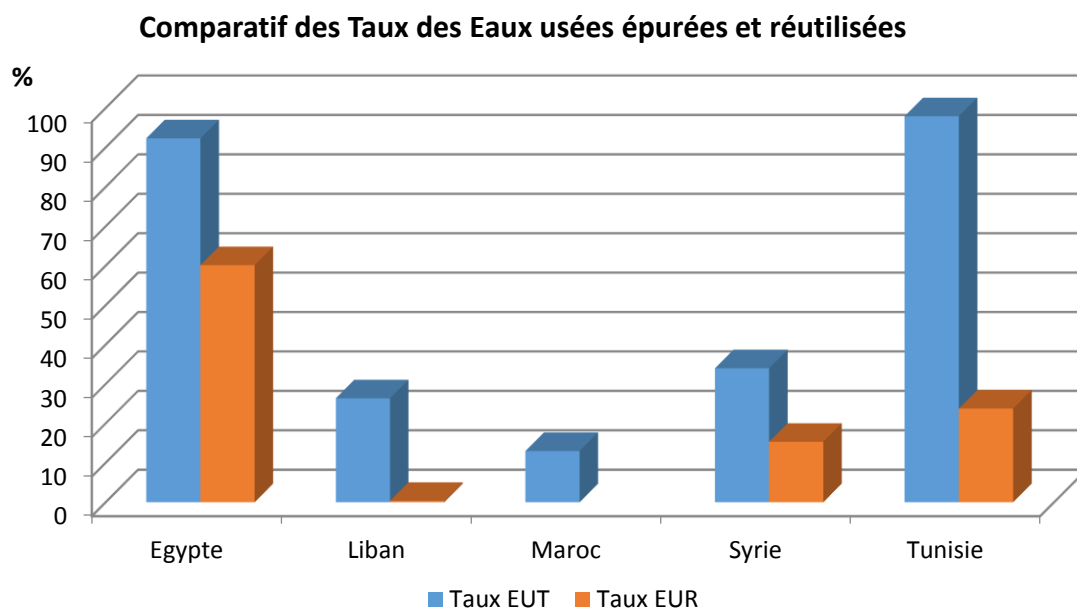


Figure 4 : Comparatif des taux des Eaux usées épurées et réutilisées

Seules l'Egypte et la Tunisie ont un réseau d'assainissement qui permet le traitement respectif de 92% et 98% de toutes les eaux usées générées dans leurs STEP. Avec 13%, le Maroc occupe la dernière place, suivi par le Liban et la Syrie avec 26% et 34% (Voir Figure 4)

Les quantités d'eaux usées réutilisées dans divers secteurs sont relativement faibles et n'excèdent pas 10 à 23% des eaux usées produites au niveau des cinq pays sus citées, une grande proportion des eaux usées générées sont rejetées dans le milieu naturel.

11.2. Situation de la réutilisation des EUE en Algérie

➤ Situation des stations d'épurations

Pour sécuriser de façon définitive l'alimentation des populations en eau potable, tout en protégeant les ressources en eau et les milieux naturels contre les effets de la pollution, les pouvoirs publics ont décidé de s'orienter vers une politique de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles, constituées par les eaux de dessalement (ou de déminéralisation) et par les eaux usées épurées.(MREE,2016).

La réalisation de stations d'épuration est d'intérêt multiples, non seulement la protection des ressources en eau (oueds, barrages, nappes...) contre la pollution mais aussi la possibilité

CHAPITRE II : VALORISATION AGRICOLE DES EFFLUENTS TRAITES DE STEP

de réutiliser les eaux usées épurées pour satisfaire divers usages tels que l'irrigation ou l'industrie.

Actuellement, on dispose de :

177 systèmes épuratoires (classiques, lagunes et expérimentales) avec :

- Capacité totale installée : 805 hm³/an (13 millions Equivalant Habitant)
- Volume annuel épuré : 377 Hm³ (soit 46% de la capacité installée).

La répartition des rejets d'eaux usées épurées par Impact se présente comme suit :

- Protection du littoral : 34 STEP (120 millions de m³/an).
- Protection des lacs et Sebkhass : 07 STEP (34 millions de m³/an).
- Protection des Barrages : 26 STEP (79 millions de m³/an).
- Protection des nappes : 32 STEP (53 millions de m³/an).
- Protection des oueds : 78 STEP (91 millions de m³/an). (M.R.E., 2016)

➤ **Situation actuelle de La réutilisation**

- Le volume réutilisé actuellement à partir de 17 STEP est de 50 millions de m³/an couvrant une superficie de 11.437 ha.
- Les périmètres en cours de réalisation à l'aval de 04 STEP portent sur une superficie totale de 7.900 ha pour un volume de 35 millions de m³/an.
- Soit une superficie globale de 19.337 ha à partir de 21 STEP et un volume de 85 millions de m³/an.

CHAPITRE II : VALORISATION AGRICOLE DES EFFLUENTS TRAITES DE STEP

❖ Programme en cours de réutilisation

Wilaya	STEP	Volume épuré hm ³ /an	Volume réutilisé hm ³ /an	Superficie ha	
Guelma	Guelma	5.911.080	5.911.080	6.980	ONID
Tlemcen	Tlemcen	6.224.064	5.912.856	912	
BBA	BBA	2.532.276	2.532.276	350	Privés
Boumerdes	Boumerdès	6.038.400	180.720	125	
Mascara	Mascara	3.517.908	3.517.908	500	ONA
	Bouhanifia	664.920	664.920	475	
	Hacine	76.692	76.692	390	
	O/Taria	121.296	121.296	196	
	Mohammadia Est	759.816	759.816	175	
	Tizi	177.408	177.408	200	
	Froha	73.560	73.560	60	
Ouargla	Ouargla	12.537.840	1.253.784	17	
El-oued	Kouinine	76.80.996	264.000	15	
Souk Ahras	Souk Ahras	1.262.700	1.262.700	200	
Saida	Saida	1.575.396	72.000	58	
9 wilayas	17 STEP	49 .693	23 ,32	11.437	

Tableau 7 : Programme d'exploitation (M.R.E., 2016)

Wilaya	STEP	Volume épuré		Superficie ha
		m ³ /j	hm ³ /an	
Oran	El Kerma	270.000	98,55	600
				5.100
	Ain Turk	30.000	10,95	1.000
Sétif	Ain S'fiha	66.000	24,09	800
Constantine	Ibn Ziad	69.120	25,22	400
03	04		185,81	7.900

Tableau 8 : Programme de travaux (M.R.E, 2016)

CHAPITRE II : VALORISATION AGRICOLE DES EFFLUENTS TRAITES DE STEP

WILAYA	STEP	Capacité installée m ³ /j	volume moyen produit m ³ /j	Superficie irrigable Ha
Relizane	Relizane	22 000	10 340	755
Constantine	Zighoud Youcef	25 000	11 750	860
Laghouat	Aflou	15 000	7 050	550
Biskra	Biskra	55 000	25 850	1 887
Batna	Barika	26 000	12 220	892
Oum El Bouaghi	Ain M'lila	17 000	7 990	583
	OEB	20 000	9 400	690
Blida	Beni Mered	52 000	24 440	1 800
	Boufarik	60 000	28 200	2 100
Tipaza	Bousmail	32 000	15 040	1 100
Mascara	Mohammadia	14 000	6 580	480
TOTAL	11	134 hm³/an	63 hm³/an	12.700

Tableau 9 : Programme d'étude dont la production d'eau épurée potentiellement réutilisables (M.R.E., 2016)

➤ Perspectives de réutilisation des EUE en agriculture

Wilaya	STEP	volume épuré		Superficie ha	Etat de l'étude
		m ³ /j	hm ³ /an		
Oran	El Kerma (2 tr)	270.000	98,55	3.000	Etudes achevées à lancer en travaux
Médéa	Médéa	26.000	9,5	250	
Saida	Saida	30.000	10,95	330	
Ghardaia	Kef Edoukhane	25.000	9,13	500	
Tipaza	Tipaza	11.200	4,1	1.300	
	Koléa	11.250	4,1		
El Oued	El Oued	44.335	16,2	3.000	Etudes en cours
SBA	SBA (02)	33.882	12,36	2.120	
07	07		66,34	10.500	

Tableau 10 : STEP en exploitation dont la production d'eau épurée est potentiellement réutilisable (M.R.E., 2016)

CHAPITRE II : VALORISATION AGRICOLE DES EFFLUENTS TRAITES DE STEP

WILAYA	STEP	Capacité installée (m ³ /j)	volume moyen produit (m ³ /j)	Superficie irrigable (ha)
Chlef	Chlef	38 000	3.450	1.500
Laghouat	Laghouat	28 000	5.020	1.200
Oeb	Ain BEIDA	20 000	9.000	900
Batna	Batna	20 000	13.100	900
Djelfa	Djelfa	30 000	10.000	1.300
Sétif	Eulma	37 000	10.900	1.500
Saida	Saida	30 000	6.500	1.300
Skikda	Skikda	46 000	8.000	2.000
SBA	Sidi bel abbés	28 000	13.900	1.200
m'sila	M'sila	32 000	10.000	1.400
Ouargla	Touggourt	10 000	9.580	750
Oran	Bethioua	30 000	14.100	1 300
BBA (ext)	BBA	30 000	8.900	650
Tipaza	Hadjout	12 000	2.300	200
	Kolea	12 000	9.300	700
TOTAL	16	136 Hm³/An	45 Hm³/An	16.800

Tableau 11: STEP en cours de réalisation dont la production en eau épurée est potentiellement réutilisable (M.R.E., 2016)

Conclusion

L'intérêt de la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation est évident. Les eaux usées épurées procurent à l'agriculture une ressource précieuse et renouvelable et libère un volume supplémentaire d'eau de bonne qualité pour des utilisations prioritaires telle que l'eau potable.

Par ailleurs, le contenu de ces eaux en éléments fertilisants permet de diminuer les frais de fertilisation des sols. Néanmoins, cette eau pourrait constituer une source de pollution. Son contenu en microorganismes pathogènes et métaux peuvent présenter un risque pour la santé

La création de périmètres irrigués par les EUT et la recharge des nappes surexploitées sont les principales options à adopter.

Il importera également que les techniques de la réutilisation des eaux usées soient bien maîtrisées et qu'elles soient soumises à des contrôles réguliers.

1. Situation géographique de la ville d'Alger

Située en bordure de la méditerranée, la wilaya d'Alger s'étend, depuis l'oued Mazafran à l'Ouest jusqu'à l'oued Réghaia à l'Est et de la Méditerranée au Nord jusqu'au limite de la wilaya de Blida au Sud.

Du point de vue administratif, la wilaya d'Alger englobe 13 daïras totalisant 57 communes dont la plupart sont considérées comme de grands centres urbains à l'image d'Alger centre, Sidi m'Hamed, Bir Mourad raïs,... (INSID, 2011)



Figure 5 : Localisation géographique de la wilaya d'Alger.(INSID, 2011)

2. Population

Selon le RGPH 2008, la population recensée est de 2 987 160 habitants, soit une densité de 38,75 hab/ha (INSID ,2011).

3. Taux d'accroissement

Le taux d'accroissement moyen/an de la wilaya d'Alger durant la période des deux recensements 1998/2008 est de 1,6 égal au taux national qui est aussi de 1,6. Ce taux était de 1,66 en 1998. (DPAT, 2011).

4. Climat

De type méditerranéen modéré, il est d'amplitude thermique faible avec un peu de gelée. Les deux contraintes climatiques sont constituées par les vents d'Ouest dominants qui nécessitent des brise-vents et la grêle qui se manifeste en moyenne 12 jours/an sur le Sahel .Il est à noter que le sirocco peut durer jusqu'à 20 jours par an en moyenne. La température moyenne annuelle varie entre 16 et 18°C.

Les précipitations pluviales varient entre 670 à 800 mm/an avec un dépassement de 100 mm/an pour les mois de Novembre, Décembre et Janvier (DPAT, 2011)

5. Pluviométrie

La pluviométrie est un élément fondamental du climat. Son importance est telle que les différentes classifications du climat, reposent essentiellement sur la moyenne annuelle ou mensuelle des précipitations, en combinaison avec les moyennes et/ou les extrêmes de température.

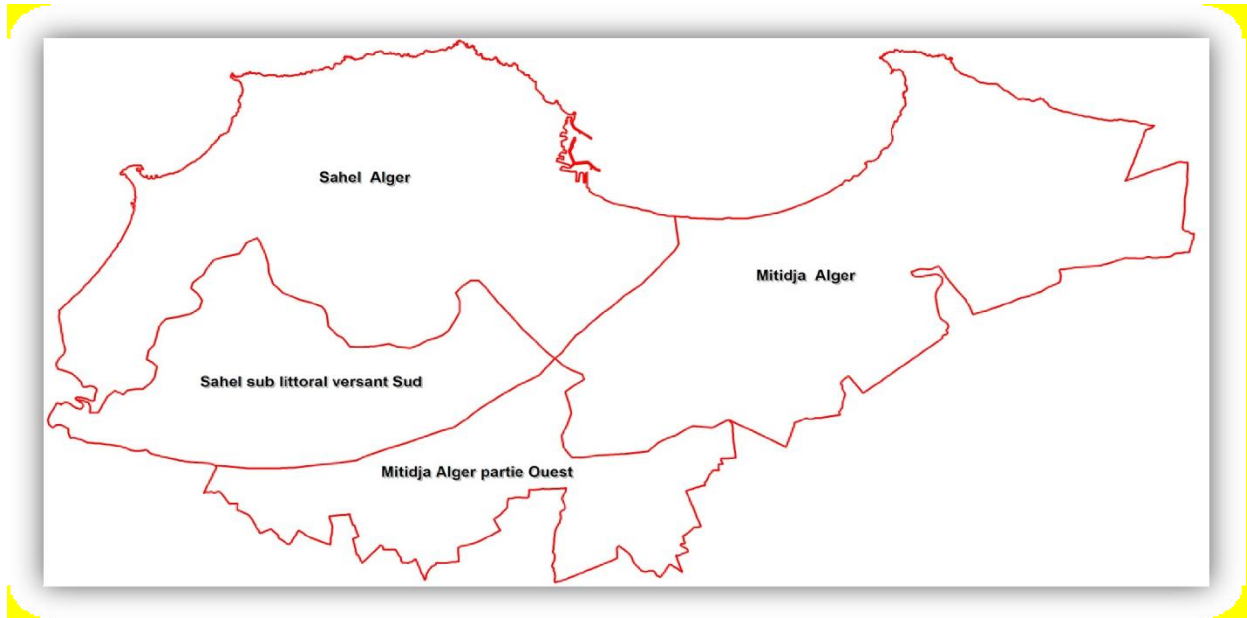
Tableau 12: La pluviométrie dans la wilaya d'Alger (M.R.E. 2013)

Année	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	Août
2005-2006	23	70	160			142			118			3
2006-2007	38		28,5	201,2	19,2	52,3	107,4	73,1	2	5,5	0,3	0,3
2007-2008	24	120	204	70	21	19	70	19	64		2	0
2008-2009	64	45	105	146	132	12	68	85	29		0	2
2009-2010	86	11	71	102	65	64	79	40	36	2,8		27
2010-2011	3	150	150	87	89	118	20	92	88	10	1	0
2011-2012	15	38	172	65	33		78	145	24	0	0	25
2012-2013	8	48	152	25	128	145	65	74	159	0	0	1

6. Le relief

Trois grandes zones homogènes composent la morphologie de son territoire :

- La zone urbaine du grand Alger.
- La zone homogène du sahel.
- LA zone Mitidja centre-est.



Carte des zones homogènes de la wilaya d'Alger (INSID,2011).

Deux (2) grands ensembles physiques caractérisent le relief de la wilaya d'Alger : Le Sahel et la Mitidja.

La partie Est de la Mitidja, appelée communément Mitidja de l'Est dont l'altitude varie de 0 à 50 mètres, est traversée par les oueds Hamiz et Réghaia. La pente est quasi nulle soit de 0% à 3%.

Le sahel est constitué par des collines dont l'altitude moyenne est de l'ordre de 250 mètres. Le point culminant est à 420 m dans le massif de Bouzareah. La pente, quant à elle, varie de 3% à 12 %. Ces mêmes collines du sahel appelées aussi « bourrelet d'Alger » séparent la plaine de la Mitidja de la Méditerranée dans sa partie Ouest.

Du point de vue litho stratigraphique, trois (03) ensembles géologiques affleurent dans la wilaya d'Alger, il s'agit :

- Des terrains quaternaires dans la Mitidja et sur le littoral.
- Pliocène dans le Sahel.
- Les terrains métamorphiques dans le massif de Bouzaréah. (INSID, 2011)

7. La pédologie

Le territoire repose essentiellement sur des roches schisteuses avec une présence de granit et de grés. Les sols sont saturés, souvent caillouteux, de profondeur variable. On note également la présence du tuf. Quant aux plaines littorales, elles sont constituées de sols sableux moins unifiés à l'Est (Bordj El Kiffan) convenant aux cultures maraîchères (DPAT, 2011)

8. Les Steps au niveau de la wilaya (voir

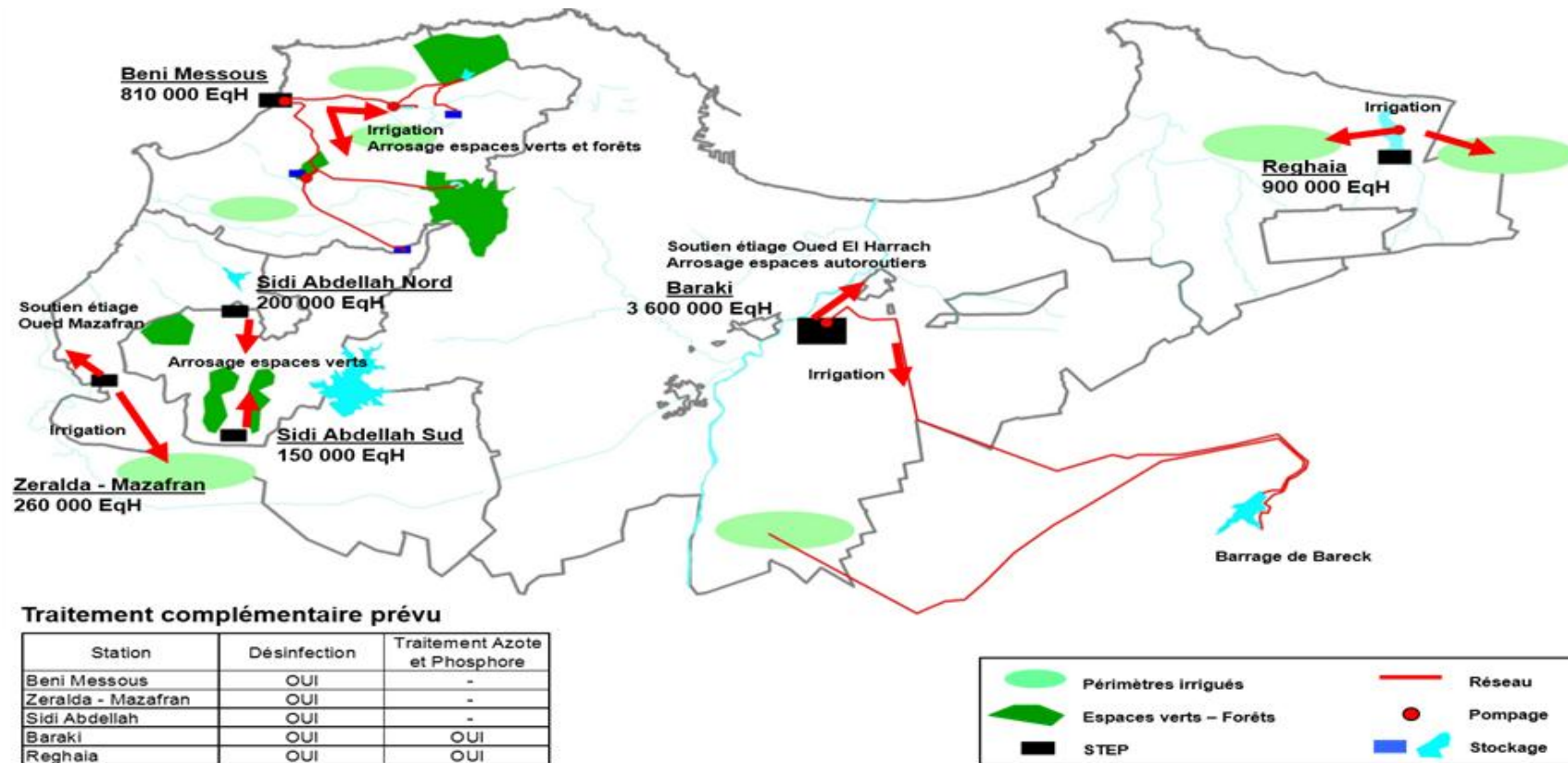


Figure 6 : Stations d'épuration en exploitation de la wilaya d'Alger (SEAAL 2010)

9. Présentation de la STEP de Baraki

9.1. Situation géographique

La station de Baraki est située sur le secteur de la wilaya d'Alger au Nord de la commune de Baraki. Au Nord à moins de 1km, elle est limitée par la prise d'eau potable d'El Harrach et 2,5km au Nord Est par la zone industrielle d'El Harrach.

La ligne de chemin de fer ALGER-BLIDA passe au Nord-Ouest de la step. A l'Ouest, l'Oued El Harrach coule en direction du Nord. L'exploitation agricole d'Ali Talha est située à environ 300m au Nord de la STEP. Au sud Est se trouve une ferme expérimentale. Et, au Sud de la STEP se trouve Ben Rhazi un faubourg de Baraki. A l'entrée du site de la station, sont installés les bureaux de l'office National d'Assainissement(ONA). L'accès à la step est unique et se fait par une impasse reliée au C.W. 115 (route reliant Harrach Zone Industrielle et Industrielle et Baraki). (ONA, 2017)

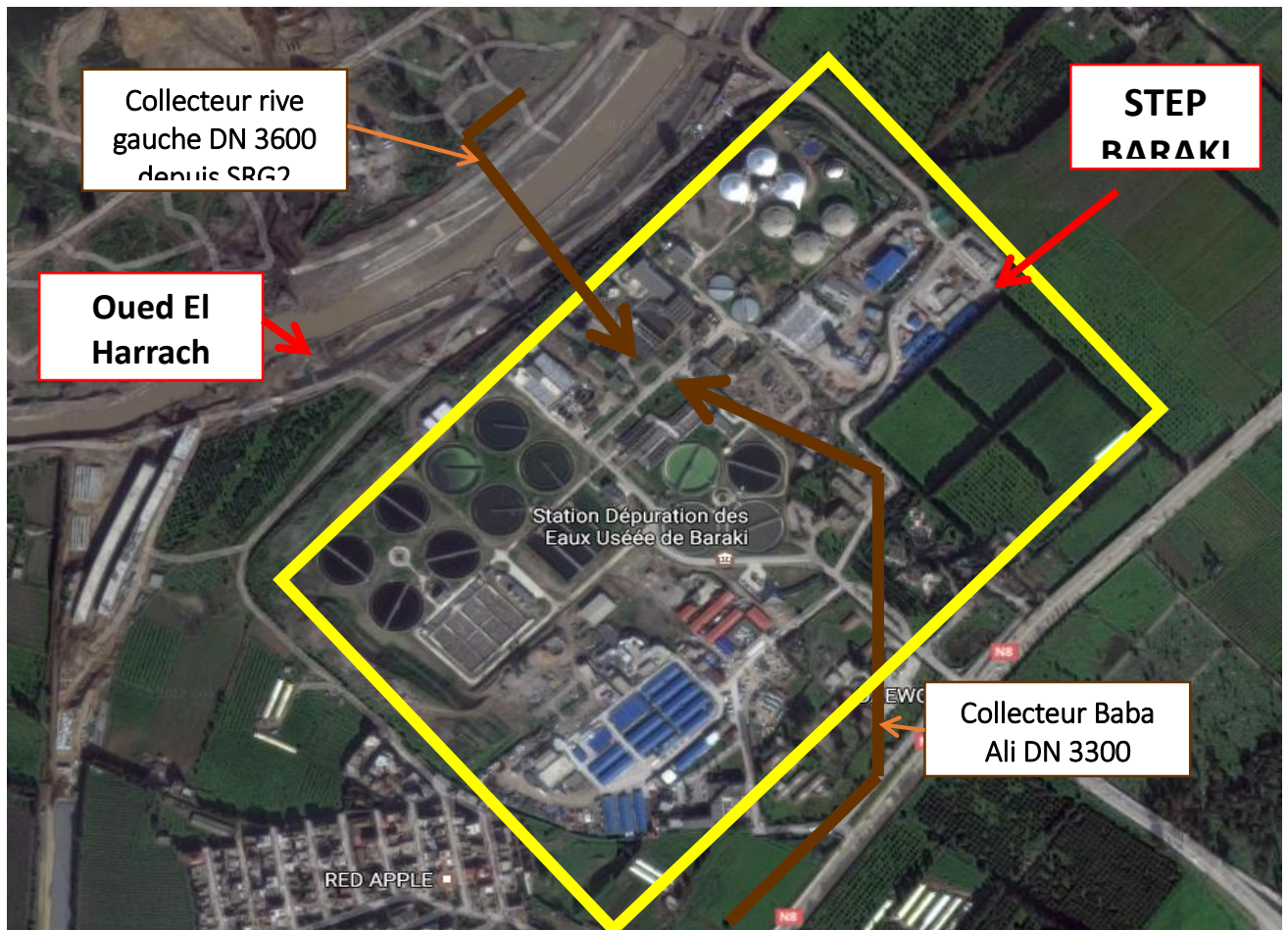


Figure 7 : Vue aérienne de la step de Baraki(DRE,2017).

9.2. Description et caractéristiques de la station



Figure 8 : Station d'épuration des eaux usées de Baraki (1ère et 2ème tranches)(DRE,2017).

La station d'épuration de Baraki est du type boues activées à moyenne charge. Elle comporte une filière de traitement des boues avec épaissement, digestion anaérobie, déshydratation et séchage.

La capacité nominale de traitement de la première tranche est de 750 000 équivalents-habitants, selon les bases de dimensionnement d'origine de la station (60 g DBO₅/EH/j). Sur la base des valeurs de charges spécifiques corrigées adoptées dans les études ultérieures (base 50 G/EH/j), la capacité réelle de la station est de 900 000 équivalents-habitants. Selon le plan directeur d'Assainissement, il est prévu d'étendre la station par l'adjonction de 3 tranches de traitement supplémentaires similaires, pour porter à terme la capacité totale à 3 millions d'EH (respectivement 3,6 millions). Le génie civil des ouvrages de relèvement et de dégrillage, le local groupe électrique et les bâtiments d'exploitation sont dimensionnés dès l'origine pour la capacité de traitement ultime. (ONA, 2016)

La chaîne de traitement est composée de deux lignes : une ligne d'eau et une ligne de boue. Le débit est divisé parallèlement sur certains ouvrages afin d'améliorer la fiabilité du traitement

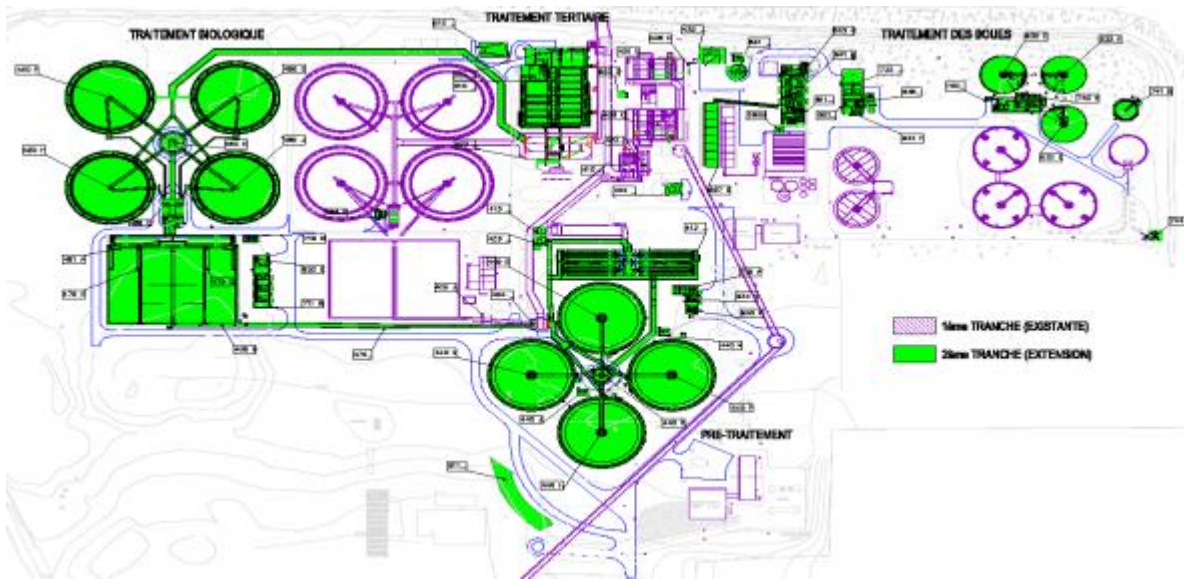


Figure 9 : Plan d'implantation de la 1ère et 2ème tranches de la station d'épuration de Baraki (DRE, 2017).

➤ **La filière initiale de traitement des eaux est de type boues activées à moyenne charge et comporte les étapes suivantes**

- Relèvement par vis d'Archimède en deux étages successifs ;
- Dégrillage automatique en deux files parallèles équipés chacune d'une grille grossière et d'une grille fine. Evacuation automatique des refus de dégrillage par convoyeur dans une benne ;
- Dessableurs, pour les particules qui obéissent à la loi de gravitation.
- Dégraisseur aéré rectangulaire en deux files parallèles avec racleur et écrémage automatique. Extraction des sables par pompes suivie d'un clarificateur à sable, est convoyage des refus de dégrillage vers les bennes de stockage. Stockage des graisses dans une bache intégrée à l'ouvrage et extraction par pompage ;
- Deux décanteurs primaires circulaires avec racleur de fond et de surface ;
- Deux bassins d'aération à insufflation d'air avec mélangeurs statiques ;
- Quatre clarificateurs circulaires à pont sucé et raclage de surfaces ;
- Recirculation des boues par vis d'Archimède ;

➤ Filière initiale de traitement de boues

- Deux épaisseurs raclés alimentés par les boues fraîches primaires et les boues en excès. Ouvrages entièrement couverts ;
 - Digestion anaérobie des boues, comprenant deux digesteurs primaires brassés et chauffés et un digesteur brassés par des agitateurs ;
 - Un gazomètre pour stockage des gaz de digestion. Le biogaz sert à couvrir le besoin en énergie nécessaire pour le chauffage des digesteurs et sert également d'appoint pour séchage thermique des boues ;
 - Déshydratation mécanique des boues par quatre filtres- presses. Conditionnement des boues chlorure ferrique et à la chaux ;
 - Séchage thermique des boues dans deux sècheurs rotatifs.(Tecsult, 2008)

9.3. Les caractéristiques techniques de la STEP

- La STEP a une capacité de traitement d'un débit moyen journalier d'eaux usées Equivalent /habitant : 300 000 m³/j
- Débit moyen horaire : 12 450 m³/h
- Débit de pointe de temps sec : 19 200 m³/h
- Débit de pointe de temps de pluie : 38 400 m³/h
- Procédé de traitement : boues activées à moyenne charge
- Traitement tertiaire par filtres à sables et UV : 243 000 m³/j (DRE, 2017)

9.4. Arrivée de l'eau usée à la station

L'eau brute arrive par deux collecteurs à savoir :

Arrivée des eaux à PR2 depuis le collecteur Baba Ali et PR1 (DRE 2017)

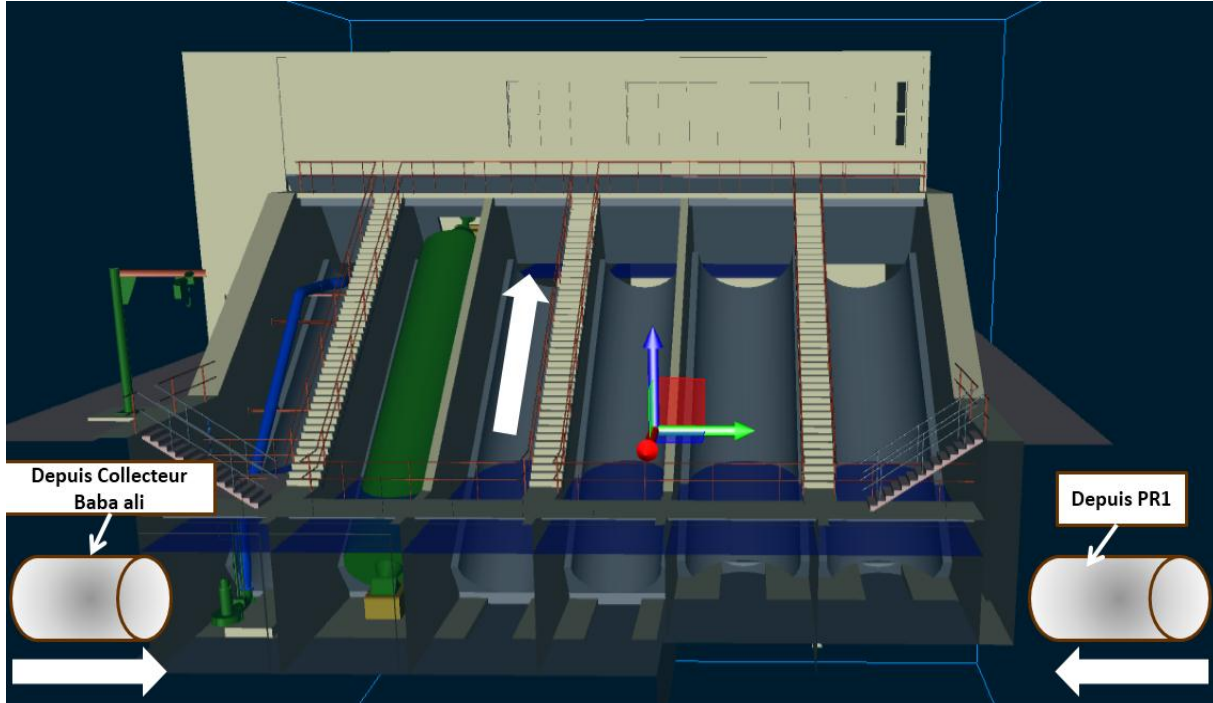


Figure 10 : Collecteur de Baba Ali DN 3300

Arrivée des eaux à PR1 depuis la station SRG2 (DRE 2017)

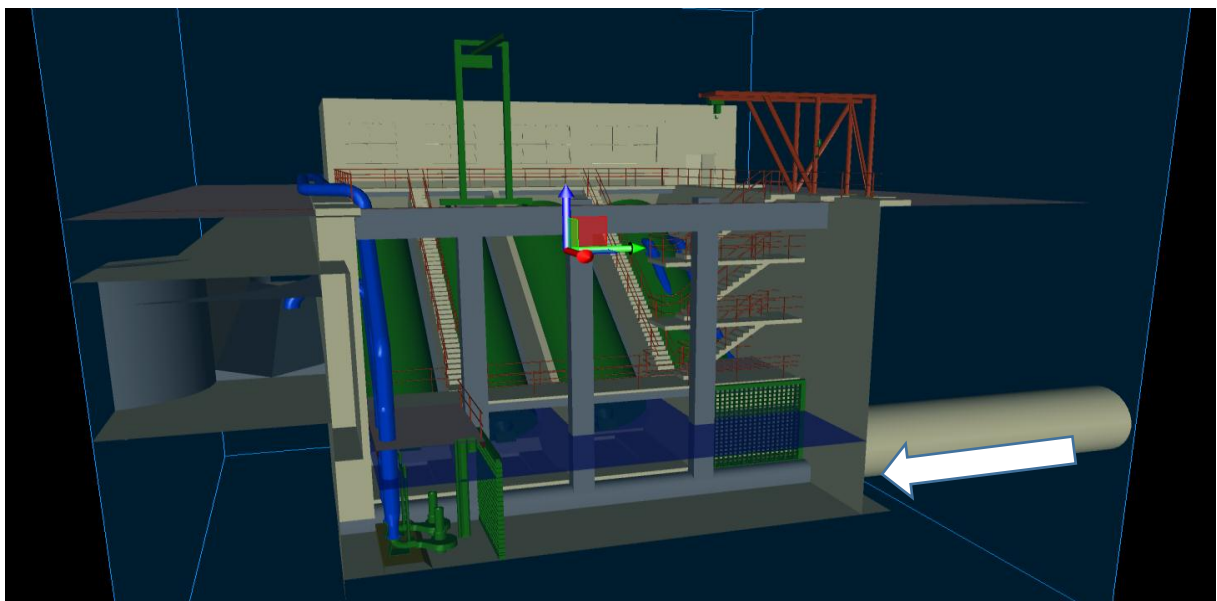


Figure 11: Collecteur rive gauche DN 3600 depuis SRG2

9.5. Capacité de traitement

➤ **Filière de traitement des eaux**

Les tableaux N°13, 14 et 15 présente les principales valeurs de dimensionnement de la station d'épuration pour la première et la deuxième tranche:

Tableau 13: Les valeurs de la dotation des différentes charges (DRE, 2017).

Capacité nominale	EH	1 800 000
Dotation	l d'eau usée/EH.j	106
Dotation en DBO ₅	G/EH.j	50
Dotation en DCO	G/EH.j	120
Dotation en MES	G/EH.j	70
Dotation en NTK – Azote Kjeldal	G/EH.j	10
Dotation en Ptot - Phosphore total	G/EH.j	2.5

➤ **Charges hydrauliques**

Tableau 14 : Les valeurs des charges hydraulique (DRE, 2017).

Débit journalier nominal	M3/j	298 800
Débit moyen horaire (sur 24 heures)	M3/h	12 450
Débit horaire de pointe de temps sec ¹	M3/h	19 200
Débit horaire de pointe de temps de pluie ²	M3/h	38 400

¹ Le coefficient de pointe retenu est de 1.54

² Le débit de pointe de temps de pluie est pris égal à deux fois le débit de pointe de temps sec.

➤ **Charges polluantes**

Charge nominale en DBO5 Concentration en temps sec	kg/j mg/l	90 000 300
Charge en nominale DCO Concentration en temps sec	kg/j mg/l	216 000 725
Charge nominale en MES Concentration en temps sec	kg/j mg/l	126 000 420
Charge nominale en NTK - Azote Kjeldal Concentration en temps sec	kg/j mg/l	18 000 60
Charge nominale en Ptot - Phosphore total Concentration en temps sec	kg/j mg/l	4 500 15

Tableau 15: Les valeurs des charges polluantes (DRE, 2017).

9.6. Caractéristiques de la situation de l’agriculture de la périphérie de la STEP de Baraki

Le site potentiel de réutilisation des effluents de la STEP de Baraki est caractérisé par :

- L’arboriculture fruitières qui domine le paysage de la plaine de la Mitidja et plusieurs activités de la région (vente d’intrant, marchés, services, etc) gravitent autour de cet axe de production agricole.
- L’irrigation de goutte à goutte demeure le mode d’irrigation le plus usité dans la zone. De nombreux forages ne dépassent généralement pas 100m de profondeur parsèment toute la zone. Ils fournissent les volumes d’eau nécessaires aux cultures en plus des 600mm de précipitations qui arrosent la plaine de la Mitidja.
- Près de 50% des agricultures cultivent plus de 20ha
- Le réseau électrique qui anime les pompes équipant les forages subit des délestages fréquents malgré un coup d’énergie élevé payé par les agricultures
- Les agriculteurs de la zone ont côtoyé à quelques reprises de sécheresses sévères qui ont lourdement hypothéqué leurs capacités à réinvestir dans l’entretien et la modernisation de leur système et techniques de production (Tecsult, 2008).

9.7. Infrastructures d'irrigation et du stockage d'eau

Un projet de réutilisation comporte toujours un stockage des EUE. Il y a deux raisons à cela. La première est que le rythme de production des eaux usées n'est pas accordé à celui de l'irrigation. La deuxième est que l'interruption de l'approvisionnement en eau pourrait causer des inconvénients irréversibles à la production agricole.

Une réserve de sécurité est donc estimée indispensable. Une troisième raison doit être énoncée ; on sait maintenant que le stockage, qu'il soit effectué sous la forme d'une recharge de nappe par bassins d'infiltration ou dans un réservoir non couvert, participe à l'amélioration de la qualité de l'eau.

Les besoins totaux de stockage inter saisonnier représentent un volume total d'environ 23 Hm³ et qui coïncide avec la capacité de la retenue de Barek (30Hm³) présentée ci-après.

En concertation avec la DAPE, l'Agence Nationale des Barrages a réalisé en 2001 l'étude de faisabilité du barrage Barek en vue de stocker les EUE de la STEP de Baraki afin de les réutiliser en agriculture.

Le Barrage de Barek est donc conçu pour l'irrigation, l'apport de l'oued Zerouela et le transfert des eaux épurées de la station de Baraki.

L'apport naturel du bassin versant (21km²) est estimé, pour une année moyenne, à 3,63 Hm³/an ce qui est pratiquement négligeable par rapport aux apports des EUE.

La retenue du barrage est sise à environ 28 km à vol d'oiseau de la STEP. La différence de l'élévation entre la sortie de la STEP et la retenue normale de la retenue est de 161,1m (172,10_11,00 m NGA) (Tecsult 2008).

Le stockage de longue durée dans la retenue de Barek constituera un véritable traitement complémentaire. Le stockage permettra en effet la diminution de la demande en oxygène, des teneurs en MES, en métaux lourds, en azote et en microorganisme. Ces diminutions sont très variables selon la qualité de l'eau d'entrée, la conception du réservoir – en particulier sa profondeur – les conditions climatiques, le temps de séjour moyen de l'eau dans le réservoir et le mode de gestion de celui-ci.

Les très nombreux réservoirs inter-saisonniers réalisés au Moyen-Orient, ou ce procédé est le plus développé, sont profonds de 5,5 à 15 m pour limiter les pertes par évaporation et la surface occupée. Ces réservoirs appelés réservoirs de stabilisation, dans lesquelles la charge organique appliquée ne doit pas excéder 30 à 40 kg de DBO par hectare et par jour, fonctionnent un peu à la manière des lagunages facultatifs. La partie supérieure de la masse d'eau est aérobie ; la partie inférieure est anaérobie. Une partie de l'azote est éliminée, soit par stripping de l'azote ammoniacal, soit par nitrification et dénitrification, une fraction du phosphore entré dans le réservoir se trouve accumulée dans les sédiments. Les bactéries sont éliminées dans la tranche d'eau supérieure, sous l'effet de la lumière et des PH élevés.

L'efficacité de l'épuration, particulièrement l'élimination des coliformes fécaux et des bactériophages, diffère selon que le stockage est alimenté continuellement – au rythme des débits produits par une station d'épuration – ou qu'il est rempli dans un délai de quelques jours à quelques semaines puis isolé. Dans ce deuxième cas, l'efficacité est considérablement accrue (Juanico, 1996).

1. Introduction

La surveillance et l'évaluation sont les conditions principales, pour garantir les objectifs de qualité de tout projet qui emploie l'eau usée traitée. Dans le cas de négligence du code de bonne conduite, le problème critique en irrigation avec l'eau usée traitée est l'impact de ses constituants sur le sol et/ou les cultures ainsi que sur les animaux et les humains nourris avec ces cultures.

C'est ainsi que dans le cadre du projet de réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation du périmètre de la METIDJA, une intention particulière a été portée sur les analyses physiques du sol, chimiques en particulier sur les métaux lourds, biologiques sur les parasites ont été effectuées par le laboratoire de la SEAAL au niveau de la STEP de BARAKI.

2. Traitement des eaux résiduaires urbaines

La station d'épuration de BARAKI est de type boue activée à aération prolongée.

Les différentes étapes du traitement sont :

- **Prétraitement** : dégrillage, dessablage, déshuilage.
- **Traitement secondaire** : aération biologique, clarification
- **Traitement des boues** : épaissement, séchage sur lit.

La fiabilité du traitement et le contrôle continu sont fortement recommandés puisqu'ils ne sont pas sous contrôle de l'agriculteur.

Dans les STEP existantes, la qualité de l'effluent traité est déjà connue, et les agriculteurs doivent adapter leurs pratiques en fonction de l'eau qui est mise à leur service. Cependant, dans la planification et l'exécution de nouveaux projets d'épuration et de réutilisation des eaux usées, le degré de traitement pourrait être exigé.

3. Caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux épurées

Les éléments chimiques contenus dans l'eau d'irrigation, ont une influence sur la composition des sols et le métabolisme des végétaux cultivés.

Les paramètres de qualité qui peuvent être régulièrement surveillés sont :

- PH.
- Salinité.
- Le SAR.
- Les nutriments.
- La charge organique.
- Les matières en suspension.
- Les métaux lourds.
- Les microorganismes pathogènes

3.1. Prélèvement de l'eau épurée

La base de l'analyse ainsi que l'interprétation est l'échantillonnage de l'eau épurée au niveau de la station de BARAKI doit être homogène et représentatif pour ne pas modifier les caractéristiques physico-chimiques qui sont difficile à conserver.

L'échantillonnage se fait au niveau de la sortie finale de la station après passage au clarificateur, manuellement à l'aide d'un récipient ou on le transvase dans des bouteilles en verre de 1,5 L.

L'opérateur prélève quotidiennement des échantillons d'eau épurée de volume égal à des intervalles déterminés (01h) et les mélange pour constituer un échantillon moyen.

Les prélèvements sont conservés à une température de 4°C.

Après avoir pris ces précautions, le lendemain les prélèvements, sont transportés vers le laboratoire concerné ; selon les analyses à réaliser.

3.2. Le pH

En raison de l'intérêt que présente le pH dans la solution biodisponible du sol, un suivi quotidien a été effectué.

Le pH affecte la solubilité des métaux, le développement des microorganismes, l'assimilation des éléments nutritifs par les cultures en place ainsi que l'alcalinité des sols.

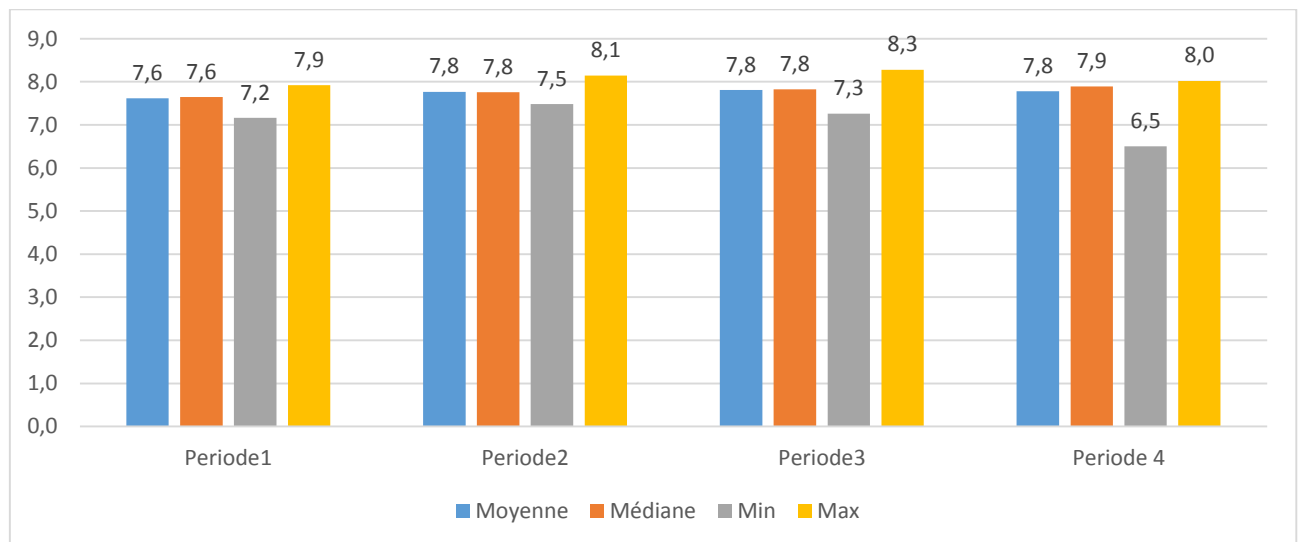


Figure 12: Variation du PH de l'eau épurée.

Le pH moyen des eaux épurées de la STEP de BARAKI est de 7.8, cette valeur répond à la norme de réutilisation agricole des eaux usées traitées. La plage normale de pH pour une eau d'irrigation se situe entre 6.5 et 8.4 autrement l'activité des décomposeurs sera affectée

3.3. Les Nutriments

L'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) sont les nutriments essentiels et indispensables dans le sol, pour une croissance optimale des plantes. Par ailleurs, ils sont indésirables dans les milieux aquatiques car une présence en excès est préjudiciable à l'environnement et à la santé publique. Il est donc indispensable d'optimiser les doses d'irrigation de répondre à la productivité agricole et à la protection des milieux récepteurs. La concentration en azote et phosphore dans les eaux usées traitées peut varier sensiblement selon la source d'eau usée et le procédé de traitement.

La teneur nutritive d'une eau usée peut excéder les besoins de la plante et constituer ainsi une source de pollution des eaux de nappe, des lacs et des rivières. Elle peut également poser des problèmes liés à un développement végétatif excessif en retardant la maturité ou en réduisant la qualité des cultures irriguées.

3.3.1. L'azote

L'azote peut être considéré comme l'élément pivot de la fumure. En quantité excessive, il présente plusieurs griefs sanitaires et environnementaux. Par conséquent, il importe de bien connaître les besoins en azote des cultures et la concentration des effluents utilisés pour l'irrigation afin de prévoir l'utile et éviter le désagréable.

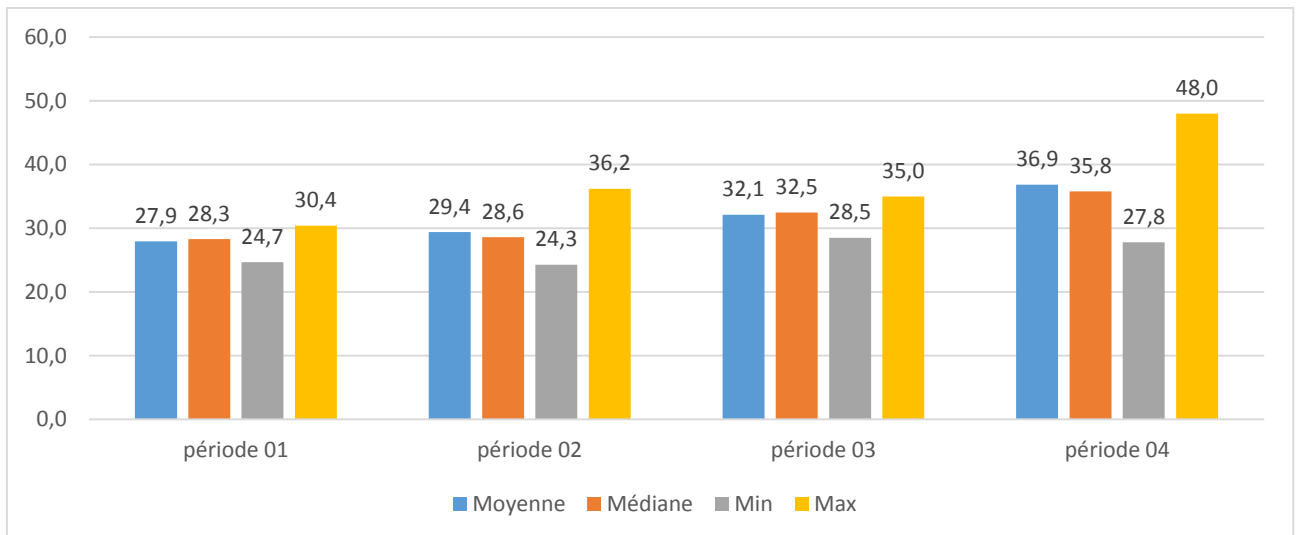


Figure 13: Variation des nitrates de l'eau épurée (mg/L).

Selon l’OMS, les concentrations admissibles en azote des eaux utilisées en irrigation doivent être inférieures à 50mg/l .La teneur moyenne en nitrates de l’eau épurée étudiée est de **31.6 mg/l**. Mais cette teneur est modérée sur des sols légers comme celui de BARAKI ou les nitrates sont peu retenus par le complexe argilo humique dû à l’insuffisance en matière organique et la rapidité de la dissolution de l’ion NO_3^- qui se lessive en profondeur. Pour remédier à ce problème on a proposé une dilution de l’eau de la STEP avec de l’eau de puits à 50%.

Avec un débit journalier de 300 000 m³ et une concentration de 27,9 mg/l d’azote global, la STEP de Baraki peut générer respectivement, un cumule annuel mobilisable en eau de 109 500 000 m³, avec un flux annuels en azote organique et minéral pour la fertilisation agricole de 3055 tonnes.

3.3.2. Le phosphore

Le phosphore comme l’azote présente aussi le même paradoxe car il est d’une part, indispensable dans l’interface sol pour des objectifs d’amélioration de la productivité agricole et d’autre part, indésirable dans l’interface eau car il est un facteur d’eutrophisation par excellence comme il est aussi préjudiciable à la santé publique.

L’évaluation du phosphore dans l’eau usée traitée devrait être réalisée en concomitance avec les analyses de sol pour les conseils de fumure.

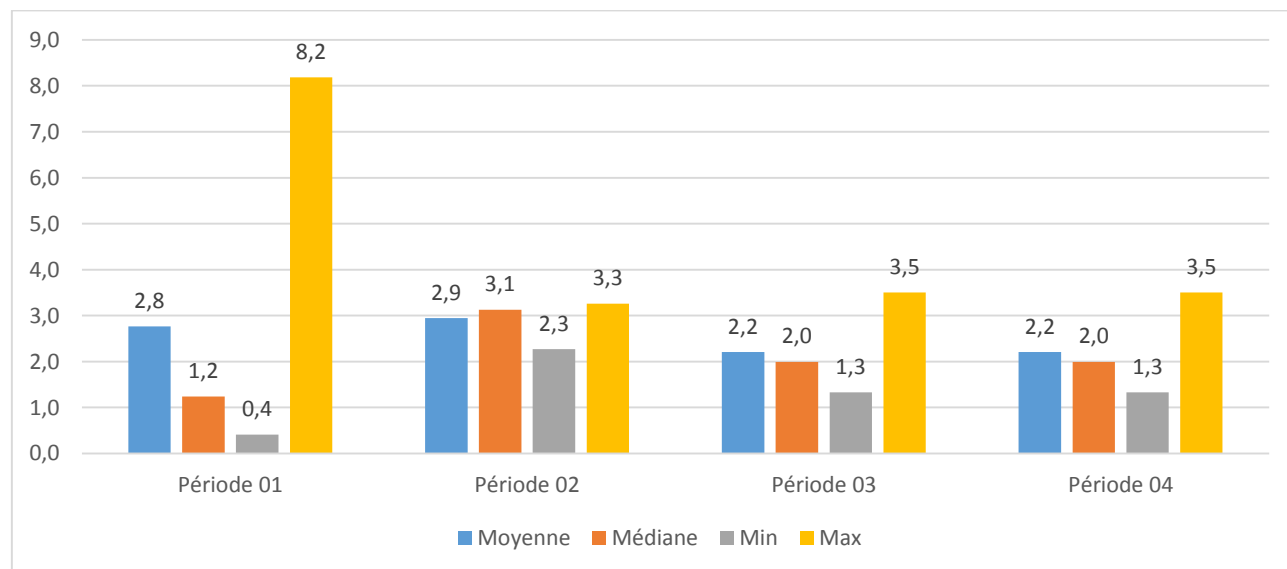


Figure 14: Variation du phosphore total de l’eau épurée (mg/l).

Selon la FAO, la valeur admissible en phosphates pour une eau utilisée en irrigation se situe entre 1 et 5 mg/l.

La teneur moyenne en phosphates des eaux épurées de BARAKI pendant le premier trimestre 2017 est de 2.6 mg/l.

Afin de pallier à tout déséquilibre dans la nutrition végétale, il est conseillé de localiser les apports dans la zone d'activité des racines et d'utiliser des engrais à teneur P_2O_5 rapidement assimilable tel que le superphosphate à 45%.

Par ailleurs, la STEP de Baraki peut générer un flux annuels en phosphore organique et minéral pour la fertilisation agricole de 285 tonnes.

3.4. La charge organique

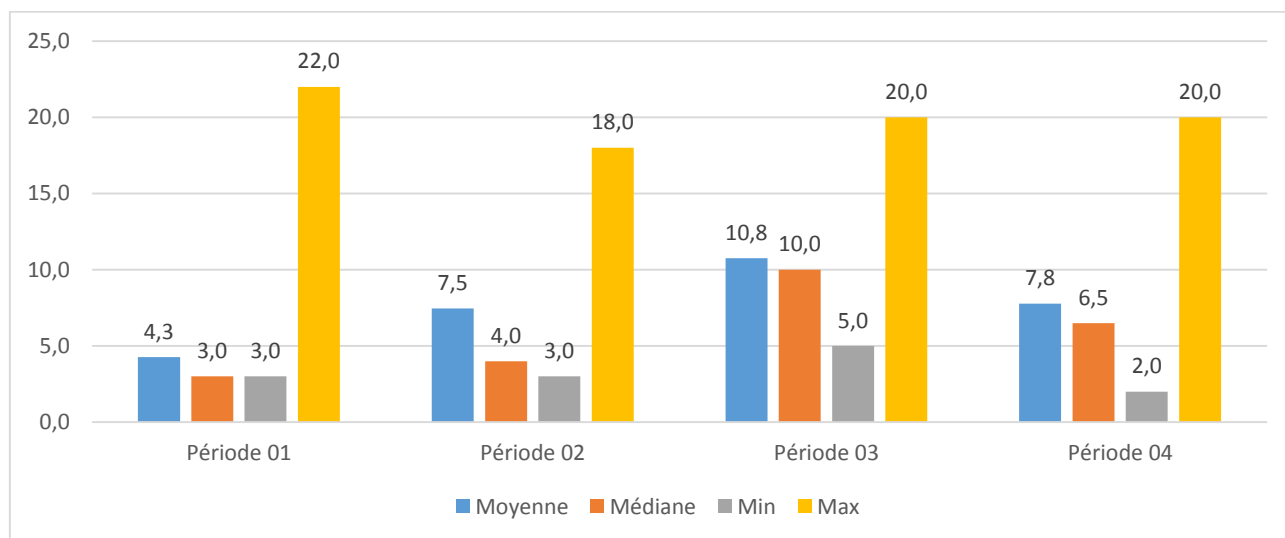


Figure 15: Variation de la DBO5 de l'eau épurée (mg O2 /l).

Selon la FAO, Les eaux épurées doivent présenter une DBO₅ de 10 à 20 mg/l.

Les eaux épurées de BARAKI présentent des valeurs moyennes de DBO₅ de 7.6 mg/l

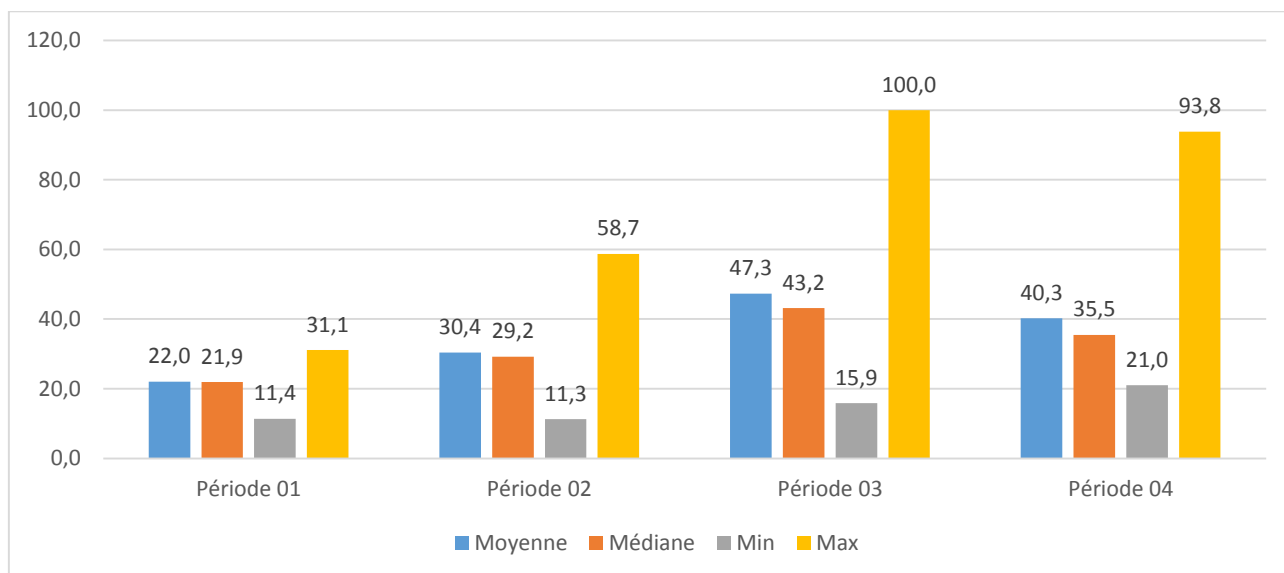


Figure 16: Variation de la DCO de l'eau épurée (mg O₂ /l).

Selon la FAO, Les eaux épurées doivent présenter une DCO de 30 à 60 mg/l.

Les eaux épurées de BARAKI présentent des valeurs moyennes de DCO de 35 mg/l ce qui est conforme à la norme. A partir des irrigations répétées par l'eau épurée qui est relativement chargée, le sol va acquérir une bonne structure avec formation des agrégats qui forme avec l'argile du sol considéré le complexe argilo humique. C'est sur ce complexe que se fixent les ions apportés par l'engrais et qui seront libérés dans la solution du sol pour être ensuite absorbés par les racines.

3.5. Les matières en suspension

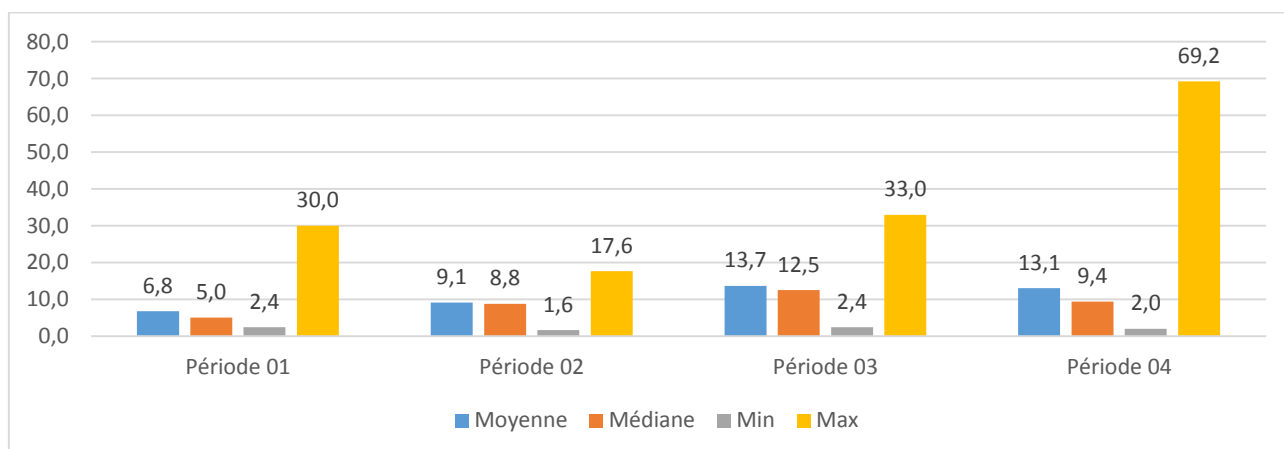


Figure 17 : Variation des matières en suspension de l'eau épurée (mg/L).

Les matières en suspension entraînent le colmatage de la couche superficielle du sol et une imperméabilisation à long terme. Une attention particulière doit être portée aux constituants de l'eau usée traitée qui peuvent obstruer les systèmes d'irrigation. Une filtration peut être requise juste avant l'irrigation

Selon la FAO, la valeur admissible se situe entre 20 et 30 mg/l.

La teneur moyenne en MES de l'eau épurée de BARAKI étant de 10.7 mg/l, qui est inférieure à la norme préconisée par la FAO, toutefois, il faudra prévoir un curetage périodique de la surface de contact pour éviter une diminution rapide de l'infiltration.

3.6. La conductivité

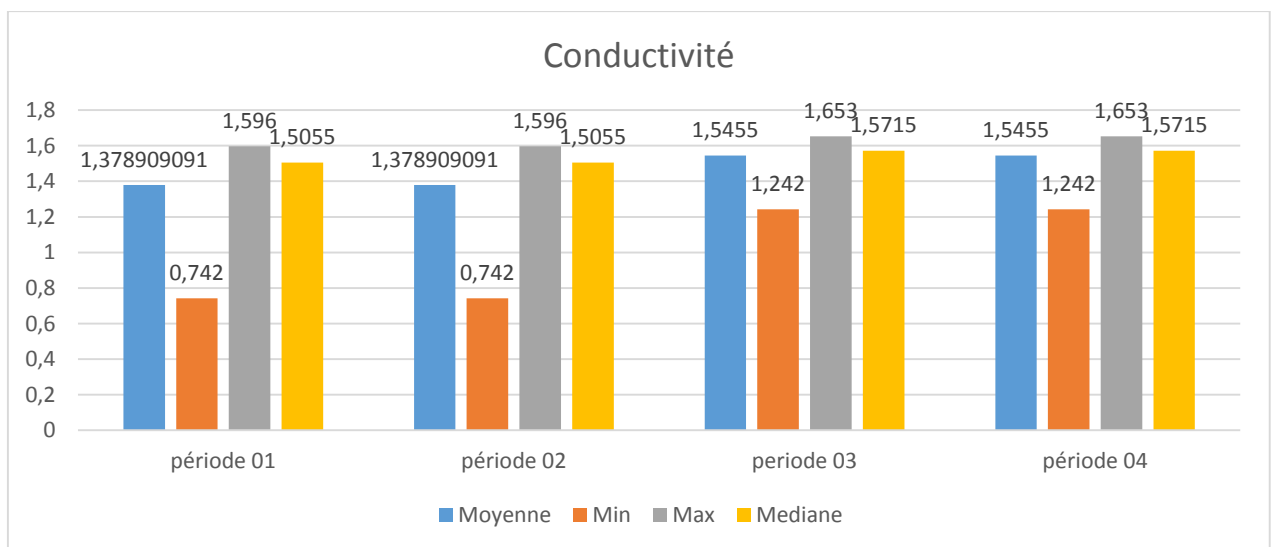


Figure 18: Variation de la conductivité (ms/cm).

Les valeurs obtenues pour la conductivité électrique des eaux usées fluctuent entre 1.37 – 1.54 ms/cm à la sortie.

La valeur moyenne de l'eau à la sortie durant la période d'étude est de 1.46 ms/cm de ce fait on conclue que la step de Baraki est conforme à la norme de rejet de l'OMS (1989), applique en Algérie (<3).

Les résultats CHAFOU et GUERMIT (2015) montrent la valeur de la conductivité moyenne de l'eau sortie est 3.78 ms/cm. Ces derniers restent supérieurs par rapport à nos résultats.

3.7. Critères de qualité biologique

La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation est associée à des agents biologiques (virus, bactéries, protozoaires pathogènes...).

La qualité microbiologique et parasitologique, sont les critères les plus importants pour les ouvriers agricoles ainsi que pour le public qui peuvent être exposé directement ou indirectement à l'eau usée épurée. Ces paramètres peuvent constitués des limites et compromettre ainsi la réutilisation agricole de ces effluents.

Les agriculteurs doivent être informés des directives de qualité microbiologiques recommandée par leur pays ou par l'OMS, comme de la qualité de l'eau usée qui leur est fournie, de façon à appliquer une gestion appropriée dans les limites de risques acceptables pour la santé et l'environnement.

3.8. Les métaux lourds

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

Elément	Boues sèches (mg/kg)	Normes (ppm)
Mn	68	800
Fe	3266	-
Zn	772	3000
Cu	58	1000
Cr	-	1000
Pbg	42	800
Cd	-	20
Hg	0.2815	10

Tableau 16 :Résultats d'analyses des boues résiduaires

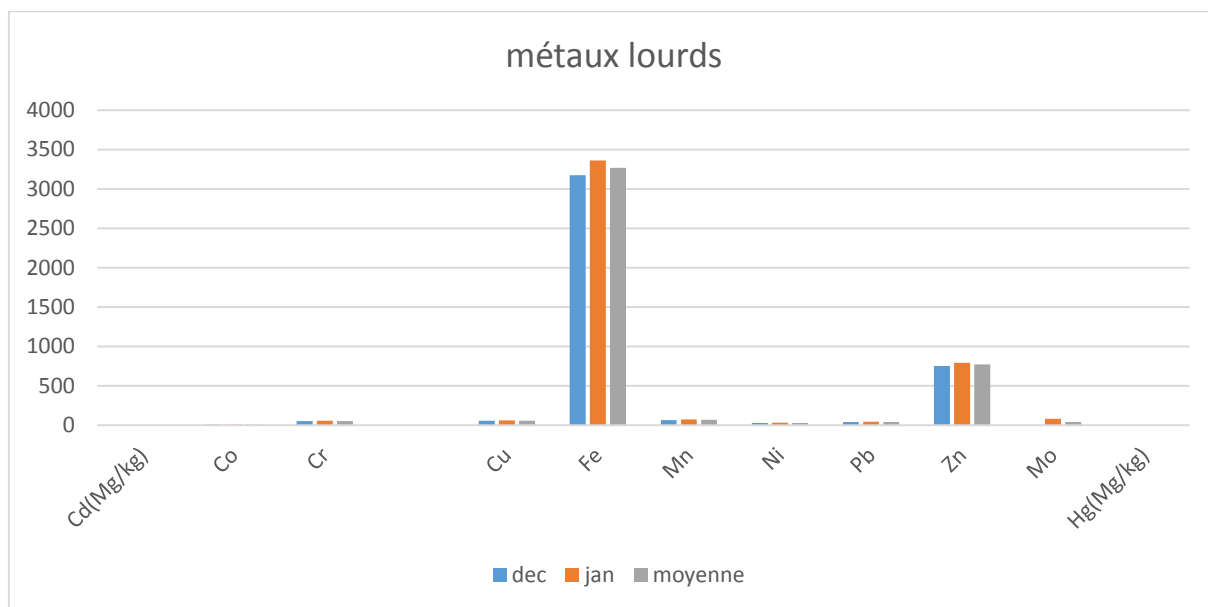


Figure 19 : Variation des métaux dans les boues sèches

Les teneurs en métaux lourds sont largement inférieures aux concentrations admises dans les sols où l'épandage des boues peut s'effectuer. L'analyse a été faite pour caractériser les boues sèches qui ont subi une maturation, avant leur épandage.

Conclusion

La quantité de l'eau épurée de la STEP de Baraki, s'est révélée comme bonne par rapport aux normes exigées de la plupart des paramètres d'évaluation de qualité d'eau.

Les paramètres les plus restrictifs pour l'utilisation agricole de cette eau sont la conductivité, les nitrates et les matières en suspension (MES). Pour la conductivité électrique, la dilution avec l'eau des puits et comme la texture des sols à irriguer est sableuse, résout le danger de salinisation.

Finalement pour les MES, l'installation d'un système d'irrigation goutte à goutte oblige à inclure un système de filtrage de l'eau afin d'éviter des obturations.

Du point de vu santé publique, les contenus de microorganismes se sont révélé comme acceptable selon les normes de l'OMS.

L'ensemble de ces aspects sont pris en considération dans l'étude de réutilisation des eaux épurées en irrigation .en effet, la directive préalable à chaque projet de réutilisation des

eaux usées exige une étude particulière pour tenir compte aussi bien de la qualité de l'eau utilisée et des caractéristiques des sols ainsi que du contexte Socio-économique.

L'objectif principal est de guider et rationaliser la réutilisation des eaux épurées .on exposera également les principales directives environnementales, sanitaires et organisationnelles qui doivent être respectées pour garantir la pérennité de la qualité des ressources en eau et en sols et pour la protection de la santé humaine et animale.

Conclusion générale

La réutilisation des eaux usées permet non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'engrais organiques à minéralisation progressive, mais également de protéger les eaux superficielles et souterraines pour les vocations nobles à savoir l'AEP et limiter ainsi l'usage excessif d'engrais minéraux.

Les eaux usées traitées par la station de Baraki sont des effluents urbains à dominance domestique ce qui permet de qualifier le traitement biologique par boues activées comme traitement efficace et suffisant pour l'épuration de ces eaux usées.

Le coefficient de biodégradabilité DCO/DBO5 mesuré est de 1.60 indique que les eaux usées rejetées sont de nature biodégradable.

Les rendements obtenus pour les différents paramètres DBO, DCO, MES; 97%, 86% ; 94% respectivement ces résultats témoignent de la bonne efficacité du système de traitement mis en place (traitement à boues activées).

Au final, les analyses et les mesures physico-chimiques et biologiques des eaux épurées ont montré que les valeurs de ces paramètres sont conformes aux normes requises et sont donc de bonne qualité pour leur réutilisation en irrigation, ceci dit elles ne présentent aucun danger quant à leur réutilisation.

Les taux de participation annuelle globaux en eau, en azote et en phosphore de la station de Baraki sont respectivement de 3055 tonnes et 285 tonnes.

La quantité d'azote présente dans l'eau usée de la station de Baraki est suffisante, de ce fait le supplément d'engrais n'est alors plus nécessaire pour atteindre un rendement cultural satisfaisant.

La réutilisation des eaux usées, est un domaine où l'Algérie doit redoubler d'efforts. L'eau se faisant de plus en plus rare, les eaux usées seront d'une grande utilité pour l'agriculture algérienne, car la croissance de l'industrie et de la demande intérieure absorbera une bonne partie de l'eau servant normalement à irriguer les cultures et pour une réutilisation sans risques majeurs le respect des recommandations ci-dessous est primordial :

- Organisation et sensibilisation des agriculteurs et des différents utilisateurs (associations).
- Elargissement de la gamme des cultures utilisées et meilleure adaptation des systèmes d'irrigation à la qualité des effluents et à la culture irriguée
- Une réflexion sur de nouvelles valorisations de l'eau traitée (Arrosage des espaces verts, Défense incendie...)
- Mise en place d'un programme de formation, d'encadrement et de vulgarisation.
- Soutien et incitation pour les investissements au niveau des parcelles (acquisition des équipements d'irrigation, etc...).
- Renforcement de la coordination intersectorielle

Références bibliographiques

Ademe, 2000. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines.

Asano, T. 1991. Planification et mise en œuvre des projets de réutilisation de l'eau. Wat. Sci. Tech. 24 (9), 1-10

Baumont, S et AL. 2009 : Recyclage des eaux usées épurées : risques sanitaire et faisabilité en Île-de-France.

Chafou h ; Guernit S, 2015 : Etude l'effet de quelques paramètres physicochimiques des eaux usées de la station WWG sur le comportement des Jonc et Papyrus. Diplôme d'états en écologie environnement. Université Kasdi Merbeh OUARGLA.

Champiat D., Larpent J.P., 1988 - Biologie des eaux. Méthodes et techniques, Masson, paris, pp:186-191.

Djeddi, H.2006 : Utilisation des eaux d'une station pour l'irrigation des essences forestières urbaines (thèse de magister).

Faby, J et Brissaud,F. 1997 : Utilisation des eaux usées en irrigation, office international de l'eau.

G .Shelf-A.Kanarek. «Stabilisation ponds with recirculation»; wat.sci.tech U 31, N °12 .P.389-397.1995.

Hamadech M. 2006. Etude de la valorisation des eaux usées épurées et les possibilités de réutilisation dans l'industrie et l'agriculture. Mémoire ing., U.S.T.H.P., Bab Ezzouar, Alger, 73p.

Jalby, 2007 : Modélisation du comportement des métaux lourds dans une station de traitement des eaux usées, canada 32p

Juanico ,1996 the performance of batch stabilization reservoirs for waste-water treatment, storage and reuse in israel Wat.Sci.Tech,33 ()10-11,149-159

Khacheba R. 2004 – Essai de la réutilisation des eaux usées épurées de la STEP de Staoueli en agriculture. Mémoire ing. Agr., I.N.A., El Harrach, Alger, 69p.

Lazarova, B.2007: Intérêt, bénéfice et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France.

Leclech, B. 1998 : Environnement et agriculture 2ème édition 1998.

Mara, D. and S. Cairncross. 1988. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture: Methods of public health protection. IRCWD News. 24/25: 4-12

Metahri, M-S .2012 : Elimination de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par procédés mixte (thèse de doctorat).

M.R.E., 2007 - Etude réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national. Mission 4: Norme de réutilisation des eaux usées épurées, D.A.P.E.

Rejesk, F. 2002 : analyse de l'eau, aspect réglementaire et technique, édition CRDP.Aquitaine,p 358

Rodier, J. 2005 : L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer 8ème édition. Edition Dunod.

Suschla J.and Ferreira E. (1986) Activated sludge respirometric measurement. Water Rzs 20,137-144

Tecsult. Etude de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national. 051453-3020.Aout 2006. Alger.

Puil C. (1998) - La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration. Mém. D.U.E.S.S. "Eau et Environnement", D.E.P., univ. Picardie.

ANNEXE

Periode1 : Du 21/01/2017 au 20/02/2017

Periode2 : Du 21/02/2017 au 20/03/2017

Periode3 : Du 21/03/2017 au 20/04/2014

Periode4 : Du 21/04/2017 au 20/05/2017

PH

	Periode1	Periode2	Periode3	Période 4
Moyenne	7,6	7,8	7,8	7,8
Médiane	7,6	7,8	7,8	7,9
Min	7,2	7,5	7,3	6,5
Max	7,9	8,1	8,3	8,0

MES

	Période 01	Période 02	Période 03	Période 04
Moyenne	6,8	9,1	13,7	13,1
Médiane	5,0	8,8	12,5	9,4
Min	2,4	1,6	2,4	2,0
Max	30,0	17,6	33,0	69,2

DBO5

	Période 01	Période 02	Période 03	Période 04
Moyenne	4,3	7,5	10,8	7,8
Médiane	3,0	4,0	10,0	6,5
Min	3,0	3,0	5,0	2,0
Max	22,0	18,0	20,0	20,0

DCO

	Période 01	Période 02	Période 03	Période 04
Moyenne	22,0	30,4	47,3	40,3
Médiane	21,9	29,2	43,2	35,5
Min	11,4	11,3	15,9	21,0
Max	31,1	58,7	100,0	93,8

AZOTE

	période 01	période 02	période 03	période 04
Moyenne	27,9	29,4	32,1	36,9
Médiane	28,3	28,6	32,5	35,8
Min	24,7	24,3	28,5	27,8
Max	30,4	36,2	35,0	48,0

PHOSPHORE

	Période 01	Période 02	Période 03	Période 04
Moyenne	2,8	2,9	2,2	2,2
Médiane	1,2	3,1	2,0	2,0
Min	0,4	2,3	1,3	1,3
Max	8,2	3,3	3,5	3,5

METEAUX LOURDS

	dec	jan	moyenne
Cd(Mg/kg)	1,6	1,6	1,6
Co	8	8	8
Cr	52	56	54
Cu	56	60	58
Fe	3172	3360	3266
Mn	64	72	68
Ni	28	32	30
Pb	40	44	42
Zn	752	792	772
Mo	4	80	42
Hg(Mg/kg)	0,34	0,223	0,2815

Résumé

Les résultats des analyses physicochimiques, effectués sur une période de quatre mois, de l'effluent de la station de BARAKI révèlent que les eaux usées présentent un caractère neutre (pH=7.75) et des concentrations moyennes de 31.5 mg/l en azote total et de 2.5 mg/l en phosphore total. La détermination des paramètres indicateurs de pollution mesurés donne en moyenne : DBO5=7.6 mg/l, DCO=35 mg/l, MES=10.6 mg/l.

Au final, on conclut que les valeurs de ces paramètres sont conformes aux normes requises et sont donc de bonne qualité pour leur réutilisation en irrigation.

Mot clés : réutilisation des eaux usées, irrigation, azote, phosphore.

ABSTRACT

The results of the four-month physicochemical analyzes of the effluent from the BARAKI station reveal that the waste water is neutral (pH = 7.75) and that the average concentration of total nitrogen is 31.5 mg/l of 2.5 mg/l of total phosphorus. The determination of the measured pollution indicators gives an average of: BOD5 = 7.6 mg/l, COD = 35 mg / l, MES = 10.6 mg/l.

Finally, it is concluded that the values of these parameters conform to the required standards and are therefore of good quality for their reuse in irrigation.

Key words: waste water reuse, irrigation, nitrogen, phosphorus