

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Béjaïa



Faculté de Technologie
Département d'**Hydraulique**

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement (LRHAE).

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

- **OUADAHI Yanis.**
- **OUIHADDADENE Amokrane.**

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en **Hydraulique**

Option : **Hydraulique Urbaine.**

INTITULE :

Contribution à la caractérisation et à la valorisation des eaux usées de
la localité de SIDI AICH, Wilaya de BEJAIA.

Soutenu publiquement le 03/07/2017 devant le jury composé de :

- **Président : Mr BRAKENI, A.**
- **Promoteur : Mr KADJI, B.**
- **Examineur : Mr YAKOUBI, M.**

Année Universitaire : 2016/2017.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord nous exprimons nos remerciements à Dieu le clément qui nous a donné la force et le courage d'aller au bout de notre objectif.

Nous avons l'honneur et le plaisir d'exprimer notre profonde gratitude à **Mr KADJI Bélaïd**, notre promoteur pour ses conseils, ses orientations et surtout son temps ainsi que la confiance qu'il nous a témoigné, merci pour tous vos efforts.

C'est ainsi que nos remerciements vont à **Mr MERABET Smail** pour sa confiance sans égale qui n'a à aucun moment lésiné ses efforts pour nous aider, nous vous prions monsieur d'accepter nos hommages.

Nous adressons nos vifs et sincères remerciements à **Mme RAHMANI, KHERBACHI, et Mr LAADJOUZI**, du **département de biologie, Faculté de la Science de la Nature et de la Vie (FSNV)** pour leur aide inestimable et de nous avoir mis à disposition tous les moyens dont nous avons besoin pour l'aboutissement de notre travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude aux membres du **Laboratoire du Génie de l'environnement, Laboratoire de la Microbiologie Appliquée, Laboratoire de la Matière Organique** pour leur aide et tous les moyens qu'ils nous ont mis à disposition.

Nous exprimons notre vive reconnaissance aux professeurs et ingénieurs du BLOC 11 à leur tête **Mm BRADAI (Génie des Procédés)** pour leurs aides inestimables.

Que **Mr SAADANE** trouve ici notre Profonde gratitude pour son aide, ses conseils ainsi que ses orientations pertinentes et objectives.

Nous adressons nos vifs remerciements à tous les laborantins du laboratoire d'hygiène de la **Direction de la Santé de la Wilaya de Béjaïa (DSP)** à leur tête **Mm AYADE**, ainsi **Mr SALIM** du laboratoire d'Osiose du **Groupe Cevital**, cela, pour leur aide inestimable lors de notre campagne d'analyse d'eau.

Nous avons l'honneur d'exprimer nos remerciements aux membres du jury qui ont bien voulu examiner notre travail.

Nous remercions également tous les enseignants qui nous ont accompagné durant notre cycle universitaire et tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce présent travail.

Dédicace :

Je dédie ce mémoire à :

Mes chers parents, qui ont œuvré pour ma réussite, de par leur amour, leur soutien tout au long de mes études, je les remercie pour les valeurs nobles et l'éducation. Qu'ils m'ont légué.

Ma sœur Djoudjou pour son soutien permanent, mon frère amazigh.

A la mémoire de mes grands parents.

A tout mes amis à l'exception de : William, Foufa , Moussa ,Mouha , Slimane lewahrani, Kamel cotias , Moumen , les hmitas ,Nadjib et fares .

Et a mon cher binôme Ninich.

Votre Amokrane

DÉDICACES

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail :

A Mon père et à ma mère pour leur exprimer tout le respect que j'ai pour eux
et pour leur témoigner ma reconnaissance pour tous les efforts et sacrifices
qu'ils ont entrepris afin de me voir réussir ainsi de m'avoir légué la plus chère
des vertus qui est l'éducation.

A Mes deux frères, AGHILES ET JUBA qui me soutiennent énormément.

A la mémoire de mes Grands Parents.

A toute la famille OUADAHI et OULD CHALLAL.

A ma bien aimée SONIA.

Tous mes amis : Mamou Agrawliw, Salim, Samir, Slimane, Kamel KOTIAS,
MOUMENE ROUGI, MohDEAN, Moussa, les 3 F, LOUOU21, Moumouh BRO,
Youyou le Grand, Karim Khemis, Nacer Amichi, Mokrane Akil, Mazigh puis-je
me permettre ? Khouya Ali, Rabah Saadi et tous mes autres amis de longue
date.

A mon camarade, confident et frère dans ma famille universitaire AMOKRANE
OUIHADDADENE et toute sa famille.

Votre YANIS OUADAHI.

Sommaire

Introduction générale	1.
Chapitre I : Contexte de l'étude, Problématique et Objectifs.	
I.1. Localisation de la zone d'étude.....	3.
I.2. Le Plan Administratif.....	4.
I.3. La Géographie.....	4.
I.4. Contexte Géologique.....	5.
I.5. Contexte Géomorphologique.....	6.
I.6. Cadre Hydrographique, Hydrogéologique et Climatique.....	7.
I.6.1 L'Hydrographie.....	7.
I.6.2. L'Hydrogéologie.....	7.
I.6.3. Le Climat	8.
I.6.3.1. Les Précipitations.....	8.
I.6.3.2. La Température.....	9.
II. PRESENTATION DE L'ETUDE.....	10.
II.1. Problématique.....	10.
I.2. Objectifs	11.
Chapitre II : Situation D'assainissement de Sidi Aich et le Choix des stations de prélèvement.	
I. Description du réseau d'assainissement existant.....	12.
I.1. Situation du réseau d'assainissement.....	12.
I.2. Rejets existants.....	13.
II. Du rejet à la station d'épuration.....	16.
III. La station et le site de mesure.....	16.
III.1. La station de prélèvement.....	16.
III.2. Le site de mesure.....	17.
IV. Les critères et les étapes de sélection des 05 stations	17.

V. La description et la localisation des stations de mesures.....	20.
---	-----

Chapitre III : Procédés de dépollution.

III.1. Le prétraitement.....	24.
III.1.1. Le dégrillage	24.
III.1.1.1. Grilles manuelles.....	25.
III.1.1.2. Grilles mécaniques.....	26.
III.1.2. Le Dessablage.....	27.
III.1.3. Dégraissage et déshuilage.....	28.
III.1.3.1. Le Dégraissage.....	28.
III.1.3.2. Le Déshuilage.....	28.
III.2. Le Traitement primaire.....	29.
III.2.1. Les Procédés de décantation	29.
III.2.2. Les procédés de coagulation chimiques et électrochimiques.....	30.
III.2.2.1. La coagulation-floculation.....	30.
III.2.2.2. L'électrocoagulation.....	31.
III.3. Le Traitement Secondaire.....	33.
III.3.1. Les procédés biologiques naturels (Lagunage).....	33.
III.3.2. Les Procédés Artificiels de traitement biologique.....	35.
III.3.2.2. Cultures bactériennes aérobies.....	35.
III.3.2.1.1. Cultures libre (Boues activées)	35.
III.3.2.1.2. Cultures Fixes (Lits Bactérien)	37.
III.4. Les Traitement Tertiaires ou de Finitions.....	38.
III.4.1. L'adsorption	39.
III.4.2. La Biofiltration.....	41.
III.4.3. Procédés à membrane.....	42.

III.4.3.1.	Principe d'une membrane.....	42.
III.4.3.2.	Les techniques séparatives à membranes utilisés dans le traitement des eaux.....	42.
III.4.3.3.	Utilisation des membranes de clarification en traitement biologique d'eaux résiduaires.....	43.
IV.3.2.1.	Le Réacteur membranaire Ultrafor®.....	44.
IV.4.	Elimination de la pollution Azotée.....	46.
IV.5.	L'élimination de la pollution phosphorée.....	46.
IV.5.1.	Choix du procédé de déphosphatation.....	46.
IV.6.	La désinfection d'une eau.....	47.
IV.6.1.	La Chloration.....	48.
IV.6.2.	L'Ozone.....	49.
IV.6.3.	Les Ultraviolets.....	50.

Chapitre IV : Réutilisation des eaux usées.

IV.1.	Introduction.....	52.
IV.2.	Définitions.....	52.
IV.3.	Objectif de la réutilisation.....	54.
IV.4.	Développement durable et Réutilisation des eaux usées.....	55.
IV.5.	Quelques Exemples de Réutilisation à travers le monde.....	56.
IV.5.1.	West Basin (Etats Unies d'Amérique)	56.
IV.5.2.	Durban (Afrique du Sud).....	56.
IV.5.3.	Barcelone (Espagne).....	56.
IV.5.4.	Milan San Rocco (Italie).....	57.
IV.5.5.	Berlin (Allemagne).....	57.
IV.5.6.	Lisbonne (Portugal).....	57.

IV.5.1. Disney Land Paris (France).....	57.
IV.6. Intérêts et avantages de la Réutilisation des eaux traitées.....	58.
IV.6.1. Ressource Alternative.....	58.
IV.6.2. Conservation et préservation des ressources.....	58.
IV.6.3. Valeur économique ajoutée.....	58.
IV.6.4. Valeur Environnementale.....	59.
IV.7. Défis et contraintes de la réutilisation des eaux usées.....	59.
IV.7.1. Aspects législatifs et sanitaires.....	59.
IV.7.2. Aspects Sociaux-légaux.....	60.
IV.7.3. Aspects économiques.....	60.
IV.7.4. Aspects environnementaux et agronomiques.....	60.
IV.7.5. Aspects technologiques.....	60.
IV.8. Les principales voies de réutilisation.....	61.
IV.8.2. La réutilisation agricole.....	61.
IV.8.1.1. Les méthodes d'arrosage à utiliser.....	61.
IV.8.1.2. La qualité des eaux à réutiliser.....	62.
IV.8.1.3. Les distances d'arrosage à respecter.....	63.
IV.8.2. La réutilisation industrielle.....	63.
IV.8.3. La réutilisation urbaine.....	63.
IV.8.4. La réutilisation à finalité d'amélioration des ressources.....	64.
IV.9. Technologies de traitement utilisées dans le domaine de réutilisation.....	64.
IV.9.1. Aperçu sur les micropolluants.....	64.
IV.9.2. Les technologies de traitement existantes selon les besoins.....	65.
IV.9.2.1. Exemple d'une technique extensive utilisé sur le terrain.....	66.
IV.9.2.2. Exemple d'une technique intensive.....	67.

IV.9.3. Les technologies adoptées selon les exigences de la REUSE.....	68.
IV.9.4. Les technologies émergentes.....	70.
IV.9.4.1. La technologie HélioPur.....	70.
IV.10. Facteurs d'aide à la décision pour le choix du procédé de traitement.....	72.

Chapitre V : Matériels et Méthodes.

V.1. Echantillonnage.....	73.
V.1.1. Méthodologies d'échantillonnage et conditions de prélèvements.....	74.
V.1.1.1. Modifications possibles de l'échantillon.....	74.
V.1.1.2. Matériau de flaconnage.....	74.
V.1.1.3. Le plan de l'échantillonnage.....	75.
V.1.1.4. Les pratiques de prélèvement.....	75.
V.1.1.5. Matériel utilisé lors du prélèvement.....	76.
V.1.2. Transport et conditionnement des échantillons.....	76.
V.1.2.1. Du terrain au laboratoires.....	76.
V.1.2.2. Réception des échantillons par les laboratoires d'analyse.....	77.
V.2. Méthodes d'analyse.....	77.
V.2.1. Spectrophotométrie UV visible.....	77.
V.2.1.1. La loi de Beer Lambert.....	79.
V.2.1.2. Techniques expérimentales.....	81.
V.2.1.3. Mode Opérateur.....	81.
V.2.2. Analyses physico-chimiques.....	83.
V.2.2.1. Paramètres mesurés in situ.....	83.
V.2.2.2. Paramètres mesurés au laboratoire.....	84.
a) Dosage de l'azote ammoniacal (Méthode spectrophotométrique au réactif de Nessler).....	84.
b) Dosage des Matières En Suspension (MES) par centrifugation	84.

c) Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5).....	85.
d) Dosage de la pollution phosphorée.....	87.
e) Détermination de la Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	88.
f) Mesure du Carbone Organique Total (COT), Nitrite et Nitrate.....	91.
V.2.3. Analyse bactériologique.....	91.
Chapitre VI : Résultats et discussion	
VI.1. Paramètres physico-chimique.....	94.
VI.1.1. Paramètres mesurés in-situ.....	94.
VI.1.1.1. Le pH.....	94.
VI.1.1.2. La Température.....	95.
VI.1.1.3. Solides Dissous Totaux (TDS).....	96.
VI.1.1.4. La Conductivité.....	97.
VI.1.1.5. La Salinité.....	99.
VI.1.1.6. La Turbidité.....	100.
VI.1.1.7. L'oxygène dissous.....	101.
VI.1.2. Paramètres mesurés au Laboratoire.....	102.
VI.1.2.1. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5).....	102.
VI.1.2.2. La Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	103.
VI.1.2.3. Le Carbone Organique Total (COT).....	105.
VI.1.2.4. L'Azote Ammoniacal N-NH ₄	107.
VI.1.2.5. Les Nitrates N-NO ₃ ⁻	108.
VI.1.2.6. Les Nitrites N-NO ₂ ⁻	110.
VI.1.2.7. Les Matières En Suspension.....	111.
VI.1.2.8. Les Phosphore total.....	112.
VI.1.2.9. Les orthophosphates PO ₄ ³⁻	113.
VI.2. Analyse Bactériologique.....	115.
VI.3. Approche méthodologique à la valorisation des eaux usée de notre cas d'étude (la localité de Sidi Aich).....	116.
VI.3.1. Les besoins ciblés par le projet de réutilisation.....	117.
VI.3.2. Proposition d'une chaîne de traitement.....	117.
Conclusion	123.

Liste des tableaux

Tableau 01 : <i>Données Statistiques des Communes de la Daïra de Sidi Aich</i>	4.
Tableau 02 : <i>Les moyennes mensuelles des précipitations (mm) de la région de Sidi Aich (période 1970-2006)</i>	8.
Tableau 03 : <i>Les moyennes mensuelles des température (°C) de la région de Sidi Aich (période 1970-2006)</i>	9.
Tableau 04 : <i>Taille des réseaux d'assainissement</i>	12.
Tableau 05 : <i>La description de quelque rejet de sidi Aich</i>	13.
Tableau 06 : <i>Modes de traitement de réutilisation recommandés par LAZAROVA</i>	69.
Tableau 07 : <i>Convertisseur des valeurs affichées pour la DBO</i>	86.
Tableau 08 : <i>Valeurs du pH</i>	94.
Tableau 09 : <i>Valeurs de la température en (°C)</i>	95.
Tableau 10 : <i>Valeurs des TDS</i>	96.
Tableau 11 : <i>Valeurs de la Conductivité</i>	97.
Tableau 12 : <i>Valeurs de la Salinité</i>	99.
Tableau 13 : <i>Valeurs de la Turbidité</i>	100.
Tableau 14 : <i>Valeurs de l'oxygène dissous</i>	101.
Tableau 14 : <i>Valeurs de la DBO₅</i>	102.
Tableau 15 : <i>Valeurs de la DCO</i>	103.
Tableau 16 : <i>Rapport DCO/DBO de nos échantillons</i>	105.
Tableau 17 : <i>Valeurs du COT</i>	105.
Tableau 18 : <i>Valeurs de l'azote Ammoniacal</i>	107.
Tableau 19 : <i>Valeurs des nitrates</i>	108.

Tableau 20 : Valeurs des nitrites.....	110.
Tableau 21 : Valeurs des MES.....	110.
Tableau 22 : Valeurs du Phosphore total.....	112.
Tableau 23 : Valeurs des Orthophosphates.....	114.
Tableau 24 : Résultats de l'analyse bactériologique de nos échantillons.....	115.
Tableau 25 : Caractéristiques du point de prélèvement 5 (P5 Rémila).....	116.

Liste des figures

Figure (I, 1) : <i>Plan de Situation de la zone d'étude</i>	3.
Figure (I, 2) : <i>Limites Administratives de la commune de Sidi Aich</i>	4.
Figure (I, 3) : <i>SIG de la ville de Sidi Aich et alentours</i>	5.
Figure (I, 4) : <i>Evolution des précipitation moyennes mensuelles de Sidi Aich...</i>	9.
Figure (I, 5) : <i>Evolution des températures moyennes mensuelles de Sidi Aich</i>	10.
Figure (II, 1) : <i>La localisation des rejets de sidi Aich</i>	15.
Figure (II,2) : <i>Représentation de la station et site de mesure</i>	17.
Figure (II, 3) : <i>La délimitation des stations de prélèvement...</i>	19.
Figure (II, 4) : <i>La localisation des points de prélèvement de la station 01...</i>	20.
Figure (II, 5) : <i>La localisation des points de prélèvement de la station 02</i>	21.
Figure (II, 6) : <i>La localisation des points de prélèvement de la station 03</i>	22.
Figure (II, 7) : <i>La localisation des points de prélèvement de la station 04</i>	22.
Figure (II, 8) : <i>La localisation des points de prélèvement de la station 05...</i>	23.
Figure (III,1) : <i>dessin représentatif d'un dégrilleur à l'entrée de station d'épuration</i>	25.
Figure (III,2) : <i>grille manuelle</i>	26.
Figure (III,3) : <i>grille automatique</i>	26.
Figure (III,4) : <i>Schématisation du procédé coagulation- floculation</i>	31.
Figure (III,5) : <i>Schéma de principe de l'électrocoagulation</i>	31.
Figure (III,6) : <i>Schéma de principe d'un lagunage naturel</i>	34.
Figure (III,7) : <i>Principe de la filière lagunage aéré</i>	34.
Figure (III,8) : <i>Principe de la filière lit planté de roseaux</i>	35.

Figure (III,9) : Principe de la filière boues activées...	36.
Figure (III,10) : Schéma de principe d'un décanteur secondaire (clarificateur)	37.
Figure (III,11) : Schéma de la filière lit bactérien précédé par un décanteur-digesteur..	38.
Figure (III,12) : Schéma de principe de la structure poreuse du charbon actif.....	40.
Figure (III,13) : Représentation d'un graphique expliquant le principe d'une membrane.	42.
Figure (III,14) : Différents composés rencontrés dans les eaux naturelles et les techniques permettant leur élimination (BOUCHARD et al., 2000)	43..
Figure (III,15) : Infographie d'un bioréacteur à membrane	44.
Figure (III,16) : Eléments d'un réacteur à membrane	45.
Figure (III,17) : Elimination biologique de l'azote... ..	46.
Figure (III,18) : Elimination biologique du phosphore... ..	47.
Figure (III,19) : Représentation d'une désinfection par UV	50.
Figure (IV, 1) : Représentation de l'augmentation de la consommation d'eau des différents secteurs à travers les temps (Source UNESCO).....	53.
Figure (IV, 2) : Volume moyen journalier des eaux usées recyclées en Europe et quelques pays de la Méditerranée (données pour les années 2000-2003, adaptées de JIMINEZ et ASANO, 2007)	54.
Figure (IV, 3) : Les micropolluants à éliminer suivant la réutilisation ciblée	65.
Figure (IV, 4) : Schéma de circulation des eaux en période d'irrigation.....	67.
Figure (IV, 5) : Schéma représentant le fonctionnement de la STEP de Marrakech, Maroc.	68.
Figure (IV, 6) : Niveaux de traitement préconisé pour les différents types de réutilisation, Source SYNTEAU	69.
Figure (IV, 7) : Le mécanisme du fonctionnement de la technologie HélioPur.....	71.
Figure (IV, 8) : Schéma représentatif du cheminement des eaux usées dans le procédé HélioPur	72.

Figure (V,1) : Etiquetage des bouteilles de prélèvements...	76
Figure (V, 2) : Absorption et couleur dans la spectrophotométrie U.V-visible...	78.
Figure (V, 3) : Principe de la loi Beer Lambert...	79.
Figure (V, 4) : Principe de fonctionnement du spectrophotomètre...	81.
Figure (V, 5) : La courbe d'étalonnage utilisée pour la détermination de la concentration voulue...	82.
Figure (V, 6) : Spectrophotomètre SHIMADZU UV-mini 1240...	83.
Figure (V, 7) : Centrifugeuse SIGMA utilisé pour le dosage de MES...	85.
Figure (V, 8) : Courbe de la DBO₅...	86.
Figure (V, 9) : Incubateur de DBO₅...	87.
Figure (V, 10) : Bouteilles après 05 jours d'incubation	87.
Figure (V, 11) : Spectrophotomètre UV visible NANOCOLOR ® Macherey Nagel..	91.
Figure (V, 12) : Protocole expérimentale pour la recherche et le dénombrement des coliformes...	93.
Figure (VI, 1) : Variation du pH entre les cinq stations de prélèvement	94.
. Figure (VI, 2) : Variation de la température entre les cinq stations de prélèvement	96.
. Figure (VI, 3) : Variation des TDS entre les cinq stations de prélèvement	97.
Figure (VI, 4) : Variation de la conductivité entre les cinq stations de prélèvement	98.
Figure (VI, 5) : Variation de la salinité entre les cinq stations de prélèvement.....	99.
Figure (VI, 6) : Variation de la turbidité entre les cinq stations de prélèvement....	100.
Figure (VI, 7) : Variation de l'oxygène dissous entre les cinq stations de prélèvement	101.
Figure (VI, 8) : Variation de la DBO₅ entre les cinq stations d'échantillonnage	102.
Figure (VI, 9) : Variation de la DCO entre les cinq stations d'échantillonnages...	103.
Figure (VI, 10) : Variation du COT entre les cinq stations de prélèvements.....	106.
Figure (VI, 11) : Variation de l'Azote Ammoniacal entre les cinq stations de prélèvements...	107.
Figure (VI, 12) : Variation des Nitrates entre les cinq stations de prélèvements...	109.

Figure (VI, 13) : *variation de la teneur en nitrites entre les cinq stations de prélèvements..... 110.*

Figure (VI,14) : *Variation spatiale de la charge en matières en suspensions entre les cinq points de prélèvements.....111.*

Figure (VI,15) : *Variation spatiale de la charge en Phosphore total tout au long de la zone d'étude..... 113.*

Figure (VI,16) : *Variation de la charge en Orthophosphates entre les cinq stations de prélèvements114.*

Listes des abréviations et symboles :

- A_p : aire de la section de la particule.
- C : est la concentration des espèces absorbantes.
- CAP : Charbon en poudre.
- CAG : Charbon en grain.
- CD : coefficient de trainée.
- CF : Coliformes fécaux.
- CT : Coliformes totaux.
- DBO : Demande biologique en Oxygène.
- DCO : Demande Chimique en Oxygène.
- DSPB : Direction de la santé populaire de Bejaia.
- ERU : Eaux Résiduaires Usées.
- ERI : Eaux Résiduaires Industriels.
- F : Facteur de dilution qui dépend du volume de l'échantillon à prendre..
- F_D : force de trainée.
- F_r : force résultante.
- F_g : force de décantation due à la pesanteur.
- I : est l'intensité après passage à travers la cuve contenant la solution (intensité transmise).
- I_0 : est l'intensité de la lumière incidente.
- K : est une constante caractéristique de l'échantillon.
- M_1 : masse de la creusé vide après séchage à l'étuve.
- M_2 : masse de la creusé avec le culot après séchage à l'étuve.
- MES : matière en suspension.
- MO : matière organique.
- P1 : prélèvement station01.
- P2 : prélèvement station02.
- P3 : prélèvement station03.
- P4 : prélèvement station04.
- P5 : prélèvement station05.
- SF : Streptocoques.
- UV : Ultraviolet.

Liste des symboles et abréviations

- V : La valeur lue.
- VE : Volume de l'échantillon choisi.
- Z.H.U.N : Zone habitation nouvelle.
- b: volume de la particule.
- l : est la distance traversée par la lumière (épaisseur de la cuve) (en cm) .
- ρ_L : masse volumique de l'eau.
- ρ_p : masse volumique de la particule.

INTRODUCTION **GENERALE**

Introduction générale :

Le problème de l'eau se pose avec acuité aussi bien au Nord qu'au Sud, chez les uns en termes de qualité, chez les autres en termes de quantité. L'accroissement démographique, les activités anthropiques (révolution industrielle sans limite), l'inégale répartition à travers le globe et les changements climatiques (épisodes climatiques extrêmes) exercent une grande pression sur la ressource « eau ». Celle-ci diminue éventuellement à cause de la surexploitation des nappes et de la pollution des eaux de surface (lacs et rivières).

Les incertitudes que soulèvent l'avenir des ressources en eau, accentuent un défi préoccupant pour les scientifiques et les gouvernements pour trouver des dénouements, car l'eau constitue le noyau fleurant de tout développement sur toutes les échelles. L'une de ces solutions est la réutilisation des eaux usées.

La réutilisation des eaux usées REUSE, consiste en l'utilisation d'eaux usées plus ou moins traitées dans un objectif de valorisation (usage bénéfique), soit dans l'agriculture (irrigation) qui se classe comme le grand consommateur d'eau (70% de la demande), ou bien pour des usages industriels et urbains et cela suivant la demande et la législation locale. La valorisation des eaux usées figure parmi les outils de la gestion intégrée de l'eau, c'est une solution choisie dans plusieurs pays (Espagne, Etats Unies d'Amérique, Australie....etc.) Pour équilibrer l'offre et la demande tout en assurant une bonne gestion écologique dans le cadre du développement durable.

Simple, sur le principe, la REUSE est pourtant complexe à mettre en œuvre comme l'attestent les difficultés rencontrées dans la mise en place de nombreux projets. A la croisée des problématiques de gestion de la ressource en eau, de l'assainissement, de l'environnement, de l'agriculture et de la santé publique, une approche intégrée, multidisciplinaire et multisectorielle, spécifique à chaque situation, est nécessaire.

Ses applications sont nombreuses, dépendantes des usages futurs (demande) et surtout de la nature des eaux à traiter, à cet effet, des analyses sur les eaux usées doivent être effectuées afin d'en déterminer les caractéristiques, ces dernières sont nécessaires pour choisir d'une façon optimale les procédures de traitement et d'épuration.

Le sujet que nous aborderons dans ce mémoire de fin de cycle est une approche bilatérale ; nous traiterons dans une partie pratique, la caractérisation des eaux usées de notre

Introduction Générale

cas d'étude (la ville de sidi Aich), l'autre partie sera purement théorique , nous étudions les procédés d'épuration existants afin d'en proposer une chaîne adéquate pour notre site d'étude pour but de réutilisation à caractère agricole. Notre étude sera organisée sous formes de chapitre comme suit :

- Dans le premier chapitre, nous commencerons par une monographie de notre site d'étude et une présentation générale de notre étude.
- Dans le deuxième chapitre, nous donnerons un aperçu sur la situation d'assainissement de sidi Aich ainsi nous choisirons les stations de prélèvements d'eau usée.
- Par la suite, nous passerons au troisième chapitre où les différents procédés de dépollution utilisés pour épurer les eaux usées, seront expliqués.
- Le quatrième chapitre présentera une étude théorique sur la réutilisation des eaux usées.
- Le cinquième chapitre sera consacré pour une présentation du matériel et méthodes utilisé lors de nos analyses
- On terminera notre travail par une interprétation des résultats trouvés lors de nos analyses effectués in situ et ex situ ainsi, nous proposerons une chaîne de traitement pour une éventuelle réutilisation à but agricole pour notre cas d'étude.

Chapitre I

Contexte de l'étude, Problématique et Objectifs.

Introduction

Avant tout projet d'Hydraulique, l'étude du site est nécessaire pour connaître les caractéristiques physiques du lieu et les facteurs influençables sur la conception et l'aboutissement d'un projet.

I. MONOGRAPHIE DE LA ZONE D'ETUDE

I.1. Localisation de la zone d'étude

Sidi Aich est une Ville d'Algérie, se trouvant dans la région de Kabylie, chef-lieu de commune et de daïra du même nom dans la wilaya de Béjaïa. Elle se situe dans la vallée de la Soummam à 43 km au sud de Béjaïa, régionalement elle est entourée de El Flaye, Souk-Oufella et Chemini au sud, Tinebdar à l'ouest, Sidi Ayad à l'est, Timezrit et Fenaïa Ilmaten au nord. Elle se trouve sur la route nationale n° 26 qui relie El Kseur, Sidi-Aïch, Akbou, Tazmalt et Chorfa.

Sidi Aich est un pôle commercial et urbain confirmé située à près de 220 km de la capitale Alger et joue un rôle important sur le plan régional.



Figure (I, 1) : Plan de Situation de la zone d'étude.

I.2. Le Plan Administratif

Après le découpage administratif en 1984, la commune de Sidi Aich a vu sa superficie passer de 51,15 Km² à 7,70 Km² au profit de la création de cinq nouvelles communes dont leurs données statistiques sont détaillées dans le (Tableau 1).

Tableau 01 : Données Statistiques des Communes de la Daïra de Sidi Aich.

Communes	Population	Superficie (Km ²)	Nombre total de logement	Logements habités	TOL	Densité de Population (hab./Km ²)
Sidi Aich	14 386	7,70	3 663	2 762	5	1 868
Tinebdar	6 073	16,61	2 365	1 511	4	366
Tifra	8 771	38,84	3 188	1 629	5	226
Sidi Ayad	6 656	9,06	1 393	761	7	624
El Flaye	6 718	9,48	2 126	1 571	4	709
Total	41 604	81,69	12 735	8 234	5	



Figure (I, 2) : Limites Administratives de la commune de Sidi Aich.

I.3. La Géographie

La géographie est définie littérairement comme l'étude d'une planète, ses terres, ses caractéristiques, ses habitants et ses phénomènes.

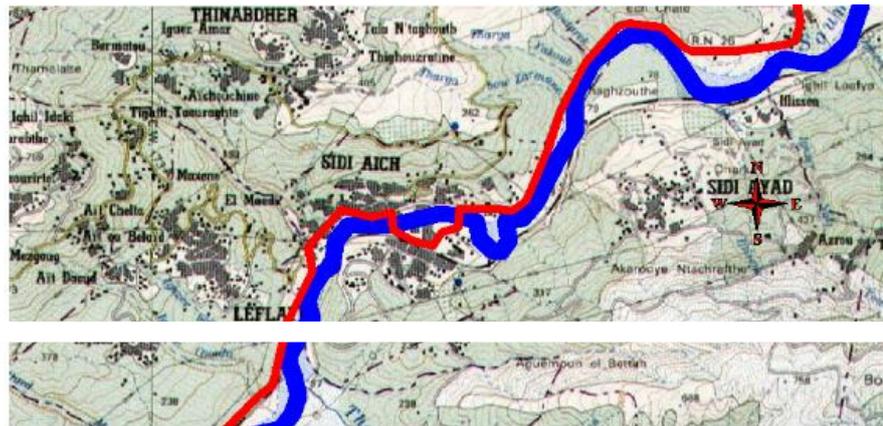
Pour un quelconque projet en hydraulique, l'ingénieur se focalisera sur deux disciplines assez vastes ; la géographie physique (géomorphologie, la paléogéographie et la climatologie) et la géographie régionale dont cette dernière recherche à diviser l'espace en régions.

Pour ce qui concerne notre projet, notre site d'étude à savoir la ville de Sidi Aich se situe au sud de Béjaïa avec les coordonnées géographique suivantes :

Chapitre I Contexte de l'étude, Problématique et Objectifs

- Latitude (36° 36' 46.6'' Nord)
- Longitude (4° 41' 17.87'' Est).

La géographie contemporaine utilise de nouvelles méthodes et techniques par exemple le Système d'Information Géographique (SIG) pour cerner le projet étudié sur plusieurs angles. (Figure I, 3).



Légende de Route

— Route Nationale 26

Légende de Cours_d'eau

— Oued Soummam

Figure (I, 3) : SIG de la ville de Sidi Aich et alentours.

I.4. Contexte Géologique

En Hydraulique, le paramètre « sol » peut être appréhendé sous différents aspects, orientés selon les diverses études et travaux.

L'une de ces études est la géologie ; une discipline qui traite la nature et les composantes du sol et qui détermine à la fin de l'étude le mode de réalisation des tranchées et les engins à utiliser.

Pour ce qui concerne notre zone d'étude, la description géologique touchera deux axes à savoir la géologie régionale et la géologie locale.

- La géologie régionale :

Sur le plan géologique, la wilaya de Bejaia, appartenant au domaine tellien, présente une structure complexe et diversifiée à cause des chevauchements enregistrés entre les différentes formations. La Soummam est interprétée (Naak, 1996) comme étant un accident régional séparant les domaines internes et externes de la chaîne des maghrébines sur la transversale de

Chapitre I Contexte de l'étude, Problématique et Objectifs

Kabylie. Plusieurs ensembles géologiques sont distingués ; le socle cristallophyllien, l'oligo- miocène, la dorsale, le flysch sud kabyle, les dépôts post-nappes et les formations quaternaires.

- La géologie locale :

La carte géologique et la carte lithologique de la wilaya de Béjaïa, montrant le territoire communal de Sidi Aich fait état des affleurements suivant :

- Les cônes de déjections des affluents et des alluvions récents des lits des oueds et les alluvions anciennes des basses terrasses constituées de limons, sable et cailloutis d'âge quaternaire.
- Les marnes grises en alternances avec des grès et des conglomérats du Miocène inférieur (Burdigalien). Cette série est transgressive, en contact anormal avec les formations de l'Oligocène-Trias.
- Les Marnes rouges et vertes de l'Oligocène, affleurant à la limite ouest de Rémila, aux environs de l'oued Lakhséf.
- Les flyschs du Crétacé inférieur, très uniformes, atteignant 400m d'épaisseur formé par l'alternance de grès quartzites et des marnes schisteuses vertes et noires. Cette série affleure au niveau du chef-lieu de Sidi Aich.
- L'Albo- Barrémien à schistes noires avec quelques rares lentilles de calcaires noirs, rencontré au sud de Sidi Aich, est surmonté au sud-ouest de Seddouk par le Cénomaniens inférieur, et reposant à Timezrit sur le Néocomien.
- Le Néocomien qui débute au nord par les marno-calcaires concordant avec le Jurassique supérieur et par des conglomérats transgressifs sur le Lias ; on le rencontre au sud-ouest de Sidi Aich.
- L'unité tellienne du Trias est représentée par le faciès-gypso-salin à la limite de Rémila est à gauche de la RN26 en allant vers Bougie.

I.5. Contexte Géomorphologique

La géomorphologie est la science qui a pour objet la description et l'explication des formes du relief terrestre. La géomorphologie est un facteur déterminant dans l'aménagement des territoires et joue un rôle essentiel dans toute étude hydraulique dont cette dernière est dépendante du type du relief surtout dans le domaine de l'assainissement collectif.

Chapitre I Contexte de l'étude, Problématique et Objectifs

La vallée de la Soummam intra-montagneuse se présente sous forme d'un couloir étroit et à fond plat, orienté E-O à l'ouest, du côté de M'chedallah, acquiert progressivement une orientation SO-NE, depuis Akbou jusqu'à Sidi Aich, puis reprend l'orientation E-O, vers Béjaia. On note aussi les observations suivantes en se référant à la carte des pentes :

- Le relief est en général peu accidenté et très varié.
- 60% de la superficie, les pentes sont inférieures à 05% environ (zone agricole).
- Les terrasses alluviales de part et d'autre de la vallée, sont incluses dans cette zone (pentes de 05 à 15%).

Cette vallée passe par la commune de Sidi Aich, qui comprend trois types reliefs :

➤ La Plaine :

Située le long de la partie centrale de l'agglomération chef-lieu de Sidi Aich et au NE-SO de la zone éparsée de Rémila.

Elle présente une pente inférieure à 05% avec une altitude ne dépassant pas les 100 m.

➤ Le Piémont :

C'est une zone intermédiaire entre montagne et plaine, située le long de la partie centrale de Rémila et de part et d'autre de la plaine au niveau du chef-lieu. On y distingue :

- Bas Piémonts : pente comprise entre 05 et 25%.
- Hauts piémonts : pente comprise entre 25 et 45%.

L'altitude du piémont dépasse en général les 100 m.

➤ La Montagne :

Située au nord et aussi de la commune, présente une pente qui dépasse les 45%.

I.6. Cadre Hydrographique, Hydrogéologique et Climatique

I.6.1 L'Hydrographie

La commune de Sidi Aich est caractérisée par un réseau hydrographique dense. L'oued Soummam est en général de direction Sud-Ouest au Nord-Est de la commune ; faisant trois grands méandres. Des affluents traversant la commune sont secs en été et ne représentent que des petits ruisseaux (cours d'eaux) ramifiés alimentés soit par la fonte des neiges des montagnes, soit par les pluies intermittentes. Le degré de ravinement est très important, cela est dû à la forte pente.

I.6.2. L'Hydrogéologie

Chapitre I Contexte de l'étude, Problématique et Objectifs

La région de Sidi Aich est alimentée par trois forages, les deux premiers font parties de la commune d'El Flaye et alimentent le chef-lieu, le troisième est localisé à Rémila situé au niveau de la plaine de la Soummam, donc alimenté par la nappe alluviale. Les ressources en eau souterraines sont très limitées vu que la vallée de l'oued Soummam est très étroite au niveau de la commune de Sidi Aich.

I.6.3. Le Climat

Le climat est un ensemble de conditions météorologiques qui caractérisent l'atmosphère en un lieu donné. Parmi les facteurs climatiques qu'on peut distinguer, on trouve les facteurs énergétiques, constituées par la lumière et la température, les facteurs hydrologiques constitués par les précipitations et l'hygrométrie et les facteurs mécaniques comme le vent et la neige (RAMADE, 1984).

La commune de Sidi Aich est exposée aux influences du climat méditerranéen du Nord-Est (coté Rémila) et du climat aride du Sud-Ouest (coté Sidi Aich), elle présente un climat méditerranéen subhumide, caractérisé par une saison humide de novembre à la mi-mai et une saison sèche de la mi-mai à la mi-juin et des courtes périodes de sub-sécheresse entre ces deux périodes principales.

I.6.3.1. Les Précipitations

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale non seulement pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres et aquatiques mais aussi pour la répartition des êtres vivants (RAMADE, 1984).

D'après Seltzer (1946), Quezel (1957) et Chaumont et Paquin (1971), la pluviométrie en Algérie est sous l'influence des facteurs géographiques : l'altitude, la latitude, la longitude et l'exposition. Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations de la région de Sidi Aich sont représentées dans le tableau ci-après (Tableau 02) :

Tableau 02 : Les moyennes mensuelles des précipitations (mm) de la région de Sidi Aich (période 1970-2006).

Mois	J	F	M	A	Ma	J	JU	AU	S	O	N	D
P(mm)	118	82.9	73.5	51.3	42.1	17.5	3.3	10.5	32.7	57.8	79.8	111

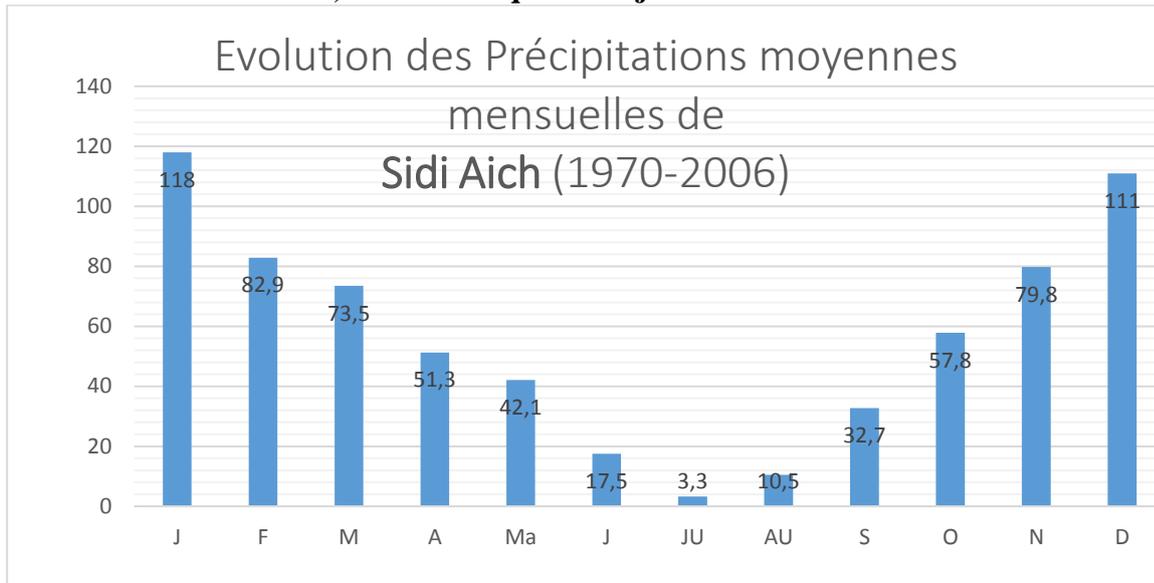


Figure (I, 4) : Evolution des précipitation moyennes mensuelles de Sidi Aich.

La lecture des données pluviométriques mis à disposition par la direction de l'hydraulique de la wilaya de Béjaia (DHW) représentées dans le tableau et l'histogramme ci-dessous, montrent que les maximales des précipitations moyennes mensuelles sont observées en décembre, janvier et février avec des valeurs respectivement de 111 mm, 118 mm et 82.9 mm. Par contre, les précipitations atteignent leur seuil minimal en juin, juillet et août avec des hauteurs de pluies respectivement de 17.5 mm, 3.3 mm, 10.5 mm.

1.6.3.2. La Température

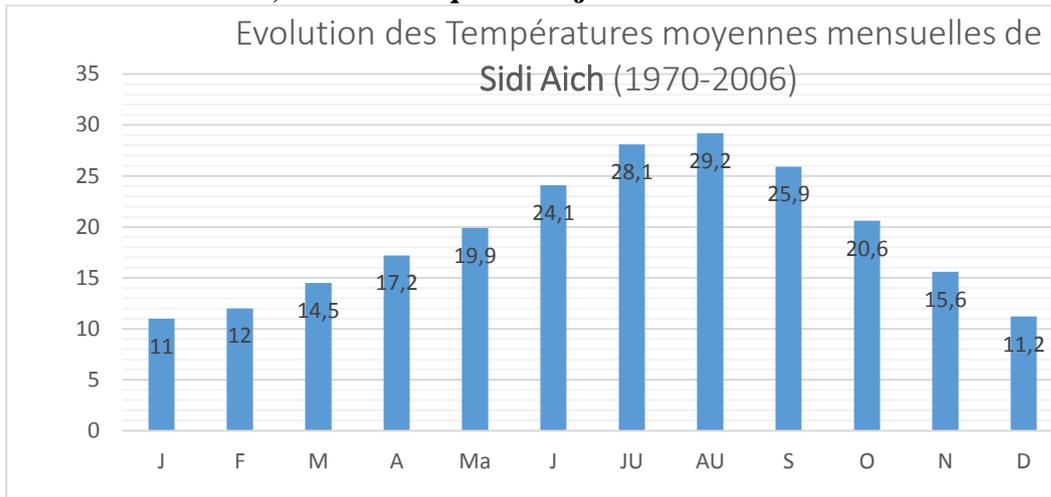
La température est un facteur écologique important. Elle intervient, d'une part, dans l'établissement du bilan hydrologique et d'autre part, elle contrôle les phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition des espèces animales et végétales.

Les valeurs de température moyennes mensuelles sont représentées dans le tableau ci-dessous (Tableau 03).

Tableau 03 : Les moyennes mensuelles des température (°C) de la région de Sidi Aich (période 1970-2006).

Mois	J	F	M	A	Ma	J	JU	AU	S	O	N	D
T(°C)	11.0	12.0	14.5	17.2	19.9	24.1	28.1	29.2	25.9	20.6	15.6	11.2

Chapitre I Contexte de l'étude, Problématique et Objectifs



Figure(I, 5) : Evolution des températures moyennes mensuelles de Sidi Aich.

D'après le tableau 03 et l'histogramme de la figure 05, on remarque que les mois de décembre, janvier et février sont les plus froids et les mois de juillet et août sont les plus chauds.

II. PRESENTATION DE L'ETUDE

II.1. Problématique

Depuis toujours l'eau est indissociable de l'activité humaine, mais cette ressource vitale du tissu socio-économique se fait de plus en plus rare. La densité de la population, l'urbanisation intense et le développement économique avec ses deux secteurs considérés comme très gourmands en eau à savoir l'agriculture (70% des besoins en eau) et l'industrie (20%), font subir une grande pression sur les ressources en eau dont ces dernières prennent beaucoup de plus de temps à se renouveler à cause du réchauffement climatique et leur utilisation irrationnelle.

Les pays méditerranéens sont au cœur de cette pénurie ; en 1961, l'Algérie était déjà au seuil du stress hydrique ($<1700 \text{ m}^3/\text{an}/\text{habitant.}$) et aujourd'hui notre pays a dépassé le seuil de pénurie chronique ($<1000 \text{ m}^3/\text{an}/\text{habitant.}$). Pour faire face à cette problématique majeure, une solution est à préconiser, à savoir la **réutilisation des eaux usées**.

La réutilisation des eaux usées est un enjeu politique et socio-économique pour le développement futur des services d'eau potable et d'assainissement à l'échelle mondiale. Elle présente, en effet, l'avantage majeur d'assurer une ressource alternative à moindre coût permettant de limiter les pénuries d'eau, de mieux préserver les ressources naturelles et de contribuer à la gestion intégrée de l'eau.

Pour notre étude, nous avons choisis la localité de Sidi Aich dans la wilaya de Béjaïa en se basant sur des critères à savoir :

- La ville de Sidi Aich possède la plus grande densité de population en Algérie ($1\ 868 \text{ habitants}/\text{Km}^2$).

Chapitre I Contexte de l'étude, Problématique et Objectifs

- La situation critique de l'assainissement.
- Variabilité de rejets et nature de pollution (effluents domestiques, industrie, stations-service, abattoir, décharge non contrôlée, sablières....etc.
- Les eaux usées sont déversées aléatoirement dans l'oued Soummam, ce qui constitue un réel danger pour l'environnement et la santé publique.

I.2. Objectifs

Ce travail de recherche, qui s'inscrit dans le cadre d'un mémoire de fin d'études de master en Hydraulique Urbaine, a pour objectif l'évaluation des caractéristiques physico chimiques et bactériologiques des eaux usées de la ville de Sidi Aich afin de déterminer des procédés d'épuration et de traitements pour les éventuelles réutilisations suivant les besoins agricoles, industriels et possibilité de réutilisation indirecte (recharge artificielle des nappes).

CHAPITRE II

SITUATION D'ASSAINISSEMENT DE SIDI AICH ET LE CHOIX DES STATIONS DE PRELEVEMENTS.

Introduction

En vue d'une caractérisation globale des différents rejets de la localité étudiée, il aura lieu d'accomplir des prélèvements. Un prélèvement ne peut être fait d'une manière hasardeuse, son lieu adéquat ne sera choisi qu'après une étude des critères dépendant : des objectifs de l'étude, la finalité de la station et la nature et l'importance des investigations au l'occurrence la situation d'assainissement et l'étude de ses rejets.

Sur ce se focalisera ce second chapitre, dont nous présenterons une étude sur la situation de l'assainissement de sidi Aich qui justifiera à grande partie le choix porté sur les lieux de prélèvements.

I. Description du réseau d'assainissement existant

I.1. Situation du réseau d'assainissement

La ville de SIDI AICH est assainie pratiquement dans son ensemble, le réseau est assez ancien à l'exception de la zone d'habitation urbanisée nouvelle (Z.H.U.N).

Il existe deux systèmes de réseaux ; un réseau séparatif au niveau de la rive gauche et la zone d'habitation nouvelle (Z.H.U.N), les eaux pluviales sont drainées séparément des eaux usées et un réseau unitaire collectant toutes les eaux usées et pluviales de la rive droite.

L'ensemble des eaux usées et pluviales est rejeté directement dans LA SOUMMAM (O. MAOUCHE, 2005).

Tableau (4) : Taille des réseaux d'assainissement. (O. MAOUCHE, 2005).

Type réseau	Nombre de collecteurs	Longueur (m.l)
Réseau unitaire	14	5637.926
Réseau pluviales	28	5415.1
Réseau usées	56	12827.53

Chapitre II situation d'assainissement de Sidi-Aich et le choix des stations de prélèvements.

Comme le montre le tableau ci-dessus, les eaux usées représentent 57% de l'ensemble de tous les collecteurs de la ville, soit 12827,53 mètres linéaires tandis que les eaux pluviales représentent 29% avec 5416,1 mètres linéaires. Le réseau unitaire avec une longueur de 5637,926 mètres linéaires représente 14 %.

I.2. Rejets existants

L'inventaire du patrimoine indique la présence de 15 rejets d'eaux usées déversant dans l'oued Soummam sans aucun traitement préalable, à cela s'ajoute les deux rejets industriels celui de l'usine de I.R.I.A.D et de l'usine **Alfaditex** qui sont déversés dans l'oued après traitement

Quant aux débouchés d'eaux pluviales, ils sont au nombre de 9.

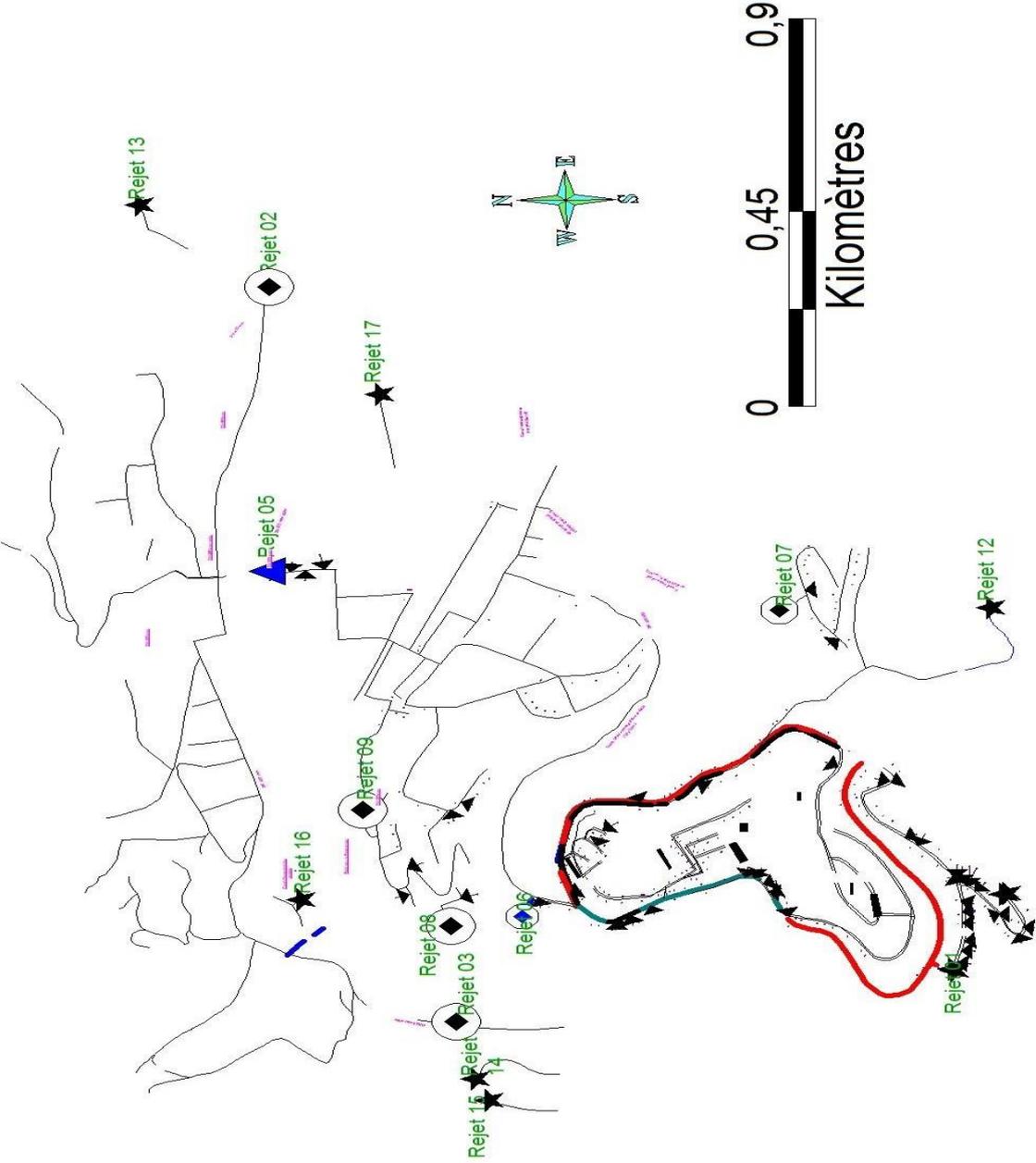
Les rejets recensés par la subdivision d'hydraulique de la daïra de sidi Aich(PDAU) sont présentés dans le **Tableau (5)** et localisés sur **Figure (II.1)**

Tableau (5) : La description de quelque rejet de sidi Aich.

Point de rejet	Origine	Zones assainies	X	Y	Type de Résea
Rejet 01		ZHUN	650969.76	4052665.79	EP
Rejet 02	Abattoir	RG	650630.68	4051657.24	EU
Rejet 03		Ouest de la RG	652187.86	4052831.53	EU
Rejet 04		RG	651515.68	4052894.80	EU
Rejet 05	Quartier de la gare + quartier de la mission	Mission	650466.33	4052511.05	EP+EU
Rejet06	ZHUN+ cité EPLF+ lotissement communal	ZHUN	651533.20	4052813.93	EP
Rejet07		N-E Maala	650727.46	4052392.12	EU
Rejet08	OPGI +cité 216 logements + lycée jeunes filles	216 logements	651425.27	4051932.84	EP+EU
Rejet09		216 logements +lycée jeunes filles	650700.88	4052521.37	EP+EU
Rejet10		SEMPAC	651938.27	4052642.15	EP+EU
Rejet12		Sud Maala	651442.93	4051580.11	EU
Rejet 13	O.N.A.C. O	Quartier talfant	652377.32	4053058.96	EU

Chapitre II situation d'assainissement de Sidi-Aich et le choix des stations de prélèvements.

Rejet 14	Centre culturel + cité police + S.A.A +quartier des oubrahams	Centre culturel Cité de police	650351.33	4052476.25	EU
Rejet15			650302.13	4052451.90	
Rejet16	Ecole privées Soummam +palais de justice	Ecole et palais de justice	650766.40	4052778.08	EU
Rejet 17	ERAID + Etable de commune	ERAID + Etable de commune	651930	4052650	EU
Rejet 18	Village Remila	villageRemila			EU
Rejet 19	L'usine textile « Alfaditex »	Alfaditex			EU



les rejets de sidi aich

Figure (II, 1) : La localisation des rejets de sidi Aich.

Chapitre II situation d'assainissement de Sidi-Aich et le choix des stations de prélèvements.

II. Du rejet à la station d'épuration

L'aspect écologique et environnemental requièrent la collecte de l'ensemble des rejets et l'évacuation de la pollution vers un point de dépollution ; telle est la commodité d'assainir les milieux urbains.

Pour l'étude de notre cas, les contraintes du manque de temps et de moyens nous ont obligé d'exploiter directement le réseau existant et la multitude des rejets non recensés a fait de leur caractérisation une mission ardue.

Pour cela on a procédé par une caractérisation de la majorité des eaux de l'oued de Soummam de la localité de sidi Aich vu que c'est le débouché des eaux usées et pluviales, en effectuant des prélèvements de 05 stations réparties sur le territoire de sidi Aich ce qui déterminera la chaine de traitement de la station de dépollution placée à l'aval de la localité qui s'en charge d'aspirer de l'eau de l'oued pour le dépolluer à finalité de réutilisation.

III. La station et le site de mesure

L'épuration des eaux à finalité de réutilisation nécessite une bonne connaissance de leur état et de leur évolution au cours de l'espace et du temps, pour cela la répartition du cours d'eau en 05 station avec leurs sites de mesures inclues les points de prélèvement nous était très décisif dans l'acquisition des données représentatives permettant d'asseoir cette connaissance. (**Qualité des eaux, LE PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS EN RIVIÈRE, Novembre 2006**)

Avant d'exposer la répartition suivie, nous allons procéder par une vulgarisation du vocabulaire utilisé.

La station de prélèvement

La station de la qualité des eaux superficielles est un volume de rivière sur lequel sont effectués des prélèvements et des mesures en vue de connaître la qualité du cours d'eau à cet endroit. Il est possible de faire des prélèvements dans tout l'espace de la station, elle est caractérisée par (**Qualité des eaux, LE PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS EN RIVIÈRE, Novembre 2006**) :

- Sa localisation administrative (appartenance à une commune).
- Sa localisation géographique (coordonnées géographique).

Chapitre II situation d'assainissement de Sidi-Aich et le choix des stations de prélèvements.

- Son positionnement sur le cours d'eau (code de tronçon hydrographique et point kilométrique).
- Son appartenance éventuelle à un réseau de mesure.
- Le gestionnaire qui l'a créé ou qui l'utilise.

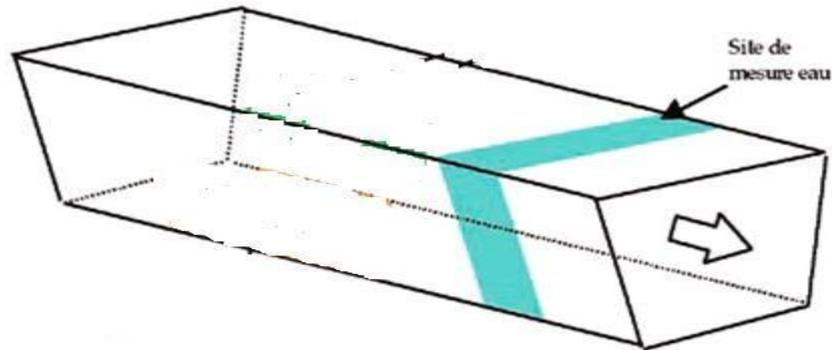


Figure (II,2) : Représentation de la station et site de mesure.

Le site de mesure

Les « sites de mesure » sont des sous volumes cohérents et représentatifs de la station où sont effectués les mesures et les prélèvements destinés à évaluer l'état du milieu sur le lieu de la station. Sur une même station peuvent exister plusieurs sites, à leurs tours peuvent se répartir en un ou plusieurs sites de prélèvements d'eau, ce sont des sites répartis dans la largeur et exceptionnellement dans la profondeur ou la largeur (**Qualité des eaux ,LE PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS EN RIVIÈRE, Novembre 2006**).

VI. Les critères et les étapes de sélection des 05 stations (Qualité des eaux, **LE PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS EN RIVIÈRE, Novembre 2006**)

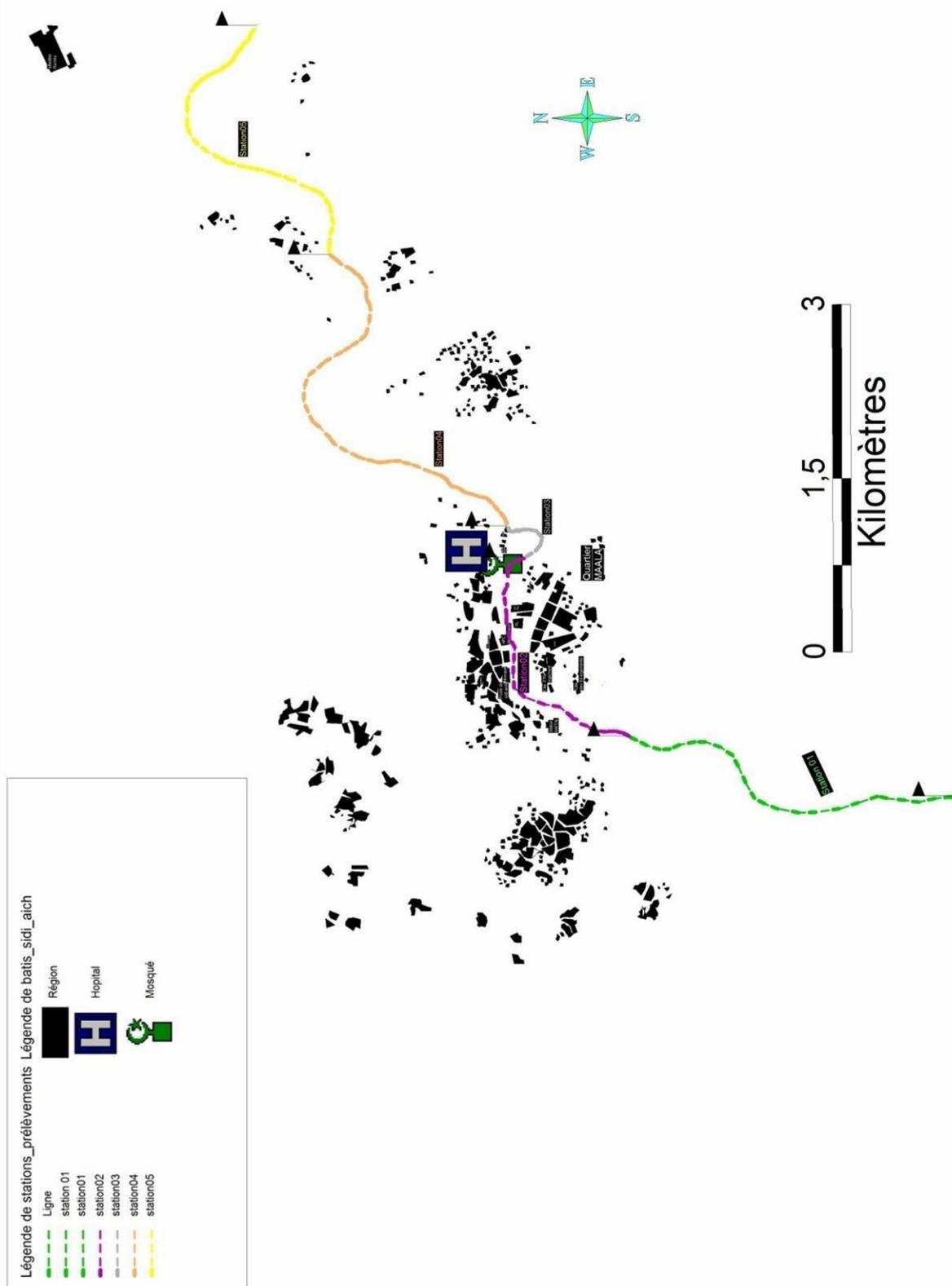
- La sectorisation du cours d'eau qui permet de définir des tronçons homogènes sur la base de critères naturel : **géomorphologie et hydrologie ou /et anthropiques** (perturbations de la chimie des eaux et de la physique du milieu) , pour le cas de notre zone d'étude la morphologie du cours d'eau est presque la même, les données hydrologique sont très rapprochées et l'effet anthropique et constant sur tous le long du cours d'eau, il est causé principalement par des rejets domestiques et 02 unités

Chapitre II situation d'assainissement de Sidi-Aich et le choix des stations de prélèvements.

industriels. Pour cela on a cerné la zone d'étude dans un seul tronçon contenant les 05 stations de prélèvements choisissaient après reconnaissances et enquêtes sur les lieux.

- Les stations étaient retenues sur la base des critères de représentativité des conditions voulu étudier telle que la variation des paramètres d'analyses entre des différents rejets à fin d'avoir une idée sur l'autoépuration de l'oued. De plus les aspects pratiques tels que les facilités d'accès et d'échantillonnages.
- Les sites de mesures peuvent éventuellement changer de localisation pour tenir compte de la variabilité des conditions de milieu (**variation hydrologique, contrainte d'accès**) ou de l'importance du phénomène que l'on veut étudier, pour notre cas on ne s'est pas confronté à ce genre de contrainte, vu qu'on a effectué un seul prélèvement.
- Selon les finalités la station et le point de mesure doivent être positionnés spatialement dans le souci d'une représentativité optimale des caractéristiques de la pollution et globale des différents types et origine de rejets, autrement dit le placement des stations est fait dans la vision de caractériser l'impact du changement du type de rejet et le choix du site de mesure plus au moins près du rejet à fin d'une caractérisation optimale de la pollution.
- La recherche de distance optimale à l'aval du rejet pour une appréciation de l'impact maximal.

Chapitre II situation d'assainissement de Sidi-Aich et le choix des stations de prélèvements.



les stations de prélèvements

Figure (II, 3) : La délimitation des stations de prélèvement

Chapitre II situation d'assainissement de Sidi-Aich et le choix des stations de prélèvements.

V. La description et la localisation des stations de mesures

Après analyse des critères cités ci-dessus notre choix s'est porté comme suit :

(La localisation des stations est présentée dans la **Figure (II, 3)**)

Station 01

- ✚ Localisation administrative : commune de Leflaye
- ✚ Localisation géographique : $M_1(4.67551^\circ, 36.57876^\circ) \longrightarrow M_2(4.68116^\circ, 36.60245^\circ)$.
- ✚ Créé par nous même dans le cadre de l'élaboration du mémoire de fin de d'étude

Site de mesure et points de prélèvements

Le site de mesure est localisé avant le pont

La localisation géographique du point de prélèvements : 95m, $36.587273^\circ, 4.673936^\circ$



Figure (II,4) : La localisation des points de prélèvement de la station 01

Chapitre II situation d'assainissement de Sidi-Aich et le choix des stations de prélèvements.

Station02

- ✚ Localisation administrative : commune de Sidi Aich.
- ✚ Localisation géographique : $M_1(4.68116^\circ, 36.60245^\circ) \longrightarrow M_2(4.69875, 36.61059^\circ)$.
- ✚ Créé par nous même dans le cadre de l'élaboration du mémoire de fin de d'étude

Site de mesure et points de prélèvements

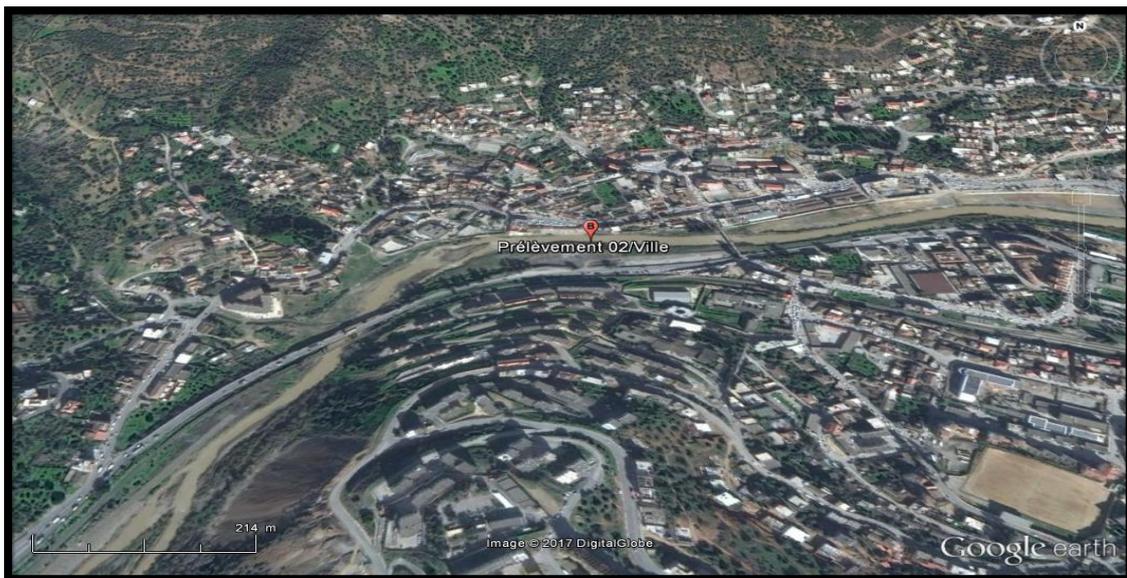


Figure (II,5) : La localisation des points de prélèvement de la station 02

Station03

- ✚ Localisation administrative : commune de Sidi Aich
- ✚ Localisation géographique : $M_1(4.69875^\circ, 36.61059^\circ) \longrightarrow M_2(4.70181^\circ, 36.61194^\circ)$.
- ✚ Créé par nous même dans le cadre de l'élaboration du mémoire de fin de d'étude

Chapitre II situation d'assainissement de Sidi-Aich et le choix des stations de prélèvements.

Site de mesure et points de prélèvements



Figure (II, 6) : La localisation des points de prélèvement de la station 03

Station04

- ✚ Localisation administrative : commune de Sidi Aich
- ✚ Localisation géographique : $M_1(4.70181^\circ, 36.61194^\circ) \longrightarrow M_2(4.72812^\circ, 36.62467^\circ)$.
- ✚ Créé par nous même dans le cadre de l'élaboration du mémoire de fin de d'étude



Figure (II,7) : La localisation des points de prélèvement de la station 04

Chapitre II situation d'assainissement de Sidi-Aich et le choix des stations de prélèvements.

Station05 :

- ✚ Localisation administrative : commune de Remila.
- ✚ Localisation géographique : $M_1(4.72812^\circ, 36.62467^\circ) \longrightarrow M_2(4.75012^\circ, 36.63021^\circ)$.
- ✚ Créé par nous même dans le cadre de l'élaboration du mémoire de fin de d'étude.

Site de mesure et points de prélèvements :

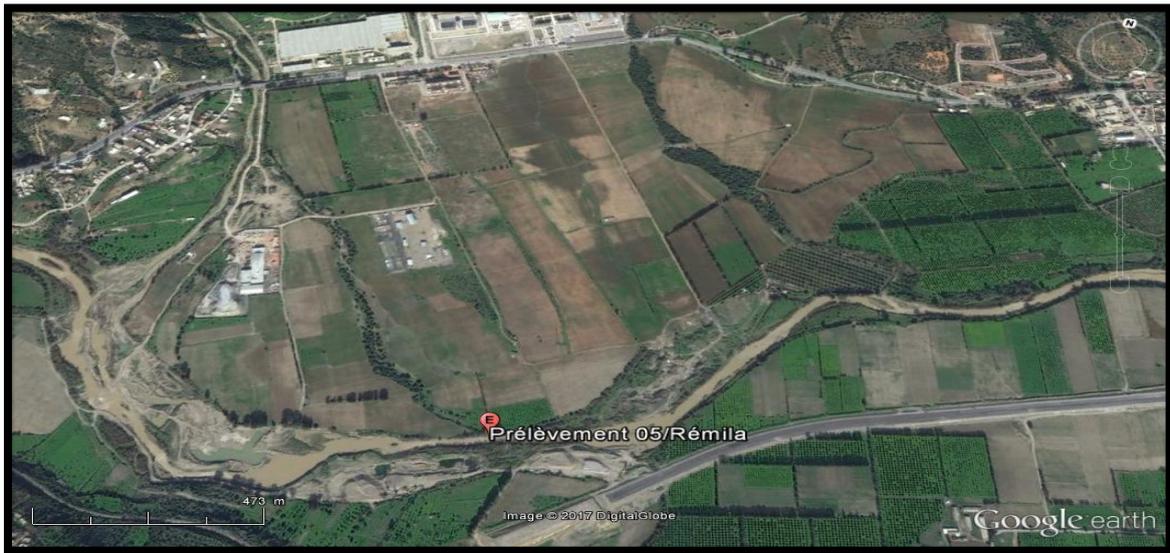


Figure (II, 8) : La localisation des points de prélèvement de la station 05.

Chapitre III

Procédés de dépollution

Introduction

Les eaux usées résiduaires doivent être traités avant leurs rejets dans le milieu naturel ou leur réutilisation, de façon à répondre aux exigences de la santé publique et de l'environnement.

La chaîne de traitement est tracée tel que la qualité exigée puisse être atteinte techniquement et économiquement, elle comporte généralement : un prétraitement, un traitement primaire, un traitement secondaire et tertiaire.

Le prétraitement

Est une étape primordiale du traitement, elle a pour objectif de séparer les matières les plus grossières susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement à savoir les matières grasses, les huiles, les graisses, du sable, des graviers, des pierres et toutes les matières solides et flottantes. **(R. Bourrier, M. Satin, B. Selmi, 2010).**

Il comporte le dégrillage, dessablage, le dégraissage et le déshuilage. On détaillera ci – dessous les rôles et principes de fonctionnement de chaque un d'entre eux.

Le dégrillage

A l'entrée de la station d'épuration les matières volumineuses, contenues dans les effluents bruts, sont retenues au travers de grilles (dans certaines cas le dégrillage est suivi ou remplacé par le tamisage et la dilacération en particulier dans les effluents industriels), cette opération est toujours effectuée si possible avant la station de relevage, afin de protéger les pompes, et de ne pas gêner le fonctionnement des étapes ultérieures du traitement.



Figure (III,1) : dessin représentatif d'un dégrilleur à l'entrée de station d'épuration.

Il ya différents type de dégrillage selon l'écartement entre les barreaux un dégrilleur :

- Prédégrillage : les barreaux des grilles sont espacés de 30 à 100 mm ;
- Dégrillage moyen : les barreaux sont espacés de 10 à 30 mm ;
- Dégrillage fin : les barreaux sont espacés de moins de 10 mm ; le dispositif est généralement précédé d'un prédégrillage de protection.

Les grilles peuvent être verticales, mais sont le plus souvent inclinées de 60 à 80 sur l'horizontale pour une meilleure efficacité du dégrillage, on distingue des grilles manuelles et mécaniques (**R. Bourrier, M. Satin, B. Selmi, 2010**).

Grilles manuelles

Elles sont composées de barreaux droits de section circulaire ou rectangulaire, parfois mobile ou pivotantes pour faciliter le nettoyage du canal.

Ces grilles sont généralement réservées aux très petites installations d'épuration vu le surcoût d'exploitation dû au nettoyage quotidien, nécessitant parfois plusieurs interventions de l'exploitant dans la journée.

Chapitre III Procédés de dépollution

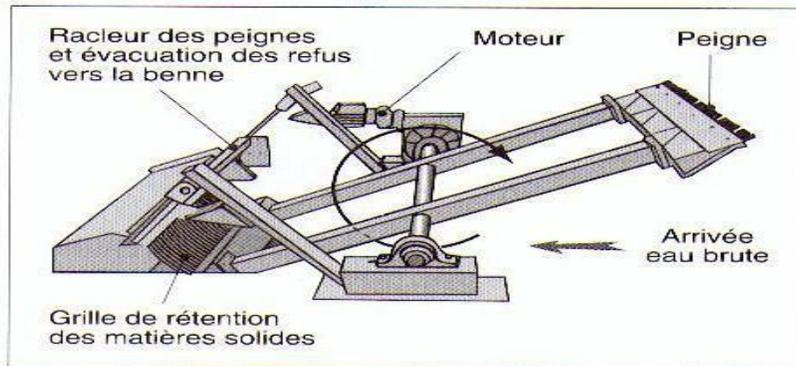


Figure (III,2) : grille manuelle.

Grilles mécaniques

Sont des grilles à fonctionnement automatique par horloge électrique (nettoyage), du coût elle est indispensable à partir d'une certaine taille de station d'épuration, de même pour les petites installations afin de réduire les interventions manuelles coûteuses de nettoyage.



Figure (III,3) : grille automatique.

Afin d'assurer une bonne qualité et rendement du traitement, ainsi que la sécurité des équipements, dans certains cas le dégrillage peut être remplacé ou complété par deux procédés à savoir : dilacération et tamisage.

Chapitre III Procédés de dépollution

Et cela en fonction de la qualité et la quantité des polluants des eaux brutes.

- **La dilacération** : c'est une opération qui concerne essentiellement les eaux résiduaires urbaines, qui a pour but de déchiqeter ou de désintégrer les matières solides décantable fines qui peuvent continuer à suivre le circuit de l'eau vers les stades de traitement ultérieurs, de plus, ce procéder permet de s'en débarrasser des nuisances induites par l'évacuation et la décharge des déchets de dégrillage. (**R. Bourrier, M. Satin, B. Selmi, 2010**).

En revanche, il y a un risque de bouchage des pompes et des tuyauteries dû à l'agglomération en masse de fibres végétales ou textiles broyées associées à des graisses.

- **Le tamisage** : est un procéder physique de traitement des eaux, dont la technique consiste à faire passer les eaux à épurer à travers une toile de fils ou de fibres ou à travers une membrane poreuse, ainsi durant le passage de l'eau certains solides sont arrêté.

Cette opération est préconisée sur les effluents industriels chargés en matières en suspensions, à raison de la récupération des déchets utilisables, la protection de canalisation ou de pompes ainsi que la limitation des risques de dépôts et de fermentations. (**R. Bourrier, M. Satin, B. Selmi,2010**).

III.1.1. Le Dessablage

L'opération de dessablage a pour objectif d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus au moins fines ainsi que les filasses dans le souci de :

- Eviter les dépôts dans les canaux et conduits.
- Protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion.
- Eviter de perturber les autres étapes de traitement, en particulier le réacteur biologique.
- Réduire la production des boues.

Le domaine usuel du dessablage porte sur les particules de granulométrie égale ou supérieure à 200 µm.il fonction sous les théories et les lois de la décantation à savoir les

Chapitre III Procédés de dépollution

vitesses de sédimentations des particules, calculées par les lois de STOCKES et NEWTON. Néanmoins ces vitesses varient avec la turbulence du milieu, la vitesse du courant et la température de l'effluent par l'intermédiaire de sa viscosité. (Bourrier, 2010).

Dégraissage et déshuilage

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent à séparer des produits de densité légèrement inférieure à l'eau, en l'occurrence les huiles et les graisses, par effet de flottation naturelle ou assistée, ces produits se présente sous forme de particules libres, ou agglomérées avec des matières en suspension. Ce qui fait de ce mécanisme un compromis entre une rétention maximale des graisses et un dépôt minimal de boues de fond fermentescibles.

- Les graisses : ce sont des produits solides d'origine animale ou végétale, elles sont présentes dans les eaux résiduaires urbaines et dans certaines eaux résiduaires industrielles.
- Les huiles : sont présentes dans les eaux résiduaires industrielles, elles se composent essentiellement des huiles végétales, huiles minérales, hydrocarbures légers.

Le Dégraissage

L'opération de dégraissage peut être accomplie soit dans une chambre où les eaux sont tranquillisées dans un bac à cloisons siphonides, soit dans un décanteur primaire circulaire muni d'une insufflation d'air favorisant la remontée des particules de graisses et leur agglomération en surface, cependant ce dernier est mal adapté à la reprise des matières flottantes dès que leur volume devient important.

L'extraction des matières grasses peut être réalisée soit par déversement, soit par raclage manuel ou mécanique.

Le Déshuilage

Chapitre III Procédés de dépollution

Cette opération concerne essentiellement deux types d'effluents industriels : des effluents régulièrement huileux et peu huileux, leur déshuilage comporte un ou deux stades, à savoir :

- Le pré-déshuilage, il consiste en l'élimination des hydrocarbures flottants, ce stade peut être combiné avec le dessablage ;
- Le déshuilage de finition, correspondant à l'élimination des hydrocarbures.

Le Traitement primaire

Les procédés de traitement primaire sont de nature physico-chimique. Il sont l'habilité d'éliminer d'une part 50% à 60% des matières en suspension décantable dans l'eau, dans l'optique de réduire les caractéristiques dimensionnels aval d'élimination de la pollution carbonée. (R. Bourrier, M. Satin, B. Selmi, 2010).

Les Procédés de décantation

Le procédé de décantation a pour but d'éliminer les particules en suspension et la séparation solide-liquide sous la base de la pesanteur, afin d'alléger les traitements biologiques ultérieurs.

On utilise le terme de décantation lorsque l'on désire obtenir la clarification d'une eau brute. Si l'on veut obtenir une boue concentrée, on parle de sédimentation.

Les matières en suspension chutent au fond du bassin ou demeurent en suspension dans l'eau,

Selon la relation suivante : (Degrémont, dixième édition, Tome 1, 2005)

$$F_r = F_g - F_D$$
$$F_g = (\rho_p - \rho_L) g \cdot b$$
$$F_D = C_D \cdot A_p \cdot \rho_L \cdot V_p^2 / 2$$

F_g : force de décantation due à la pesanteur

F_D : force de trainée

F_r : force résultante

ρ_p : masse volumique de la particule

ρ_L : masse volumique de l'eau

b : volume de la particule

A_p : aire de la section de la particule

C_D : coefficient de trainée

V_p : vitesse de chute de la particule

Chapitre III Procédés de dépollution

La vitesse de décantation varie aussi en fonction de la température de l'eau : on admet qu'une élévation de température de 0° c à 30° c fait doubler la vitesse de décantation du fait que la densité et la viscosité ont diminué.

Il faut noter que la vitesse d'écoulement reste sans influence sur la décantation dans un bassin à parcours horizontal tant qu'une certaine valeur limite de la vitesse n'est pas dépassée.

Cette vitesse limite est en moyenne de 180 m/h, au-delà de cette vitesse les particules de boues risquent d'être entraînées par le courant et de ne pas se déposer sur le fond du bassin. (**R. Bourrier, M. Satin, B. Selmi, 2010**)

Le dimensionnement des décanteurs est essentiellement fondé sur :

- La vitesse de sédimentation des matières en suspension.
- La charge hydraulique à traiter.
- La charge de pollution.

Les procédés de coagulation chimiques et électrochimiques

Selon la source du coagulant, on peut distinguer deux types de coagulation ; coagulation-floculation chimique ou électrocoagulation.

La coagulation-floculation

Le procédé de coagulation-floculation est un traitement primaire qui permet de débarrasser les eaux usées des impuretés qu'elles contiennent grâce à la réaction d'émulsion.

La coagulation a donc pour but principal de déstabiliser les fines particules en suspension pour ainsi faciliter leur agglomération (**Desjardins, 1997**). Généralement caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques, ce procédé permet d'augmenter substantiellement l'efficacité des traitements secondaires (**Desjardins, 1997**). Il implique le plus souvent la dispersion instantanée d'un sel métallique trivalent Al(III) ou Fe(III) qui neutralise et déstabilise les particules colloïdales pour mener à la formation de floccs (**Monette et al, 2000**). En neutralisant totalement ou partiellement les charges négatives sur ces particules, les interactions de

Chapitre III Procédés de dépollution

Van der Waals se retrouvent prédominantes, ce qui permet une agrégation des matières fines en suspension, puis leur floculation.

La coagulation-floculation facilite l'élimination des MES (Matières En Suspension), en les rassemblant sous formes de flocs dont la séparation s'effectue par décantation, flottation et/ou filtration.

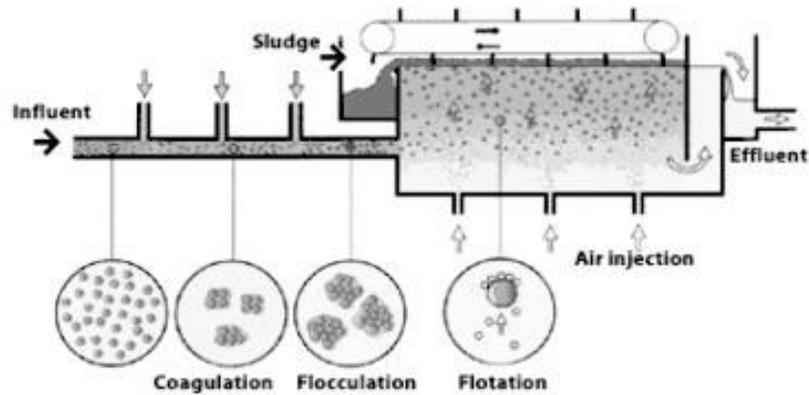


Figure (III,4) : Schématisation du procédé coagulation-floculation.

L'électrocoagulation

L'électrocoagulation est une méthode de traitement des eaux basée sur la dissolution électrochimique d'un métal sacrificiel, qui une fois dans l'effluent et moyennant les autres réactions connexes telle que l'électrolyse de l'eau, donne des complexes d'hydroxydes métalliques qui vont assurer l'adsorption puis la floculation des particules et des composés polluants dissous.

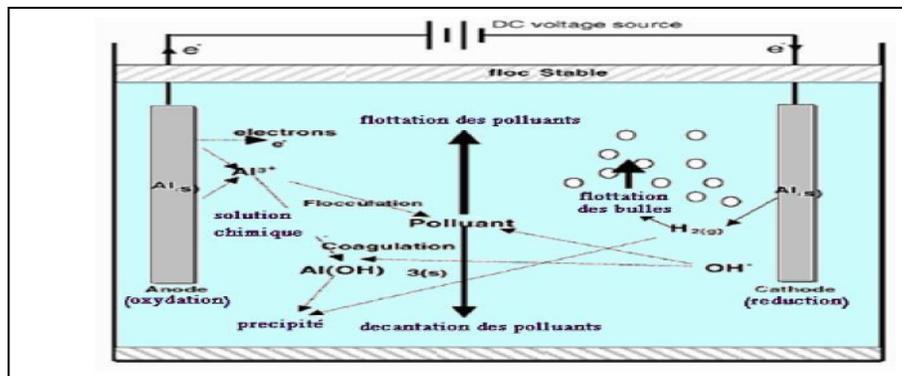


Figure (III,5) : Schématisation du procédé Electrocoagulation.

Chapitre III Procédés de dépollution

Elle est considérée comme un complexe avec une multitude de mécanismes synergiques concourant au traitement de la pollution .**Holt et al. (2005)** ont pu identifier trois catégories de mécanismes en électrocoagulation :

- Les phénomènes électrochimiques.
- La coagulation.
- L'hydrodynamique.

L'action directe d'un champ électrique sur une eau résiduaire permet de créer des conditions d'une bonne coagulation (**Rovel, 1947**). En effet le champ électrique permet de créer, d'une part, un gradient vitesse affectant toutes les particules chargées notamment les ions et les colloïdes facilitant ainsi leur rencontre (**Debillement, 1996**), et d'autre part, en utilisant les anodes de fer et d'aluminium, on arrive à faire passer en solution des quantités contrôlables d'ions métallique indispensables à la création des floccs de taille suffisant. La séparation de la masse aqueuse est réalisée par flottation ou par décantation.

Mollah *et al.* (2001) résumant ce processus comme suit :

- La formation des coagulants par l'oxydation électrolytique des métaux sacrificiels.
- La déstabilisation des contaminants, polluants, des matières en suspension et la cassure des émulsions.
- L'agrégation des phases déstabilisées pour former des floccs. Cette

dernière étape peut être résumée par les sous étapes ci-après :

- Présence forte de la double couche diffuse autour des espèces chargées obtenues grâce aux interactions des ions métalliques provenant de la dissolution de l'anode sacrificielle.
- Neutralisation des espèces ioniques présentes dans l'eau par les cations.
- Formation de floccs comme le résultat de l'agglomération des particules et des colloïdes autour des espèces coagulées.

Chapitre III Procédés de dépollution

Le Traitement Secondaire

Dans la plupart des cas, le taux d'épuration exigé pour le rejet des effluents dans le milieu récepteur n'est pas atteint par une simple épuration préliminaire et primaire.

Les traitements secondaires conçus font appel généralement aux procédés biologiques, dont les eaux usées collectées sont soumises à un traitement qui permet de reproduire l'action de la nature ; dans lesquels on fait consommer la plus grande partie des matières organiques présentes dans les eaux usées par des bactéries aérobies ou anaérobies. Les procédés les plus couramment mis en œuvre pour la dépollution des rejets urbains et industriels sont de type aérobie (**DEGREMONT, Tome I, 2005**). On distingue :

- ❖ Les **procédés aérobies utilisant une culture bactérienne libre en suspension** dans l'eau à traiter (épuration par boues activées, lagunage naturel et aéré).
- ❖ Les **procédés aérobies utilisant une culture bactérienne fixée sur un support** (épuration par lits bactériens ou par biofiltration).

Les procédés biologiques naturels (Lagunage)

Cette méthode repose sur la présence de bactéries aérobies en cultures libres dans une lagune. Il s'agit d'un procédé extensif. Après dégrillage, les eaux usées circulent dans différents bassins afin que les bactéries nettoient ces dernières. Les bassins doivent être étanches sous peine de polluer le sol sous-jacent (**FNDAE n°22**).

Le créneau privilégié d'application de ce procédé rustique peut être défini comme suit :

- Petites collectivités : 250 à 1500 EH (conseillé) voire 100 à 2000 EH (possible).
- Nature du sol peu perméable (ou emploi de géomembranes si coefficient de Darcy $> 10^{-6}$ m/s).
- Grande disponibilité en terrain.

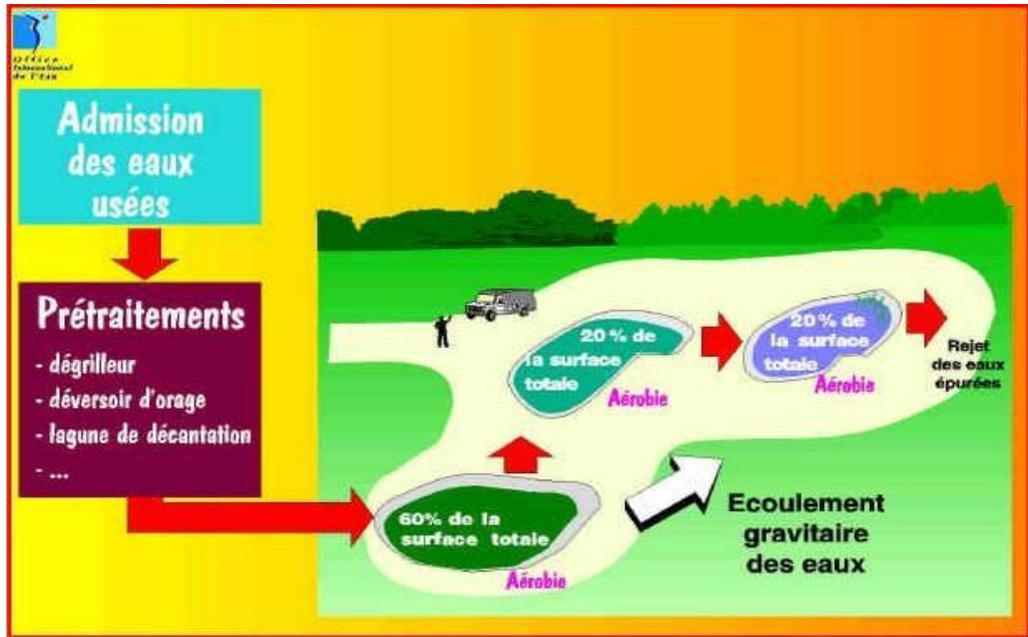


Figure (III,6) : Schéma de principe d'un lagunage naturel.

L'épuration par lagunage naturel repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en cultures libres et d'algues. L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit uniquement grâce aux mécanismes photosynthétiques des végétaux en présence de rayonnements lumineux, ou par l'utilisation de l'aération artificielle. La lagune peut également être naturelle ou artificielle (Falcon, 2010).

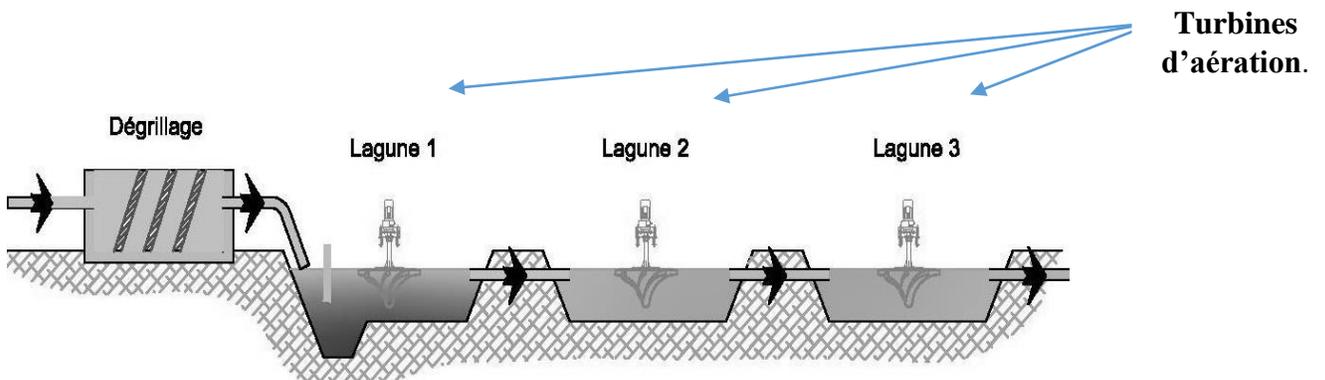


Figure (III,7) : Principe de la filière lagunage aéré.

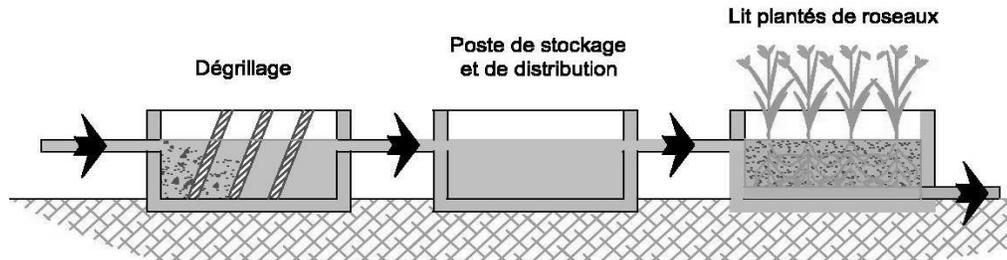


Figure (II,8): Principe de la filière lit planté de roseaux.

Les Procédés Artificiels de traitement biologique

Cultures bactériennes aérobies

On entend par cultures bactériennes aérobies l'ensemble des procédés mettant en œuvre des réactions à prédominance aérobie (présence d'oxygène) en combinaison avec des temps d'anoxie ou d'anaérobie-anoxie.

Ces cultures forment le noyau du traitement biologique des eaux usées, selon plusieurs auteurs, leur utilisation est préconisée si on remplit les critères et conditions de traitabilité biologique suivantes :

- $6.5 < \text{PH} < 8.5$.
- $\text{DBO}/\text{DCO} > 0.3$.
- Respect de l'équilibre nutritionnel : $\text{DBO}/\text{N} < 20$, $\text{DBO}/\text{P} < 100$.
- Absence de produit toxique.

Cultures libre (Boues activées)

Son principe réside dans la reproduction du système d'autoépuration d'une rivière en mettant en place une microfaune bactérienne appelé « Boues activées », qui en présence d'air va transformer en boues la pollution dissoute reçue. Ces boues sont séparées de l'eau épurée par un clarificateur (**FNDAE n° 22**)

Les stations de boues activées comportent essentiellement (figure **(III.9)**) :

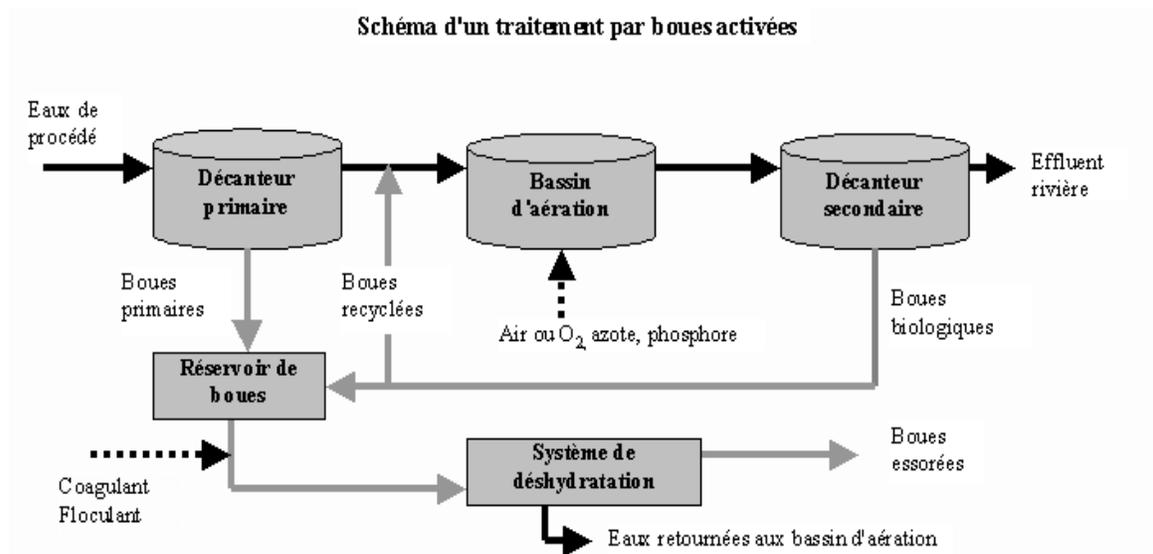


Figure (III,9) : Principe de la filière boues activées.

- Un bassin d'aération : C'est un élément fondamental de la filière biologique Boues Activées ; il représente le réacteur biologique dans lequel s'effectue la transformation de la matière organique par les microorganismes aérobies. Pour fournir l'oxygène nécessaire aux bactéries, on utilise plusieurs types d'aération ; soit par utilisation de turbines, de brosses ou des insufflations d'air (diffuseurs à fine bulles).
- Un clarificateur qui est utilisé afin de séparer les boues produites (concentration de la culture bactérienne) et l'eau épurée. Appelé aussi décanteur secondaire, le clarificateur est un ouvrage cylindrique muni d'un racleur de fond, d'une jupe de répartition « CLIFFORD » qui a pour objet de dissiper au mieux l'énergie hydraulique à l'entrée du clarificateur afin de limiter les turbulences. Le décanteur secondaire est aussi muni d'une lame déversante (goulotte) pour la récupération de l'eau épurée. Il dispose d'un racleur de fond (pour les boues décantées dans le fond de l'ouvrage) reposant sur un radier lisse.

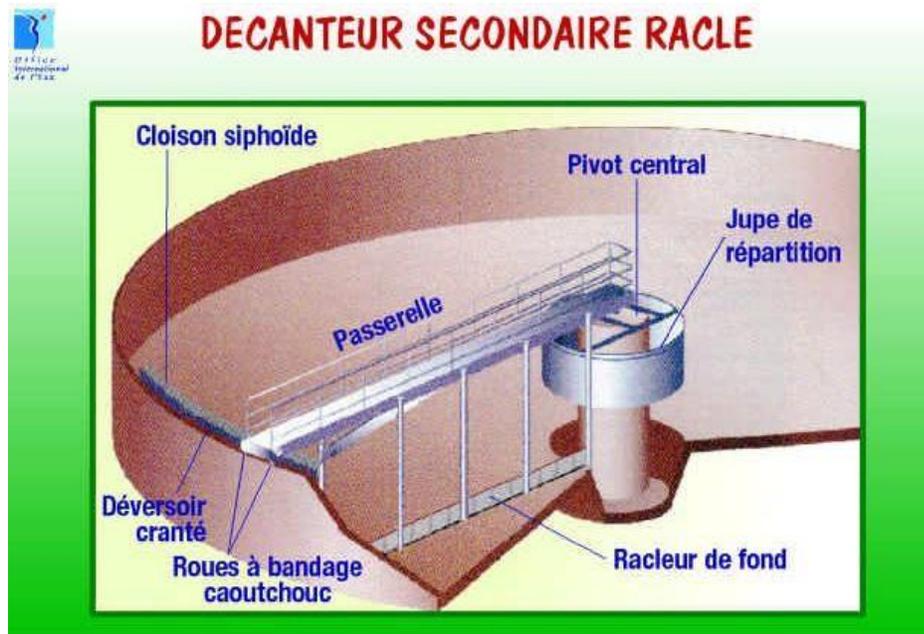


Figure (III,10) : Schéma de principe d'un décanteur secondaire (clarificateur).

- Un système de recirculation des boues biologique en assurant leur retour dans le bassin d'aération.

Les procédés par boues activées présentent certains inconvénients, voire certaines impossibilités, résultant de l'éventuelle incompatibilité de la vie des micro-organismes avec la nature et la qualité de l'effluent (cas des produits chimiques, de la température ambiante dans le bassin d'aération). Ils exigent une surveillance très pointue, incompatible avec les petites stations. Aussi, en ce qui concerne les concentrations virales présentes dans les eaux résiduaires urbaines, le traitement par boues activées permet de retenir 55 à 75%, cela peut engendrer des impacts négatifs sur le milieu récepteur et dans le cas d'une réutilisation de l'eau épurée.

Cultures Fixes (Lits Bactérien)

Ce terme regroupe tous les procédés où la biomasse épuratrice est accrochée sur un support solide, à travers lequel s'infiltre l'eau à traiter. Les procédés à cultures fixées sur supports grossiers sont intéressants pour les petites collectivités car ils offrent des contraintes d'exploitation limitées et de faibles coûts énergétiques. Dans ce chapitre on

Chapitre III Procédés de dépollution

traitera le lit bactérien. Son principe de fonctionnement consiste à faire ruisseler l'eau à traiter, préalablement décantée ou au moins bien tamisée, sur une masse de matériau naturel ou plastique, ces derniers servent de support aux bactéries (micro-organismes) épuratrices qui forment un film biologique

Ce type de procédé nécessite un traitement primaire en tête ; généralement des décanteurs-digesteurs sont prévus qui a pour objet d'assurer :

- ✓ Un dépôt de particule en suspension contenues dans les eaux usées préalablement prétraités par simple séparation gravitaire.
- ✓ La digestion anaérobie de la fraction organique de ces dépôt progressivement accumulée.

Selon le cahier 22 de la FNDAE (FONDS NATIONAL POUR LE DEVELOPPEMENT DES ADDUCTIONS D'EAU) de l'Office International de l'eau ; le temps de séjour de l'eau à traiter dans le décanteur-digesteur est d'une heure (1h) et ce dernier présente des performances d'élimination des MES et de la DBO de 50% et 30% respectivement.

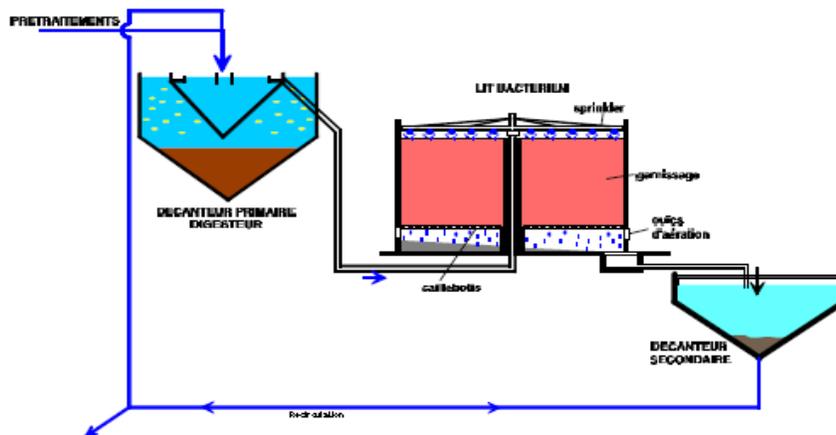


Figure (II,11) : Schéma de la filière lit bactérien précédé par un décanteur-digesteur.

Les Traitement Tertiaires ou de Finitions

Dans le vocabulaire courant de l'épuration, ce terme désigne un traitement complémentaire permettant d'obtenir une qualité d'effluent traité supérieure à celle

Chapitre III Procédés de dépollution

obtenue par les procédés biologiques classiques. Il s'agit en fait d'affiner l'eau en poussant l'épuration le plus loin possible avec la possibilité de viser deux objectifs différents :

➤ L'amélioration des performances sur les paramètres classiques (MES, DBO₅, DCO) : le traitement tertiaire est alors un affinage qui peut être obtenu par différentes techniques.

➤ L'action spécifique sur un paramètre qui n'est que peu ou pas touché par les traitements classiques : c'est le cas de la **désinfection**, par laquelle on s'attache à réduire la pollution bactérienne, ou des procédés visant l'**élimination des éléments nutritifs** (azote ou phosphore) facteurs d'eutrophisation, par des traitements biologiques (nitrification et dénitrification de l'azote) ou physico-chimiques (précipitation du phosphore).

Donc dans cette section, nous allons mettre en valeur et expliquer d'abord les procédés d'élimination des MES, DBO et DCO à savoir l'adsorption, biofiltration, l'utilisation membranaire, ainsi nous aborderons les mécanismes d'élimination de la pollution azotée (nitrification-dénitrification) et phosphorée (déphosphatation). Outre, les techniques d'élimination des souches microbiologique (bactéries, parasite, virus...etc.) entre autres la chloration, les Ultraviolets et l'ozone. Enfin nous donnerons un aperçu sur le traitement des boues générées lors des phases du traitement.

L'adsorption

L'adsorption est la propriété de certains matériaux de fixer à leur surface des ions et des molécules ; il y'a alors transfert de matière de la phase aqueuse vers la surface solide.

La capacité d'adsorption du solide dépend :

✓ De la surface spécifique du matériau : Les argiles et la silice (solides dans le milieu naturel) possèdent des surfaces spécifiques élevées mais variables selon le pH et la nature du milieu aqueux. Ainsi les bentonites ont une surface, accessible à la plupart des molécules (capacité d'adsorption très variable). Par contre le charbon

Chapitre III Procédés de dépollution

actif (adsorbant industriel), développe des surfaces spécifiques bien supérieur (600 à 2500 m²/g), caractéristique d'une forte microporosité.

✓ Du temps de contact entre le solide adsorbant et les solutés : c'est le temps que mettent les polluants pour migrer dans les interstices de l'adsorbant.

L'expérience montre que les charbons actifs sont des adsorbants à très large spectre : la plupart des molécules organiques se fixent à leur surface (les molécules génératrices de goût et d'odeur). Outre, il présente la capacité d'être un bon support de bactéries capable de dégradé la fraction biodégradable de la phase adsorbée (DEGREMONT, TOME I, 2005).

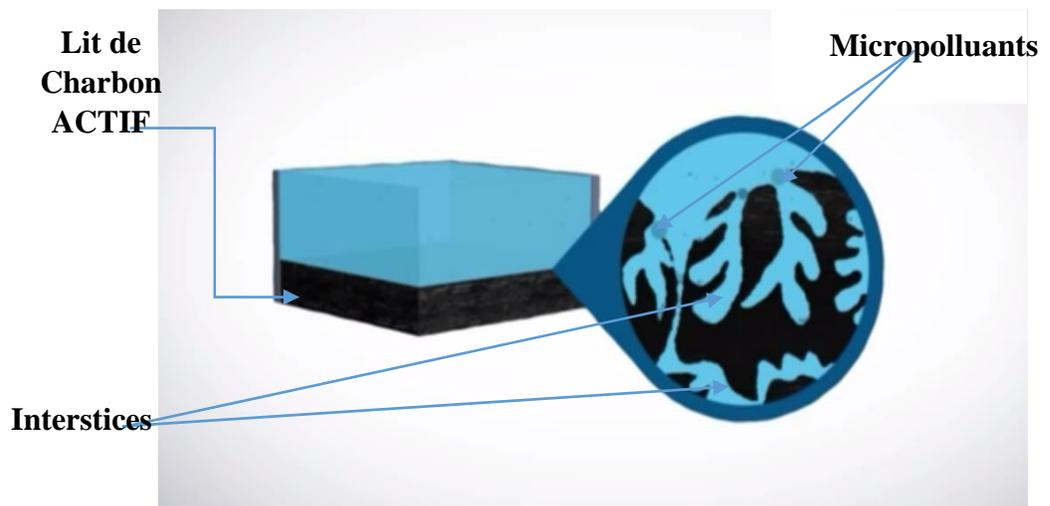


Figure (III,12) : Schéma de principe de la structure poreuse du charbon actif.

Les charbons actifs sont disponibles sous deux formes : charbon en poudre et charbon en grain. Le CAP (charbon en poudre) est formé de particules d'une dimension entre 10 à 50 µm, il est souvent utilisé en combinaison avec la clarification. Ce type de charbon présente l'avantage économique (2 à 3 fois moins cher que le charbon en grain) et une utilisation dans la floculation (alourdissement du floc ; donc il favorise la décantation). Par contre, l'impossibilité de sa régénération lors de son mélange avec les boues est l'inconvénient majeur de son utilisation.

Chapitre III Procédés de dépollution

Le CAG (charbon en grain) est par contre utilisé sous forme de lit filtrant comme le montre la figure ci-dessus ; l'eau est débarrassée des polluants dont ces derniers se logent dans les fractions et les interstices du CAG.

La Biofiltration

Les Biofiltres se présentent comme des filtres garnis en matériau de granulométrie suffisamment faible pour obtenir un effet de filtration efficace. Le matériau sert simultanément de support à la biomasse fixée. L'oxygène nécessaire à la biomasse pour la dégradation de la pollution est apporté par insufflation d'air dans le Biofiltres.

Lors du fonctionnement, le Biofiltres se colmate progressivement du fait du développement de la biomasse et des matières en suspension retenues. Des lavages périodiques sont donc nécessaires. Ils sont déclenchés par une horloge ou par une détection de perte de charge. Ces lavages sont effectués habituellement la nuit, lors des creux de charges hydrauliques et polluantes. Les lavages sont réalisés à l'air et à l'eau suivant différentes phases, l'eau de lavage est de l'eau épurée stockée dans une bêche. **(Nicholas P. Cheremisinoff.,2002).**

Son domaine d'application est comme-suit :

Les Biofiltres se placent après une décantation primaire (traitement secondaire) ou après un traitement biologique type boues activées (traitement tertiaire) pour réaliser le traitement suivant :

- Élimination des seules matières en suspension et matières oxydables (en traitement secondaire).
- Élimination des matières en suspension, matières oxydables plus nitrification (en traitement secondaire).
- Élimination des matières en suspension, matières oxydables, nitrification-dénitrification (en traitement secondaire).
- Nitrification seule (en traitement tertiaire).
- Dénitrification seule avec ajout d'une source carbonée (en traitement tertiaire).

Chapitre III Procédés de dépollution

Les procédés Biofiltres existant actuellement varient par la nature et la granulométrie du support, la technologie du transfert d'air, le sens de filtration, le mode de lavage. On peut citer :

- Biofiltres à flux descendant BIOCARBONE « annexe ».
- Biofiltres à flux ascendant BIOFOR « annexe ».
- Procédé BIOCARBONE pour réaliser la nitrification-dénitrification « annexe ».
- Procédé BIOSTYR en nitrification-dénitrification « annexe ».

Procédés à membrane

Principe d'une membrane

On appelle membrane tout matériau, qui mis sous forme de films minces (0.05 mm à 2 mm), a la propriété d'opposer une résistance sélective (interface) au transfert des différents constituants d'un fluide et donc de permettre la séparation de certains des éléments (particules, solutés ou solvants) composant le fluide (**FNDAE n° 14**).

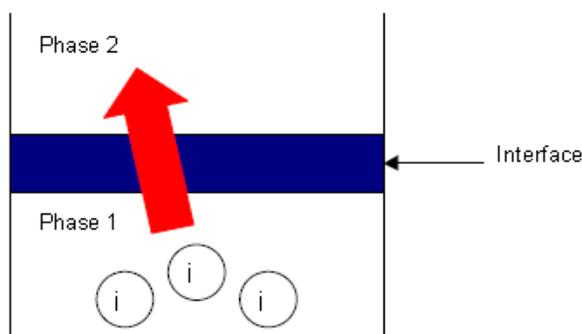


Figure (III,13) : Représentation d'un graphique expliquant le principe d'une membrane.

Les techniques séparatives à membranes utilisés dans le traitement des eaux

La figure ci-dessous présente le champ d'application des différentes techniques membranaires en fonction des différentes substances et micropolluants à éliminer.

Chapitre III Procédés de dépollution

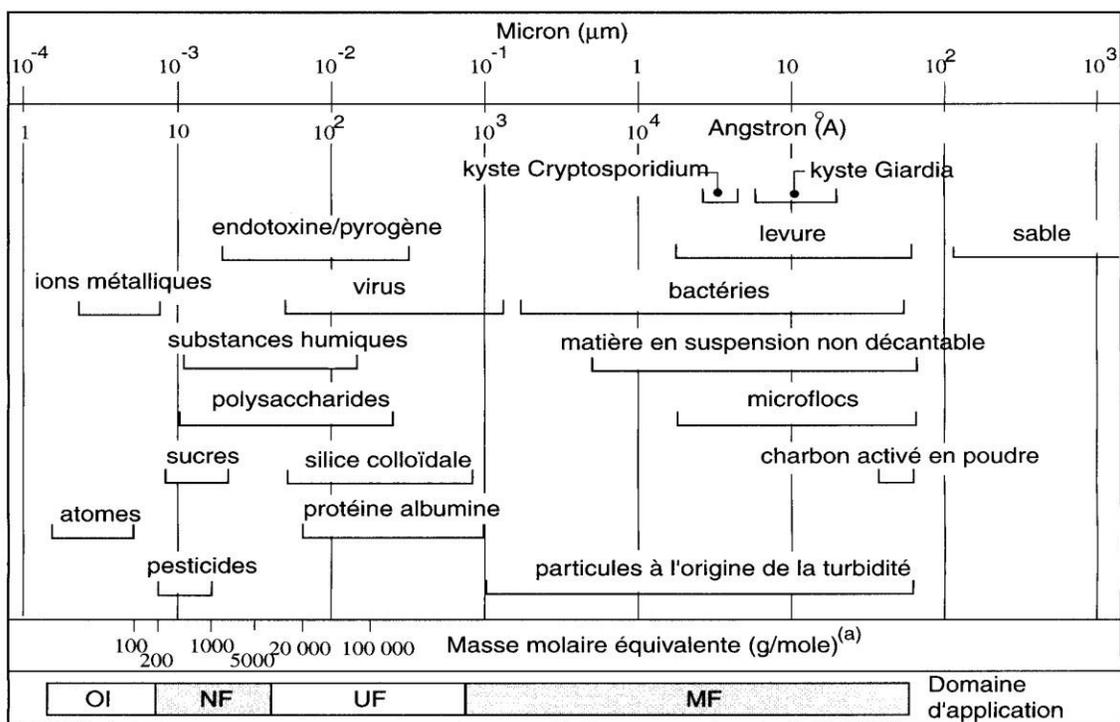


Figure (III,14) : Différents composés rencontrés dans les eaux naturelles et les techniques permettant leur élimination (BOUCHARD et al., 2000).

Utilisation des membranes de clarification en traitement biologique d'eaux résiduaires

Les membranes de micro ou d'ultrafiltration peuvent évidemment être une alternative de taille aux clarificateurs des cultures libres, voire mixtes, aérobie ou anaérobie pour séparer floccs et même bactérie non flocculées de l'eau traitée avec les avantages suivant (FNADAE n°14) :

- Obtention d'une clarification parfaite quels que soit l'état de la boue puisque la membrane peut retenir même les bactéries non flocculées et produire un effluent sans MES (turbidité < 1 NTU). En même temps, on aura possession d'un effluent totalement désinfecté (absence de pathogène tels que les œufs d'helminthes, bactérie et même de virus si l'on utilise une membrane d'ultrafiltration) ;
- S'étant affranchi du clarificateur, il est possible d'augmenter la concentration de la biomasse épuratrice entre 6 et 12 g/l. Ceci entraîne donc, à charge massique

Chapitre III Procédés de dépollution

équivalente, la possibilité de réduire l'aérateur d'un facteur 2 à 4 par rapport à un aérateur en boues activées classique.

- L'absence d'un clarificateur signifie un coût de génie civil et une emprise de sol nettement moindre.
- La membrane permet de ne pas laisser passer certains métabolites macromoléculaires et de les dégrader peu à peu, il en résulte une DCO finale plus basse que celle atteinte en boues activées classiques.

IV.3.2.1. Le Réacteur membranaire Ultrafor®

La technologie du réacteur membranaire biologique met en œuvre un procédé biologique de traitement des Eaux Résiduaires Urbaines (ERU) dans lequel la clarification conventionnelle est remplacée par de l'ultrafiltration. Ce procédé offre une combinaison performante de deux technologies : le traitement biologique et la filtration par membranes (**DEGREMONT, Tome I, 2005**).

L'Ultrafor® se compose d'un bassin d'aération et d'un système membranaire. Les membranes, disposées en modules, sont immergées directement dans le bassin ou dans une cuve annexe.



Figure (III,15) : Infographie d'un bioréacteur à membrane.

L'eau brute, après une étape de prétraitement est introduite dans le bassin biologique aéré où sont éliminées les pollutions carbonées, azotées et phosphorées. La filtration membranaire permet de séparer l'eau épurée et les boues produites dans le

Chapitre III Procédés de dépollution

bassin d'aération. L'eau traitée est aspirée par des pompes et les boues en excès sont extraites du bassin puis déshydratées.

Le maintien de la perméabilité des membranes est maîtrisé en combinant et en adaptant les opérations d'aération cyclique, de rétrolavage, et de lavage de maintenance et de régénération.

Au cœur du fonctionnement du bioréacteur, le procédé d'ultrafiltration consiste à filtrer à travers des membranes organiques les eaux usées. Les membranes constituent une barrière physique qui arrête les bactéries et les différents éléments en suspension dans l'eau. L'eau circule à l'intérieur de la fibre dont la paroi est faite de pores 10 000 fois plus petits que ceux de la peau : les membranes d'ultrafiltration arrêtent donc systématiquement toutes les particules. (**Dossier de Presse, Le traitement membranaire des eaux usées à Grasse France, 2007**).



Figure (III,16) : Eléments d'un réacteur à membrane.

Élimination de la pollution Azotée

Dans les ERU ainsi que dans de nombreuses ERI, l'azote est essentiellement présent sous forme organique et ammoniacale. Dans une station conçue pour éliminer l'azote, cette dégradation est résultante de quatre opérations :

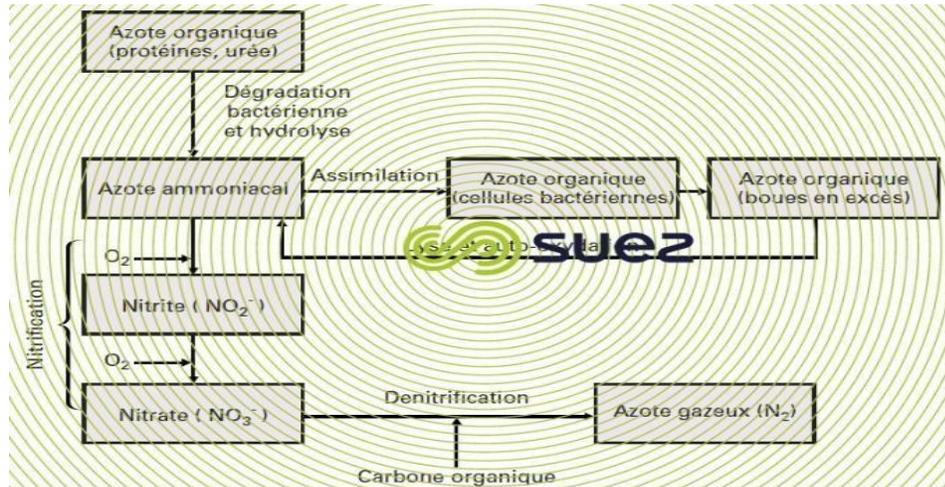


Figure (III,17) : Élimination biologique de l'azote.

L'élimination de la pollution phosphorée

Le phosphore des eaux usées, soluble ou particulaire, peut se trouver sous différentes formes chimiques. On distingue les formes minérales des formes organiques, et le phosphore total correspond à la somme des deux. La première catégorie correspond notamment à l'ensemble des phosphates (forme oxydée du phosphore) comprenant les sels d'acide orthophosphorique (H_3PO_4) pouvant s'ioniser en $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} selon le PH, et les polyphosphates.

Choix du procédé de déphosphatation

Généralement on a recours dans la plupart des cas, pour l'élimination de la pollution phosphorée à une déphosphatation biologique. Son principe consiste à utiliser le relargage du phosphore comme moyen permettant d'obtenir par la suite son assimilation forcée par les bactéries déphosphatantes PAOs (« phosphorus accumulating organisms »).

Ainsi, dans une boue activée déphosphatante, la teneur en phosphore organique peut atteindre 8 à 10 % par gramme de biomasse. Pour mettre en œuvre ce procédé, il faut

Chapitre III Procédés de dépollution

exposer les bactéries à une alternance de conditions anaérobies (absence d'oxygène et de nitrate) et aérobies. Il faudrait alors ajouter un bassin anaérobie en tête de notre procédé même s'il existe différentes configurations possibles. Le principe de cette technique est schématisé ci-dessous (NELSON, 2009) :

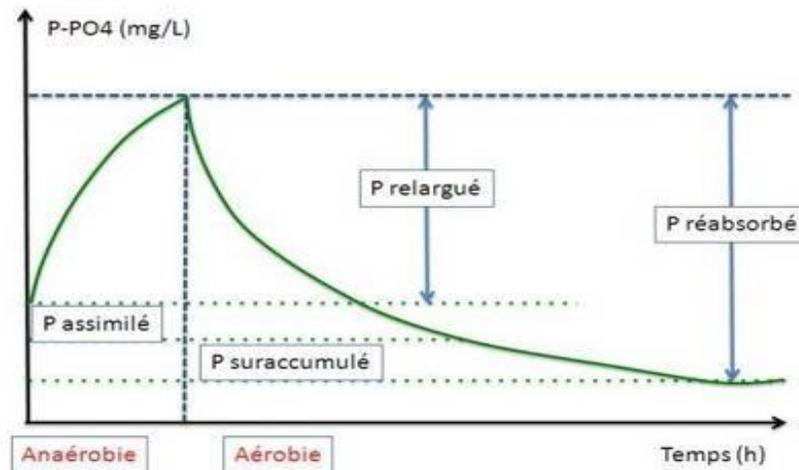


Figure (III,18) : *Elimination biologique du phosphore.*

Les PAOs sont capables de stocker le phosphore sous forme de polyphosphates au sein de leurs cellules. Pendant la phase anaérobie, ces bactéries se servent de l'énergie libérée par l'hydrolyse intracellulaire des polyphosphates stockés pour assimiler du substrat facilement biodégradable tout en relarguant du phosphore inorganique dans le milieu externe.

En condition aérobie, les substrats stockés sont oxydés ce qui engendre une production d'énergie et permet la croissance bactérienne. La respiration (de l'oxygène) produit l'énergie nécessaire aux bactéries pour reconstituer le stock de polyphosphates à partir du phosphore inorganique puisé dans le milieu. Ce stock augmente avec la croissance des cellules et on obtient alors une assimilation de phosphore supérieure à la quantité relarguée (NELSON, 2009).

Chapitre III Procédés de dépollution

La désinfection d'une eau

La désinfection peut être réalisée par des désinfectants physique ou chimique. Les agents éliminent aussi les polluants organiques de l'eau, qui servent d'aliments ou d'abris aux microorganismes. Les désinfectants n'élimineront pas seulement les microorganismes. Ils auront aussi un effet résiduel, ce qui signifie qu'ils resteront actifs dans l'eau après la désinfection. Un désinfectant devrait empêcher les microorganismes pathogènes de se développer après la désinfection, évitant ainsi à l'eau d'être recontaminée.

La Chloration

Le chlore de formule chimique Cl_2 est un gaz à température et pression normales, injecté dans l'eau, se transforme rapidement en acide hypochloreux (HOCl) et acide chlorhydrique (HCl). Il peut être introduit dans l'eau sous forme de chlore gazeux ou hypochlorite (sel de sodium en solution (eau de javel)).

La chloration est la méthode la plus ancienne de désinfection reconnue pour son efficacité et son économie (peu couteuse). Le chlore est injecté directement dans les eaux usées ; est un oxydant très puissant qui permet l'élimination de la plupart des microorganismes pathogènes même à faible dose ; en effet, il endommage les membranes des cellules (la paroi cellulaire) et empêche toute régénération.

Toutefois, la désinfection des eaux usées par chloration peut avoir un impact négatif sur la faune et flore aquatique (toxicité du chlore résiduel). D'une part, les réactions entre le chlore et les matières organiques restantes dans les eaux peuvent former des sous-produits organochlorés (aldéhydes, chlorophénols), parfois toxique (trihalométhane) et cancérigène (organohalogénés) (**DEGRAMONT, Tome I, 2005**).

D'autre part, la chloration peut générer des composés réputés nuisibles et réglementés à partir de polluants inorganiques (chloramines, ion bromate).

Le chlore particulièrement sous sa forme acide hypochloreux est un biocide puissant. Pour une bonne désinfection, il est donc nécessaire de dépasser le point critique. L'efficacité du chlore en tant que bactéricide est reconnue de même que son action

Chapitre III Procédés de dépollution

virulicide notable pour l'inactivation des entérovirus pathogènes. En revanche, son effet sur les organismes parasitaires notamment enkystés est négligeable (Desjardins, 1997) .

L'Ozone

L'ozone est un gaz constitué de trois atomes d'oxygènes (O_3), il est peu soluble dans l'eau ; sa solubilité dans l'eau diminue avec l'augmentation de la température.

La décomposition de l'ozone dans l'eau fait intervenir un mécanisme de réactions en chaîne sous l'effet de divers solutés présents dans l'eau ou libérés lors des phases de traitement Tout cela est :

- Initié par l'ion hydroxyde (pH) élevé, le peroxyde d'hydrogène (formé au cours de l'oxydation de composés organiques), le fer ferreux et les substances humiques.
- Propagés par les acides formiques et glyoxylique et les alcools primaires et secondaires.
- Et terminer par des inhibiteurs qui consomment le radical hydroxyde : ion carbonate et bicarbonate, ion phosphate à forte concentration, acide acétique et substances humiques (**DEGREMONT, Tome I, 2005**).

La chimie de l'ozone dans l'eau est gouvernée par deux types de réaction : soit il peut agir directement sous sa forme moléculaire, soit il peut être décomposé par différents mécanismes conduisant à la formation du radical hydroxyde OH° ; agent oxydant plus puissant que l'ozone lui-même. Le pouvoir oxydant très élevé de l'ozone est la caractéristique qui rend ce produit si intéressant pour le traitement des eaux. En effet l'ozone permet de réduire la couleur et les odeurs, détruire les composés à base de phénols et d'oxyder les ions ferreux et manganéux solubles, ce qui les transforme en ions insolubles. Par ailleurs, contrairement au chlore l'ozone ne réagit pas avec l'azote ammoniacal.

Concernant le pouvoir désinfectant de l'ozone est de 10 à 100 fois supérieur à celui du chlore, et ce pour tous types de microorganismes. Il est même efficace contre les spores et les kystes, qui sont pourtant les plus résistants.

Chapitre III Procédés de dépollution

Les deux principaux procédés de production de l’ozone sont basés soit par l’action photochimique des rayons ultraviolets (c’est le mode de production de l’ozone atmosphérique), soit par l’action d’une émanation électrique dans une atmosphère sec sous haute tension (c’est le procédé utilisé en industrie) ; le principe c’est lorsque on impose une différence de potentiel élevé (courant alternatif) à deux électrodes entre lesquelles circule de l’air ou de l’oxygène pur (Nicholas P. Cheremisinoff.,2002).

Les Ultraviolets

Les rayons ultraviolets constituent les radiations du spectre électromagnétique de longueurs d’onde comprise entre 100 nm à 400 nm soit entre le domaine visible et le domaine des rayons X. L’ensemble du domaine UV est le siège des ondes dites actiniques ou chimiques du fait que l’énergie des photons émis est capable de produire des transformations chimiques selon un processus photochimique.

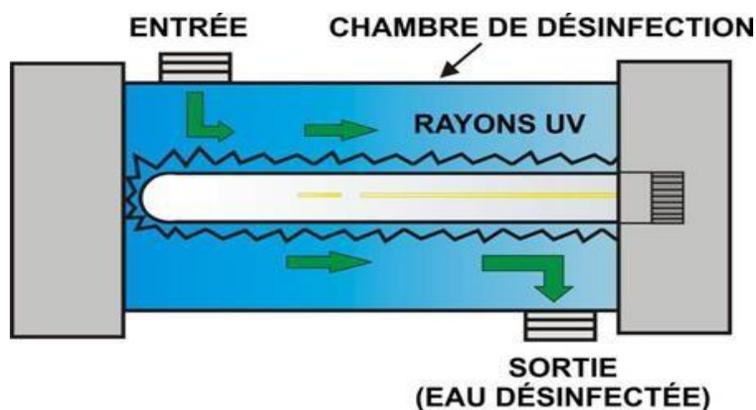


Figure (III,19) : Représentation d'une désinfection par UV.

Le rayonnement UV est une technique germicide ; du fait que les constituants des matériaux cellulaires, protéines et acides nucléiques, absorbent la lumière entre 200 et 300 nm avec un maximum d'absorbance à 260 nm pour l'ADN (rupture de la chaîne d'ADN). La désinfection par les UV génère une quantité minimale de sous-produits et la technologie est entièrement sécuritaire pour les opérateurs et les usagers (DEGREMONT, Tome I, 2005).

Chapitre III Procédés de dépollution

A travers plusieurs études et expérimentation élaborés dans les laboratoires et sur le terrain, l'oxydation par UV s'est révélée être un outil puissant de purification de l'eau pouvant détruire les micropolluants telle que l'atrazine, trichloroéthylène et 1-4 dioxane qui sont des contaminants des sous-produits industriels et pharmaceutique.

Le rayonnement ultraviolet a prouvé son efficacité pour l'élimination des bactéries sous formes sporulés ou non, des rotavirus et poliovirus et des kystes protozoaires tels que les kystes de *Cryptosporidium*. En revanche, les œufs d'Helminthe ne seraient pas inactivés (Nicholas P. Cheremisinoff.,2002).

V. Conclusion

Le choix d'un procédé de dépollution optimal est une opération délicate nécessitant réflexion et expérimentation. Cela, doit être suivi d'une étude technico-économique.

Chapitre IV

Réutilisation des eaux usées

IV.1. Introduction

L'eau est indispensable à la vie, ainsi qu'à toute activité économique, industrielle, agricole ou autre. Bien que globalement le cycle de l'eau soit en équilibre, et que l'eau soit suffisante théoriquement pour les besoins de l'ensemble des habitants du globe, elle est répartie d'une manière inégale, des régions souffrent d'excès d'eau et d'autres de déficit. Les changements climatiques et les activités anthropiques perturbent cet équilibre et aggravent la crise de l'eau. Cela amplifie d'une manière considérable la pression sur les eaux qu'elles soient souterraines ou de surface, cela évidemment en tenant compte de leur vitesse de recharge naturelle (qui diffère d'une région à une autre) par les précipitations.

L'autre source d'eau qui est la mer (ressource pratiquement infinie), mais avec deux inconvénients majeurs : le premier est la nécessité de la proximité du récepteur ; le second est le coût élevé de l'exploitation (principalement de l'énergie).

Toute cette panoplie de facteurs a conduit dans les dernières décennies à envisager sérieusement la réutilisation des eaux usées comme source inépuisable et nécessaire pour répondre à cette demande, principalement pour satisfaire l'agriculture (l'irrigation est le grand consommateur d'eau 70%).

IV.2. Définitions

La réutilisation des eaux usées traitées est un processus industriel, dans lesquels des eaux usées sont collectées et traitées jusqu'à un niveau satisfaisant pour le nouvel usage ciblé. Au même titre que l'usage des eaux pluviales ou du dessalement de l'eau de mer, la REUSE est une ressource en eau dite non-conventionnelle. **(Jacob, 2011)**.

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

Elle s'est d'abord développée comme une réponse au stress hydrique qui frappe de nombreux territoires, et produit des contraintes et des conflits sur les usages. Le stress hydrique est important sur le pourtour méditerranéen et même dans le nord de l'Europe, car les problèmes de ce stress ne sont pas l'exclusivité des climats chauds et secs, même les zones fortement peuplés et industrialisés sont à risque ; une explosion démographique irrépensible qui engendre une urbanisation intense, suivi d'une forte industrialisation et surtout d'une agriculture qui ne cesse de se développer, tout est résultant d'une augmentation de la consommation d'eau. (Lazarova, 2007).

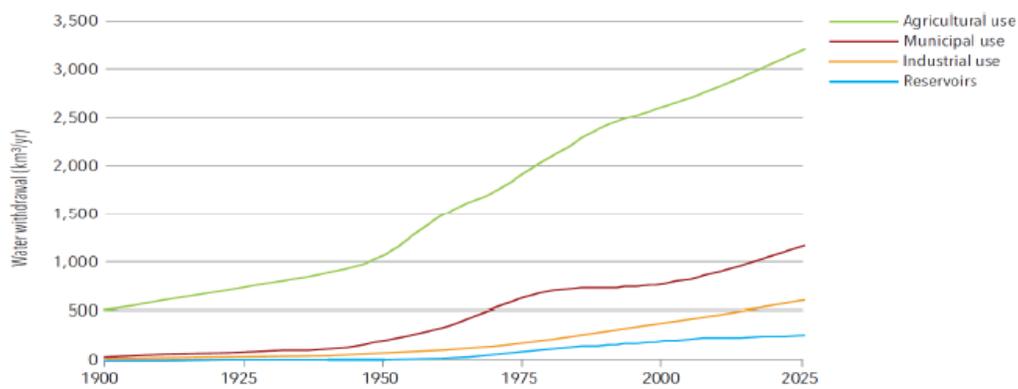


Figure (IV, 1) : Représentation de l'augmentation de la consommation d'eau des différents secteurs à travers les temps (Source UNESCO).

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, par exemple, très développée aux Etats-Unis, au Mexique et plusieurs pays d'Amérique du Sud, l'Australie, l'Afrique du Sud, le Japon, la Chine et les pays du Golfe Persique et l'Espagne l'a introduit comme axe principale dans son plan eau du 21^{ème} siècle (AGUA PLAN 2000) (Figure IV, 1).

C'est un enjeu politique et socio-économique pour le développement futur des services d'eau potable et d'assainissement à l'échelle mondiale. Elle est adoptée de plus en plus par son avantage majeur d'assurer une ressource alternative à moindre coût permettant de limiter les pénuries d'eau, de mieux préserver les ressources naturelles et de contribuer à la gestion intégrée de l'eau. (Cahier du Plan Bleu, Mars 2012).

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

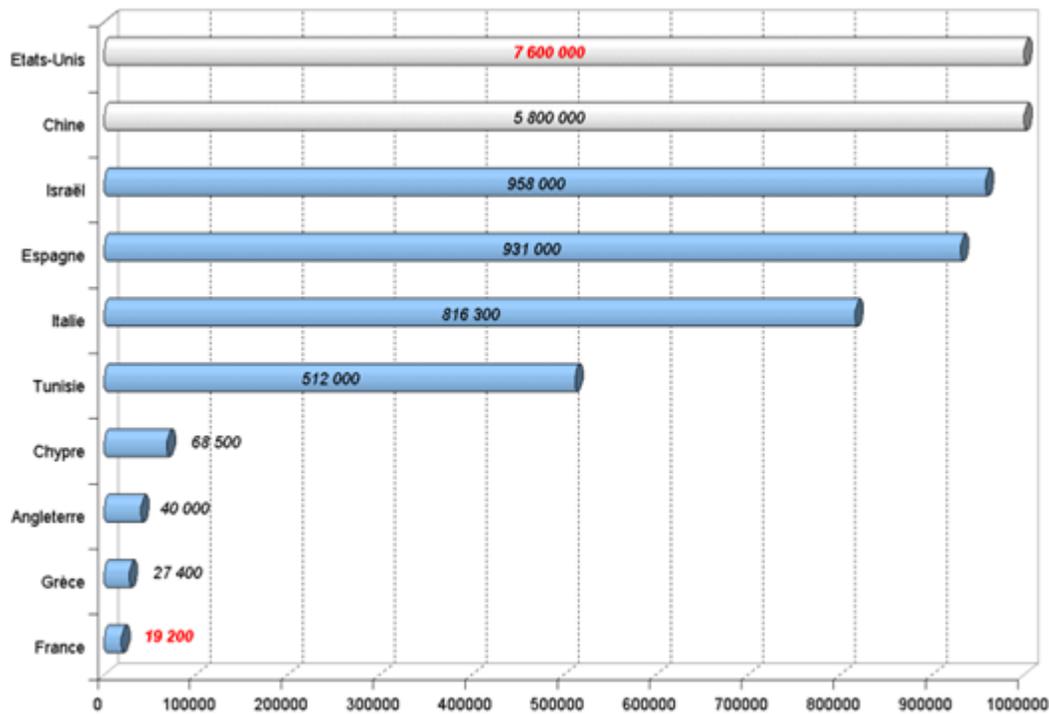


Figure (IV, 2): Volume moyen journalier des eaux usées recyclées en Europe et quelques pays de la Méditerranée (données pour les années 2000-2003, adaptées de JIMINEZ et ASANO, 2007).

IV.3. Objectif de la réutilisation

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées, est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu environnant. Par définition, cette 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.

Le fait d'être une ressource non conventionnelle, elle s'est distinguée pour remplir les objectifs suivants :

- ☞ Elle redonne un usage à des eaux usées qui sont dans le système classique des déchets.

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

☞ Elle propose la production d'une eau avec des standards de qualité adaptés à un usage particulier.

☞ **Équilibrer l'offre et la demande** : La demande totale en eau tend alors à augmenter localement. Lorsque l'alimentation en eau dépend étroitement des conditions climatiques, les risques ponctuels de pénurie s'accroissent, conduisant parfois à des arbitrages difficiles entre les usages de l'eau.

☞ La **REUSE** offre aux gestionnaires de nouvelles options dans les conflits d'usages et aux utilisateurs de nouvelles opportunités, de maintenir ou de développer leurs activités, sans prélever de ressources supplémentaires dans l'environnement. **(Fiche SYNTEAU n° 05, 2016).**

IV.4. Développement durable et Réutilisation des eaux usées

La définition classique du développement durable provient du rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (**BRUNDTLAND, 1989**) : « Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ».

La déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, adoptée en juin 1992 par les représentants des 180 pays participant au Sommet de la Terre, reconnaît 27 principes. Ces principes servent à guider les actions, les politiques, les lois et les règlements permettant d'atteindre les trois objectifs fondamentaux du développement durable, c'est-à-dire maintenir l'intégrité de l'environnement et des écosystèmes, améliorer l'équité sociale et améliorer l'efficacité économique dans une perspective de responsabilité écologique et sociale. **(BENZARIA, 2008).**

De plus en plus, l'argument environnemental est de taille dans la prise des décisions politiques, les scientifiques comme locomotive de ce nouvel élan de prise de conscience, ne cessent de tirer la sonnette d'alarme à la sortie de chaque étude et rapport attestant que notre planète est influencée négativement de plus en plus par l'action anthropique. L'eau au centre de l'environnement, est sujette à ces effets dévastatrices de l'homme que ça soit par la pollution des eaux de surfaces ou la surexploitation de ressources, pour cela la réutilisation des eaux usées se place comme une alternative de

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

taille et source de plusieurs débouchés à savoir de l'eau, des éléments nutritifs et de l'énergie.

La REUSE vient comme un élément clé de la gestion intégrée de l'eau qui apporte d'une part, une panoplie de ressource pour les différents usages gourmands en eau, d'autre part de limiter la pression sur les ressources en eau surtout souterraines (surexploitation), afin de la laisser pour les générations futures comme eau potable, tout cela dans le cadre de la démarche du développement durable.

IV.5. Quelques Exemples de Réutilisation à travers le monde (SYNTEAU)

IV.5.1. West Basin (Etats Unies d'Amérique)

La Californie du sud souffre de pénuries d'eau et a développé la réutilisation des eaux usées traitées, afin de réduire sa dépendance en eau potable vis-à-vis des régions voisines. Elle produit 150 000 m³/jour d'eau de différentes qualités :

- 70% subit un traitement par filtration et désinfection et est utilisée pour l'irrigation, l'arrosage, et l'alimentation de tours de refroidissement.
- 30% subit un traitement par microfiltration et simple ou double osmose inverse. Elle est destinée à la potabilisation indirecte (rechargement de nappes) et à l'alimentation de chaudières.

IV.5.2. Durban (Afrique du Sud)

La réutilisation des eaux usées a permis à la ville de Durban de produire de l'eau de grande qualité pour l'industrie (papeterie et raffinerie pétrolière). Les volumes d'eau potable ainsi économisés ont pu être octroyés aux populations défavorisées. L'usine de traitement des eaux usées produit quotidiennement 47 500 m³. L'eau subit un traitement composé d'une double filtration, d'une ozonation, d'une filtration sur charbon en grain et d'une chloration.

IV.5.3. Barcelone (Espagne)

Les ressources naturelles en eau dans la zone métropolitaine de Barcelone (4 millions d'habitants) sont soumises à des pressions importantes tant sur le plan qualitatif

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

que quantitatif. L'usine de traitement des eaux usées produit 100 000 m³/j d'eau réutilisable de deux qualités différentes :

- 97 500 m³/jour après traitement par décantation, filtration et désinfection sont utilisés pour l'irrigation, l'arrosage des espaces verts et la recharge des zones humides du delta de Llobregat.
- 2 500 m³/jour après un traitement complémentaire par osmose inverse sont utilisés pour éviter les intrusions d'eau de mer dans les nappes.

IV.5.4. Milan San Rocco (Italie)

La région de Milan a développé la réutilisation des eaux usées traitées, afin de permettre à ses agriculteurs de bénéficier d'une ressource en période de sécheresse et ainsi, d'un développement important de nouvelles cultures dans la région.

La station produit 350 000 m³ d'eau réutilisable quotidiennement. L'eau subit un traitement par filtration et désinfection UV.

IV.5.5. Berlin (Allemagne)

L'eau potable de la capitale allemande provient exclusivement de ses ressources souterraines. Le cycle local de l'eau y est partiellement fermé, c'est-à-dire que 60 à 70% de l'eau provient de la recharge des nappes souterraines par les eaux usées traitées après dilution dans les lacs étrivières. Les eaux usées subissent traitement poussé puis elles sont rejetées dans les cours d'eau avant d'être filtrées par les berges des lacs et rivières.

IV.5.6. Lisbonne (Portugal)

La région de Lisbonne est sujette à des sécheresses estivales importantes amplifiées par l'afflux de touristes. Ainsi le Portugal a lancé d'importants projets visant à diversifier ses ressources en eau. L'usine de Lisbonne produit 52 500 m³ d'eau pour le lavage des voiries, l'arrosage de parcs et de golfs et l'irrigation agricole. Le traitement mis en place est composé d'une filtration et d'une désinfection UV.

IV.5.1. Disney Land Paris (France)

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

Le parc d'attractions Disneyland Paris a souhaité réduire sa consommation en eau potable dans un département souvent soumis à un déficit hydrique. L'usine traite les eaux usées des deux parcs d'attraction et de l'hôtel Disneyland. Elle est équipée d'un bioréacteur à membranes et d'une désinfection. Ainsi 330 000 m³ d'eau par an peuvent être réutilisés pour le lavage de voiries, l'arrosage du golf et des espaces verts, ainsi que le remplissage des bassins d'attraction.

IV.6. Intérêts et avantages de la Réutilisation des eaux traitées

La principale motivation ayant conduit plusieurs pays, à se lancer dans des projets de réutilisation des eaux usées traitées est le recyclage dans un but qualitatif. Il existe aussi bien d'autres avantages, que nous présenterons ci-dessous.

IV.6.1. Ressource Alternative

La réutilisation des eaux traitées est une alternative pour :

- Augmenter la ressource en eau et la flexibilité d'approvisionnement tout en diminuant la demande globale.
- Assurer une ressource fiable, disponible et indépendante des sécheresses pour l'irrigation et les usages industriels.
- Dans certains cas, une exécution rapide et plus facile que la mobilisation de nouvelles ressources en eau de première main.
- Garantir une indépendance vis-à-vis du fournisseur d'eau potable (par exemple pour des raisons politiques).

IV.6.2. Conservation et préservation des ressources

La REUSE vise également la préservation et le contrôle des ressources en eau en :

- Economisant l'eau potable pour des usages domestiques.
- Contrôlant la surexploitation des ressources souterraines.

IV.6.3. Valeur économique ajoutée

Sur le plan économique, la réutilisation des eaux permet de :

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

- Eviter les coûts de développement, du transfert et de pompage de nouvelles ressources en eau fraîche.
- Dans certains cas, éviter les coûts de l'élimination des nutriments des eaux usées.
- Réduire ou éliminer l'utilisation des engrais chimiques en irrigation.
- Assurer des revenus complémentaires de la vente de l'eau recyclé et de ses dérivées.
- Réduire les coûts énergétiques et environnementaux par rapport à ceux de l'exploitation des aquifères profonds, du transport d'eau à longues distances, du dessalement, etc.
- Assurer des bénéfices économiques aux usagers grâce à la disponibilité de l'eau recyclée en cas de sécheresse.
- Une réponse aux besoins de l'industrie du tourisme.
- Augmenter la valeur foncière des terrains irrigués.

IV.6.1. Valeur Environnementale

Du point de vue environnemental, la REUSE est une procédure qui vise à :

- Réduire les rejets des nutriments et polluants dans le milieu naturel.
- Améliorer et maintenir les plans d'eau en cas de sécheresse.
- Eviter les effets négatifs liés à la construction de nouveaux barrages, réservoirs...etc.
- Améliorer le cadre de vie et l'environnement (espaces verts...etc.).
- Proposer une alternative fiable aux rejets d'eaux usées dans les milieux naturels sensibles (zone de baignade ou conchylicoles).

IV.7. Défis et contraintes de la réutilisation des eaux usées

Comme tout projet de développement durable, la réutilisation des eaux usées, est confrontée à des contraintes de différents aspects, (**Directive Européenne 1991**) à savoir :

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

IV.7.1. Aspects législatifs et sanitaires

Pour ces aspects, les contraintes auxquelles est soumise la REUSE, sont :

- Problèmes de santé publique liée aux pathogènes éventuels dans les eaux usées non traités.
- Absences de réglementation et des incitations à la réutilisation.
- Droit sur l'eau : qui possède l'eau recyclée et qui récupère les revenus ?

,

IV.7.2. Aspects Sociaux-légaux

Sur les plans sociaux-légaux, la réutilisation des eaux usées, doit répondre à certaines exigences, à savoir :

- Acceptation publique de la réutilisation.
- Les sites d'utilisation doivent en préférence être à proximité des stations d'épuration.
- Répartitions des responsabilités et gestion des litiges.

IV.7.3. Aspects économiques

Les défis et les contraintes, imposés sur la REUSE, du point de vue économique sont :

- Financements des infrastructures (traitement tertiaire et réseau de distribution) et des coûts d'exploitation.
- Recouvrement des coûts aléatoires.
- Demande saisonnière et besoin de stockage.
- Faible prix de l'eau potable (subventionnée) surtout pour les agriculteurs.

IV.7.4. Aspects environnementaux et agronomiques

Pour ces aspects, la réutilisation des eaux usées, doit faire face à :

- La présence de beaucoup de sels (salinité), bore, sodium et autres micropolluants peut avoir des effets négatifs sur certaines cultures et les sols.

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

➤ Une maîtrise inadéquate du traitement des eaux peut provoquer une contamination lors de la recharge artificielle des nappes.

IV.7.5. Aspects technologiques

Sur le plan technique, la REUSE, doit relever certains défis, à savoir :

- Une fiabilité d'exploitation est requise : Contrôle rigoureux et permanent ; réquisition de moyens importants, techniques et humains.
- Importance du choix de la filière de traitement.

IV.8. Les principales voies de réutilisation

Les eaux usées sont réutilisées pour plusieurs fins. Dans cette partie, nous exposerons certains domaines de réutilisation.

IV.8.2. La réutilisation agricole

IV.8.1.1. Les méthodes d'arrosage à utiliser

En France, les méthodes d'arrosage et d'irrigation, fixées du point de vue sanitaire par l'arrêté délivré par (le ministère de l'emploi et de la solidarité, le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement du territoire et de l'environnement et ministère de l'agriculture et de la pêche), sont les suivantes :

- Irrigation gravitaire ou l'eau est fournie aux plantes par submersion des bassins, par planches ou par des rigoles ou des raies d'irrigation.
- Irrigation souterraine par l'intermédiaire de tuyaux ou de drains enterrés.
- Irrigation localisée où l'eau est distribuée au moyen de goutteurs ou de rampes perforées au voisinage de la plante.
- Irrigation par aspersion (buses rotatives, asperseurs, etc..).

Par ailleurs ce procédé est interdit suivant les techniques cité ci- dessous :

- L'utilisation des eaux usées brutes pour l'arrosage ou l'irrigation.

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

- L'aspersion d'eaux usées épurées sous serre (lieu clos et transparent où l'on cultive des plantes craignant le gel).
- L'irrigation sur des terrains dont la pente est supérieure à 7 %.

IV.8.1.2. La qualité des eaux à réutiliser

L'arrêté cité en dessus a permis de déterminer quatre niveaux de qualité sanitaire (A, B, C, D), dont les valeurs limites de qualité sont données dans l'annexe (08).

Les niveaux de qualité à respecter en fonction de la nature et du type de culture envisagée sont représenté dans l'annexe (09)

D'autre part, l'absence de virus et de parasites est requise dans les eaux à finalité d'irrigation (**Document technique FNDAE Hors –série N°11,**). Les substances nutritives à l'exemple de (l'azote, le phosphore, le potassium, le zinc, le bore et Le soufre ...Etc.), peuvent être en excès par rapport aux besoins de la plante et provoquent ainsi des effets négatifs, aussi bien sur la culture et que des sols et le sous-sols (les eaux souterraines)

Concernant les éléments traces reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux : le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. L'excès de ces éléments cause leurs immobilisations dans les couches supérieures du sol, par adsorption et échanges d'ions, ce qui en conséquence peut engendrer des risques pour le développement de la plante, la santé des hommes et des animaux. Les métaux lourds qui présentent des risques plus au moins notables sont : cadmium, le cuivre, le molybdène, le Nickel, et le zinc.

Les valeurs limites des éléments traces cités ci-dessus sont représentées dans l'annexe (10) (**Document technique FNDAE Hors –série N°11,**).

La salinité excessive des eaux d'irrigation, peut causer des dommages vis-à-vis des sols et des cultures. Et cela est provoqué essentiellement par le fait que les plantes et l'évaporation prélèvent l'eau du sol en y abandonnant une large par des sels apportés par l'eau d'arrosage, ce qui augmente la salinité de l'eau du sol, alors la plante consacre son énergie non pour son développement mais afin d'équilibrer la concentration en sel de son

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

tissu végétal de manière à pouvoir extraire l'eau du sol. Dans cette perspective que RICHARS, en 1969, a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité (décrite dans l'annexe (11)), ainsi que la tolérance de quelque plante vis-à-vis de la salinité de l'eau d'irrigation est représentée dans l'annexe (12).

IV.8.1.3. Les distances d'arrosage à respecter

Le projet d'arrêté délivré par : (le ministère de l'emploi et de la solidarité, le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement du territoire et de l'environnement et ministre de l'agriculture et de la pêche) en France a délimité les distances d'arrosage et d'irrigation, selon la nature de l'activité avoisinante comme s'est décrit dans l'annexe (13).

IV.8.2. La réutilisation industrielle

La REUSE des eaux usées dans le secteur industriel a commencé dès l'année 1940, elle a touché plusieurs filières de construction et de l'industrie, notamment le lavage des agrégats, la fabrication du béton, le nettoyage de l'équipement, l'alimentation des tours de refroidissement (à l'exclusion du refroidissement par évaporation), le nettoyage des cheminées, l'alimentation des chaudières et l'eau de fabrication (à l'exclusion de la transformation des aliments).

Les exigences de la qualité de l'eau à réutiliser tendent à être propres à l'industrie, puisque les changements de la composition chimique de l'eau peuvent modifier les procédés industriels. Les ennuis que peut poser la qualité de l'eau dans la REUSE et le recyclage industriels touchent habituellement l'entartrage, la corrosion, la formation de bactéries, l'encrassement, la formation de mousse et les effets sur la santé des travailleurs que peut entraîner l'inhalation d'aérosols contenant des composés organiques volatils ou des agents pathogènes microbiologiques. (**F.MEKHALIF** ,2009).

Les normes et règlements de la REUSE des eaux usées dans le domaine industriel, doivent respecter des directives nationales et environnementales, qui sont représentées dans l'annexe (13).

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

IV.8.3. La réutilisation urbaine

La REUSE de l'eau en milieu urbain est caractérisée par un développement rapide en raison de son rôle crucial pour la ville durable du futur. En plus de l'irrigation urbaine d'espaces verts, d'autres applications prennent de l'importance comme les usages industriels (nettoyage des voiries, lutte contre les incendies), le recyclage en immeuble et les usages environnementaux pour le maintien et la restauration des plans d'eau, des rivières et des zones humides.

Les exigences de la qualité de cette eau, requiert une très grande vigilance en termes de contamination microbiologique (germe pathogène).

IV.8.4. La réutilisation à finalité d'amélioration des ressources

Cette filiale de REUSE comporte la recharge des nappes, protection contre l'intrusion du biseau salé en bord de la mer par recharge de nappe, ses eaux doivent être conformes aux normes des eaux potables.

IV.9. Technologies de traitement utilisées dans le domaine de réutilisation

Pour avoir une eau réutilisée destinée aux usages ciblés, on aura recours aux traitements tertiaires pour l'abatement des micropolluants source de toute contamination qu'elle soit microbiologique ou chimique.

IV.9.1. Aperçu sur les micropolluants

Avec l'industrialisation sans limite, les spécialistes du traitement des eaux se trouvent de plus en plus confrontés à la complexité de leur tâche et cela à cause des innombrables micropolluants fabriqués et la difficulté de les éliminer.

Les micropolluants sont des substances organiques ou minérales dont les propriétés toxiques, bio accumulatives ou de persistance sont susceptibles d'impacter négativement l'environnement ou les organismes vivants à des concentrations infimes. On dénombre jusqu'à 100 000 substances enregistrées en Europe, 200 à 300 nouvelles substances découvertes chaque année. (POLLUTEC, LYON, 2016).

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

Il existe différentes « familles » de micropolluants à des propriétés diffuses, par exemple :

- Produits pharmaceutiques : Antibiotiques, β bloquants, hormones.
- Produits de soin corporel : Nanoparticules, phtalates...
- Produits industriels : Plastifiants (BPA), HAP, solvants...
- Biocides : Pesticides, fongicides, insecticides...
- Retardateurs de flammes

IV.9.2. Les technologies de traitement existantes selon les besoins

Les procédés de REUSE doivent être robustes, fiables et rentables pour que leur utilisation se démocratise et devienne complémentaire des traitements de dessalement de l'eau de mer et des eaux de surface. En fonction des besoins spécifiques de la réutilisation, plusieurs niveaux de traitement peuvent être exigés. La Figure ci-après présente les composés à éliminer suivant l'objectif de réutilisation. (BENZARIA,2008).

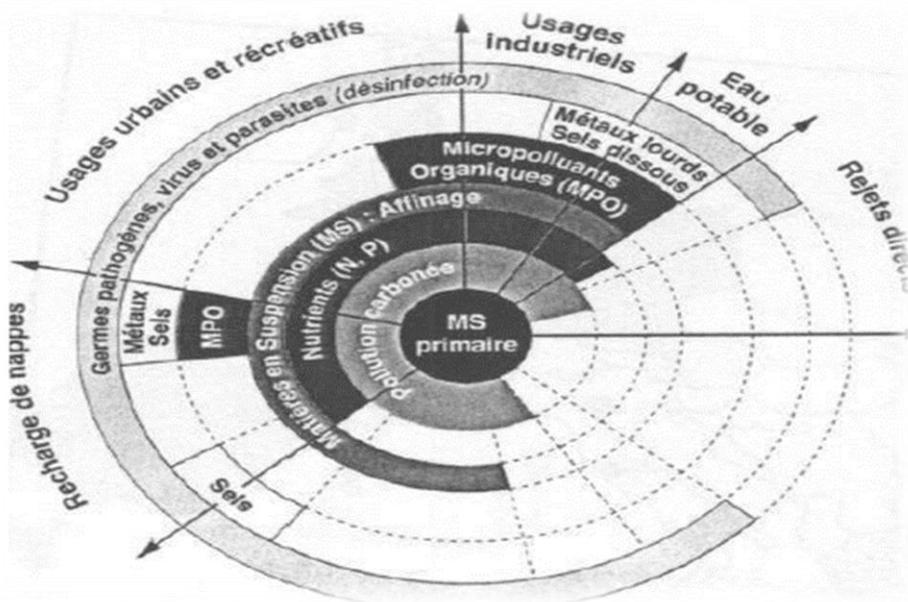


Figure (IV, 3) : Les micropolluants à éliminer suivant la réutilisation ciblée.

En fonction des besoins spécifiques de la réutilisation, plusieurs niveaux de traitement peuvent être exigés. Le choix des méthodes de traitement dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants sont la qualité de l'effluent, le type de réutilisation, les

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

exigences de qualité et de taille des installations. En fonction des conditions locales et des critères technico-économiques, différentes technologies extensives ou intensives peuvent être envisagées.

IV.9.2.1. Exemple d'une technique extensive utilisée sur le terrain

Les techniques extensives (lagunage, l'infiltration-percolation, l'infiltration dans les sols et les aquifères, les zones humides) sont bien adaptées aux conditions climatiques des régions tropicales et subtropicales. D'autre part, leur faible coût et l'exploitation relativement facile, leur confèrent des avantages non négligeables pour les pays en voie de développement (SYNTEAU, LIONS, 2016).

En France, on expérimente depuis les années 90 l'irrigation de plantation de maïs et de betterave avec de l'eau usée traitée provenant de la station d'épuration de Clermont-Ferrand. Le périmètre d'irrigation s'élève désormais à 700 ha. L'absence de ressource souterraine (absence de nappes phréatiques dues à l'activité volcanique) et d'eau superficielle proche (Allier à plus 20 km) ont amené les agriculteurs à chercher des solutions pour ne pas perturber leur production en cas d'un futur manque d'eau. Ainsi, ils ont profité de la présence de bassins de lagunage d'une entreprise de sucrerie à côté de leur exploitation pour mettre en place une réutilisation.

Les eaux usées traitées proviennent de la station d'épuration à boues activées de Clermont-Ferrand qui a une capacité de 420 000 EH. En hiver, le traitement des eaux n'est pas modifié puisqu'il n'y a pas de réutilisation. Les eaux usées passent par un prétraitement puis le bassin à boue activée pour ensuite être directement rejetées dans l'Artière. (14 colloque eau, POLYTCH Montpellier)

Lors de la période d'irrigation, de mai à octobre, la filière de traitement est modifiée. L'effluent en sortie du bassin à boue activée n'est plus directement rejeté en rivière mais est envoyé dans les lagunes (Figure (IV, 4)). Le temps de séjour des eaux usées traitées est d'environ 13 jours. Ce temps permet aux eaux d'atteindre la qualité requise pour l'irrigation. En effet, ce séjour en lagune permet d'éliminer les parasites et les bactéries grâce à l'action des ultra-violets. Le volume total annuel moyen irrigué est de 1 260 000 m³.

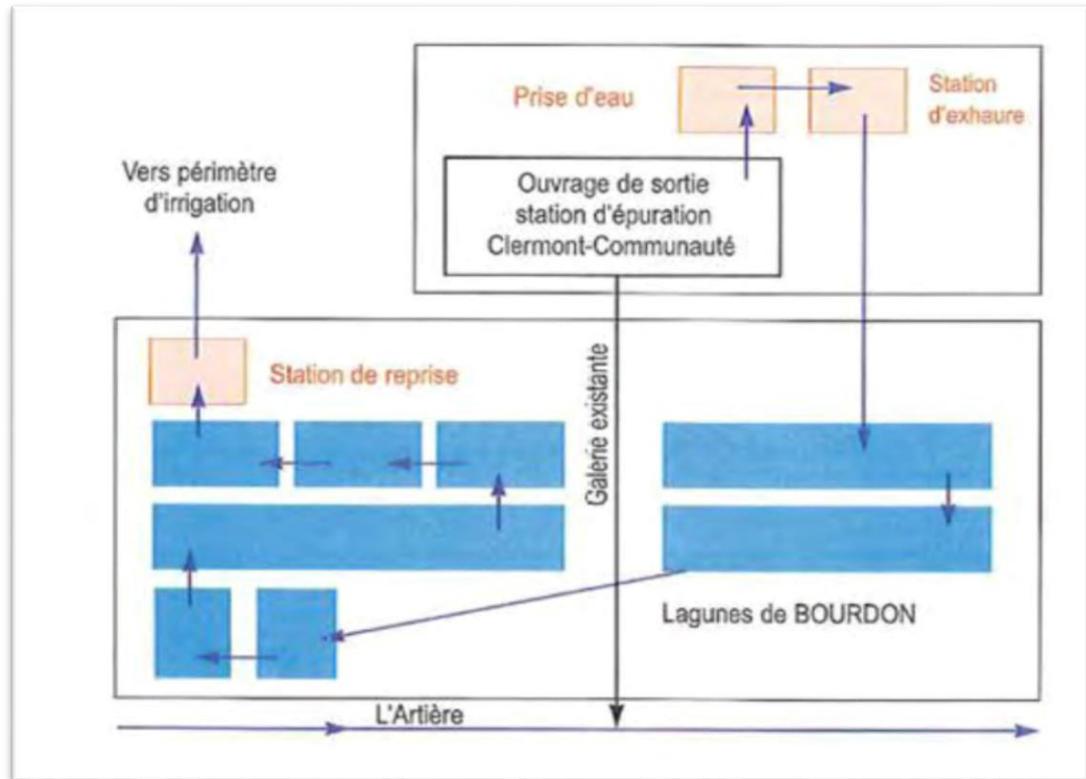


Figure (IV, 4) : Schéma de circulation des eaux en période d'irrigation.

IV.9.2.2. Exemple d'une technique intensive

Les technologies intensives (filtration, traitement physico-chimiques, membranes) et, en particulier, les procédés avancés de désinfection (chloration, irradiation UV, ozonation), sont plus compacts et garantissent une meilleure qualité de l'eau produite. Leur implantation permet d'assurer une meilleure protection de l'environnement et de nouvelles applications dans les zones urbaines. Mais elles sont plus coûteuses. (DEGREMONT, Tome II, 2005).

En Maroc, un pays soumis à une pression touristique de plus en plus, cette situation a dirigé les responsables de la ville de Marrakech à recourir à la réutilisation des eaux usées, cela en recyclant les eaux et les boues de la station d'épuration dans l'irrigation des

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

terrains de golfs (très gourmands en eau). Le schéma suivant présente le mode de fonctionnement de la STEP de Marrakech (BABACHEIKH, RADEEMA, 2012) :

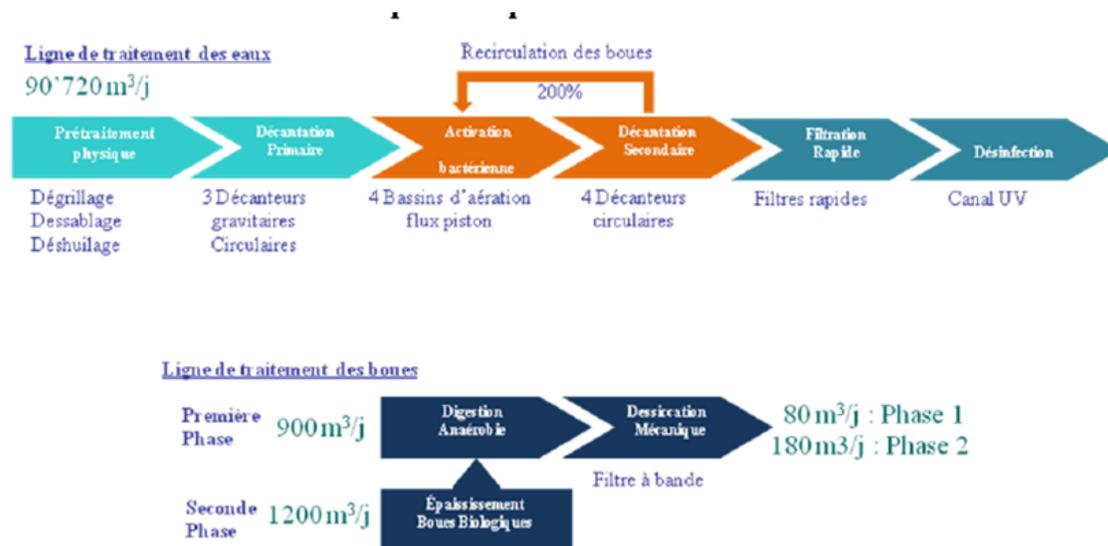


Figure (IV, 5) : Schéma représentant le fonctionnement de la STEP de Marrakech, Maroc.

IV.9.3. Les technologies adoptées selon les exigences de la REUSE :

La figure et le tableau suivant présentent les niveaux de traitement recommandés pour les différents types de réutilisation des eaux résiduaires urbaines (SYNTEAU, LIONS, 2016) :

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

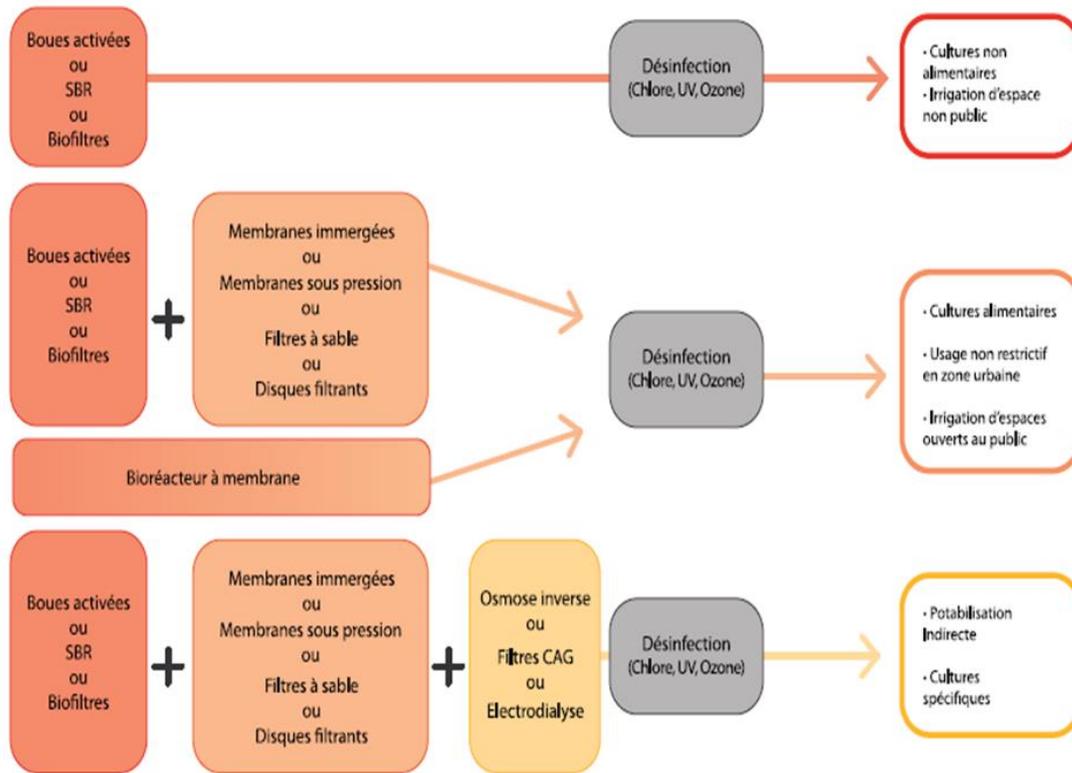


Figure (IV, 6) : Niveaux de traitement préconisé pour les différents types de réutilisation, Source SYNTEAU.

Tableau 06 : Modes de traitement de réutilisation recommandés par LAZAROVA.

Type de réutilisation	Traitement spécifique
Irrigation de cultures bien définies (arbres fruitiers...etc.)	A. Traitement secondaire par boues activées ou filtre biologique avec désinfection.
Irrigation de cultures sans restriction, légumes consommés crus.	B. Même chose qu'A avec filtration et désinfection
Utilisation urbaine pour l'irrigation de parcs, terrains de sport, de terrains de golf.	C. Même chose que B, l'étape de filtration est recommandée en cas d'accès libre pour le public.
Restauration de nappes phréatiques.	D. Même chose que B avec élimination des nutriments (si nécessaire).

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

Réseaux doubles pour recyclage des eaux grises en immeubles	E. Même chose que C avec filtration sur charbon actif ou filtration sur membrane et désinfection.
Utilisation directe ou indirecte dans le réseau d'eau potable.	F. Traitement secondaire, tertiaire et quaternaire avec charbon actif, filtration sur membrane et désinfection poussée.

IV.9.4. Les technologies émergentes

Les contraintes et les pressions rencontrés au sujet de l'eau dans le monde ont poussé les ingénieurs et chercheurs à développer des technologies et procédés pour la bonne maîtrise et le dépassement des rendements d'autrefois, en ce qui concerne le domaine de la réutilisation, les technologies conçus et réalisés sont en plein expansion.

IV.9.4.1. La technologie Héliopur

La technologie Héliopur a été créée par une entreprise française. Elle permet d'éliminer les contaminants microbiens dans une eau en vue de sa réutilisation. Outre l'avantage quantité d'eau utilisée dans différents domaines de la réutilisation, Héliopur présente d'autres (**14 colloque eau, Polytech Montpellier**) :

- La récupération du carbone contenu dans les matières organiques sous forme de CO₂ tout d'abord, puis sous forme de biomasse microalgale après traitement dans l'installation.
- La valorisation de l'oxygène produit par la photosynthèse au niveau des prétraitements aérobies afin de diminuer considérablement les besoins énergétiques lors l'aération.

Cette nouvelle technologie intensifie les effets du soleil et le développement des micros algues dans des structures tubulaires transparentes. Elle permet donc d'éliminer une large gamme de composés et de pathogènes dangereux pour l'homme. Héliopur utilise le CO₂ comme seul réactif. Les installations de purification bio-solaire sont construites avec des matériaux économiques et à longue durée de vie. La consommation d'énergie est de l'ordre de 0,1 kWh par m³ d'eau traitée.

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

La production de CO₂ due à cette consommation d'énergie est largement compensée par la consommation de CO₂ pour la production de la biomasse et la valorisation de l'oxygène en sortie de procédé.

L'interface air/eau dans les structures tubulaires, favorise la pénétration des rayons solaires et permet donc l'oxydation des composés organiques biodégradables et non biodégradables ainsi que le transfert des substances dangereuses dissoutes vers la biomasse phytoplanktonique. Le procédé HélioPur utilise donc les microorganismes photosynthétiques pour éliminer des eaux usées, les substances dangereuses. La technologie ne comprend aucune étape d'évaporation ou de concentration. Le CO₂ gazeux peut être amené sous forme de gaz de combustion (chaufferie, moteur thermique, groupe électrogène) en utilisant des carburants fossiles ou renouvelables (biomasse, biogaz) ou sous forme de gaz issus du traitement aérobie d'eaux usées ou de déchets organiques (**Figure (IV, 7)**).

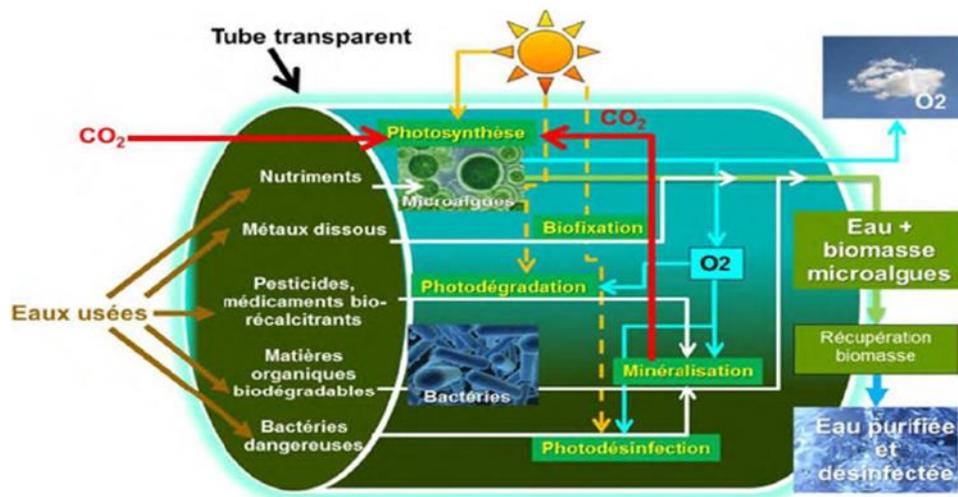


Figure (IV, 7) : Le mécanisme du fonctionnement de la technologie HélioPur.

Chapitre IV Réutilisation des eaux usées

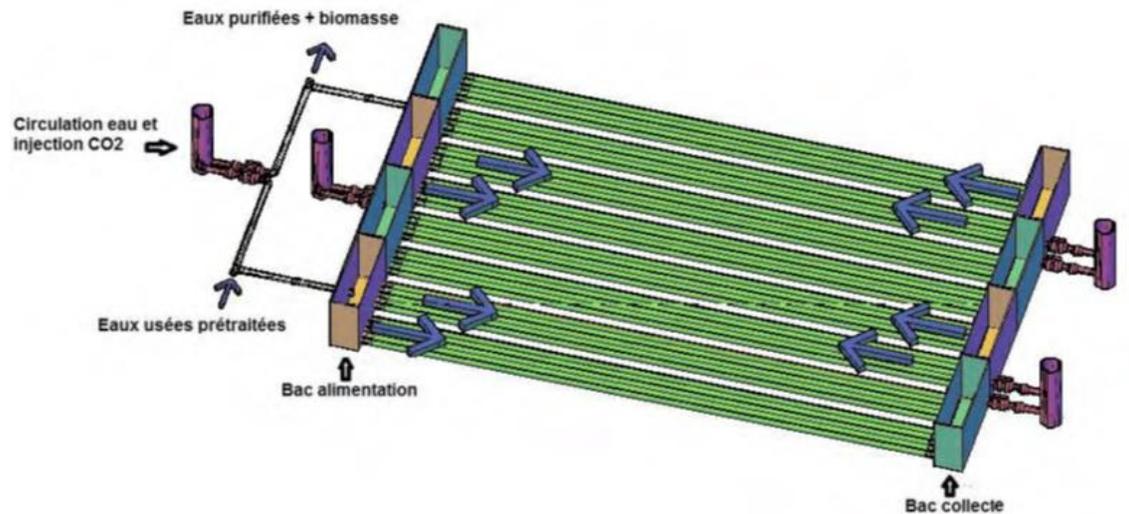


Figure (IV, 8) : Schéma représentatif du cheminement des eaux usées dans le procédé HélioPur.

IV.10. Facteurs d'aide à la décision pour le choix du procédé de traitement

La sélection d'un processus de traitement des eaux est une tâche complexe, car les circonstances sont différentes pour chaque utilité et finalité de l'eau. Ce choix d'un seul ou plusieurs procédés, utilisés pour une localité donnée est influencé par la nécessité d'atteindre les buts de qualité d'eau voulue et le besoin de mettre en œuvre les services d'eau à des coûts raisonnables.

Les facteurs qui doivent être inclus dans la décision du choix des procédés de traitement sont les suivants :

1. La décontamination.
2. La qualité de l'eau.
3. La fiabilité.
4. Les conditions existantes.
5. La flexibilité du procédé.
6. Les limites d'utilisation.
7. Les coûts.
8. La compatibilité Environnemental.

Chapitre V

Matériels et méthodes

Introduction

L'analyse et la caractérisation des eaux usées est fondamentale pour la conception et l'exploitation des stations d'épuration urbaines. En effet, les caractéristiques de l'eau usée brute en termes de concentration et de débit correspondent à certaines données d'entrée essentielles au processus d'épuration (**TOURAB, 2013**).

Dans ce chapitre, nous présenterons les principaux paramètres de pollution analysés, entre autres les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées de la ville de Sidi Aich.

Dans ce chapitre, nous exposons les réactifs et le matériel, ainsi que les méthodes expérimentales et analytiques utilisées.

V.1. Echantillonnage

L'échantillonnage est primordial car il conditionne la pertinence de l'analyse. Il doit être de qualité mais également représentatif de ce que l'on veut analyser. Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des récipients propres, rincés plusieurs fois avec de l'eau à analyser, puis fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans les flacons.

L'échantillonnage d'eau a pour but d'estimer un ou plusieurs paramètres qui caractérisent la concentration en polluant ou ses variations, ou les deux à la fois au cours d'une période donnée.

Le prélèvement d'échantillons d'eau doit être fait de façon à ce que les résultats de l'analyse des échantillons prélevés permettent de tirer des conclusions valables quant aux propriétés de l'eau à analyser. Il faut éviter toute pollution secondaire de l'échantillon provoquée par le mode de prélèvement, ou par les récipients contenant les échantillons (**Qualité des eaux, LE PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS EN RIVIÈRE, Novembre 2006**).

Chapitre V Matériels et méthodes

V.1.1. Méthodologies d'échantillonnage et conditions de prélèvements

Pour obtenir des résultats d'analyses représentatives de la qualité des eaux, l'échantillonnage et les prélèvements doivent se faire avec méthode et rigueur, c'est le but du protocole que nous présenterons dans cette partie (**Qualité des eaux, LE PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS EN RIVIÈRE, Novembre 2006**).

V.1.1.1. Modifications possibles de l'échantillon

Le fait de prélever un échantillon d'eau et de le séparer de son milieu entraîne des modifications plus au moins importantes selon les paramètres. Certains peuvent être considérés comme stables à l'échelle de temps à laquelle on travaille, mais d'autres varient très rapidement : la température, le pH, la conductivité et les gaz dissous.

Une variation de la température entraîne une modification des constantes d'équilibres qui, pour les rétablir à la nouvelle température ambiante, diverses réactions chimiques se produisent pouvant provoquer d'éventuelles modifications dans l'échantillon. La mise en contact avec l'air et la décompression sont également responsables de changements au sein de la solution.

Chaque espèce ionique participe à la conductivité totale d'une solution. Aussi, toute modification des équilibres chimiques, donc des proportions relatives à des éléments dissous, entraîne un changement de conductivité.

Enfin, l'attention est, une fois attirée sur le fait que la meilleure conservation des échantillons consiste à les analyser aussi rapidement que possible après les avoir prélevés. (**O, Moussa ; R, Nassim, 2009**).

V.1.1.2. Matériau de flaconnage

La nature du matériau du récipient du prélèvement est importante, car celui-ci ne doit pas entrer en réaction avec l'eau à analyser : passage en solution d'éléments chimiques entrant dans la composition du flacon ou fixation de certains ions de l'eau sur les parois du récipient. Le matériau idéal n'existe pas et l'emploi de tel produit plutôt que tel autre dépend de la nature des éléments à analyser :

Chapitre V Matériels et méthodes

- Le quartz est le matériau le plus adapté pour la conservation des échantillons mais s'avère très fragile ;
- Le verre et le pyrex peuvent être employés sans problèmes ;
- Le polyéthylène est souvent recommandé pour tout échantillonnage surtout pour les prélèvements en vue de mesures rapides.

V.1.1.3. Le plan de l'échantillonnage

La détermination et l'étude des caractéristiques bactériologiques et physico-chimiques nous ont exigé une prise d'échantillonnage répétitive, stratifiée de type moyen (A. Allouache, 2013) :

- **Répétitive** : Dans le but d'étudier la variabilité de ces caractéristiques en fonction du temps et de la climatologie.
- **Stratifiée** : C'est en procédant par répartition de la zone d'étude en station (sur des critères morphologique, hydrologique) se qui consiste à subdiviser une population hétérogène en sous-population plus homogène, sous prétexte d'étudier la variabilité des paramètres dans l'espace et d'examiner l'auto-épuration biologique de l'oued.
- **Moyen** : Afin de caractériser la composition moyenne de l'eau suivant la profondeur, et cela dans l'optique d'avoir un échantillon pour l'analyse bactérienne contenant toutes les familles bactériennes présentes dans l'oued, à savoir celles qui vivent à la surface, au milieu de la profondeur et au fond, outre, caractériser tous les paramètres physico-chimiques à l'exemple des métaux lourds qui sont abondants au fond du lit d'oued.

V.1.1.4. Les pratiques de prélèvement

Les erreurs dues à l'échantillonnage, sont en général plus importantes que celles imputables aux analyses de laboratoire. Il conviendra que les échantillons prélevés soient homogènes et aussi représentatifs que possible du milieu à caractérisé. L'échantillonnage est

Chapitre V Matériels et méthodes

donc une opération délicate à laquelle il faut apporter le plus grand soin, car il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

Pour minimiser ces erreurs et opter pour un échantillonnage représentatif, nous avons procédé comme suit (**Qualité des eaux, LE PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS EN RIVIÈRE, Novembre 2006**). :

- ✓ Les prélèvements sont effectués d'une manière manuelle depuis la rive, assez loin des bords (au minimum à 2 m des rives), tout en évitant les obstacles naturels ou artificiels, en dehors des zones mortes ou des remous et la remise en suspension des dépôts ainsi que la manifestation de turbulence pour ne pas modifier les concentrations des gaz dissous (oxygène dissous) et la matière volatile.
- ✓ Le récipient de prélèvement, la bouteille d'échantillonnage ainsi que le bouchon sont rincés trois fois avec l'eau du cours d'eau.
- ✓ Le remplissage se fait lentement sont barbotage et dans le sens d'écoulement.
- ✓ Pour la bonne désignation des échantillons on a procédé par le marquage de chaque flacon d'échantillon d'eau, pour permettre leur identification sans ambiguïté au laboratoire, la désignation utilisée est la suivante :

Station :
Site de mesure et de prélèvement :
Date et heure :
Analyse à effectuer :

Figure (V, 1) : *Etiquetage des bouteilles de prélèvements.*

V.1.1.5. Matériel utilisé lors du prélèvement

En ce qui concerne l'opération des prélèvements, nous avons eu recours à une méthode simpliste et traditionnelle (Perche, Récipient, Glacière isotherme ...etc.), néanmoins elle s'est avérée plus efficace que prévu.

V.1.2. Transport et conditionnement des échantillons

Dans la finalité de préserver les caractéristiques de l'eau prélevée et pour qu'elle subisse le minimum de modification entre l'instant de prélèvement et celui de l'analyse, on a adopté la démarche suivante :

Chapitre V Matériels et méthodes

V.1.2.1. Du terrain au laboratoires

- Pour l'analyse bactériologique, le prélèvement s'est effectué dans des bouteilles en verre stérilisées par autoclave et en suite séchées à 150°C, au moment et durant le déplacement des échantillons du terrain au laboratoire une attention toute particulière s'est portée à ce que la composition de l'échantillon ne soit pas modifiée ou ne soit pas contaminée. Pour cela il a fallu stériliser les bouchons à l'aide de l'éthanol avant la fermeture de la bouteille.
- Le délai maximal à respecter entre la fin du prélèvement et la réception des échantillons au laboratoire est 08 heures.
- Pour leurs transports les échantillons étaient placés dans une glacière isotherme capable de maintenir une température entre 2 et 6°C.

V.1.2.2. Réception des échantillons par les laboratoires d'analyse :

Pour l'analyse bactériologique, elle est prise en charge par le laboratoire d'hygiène de la Direction de la Santé et de la Population de la wilaya de Béjaia (DSP).

En ce qui concerne les analyses physico-chimiques, la conservation est faite au niveau du laboratoire de Traitement des eaux par moyen de réfrigération (0-4°C) et d'abaissement du pH (pH<2 par ajout de quelques gouttes d'acide sulfurique H₂SO₄).

V.2. Méthodes d'analyse

Les méthodes instrumentales sont d'une utilisation courante pour l'analyse des eaux. Pour un grand nombre de dosages, elles ont remplacé les méthodes gravimétriques et titrimétries. Les conditions de leur utilisation ayant été précisées et les appareillages s'améliorant constamment, il est possible d'obtenir des résultats analytiques dont la précision ne le cède en rien aux méthodes classiques (**RODIER,2009**).

Les échantillons prélevés sont soumis à une série d'analyses physico-chimiques et bactériologiques afin d'en tirer leur caractéristiques quantitatives et qualitatives. La majeure partie des analyses physico-chimiques a été mise en œuvre avec la spectrophotométrie. Les analyses bactériologiques sont faites au niveau du laboratoire de la Direction de la Santé de la wilaya de Bejaia, une série de recherche de bactéries et parasites spécifiques est sujette à élaboration, dont nous reviendrons avec plus d'explication dans les titres à venir.

Chapitre V Matériels et méthodes

V.2.1. Spectrophotométrie UV visible

a. Définition

La spectrophotométrie U.V-visible, est une technique qui exploite les propriétés des composés à absorber la lumière. On utilise couramment des réactifs qui donnent des couleurs avec les éléments à doser. Plus la teinte est vive, plus la concentration en élément (ion) de la solution est élevée, et inversement (V. ALEXEEV, 1980).

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée, généralement en solution. Plus l'échantillon est concentré, plus il absorbe la lumière dans les limites de proportionnalité énoncées par la loi de Beer-Lambert. C'est une technique mettant en jeu les photons dont les longueurs d'onde sont dans le domaine de l'ultraviolet (200 nm - 400 nm), du visible (400 nm – 750 nm) ou du proche infrarouge (750 nm – 1400 nm).

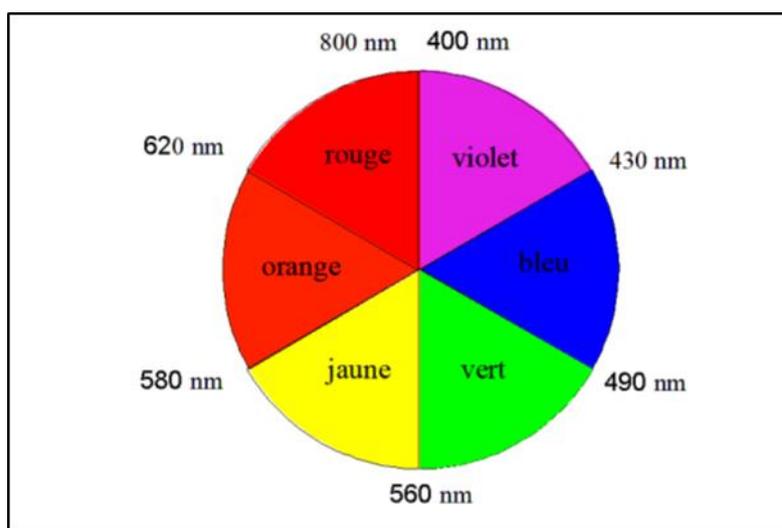


Figure (V, 2) : Absorption et couleur dans la spectrophotométrie U.V-visible.

La densité optique des échantillons est déterminée par un spectrophotomètre préalablement étalonné sur la longueur d'onde d'absorption de la substance à étudier.

L'intérêt de la spectrophotométrie en chimie peut être de caractériser une espèce chimique, de déterminer la concentration d'une espèce en solution ou de suivre la cinétique d'apparition ou de dégradation d'une espèce quelconque. (S. CHERCHOUR, 2007).

Chapitre V Matériels et méthodes

b. Principe

La spectrophotométrie repose sur l'interaction du rayonnement électromagnétique et de la matière dans le domaine s'étendant du proche UV au très proche IR soit entre 180 et 1100 nm. Cette partie du spectre est relativement pauvre en informations sur la structure des composés moléculaires. En revanche, l'absorbance des composés dans le proche UV et le visible est exploitée en analyse quantitative par application de la loi de Beer Lambert. (CHERCHOUR, 2007).

V.2.1.1. La loi de Beer Lambert

a. Présentation de la loi Beer Lambert

Soit une lumière monochromatique traversant une solution absorbante de concentration C contenue dans une cuve d'épaisseur l. (Figure II.3)

Une partie de ce rayonnement sera absorbée par l'échantillon et une partie sera transmise. Bouguer, Lambert et Beer ont étudié les relations qui existent entre I_0 et I, ils en ont établi une relation empirique : l'intensité d'une lumière monochromatique traversant un milieu où elle est absorbée, décroît de façon exponentielle :

$$I = I_0 e^{-k.l.C}$$

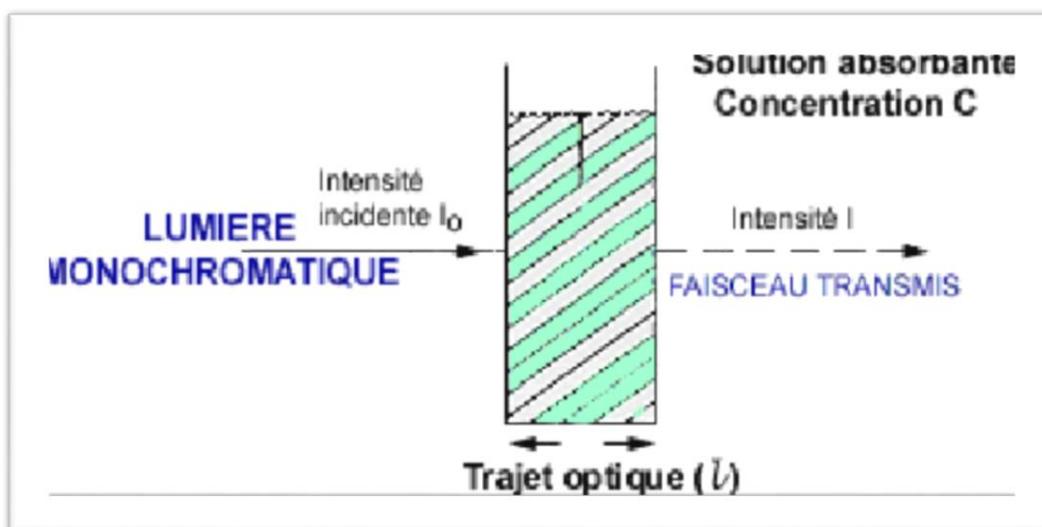


Figure (V, 3) : Principe de la loi Beer Lambert.

Chapitre V Matériels et méthodes

Où :

- **I_0** : est l'intensité de la lumière incidente ;
- **I** : est l'intensité après passage à travers la cuve contenant la solution (intensité transmise) ;
- **l** : est la distance traversée par la lumière (épaisseur de la cuve) (en cm) ;
- **C** : est la concentration des espèces absorbantes ;
- **k** : est une constante caractéristique de l'échantillon.

Cette équation peut se réécrire $\log(I_0/I) = k \cdot l \cdot C / 2.3 = \epsilon \cdot l \cdot C$.

- **$\log(I_0/I)$** est appelé absorbance (A) ;
- **$I/I_0 = T$** est la transmission ;
- **$\% T$** est la transmittance ;
- **ϵ** est le coefficient d'extinction molaire; c'est une caractéristique de la substance étudiée à une longueur d'onde donnée. Si C est la molarité est en $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$.

La relation de Beer-Lambert décrit que, à une longueur d'onde λ donnée, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à sa concentration, et à la longueur du trajet optique (distance sur laquelle la lumière traverse la solution). Alors, pour une solution limpide contenant une seule substance absorbante on obtient la relation suivante :

$$\boxed{A = - \log T = \epsilon \cdot l \cdot C} \text{ [F. GUEDIRA « Cours de Spectroscopie »]}$$

La loi de BEER-LAMBERT indique que l'absorption de la lumière est proportionnelle à la concentration de l'espèce absorbante. La spectrométrie consiste à mesurer l'absorbance d'une solution à une longueur d'onde donnée pour en déduire sa concentration. Cette absorbance est déterminée à l'aide d'un spectromètre, réglé à la longueur d'onde spécifique.

La réalisation préalable d'une courbe d'étalonnage ou droite d'étalonnage (détermination de l'absorbance de solutions de concentrations connues et tracé de la courbe $A = f([C])$), permet alors de déterminer la concentration de l'espèce dans la solution, et si on le souhaite, le coefficient d'extinction molaire ϵ de la substance absorbante. (RODIER, 2009).

La longueur d'onde λ mise en œuvre dépend des caractéristiques de la substance chimique concernée par l'absorption. Elle se détermine généralement par le

Chapitre V Matériels et méthodes

tracé du spectre d'absorption de la substance considérée et par le choix de la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption (λ_{\max}) ou d'une valeur proche de ce maximum en cas de risque d'interférences d'autres substances (**RODIER, 2009**).

b. Validité de la loi de Beer Lambert :

La loi de Beer-Lambert n'est cependant valable que sous certaines conditions :

- La lumière doit être monochromatique ;
- La concentration des solutions doit être faible (de l'ordre de 10^{-4} mol. L⁻¹) ;
- Les solutions doivent être homogènes ;
- Le soluté ne doit pas réagir sous l'action de la lumière incidente.

V.2.1.2. Techniques expérimentales

L'étude des absorptions nécessite l'utilisation d'un appareil appelé spectrophotomètre. La figure suivante représente le schéma de principe d'un spectrophotomètre d'absorption UV-visible.

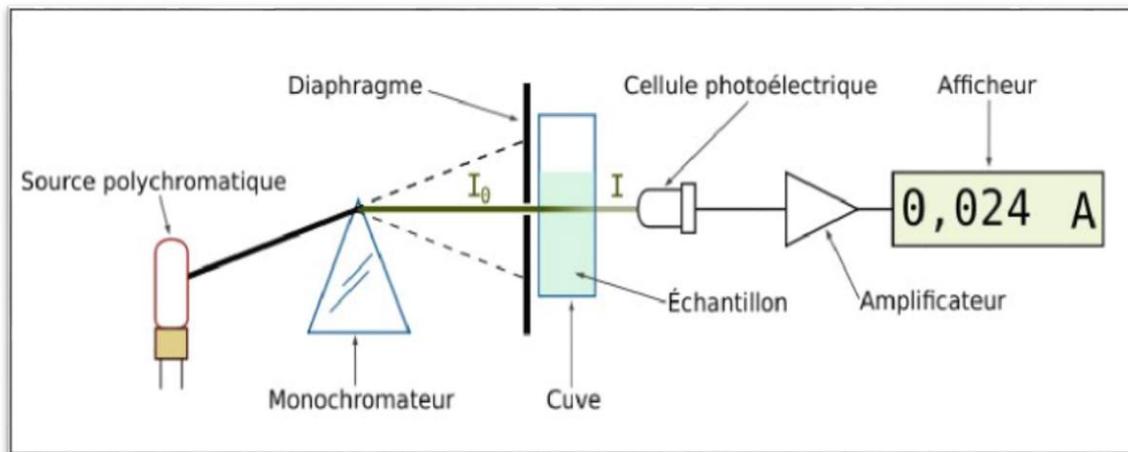


Figure (V, 4) : Principe de fonctionnement du spectrophotomètre.

Le spectrophotomètre permet la comparaison d'un faisceau lumineux avant et après passage dans un échantillon. Il comporte :

- Une source de lumière blanche ;
- Un monochromateur composé d'un réseau et d'une fente qui sélectionne un intervalle très étroit de longueurs d'onde autour d'une valeur choisie ;
- Une cuve qui contient l'échantillon à étudier ;
- Un détecteur qui mesure l'intensité lumineuse après la traversée de la cuve ;

Chapitre V Matériels et méthodes

- Un écran d'affichage.

V.2.1.3. Mode Opératoire

La loi de Beer-Lambert autorise des déterminations quantitatives, sous condition de travailler avec la longueur d'onde convenable en complémentarité avec un étalonnage réalisé avec la substance chimique concernée par cette absorbance.

L'élément chimique voulu fera l'objet d'un dosage spectrométrique en le transformant en un dérivé possédant un chromophore utilisable en spectrométrie ;

Elément à doser + réactif \longrightarrow Substance analysable par spectrométrie.

Après cela, toutes les absorbances sont mesurées à la longueur d'onde définie, par rapport à un « blanc » (la cuve en quartz qui contient généralement de l'eau désionisée) à base de plusieurs concentrations connue de la molécule à doser. L'absorbance A étant proportionnelle à la concentration C des molécules de l'espèce qui absorbe à une longueur d'onde λ donnée, le tracé de la courbe d'étalonnage $A = f([C])$ permet de déterminer le domaine de linéarité de la méthode et la pente de la droite. C'est dans la gamme de concentrations correspondant à ce domaine de linéarité, qu'il sera préférable de se placer pour l'analyse des échantillons.

En ce qui concerne l'échantillon, l'absorbance est mesurée généralement après réaction. Elle permettra à l'aide de la droite d'étalonnage, d'accéder à la concentration C de l'élément concerné.

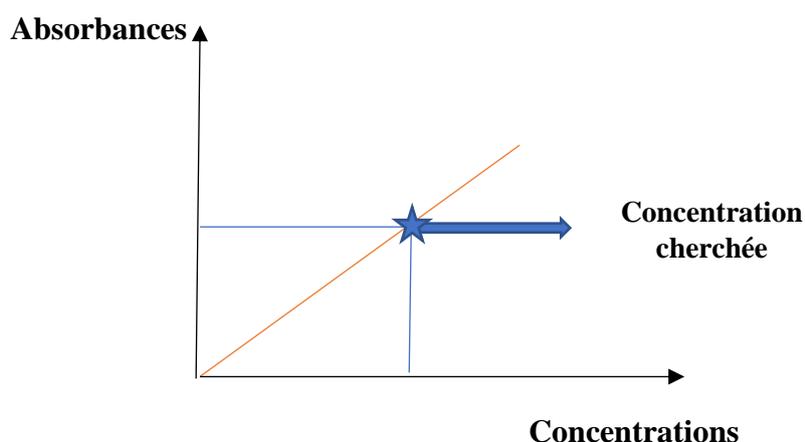


Figure (V, 5) : La courbe d'étalonnage utilisée pour la détermination de la concentration voulue.

Chapitre V Matériels et méthodes

Pour notre partie pratique, le spectre d'absorbance est réalisé avec un spectrophotomètre UV-visible de marque SHIMADZU UV-mini 1240 dans une cuve en quartz de 10 mm de trajet optique. La cuve est rincée trois fois avec l'échantillon avant d'en mesurer l'absorbance avec une longueur d'onde définie pour chaque paramètre.



Figure (V, 6) : *Spectrophotomètre SHIMADZU UV-mini 1240.*

V.2.2. Analyses physico-chimiques :

V.2.2.1. Paramètres mesurés *in situ* :

Une série de mesures physiques a été effectuée sur les lieux de prélèvements à savoir : La température, la conductivité, le pH, la salinité, les TDS (Totale des Solides Dissous), la Turbidité et l'oxygène dissous. La nécessité de la mesure de ces paramètres s'avère obligatoire ; d'une part, ils nous donnent une idée primaire sur la nature et la composition de nos eaux, d'autre part, ils conditionnent un certain nombre d'équilibres chimiques et biologiques (**BENDADA, 2011**).

On a utilisé plusieurs matériels pour nos mesures *in situ* à savoir un PH mètre, Turbidimètre, Multi paramètre (Salinité, Conductivité, TDS, Température) et un oxymètre Les résultats des paramètres mesurés sur terrain sont représentés dans le partie résultats et discussion (chapitre 06) ainsi que dans l'annexe (15).

Chapitre V Matériels et méthodes

V.2.2.2. Paramètres mesurés au laboratoire :

Les paramètres physico-chimiques recherchés sont présentés comme suit (Leurs modes opératoires, sont décrit dans la partie annexe) :

a) Dosage de l'azote ammoniacal (Méthode spectrophotométrique au réactif de Nessler) :

En présence d'hydroxyde de potassium ou de sodium, il se produit une réaction entre les ions NH_4^+ et le réactif de Nessler (iodo-mercurate de potassium alcalin), avec formation d'un composé de coloration variant du rouge au brun. L'ajout dans le milieu réactionnel de tartrate double de sodium et de potassium a pour rôle principal d'éviter la formation ultérieure d'un trouble dû à l'interférence du calcium et du magnésium éventuellement présents dans l'eau.

On réalise ensuite une mesure spectrophotométrique de l'absorbance de la coloration à une longueur d'onde voisine de 420 nm.

b) Dosage des Matières En Suspension (MES) par centrifugation :

La séparation de MES de l'eau se fait par centrifugation. L'échantillon est mis en rotation à grande vitesse. L'application de la force centrifuge sur les particules solides permet de les rassembler dans le fond du tube sous forme de culot. Ce dernier sera récupéré et étuvé pendant une heure à 105 °C. Le poids des résidus secs obtenu correspond aux MES contenus dans l'échantillon.

La centrifugeuse utilisée est de marque **SIGMA**, en appliquant une vitesse de rotation de 3600 tours/minutes pendant 20 minutes. L'échantillon est mis dans un tube de volume de 6 ml. Après l'opération de centrifugation, le culot est récupéré puis séché dans un creusé à l'intérieur d'une Etuve de marque **MEMMERT**.

La teneur en MES est calculée à partir de la formule suivante :

$$[\text{MES}] = \frac{(M_2 - M_1) \cdot 1000}{VE} \text{ en mg/L.}$$

- M1 : masse de la creusé vide après séchage à l'étuve.
- M2 : masse de la creusé avec le culot après séchage à l'étuve.
- VE : volume de l'échantillon choisi.



Figure (V, 7) : Centrifugeuse SIGMA utilisé pour le dosage de MES.

c) Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5) :

La demande biochimique en oxygène (DBO), est un dosage empirique de laboratoire qui mesure la quantité de matière organique contenue dans un échantillon d'eau usée. C'est l'une des méthodes les plus répandues pour l'évaluation de la qualité de l'eau.

L'équation ci-dessous décrit le processus biochimique du dosage de la DBO :



La DBO, est une mesure de la quantité d'oxygène consommée par la bactérie hétérotrophe pour l'oxydation de la matière organique. Bien qu'il existe différentes méthodes pour la quantification de la DBO, le principe est le même pour toutes :

- Un volume d'eau est introduit dans un récipient dont les changements de l'oxygène contenu sont mesurés avant et après incubation à 20° C pour une certaine durée voulue.
- Les valeurs de la DBO s'accroîtront avec la progressive biodégradation de la matière organique, néanmoins, après cinq (05) jours, la majorité de la M.O contenue dans l'échantillon est déjà dégradée.

L'oxydation des autres composants présents dans l'échantillon d'eau peut aussi contribuer à la consommation d'oxygène, en particulier, la nitrification peut interférer dans la mesure de la DBO en surestimant sa valeur. De ce fait, un inhibiteur est exigé.

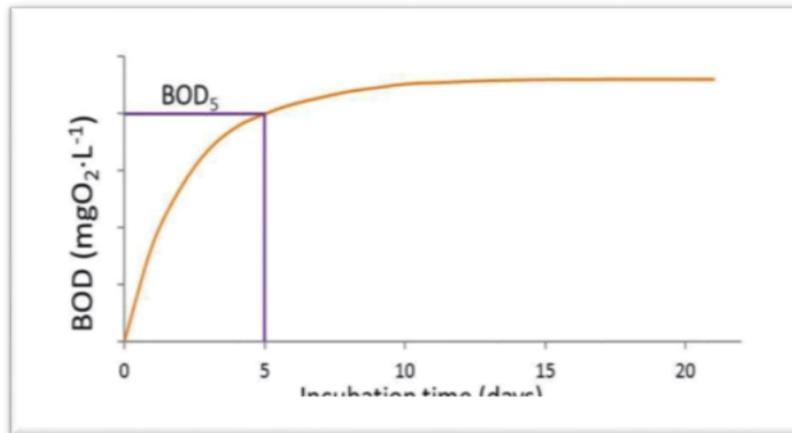


Figure (V, 8) : Courbe de la DBO₅.

➤ **Mode opératoire :**

L'échantillon eau prélevé est introduit dans des récipients dotés de manomètres, ces récipients sont soumis à une agitation magnétique constante à l'obscurité. Le manomètre mesure le déclin de pression à l'intérieur du récipient causé par la consommation de l'oxygène. L'Hydroxyde de Sodium (NaOH) est ajouté pour absorber le dioxyde de carbone (CO₂) produit dans le processus.

Le volume introduit est choisi en fonction du degré et nature de pollution suivant le tableau ci-dessous :

Tableau 07 : Convertisseur des valeurs affichées pour la DBO.

Volume de l'échantillon à prendre (ml).	Gamme de mesure (mg/L).	Facteur
432	0- 40	1
365	0- 80	2
250	0- 200	5
164	0- 400	10
97	0- 800	20
43.5	0- 2000	50

L'inhibition de la nitrification est assurée par l'ajout de quelques gouttes de l'Allyl thio-urée.

Après 05 jours d'incubation, les valeurs enregistrées sur les manomètres sont lues, ce qui nous amène à calculer la valeur de la DBO selon l'expression suivante :

Chapitre V Matériels et méthodes

$$\text{DBO}_5 \text{ (mg. O}_2\text{/L)} = V \times F.$$

- V: La valeur lue.
- F : Facteur de dilution qui dépend du volume de l'échantillon à prendre.



Figure (V, 9) : Incubateur de DBO5.
jours d'incubation.



Figure (V, 10) : Bouteilles après 05

d) Dosage de la pollution phosphorée :

- **Dosage des orthophosphates PO_4^{3-} :**

Les ions orthophosphate en solution acide (H_2SO_4) et en présence d'ions molybdate et antimoine forment un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate, qui après réduction par l'acide ascorbique, donne un complexe de molybdène coloré en bleu. Le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double potassium et d'antimoine.

La mesure de l'absorbance de ce complexe se fait à 880 nm et permet de déterminer la concentration en orthophosphates de l'échantillon par rapport à une gamme étalon.

- **Dosage du phosphore total P_T :**

De nombreux composés organophosphorés sont transformés en orthophosphates par une minéralisation à chaud à l'aide de peroxydisulfate. Les polyphosphates sont également hydrolysés par ce traitement qui permet donc de mesurer le phosphore total présent dans l'échantillon. Si les matières organiques sont présentes en grande quantité, l'oxydation au peroxydisulfate ne sera pas suffisante, il sera nécessaire de procéder à une oxydation plus

Chapitre V Matériels et méthodes

puissante à l'acide sulfurique-acide nitrique. Dans ces conditions, le dosage des orthophosphates permet de connaître le PT présent dans l'échantillon.

e) Détermination de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène (DCO), est la mesure de la quantité d'oxygène requise pour oxyder la matière organique et inorganique oxydable contenue dans un échantillon. Ce paramètre donne une estimation de la quantité de polluants présents dans un effluent industriel ou une eau usée.

L'oxydation est effectuée dans des conditions énergiques, par voie chimique. Elle se fait sous l'action d'un oxydant puissant (dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$), en milieu acide fort (H_2SO_4). Dans ces conditions, la plupart des matières organiques sont oxydées en CO_2 et H_2O à 90 ou 100 %. Les Hydrocarbures aliphatiques, nécessitent cependant l'emploi d'un catalyseur comme le sulfate d'argent Ag_2SO_4 . L'ammoniac n'est pas oxydé, mais les nitrites le sont ; généralement, cette demande supplémentaire est négligeable, étant donnée la faible teneur des nitrites par rapport à celle des dérivées carbonées. (**Chimie des eaux, TARDAT-HENTY**).

La mesure de la DCO se fait par deux méthodes :

☞ **Méthode à reflux en systèmes ouverts :**

Dans des conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées à l'ébullition (150 °C) par un excès de dichromate de potassium, en milieu acide et en présence de sulfate d'argent jouant le rôle de catalyseur d'oxydation et de sulfate de mercure (II) permettant de complexer les ions chlorure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium.

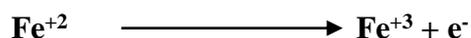
Les matières oxydables (et en particulier les matières organiques) de l'échantillon sont oxydées par le dichromate de potassium dans les conditions précitées.

Le dichromate de potassium est réduit :

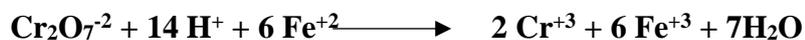


Le dichromate de potassium résiduel est dosé par une solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium (donc de Fe^{2+}), en présence de ferroïne (indicateur d'oxydo-réduction) :

Chapitre V Matériels et méthodes



La réaction globale du dosage est la suivante :



Il est alors possible de déterminer la quantité de dichromate de potassium consommé lors de l'essai et d'en déduire la quantité d'oxygène équivalente.

On pourra déterminer :

- La DCO totale (matières dissoutes et en suspension) de l'échantillon (DCO totale),
- La DCO dissoute, après décantation de l'échantillon pendant 2 heures (DCO_{ad2}).

Pour limiter l'interférence des chlorures, on ajoute du sulfate de mercure, qui conduit à la formation de chloromercurate (II), soluble et peu oxydable.

☞ **Indice DCO ou méthode ST-DCO (méthode à petite échelle en tube fermé) :**

La méthode décrite dans ce paragraphe utilise le même principe que la méthode précédente : oxydation de l'échantillon par le dichromate de potassium en présence d'acide sulfurique, de sulfate d'argent (catalyseur) et de sulfate de mercure (II) (complexant des ions chlorure).

Pour la différencier de la méthode classique en système ouvert, cette méthode est connue sous le nom de méthode ST-DCO. L'originalité de cette méthode repose :

Sur l'utilisation de tubes fermés prêts à l'emploi. Ils contiennent tous les réactifs nécessaires et il suffit d'introduire un volume précis d'échantillon,

Sur le dosage spectrométrique de l'oxydant consommé. On utilise la propriété d'absorber à 600 nm que possède le Cr⁺³ (formé lors de l'oxydation de la matière organique de l'échantillon, par réduction du dichromate de potassium).

Afin de mesurer la Demande Chimique en Oxygène dans notre étude, nous avons pris comme référence la méthode d'analyse éditée par le Centre D'Expertise en Analyse Environnementale du Québec, CANADA, sous-titrée : Détermination de la demande chimique en oxygène : méthode de reflux en système fermé suivi d'un dosage par colorimétrie avec le bichromate de potassium.

Chapitre V Matériels et méthodes

L'analyse doit être faite dans un délai qui ne dépasse pas les 24 heures après la fin du prélèvement. Nous avons préparé des réactifs, solution mère et solution étalons avant l'échantillonnage, leur méthode de préparation sont détaillées dans l'ANNEXE.

☞ Préparation des échantillons :

Les échantillons et les solutions étalons sont traités de la même façon suivant la démarche suivante :

- ✓ Homogénéiser l'échantillon. S'il y a présence connue d'une grande quantité de chlorures dans l'échantillon ou que la solution devienne laiteuse, ajouter 1,00 g de sulfate mercurique (cf. 6.3) par 25 ml d'échantillon. Agiter avec un agitateur rotatif environ 5 minutes à une vitesse de 60 tr/min. Par la suite, laisser décanter. Ajouter également du sulfate mercurique dans le blanc et les matériaux de référence.
- ✓ Prélever à l'aide d'une pipette 2,5 ml d'échantillon et l'introduire dans une éprouvette.
- ✓ Ajouter lentement 1,5 ml de la solution de digestion à l'aide d'une burette automatique dans chaque éprouvette.
- ✓ Ajouter lentement 3,5 ml du réactif acide à l'aide d'une burette automatique dans chaque éprouvette et visser fermement le bouchon. Mélanger par la suite à l'agitateur à vortex. Lors du mélange, la chaleur dégagée est très grande.
- ✓ Porter à reflux dans un bloc chauffant à une température de $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant une période de 2 heures.
- ✓ Laisser refroidir à la température ambiante.
- ✓ Agiter le tube par inversion ou avec l'agitateur à vortex avant le dosage. Si l'échantillon contenu dans l'éprouvette est trouble, centrifuger pendant 15 minutes à une vitesse d'environ 1800 tr/min.

☞ Dosage :

L'étalonnage du spectrophotomètre est fait chaque journée d'utilisation. Pour le dosage nous avons suivi étapes énumérées ci-dessous :

- ✓ Ajuster la longueur d'onde du spectrophotomètre à 600 nm.
- ✓ Faire la lecture des absorbances pour les solutions étalons afin de tracer la courbe d'étalonnage.
- ✓ Mesurer les absorbances des échantillons.

Chapitre V Matériels et méthodes

- ✓ Se référer à la courbe tracée précédemment et en tirer les concentrations des échantillons étudiés.

f) Mesure du Carbone Organique Total (COT), Nitrite et Nitrate :

Ces trois paramètres ont été quantifiés au sein du laboratoire de l'unité d'osmose du groupe Cevital, qui dispose d'un spectrophotomètre UV visible NANOCOLOR ®Macherey Nagel et des tubes commerciaux (réactifs) spécifiques aux COT, Nitrite et Nitrate.

Ce spectrophotomètre intègre la technologie de la détection RDT, il possède deux sources de lumière ; lampe halogène (domaine du visible) et lampe de deutérium (domaine de l'UV), son mode de mesure se concrétise en exprimant la teneur de l'élément à doser en concentration massique ou molaire, ceci en se référant aux courbes d'étalonnage et plus de 200 tests programmés au sein du spectrophotomètre. Ce dernier exprime selon la demande a l'absorbance, la transmission et la mesure néphélométrique de la turbidité.



Figure (V, 11) : Spectrophotomètre UV visible NANOCOLOR ® Macherey Nagel.

V.2.3. Analyse bactériologique :

Nombreuses maladies qui affectent la population de la planète sont liées en partie à l'insuffisance de l'évacuation des eaux usées domestiques et industrielles. Ces dernières sont devenues de plus en plus énormes devant le développement industriel, l'essor économique, l'expansion démographique et la grande densité des zones urbaines.

Chapitre V Matériels et méthodes

Les eaux usées urbaines de la ville de Sidi Aich sont rejetées sans traitement préalable dans l'oued Soummam. Ce dernier étant à ciel ouvert en traversant des quartiers urbains et périurbains de la ville, constitue un réel danger croissant pour la santé humaine et le milieu naturel (terres agricoles environnantes) à cause de leurs charges en matières chimiques toxiques et de micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, parasites...).

L'analyse bactériologique est vraiment importante car ce n'est pas un paramètre stable ; sujet aux variations et fluctuations (par pollution accidentelle), d'où ça requiert des contrôles permanents. Il faut signaler qu'un examen bactériologique ne peut être interprété que s'il est effectué sur un échantillon correctement transporté au laboratoire et analysés sans délai ou après une courte durée de conservation dans des conditions satisfaisante.

L'étude des paramètres bactériologiques au cours de notre travail expérimental a porté sur la quantification des paramètres d'origine fécale : coliformes fécaux (CF), coliformes totaux (CT) et streptocoques fécaux (SF), aussi la recherche et le dénombrement des germes pathogènes à savoir les salmonelles et les vibrions cholériques. Nos prélèvements ont été pris en charge par le *Laboratoire d'Hygiène de la Direction de la Santé et de la Population* de la Wilaya de Béjaia. (DSPB). Le principe de cette analyse bactériologique est basé sur l'ensemencement d'une prise d'essai d'échantillon souvent diluée vu que l'eau d'oued Soummam est un milieu rempli de vie microbienne, cela avec des milieux sélectifs propre à chaque bactérie, parasite, colonie...etc.

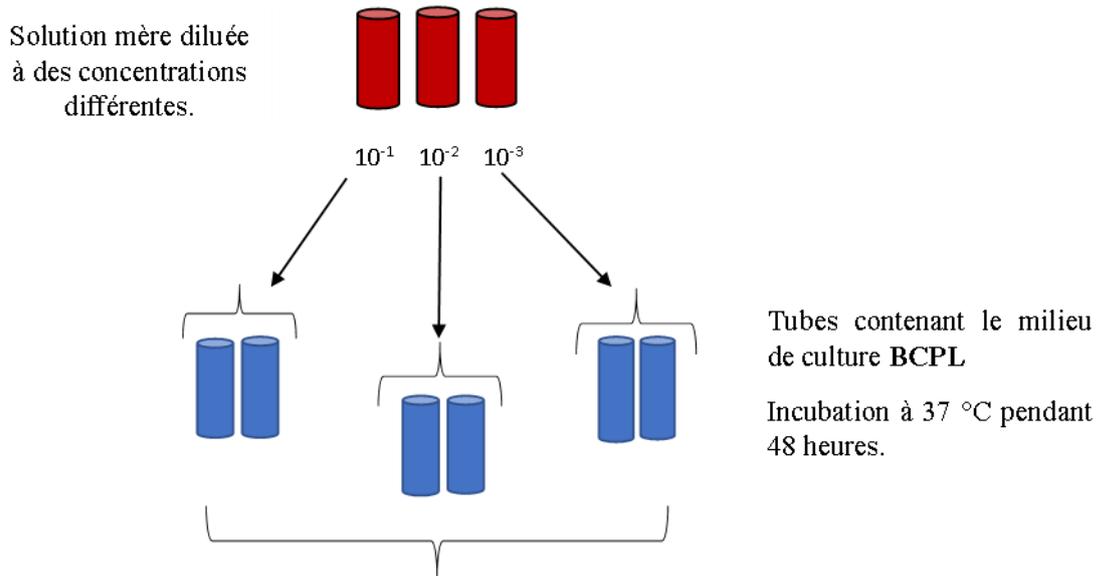
La sélection se fait dans des conditions d'incubation à des températures et durée déterminées ; on prend l'exemple des coliformes, la méthode suivie est celle par ensemencement dans un milieu liquide et détermination du Nombre le Plus Probable avec la table de MACGRADY, la démarche est la suivante :

- Ensemencement d'une prise d'échantillon a des dilutions de 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} dans une série de tube présomptifs qui permettes une croissance non sélective des coliformes.
- Après incubation, à $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ pendant 48 heures, repiquage des tubes troubles, avec dégagement gazeux (cloche de Durham), dans des milieux plus sélectifs et incubé durant 24 et 48 heures à des températures différentes :
 - ✓ $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour la recherche des coliformes totaux comme milieu sélectif le BCPL (Bouillon Lactosé Bilié au pourpre de Bromocrésol).
 - ✓ $44\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour la recherche des coliformes fécaux comme milieu sélectif l'eau peptone exempte d'indole.

Le protocole d'analyse adopté pour les coliformes est représenté dans la **figure (V, 12)** :

Chapitre V Matériels et méthodes

- Recherche des coliformes totaux :



Recherche des coliformes fécaux :

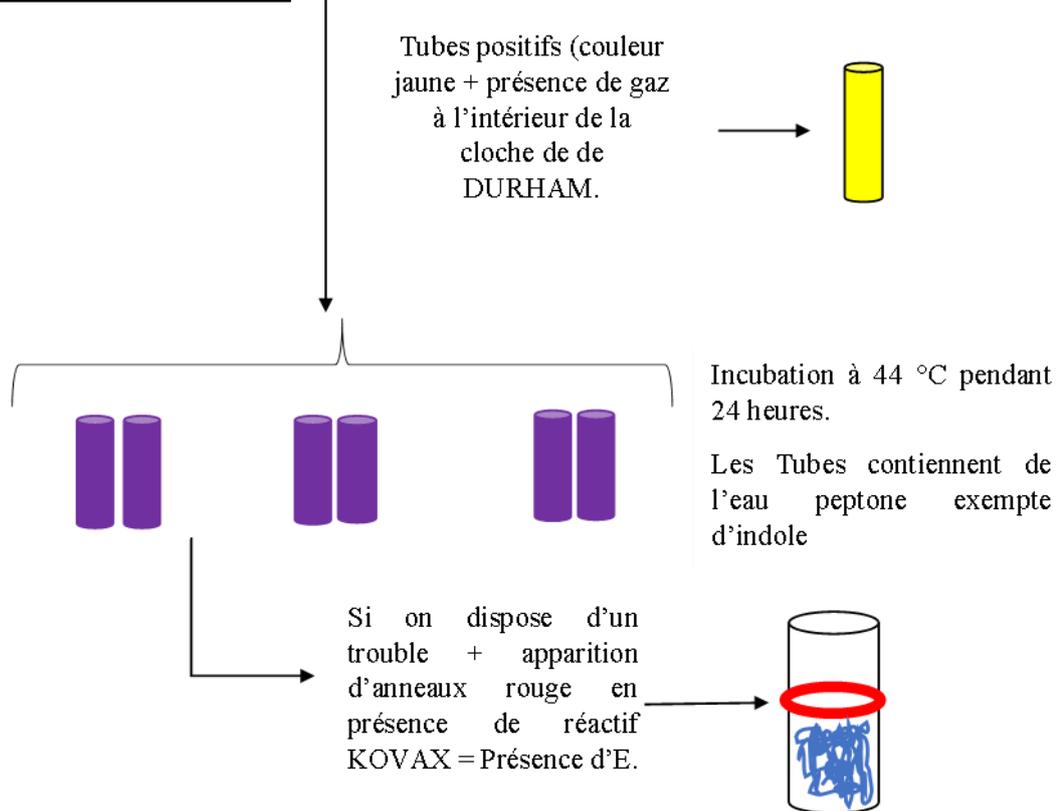


Figure (, 12) : *Protocole expérimentale pour la recherche et le dénombrement des coliformes.*

Chapitre VI

Résultats et discussions

Les résultats de la caractérisation des différents échantillons, prélevés à partir des cinq sites d'étude, sont exposés dans ce chapitre sous formes de tableaux et graphiques.

VI.1. Paramètres physico-chimiques

VI.1.1. Paramètres mesurés in-situ

VI.1.1.1. Le pH

Les valeurs du potentiel d'Hydrogène enregistrées sur les cinq points de prélèvement, sont rapportées sur le tableau suivant.

La figure VI.1, résume la variation spatiale de ce paramètre entre les cinq stations étudiées.

Tableau 08 : Valeurs du pH.

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
pH	8.2	8.6	9.1	8.2	7.8

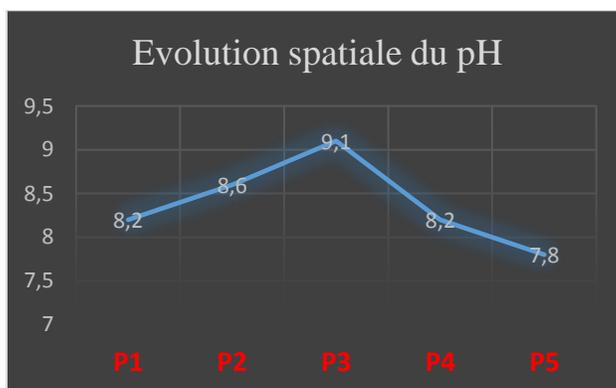


Figure (VI.1) : Variation du pH entre les cinq stations de prélèvement.

Chapitre VI Résultats et discussions

• Discussion

Le pH constitue un facteur limitant pour les processus d'épuration (survie des bactéries, nitrification, précipitation du phosphore,) d'où l'importance de contrôler ce facteur. Le potentiel hydrogène relevé au cours de nos prélèvements s'échelonne spatialement en général de 7.8 à P5 (Prélèvement de Rémila) valeur minimale et 9.1 à P3 (Prélèvement Avant Abattoir) comme valeur maximale.

D'après VALENTINE (2004), la présence du phytoplancton est à l'origine de l'augmentation du pH dans l'eau. Grâce à la photosynthèse, il y'a libération de l'oxygène dans l'eau, ce qui augmenterait sa concentration et consommerait du CO₂ entraînant l'élévation du pH. Outre cette augmentation peut s'expliquer par le caractère alcalin des eaux usées urbaines rejetés sans traitement préalable. La texture géologique de la zone d'étude peut aussi interpréter une partie de ce caractère alcalin du pH, vu que la nature pédologique de Sidi Aich qui se résume en marnes gypso-salins, marnes schisteuses et des marnes calcaires.

VI.1.1.2. La Température

Les températures mesurées sur les cinq sites sont données dans le tableau La variation spatiale de ce paramètre entre ces sites d'étude, est illustrée sur la figure VI.2.

Tableau 09 : Valeurs de la température en (°C).

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
Température (°C).	20.4	20.8	21.4	19.7	20.2

Chapitre VI Résultats et discussions

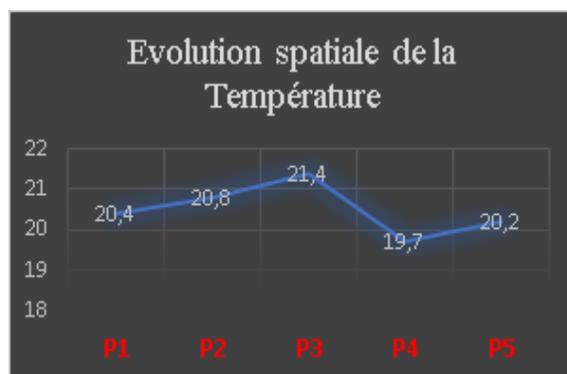


Figure (VI, 2) : Variation de la température entre les cinq stations de prélèvement.

• Discussion

La température se situe comme le paramètre physique qui conditionne les équilibres physico chimiques et biologiques, donc sa connaissance et sa mesure spatio-temporelle est indispensable pour la compréhension des phénomènes liées à l'eau.

L'étude de la température a montré que les valeurs de cette dernière dans les différents sites sont comprises entre 19.7 °C et 21,4 °C. Généralement, les températures de l'oued Soummam autrefois s'échelonnaient entre 14.81 °C et 18.76 °C, donc cette augmentation peut s'expliquer par l'expansion sans cesse des rejets d'eaux usées, d'où une prolifération microbienne accrue bouleversant ainsi l'équilibre biologique de l'oued Soummam entraînant les augmentations des températures (**PDAU de Sidi Aich**).

VI.1.1.3. Solides Dissous Totaux (TDS)

Les résultats obtenus pour la mesure des Solides Dissous Totaux sont apportés dans le tableau suivant. La figure **VI.3**, illustre la variation de ce paramètre entre les cinq stations de prélèvement.

Tableau 10 : Valeurs des TDS.

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
TDS (g/L)	4.39	4.45	4.42	4.53	4.03

Chapitre VI Résultats et discussions

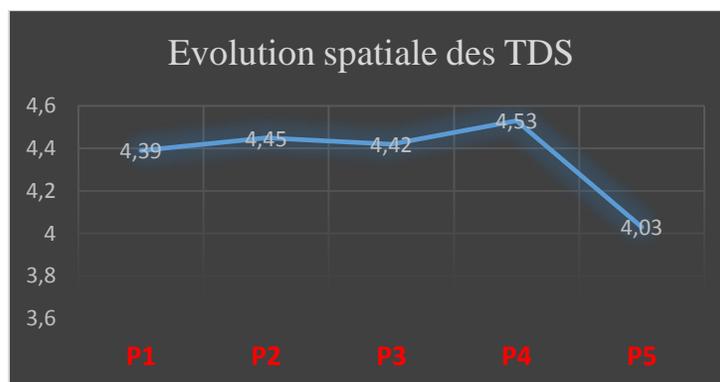


Figure (VI, 3) : Variation des TDS entre les cinq stations de prélèvement.

- **Discussion :**

En ce qui concerne les Solides Dissous Totaux, on remarque des valeurs supérieures à **4 g/L**, la maximale a été enregistrée dans le P4 (Prélèvement Après Abattoir), ceci peut être interpréter par le rejet d'assainissement avoisinant cette station de prélèvement, qui regroupe toutes les eaux usées de la rive gauche, outre le point de prélèvement 4 se situe à proximité de la décharge publique de Sidi Aich. Généralement, ces valeurs dépassant la norme de rejet au milieu récepteur, s'explique par des substances dissoutes provenant d'épandages agricoles, effluents urbains ou de retombés d'aérosols.

VI.1.1.4. La Conductivité

La conductivité électrique des échantillons prélevés sur les cinq stations est donnée dans le tableau **II** et la variation de ce paramètre entre ces stations est illustrée sur la figure qui suit.

Tableau 11 : Valeurs de la Conductivité.

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	7.42	7.98	7.60	7.63	6.83

Chapitre VI Résultats et discussions

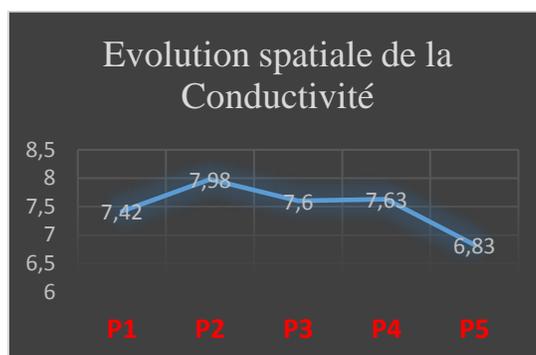


Figure (VI, 4) : Variation de la conductivité entre les cinq stations de prélèvement.

- **Discussion :**

La conductivité électrique constitue un indicateur du degré de la minéralisation globale des eaux. Elle dépend de la concentration des ions et de la température et c'est un facteur pertinent de la pollution inorganique.

Dans le cas de notre étude, les valeurs de la conductivité oscillent entre 6.83 et 7.98 µs/cm dont le maximum est enregistré au niveau du P2 (Prélèvement Centre-Ville) et le minimum au niveau du P5 (Prélèvement Remila).

Globalement nous constatons, que les conductivités mesurées sont supérieures à la norme de rejet qui est de **1.5 µs/cm**. Ceci pourrait être expliqué par la quantité de rejets urbains déversé dans l'oued Soummam, car les rejets d'origine domestique de nos jours contiennent une gamme de molécule chimique utilisés dans la vie quotidienne : additifs, enzymes utilisés dans les lessives, solvants, plastifiants que l'on retrouve dans les combustions, produits cosmétiques, médicaments ...etc. La plupart de ces molécules sont transférées ou véhiculées dans l'eau par lavage ou dans les urines. Outre, la composition géologique du lit de l'oued Soummam et sa nature lithologique maintiennent une conductivité de l'eau donnée par la présence des cations comme le calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), sodium (Na^+) ou potassium (K^+), ainsi que des anions (bicarbonates (HCO_3^-), sulfates (SO_4^{2-}), chlorures (Cl^-)).

Chapitre VI Résultats et discussions

VI.1.1.5. La Salinité

Le tableau 12 donne les valeurs de la salinité enregistrées sur les cinq stations de prélèvement, suivie d'une représentation graphique, illustrant la variation de ce paramètre entre ces stations.

Tableau 12 : Valeurs de la Salinité.

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
Salinité (ppm)	4.5	4.6	4.6	4.7	4.2

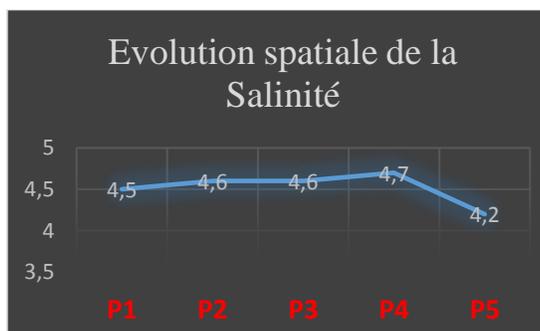


Figure (VI, 5) : Variation de la salinité entre les cinq stations de prélèvement.

- **Discussion :**

Etroitement liée à la teneur en chlorures d'un échantillon, la salinité est une notion particulièrement importante pour les eaux usées. Elle est définie comme la somme des matières solides en solution contenues dans une eau.

Les valeurs de la salinité relevées au cours de la période d'étude, présentes des valeurs à peu près proches les unes des autres avec 4,2 ppm comme valeur minimale enregistré à P5 (Prélèvement Rémila) et 4.7 ppm comme valeur maximale à P4 (Prélèvement Après Abattoir).

Ces valeurs mesurées pourront être expliquées par l'apport des eaux usées de quantités importantes en chlorures ; les excréments humains, en particulier l'urine, riches en chlorures, sont responsables d'un apport d'environ 6g d'ions Cl⁻ par personne et par jour. Les eaux usées sont toujours plus riches en chlorures car l'organisme humain élimine la totalité des chlorures ingérés dans l'ensemble de son alimentation. C'est

Chapitre VI Résultats et discussions

pourquoi une augmentation de la teneur en Cl^- dans un réseau d'eau potable peut parfois être le signe d'infiltration d'eaux usées.

VI.1.1.6. La Turbidité

Les valeurs de la turbidité enregistrées sur les cinq points de prélèvement, sont rapportées sur le tableau suivant.

La figure 13, résume la variation spatiale de ce paramètre entre les cinq stations étudiées.

Tableau 13 : Valeurs de la Turbidité.

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
Turbidité (NTU)	21.4	22.8	15.54	22.0	9.8

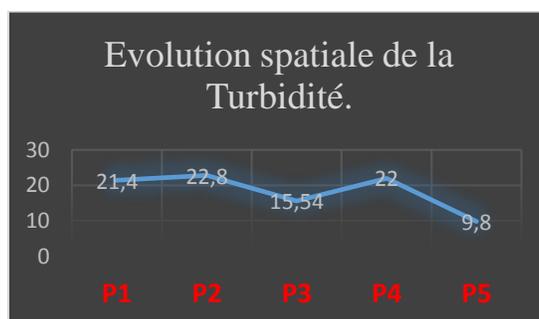


Figure (VI, 6) : Variation de la turbidité entre les cinq stations de prélèvement.

- **Discussion :**

L'allure de la courbe de la figure (VI.6), montre une variation aléatoire de la turbidité entre les stations de prélèvement. Les valeurs maximales sont enregistrées aux points P1 ; P2 et P3, avoisinant les 22 NTU et les valeurs minimales sont enregistrées aux points P3 et P5. Avec un pic maximum de 22,8 NTU observé à P2 (Prélèvement Centre-Ville) et 9.8 NTU comme valeur minimale enregistrée à P5 (Prélèvement Rémila).

Le prélèvement effectué en temps sec, explique le fait d'avoir enregistré ces faibles valeurs. Néanmoins, il existe une turbidité au-dessus de la norme de rejet dans l'oued Soummam, résultant des rejets urbains et de la nature argileuse du lit de l'oued.

VI.1.1.7. L'oxygène dissous

Les teneurs en oxygène dissous mesurées sur les cinq sites sont données dans le tableau **14**. La variation spatiale de ce paramètre entre ces sites d'étude, est illustrée sur la figure **VI.7**.

Tableau 14: Valeurs de l'oxygène dissous.

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
Oxygène dissous (mg/L)	1.3	1.2	1.2	1.5	1.3

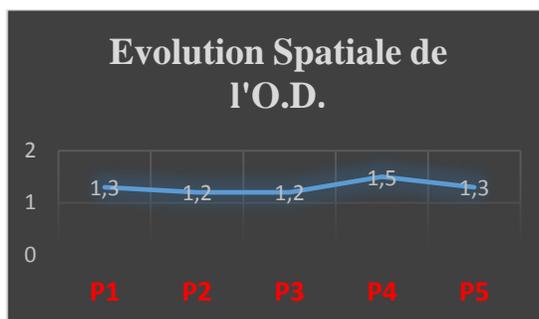


Figure (VI, 7) : Variation de l'oxygène dissous entre les cinq stations de prélèvement.

- **Discussion :**

En suivant l'évolution spatiale de la teneur en oxygène dissous entre les cinq stations de prélèvement, on remarque que celle-ci est presque constante avec des valeurs avoisinant le 1.5 mg/l. Cette dernière est une valeur critique pour le milieu récepteur, c'est un indicateur alarmant de l'état de pollution d'Oued Soummam dû aux rejets intensifs des eaux usées et déchets solides de tout genre.

En analysant ces données, on constate que la photosynthèse des plantes aquatiques est quasi inexistante vu que la norme internationale est de 5 mg/l. Outre, c'est un indicateur d'une présence d'une forte pollution organique et les bactéries épuratrices ont consommé une large quantité d'oxygène pour dégrader les composés carbonés, azotés et phosphorés. La panoplie de ces phénomènes constitue un réel danger sur l'oued Soummam (Faune et Flore).

Chapitre VI Résultats et discussions

Selon **BEAUDRY**, la solubilité de l'oxygène dissous diminue lorsque la teneur de l'eau en sels dissous augmente.

VI.1.2. Paramètres mesurés au Laboratoire

VI.1.2.1. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅)

Les prélèvements effectués sur les cinq stations ont révélés des valeurs en DBO₅, ces dernières sont données dans le tableau suivant, et la variation spatiale de ce paramètre est illustrée sur la figure VI.8.

Tableau 14 : Valeurs de la DBO₅.

Points de prélèvements	P1	P2	P3	P4	P5
DBO (mg O ₂ /L)	60	40	40	20	40

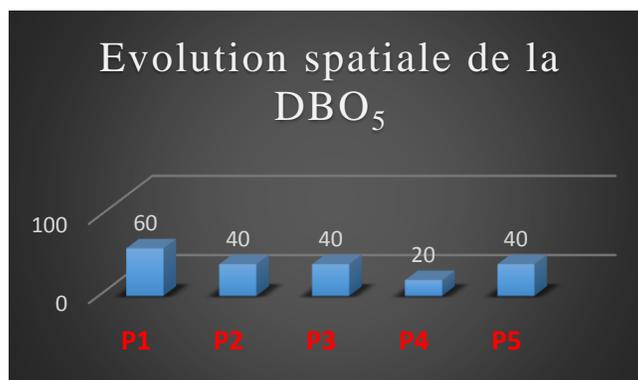


Figure (VI, 8) : Variation de la DBO₅ entre les cinq stations d'échantillonnage.

• Discussion

La demande biologique en oxygène constitue l'un des principaux paramètres de qualité habituellement étudiés pour évaluer de façon indirecte la charge organique biodégradable contenue dans une eau usée.

A l'origine, les méthodes utilisés en laboratoire pour mesurer la DBO, tendaient à reproduire le mieux possible le phénomène d'autoépuration, mais de nombreux facteurs naturels, tels que l'ensoleillement, la température et ses variations, la nature et le nombre des espèces de microorganismes ou la réoxygénation perpétuelle du milieu ne sont pas

Chapitre VI Résultats et discussions

facilement reproductible, donc vaut-il mieux considérer les détermination expérimentales de DBO comme une simple mesure de la charge organique biodégradable (**TARDAT-HENRY**)

L'évolution spatiale de la demande biologique en oxygène (*Figure (VI.8)*) montre des fluctuations d'une station à une autre. Le maximum est enregistré au niveau de P1 (Prélèvement Takeriezt), cela pourrait être expliqué par l'apport en matières organiques, de la zone industrielle d'Akbou précédant la ville de Sidi Aich.

La presque linéarité des valeurs de la DBO au niveau de P2, P3, P4 et P5 à des valeurs tournant autour de 20 et 40 mg. O₂/L, met en évidence la régularité des rejets de la ville de Sidi Aich qui se résume en des rejets domestiques chargés en matières organiques qui sont biodégradables, ces M.O sont produites par le métabolisme humain, animale et végétal.

VI.1.2.2. La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène, est contrôlée au niveau des cinq stations de prélèvements. Les valeurs obtenues ainsi que l'évolution spatiale de ce paramètre, sont résumées sur le tableau et la figure suivants.

Tableau 15 : Valeurs de la DCO.

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
DCO (mg O ₂ /L)	220.54	237.45	125.38	82.98	191.62

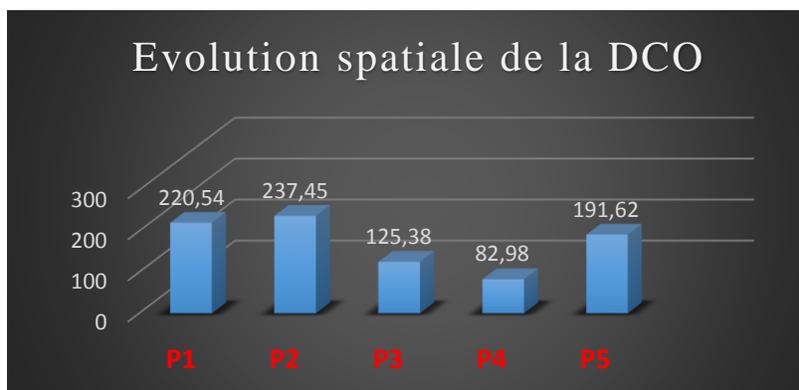


Figure (VI, 9) : Variation de la DCO entre les cinq stations d'échantillonnages.

Chapitre VI Résultats et discussions

- **Discussion :**

L'évolution de la demande chimique en oxygène (DCO) de notre cas d'étude, montre de grandes variations au cours de nos prélèvements d'une station à une autre. On remarque des valeurs importantes aux alentours de 200 mg. O₂/L dans les prélèvements P1, P2 (valeur maximale) et P5. Aussi des valeurs de 125,38 mg. O₂/L et 82,98 mg. O₂/L aux points P3 et P5 respectivement. Ces baisses en valeurs de DCO pourront être expliquées par le pouvoir auto-épurant de l'oued Soummam se trouvant dans des conditions de pH et températures adéquates (Selon BEAUDRY) et un nombre important de micro-organismes favorisant le phénomène de l'autoépuration, mais qui n'est sans doute pas suffisant vu la grandeur des valeurs dépassant ainsi la norme de rejet de 40 mg. O₂/L.

Les valeurs de la DCO mesurés sont probablement dues aux eaux résiduaires urbaines de la ville de Sidi Aich, produit par l'usage domestique (matière organique fécale) les eaux vannes avec l'utilisation des détergents et plusieurs produit chimiques assez considérables dans la vie quotidienne. Outre les eaux usées des stations de lavages, les deux stations-services ainsi l'utilisation des produit phytosanitaires aux alentours des parcelles agricoles de Sidi Aich Ouest (coté Takeriezt) et Sidi Aich Est (Coté Rémila) ont leur part dans l'augmentation des valeurs de la DCO.

L'étude approfondie d'**ERIKSON et al. (2002)** a révélé que l'augmentation de la DCO dans la nature est le produit des solvants, des composés pharmaceutiques, des produits d'entretien, des produits chlorés, des hydrocarbures aromatiques polycycliques. Ainsi plus de 800 xénobiotiques ont été identifiés à partir des bases de données de produits chimiques domestiques (produits de nettoyage et de bricolage, produits pour la lessive et la vaisselle, cosmétiques et crèmes solaires, ainsi que médicaments et additifs alimentaires, tels certains édulcorants artificiels).

Selon **TARDAT-HENRY**, la DCO présente certaines limitations, à savoir, principalement :

- Le fait que certaines substances résistent à l'oxydation comme l'ammoniac.

Chapitre VI Résultats et discussions

- L'interférence des chlorures dont on ne peut obtenir des mesures valables de DCO pour des teneurs en chlorures supérieures à 2000 mg/L.

Afin de cerner la nature de la pollution organique de nos eaux usées rejetés dans l'oued Soummam nous avons calculé le rapport DCO/DBO présentés dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Rapport DCO/DBO de nos échantillons.

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
DCO/DBO	3.65	5.93	3.13	4.14	4,79

En analysant les valeurs calculées du rapport DCO/DBO, nous constatons que la pollution organique est partiellement biodégradable vu que nous avons des rapports DCO/DBO avoisinant le 4 et parfois le dépassant. Ce qui nous donne une idée sur les procédés de traitement à venir ; les procédés biologiques auront des difficultés à dégrader cette matière organique, donc il faut prévoir d'autres procédés qui éliminerons les micropolluants cité par **ERIKSON et al.** Probablement présent dans nos eaux.

VI.1.2.3. Le Carbone Organique Total (COT)

Le suivi du COT tout au long de la zone d'étude a révélé des valeurs rapportées sur le tableau ci-après, ces dernières, sont ensuite représentées graphiquement pour vérifier la variation du COT entre les cinq stations de prélèvements.

Tableau 17 : Valeurs du COT

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
COT (mg/L)	48,50	32,0	31,20	19,35	33,55

Chapitre VI Résultats et discussions

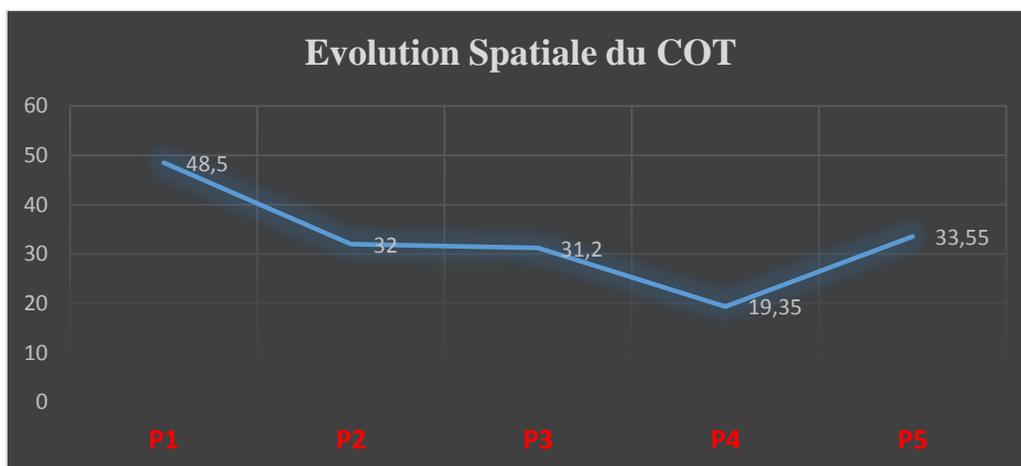


Figure (VI, 10) : Variation du COT entre les cinq stations de prélèvements.

Discussion :

Le Carbone Organique Total n'a cessé de gagner en importance dans l'analyse des eaux usées au cours de ces dernières années. Le COT ; en parallèle ou en association avec la DCO et la DBO5, est un important paramètre pour évaluer la charge organique de l'eau.

La figure (VI.10), montre que la valeur maximale du COT (48.5 mg/l), est enregistrée à l'aval de la zone d'étude (P1, Takerietz), puis en allons vers l'aval, la courbe présente une pente descendante, mettant en évidence la diminution de la charge en carbone organique total, atteignant sa valeur minimale (19,35 mg/l) au niveau de P4 (prélèvement Après Abattoir). Après ce point, la courbe présente une pente ascendante, faisant apparaître une élévation du COT au niveau de la dernière station de prélèvement (P5, Remila), atteignant 33,55mg/l.

Ces valeurs du carbone organique pourront être expliquées par la présence des substances humiques, de matériaux végétaux et animaux partiellement dégradés, ainsi que les rejets urbains provenant de plusieurs sources : rejets domestiques « protéines, sucres, matières grasses » ; rejets dus aux hydrocarbures « stations-services, lessivage de la RN 26 ».

D'après **TARDAT HENRY**, l'évolution du COT est systématiquement liée aux polluants organiques à savoir :

Chapitre VI Résultats et discussions

- ☞ Les pesticides (insecticides, herbicides...etc.).
- ☞ Les phénols ou dérivés hydroxylés aromatiques que l'on retrouve dans les eaux usées domestiques ou industrielles.
- ☞ Utilisation de détergents.

VI.1.2.4. L'Azote Ammoniacal $N-NH_4$

Les valeurs de l'Azote Ammoniacal enregistrées sur les cinq points de prélèvement, sont rapportées sur le tableau suivant.

La figure VI.11, résume la variation spatiale de ce paramètre entre les cinq stations étudiées.

Tableau 18 : Valeurs de l'azote Ammoniacal.

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
N-NH ₄ (mg/L)	2.12	1.61	1.55	1.2	1.86

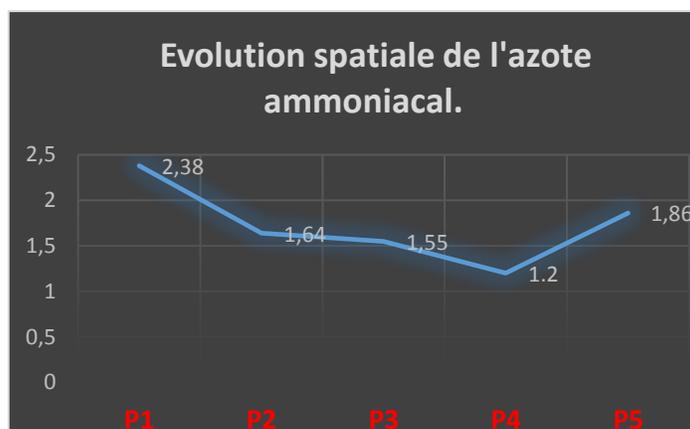


Figure (VI, 11) : Variation de l'Azote Ammoniacal entre les cinq stations de prélèvements.

• Discussion

La figure (VI.11) indique des valeurs dépassant la barre des 1.5 mg/l dans tous les points de prélèvement sauf dans le point P4 (prélèvement Après Abattoir) dont nous observons une valeur de 1.2 mg/l.

Chapitre VI Résultats et discussions

Globalement, nous constatons des grandeurs dépassant la norme de rejet de 0.5 mg/l, cela peut être expliqué par l'oxydation de la matière organique entraînant par conséquent une augmentation de l'azote ammoniacal (**ABOUELOUAF et al., 2002**).

La contamination des eaux de l'oued Soummam avec du N-NH₄ est due aux volumes importants des rejets résiduaux urbains, qui proviennent principalement des déjections humaines. Les urines participent massivement à cet apport sous forme d'urée et d'acide urique. Par ailleurs, les eaux de cuisine véhiculent des protéines comportant des acides aminés, et certains agents de surface (détergents, assouplissants) qui incluent dans leurs molécules des radicaux azotés.

Selon **REJSEK, 2002**, cette contamination peut avoir d'autres origines :

- ☞ Une origine agricole, avec les rejets de lisiers d'animaux ou l'utilisation massive d'engrais ; ce qui justifié la valeur élevée en Azote Ammoniacal enregistrée au niveau de Takeriezt, de fait que le prélèvement est effectué aux abords de terrains agricoles et d'élevages de bovins et ovins.
- ☞ Une réduction des nitrates en azote ammoniacal dans le fond de lits de l'oued (sols riches en substances humiques ou en fer ; milieu adéquat pour la prolifération des bactéries réductrices).

VI.1.2.5. Les Nitrates N-NO₃⁻

Les teneurs en Nitrates mesurées sur les cinq sites sont données dans le tableau **19**. La variation spatiale de ce paramètre entre ces sites d'étude, est illustrée sur la figure **IV.12**.

Tableau 19 : Valeurs des nitrates.

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	70.12	56.23	48.28	26.79	62.57

Chapitre VI Résultats et discussions

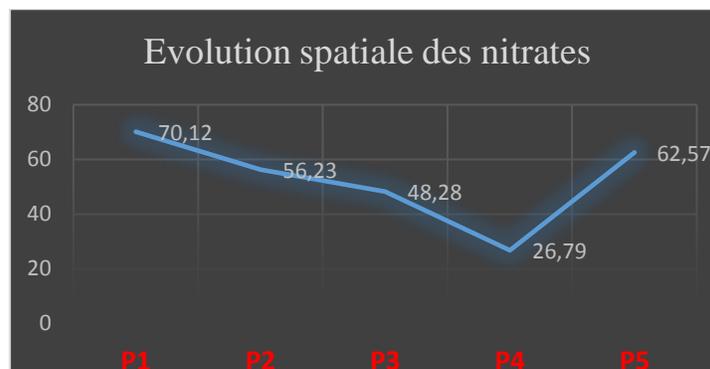


Figure (VI, 12) : Variation des Nitrates entre les cinq stations de prélèvements.

• Discussion :

La figure (VI.12), montre que la courbe de variation des nitrates entre les cinq stations de prélèvements, présente deux pentes opposées :

- Une pente descendante, allant de P1 (Station Takeriezt) au point P4 (Après Abattoir), ces deux points sont respectivement caractérisés par : une charge maximale de 70,12 mg/l et minimale de 26,79 mg/l en nitrates,
- Une pente allure ascendante jusqu'à atteindre une valeur de 62,57 mg/l au niveau de P5 (Station de Rémila).

Les concentrations naturelles en nitrates ne dépassent pas les 3 mg/l, donc la nature des zones de drainage joue un rôle essentiel dans leur présence et l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates (**REJSEK, 2002**).

L'augmentation des teneurs en nitrate pourrait être alors expliqué par :

- ☞ Le volume important des eaux usées déversées : rejets domestique (eaux vannes).
- ☞ Par une origine agricole ; dans la plupart des cas une concentration galopante en nitrates est un indice de pollution due à l'utilisation des engrais azotés qui sont entraînés par les eaux de ruissellement. Outre, par les rejets des effluents d'élevage de volailles et de bétails, (cas de P1 à Takeriezt) ; cette pollution est tout de même difficile à juguler.

Chapitre VI Résultats et discussions

Selon **TARDAT HENRY**, l'augmentation des teneurs en nitrates est le produit de l'oxydation rapide de l'azote ammoniacal sous l'action des bactéries Nitrobacter.

VI.1.2.6. Les Nitrites $N-NO_2^-$

Les analyses physico-chimiques effectuées sur les échantillons prélevés sur les cinq stations, ont révélées la présence des nitrites. Les concentrations obtenues pour chaque point de prélèvement, sont données dans le tableau suivant. La figure **IV.13** illustre la variation spatiale de ce paramètre entre les stations d'étude.

Tableau 20 : Valeurs des nitrites

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
$N-NO_2^-$ (mg/L)	0.74	0.55	0.36	0.27	0.66

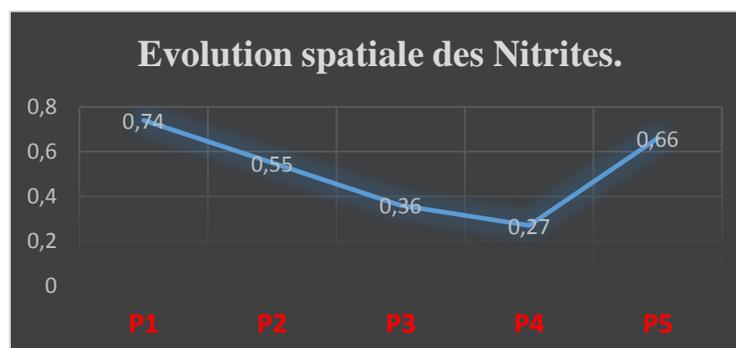


Figure (VI, 13) : variation de la teneur en nitrites entre les cinq stations de prélèvements.

- **Discussion :**

La figure VI.13, montre que la courbe de variation de la teneur en nitrites entre les cinq stations de prélèvement, suit la même allure que celle de la variation de la teneur en nitrates. La valeur maximale 0.74 mg/l est observée au niveau de P1 (Prélèvement Takeriezt), puis une diminution significative des teneurs en nitrate pour atteindre une valeur minimale de 0.27 mg/l au niveau de P4 (Prélèvement Après Abattoir), ensuite on

Chapitre VI Résultats et discussions

remarque une augmentation de la concentration au niveau du dernier point avec une valeur de 0.66 mg/l.

Les nitrites $N-NO_2^-$ constitue la forme intermédiaire de l'azote, donc sa présence dans nos échantillons pourrait être expliquée par :

- L'oxydation partielle de l'azote ammoniacal $N-NH_4^+$ sous l'action des bactéries nitreuses.
- Soit par la réduction des nitrates par les bactéries dénitrifiantes dans un milieu dépourvu d'oxygène dissous.

VI.1.2.7. Les Matières En Suspension

La charge en matières en suspension a été vérifiée au niveau des cinq stations d'étude. Les analyses ont révélé des concentrations variables en matières en suspensions. Ces dernières sont présentées dans le tableau 21, et la figure IV.14 en illustre la variation e ce paramètre tout au long de la zone d'étude.

Tableau 21 : Valeurs des MES.

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
MES (mg/L)	98.33	35	70	25	83.33

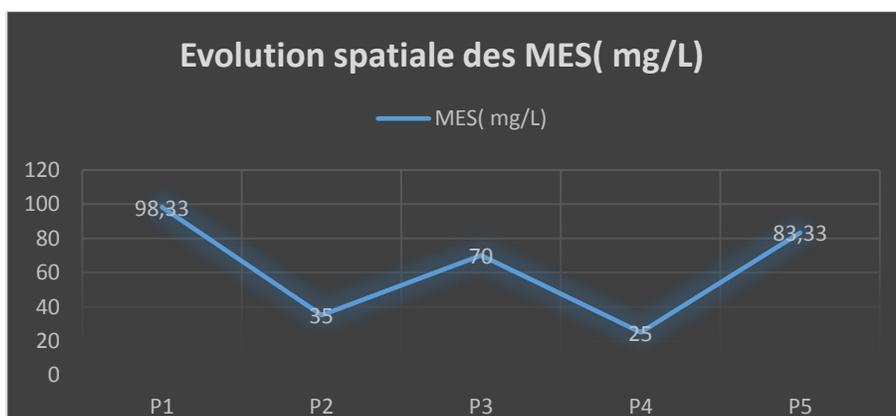


Figure (VI.14) : Variation spatiale de la charge en matières en suspensions entre les cinq points de prélèvements.

Chapitre VI Résultats et discussions

- **Discussion :**

Après observation et analyse des résultats des 05 prélèvements, on remarque l'enregistrement d'une valeur importante de 98.33 mg/l au niveau du P1 (Prélèvement Takeriezt) , cela est imputé à la sablière présente à l'amont du point de prélèvement, par conséquence elle provoque la déformation du lit de l'oued par l'extraction des quantités importantes du sable provoquant ainsi une augmentation de la pente du lit qui induit des vitesses importantes de l'eau , ce qui provoque l'érosion du lit, de plus les valeurs de la DBO₅ enregistrée à cet endroit qui est dû aux volumes élevés des rejets domestiques et industriels a l'amont .

Au niveau du P3 (Prélèvement Avant Abattoir), on a visualisé une diminution significative des MES avec une valeur 25 mg/l, probablement expliqué par les vitesses faibles de l'eau causées par la morphologie du cours d'eau, provoquant ainsi le phénomène de décantation.

VI.1.2.8. Les Phosphore total

Les teneurs en Phosphore total enregistrées dans les cinq stations de prélèvements sont présentées sur le tableau suivant, et la figure IV.16 illustre la variation spatiale de ce paramètre entre ces points de prélèvements.

Tableau 22 : Valeurs du Phosphore total.

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
PT (mg/L)	0.6	0.75	0.68	0.55	0.65

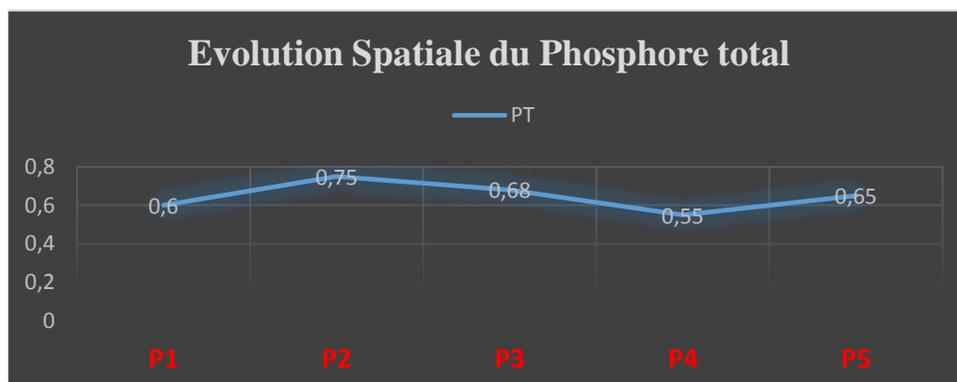


Figure (VI.15) : Variation spatiale de la charge en Phosphore total tout au long de la zone d'étude.

- **Discussion :**

L'analyse effectuée a montré des valeurs élevées du phosphore total sur les cinq (05) points de prélèvements. Cela peut être justifié par l'importance des rejets domestiques, industriels et agricoles de la région vu sa densité démographique, la présence d'unités industrielles et l'activité agricole. **(Journée internationales d'étude du CEBEDEAU, Liège, palais des congrès 22-23 mai 1997)**

Notamment la quantité du Phosphore total émit serait de l'ordre de 3 à 10 mg/habitant/ jour selon les activités, dont une bonne partie sous forme de PO_4^{3-} . Cette concentration tend à augmenter avec l'utilisation des détergents. **(VILAGINES, 2000)**.

Par ailleurs le phosphore peut se trouver sous forme organique et inorganique (orthophosphates, poly- phosphates, pyrophosphates). Dans les bassins biologiques, le phosphore organique et les poly- phosphates sont transformés par les micro- organismes en orthophosphates. **(M. OURIDA, 2005)**.

VI.1.2.9. Les orthophosphates PO_4^{3-}

La présence des Orthophosphate, a été contrôlée au niveau des cinq stations de prélèvements. Les charges enregistrées sont données dans le tableau suivant, et la figure **IV.16**, résume la variation de ce paramètre entre ces cinq stations.

Chapitre VI Résultats et discussions

Tableau 23 : Valeurs des Orthophosphates.

Prélèvement	P1	P2	P3	P4	P5
PO_4^{3-} (mg/L)	0.26524	0.357696	0.32452	0.244648	0.313392

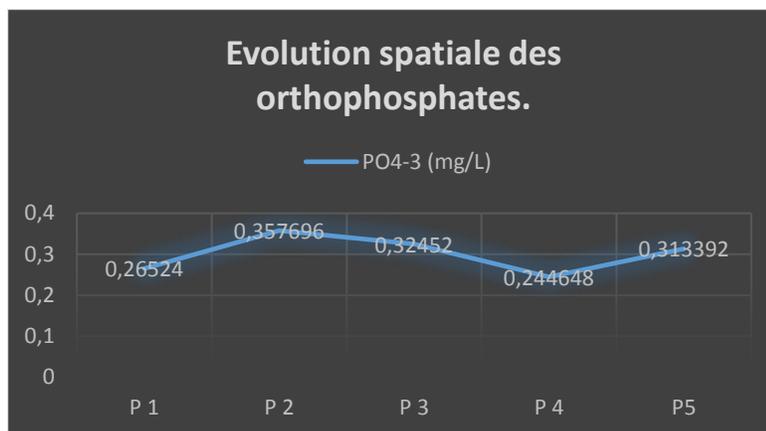


Figure (VI.16) : Variation de la charge en Orthophosphates entre les cinq stations de prélèvements.

- **Discussion :**

Les ortho phosphates sont une forme de phosphore, ces deux composés sont de même origine citée ci-dessus (rejets domestique...etc.). De ce fait, la courbe de variation de la charge en Orthophosphates (figure **IV.16**), suit la même allure que celle illustrant la variation spatiale de la teneur en Phosphore total (figure **IV.15**). Les concentrations en orthophosphates sont plus au moins importantes et varient très légèrement d'une station à une autre, selon le type de rejet déversé et la localisation des stations lavage-graissage (forte utilisation de détergents).

VI.2. Analyse Bactériologique

Tableau 24 : Résultats de l'analyse bactériologique de nos échantillons.

	Dilutions Effectuées	Coliformes Totaux	Coliformes Fécaux		Streptocoque	Salmonelle	Vibrion Cholérique
1^{ER} Echantillon (P1)	10 ml	+2 } >	+2 } >	+2	+2 } >	Absence	Absence
	1 ml	+2 } 11.10²	-2 } 50	+2	+2 } 11.10²		
	0.1 ml	+2 } UFT	+2 } UFT	+2	+2 } UFT		
2^{eme} Echantillon (P2)	10 ml	+2 } >	+1 } >	+2	+2 } >	Absence	Absence
	1 ml	+2 } 11.10²	+2 } 30	+2	+2 } 11.10²		
	0.1 ml	+2 } UFT	+2 } UFT	+2	+2 } UFT		
3^{eme} Echantillon (P3)	10 ml	+2 } >	+2 } >	+2	+2 } >	Absence	Absence
	1 ml	+2 } 11.10²	+2 } 11.10²	+2	+2 } 11.10²		
	0.1 ml	+2 } UFT	+2 } UFT	+2	+2 } UFT		
4^{eme} Echantillon (P4)	10 ml	+2 } >	+2 } >	+2	+2 } >	Absence	Absence
	1 ml	+2 } 11.10²	+2 } 11.10²	+2	+2 } 11.10²		
	0.1 ml	+2 } UFT	+2 } UFT	+2	+2 } UFT		
5^{eme} Echantillon (P5)	10 ml	+2 } >	+2 } >	+2	+2 } >	Absence	Absence
	1 ml	+2 } 11.10²	+2 } 11.10²	+2	+2 } 11.10²		
	0.1 ml	+2 } UFT	+2 } UFT	+2	+2 } UFT		

Chapitre VI Résultats et discussions

Les analyses effectuées au niveau de la DSP de Béjaia, montrent la présence de coliformes totaux et fécaux ainsi que des streptocoques. Cela pourrait être expliqué par l'apport intense des eaux usées dans l'oued de Soummam ; des eaux contenant des déjections humaines et animales (flore intestinale). On a noté aussi l'absence de Salmonelles et de Vibrio cholériques.

VI.3. Approche méthodologique à la valorisation des eaux usées de notre cas d'étude (la localité de Sidi Aich)

Après une étape d'analyse faite sur les eaux d'oued Soummam (tronçon de Sidi Aich) afin d'en tirer une approximation sur les eaux usées de cette localité (déversement total des ERU sans traitement préalable), nous avons traité théoriquement d'une manière plus ou moins profonde les procédés de traitement et d'épuration ainsi les modes de réutilisation des eaux usées traités selon les besoins.

Dans cette section, nous allons proposer une chaîne de traitement pour notre cas d'étude suivant la composition de nos eaux analysées préalablement et les besoins ciblés par la réutilisation.

En ce qui concerne les analyses, nous allons tenir compte du dernier point de prélèvement P5 situé dans la localité de Rémila, du fait qu'on remarque des augmentations significatives dans l'ensemble des paramètres mesurés par rapport à P4 (prélèvement Après Abattoir), ainsi, les terres agricoles supposées être irriguées par notre eau usée réutilisée se trouvent à l'aval de ce point. Le récapitulatif des caractéristiques du point P5 sont regroupées ci-après :

Tableau 25 : Caractéristiques du point de prélèvement 5 (P5 Rémila).

Paramètre	PH	T°(C)	TDS (g/l)	Conductivité (ms/cm)	Salinité (Ppm)	Turbidité (NTU)	Oxygène dissous (mg/l)
Valeur	7.8	20.2	4.3	6.83	4.2	9.8	1.3
Paramètre	DBO ₅ (mg. O ₂ /L)	DCO (mg. O ₂ /L)	COT (mg/L)	N-NH ₄ ⁺ (mg/l)	N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	N-NO ₂ ⁻ (mg/l)	MES (mg/l)
Valeur	40	191.62	33.55	1.86	62.57	0.66	83.33

Chapitre VI Résultats et discussions

Paramètre	P. Total (mg/l)	PO ₃ ⁻⁴ (mg/l)	Coliformes Totaux (UFC/100ml)	Coliformes Fécaux (UFC/100ml)	Streptocoques (UFC/100ml)	Salmonelles	Vibrio Cholérique
Valeur	0.65	0.31	> 11.10 ²	> 11.10 ²	> 11.10 ²	Absence	Absence

VI.3.1. Les besoins ciblés par le projet de réutilisation

Comme expliqué auparavant dans les chapitres précédents, la réutilisation possède plusieurs débouchés, soit une réutilisation agricole, industrielle ou une valorisation à long terme (recharge artificielle des nappes) ; c'est à base de ces besoins qu'on élabore la chaîne de traitement adéquate.

La ville de Sidi Aich est une localité qui ne présente pas un tissu industriel dense par rapport à la ville d'Akbou (zone industrielle Taharachth) ou la ville d'El Kseur (Plusieurs groupes industriels de différents secteurs d'activité) et le manque de données par rapport à la structure hydrogéologique et la complexité de cette étude (localisation des nappes de Sidi Aich et étude du système de recharge) ; nous a orienté à proposer une chaîne de traitement pour but de réutilisation agricole.

VI.3.2. Proposition d'une chaîne de traitement

Les procédés de traitement choisis pour notre cas d'étude sont les suivants (le schéma général est représenté dans la figure) :

➤ **Le prétraitement :**

• **Le dégrillage :**

Nous avons choisi un dégrilleur mécanique (automatique) munis d'une grille droite à nettoyage par l'amont. Sa fonction principale est de retenir les déchets grossiers (branche, plastique) dont la grille est comprise entre 30 et 100 mm.

• **Le dessableur-dégraisseur rectangulaire :**

Nous préconisons ce type d'ouvrage pour sa grande capacité de recueillir de grands débits et le fait de combiner entre de fonctionnalités à savoir dessablage et dégraissage, pour optimiser l'occupation spatiale ainsi la réduction d'une fraction de la DCO.

Chapitre VI Résultats et discussions

- **Déshuileur de finition (Type flotateur) :**

Nous recommandons ce type de déshuileur pour son efficacité d'élimination des hydrocarbures (Matière organique non biodégradable) par un système à microbulles injectés.

- **Le Traitement primaire :**

Pour notre chaîne de traitement, nous avons opté pour un **décanteur lamellaire avec floculation précédé par un tamisage**, cela pour son rendement excellent dans l'élimination de MES et une partie de la DCO, sa réduction du temps de passage des eaux de 6 à 20 fois qu'un décanteur classique, aussi il permet de résoudre le problème d'occupation d'espace en empilant un décanteur élémentaire dans sa structure.

- **Le Traitement secondaire :**

Notre choix s'est porté sur une nouvelle technologie à savoir un BRM (bioréacteur à membrane), du fait que ce dernier, rassemble deux procédés de traitements :

- ☞ Un traitement biologique pour la dégradation de la matière organique (Réduction de la DBO), doté d'un système d'aération (oxygène dissous minime pour une dégradation complète avec des bactéries aérobies) ;
- ☞ Un traitement tertiaire avec membrane d'ultrafiltration (0.01µm), dont le rôle est de retenir plusieurs éléments et substances à éliminer pour une finalité de réutilisation à savoir la DCO dur, les éléments traces comme les métaux lourds et les micropolluants comme les pesticides et produits pharmaceutiques (rejets hospitaliers et médicaments rejetés par les excréctions humaines).

- **Le traitement tertiaire complémentaire :**

Pour notre système de désinfection, nous recommandons l'usage des ultraviolets pour sa capacité assez grande (10 fois plus que le chlore) à éliminer les éléments pathogènes (attaque de système d'ADN de la bactérie, virus...etc. en inhibant leur réactivation) et sa non génération de sous-produits par rapport à la chloration (cholramines et THM produits pathogène et cancérigènes). Aussi pour son coût raisonnable par rapport à l'ozone O₃, rappelant que l'UV peut fonctionner sous énergie photovoltaïque (autonomie énergétique).

Chapitre VI Résultats et discussions

➤ **Traitement des boues**

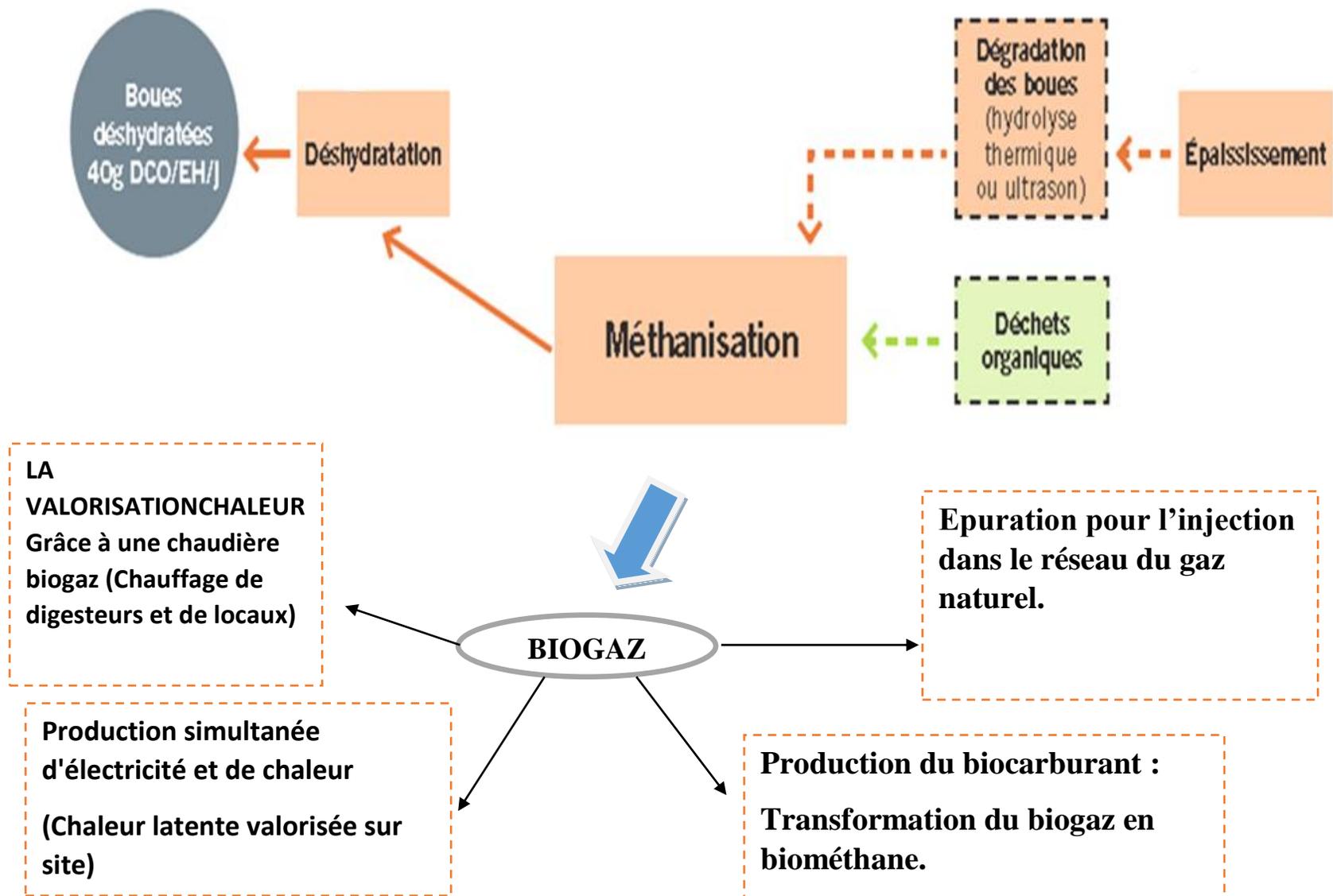
La destination finale des boues détermine le type de traitement qu'elle devra subir :

- ❖ □ Soit les boues seront évacuées sous forme liquide en vue d'épandage sur terres agricoles. Un épaissement des boues pourra être suffisant.
- ❖ Soit leur utilisation sous forme pâteuse ou solide imposera un épaissement et une déshydratation préalables.

La destination des boues est déterminée après une étude spécifique concernant notamment la valorisation agricole des boues.

Pour notre cas, d'étude nous proposerons un traitement des boues à but de production de biogaz (la méthanisation des boues). (Explication dans l'organigramme suivant).

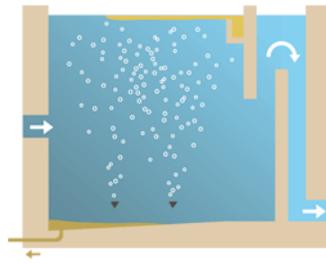
Le récapitulatif de notre chaîne de traitement proposé est représenté dans les schémas ci-dessous.



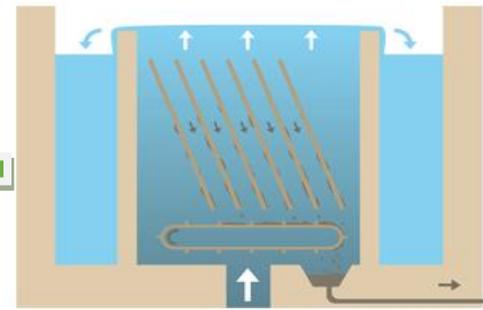
Chapitre VI Résultats et discussions



Dégrilleur



Dessableur-Déshuileur



Décanteur lamellaire



Bioréacteur à membrane





Centrale à Ultraviolets



Vers traitement des boues



Les Annexes

Annexe(01) : Mode opératoire pour le dosage de l'azote ammoniacal.

Echantillonnage	<ul style="list-style-type: none">- Les échantillonnages destinés au laboratoire doivent être aussitôt refroidis à une température de 5 °C et l'analyse effectuée le plus rapidement possible. Réservation d'une verrerie pour le dosage.																		
Prise d'essai	Prélever 50 ml d'échantillon si sa teneur en NH_4^+ est inférieure à 5 mg/l. Si la concentration est supérieure, prélever un volume plus petit et ajuster à 50 ml, avec de l'eau.																		
Gamme d'étalonnage	<ul style="list-style-type: none">- Dans une série de fioles jaugées de 50 ml, introduire de la solution étalon 100 mg de NH_4^+/L, préalablement diluée au dixième, selon le tableau suivant : <table border="1"><tr><td>Volume de solution étalon en ml</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>5</td><td>10</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td></tr><tr><td>Concentration en NH_4^+ en mg/l</td><td>0</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>1.0</td><td>2</td><td>3.0</td><td>4.0</td><td>5.0</td></tr></table> <ul style="list-style-type: none">- Compléter à 50 ml avec de l'eau distillée et ajouter 2 ml de la solution de tartrate double de sodium et de potassium. Mélanger.- Ajouter 2 ml de réactif de Nessler et mélanger à nouveau.- Attendre 10 minutes et effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 420 nm après avoir réglé l'appareil au zéro d'absorbance par rapport à l'eau.	Volume de solution étalon en ml	0	1	2	5	10	15	20	25	Concentration en NH_4^+ en mg/l	0	0.2	0.4	1.0	2	3.0	4.0	5.0
Volume de solution étalon en ml	0	1	2	5	10	15	20	25											
Concentration en NH_4^+ en mg/l	0	0.2	0.4	1.0	2	3.0	4.0	5.0											

Annexe(02) : Mode opératoire pour le dosage des orthophosphates.

Echantillonnage	<ul style="list-style-type: none">- Prélever les échantillons dans des bouteilles en polyéthylène ou, de préférence, verre.- Filtrer l'échantillon pour l'analyse dans les 4 heures qui suivent l'échantillonnage avec une membrane filtrante de porosité 0.45 μm. Cette filtration permet d'éliminer les formes du phosphore en suspension.
Prise d'essai	<ul style="list-style-type: none">- Elle ne doit pas excéder 40 ml. Ce volume convient pour des concentrations d'orthophosphates allant jusqu'à 0.8 mg/L en utilisant une cuve optique de 10 mm d'épaisseur.- Le dosage de concentration plus élevées ou plus faible peut être réalisé en modifiant la prise d'essai ou la cuve optique.

Gamme d'étalonnage

- Dans des fioles jaugées de 50 ml, réaliser la gamme d'étalonnage à partir de la solution étalon d'orthophosphate à 2 mg de P/L en suivant le tableau suivant :

Fiole	1	2	3	4	5	6
Solution étalon en ml	1	2	4	6	8	10
Eau distillé	40	40	40	40	40	40
Acide ascorbique en ml	1	1	1	1	1	1
Solution II de molybdate acide en ml	2	2	2	2	2	2

Dosage de l'échantillon

- Compléter à 50 ml avec de l'eau distillée et bien mélanger après avoir bouché hermétiquement chaque fiole.
- Mesurer l'absorbance de chaque solution entre 10 et 30 minutes à 880 nm.
- Tracer la droite d'étalonnage.
- Introduire à l'aide d'une pipette, le volume de prise d'essai choisi dans une fiole jaugée de 50 ml et diluer à environ 40 ml avec de l'eau distillée.
- Procéder ensuite comme pour la gamme d'étalonnage.
- Mesurer l'absorbance de l'échantillon A_{ech} .
- Si l'échantillon est trouble, il convient d'ajouter 3 ml du réactif de compensation de la turbidité et de la coloration.
- Effectuer, parallèlement au dosage de l'échantillon, un essai à blanc, en suivant le mode opératoire, mais en employant le même volume d'eau à la place de la prise d'essai.
- Mesurer l'absorbance de l'essai à blanc A_{blanc} .

Essai à blanc.

Annexe(03) : Mode opératoire pour le dosage du phosphore total.

• Pour l'oxydation au peroxodisulfate

- La préparation de l'échantillonnage s'élabore par ajout de 1 ml d' H_2SO_4 à 4.5 mol/L par 100 ml d'échantillon non filtré de manière à ce que le PH soit de 1. Conserver au froid et à l'obscurité jusqu'à l'analyse.

Minéralisation

- Introduire à l'aide d'une pipette, jusqu'à 40 ml de l'échantillon dans un flacon en polypropylène fermant à

Gamme d'étalonnage

Dosage de l'échantillon Essai à blanc

- Pour l'oxydation à l'acide sulfurique-acide nitrique.

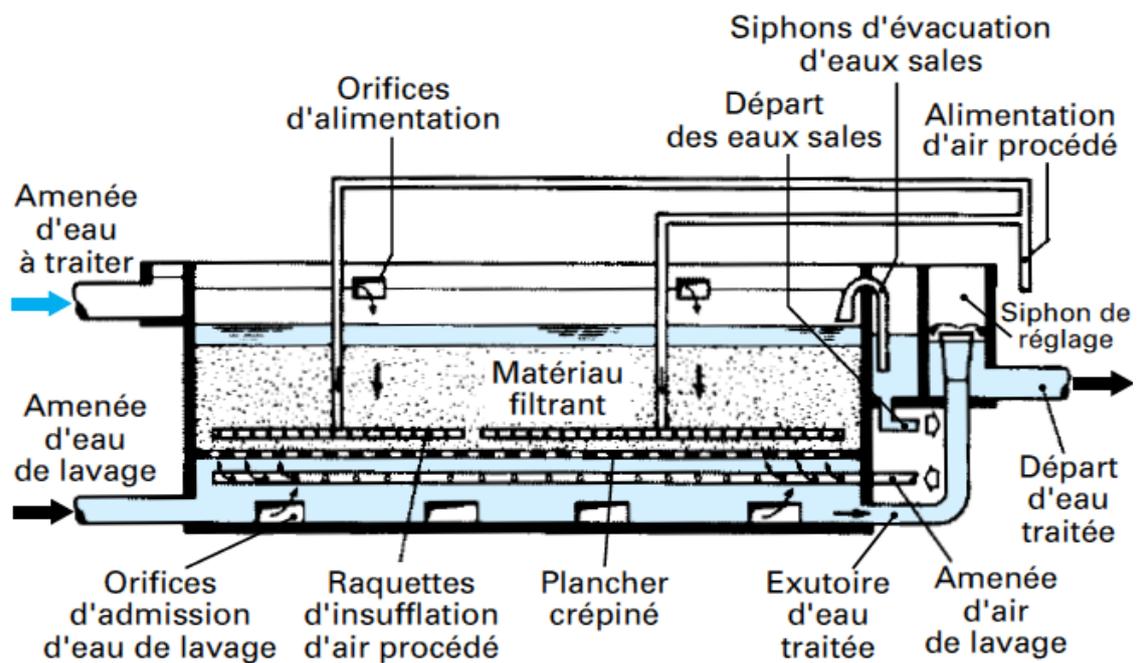
Digestion

- vis de 100 ml.
- Ajouter 4 ml de la solution de peroxydisulfate de potassium et faire bouillir doucement pendant 30 minutes environ, en ajoutant périodiquement de l'eau afin de maintenir le volume entre 25 et 35 ml.
 - Refroidir, ajuster le PH entre 3 et 10 avec une solution de NaOH à 2 mol/L et transférer dans une fiole jaugée de 50 ml, en diluant à 40 ml avec de l'eau.
 - Utiliser les mêmes volumes que pour la gamme d'étalonnage des orthophosphates, faire subir à chaque solution l'étape de minéralisation décrite précédemment.
 - Après cette étape, ajouter 1 ml d'acide ascorbique, puis 2 ml de solution II de molybdate acide et compléter à 50 ml avec de l'eau distillée.
 - Mesurer l'absorbance de chaque solution entre 10 à 30 minutes à 880 nm. Utiliser de l'eau dans la cuve du blanc.
 - Tracer la droite d'étalonnage.
 - Après la minéralisation, procéder comme précédemment pour la gamme d'étalonnage.
 - Effectuer, parallèlement au dosage de l'échantillon, un essai à blanc, en suivant le même mode opératoire, mais en employant le même volume d'eau à la place de la prise d'eau.
 - Mesurer l'absorbance de l'essai à blanc A_{blanc} .
 - Ajouter 1 ml d' H_2SO_4 à 4.5 mol/L par 100 ml d'échantillon non filtré de manière à ce que le PH soit de 1 ; conserver au froid et à l'obscurité jusqu'à l'analyse.
 - Transférer, à l'aide d'une pipette, un volume d'échantillon suivant le raisonnement des orthophosphates dans un ballon de Kjeldahl
 - Ajouter avec précaution, 2 ml d' H_2SO_4 concentré et agiter pour mélanger.
 - Chauffer doucement jusqu'à l'apparition de fumées blanches.
 - Laisser refroidir, puis ajouter goutte à goutte, avec précaution 0.5 ml d' HNO_3 concentré, tout en agitant.
 - Chauffer jusqu'à la disparition des fumées rousses.
 - Laisser refroidir et continuer à traiter, si nécessaire, avec HNO_3 versé goutte à goutte, tout en agitant jusqu'à l'obtention d'une solution limpide et incolore.
 - Refroidir et ajouter, avec précaution, 10 ml d'eau, tout en agitant de façon continue, chauffer jusqu'à l'apparition de fumées blanches.
 - Ajouter ensuite avec précaution, une solution de NaOH à 8 mol /L, afin d'ajuster le PH entre 3 et 10.

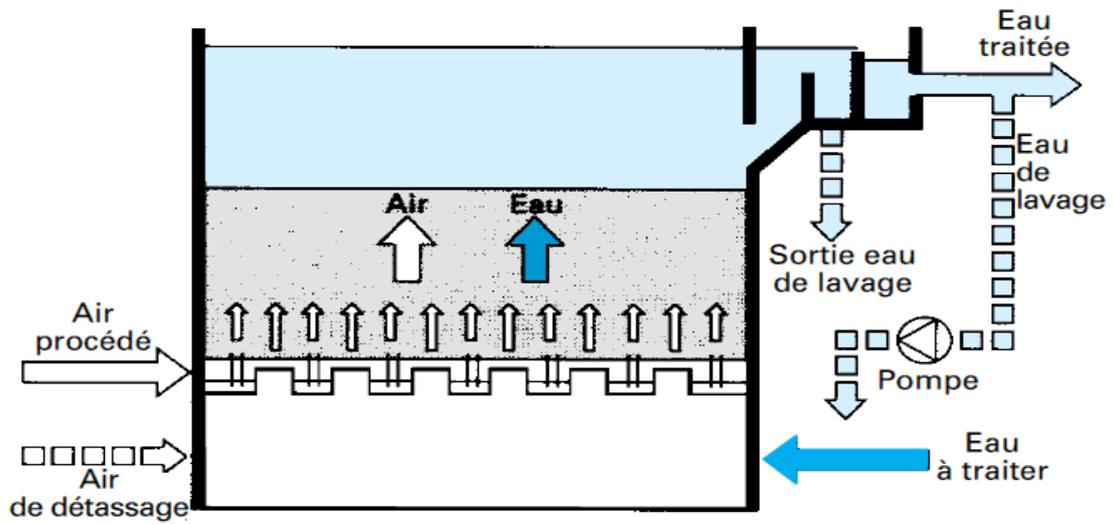
Dosage du Phosphore total

- Après refroidissement transférer le contenu du ballon dans une fiole jaugée de 50 ml en récupérant les eaux de lavage.
- Traiter la gamme d'étalonnage et l'essai à blanc de la même manière que l'échantillon. Le développement de la coloration est obtenu en ajoutant à chaque fiole de 50 ml, tout en agitant, 1 ml d'acide ascorbique puis, après 30 seconde, 2 ml de solution de I molybdate.
- Mesurer l'absorbance de chaque solution après un délai compris entre 10 et 30 minutes à 880 nm. Utiliser de l'eau dans la cuve du blanc.
- Tracer la droite d'étalonnage.

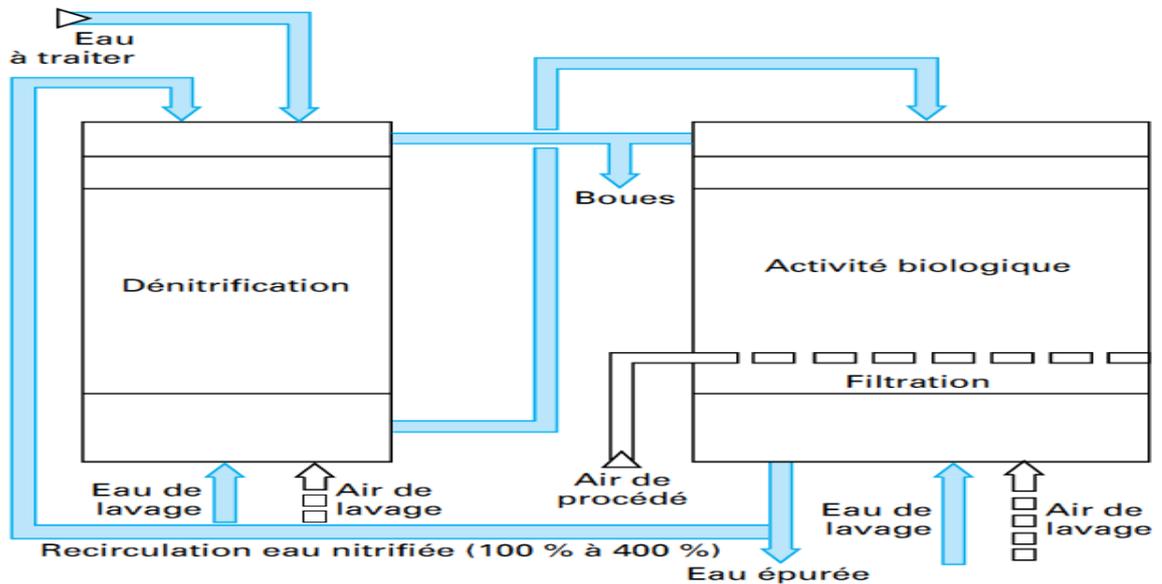
Annexe (04) : Biofiltre à flux descendant Biocarbone



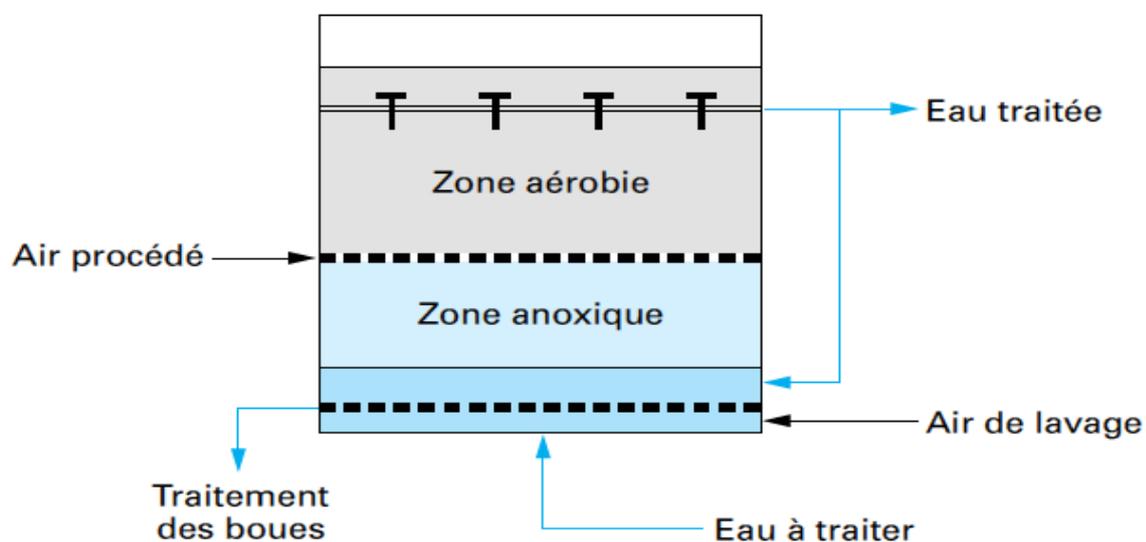
Annexe (05) : Biofiltre à flux ascendant Biofor.



Annexe (06): Procédé Biocarbonate pour réaliser la nitrification-dénitrification.



Annexe (07) : Procédé Biostyr en nitrification-dénitrification



Annexe (08) : tableau représentatif des valeurs limites de qualité sanitaire des eaux usées réutilisée dans l'irrigation.

Niveau de qualité	A	B	C	D
Paramètre				
MES mg/l	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35
DCO mg/l	≤ 125	≤ 125	≤ 125	≤ 125
E.coli / Litre	≤ 10 000	≤ 10 000	≤ 100 000	-
Salmonelle / Litre	Absence	-	-	-
Œufs de ténia / Litre	Absence	-	-	-

Annexe (09) : contraintes d'usagers.

Usage et/ ou type d'activité	Niveau de qualité requis	Restrictions ou modalités d'intervention
<ul style="list-style-type: none"> • Cultures maraichères • Légumières et fruitières, hors arboriculture ; non transformées, par cuisson, pasteurisation ou irradiation. • Arboriculture fruitière <ul style="list-style-type: none"> • Pâturage • Espaces verts ouverts au public (golfs, terrains de sport....) 	A	(1)- avec aspersion. (2)- aspersion en dehors des heures d'ouverture au public
<ul style="list-style-type: none"> • Cultures maraichères • Légumières et fruitières, hors arboriculture ; transformées, par cuisson, pasteurisation ou irradiation. • Cultures florales, pépinières et arbustes • Cultures céréalières et fourragères 	B	Avec aspersion
<ul style="list-style-type: none"> • Cultures florales, pépinières et arbustes • Arboriculture fruitière • Cultures céréalières et fourragères • 	C	Aspersion interdite Sous frondaison et hors aspersion
<ul style="list-style-type: none"> • Foret d'exploitation avec accès contrôle du public 	D	Aspersion interdite

Annexe (10) : concentration maximales en éléments traces recommandés pour les eaux d'irrigation.

Élément (symbole)	Eaux utilisées en permanence tous types de sols	Utilisation allant jusqu'à 20 ans sur des sols à texture fine ayant un PH de 6 à 8.5 mg/l
Aluminium (Al)	5.0	20.0
Arsenic (As)	0.1	2.0
Béryllium(Be)	0.1	0.5
Bore(B)	1	2.0
Cadmium (cd)	0.01	0.05
Chrome (Cr)	0.1	1.0
Cobalt (Co)	0.05	5.0
Cuivre(Cu)	0.2	5.0
Fluorure (F)	1.0	15.0
Fer(Fe)	5.0	20.0
Plomb(Pb)	5.0	10.0
Lithium (Li)	2.5	2.5
Manganèse (Mn)	0.2	10.0
Molybdène (Mo)	0.01	0.05
Nickel (Ni)	0.2	2.0
Sélénium (Se)	0.02	0.02
Vanadium (V)	0.2	1
Zinc (Zn)	2.0	10

Annexe (11) : classe de la qualité de salure de l'eau d'irrigation

Qualité de l'eau	Conductivité de l'eau (mmhos/cm)	Sel solubles correspondants estimés en Na Cl (mg/l)
Excellente	< 0.25	< 160
Faibles salinité	0.25-0.75	160-500
Forte salinité	0.75-2.25	500-1 500
Très forte salinité	2.25-5	1 500-3 600

Annexe (12) : rendement de quelque culture en fonction de la salinité (dS/m).

Rendement					
Culture	100%	90%	75%	50%	0%
Orange	5.3	6.7	8.7	12	19
Blé	4.0	4.9	6.3	8.7	13
Maïs	1.1	1.7	2.5	3.9	6.7
Sorgho	4.5	5.0	5.6	6.7	8.7
Betterave sucrière	4.7	5.8	7.5	10	16
Tomate	1.7	2.3	3.4	5.0	8.4
Concombre	1.7	2.2	2.9	4.2	6.8
Choux	1.2	1.9	2.9	4.6	8.1
Pomme de terre	1.1	1.7	2.5	3.9	6.7
Oignon	0.8	1.2	1.8	2.9	5.0
Luzerne	1.3	2.2	3.6	5.9	10
Féтуque	2.6	3.6	5.2	7.8	13

Annexe (13) : contraintes de distances

Nature des activités à protéger	Niveau de qualité		
	A	B Avec aspersion maîtrisant les aérosols	C et D
Habitations	50 m si aspersion	100 m	-
Voies de circulation	50 m si aspersion	50 m	-
Milieu hydraulique superficiel	20 m	50 m	100 m
Conchyliculture et aquaculture	50 m	200 m	300 m
Baignades	50 m	100 m	200 m
Périmètres de protection des points d'eau AEP	Prévoir interdiction dans le périmètre de protection rapprochée	Prévoir interdiction dans le périmètre de protection rapprochée	Prévoir interdiction dans le périmètre de protection rapprochée

Annexe (14) : normes à suivre concernant l'eau à réutiliser dans le domaine industriel (selon le ministre de l'environnement, des terres et des parcs de la Colombie- britannique, 1999)

Utilisations permises	Exigences relatives au traitement	Exigences relatives à la qualité de l'effluent
<ul style="list-style-type: none">• Utilisation à des fins de construction, Utilisation industriels	Secondaire avec désinfection	<ul style="list-style-type: none">• $DBO_5 \leq 45$ mg/L• Total des solides en suspensions ≤ 45 mg/L• Coliformes fécaux $< 200/100$ ml• PH=6 à 9

Annexe (15) : Paramètres mesurés in situ.

Station et paramètres	Température (°C)	PH	TDS (g/L)	Conductivité (µs/cm)	Salinité (ppm)	Turbidité (NTU)	Oxygène dissous (mg/l)	Observations (Climat Hydrologie, ...etc.)
Station 01 (12h09)	20.4	8.2	4.39	7.42	4.5	21.4	1.3	- Couleur verte. - Vitesse d'écoulement moyenne. - Odeur nauséabonde, temps nuageux.
Station 02 (12h53)	20.8	8.6	4.45	7.98	4.6	22.81	1.2	- couleur verte. - eau presque stagnante. - Odeur nauséabonde.
Station 03 (13h24)	21.4	9.1	4.42	7.60	4.6	15.54	1.2	- couleur visuellement clair. - Odeur du nauséabond et écoulement faible.
Station 04 (11h17)	19.7	8.2	4.53	7.63	4.7	22	1.5	- couleur verte. - Odeur nauséabonde. - Pas d'obstacle et à proximité d'une décharge et temps nuageux.
Station 05 (10h35)	20.2	7.8	4.03	6.83	4.2	9.80	1.3	- Temps nuageux. - Eau proche de la clarté. - Odeur nauséabonde.

CONCLUSION
GENERALE :

Conclusion générale :

Le choix de la zone d'étude s'est porté sur la ville de Sidi aich vu sa grande densité démographique et la multitude des origines de pollution .Etant donné sa grande demande en eau à des fins agricoles comparant aux autres demandes , ce qui nous a laissé à se focaliser sur les exigences d'une eau agricoles dans le choix de la chaine de traitement.

Le prélèvement des eaux usées à caractériser s'est effectué sur 05 stations suivant certains critères, dans l'optique d'une caractérisation des eaux .ces eaux présentaient des charges plus au moins importantes en polluants étudiés, avec des variations remarquables de ces derniers entre cinq stations étudiées .la caractérisation effectuée nous a permis de tracer la chaine de traitement adéquate pour des éventuelles réutilisations agricoles , ainsi que de choisir l'emplacement de cette chaine .

La station d'épuration est conçue selon les normes d'un complexe environnemental qui recyclera les eaux résiduaires pour l'irrigation, avec une autonomie énergétique en produisant de l'énergie électrique à base du méthane produit des boues.

La réutilisation des eaux usées est un enjeu politique et socio-économique, en contribuant à la résolution de la crise de l'eau et d'économiser les budgets inscrit dans se sens.

Bibliographie

Bibliographie

- ❖ **O.MAUCHE**, mémoire d'ingénieur, département hydraulique, Etude de la station d'épuration de la ville de Sidi-Aich (W.de.Béjaia) et valorisation des eaux épurées, Université A.Mira de Béjaia, 2005.
- ❖ **Qualité des eaux**, LE PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS EN RIVIÈRE, (Novembre 2006)
- ❖ **R.Bourrier, M.Satin, B.Selmi**, Guide technique de l'assainissement, Editions le Moniteur, 4emeEdition, 2010.
- ❖ **Degrémont**, mémento technique de l'eau, dixième édition, Tome 1, mai 2005.
- ❖ **F. MEKHALIF**, réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement, l'Université du 20 Août 1955 SKIKDA, Faculté des Sciences, Département des Sciences Fondamentales, 2009.
- ❖ **Document technique** FNDAE Hors –série N°11.
- ❖ **Nicholas.P, Chermisinoff**, Hand book of Water and Waste Water treatment Technologies,2002.
- ❖ **Nelson. L , Nemerow.J , Agardy , Patrick Suliveur and Joseph. A. Salvato**, Environment Engineering : Water , Waste Water, soiland ground Water treatment ,2009.
- ❖ **N D A E n° 22** , Decembre 2002.
- ❖ **Bouchard.C , Kouadio , P.Ellis, D.RAHNI,M.LEBRUN**, les procédés membranes et leur application en eau potable, vecteur environnemental.
- ❖ **FNDAE n°14** ,Decembre 2002.
- ❖ **Dossier de presse**, le traitement membranaire des eaux usées de grasse, France ,17 mais 2007.
- ❖ **Yohan Falcon** , les Ouvrages de Génie Civil des STEP des petites collectivités, conception et dimensionnement Rapide.
- ❖ **Fiche SYNTEAU n° 5**, 2016.
- ❖ **A.BABACHEIKH**, Réutilisation des eaux usées et des boues résiduaires traités par la station d'épuration de Marakech dans les terrains de golf et leur effet sur la nappe souterraine et le gazon,2012.
- ❖ **Les Micropolluants dans les eaux usées** ,pollutec Lyon 2/12/2016.
- ❖ **Reutilisation des eaux usées traités** :où en est ou ? ,Julie Lions ,BRGM, Guillaume de Larminat-Synteau,2016
- ❖ **M.Jacob**, Réutilisation des eaux usées épurées par association de procédés biologiques et membranaires, 2011
- ❖ **M.BENZARIA**, Approche méthodologique pour les projets de réutilisation des eaux usées en irrigation ,2008.
- ❖ **V.LAZAROVA**, intérêt, Bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France.
- ❖ **Les cahiers du Plan bleu n°11**, la réutilisation des eaux usées traitées en Méditerranée : retour d'expérience et aide à l'élaboration de Projet ,2012.

- ❖ **14^{eme} Séminaire Eau** : les traitements tertiaires ; pourquoi faire ?,Polytech Montpellier,2015.
- ❖ **A. Allouache**, Procédés courants de traitement des eaux et épuration des eaux usées , compilation de cours , Bejaia 2013.
- ❖ **J. Rodier**, l'analyse de l'eau , 9 Edition, DUNOD,2009.
- ❖ **R. Desjardins**, le traitement des eaux, 2^{eme} Edition, Editions de l'école polytechnique de Montréal ,1997.

CONTRIBUTION A LA CARACTERISATION ET A LA VALORISATION DES EAUX USEES DE LA LOCALITE DE SIDI AICH, WILAYA DE BEJAIA.

Résumé

Ce présent mémoire de fin d'étude , présente une approche et une contribution à la fois pour la caractérisation et la réutilisation des eaux usées de la localité de Sidi Aich .notre objectif principal est d'avoir une approximation sur la nature des eaux usées et de préconiser un traitement adéquat pour leurs valorisations dans le domaine agricole.les procédés de traitement utilisés dans le but de la réutilisation , sont choisis d'une manière optimale et délicate, surtout pour le cas des phases secondaires et tertiaires .Pour notre cas, nous recommandons l'utilisation d'une nouvelle technologie à savoir le bioréacteur à membrane (BRM) comme traitement secondaire auquel est associé un traitement tertiaire , outre les ultraviolets(UV) comme une modalité de désinfection.

Mots Clés : Eau usée, Sidi Aich, caractérisation , réutilisation ,BRM,UV.

abstract

This present thesis presents an approach and a contribution both to the characterization and reuse of the waste water of the locality of Sidi Aich. Our main objective is to have an approximation on the nature of the waste water and to recommend an adequate treatment for their valuations in the agricultural field. The treatment processes used for the purpose of reuse are chosen in an optimal and delicate manner, especially for the secondary and tertiary phases. recommend the use of a new technology, namely the membrane bioreactor (BRM) as a secondary treatment with which is combined tertiary treatment, in addition to ultraviolet (UV) as a disinfection modality.

Keywords: Wastewater, Sidi Aich, characterization, reuse, BRM, UV

ملخص

تقدم هذه الأطروحة الحالية نهجا ومساهمة في توصيف وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي في منطقة سيدي عايش. هدفنا الرئيسي هو توفير تقدير دقيق وموثوق به لتكلفة القطاع الزراعي. يتم اختيار عمليات المعالجة المستخدمة لأغراض إعادة الاستخدام بطريقة مثلى وحساسة، وخاصة للمرحلتين الثانوية والثالثية. (برم) كعلاج ثانوي الذي يقترن مع الأشعة فوق البنفسجية (أوف) كطريقة التطهير. كلمات البحث: مياه الصرف الصحي، سيدي عايش، توصيف، إعادة الاستخدام، برم، الأشعة فوق البنفسجية

Agzul :

Tazraut –a n tagara n tƳuri , tewwi-d Ƴef unekmar d tebzert i usebgen d u3awed usexdem n waman n temnadt n sidi Aich iswi-nneƳ agedam d s3aya n tmawazt Ƴef ssifa n waman –a yettusexdem-en n wannar –a n tezrawt- nneƳ d uqewwer n tididi iwulemen i uzzewzel deg taƳult n tfellaht , iswiren n tididi i nesseqdac deg taƳut n u3iwed usexdem ttwafernen s wakkay d lehder , ladƳa i usaka n umecwac wis ssin d wis krad .

I usaka-ya, ad nesmagel aseqdec n tetiknuhjtit tatrat i wumi qaren bioréacteurs à membrane

Tafirt tasarut : aman yettusexdemen , sidi aich , asebgen, a3iwed usexdem.