

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المعهد الوطني لعلوم البحر و تهيئة الساحل

Institut National des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de Fin d'Études

En vue de l'obtention du Diplôme d'Études Universitaires Appliquées
en Sciences de la Mer

Thème :

**DÉTERMINATION
DE LA POLLUTION RÉSIDUELLE
D'UNE STATION D'ÉPURATION
PAR LAGUNAGE NATUREL
"CAS DE LA LAGUNE DE BÉNI-MESSOUS"**

Réalisé par :

**M^r TARMOUL Fateh
M^{elle} SADI Meriem**

Encadré par :

M^r DRICHE M.

Juillet 2007

Sommaire

Introduction générale	01
-----------------------------	----

1^{ère} PARTIE : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : Généralités sur les eaux usées

Introduction	03
1.1. Définition	03
1.2. Origine et composition des eaux usées	03
1.2.1. les eaux usées domestiques	03
1.2.2. les eaux industrielles	03
1.2.3. les eaux agricoles	04
1.2.4. les eaux pluviales	04
1.3. Caractéristiques des eaux usées	04
1.3.1. Les paramètres physico-chimiques	04
1.3.1.1. La température	04
1.3.1.2. Le potentiel d'Hydrogène (pH)	05
1.3.1.3. La turbidité et les matières en suspension	05
1.3.1.4. La demande biologique en oxygène (DBO ₅)	06
1.3.1.5. La demande chimique en oxygène (DCO)	06
1.3.1.6. Les matières oxydables (MO)	06
1.3.1.7. Le carbone organique total (COT)	06
1.3.1.8. L'azote et le phosphore	07
1.3.1.8.1. L'azote	07
1.3.1.8.2. Le phosphore	08
1.3.1.9. Les oligoéléments et les toxiques minéraux	08

1.3.2. Les paramètres bactériologiques	08
1.3.2.1. Les coliformes totaux (CT)	08
1.3.2.2. Les coliformes fécaux (CF)	09
1.3.2.3. Les Streptocoques fécaux	09
1.3.2.4. Les Clostridium sulfito-réducteurs	09
1.4. L'équivalent habitant	10
1.5. Les normes algériennes de rejet d'effluents	10
Conclusion	10

Chapitre 2 : Traitement des eaux usées

Introduction	12
2.1. Les étapes et procédés de traitement des eaux usées	12
2.1.1. Les prétraitements	12
2.1.1.1. Dégrillage	12
2.1.1.2. Dessablage	13
2.1.1.3. Dégraissage – Déshuilage	13
2.1.2. Les traitements primaires	13
2.1.2.1. Coagulation – Flocculation	13
2.1.2.2. Décantation	13
2.1.2.3. Filtration	14
2.1.3. Les traitements secondaires (Biologiques)	14
2.1.3.1. Traitements anaérobies	14
2.1.3.2. Traitements aérobies	14
2.1.3.2.1. Les lits bactériens	15
2.1.3.2.2. Les boues activées	15
2.1.3.2.3. Le lagunage	15
2.1.4. Les traitements tertiaires	15
2.1.4.1. L'élimination de l'azote	16
2.1.4.2. L'élimination du phosphore	16
2.1.4.3. La désinfection	17
2.1.4.4. Le traitement des odeurs	17
2.2. Réutilisation des eaux usées	17

2.2.1. L'industrie	17
2.2.1.1. Lavage et transport industriel des matériaux	17
2.2.1.2. Refroidissement industriel	18
2.2.2. L'irrigation	18
2.2.3. Les usages municipaux	18
2.3. L'épuration des eaux usées en Algérie	18
2.3.1. Volumes des eaux usées en 2004	18
2.3.2. Programme des stations d'épuration pour le court terme (2006-2010)	19
Conclusion	21

Chapitre 3 : Le lagunage naturel

Introduction	23
3.1. Définition	23
3.2. Principe de fonctionnement	23
3.3. Les différents types de lagunage	24
3.3.1. Le lagunage naturel	24
3.3.1.1. Étangs anaérobies	25
3.3.1.2. Étangs aérobies	25
3.3.1.3. Étangs facultatifs	25
3.3.2. Le lagunage aéré	26
3.4. Influence des conditions climatiques sur les performances du lagunage	26
3.4.1. La durée du jour et l'intensité de l'ensoleillement	26
3.4.2. La température	26
3.4.3. Le régime et l'orientation des vents dominants dans la région	26
3.4.4. L'évaporation	27
3.4.5. La pluviométrie	27
3.5. Exploitation du lagunage	27
3.6. Contraintes d'exploitation	27
3.7. Avantages et inconvénients du lagunage	28
3.7.1. Avantages	28
3.7.2. Inconvénients	28
Conclusion	28

2^{ème} PARTIE : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Chapitre 4 : Description de la zone d'étude

Introduction	29
4.1. Étude du lagunage naturel de Béni-Messous	29
4.1.1. Localisation géographique	29
4.1.2. Dimensionnement et caractéristiques des lagunes	30
4.1.3. Caractéristiques des eaux usées	31
4.1.4. Temps de séjour dans les lagunes	31
4.2. Étude géologique de la région de Béni-Messous	32
4.3. Étude hydrologique de la région de Béni-Messous	32
4.4. Étude démographique de la population concernée	32
4.5. Description des conditions climatiques	33
4.5.1. Température	33
4.5.2. Ensoleillement	34
4.5.3. Vents	34
4.5.4. Pluviométrie	35
4.5.5. Évaporation	36
Conclusion	36

Chapitre 5 : Matériels et méthodes

Introduction	37
5.1. Prélèvement et échantillonnage	37
5.2. Conditionnement des échantillons	37
5.3. Conservation des échantillons	38
5.4. Application au lagunage naturel de Béni-Messous	38
5.5. Analyses et modes opératoires	39
5.5.1. Paramètres insitu	39
5.5.1.1. La température de l'eau	39
5.5.1.2. Le potentiel d'Hydrogène (pH)	39
5.5.2. Paramètres mesurés au laboratoire	40
5.5.2.1. Matières en suspension (MES)	40
5.5.2.2. Demande chimique en oxygène (DCO)	42

5.5.2.3. Demande biologique en oxygène en 5 jours (DBO ₅).....	43
5.6. Classes de qualité des eaux	44
Conclusion	45

Chapitre 6 : Résultats et interprétations

Introduction	46
6.1. La température	46
6.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)	47
6.3. Les matières en suspension (MES)	47
6.4. Détermination de la pollution résiduelle	49
6.4. La demande chimique en oxygène (DCO)	49
6.5. La demande biologique en oxygène (DBO ₅)	51
6.7. La qualité de l'eau rejetée par la lagune de Béni-Messous	52
Conclusion	52
 Conclusion générale	 53

Bibliographie

Annexes

Liste des tableaux et des figures

Tableau 1 : Les valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur.....	11
Tableau 2 : Volume des eaux usées par région hydrographique – 2004	19
Tableau 3 : Répartition spatiale des rejets des eaux usées (amont des barrages, rejets en mer, rejets en chott et sebkhas)	19
Tableau 4 : Nombre et état des STEP par type de procédé	21
Tableau 5 : Dimensions et caractéristiques des quatre bassins du lagunage naturel de Béni-Messous	31
Tableau 6 : Répartition annuelle des vents sur huit directions dans la région de Béni-Messous (ONM, 1960-2004)	35
Tableau 7 : Valeurs typiques de DCO	43
Tableau 8 : Valeurs typiques de DBO ₅	44
Tableau 9 : Classement des eaux de surfaces stagnantes et courantes d'après leur qualité	45
Tableau 10 : Températures, profondeurs et surface de contact air-eau des quatre bassins du lagunage de Béni-Messous	46
Figure 1 : Origines, traitements et devenir des eaux usées	22
Figure 2 : Cycles biologiques d'une lagune	24

Figure 3 : Schéma d'un lagunage à trois bassins	24
Figure 4 : Localisation géographique du lagunage naturel de Béni-Messous	29
Figure 5 : Photo satellite du lagunage naturel de Béni-Messous	30
Figure 6 : Schéma du lagunage naturel de Béni-Messous	30
Figure 7 : Profil de variation des températures moyennes de l'air	33
Figure 8 : Profil de l'ensoleillement mensuel moyen dans la région de Béni-Messous ..	34
Figure 9 : Profil de variation de l'ensoleillement	34
Figure 10 : Répartition annuelle des vents sur huit directions de la région de Béni-Messous (en %)	35
Figure 11 : Précipitations annuelles dans la région de Béni-Messous	35
Figure 12 : Profil évaporations-précipitations de la région de Béni-Messous	36
Figure 13 : Températures des bassins de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous	46
Figure 14 : Potentiel d'hydrogène (pH) des bassins de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous	47
Figure 15 : Teneur en matières en suspension (MES) dans les bassins de la station d'épuration du lagunage de Béni-Messous	48
Figure 16 : Rendements d'épuration en MES des quatre bassins de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous	48
Figure 17 : DCO des bassins de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous	50
Figure 18 : Rendement en DCO des bassins de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous	50
Figure 19 : DBO ₅ des bassins de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous	51
Figure 20 : Rendement en DBO ₅ des bassins de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous	51

Dédicaces

À mes très, très chers parents, source d'amour et d'affection ;
À mes très chers sœurs et frère, Nabila, Fatma, Namia, Amel, El Djouher
et Moussa qui comptent énormément pour moi ;

À Toufik et Hacène ;

Aux boutchoux, neveux, Hani et Amine Younes et nièce, Amira ;
À mes cousins, Sid Ahmed, Madina, Soraya, Nadia, notre Mohamed
et leur papa et maman ;

À ma deuxième Famille, Zahia, Nacer, Amina et Amir ;

À tous mes autres proches ;

À mes chers amis Said, Walid, Walido, Fethi, Fethi, Imed, Hamid, Khaled,
Youcef, Mohamed, Noufel, Sid Ali, Faysal, Ferhat, Mounir, Ibrahim, Sid Ali,
Rachid, Taha, Redouane, Kamel, Ramdan, Billel, Djamel, Hamza, Ibrahim,
Mohamed, Kamel, Hacène, Mourad, Mehdi, Hamza, Abd Essamed,
Redouane, Samir, Lotfi, Mohamed, Walid, Nabil, Lakhder, Amine, Abdou,
Oussama, Ali, Krime, Ibrahim, Lounes, Larbi, Lotfi, Bachir, Aboubeker
Karima, Faiza, Nawel, Amina 1, Amina 2, Amina 3, Nadjjet, Narimane,
Fayrouz, Meriem, ... mais surtout, surtout à Lamine, Mehdi et Imène
à qui je tient plus particulièrement ; j'espère que je n'ai oublié personne ;

À toutes les personnes qui m'ont soutenu et encouragé

tout au long de cette année ;

À vous tous qui m'aimez ;

Je dédie ce modeste travail.

Fateh

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

À mes très chers parents qui veillent à ma réussite et bonheur ;

À mon unique sœur, Yasmine

À mes deux frères adorés, Charif et Lokman ;

À tous mes autres proches ;

À mes chers amis, Meriem, Soumeya, Imène, Nadjat, Amina, Narimane, Adnane, Walid, Samir et Tarik ainsi qu'à tous ceux qui me connaissent à l'ISMAL et avec qui j'ai passé trois années inoubliables ;

À Fateh, mon binôme avec qui travail rime avec sérieux et bonne humeur ;

Tous simplement, à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Meriem

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah, Dieu le Miséricordieux, l'Unique, le Puissant, ... pour son guide et sa protection ;

Nous tenons à remercier vivement M^r Driche, pour la confiance qu'il nous a accordé en acceptant de nous encadrer ; pour sa disponibilité tout au long de l'élaboration de ce mémoire de fin d'études, pour son aide, ses critiques et ses suggestions, qui ont été pour nous d'un grand apport ;


Nous exprimons notre gratitude à l'ensemble de nos enseignants qui ont si soigneusement partagé leurs connaissances en sciences de la mer, passion qui nous a tous réunis à l'ISMAL ; Sans oublier tous les autres employés de l'institut, particulièrement ceux de la bibliothèque ;

Nos remerciements vont aussi, à M^r Mechti, M^r et M^{me} Belkacemi et M^r Makhzoumi du Ministère des Ressources en Eau ; à M^r Lazili et M^{me} Bouchefer de l'Office Nationale de l'Assainissement (ONA) ; qui nous ont tous si bien accueilli et aimablement aidé ;

Un grand merci, pour Mesdames, Djermene K., Himrane S. et Ouakli N. du laboratoire central de l'ONA qui n'ont ménagé aucun effort pour nous assister durant notre stage au sein de leur établissement, ainsi que pour leur hospitalité et leurs encouragements ;

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, puissent trouver ici, toute notre reconnaissance.

Fateh & Meriem



Parce qu'elle est source de vie, l'eau est fragile

Parce qu'elle est source de prospérité, l'eau est convoitée

Parce qu'elle semble inépuisable, l'eau est gaspillée

Parce qu'elle semble inaltérable, l'eau est polluée



Introduction Générale

Introduction Générale

L'Algérie est un pays riche en ressources naturelles telles que les ressources fossiles et les minerais de phosphates et de fer. Cependant, elle accuse un important déficit en ressources hydriques.

En effet, avec l'expansion des villes, l'industrialisation et l'évolution des modes de consommation, en sus, d'un climat de plus en plus aride que connaît le pays, les eaux potables s'épuisent plus rapidement, augmentant le volume des eaux usées collectées de plus de 35 Hm³ chaque année pour atteindre environ 689 Hm³ en 2010¹. Actuellement, les eaux usées ne sont épurées qu'à 40 %² et rejetées, le plus souvent, sans traitements et de façon directe en milieu naturel.

Face à la pénurie d'eau, due essentiellement à la baisse régulière du volume des précipitations depuis ces dernières décennies, et dans un souci de préservation des ressources d'eau encore saines et de protection de l'environnement et de la santé publique, l'Algérie adopte alors, un programme riche en matière d'épuration des eaux usées par la mise en service, à l'horizon 2010, de 194 stations d'épuration³.

Grâce à des procédés physico-chimiques ou biologiques, ces stations ont pour rôle de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous forme de résidus appelés boues, valorisable en agriculture et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises, qui trouve quant-à-elle, une réutilisation dans l'irrigation, l'industrie et les usages municipaux.

Les procédés d'épuration utilisés en Algérie, dont l'objectif principal est d'éliminer la pollution organique sont à⁴ :

- 54 % procédé à boues activées ;
- 36 % lagunage naturel ;
- 10 % lagunage aéré.

Parallèlement au procédé à boues activées et au lagunage aéré, qui sont de caractère intensif, le lagunage naturel présente par ses nombreux avantages, une alternative idéale pour notre pays, en réunissant toutes les conditions favorables à son bon fonctionnement.

C'est dans le but de l'étude de ce procédé biologique et peu onéreux, faisant intervenir les micro-algues et les bactéries dans l'épuration des eaux usées, que s'inscrit ce présent mémoire où nous essayons de détailler, un tant soit peu, le principe de fonctionnement d'une station par lagunage naturel avec l'évaluation de ses performances.

^{1 3} **Source** : Rapport : Étude de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national, Mission 1 : Reconnaissance et collecte des données de base / Établi par la Direction de l'Assainissement et de la Protection de l'Environnement (DAPE)/ Ministère des Ressources en Eau (MRE) : Juillet 2006.

^{2 4} **Source** : Idem, Mission 2 : Schéma directeur/ idem/ idem : Février 2007.

Le développement intense des micro-algues dans les différents bassins d'une station d'épuration par lagunage naturel génère une forte production de biomasse, communément, considérée avec la pollution. Il s'agit alors, dans ce document, d'évaluer la pollution résiduelle qui correspond à la part additionnelle de pollution.

Nous prenons, également, soin de décrire les principaux paramètres de pollution des eaux usées ainsi que leurs analyses.

Comme étude de cas, Nous avons choisi de travailler sur la lagune de Béni-Messous s'implantant en parallèle à l'Oued de Béni-Messous, à 5 km de son embouchure dans le littoral algérois (baie d'El Djamilia).

Notre travail se présente en deux volets :

- Une première partie bibliographique qui regroupe le nécessaire des connaissances théoriques en rapport avec notre thème et cela en trois chapitres :
 - Le premier chapitre est consacré, d'une part, à la connaissance de la constitution et l'origine des eaux usées, et d'autre part, à la description des paramètres de pollution qui les caractérisent et aux normes de rejets en vigueur en Algérie.
 - Le second expose les divers traitements que doivent subir les eaux usées avant d'être rejetées en milieu naturel, les différents usages possibles des eaux usées traitées et enfin l'état général de l'épuration en Algérie.
 - Le troisième chapitre présente le procédé du lagunage naturel à travers sa définition, son principe de fonctionnement, ses différents types, son exploitation et ses avantages et inconvénients.
- Une deuxième partie expérimentale qui s'intéresse à l'étude du cas de la lagune de Béni-Messous, en trois autres chapitres :
 - La présentation de la zone d'étude, ainsi que des conditions climatiques qui influent sur le bon fonctionnement du lagunage font l'objet du quatrième chapitre.
 - Le cinquième chapitre est consacré aux méthodes d'analyse des paramètres de pollution globaux : température, pH, MES, DCO et DBO₅ des eaux usées des bassins de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous.
 - Le sixième chapitre présente les résultats des analyses et leurs interprétations.

Nous terminerons par une conclusion générale.

1^{ère} Partie :
Étude
Bibliographique



Chapitre 1

Généralités sur les Eaux Usées



Introduction :

Les cours d'eau ont une capacité naturelle d'autoépuration. Celle-ci a pour effet de consommer de l'oxygène ; ce qui n'est donc pas sans conséquences sur la faune et la flore aquatiques. Lorsque l'importance d'un rejet excède cette capacité, la détérioration de l'environnement peut être durable. Il est donc indispensable d'épurer les eaux usées avant de les rejeter en milieu naturel.

En effet, les zones privées d'oxygène par la pollution entraînent la mort de la faune et de la flore ou créent des barrières infranchissables, empêchant notamment la migration des poissons. La présence excessive de phosphates, en particulier, favorise le phénomène d'eutrophisation ; c'est-à-dire, la prolifération d'algues qui nuit à la faune aquatique, peut rendre la baignade dangereuse et perturbe la production d'eau potable.

1.1. Définition :

Les eaux usées sont toutes les eaux qui parviennent dans les canalisations d'eaux usées dont les propriétés naturelles sont transformées par les utilisations domestiques, les entreprises industrielles, agricoles et autres. On englobe, aussi, les eaux de pluie qui s'écoulent dans ces canalisations (BLIEFERT et PERRAUD, 2001).

1.2. Origine et composition des eaux usées :

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

1.2.1. Les eaux usées domestiques :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. et en eaux vannes ; il s'agit des rejets des toilettes chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (GOMELLA et GUERREE, 1978).

1.2.2. Les eaux industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, d'après GAUJOUS (1995), elles peuvent également contenir :

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

Dans certains cas, avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux industrielles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels. Elles ne sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution.

1.2.3. Les eaux agricoles :

L'agriculture est une source de pollution des eaux qui n'est pas du tout négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses (BONTOUX, 1993).

Les épandages d'engrais nitrates et phosphatés, sous une forme ou en quantité, telle qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues. Parmi les polluants d'origine agricole, il faut tenir compte aussi des détergents se dispersant lors des applications de traitement des cultures (GOMELLA et GUERREE, 1978).

1.2.4. Les eaux pluviales :

Elles peuvent, elles aussi, constituer une source de pollution importante des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...) (BONTOUX, 1993).

Dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution.

1.3. Caractéristiques des eaux usées :

L'évaluation de la qualité de l'eau nécessite de nombreuses analyses, incluant le dosage de multiples paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Ces analyses sont réalisées par des méthodes dont les protocoles sont bien définis.

1.3.1. Les paramètres physico-chimiques :

Selon GAUJOUS (1995), la pollution résulte de l'introduction dans un milieu de substances conduisant à son altération. Elle se traduit généralement par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur. La mesure par analyse de ces derniers (au niveau du rejet, du milieu naturel ou du milieu pollué) permet de l'étudier.

1.3.1.1. La température :

La température est un facteur écologique important du milieu. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Certains rejets présentent des écarts de température importants avec le milieu récepteur : ce sont par exemple, les eaux de refroidissement des centrales nucléaires thermiques induisant ainsi une forte perturbation du milieu. La température est mesurée par thermosonde (ou par thermomètre) (GAUJOUS, 1995).

Il est important de connaître la température de l'eau avec précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc. (RODIER et al, 1996).

1.3.1.2. Le potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH est un paramètre qui permet de mesurer l'acidité, l'alcalinité ou la basicité d'une eau (GOMELLA et GUEREE, 1978). Sa mesure doit s'effectuer sur place de préférence par la méthode potentiométrique. La mesure électrique, quoique délicate, peut seule donner une valeur exacte, car elle est indépendante du potentiel d'oxydoréduction, de la couleur du milieu, ou de la turbidité et des matières colloïdales (RODIER et al, 1996).

En milieu côtier et estuarien, certains rejets industriels ou les apports d'eaux de ruissellement sont la cause de variation du pH qui s'avère être, dans ce cas, un indice de pollution (AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983).

Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9.

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

1.3.1.3. La turbidité et les matières en suspension :

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau. Elle est mesurée :

- soit visuellement par la hauteur d'eau à travers laquelle on ne distingue plus un objet (disque de Secchi, fil de platine) ; elle est alors exprimée en mètre.
- soit électroniquement (néphélométrie) par comparaison avec une gamme de solution de référence (silice, mastic, formazine) ; elle est alors exprimée en mg/l de silice, de mastic, ... ou en unité (NTU, Nephelometric Turbidity Unit, ou JTU -Jackson ou FTU, Formazine-) (GAUJOUS, 1995).

La turbidité varie suivant les matières en suspension (MES) de l'eau :

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

Dans une eau usée urbaine, près de 50 % de la pollution organique se trouve sous forme de MES. Les résultats pour les eaux usées industrielles sont très variables, il est de même pour les eaux naturelles où la nature des MES est souvent minérale et leur taux est relativement bas, sauf en période de crue des cours d'eau.

La composition des MES peut être appréciée par analyse directe : plus souvent, elle est obtenue par différence des caractéristiques des eaux brutes et des eaux filtrées. Les erreurs sur les valeurs résultantes sont alors élevées (BONTOUX, 1993). Les MES sont exprimées en mg/l.

1.3.1.4. La demande biologique en oxygène (DBO₅) :

La demande biochimique en oxygène DBO, exprimée en mg d'oxygène par litre, permet l'évaluation des matières organiques biodégradables dans les eaux (BONTOUX, 1993). Plus précisément, ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie.

Pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO₅.

BERNE et CORDONNIER (1991) définissent la DBO₅ comme étant la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée.

La DBO₅ est un paramètre intéressant pour l'appréciation de la qualité des eaux : dans les eaux pures elle est inférieure à 1 mg d'(O₂)/l, et quand elle dépasse les 9 mg/l l'eau est considérée comme étant impropre (GOMELLA et GUERREE, 1978).

1.3.1.5. La demande chimique en oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène (DCO), exprimée en mg d'(O₂)/l, correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique est dans des conditions définies de la matière organique ou inorganique contenue dans l'eau (GROSCLAUDE, 1999). Elle représente donc, la teneur totale de l'eau en matières oxydables.

1.3.1.6. Les matières oxydables (MO) :

C'est un paramètre utilisé par les agences de l'eau pour caractériser la pollution organique de l'eau, il se définit à partir de la DBO₅ et de la DCO selon la formule suivante (BADIA-GONDARD, 2003) :

$$MO = (2 \times DBO_5 + DCO) / 3$$

1.3.1.7. Le carbone organique total (COT) :

Le carbone organique est constitué d'une grande diversité de composés organiques à plusieurs états d'oxydation, dont certains sont susceptibles d'être oxydés par des procédés chimiques ou biologiques. Ces fractions sont caractérisées par la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO).

Certaines matières organiques échappent à ces mesures ; dans ce cas, le dosage du COT est mieux adapté. Il est indépendant de l'état d'oxydation de la matière organique et ne mesure pas les éléments inorganiques tels que l'azote et l'hydrogène qui peuvent être pris en compte par la DCO et la DBO.

La détermination porte sur les composés organiques fixés ou volatils, naturels ou synthétiques, présents dans les eaux résiduaires (cellulose, sucres, huiles, etc.). Suivant que l'eau a été préalablement filtrée ou non, on obtiendra le carbone dissous (COD) ou le carbone total (COT). Cette mesure permet de faciliter l'estimation de la demande en oxygène liée aux rejets, et d'établir éventuellement une corrélation avec la DBO et la DCO.

Les méthodes de dosage du carbone organique utilisent toutes le même principe, qui consiste à oxyder le carbone organique en dioxyde de carbone. Cette oxydation peut être obtenue par combustion, irradiation UV, oxydation chimique ou par tous autres procédés appropriés. Le dioxyde de carbone est ensuite mesuré, soit directement, par un analyseur infrarouge ou par toutes méthodes convenant à son dosage, soit réduit en méthane et analysé par un décanteur à ionisation de flamme (RODIER et al, 1996).

1.3.1.8. L'azote et le phosphore :

Les teneurs en azote et en phosphore sont également des paramètres très importants. Les rejets excessifs de phosphore et d'azote contribuent à l'eutrophisation des lacs et des cours d'eau.

1.3.1.8.1. L'azote :

Dans les eaux usées domestiques, l'azote est sous forme organique et ammoniacale, on le dose par mesure du N-NTK (Azote Totale Kjeldahl) et la mesure du N-NH₄. La concentration du N-NTK est de l'ordre de 15 à 20% de celle de la DBO. L'apport journalier est compris entre 10 et 15g par habitant (GROSCLAUDE, 1999).

Azote Kjeldahl = Azote ammoniacal + Azote organique (GAUJOUS, 1995).

L'azote organique, composant majeur des protéines, est recyclé en continu par les plantes et les animaux.

L'azote ammoniacal est présent sous deux formes en solution, l'ammoniac NH₃ et l'ammonium NH₄⁺, dont les proportions relatives dépendent du pH et de la température. L'ammonium est souvent dominant ; c'est pourquoi, ce terme est employé pour désigner l'azote ammoniacal (AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983). En milieu oxydant, l'ammonium se transforme en nitrites puis en nitrates ; ce qui induit une consommation d'oxygène (GAUJOUS, 1995).

- **Nitrites (NO₂⁻) :**

Les ions nitrites (NO₂⁻) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH₄⁺) et les ions nitrates (NO₃⁻). Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène, est la nitrification. Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates, appelée dénitrification.



Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. Sa toxicité augmente avec la température. Ils provoquent une dégradation de l'hémoglobine du sang des poissons qui ne peut plus véhiculer l'oxygène. Il en résulte la mort par asphyxie (SEVRIN-REYSSAC et al, 1995). Chez les nourrissons, l'incapacité du sang à transporter l'oxygène est la méthémoglobinémie (GAUJOUS, 1995).

- **Nitrates (NO₃⁻) :**

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitrifiantes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates.

Cette réaction appelée nitratisation s'accompagne aussi d'une consommation d'oxygène (SEVRIN-REYSSAC et al, 1995).



Les nitrates ne sont pas toxiques ; mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrates.

Azote global = Azote Kjeldahl + Nitrites + Nitrates (SEVRIN-REYSSAC et al, 1995).

1.3.1.8.2. Phosphore :

Le phosphore est présent dans l'eau sous plusieurs formes : phosphates, polyphosphates, phosphore organique ... ; les apports les plus importants proviennent des déjections humaines et animales, et surtout des produits de lavage. Les composés phosphorés sont indésirables dans les réservoirs de distribution d'eau potable, parce qu'ils contribuent au développement d'algues et plus généralement du plancton aquatique.

Agents d'eutrophisation gênant dans le milieu naturel, les phosphates n'ont pas d'incidence sanitaire et les polyphosphates sont autorisés comme adjuvants pour la prévention de l'entartrage dans les réseaux (BONTOUX, 1993).

1.3.1.9. Oligo-éléments et les toxiques minéraux :

Les oligo-éléments sont toujours présents dans l'eau en quantités très faibles. Leur présence est généralement indispensable au développement des êtres vivants, et leur absence peut entraîner des carences. A plus fortes concentrations, ils deviennent toxiques.

La plupart sont désignés comme étant "métaux lourds", bien que tous ne soient pas des métaux ; ces éléments sont soumis à des normes, particulièrement en eau potable, mais aussi en rejets industriels, pour les boues d'épuration valorisable en agriculture, pour les épandages de boues de curage de rivières ... (GAUJOUS, 1995).

1.3.2. Les paramètres bactériologiques :

Les bactéries sont couramment recherchées dans l'eau, principalement comme témoins de contamination fécale (GAUJOUS, 1995).

L'OMS (1979) a choisi plusieurs témoins répondant à certaines exigences ; il s'agit des coliformes, des streptocoques fécaux du groupe D de LANCFIELD (1933), et parfois les *Clostridium perfringens*.

La raison de ce choix réside dans le fait que la numération de ces bactéries est beaucoup plus simple est rapide entre 24 et 48h, que celle des germes pathogènes ; généralement plusieurs jours avec nécessité d'identification sérologique (GAUTHIER et PIETRI, 1989).

1.3.2.7. Les coliformes totaux (CT) :

Les coliformes sont des bâtonnets, anaérobies facultatifs, gram (-) non sporulants permettant l'hydrolyse du lactose à 35°C (OMS, 1979).

Les coliformes regroupent les genres *Echerichia*, *Citrobacter*, *Entérobacter*, *Klébsiella*, *Yersinia*, *Serratia* (RODIER et al, 1996 ; JOLY et REYNAUD, 2003).

La recherche et le dénombrement de l'ensemble des coliformes (coliformes totaux), sans préjuger de leur appartenance taxonomique et de leur origine, est capital pour la vérification de l'efficacité d'un traitement désinfectant et est d'un intérêt nuancé pour déceler une contamination d'origine fécale (RODIER et al, 1996).

1.3.2.8. Les coliformes fécaux (CF) :

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermotolérants, sont un sous groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44°C. Ce sont des bâtonnets Gram (-), aérobies et facultativement anaérobies ; non sporulants, on les désigne souvent sous le nom d'*Escherichia Coli* bien que le groupe comporte plusieurs souches différentes (*Citrobacter freundii*, *Entérobacter aérogènes*, *Klebsiella pneumoniae* ...etc.) (OMS, 1979 ; RODIER et al, 1996 ; JOLY et REYNAUD, 2003).

La recherche et le dénombrement des coliformes fécaux est un examen proposé en raison d'une concordance statistique entre leur présence et l'existence d'une contamination fécale quasi certaine (RODIER et al, 1996).

1.3.2.9. Les Streptococcus fécaux :

Sont considérées comme streptocoques fécaux, toutes les bactéries Gram (+) de forme oblongue ou de cocci sphériques légèrement ovales (OMS, 1979). Ils se disposent, le plus souvent, en diplocoques ou en chainettes (LECLERC et al, 1995 ; JOLY et REYNAUD, 2003).

Selon la classification sérologique de Lancefield (1933), 5 espèces sont reconnues parmi les streptocoques fécaux (streptocoques du groupe D). Il s'agit de : *S.bovis*, *S.equinus*, *S.avium*, *S.faecalis* et *S.faecium*, car les autres streptocoques ont une origine fécale douteuse.

Ils sont des témoins de contamination fécale assez résistant, y compris dans les milieux salés (GAUJOUS, 1995). Ils peuvent aussi se multiplier dans les milieux présentant des pH allant jusqu'à 9.6, on peut par conséquent les utiliser comme indicateurs d'organismes pathogènes qui ont une résistance similaire au pH élevé (OMS, 1979).

1.3.2.10. Les Clostridium sulfito-réducteurs :

Ils peuvent être considérés comme des germes fécaux ; ce sont aussi des germes telluriques, et de ce fait, aucune spécificité d'origine fécale ne peut être attribuée à leur mise en évidence. Dans une telle optique d'interprétation, il y a intérêt à ne chercher que les espèces les plus susceptibles d'être fécales, c'est le cas en particulier de *Clostridium perfringens* (RODIER et al, 1996). Les *Clostridium perfringens* sont des bâtonnets anaérobies, Gram(+), sporulants et qui réduisent les sulfites en sulfures en 24 à 48 heures (OMS, 1979).

Ils sont excrétés par l'homme et les animaux, on les trouve régulièrement dans les matières fécales humaines, leur densité est la suivante (OMS, 1979) :

- Excréments humains 106 à 108 /g ;
- Eaux usées non traitées 103 /ml.

Ils sont employés comme indicateurs dans l'étude des pollutions littorales pour un certain nombre de raisons (OMS, 1979) :

- Ils se trouvent en abondance dans les eaux usées qui sont principalement d'origine humaine ;
- Ils ne se multiplient pas dans les sédiments ;
- Ils survivent longtemps dans les sédiments, ce qui permet de déceler une pollution ancienne ou intermittente (RODIER et al, 1996).

1.4. L'équivalent habitant (EH) :

Un équivalent habitant correspond à la pollution quotidienne que génère un individu. Chacun est sensé utiliser 180 à 300 l d'eau par jour.

La quantité de pollution journalière produite par un individu est estimée à 57 g de matières oxydables (MO), 90 g de matières en suspension (MES), 15 g de matières azotées (MA), et 4 g de matières phosphorées (MP). Enfin, la concentration des germes est généralement de l'ordre de 1 à 10 milliards de germes pour 100 ml (BADIA-GONDARD, 2003).

1.5. Les normes algériennes de rejet d'effluents :

Les eaux usées collectées, dans les réseaux urbains ou les eaux usées directement émises par les industries, ne doivent être rejetées dans un milieu récepteur naturel (rivière, lac, littoral marin, ou terrain d'épandage) que lorsqu'elles correspondent à des normes fixées par voie réglementaire.

Le Décret exécutif n° 93-160 du 10 Juillet 1993, du Journal Officiel de la République Algérienne réglementant les rejets d'effluents liquides dans son chapitre I, article 2 (voir annexe 1), définit un rejet comme tout déversement, écoulement, jets, dépôts directs ou indirects d'effluents liquides dans le milieu naturel et fixe, en son annexe, les valeurs limites de ce rejet.

Ces mêmes valeurs viennent d'être renforcées par un nouveau texte réglementaire ; le Décret Exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006, section 1, article 3 (voir annexe 2). Les valeurs limites maximales de rejet d'effluents fixées par ces deux décrets sont regroupées dans le tableau 1.

Conclusion :

Collectées par le réseau d'assainissement, les eaux usées contiennent de nombreux éléments polluants, provenant de la population, des activités commerciales, industrielles et agricoles et des phénomènes naturels.

Les eaux usées se caractérisent par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, qui permettent de déterminer leur éventuelle origine et de connaître l'importance de leur charge polluante.

Avant qu'elles ne soient rejetées dans le milieu naturel et ne le dégradent, elles doivent impérativement obéir à des normes établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution. Pour cela, elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement.

Tableau 1 : Les valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur
(Journal Officiel de la République Algérienne, 2006)

PARAMÈTRES	UNITÉS	VALEURS LIMITES
Température	°C	30
pH	-	6,5 à 8,5
MES	mg/l	35
DBO ₅	mg/l	35
DCO	mg/l	120
Azote Kjeldahl	mg/l	30
Phosphates	mg/l	02
Phosphore total	mg/l	10
Cyanures	mg/l	0,1
Aluminium	mg/l	03
Cadmium	mg/l	0,2
Fer	mg/l	03
Manganèse	mg/l	01
Mercure total	mg/l	0,01
Nickel total	mg/l	0,5
Plomb total	mg/l	0,5
Cuivre total	mg/l	0,5
Zinc total	mg/l	03
Huiles et Graisses	mg/l	20
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Indice Phénols	mg/l	0,3
Fluor et composés	mg/l	15
Étain total	mg/l	02
Composés organiques chlorés	mg/l	05
Chrome total	mg/l	0,5
(*) Chrome III +	mg/l	03
(*) Chrome VI +	mg/l	0,1
(*) Solvants organiques	mg/l	20
(*) Chlore actif	mg/l	1,0
(*) PCB	mg/l	0,001
(*) Détergents	mg/l	2
(*) Tensioactifs anioniques	mg/l	10

(*) Valeurs fixées par le Décret exécutif n° 93-160 du 10 Juillet 1993.



Chapitre 2

Traitement des Eaux Usées



Introduction :

Il ne faut pas confondre le traitement des eaux, qui a pour fonction de les transformer en eau potable, et l'assainissement des eaux usées rejetées par le consommateur après utilisation. L'assainissement des eaux usées a pour objectif de collecter puis d'épurer les eaux usées avant de les rejeter dans le milieu naturel, afin de les débarrasser de la pollution dont elles sont chargées.

2.1. Les étapes et procédés de traitement des eaux usées :

La dépollution des eaux usées nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée.

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, plusieurs niveaux de traitements sont définis : les prétraitements, le traitement primaire et le traitement secondaire. Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible.

A titre d'illustration, les rejets dans les eaux de baignade, dans des lacs souffrant d'un phénomène d'eutrophisation ou dans des zones d'élevage de coquillages sont concernés par ce troisième niveau de traitement. Les traitements tertiaires peuvent également comprendre des traitements de désinfection. La réduction des odeurs peut encore être l'objet d'attentions particulières.

2.1.1. Les prétraitements :

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations, uniquement physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'eau brute, la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constitueront une gêne pour les traitements ultérieurs. Il s'agit principalement des déchets volumineux (dégrillage), des sables et graviers (dessablage) et des graisses (dégraissage-déshuilage) (DEGREMONT, 1978).

2.1.1.1. Dégrillage :

Au cours du dégrillage, les eaux usées passent au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les matières les plus volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants ou en compliquer leur exécution.

Le dégrillage permet aussi de protéger la station contre l'arrivée intempestive des gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation. Les éléments retenus sont, ensuite, éliminés avec les odeurs ménagères (DEGREMONT, 1978).

2.1.1.2. Dessablage :

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements suivants.

L'écoulement de l'eau, à une vitesse réduite, dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés, par aspiration, sont ensuite essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage (DEGREMONT, 1978).

2.1.1.3. Dégraissage – Déshuilage :

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (à la condition que la température de l'eau soit suffisamment basse, pour permettre le figeage des graisses). Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient en suite (DEGREMONT, 1978).

2.1.2. Le traitement primaire :

Le traitement "primaire" fait appel à des procédés physiques, avec filtration et décantation plus ou moins aboutie, éventuellement assortie de procédés physico-chimiques, tels que la coagulation- floculation :

2.1.2.1. Coagulation – floculation :

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, puisque leur concentration est très stable, ces dernières n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation.

La coagulation a pour but principale de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques : sels minéraux cationiques.

La floculation a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un flocc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation et de filtration (DES JARDINS, 1990).

2.1.2.2. Décantation :

La décantation est un procédé qu'on utilise dans, pratiquement, toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux (DES JARDINS, 1990). Son objectif est d'éliminer les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau par gravité. La vitesse de décantation est en fonction de la vitesse de chute des particules, qui elle-même est en fonction de divers autres paramètres parmi lesquels : grosseur et densité des particules (VILAGINES, 2003).

Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé "décanteur" pour former les boues "primaires". Ces dernières sont récupérées au moyen de systèmes de raclage. L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'accroître le rendement de la décantation. Ce type d'ouvrage comporte des lamelles parallèles inclinées, ce qui multiplie la surface de décantation et accélère donc le processus de dépôt des particules. La décantation est encore plus performante lorsqu'elle s'accompagne d'une floculation préalable (DEGREMONT, 1978).

2.1.2.3. Filtration :

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide, qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux. Les solides en suspension, ainsi retenus par le milieu poreux, s'y accumulent ; il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou de façon intermittente.

La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation-floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs (DES JARDINS, 1990).

2.1.3. Le traitement secondaire (Biologique) :

Dans la grande majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonées et azotées s'appuie sur des procédés de nature biologique, basés sur la croissance de micro-organismes aux dépens des matières organiques "biodégradables" qui constituent pour eux des aliments.

Les micro-organismes, les plus actifs, sont les bactéries qui conditionnent en fonction de leur modalité propre de développement, deux types de traitements (VILAGINES, 2003) :

2.1.3.1. Traitements anaérobies :

Les traitements anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas de l'oxygène, en particulier, aux bactéries méthanogènes qui conduisent, comme leur nom l'indique, à la formation du méthane à partir de la matière organique, et à un degré moindre de CO₂.

Ce type de fermentation est appelé digestion en hydrologie. C'est une opération délicate qui demande une surveillance importante. En effet, la température doit être maintenue à un niveau très stable et suffisamment élevé. Il faut aussi éviter les écarts brutaux de pH et les substances inhibitrices du développement bactérien, à titre d'exemple : les cyanures, les sels de métaux lourds et les phénols.

Ce système est davantage utilisé pour le traitement des effluents urbains, que pour le traitement des effluents industriels généralement toxiques pour les bactéries (VILAGINES, 2003).

2.1.3.2. Les traitements aérobies :

Les bactéries utilisées exigent un apport permanent d'oxygène. On distingue trois méthodes essentielles :

2.1.3.2.1. Les lits bactériens :

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien, quelques fois appelé filtre bactérien ou filtre percolateur, consiste à faire ruisseler l'eau à traiter, préalablement décantée, sur une masse de matériau de grande surface spécifique servant de support aux micro-organismes épurateurs, qui y forment un feutrage ou un film plus ou moins épais, sous lequel une couche anaérobie peut se développer sous la couche aérobie, si son épaisseur est importante (DEGREMONT, 1978).

2.1.3.2.2. Les boues activées :

Les boues activées constituent le traitement biologique aérobie le plus répandu (OMS, 1979). Le procédé consiste à provoquer le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons (boues activées), dans un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) et alimenté en eau à épurer. Dans ce bassin, le brassage a pour but d'éviter les dépôts et d'homogénéiser le mélange des flocons bactériens et de l'eau usée (liqueur mixte) ; l'aération peut se faire à partir de l'oxygène de l'eau, du gaz enrichi en oxygène, voire même d'oxygène pur, a pour but de dissoudre ce gaz dans la liqueur mixte, afin de répondre aux besoins des bactéries épuratrices aérobies.

Après un temps de contact suffisant, la liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur appelé parfois décanteur secondaire, destiné à séparer l'eau épurée des boues. Ces dernières sont recyclées dans le bassin d'aération pour y maintenir une concentration suffisante en bactéries épuratrices.

L'excédent (boues secondaires en excès) est extrait du système et évacué vers le traitement des boues (DEGREMONT, 1978)

2.1.3.2.3. Le lagunage :

Le lagunage est un système biologique d'épuration, qui consiste à déverser les eaux usées dans plusieurs bassins successifs de faible profondeur, où des phénomènes naturels de dégradation font intervenir la biomasse qui transforme la matière organique. La matière polluante, soustraite aux eaux usées, se retrouve en grande partie dans la végétation et les sédiments accumulés, et en faible partie dans l'atmosphère sous forme de méthane et d'azote gazeux (GRAUSCLAUDE, 1999).

2.1.4. Les traitements tertiaires :

Les traitements tertiaires regroupent tous les traitements complémentaires visant à affiner la qualité de l'effluent ayant subi les traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. Leur utilisation s'impose lorsque la nature des milieux récepteurs recevant l'eau dépolluée l'exige (DEGREMONT, 1978) :

- Les zones sujettes aux phénomènes d'eutrophisation ;
- Les eaux de baignade ;
- Besoins agricoles ;
- Recharge de nappes aquifères ;
- Pisciculture ;
- Usage domestique allant jusqu'à la consommation humaine.

Les traitements tertiaires englobent, principalement, l'élimination de l'azote, l'élimination du phosphore et la désinfection, mais aussi le traitement des odeurs.

2.1.4.1. L'élimination de l'azote :

Les stations d'épuration classiques, prévues pour éliminer les matières carbonées, n'éliminent que des quantités réduites d'azote présent dans les eaux usées. Pour satisfaire aux normes de rejet en zones sensibles, des traitements complémentaires doivent être mis en place.

L'élimination de l'azote est, le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologiques, de "nitrification-dénitrification".

Les procédés physiques et physico-chimiques d'élimination de l'azote (électrodialyse, résines échangeuses d'ions, "strippage" de l'ammoniaque) ne sont pas utilisés dans le traitement des eaux résiduaires urbaines, pour des raisons de rendement et de coût (BECHAC et al, 1987).

2.1.4.2. L'élimination du phosphore :

L'élimination du phosphore, ou "déphosphatation", peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques.

En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'adjonction de réactifs, comme des sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insolubles et leur élimination par décantation. Ces techniques engendrent une importante production de boues.

La déphosphatation biologique consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans les cultures bactériennes des boues. Les mécanismes de la déphosphatation biologique sont relativement complexes, et leur rendement variable (en fonction notamment de la pollution carbonée et des nitrates présents dans les eaux usées). Dans les grosses installations d'épuration, ce procédé est souvent couplé à une déphosphatation physico-chimique, pour atteindre les niveaux de rejets requis (SATIN et SELMI, 1999).

2.1.4.3. La désinfection :

Les traitements primaires et secondaires ne détruisent pas complètement les germes présents dans les rejets domestiques. C'est pourquoi, la désinfection de l'eau s'impose.

La désinfection est un traitement qui permet de détruire ou d'éliminer les micro-organismes susceptibles de transmettre des maladies ; ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation qui est la destruction de tous les organismes vivants dans un milieu donné.

On peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau une certaine quantité d'un produit chimique, doté de propriétés germicides. Les produits chimiques les plus utilisés sont : le chlore (Cl_2), le dioxyde de chlore (ClO_2), l'ozone (O_3), le brome (Br_2), l'iode (I_2) et le permanganate de potassium (KMnO_4).

On peut également désinfecter l'eau grâce à des moyens physiques : ébullition, ultrasons, ultraviolets (UV) ou rayon gamma (DES JARDINS, 1990).

Les ultraviolets sont de plus en plus utilisés, car ils présentent l'avantage de ne pas entraîner l'apparition de sous-produits de désinfection. Cependant, ils nécessitent un investissement important.

2.1.4.4. Le traitement des odeurs :

La dépollution des eaux usées produit des odeurs, qui sont parfois perçues comme une gêne par les riverains des stations d'épuration. Les principales sources de mauvaises odeurs sont les boues et leur traitement, ainsi que les installations de prétraitement. Le seuil de tolérance de ces nuisances olfactives est subjectif et aucune norme en matière d'émissions malodorantes n'existe. Cependant, les exploitants de stations d'épuration cherchent à limiter les odeurs dégagées par les traitements.

La conception des stations est le premier élément permettant de limiter l'émission d'odeurs dans le voisinage. Il faut, par exemple, veiller à réduire les surfaces d'échange entre l'air et les eaux usées.

Ainsi, les ouvrages les plus odorants sont souvent regroupés pour concentrer l'émission d'effluves nauséabonds. Leur couverture est aussi une manière d'atténuer les émissions malodorantes.

Des installations de désodorisation chimique ou biologique sont également mises en place, au sein des stations d'épuration. La désodorisation chimique est la technique la plus utilisée. Les gaz malodorants sont captés puis envoyés dans des tours de lavage, où un liquide désodorisant est pulvérisé. Ces lavages peuvent comporter de la soude, de l'acide et/ou de l'hypochlorite de sodium (eau de javel), réactifs qui captent ou neutralisent les mauvaises odeurs (MARTIN et LAFFORT, 1991).

2.2. Réutilisation des eaux usées :

L'importance des coûts d'amener des eaux pour l'alimentation des villes, jointe à celle de leur évacuation, qui va de pair avec la raréfaction des ressources en eau, conduit un peu partout dans le monde, et pas seulement dans les zones arides ou semi arides, à se poser la question de la réutilisation des eaux usées.

Après dépollution, les eaux usées constituent "une ressource de seconde main", qui trouve principalement son utilité dans :

2.2.1. L'industrie :

2.2.1.1. Lavage et transport industriel des matériaux :

Dans beaucoup d'industries, le lavage et le transport des matériaux sont très peu exigeants en qualité de l'eau. C'est pourquoi les eaux usées épurées sont utilisées pour (VALIRON, 1983) :

- Le lavage des matières premières (charbon, gravier, etc.) et leur transport (craie par exemple) ;
- Le transport des déchets (cendres d'une centrale thermique) ;
- Le lavage d'entretien (wagon, sols, bouteilles, etc.).

2.2.1.2. Refroidissement industriel :

De nombreuses industries utilisent les opérations de refroidissement qui consomment une part très importante des eaux. C'est le cas dans (VALIRON, 1983) :

- Les centrales électriques et nucléaires (la production d'électricité) ;
- La pétrochimie ;
- La chimie ;
- L'industrie du caoutchouc ;
- L'industrie automobile.

2.2.2. L'irrigation :

Dans le cas de l'irrigation, les eaux usées sont utilisées soit brutes, soit après traitement biologique (boues activées ou lagunage le plus souvent). Leur intérêt réside dans le fait que :

- Les eaux brutes contiennent des nutriments qui accroissent notablement les rendements agricoles, ce qui soulage de l'utilisation des engrais artificiels très coûteux ;
- Les autres sources d'eau utilisable en irrigation se raréfient en raison de leur potabilité tant recherchée.

2.2.3. Les usages municipaux :

Les usages municipaux peuvent couvrir une assez large gamme d'utilisations, qui ne requiert pas d'eau de qualité potable, comme par exemple (VALIRON, 1983) :

- L'arrosage des parcs et jardins publics ;
- Le lavage des rues ;
- La lutte contre les incendies ;
- Le nettoyage des engins de collecte des ordures ménagères.

2.3. L'épuration des eaux usées en Algérie :

2.3.1. Volumes des eaux usées en 2004 :

Le calcul des volumes des eaux usées (EU) pour l'année 2004 a été effectué par la Direction de l'Assainissement et de la Protection de l'Environnement (DAPE) du Ministère des Ressources en Eau (MRE), et ce, dans le cadre de la mission 1 de l'étude de la réutilisation des eaux usées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national.

Le tableau 2, ci-après, présente les volumes des eaux usées générées par région hydrographique pour l'ensemble de la population urbaine et rurale du pays. Le tableau 3 donne la répartition spatiale des rejets des eaux usées.

Tableau 2 : Volume des eaux usées par région hydrographique – 2004.

Région Hydrographique (RH)	Population totale	Taux de raccordement à l'égout	Volume consommé	Volume eaux usées
	Hab	%	Hm ³ /an	Hm ³ /an
Algérois - Soummam - Hodna (ASH)	10 304 025	87	370	259
Oranie - Chott Chergui (OCC)	5 457 100	92	123	92
Cheliff - Zahez (CZ)	4 222 089	83	113	74
Constantinois - Seybous Mellegue (CSM)	8 400 449	88	209	148
Sahara	3 470 899	81	257	157
TOTAL	31 854 563	87	1 073	731

Tableau 3 : Répartition spatiale des rejets des eaux usées (amont des barrages, rejets en mer, rejets en chott et sabkhas).

Milieu récepteur final des EU	VOLUME DES EAUX USÉES (Hm ³ /AN)					Pour toute l'Algérie
	RH ASH	RH OCC	RH CZ	RH CSM	RH Sahara	
Total rejeté	259	74	148	92	157	731
Barrage	55	61	62	36	7	221
Mer	193	6	52	49	-	301
Chott ou Sabka	11	7	34	7	150	209
EU épurées	110	6	43	52	13	223
EU réutilisées	7	-	2	2	-	11

2.3.2. Programme des stations d'épuration pour le court terme (2006-2010)¹ :

Au cours de ces dernières années, le Ministère des Ressources en Eau (MRE) à entrepris la mise en œuvre d'un important programme d'investissement concernant la réalisation de 84 stations d'épuration (STEP) et la réhabilitation de 15 autres, dont deux en exploitation. Ceci portera le nombre actuel des STEP existantes et en exploitation de 46 à 138 avant la fin 2008. À noter aussi que 56 STEP sont actuellement en cours d'étude ou en étude de réhabilitation, et dont le lancement des travaux est prévu pour le moyen terme (2007-2010), ce qui permettra d'atteindre un parc de 194 STEP à l'horizon 2010.

¹ Situation Juin 2006 – Source DAPE

Les STEP mentionnées répondent à des exigences impératives imposées par le MRE et qui consistent en la protection :

- De la santé publique à proximité des grands rejets d'eaux usées urbaines (exutoires des grandes villes) ;
- Des ressources en eau conventionnelles mobilisées (barrages et nappes) ;
- Des ressources en eau non conventionnelles (dessalement de l'eau de mer) contre la contamination par les rejets urbains ;
- Du littoral, et par conséquent les eaux de baignade à fin de protéger la santé publique. Et respect des amendements de la convention de Barcelone pour la protection de la méditerranée.

La totalité des villes abritant plus de 100.000 habitants sont dotées de STEP ou le seront avant 2010.

Pour répondre à ces obligations, les traitements primaires sont de plus en plus abandonnés au profit des traitements secondaires, qui exploitent largement les filières biologiques, à savoir, les boues activées et le lagunage (naturel et aéré) visant les objectifs de qualité exigés par l'OMS, notamment :

DBO₅ < 20 à 40 mg/l ;

DCO < 90 à 120 mg/l ;

MES < 20 à 30 mg/l.

- **STEP à boues activées :**

Cent six (106) STEP seront en service avant 2010 et fonctionneront par boues activées ; soit plus de 54 % du nombre total de STEP (194) prévus à cet horizon. Les capacités installées varient de 200 m³/jour pour l'agglomération de H'Nancha (Souk Ahras) à 150.000 m³/jour pour la STEP de Baraki (Alger).

- **Lagunage :**

Quatre vingt huit (88) STEP de type lagunage dont 20 de type aéré seront en service avant 2010 ; soit 46 % du nombre total de STEP (194) prévus à cet horizon. Les capacités installées varient de 320 m³/jour pour l'agglomération d'Émir Abdel Kader (Ain Temouchent) à 42 000 m³/jour pour la STEP de Ouargla.

Le rendement moyen des STEP est variable selon leur état, qu'elles soient bien ou mal entretenues. Les STEP, dont la gestion et l'exploitation sont bien prises en charge, atteignent un rendement de plus de 95 %.

Le tableau 4 présente le nombre et l'état des STEP par procédé.

Tableau 4 : Nombre et état des STEP par type de procédé.

Procédé	État	Nombre
Boues activées	En exploitation <i>Dont six (6) en travaux de réhabilitation et une (1) en étude de réhabilitation</i>	29
	En travaux	18
	En voie de lancement	11
	En travaux de réhabilitation (<i>Hors service</i>)	6
	En étude de réhabilitation (<i>Hors service</i>)	6
	En cours d'études	36
Sous total		106
Lagunage naturel et aéré	En exploitation	12
	En travaux	33
	En voie de lancement	22
	En travaux de réhabilitation (<i>Hors service</i>)	1
	En étude de réhabilitation (<i>Hors service</i>)	-
	En cours d'études	20
Sous total		88
Total		194

Conclusion :

Les eaux usées sont toutes les eaux qui sont de nature à contaminer les milieux dans lesquelles elles seront déversées. C'est pourquoi, dans un souci de respect de ces différents milieux, des traitements sont réalisés sur ces effluents (collectés par le réseau d'assainissement). Ces derniers sont débarrassés de leurs plus grands déchets, au cours des prétraitements, jusqu'aux infimes polluants, au cours des traitements tertiaires.

Les traitements secondaires biologiques, boues activées, lagunage naturel et aéré sont les traitements les plus fréquemment utilisés en Algérie.

Le recours aux traitements tertiaires reste minoritaire et réservé aux traitements poussés des effluents, du fait qu'il présente de nombreux inconvénient, à savoir :

- Des coûts d'investissement importants ;
- Les ultraviolets (UV) ne sont applicables que pour de faibles quantités d'eau ;
- La surchloration peut s'avérer cancérigène.

Le lagunage naturel est un mode épuratoire écologique, rustique et peu onéreux du fait de son fonctionnement non mécanisé, qui donne des résultats satisfaisants et qui s'avère adapté pour la réutilisation des eaux épurées.

Nous essayons dans notre étude de vérifier (contrôler) l'efficacité du lagunage naturel dans la dépollution des eaux usées ; pour pouvoir ensuite évacuer, sans risques, les eaux traitées dans le milieu naturel et éventuellement envisager leur réutilisation.

La figure 1 illustre les diverses origines des eaux usées, les différents traitements effectués sur ces effluents au sein d'une station d'épuration et enfin leur devenir.

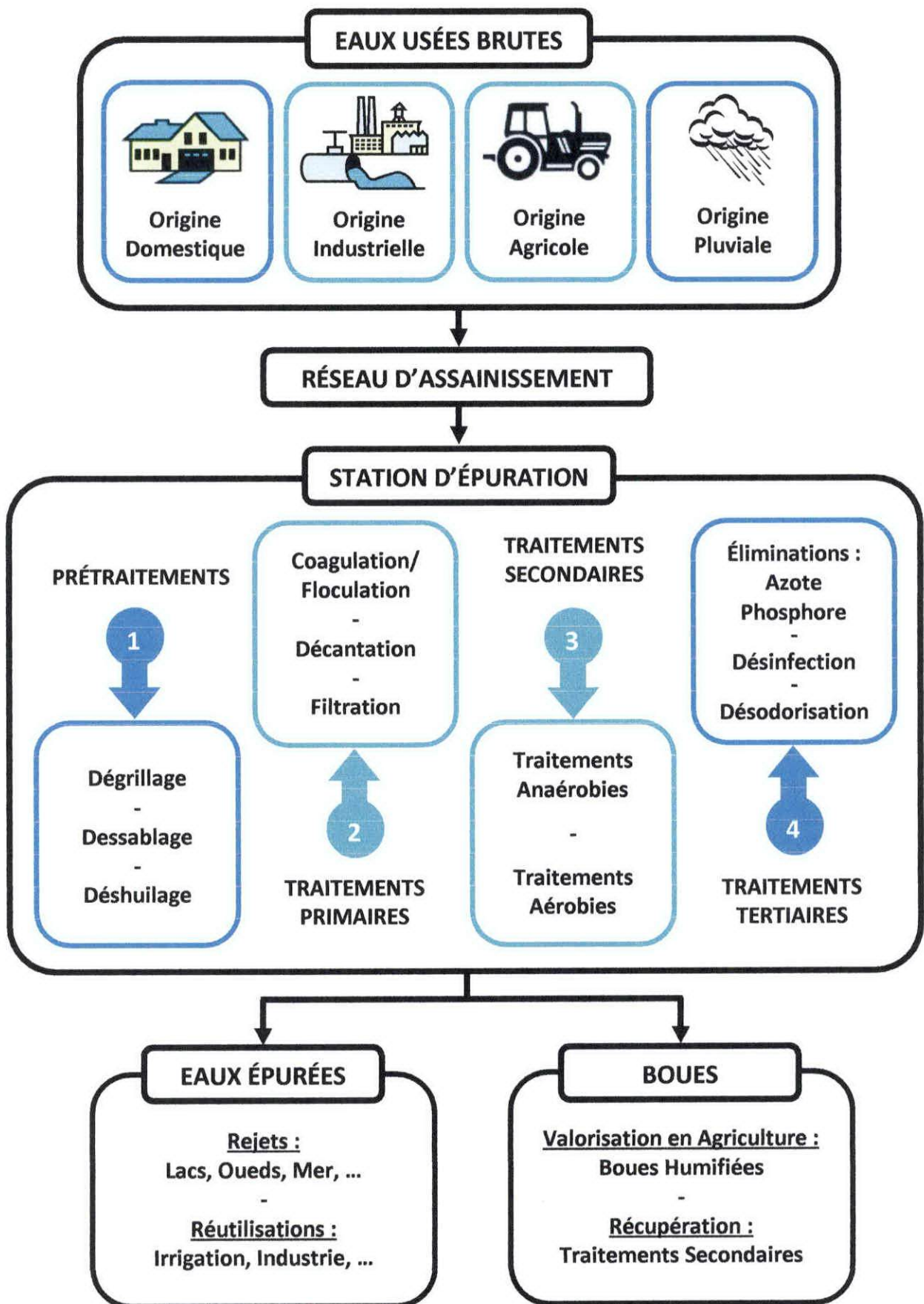


Figure 1 : Origines, traitements et devenir des eaux usées.



Chapitre 3

Le Lagunage Naturel



Introduction :

Parmi les divers procédés d'épuration des eaux usées, dont l'application dépend des caractéristiques des eaux à traiter et du degré de dépollution souhaité, figure le lagunage naturel.

Moyen rustique d'épuration des eaux usées, il se distingue des autres techniques de traitement réputées intensives par de nombreux avantages. Ce procédé écologique, simple et peu onéreux se base sur les phénomènes responsables de l'autoépuration des cours d'eau.

3.1. Définition :

Le lagunage est une technique biologique d'épuration des eaux usées, où le traitement est assuré par une combinaison de procédés aérobies et anaérobies, impliquant un large éventail de micro-organismes (essentiellement des algues et des bactéries). Les mécanismes épuratoires et les micro-organismes qui y participent sont, fondamentalement, les mêmes que ceux responsables du phénomène d'autoépuration des lacs et des rivières (PEARSON, 2005).

3.2. Principe de fonctionnement :

Le lagunage se présente comme une succession de bassins (minimum 2 et généralement 3) peu profonds (le plus souvent rectangulaires) dits lagunes. La surface et la profondeur de ces lagunes influencent le type de traitement (aérobie ou anaérobie) et confèrent un rôle particulier à chacune d'entre-elles. L'épuration par lagunage consiste à faire passer des effluents d'eau usée par écoulement gravitaire de lagune en lagune où la pollution est dégradée par (VALIRON, 1983) :

- L'activité bactérienne ;
- L'activité photosynthétique et l'assimilation des substances minérales ;
- Le pouvoir germicide de la lumière et de certaines algues.

Les matières en suspension de l'eau brute décantent dans le bassin de tête. Les bactéries assimilent la pollution dissoute, et l'oxygène nécessaire à cette dépollution, est assuré par l'action chlorophyllienne de végétaux qui participent aussi à la synthèse directe de la matière organique :

- **les microphytes** ou algues microscopiques ; ce sont essentiellement des algues vertes ou bleues difficilement séparables ;
- **les macrophytes** ou végétaux macroscopiques, qui comprennent des formes libres (ex. lentilles d'eau) ou fixées (ex. roseaux). Les jacinthes d'eau peuvent s'enraciner ou non. Les végétaux supérieurs jouent un rôle de support et doivent normalement permettre d'augmenter la quantité de bactéries et d'algues épuratrices. (DEGREMONT, 1989).

Les microphytes sont consommés par le zooplancton, et les macrophytes filtrent l'eau en sortie avant rejet.

L'ensemble de ces phénomènes apparaît dans plusieurs bassins en séries, ce qui autorise l'étagement des phénomènes épuratoires.

Le processus épuratoire qui s'établit dans une lagune est particulièrement intéressant, car c'est un phénomène vivant, un cycle naturel qui se déroule continuellement. La figure 2 schématise les principaux cycles biologiques se développant dans une lagune.

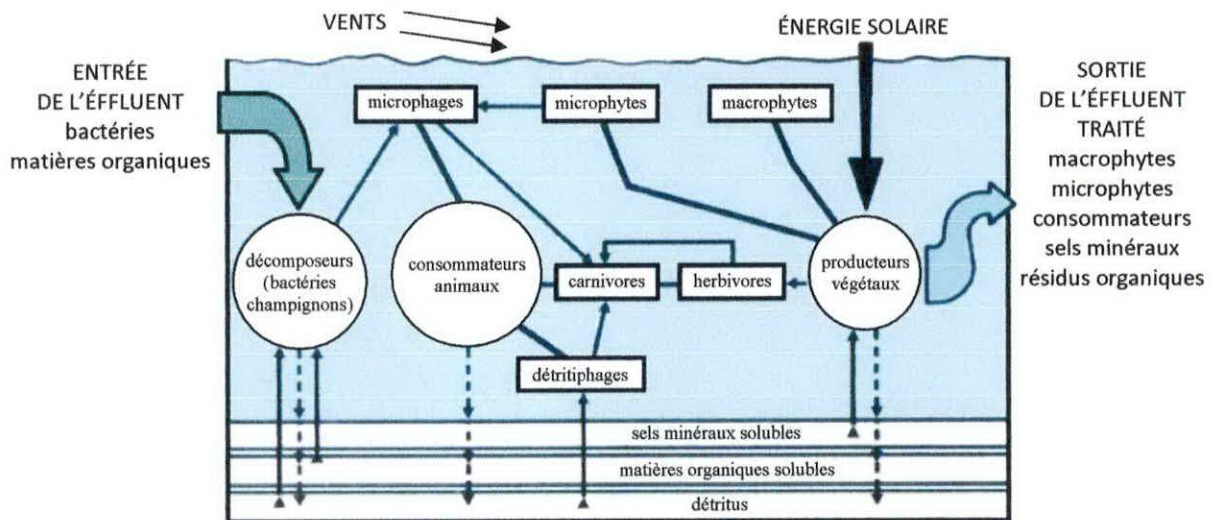


Figure 2 : Cycles biologiques d'une lagune (d'après CEMAGREF dans DEGREMONT, 1989).

La figure 3 illustre un exemple de lagunage constitué de trois bassins (de surface et profondeur décroissant) disposés en série.

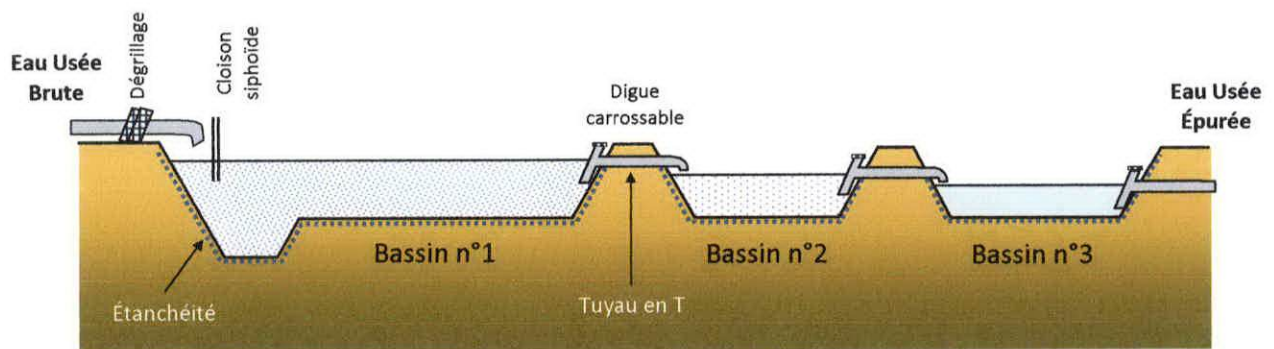


Figure 3 : Schéma d'un lagunage à trois bassins.

3.3. Les différents types de lagunage :

Selon que les lagunes soient artificiellement aérées ou pas, on distingue deux types de lagunages :

3.3.1. Le lagunage naturel :

Ce sont des bassins artificiels et imperméabilisés, de faible profondeur pouvant recevoir des effluents bruts ou prétraités et où la recirculation des boues biologiques décantées n'est pas réalisée, et la concentration de la biomasse épuratrice reste faible. Alimentées d'effluents à traiter, les lagunes naturelles sont nommées étangs de stabilisation (KOLLER, 2004), que l'on classe en fonction des filières de développement des bactéries en trois catégories : anaérobies, aérobies ou facultatifs (mixtes).

Différents assemblages de ces bassins sont possibles en fonction des conditions locales, des exigences sur la qualité de l'effluent final, du débit à traiter, ...

A titre d'exemple, si l'on souhaite un degré de réduction plus élevé des organismes pathogènes, on dispose les bassins en série comme suit : étang anaérobie, facultatif puis anaérobie (CHAIB, 2004).

Le lagunage naturel peut être utilisé, en traitement complet des effluents ou en traitement tertiaire, pour affiner la qualité de l'eau traitée par une boue activée (ex. la désinfection) (DEGREMONT, 1978).

3.3.1.1. Étangs anaérobies :

Les étangs anaérobies sont caractérisés par un manque d'oxygène dissous causé par une forte DBO₅ (100-400 g/m³/jour), et les solides en suspension s'y déposent facilement ; ils forment sur le fond une couche où les bactéries anaérobies décomposent la matière organique. Un des résultats est la production de gaz : l'hydrogène sulfuré (H₂S) et le méthane (CH₄) qui s'échappent vers la surface sous forme de bulles.

Typiquement, ces lagunes ont une profondeur de 2 à 5 m et le temps de séjour de l'effluent y est de 3 à 5 jours. Ils reçoivent des effluents bruts et mènent à des réductions de la DBO₅ de 40 à 60 % et des solides en suspension de 50 à 70 %.

En générale, on n'y trouve pas de micro-algues à cause des conditions défavorables à leur croissance (SEVRIN-REYSSAC et al, 1995).

3.3.1.2. Étangs aérobies :

Les étangs aérobies ou de maturation sont peu profonds (0,8 à 1,2 m) où la lumière peut pénétrer et favorisant le développement d'algues vertes. Par leur action photosynthétique, les algues produisent de l'oxygène qui permet le développement de bactéries épuratrices aérobies (DEGREMONT, 1978).

Le temps de séjour dans ces étangs est beaucoup plus long, de 12 à 18 jours ou plus, et permet un traitement d'effluent déjà partiellement épuré (SEVRIN-REYSSAC et al, 1995). Ces étangs sont caractérisés par (ANRH, 1996)¹ :

- Charge (Kg DBO₅/ha/jour) : 111 à 112 ;
- Rendement (% de DBO₅) : 80 à 95 % ;
- Concentration en algues (mg/l) : 100.

3.3.1.3. Étangs facultatifs :

D'une profondeur de 1 à 2 m et un temps de séjour de 4 à 6 jours (SEVRIN-REYSSAC et al, 1995), ces étangs fonctionnent dans des conditions telle que la partie supérieure entretient un milieu aérobie, riche en algues et en micro-organismes aérobies, alors que le fond, couvert de sédiments organiques, est le siège de fermentation anaérobie ; entre ces deux zones règne un milieu de transition favorable aux bactéries facultatives (BEAUDRY, 1984).

¹ ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

Les fermentations benthiques donnent lieu à un dégagement de méthane (CH_4), de dioxyde de carbone (CO_2), d'hydrogène sulfuré (H_2S) et d'ammoniac, ainsi que de composés organiques de faible masse moléculaire.

Ce produit alimente la flore des zones supérieures et les composés minéraux dégagés entretiennent les algues ; une certaine fraction de ces algues meurent et se sédimentent, venant s'ajouter au lit de boues (BEAUDRY, 1984).

3.3.2. Le lagunage aéré :

Ce sont de vastes bassins constituant un dispositif très proche du procédé à boues activées à faible charge. On y effectue une épuration biologique bactérienne comme celle qui se pratique naturellement dans les étangs, en apportant de l'extérieur par insufflation d'air ou oxygénation au moyen d'aérateurs de surface, l'oxygène nécessaire au maintien des conditions aérobies des bactéries épuratrices.

Bien que théoriquement elle ne s'impose pas, une recirculation de l'eau traitée et parfois des boues biologiques en tête de lagune est souvent pratiquée. Elle permet d'améliorer le mélange complet et d'assurer une meilleure répartition de la biomasse.

Il est rare, en raison de la concentration relativement élevée en matières en suspension, que l'on puisse rejeter directement l'effluent traité à l'exutoire sans décantation finale (KOLLER, 2004).

3.4. Influence des conditions climatiques sur les performances du lagunage :

Le microclimat est le climat local auquel sont soumises les lagunes, il résulte de l'action de plusieurs facteurs qui jouent un rôle important dans l'implantation du lagunage naturel ; ce sont principalement :

3.4.1. La durée du jour et l'intensité de l'ensoleillement :

La durée du jour conditionne, dans une certaine mesure, la vitesse de multiplication du phytoplancton. L'intensité de l'ensoleillement a une influence sur l'activité photosynthétique des végétaux. Si le ciel reste couvert pendant plusieurs jours, surtout en été alors que le phytoplancton est abondant, la production de l'oxygène due à la photosynthèse pendant la journée devient moins importante, ce qui risque d'entraîner une désoxygénation passagère (SEVRIN-REYSSAC et al, 1995).

3.4.2. La température :

Les écarts de température exercent une influence sur le bon fonctionnement des systèmes de lagunage naturel. La croissance des algues est favorisée par une température élevée. Lorsqu'ils sont bien ensoleillés et bien oxygénés, les bassins aérobies ne dégagent pas d'odeur. Un ciel nuageux, plusieurs jours de suite, affaiblit le phénomène de photosynthèse créant ainsi des zones anaérobies dont les produits de fermentation conduisent à de mauvaises odeurs. La température intervient aussi dans le calcul du dimensionnement des installations ; les moyennes mensuelles des cinq dernières années doivent alors être connues (ANRH, 1996).

3.4.3. Le régime des vents dominants dans la région et leur orientation :

Les vents dominants sont ceux dont la direction est la plus fréquente. Ce régime des vents étant connu pour une région donnée, nous permet de fixer l'implantation du système de telle sorte à éviter le rabattement sur les habitations des mauvaises odeurs susceptibles de provenir de l'installation, et de ne pas avoir des effets néfastes sur l'ouvrage (dégradation des digues par batillage) (ANRH, 1996).

3.4.4. L'évaporation :

L'évaporation est un facteur très important. Elle est très intense en période estivale (10 à 15 mm/j). Conjugée à une infiltration importante, elle peut être néfaste et doit donc être prise en considération lors des calculs de dimensionnement des bassins (ANRH, 1996).

3.4.5. La pluviométrie :

Elle devrait également être connue pour le calcul de la hauteur des digues, afin d'éviter tout risque éventuel d'inondation (ANRH, 1996).

3.5. Exploitation du lagunage :

L'exploitation des lagunes aérobies ou facultatives n'exige que peu d'expertise, puisque le préposé à cette tâche ne peut influencer les paramètres fondamentaux à l'exception de la hauteur d'eau.

Il devrait néanmoins, à intervalles réguliers, prendre des mesures de certaines variables telles que le débit d'arrivée, la hauteur d'eau, la charge organique, la turbidité, la température et la DBO de l'effluent ; il doit prendre note des phénomènes anormaux ou singuliers qui peuvent influencer le comportement de l'étang : prolifération inusitée des algues, gel, perte inexplicée de niveau, etc.

Dans le cas des étangs aérés, il convient de vérifier le fonctionnement des dispositifs d'aération et la concentration en oxygène dissous de l'effluent. En revanche, il faut porter une attention particulière à l'entretien général de l'étang, des digues, de la clôture et du terrain compris dans l'enceinte (BAUDRY, 1984).

3.6. Contraintes d'exploitation :

Parmi les contraintes d'exploitation, il faut signaler les suivantes :

- Passage de l'exploitant une à deux fois par semaine ;
- Suppression des mauvaises herbes ;
- Suppression des rongeurs ;
- Suppression des matières flottantes ;
- Limitation de la prolifération d'insectes par l'emploi judicieux d'insecticides ;
- Très faible technicité requise pour l'exploitant ;
- Très faible consommation énergétique (voire nulle) ;
- Curage contraignant et coûteux des boues, tous les 1 à 5 ans, dans le bassin de tête, tous les 10 à 20 ans dans tous les bassins.

3.7. Avantages et inconvénients du lagunage :

3.7.1. Avantages :

Le lagunage naturel présente de nombreux avantages par rapport aux procédés classiques :

- Excellente élimination de la pollution microbologique ;
- Faibles coûts d'investissement et de fonctionnement ;
- Raccordement électrique inutile ;
- Très bonne intégration paysagère ;
- Valorisation aquacole et agricole de la biomasse planctonique produite et des effluents épurés ;
- Boues peu fermentescibles ;
- Bonne élimination de l'azote (70 %) et du phosphore (60 %).

3.7.2. Inconvénients :

A l'inverse, le lagunage naturel présente les inconvénients suivants :

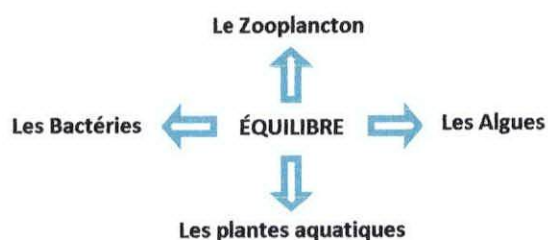
- Variation saisonnière de la qualité de l'eau en sortie ;
- En cas de mauvais fonctionnement, risque d'odeurs, de moustiques, de rongeurs ;
- Emprise au sol importante ;
- Difficultés d'extraction des boues ;
- Pas de réglage possible en exploitation ;
- Sensibilité aux effluents septiques et concentrés.

Conclusion :

Le lagunage est fortement dépendant des conditions climatiques (essentiellement de la température), et la qualité des rejets peut donc varier selon les saisons. L'emprise au sol est relativement importante. Les coûts d'investissement sont non seulement dépendants du prix du terrain, mais aussi de la nature du sol. Sur un sol perméable, il sera indispensable d'ajouter un revêtement imperméable, et dans ce cas, l'investissement peut s'avérer onéreux, voire difficilement abordable.

Malgré ces défauts, le lagunage reste une technique efficace (également pour l'azote, le phosphore et germes pathogènes) bon marché, ne nécessitant pas de construction en dur (génie civil simple) et s'intégrant parfaitement au paysage. De plus, aucun apport d'énergie n'est requis si le terrain est en pente.

Au sein du lagunage naturel et par les processus biologiques qu'ils créent, les organismes jouent un rôle distinct mais complémentaire dans l'épuration des eaux usées en formant un parfait équilibre biologique naturel.



2^{ème} Partie :
Étude
Expérimentale



Chapitre 4

Description de la Zone d'Étude



Introduction :

Le lagunage naturel est l'une des techniques les plus appropriées de traitement des eaux usées pour notre pays, à caractère semi-aride, réunissant toutes les conditions favorables à son exploitation.

Nous avons choisi, pour évaluer l'efficacité de cette technique, de baser le présent mémoire sur l'étude de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous.

Toutefois, Il est essentiel de bien connaître la zone d'étude afin de déterminer et cerner les principaux facteurs influençant le traitement des eaux usées, et de ce fait, la qualité des eaux usées épurées. Ainsi, nous nous intéresserons à l'environnement du site : situation géographique, conditions climatiques et structures sociales locales ainsi qu'aux caractéristiques des eaux usées à traiter. D'autant plus que, c'est en fonction de ces derniers, que se fait le choix même de l'implantation du lagunage naturel.

4.1. Étude du lagunage naturel de Béni-Messous :

4.1.1. Localisation géographique :

La station de lagunage, dont fait l'objet notre étude, se situe dans la commune de Béni-Messous, du côté Ouest de la wilaya d'Alger. Elle se trouve à 5 Km de l'embouchure de l'oued de Béni Messous qui origine à l'Est de la commune de Bouzaréah, traverse les communes de Béni-Messous et Chéraga et débouche du côté Ouest dans la baie d'EL Djamila au niveau de la plage « Les Dunes ». (voir figure 4).

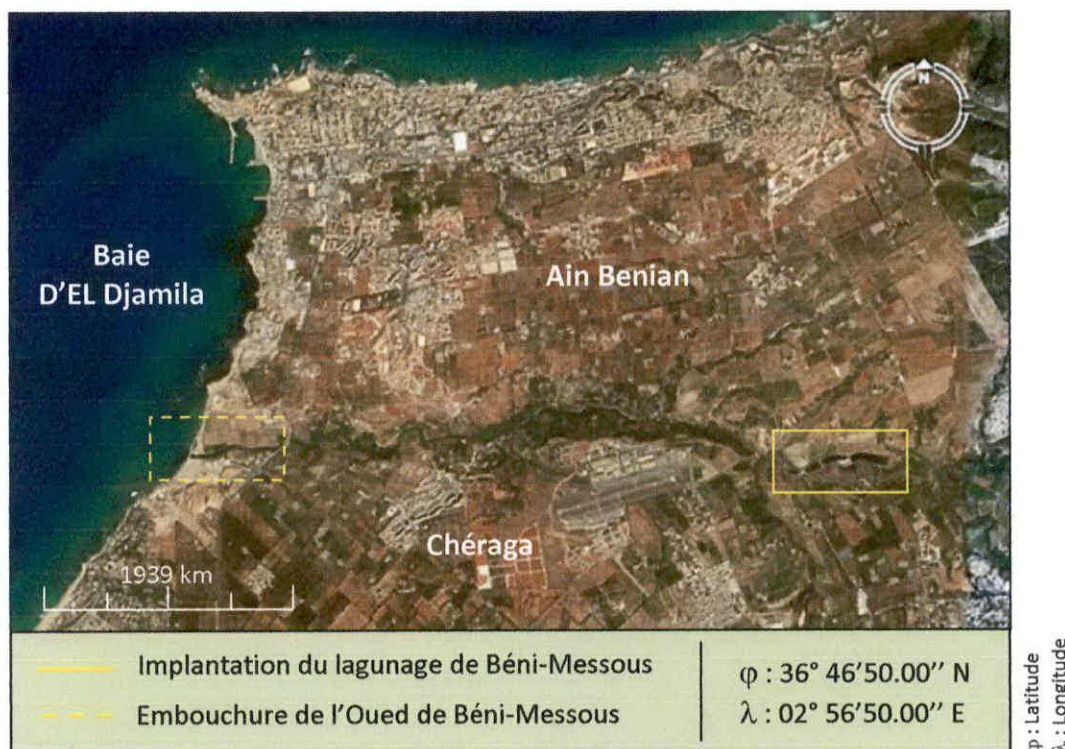


Figure 4 : Localisation géographique du lagunage naturel de Béni-Messous (Google Earth, 2007).

Constituée de quatre bassins en série et occupant environ 13 hectares, la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous s'implante entre la commune de Ain Benian et celle de Chéraga ; à proximité du chemin wilayal, CW n°11 et adjacente à des terres agricoles. (voir figure 5).



Figure 5 : Photo satellite du lagunage naturel de Béni-Messous (Google Earth, 2007).

4.1.2. Dimensionnement et caractéristiques des lagunes :

Le plan schématique du lagunage naturel de Béni-Messous, représenté par la figure 6, présente la série des quatre bassins, en parallèles à l'Oued de Béni-Messous, ainsi qu'un déversoir (dispositif contre les fortes crues) à l'extrémité gauche du premier et du deuxième bassin. Avant d'être acheminées vers le premier bassin de la station, les eaux usées brutes passent par un dégrilleur.

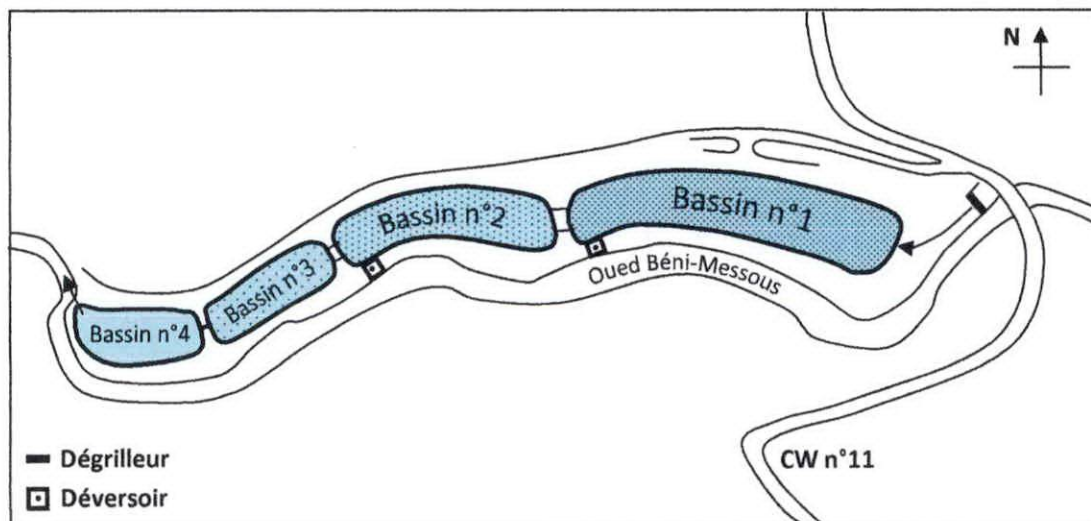


Figure 6 : Schéma du lagunage naturel de Béni-Messous.

Une étude topographique, sur terrain du site, a permis de dimensionner les lagunes. Les résultats des mesures ainsi que les caractéristiques de chacune d'entre-elles sont regroupés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Dimensions et caractéristiques des quatre bassins du lagunage naturel de Béni-Messous. (DHEEWA, 2001)¹.

Bassin n°	Longueur (m)	Largeur (m)	Profondeur (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Caractéristiques
1	300	60	3,5	18000	63000	- Appelé lagune de décantation. - Contient un déversoir pour l'évacuation des eaux usées en cas de fortes crues.
2	175	40	2	7000	14000	- Contient aussi un déversoir. - Son rôle principal est la minéralisation des boues.
3	95	40	1,5	3800	5700	- Permet aussi la minéralisation des boues.
4	80	38	1,5	3040	4560	- Son rôle est l'affinage de l'épuration.

4.1.3. Caractéristiques des eaux usées :

Selon les données fournies par la DHEEWA² (2001), les eaux usées parvenant à la station par lagunage naturel de Béni-Messous sont caractérisées par :

Débit moyen des eaux usées urbaines	8336 m ³ /j
Débit des eaux industrielles	940 m ³ /j
Débit moyen total des eaux	9276 m ³ /j
Débit moyen horaire des eaux	387 m ³ /h
Débit de pointe des eaux usées	773 m ³ /j
DBO ₅ (charge journalière)	5439 Kg/j
DCO (charge journalière)	8640 Kg/j

4.1.4. Temps de séjour dans les lagunes :

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

$$TS = V/Q$$

Où :

TS : Temps de séjour (j) ;

V : Volume du bassin (m³) ;

Q : Débit moyen d'entrée des eaux usées (m³/j).

^{1 2} DHEEWA : Direction de l'Hydraulique et de l'Économie de l'Eau de la Wilaya d'Alger.

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

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

4.2. Étude géologique de la région de Béni-Messous :

Les sols de la région se composent de marnes bleues, de grès et de schistes métamorphiques. Les grès et poudingues carténniens, qui affleurent d'Alger à la commune de Béni Messous, reposent sur les schistes cristallophylliens du massif ancien de Bouzaréah et plongent vers le sud sous les marnes bleues plais anciennes. Ce sont des grès grossiers, peu fissurés, qui débutent par un poudingue mal cimenté remaniant sur 1 à 2 mètres des éléments du massif ancien et qui renferment des lits de gravier discontinus.

Le sol comprend également des sables dunaires fins, par endroits légèrement argileux et cimentés à la base en un gré calcaire constituant de petites corniches. L'épaisseur de cet ensemble n'excède pas 50 mètres.

Les conditions géologiques sont particulièrement identiques dans toute la région considérée. Les dépôts alluvionnaires, qui comblent le fond des vallons, sont essentiellement argileux et très peu perméables. Seuls les grès et poudingues carténniens sont perméables. Ces derniers sont atteints à 50 mètres de profondeur. Les profils et sondages réalisés à proximité du site laissent apparaître les couches supérieures du sous-sol composé essentiellement de sables.

4.3. Étude hydrologique de la région de Béni-Messous :

Le substratum rattaché aux nappes phréatiques du sahel est caractérisé par une bonne perméabilité.

Les grès et poudingues carténniens qui affleurent d'Alger à la commune de Béni-Messous contiennent une nappe qui s'épanche par quelques petites sources descendant vers l'Oued Béni Messous. Cette nappe, liée dans la zone de l'affleurement à la nappe phréatique des terrains anciens, se met en charge vers le sud sous les marnes bleues. De petites nappes libres existent, elles sont alimentées exclusivement par la pluviométrie et s'écoulent vers la mer.

4.4. Étude démographique de la population concernée :

Selon les données recueillies lors du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) de 2004 pour les communes concernées par l'Oued de Béni-Messous (auquel est rattaché le lagunage naturel), le nombre d'habitant pour chaque commune est :

Commune	Nombre d'habitant
Béni-Messous	19407
Chéraga	66991
Dély Ibrahim	34361
Bouzaréah	75797
TOTAL	196556

4.5. Description des conditions climatiques :

Dans un système lagunaire, le climat affecte, de façon directe, les processus biologiques qui s'y déroulent, et par conséquent, le rendement épuratoire des lagunes.

Le climat est une synthèse de la variation des conditions atmosphériques d'une région sur une période d'environ 10 ans. Elle est réalisée à l'aide de moyennes établies à partir de mesures statistiques (annuelles et mensuelles) se basant sur les données atmosphériques locales.

A l'aide des données climatiques recueillies entre 1995 et 2005 par l'Office National de la Météorologie (ONM), pour la région de Béni-Messous (voir annexe 3), nous pouvons étudier les principales conditions climatiques intervenant dans le bon fonctionnement du lagunage naturel, à savoir : la température, l'ensoleillement, les vents, la pluviométrie et l'évaporation.

4.5.1. Température :

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

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

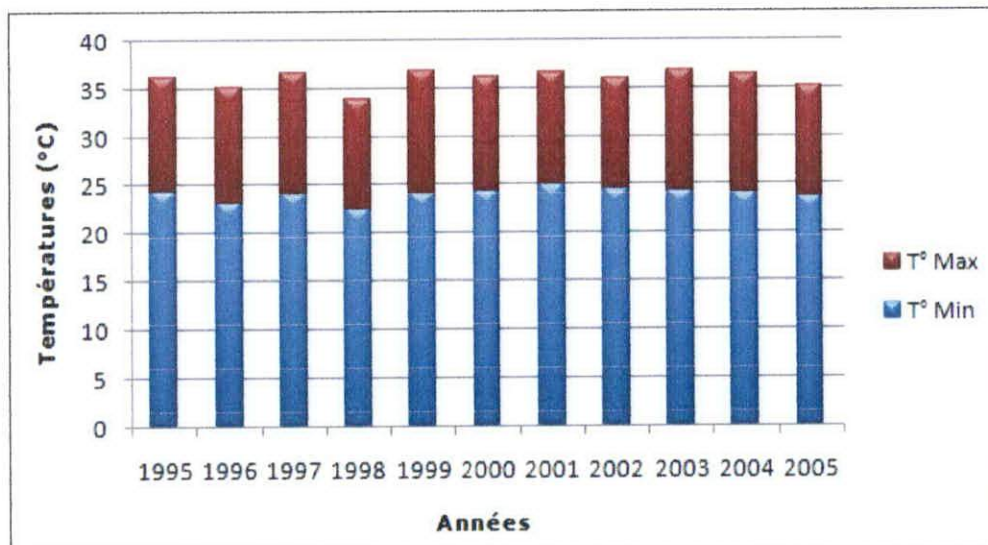


Figure 7 : Profil de variation des températures moyennes de l'air.

4.5.2. Ensoleillement :

La région de Béni-Messous est caractérisée par un été ensoleillé et un hiver nuageux.

La figure suivante révèle l'existence de trois périodes où l'ensoleillement est :

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

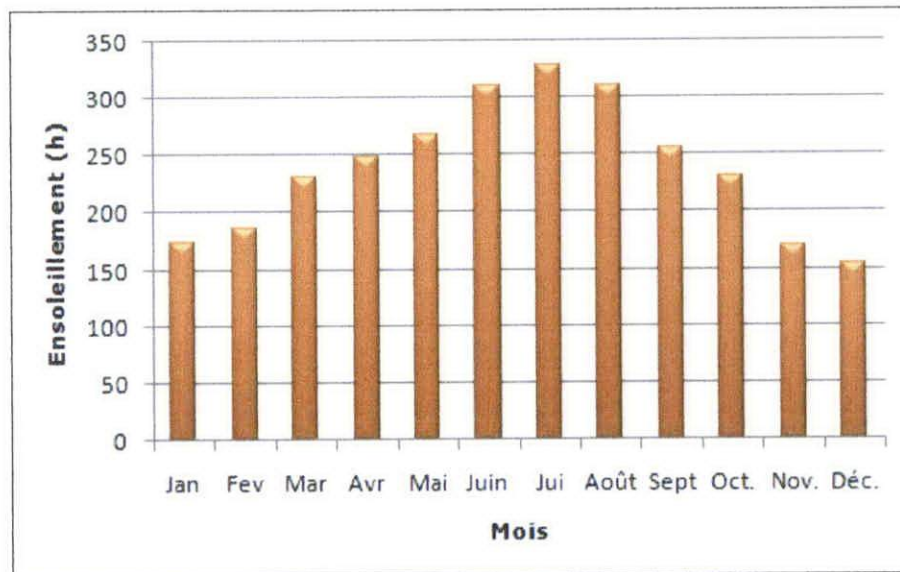


Figure 8 : Profil de l'ensoleillement mensuel moyen dans la région de Béni-Messous.

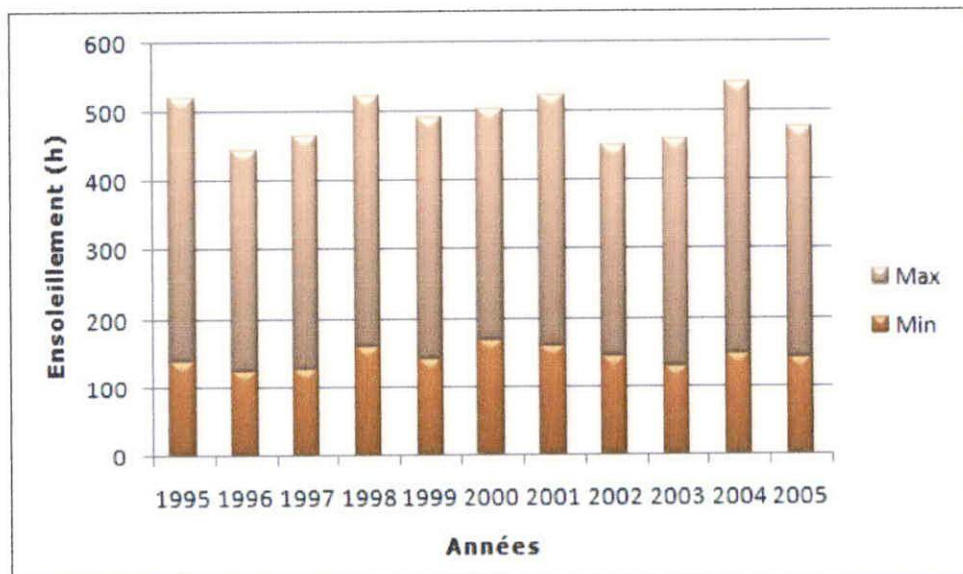


Figure 9 : Profil de variation de l'ensoleillement.

4.5.3. Vents :

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

Tableau 6 : Répartition annuelle des vents sur huit directions dans la région de Béni-Messous (ONM, 1960-2004).

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

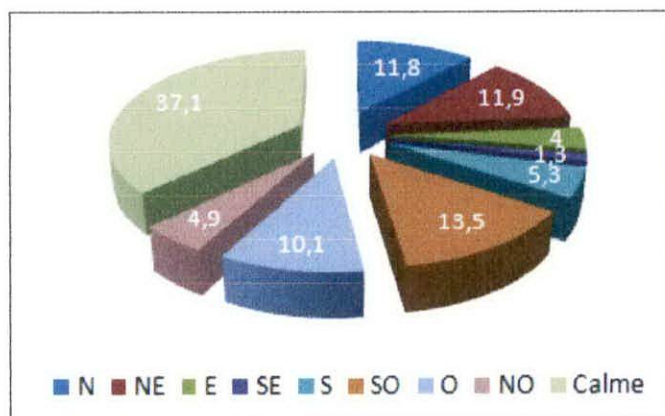


Figure 10 : Répartition annuelle des vents sur huit directions de la région de Béni-Messous (en %).

4.5.4. Pluviométrie :

À Béni-Messous, les pluies sont fréquentes en automne et en hiver et diminuent dès la fin du printemps et deviennent presque nulles en été.

Deux saisons humides se distinguent : l'une allant du mois de Novembre au mois de Février où la moyenne mensuelle maximale atteint 93 mm et l'autre plutôt sèche allant du mois de Juin au mois d'Octobre avec un minimum de 1,95 mm. Il existe cependant, une période transitoire entre Mars et Mai où les précipitations moyennes varient entre 45 et 64 mm.

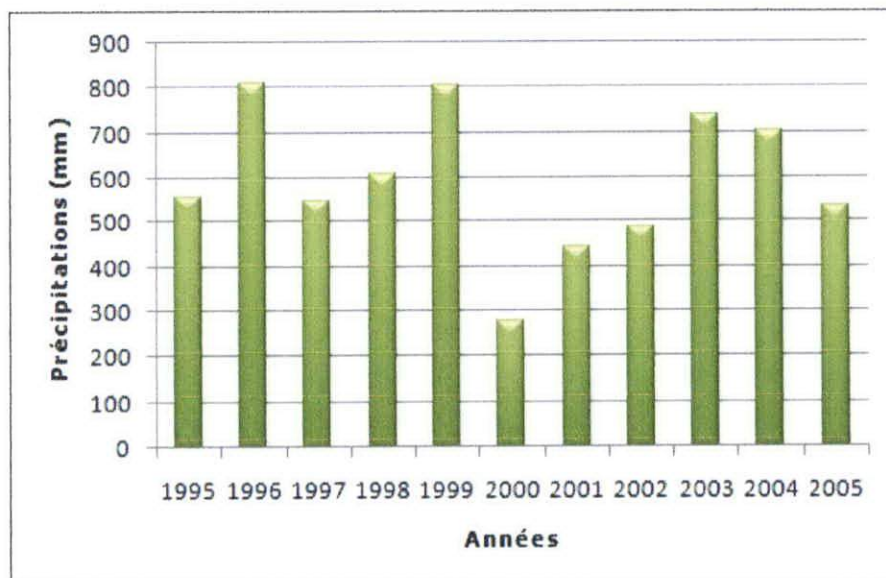


Figure 11 : Précipitations annuelles dans la région de Béni-Messous.

4.5.5. Évaporation :

L'évaporation dans la région de Béni-Messous atteint son maximum au mois d'août avec une valeur de 141 mm ; tandis qu'au mois de février, elle enregistre sa moyenne mensuelle minimale avec une valeur de 52 mm. La moyenne annuelle est de 1104 mm.

La figure 12 indique qu'il existe trois périodes :

- ① Une première, où l'évaporation est plus importante que les précipitations correspondant ainsi à une saison sèche de Mai à Octobre ;
- ② Une deuxième, où les précipitations sont plus importantes de Novembre à Février ;
- ③ Une troisième, de transition, où l'évaporation est légèrement supérieure aux précipitations et qui ne dure que deux mois, de Mars à Avril.

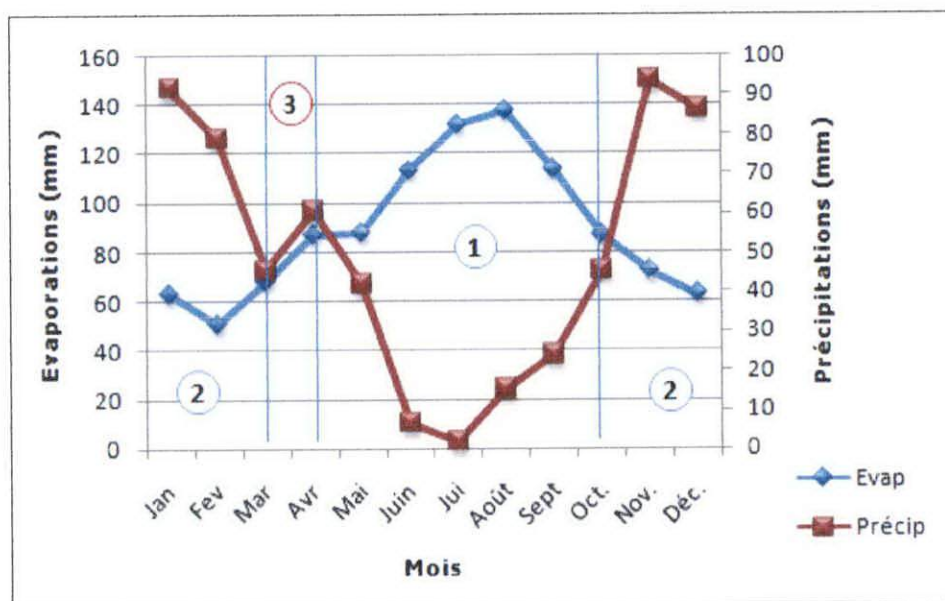


Figure 12 : Profil évaporations-précipitations de la région de Béni-Messous.

Conclusion :

La lagune de Béni-Messous s'implante dans une région caractérisée par un climat méditerranéen ; avec un hiver plutôt humide et doux et un été relativement chaud et aride. En effet, la région de Béni-Messous connaît une saison humide de sept mois et une saison sèche de cinq mois correspondant à la période estivale.

Contrairement à l'hiver où l'activité biologique dans les lagunes est ralentie, en été, elle atteint son optimum par les températures modérées enregistrées dans la zone, ainsi que par un fort ensoleillement, une grande évaporation et une pluviométrie presque nulle.



Chapitre 5

Matériels et Méthodes



Introduction :

Dans toute station d'épuration des eaux usées il est nécessaire d'effectuer des analyses de l'eau brute et de l'eau traitée afin de déterminer les différents paramètres physicochimique et bactériologiques permettant d'évaluer le niveau de pollution dans chaque phase de traitement. Les analyses ne sont valides que si le prélèvement et l'échantillonnage ont été entourés de soins suffisants ; la séquence prélèvement-échantillonnage-conservation-analyse constitue alors une chaîne cohérente pour la quelle on aura conscience de ne négliger aucun maillon.

5.1. Prélèvement et échantillonnage :

Le prélèvement est l'opération qui consiste à prendre une partie aliquote du milieu à étudier ; alors que l'échantillonnage consiste à retenir une fraction du prélèvement sur laquelle sera effectuée l'analyse.

L'échantillonnage peut se faire sans prélèvement intermédiaire, l'eau est prise directement dans des flacons sans transiter par une bouteille de prélèvement, c'est l'étape la plus délicate dans la chaîne de mesure de la qualité des eaux, car elle conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. Il conviendra donc que :

- d'une part, toutes les précautions soient prises pour que l'eau prélevée subisse le minimum de modification entre l'instant du prélèvement et celui de l'analyse.
- d'autre part, les échantillons soient homogène et aussi représentatif que possible du milieu.

On distingue deux types d'échantillons :

A- L'échantillon ponctuel :

L'échantillon ponctuel est celui où l'ensemble du volume constituant l'échantillon est prélevé en une seule fois. Ce type d'échantillons est utile pour déterminer la composition d'une eau résiduaire à un instant donnée. Ce type d'échantillon est généralement prélevé manuellement en utilisant des récipients ou flacons, mais l'emploi d'équipement automatique est également possible.

B- L'échantillon composite :

Ce sont des échantillons préparés par mélange de plusieurs échantillons ponctuels. Il existe deux types d'échantillons composites :

- échantillons dépendant du temps ;
- échantillons dépendant du débit.

5.2. Conditionnement des échantillons :

Lors de l'échantillonnage, il est nécessaire de respecter un certain nombre de règles qui visent à faire un flaconnage correct et un étiquetage précis afin d'assurer une conservation et traçabilité des échantillons. Le matériel d'échantillonnage doit être, de préférence, constitué d'un matériau inerte non susceptible de perturber les analyses effectuées sur l'échantillon, la pratique courante consiste à employer des récipients en polyéthylène ou en verre borosilicaté.

Le tableau en annexe 4 récapitule le type de récipients appropriés aux différents paramètres à étudier.

Avant de commencer le prélèvement, il convient de nettoyer le matériel avec de l'eau et du détergent puis le rincer à l'eau (voir annexe 5). On peut avant utilisation, rincer le matériel d'échantillonnage dans l'eau dans laquelle sera effectué le prélèvement, afin de réduire au minimum le risque de contamination.

La désignation des échantillons se traduit dans la pratique par l'étiquetage ou le marquage de chaque flacon d'échantillon d'eau. Il est indispensable de repérer l'ensemble des récipients contenant les échantillons de façon claire et durable afin de permettre leur identification sans ambiguïtés en laboratoire. La solution la plus judicieuse consiste à opérer par une des deux désignations possibles suivantes (voir annexe 6) :

- soit les flacons sont désignés par une étiquette où sont indiquées l'origine de l'échantillon et les conditions dans lesquelles il a été prélevé ;
- soit il est possible de simplifier cette opération en utilisant un système d'étiquettes numérotées ou codées.

5.3. Conservation des échantillons :

Pour avoir des résultats analytiques significatifs, il est très important de connaître le devenir de l'échantillon entre le prélèvement et l'analyse. Le moyen le plus courant de conservation des échantillons d'eaux résiduaire consiste à les garder dans une valise isotherme de température comprise entre 0 et 4°C jusqu'à leur arrivée au laboratoire dans un temps ne dépassant pas les 24 heures.

Pour stabiliser un échantillon ou du moins, ralentir toutes réactions éventuelles, il n'existe pas de panacée. On recommande de prendre pour chaque analyse des précautions particulières et parfois, d'ajouter des agents chimiques (conservateurs) (voir annexe 4) afin d'éviter certaines transformations lors du transport ou certaines interférences au moment de l'analyse en laboratoire.

5.4. Application au lagunage de Béni-Messous :

En application aux recommandations de prélèvement, d'échantillonnage et de conservation cités précédemment et en rapport avec notre objectif de déterminer la pollution résiduelle et qui nécessite qu'un seul prélèvement, nous avons procédé à un échantillonnage ponctuel et ce, à partir d'un prélèvement manuel effectué le : 06 Juin 2007 dans chaque bassin de la lagune de Béni-Messous, comme suit :

- aux entrées E1, E2, E3, E4 relatives aux bassins B1, B2, B3, B4 respectivement ;
- à la sortie S du dernier bassin (B4).

Il est à noter que la journée du prélèvement a été choisie de façon à ce que l'accès aux digues et donc aux points de prélèvement, soit plus facile.

Nous avons employé un flaconnage (soigneusement étiqueté) correspondant à chaque paramètre de pollution à mesurer (voir annexe 4) dont la méthode d'analyse est passée en revue ci-après.

5.5. Analyses et modes opératoires :

Les analyses doivent être faites le plus tôt possible après le prélèvement pour permettre d'avoir des résultats représentatifs. Elles regroupent la mesure de paramètres insitu ainsi que de paramètres au laboratoire :

5.5.1. Paramètres insitu :

Un certain nombre de paramètre physicochimique de l'eau ne peuvent être mesurés que sur terrain car les valeurs peuvent évoluer très rapidement dans les échantillons prélevés. Ce sont principalement : la température de l'eau et son pH.

5.5.1.1. La température de l'eau :

La température de l'eau est l'exemple même du paramètre qui évolue très vite après le prélèvement, en particulier quand l'écart avec celle de l'air est important. Par ailleurs, la nécessité de transporter les échantillons à basse température rend obligatoire la mesure sur site.

A- Appareillage :

La mesure de la température de l'eau est aujourd'hui réalisée à l'aide d'un appareil électrométrique, une thermosonde. Cependant, il est toujours possible d'utiliser un thermomètre.

B- Mode opératoire :

La température de l'eau sera prise en même temps que le prélèvement de l'échantillon. L'immersion dans le milieu à étudier devra être d'une durée suffisante pour que la valeur affichée soit stabilisée. En cas d'impossibilité de mesure au sein même des lagunes, on prélèvera l'eau dans un seau de 5 à 10 litres de capacité et on y plongera immédiatement l'appareil de mesure soigneusement étalonné. On procédera à la lecture de la température, dès que la stabilisation est observée, en laissant la sonde dans l'eau.

C- Expression des résultats :

La précision recherchée pour ce paramètre est habituellement de l'ordre de 0,5°C. Avec les appareils électrométriques, la précision sur la mesure proprement dite peut atteindre $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

5.5.1.2. Le potentiel d'Hydrogène (pH) :

Parmi tous les paramètres physico-chimiques analysés sur le terrain, c'est un des plus délicats à mesurer correctement.

Il est recommandé de déterminer le pH des eaux in situ de façon à ne pas modifier les équilibres ioniques par suite d'un transport ou d'un séjour plus ou moins prolongé des échantillons d'eau dans des flacons. Le pH est mesuré avec un appareil électrométrique avec électrode de verre, le pH-mètre.

A- Appareillage :

Un pH-mètre est composé d'une électrode de verre, d'une électrode de référence au calomel-KCl saturé et d'un dispositif potentiométrique. Indépendamment du dispositif potentiométrique dont les caractéristiques techniques peuvent varier, il existe un très grand nombre d'électrodes dont les spécificités sont propres à chaque constructeur et à chaque domaine d'utilisation.

Le préleveur se rapportera donc aux recommandations établies par le fabricant (domaine et gamme d'utilisation, fréquence d'étalonnage, solution tampon, durée de vie de la sonde...).

B- Mode opératoire :

L'étalonnage étant réalisé et l'appareil ayant acquis son régime de marche, l'électrode est plongée dans la solution à mesurer. La lecture est effectuée après stabilisation du pH-mètre ce qui peut prendre plusieurs minutes. Veiller à ce que la température de l'échantillon ne varie pas pendant la mesure.

C- Expression des résultats :

Le plus souvent la précision recherchée est de l'ordre de $\pm 0,05$ unité pH. Une manipulation rigoureuse, avec des contrôles d'étalonnage fréquents, permet d'atteindre une précision de $\pm 0,02$ unité pH. Les résultats sont exprimés en unités de pH, à la température de mesure qui doit être indiquée, sous la forme :

$$\text{pH à XX}^\circ\text{C} = \text{XX,XX}$$

5.5.2. Paramètres mesurés au laboratoire :

Aussi tôt arrivés au laboratoire, les échantillons sont soumis à une série d'analyses qui permettent d'apprécier la qualité de l'eau brute et traitée, de mesurer leur degré de pollution et de contrôler l'efficacité du traitement qu'elles ont subi.

Nous nous intéressons principalement dans le lagunage de Béni-Messous à la détermination de la pollution résiduelle qui permet d'évaluer la pollution due à la présence des micro-algues par l'estimation des paramètres : matière en suspension (MES), demande chimique en oxygène (DCO) et demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO₅) dont le mode opératoire est décrit ci-après.

5.5.2.1. Matières en Suspension (MES) :

Selon le domaine d'application, la quantité d'eau à analysé et la qualité présumée des matières suspendues dans l'eau, Le protocole de détermination des matières en suspension (MES) se basera sur l'une des méthodes expérimentales suivantes :

- La néphélométrie ;
- La centrifugation ;
- La filtration.

Dans le cas de l'analyse des eaux usées, il est recommandé de procéder par filtration sur couche d'amiante ou sur filtre en fibre de verre pour les échantillons d'eaux traitées et par centrifugation pour les échantillons d'eaux brutes et chargées afin d'éviter le colmatage des filtres.

Le choix de la filtration sous vide avec membrane filtrante en fibre de verre s'est imposé, dans notre cas, d'une part, en raison de sa rapidité et de sa simplicité à mettre en œuvre, et d'autre part, de la possibilité de récupérer le filtrat (fraction dissoute) nécessaire pour la détermination de la pollution résiduelle.

A- Principe de la filtration :

Cette méthode se base sur le passage d'un échantillon d'eau de volume V à travers un filtre en fibre de verre de $0,47 \mu\text{m}$. Le poids de matière retenue par le filtre, noté P , est déterminé par pesée différentielle (avant et après filtration). La concentration des matières en suspension (MES) ne sera donc que le rapport de ce poids sur le volume d'eau analysé.

B- Matériel utilisé :

- Dispositif de filtration ;
- Balance ;
- Capsules ;
- Filtres en fibre de verre porosité de $0,47 \mu\text{m}$;
- Étuve.

C- Mode opératoire :

- Rincer le filtre à l'eau distillée et le sécher à l'étuve à 105°C environ 30 à 60 min ;
- Laisser refroidir puis peser le filtre sec et noter son poids P_1 ;
- Homogénéiser l'échantillon à analyser ;
- Filtrer sous vide un volume V de l'échantillon mesuré à l'aide d'une éprouvette graduée ;
- Sécher, refroidir et peser une seconde fois le filtre. Son poids est noté P_2 .

Note : Ne mettre l'eau que petit à petit, toujours en homogénéisant bien pour ne pas avoir à filtrer de trop grands volumes sur un filtre colmaté.

C- Expression des résultats :

La concentration de la matière en suspension en mg/l dans l'échantillon analysé est obtenue par la relation suivante :

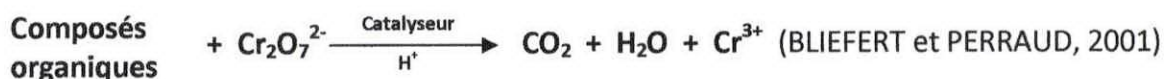
$$[\text{MES}] = ((P_2 - P_1)/V) \cdot 10^3$$

Où :

- P_1 : Poids du filtre sec avant filtration (en mg) ;
- P_2 : Poids du filtre sec après filtration (en mg) ;
- $P_2 - P_1$: Poids de la matière retenue par le filtre sec ;
- V : Volume de la prise d'eau (en ml).

5.5.2.2. Demande Chimique en Oxygène (DCO) :

La détermination de la DCO se fait essentiellement par oxydation avec le dichromate de potassium, $K_2Cr_2O_7$ dans une solution portée à ébullition à reflux pendant 2 heures en présence d'ions Ag^+ comme catalyseurs d'oxydation et d'ions Hg^{2+} permettant de complexer les ions chlorures (Norme NF T 90-10, équivalente ISO 6060). D'une manière simplifiée, on peut décrire cela par la réaction :



Plus il y a de substances oxydables dans un échantillon d'eau, plus on utilise de dichromate. La DCO est déterminée par le dosage de l'excès de dichromate titré avec du sulfate de fer et d'ammonium (sel de Mohr) car la quantité de matière oxydable est proportionnelle à la quantité de dichromate réduit.

A- Matériel nécessaire :

- DCO-mètre ;
- Granules : pierres ponce ou billes de verre.

B- Réactifs à utiliser (voir annexe 7 pour leur préparation) :

- Solution d'acide sulfurique et sulfate d'argent ;
- Solution sulfate de fer (II) et d'ammonium (sel de Mohr) $[(NH_4)_2 Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ à 0,12 mol/l ;
- Solution de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) à 0,04 mol/l et contenant du sulfate de mercure (II) ;
- Hydrophthalate de potassium ($KC_8H_5O_4$) à 2,0824 mmol/l ;
- Ferroïne.

C- Mode opératoire :

- Transvaser 10 ml de l'échantillon pour l'analyse (diluer si nécessaire) dans le tube de l'appareil, ajouter 5 ml de solution de dichromate de potassium et quelques régulateurs d'ébullition (granules : billes de verre) ;
- Ajouter avec précaution 15 ml d'acide sulfurique et sulfate d'argent et raccorder immédiatement le tube au réfrigérant ;
- Répéter les deux étapes précédentes pour tous les échantillons à analyser mais aussi pour deux échantillons à blanc (10 ml d'eau distillée) et un essai témoin (10 ml d'hydrogénéphthalate de potassium) ;
- Amener le mélange réactionnel à l'ébullition pendant 120 minutes à $150^\circ C$;
- Rincer les réfrigérants à l'eau distillée et refroidir les tubes ;
- Enlever le réfrigérant et diluer à 75 ml et laisser refroidir ;
- Titrer l'excès de dichromate avec la solution de sel de Mohr en présence d'une ou de deux gouttes de l'indicateur coloré Ferroïne.

D- Expression des résultats :

La DCO exprimée en mg d' O_2 /l est donnée par la formule :

$$DCO = 8000 \times C_{Fe}(VT - V_E) / E$$

Où :

C_{Fe} : Concentration de la solution de sel Mohr déterminée par étalonnage, soit dans le cas présent 0,12 mol/l ;

E : Volume de la prise d'essai en ml ;

VT : Volume en ml de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium titré pour l'essai à blanc ;

V_E : Volume en ml de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium titré pour l'échantillon ;

8000 : Masse molaire en mg/l de $\frac{1}{2} O_2$.

Note : On doit vérifier la validité de la méthode en calculant la DCO de l'essai témoin, qui doit être de 500 mg d' O_2 /l, en remplaçant dans l'équation V_E par V_R .

Où :

V_R : Volume en ml de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium titré pour l'essai témoin ;

Avec la valeur de la DCO, contrairement à la valeur de la DBO_5 , les composés difficilement dégradables ou non dégradables biologiquement sont également mesurés.

Tableau 7 : Valeurs typiques de DCO (BLIEFERT et PERRAUD, 2001)

DCO (en mg/l)	Type d'eaux usées/substrat
5 ... 20	eaux courantes
20 ... 100	eaux usées communales après épuration biologique
300 ... 1000	eaux usées communales non épurées
22 000	eaux d'infiltration de décharges

5.5.2.3. Demande Biologique en Oxygène en 5 jours (DBO_5) :

On dispose pour la détermination de la DBO_5 de deux catégories de méthodes :

- par dilution : ces méthodes ont pour principe d'établir une dilution de l'eau riche en matières organiques par une eau apportant l'oxygène dissous dont on mesure la quantité résiduelle dans des conditions opératoires bien déterminées.
- par un système de mesure OxiTop : utilisation d'un appareillage pour la mesure de la DBO_5 .

Nous opterons pour l'utilisation d'un système de mesure OxiTop pour la raison que ce système est plus pratique, rapide et donne des résultats représentatifs.

A- Instruments et produits nécessaires :

- Système de mesure OxiTop ;
- Système d'agitation à induction ;
- Armoire thermostatique (T° à 20 $^\circ C$) ;
- Flacons bruns et fiole jaugée ;
- Godets en caoutchouc ;
- Extracteur magnétiques et barreaux aimantés ;
- Pastilles de soude (NaOH).

B- Sélection du volume d'échantillon :

- Estimer la valeur de la DBO₅ à 80 % de la valeur de la DCO ;
- Déterminer la plage de mesure correspondante dans le tableau en annexe 8.

D- Mode opératoire :

- Introduire le volume V correspondant à la gamme d'estimation de la DBO₅ par rapport à la DCO du même échantillon dans un flacon brun en verre contenant un barreau magnétique ;
- Placer un godet en caoutchouc contenant deux pastilles de soude (NaOH) servant à absorber le CO₂ produit lors de la consommation de l'oxygène (les pastilles ne doivent jamais être en contact avec l'échantillon) ;
- Visser l'OxiTop directement sur le flacon ;
- Lancer la mesure en appuyant sur S et M simultanément (deux secondes) jusqu'à ce que l'afficheur indique 00 ;
- Maintenir, dans une armoire thermostatique, le flacon de mesure avec l'OxiTop à 20 °C pendant 5 jours. Après que la température de mesure soit atteinte (au maximum après 1H), l'OxiTop lance automatiquement la mesure de la consommation de l'oxygène ;
- l'échantillon est agité en continu pendant 5 jours. L'OxiTop mémorise automatiquement une valeur toutes les 24 heures sur 5 jours. Pour connaître la valeur courante, il faut appuyer sur la touche M.

D- Expression des résultats :

La DBO₅ s'exprime en mg d'O₂/l et s'obtient par la multiplication de la valeur affiché par l'OxiTop après 5 jours d'incubation à 20°C par le facteur correspondant au volume échantillonné qui est donné par la gamme d'estimation (voir annexe 8).

La différence entre la DCO et la DBO₅ vient des substances présentes dans l'eau qui ne peuvent pas être décomposées microbiologiquement. Parce que tous les polluants ne sont pas totalement décomposables, la valeur de la DBO₅ se situe en dessous de celle de la DCO.

Tableau 8 : Valeurs typiques de DBO₅ (BLIEFERT et PERRAUD, 2001).

DBO ₅ (en mg/l)	Type d'eaux usées/substrat
6	cours d'eaux courantes modérément pollués
20	eaux communales après traitement biologique
250	eaux communales non épurées
> 5000	eaux usées de l'industrie alimentaire
13 000	eaux de ruissellement sous les décharges

5.6. Classes de qualité des eaux :

On considère qu'une eau est polluée lorsque, la concentration en oxygène dissous est située au-dessous d'une certaine valeur limite ; car la consommation d'oxygène dans l'eau est principalement due à des substances polluantes qui sont biologiquement dégradables. Quelques substances inorganiques appartiennent à cette catégorie, mais la plupart des composés qui utilisent l'oxygène sont de nature organique.

On dispose de plusieurs possibilités pour caractériser une eau avec des indicateurs. Dans le tableau suivant, à coté de la teneur en oxygène sont données entre autre la valeur de la DCO et de la DBO₅ correspondantes.

Tableau 9 : Classement des eaux de surfaces stagnantes et courantes d’après leur qualité (BLIEFERT et PERRAUD, 2001).

Classe de qualité	Taux de saturation en O ₂ (en %)	Oxygène dissous (en mg/l)	DBO ₅ (en mg/l)	DCO (en mg/l)	Qualité de l’eau
1A	≥ 90	≥ 7	≤ 3	≤ 20	excellente
1B	70 ... 90	5 ... 7	3 ... 5	20 ... 25	bonne
2	50 ... 70	3 ... 5	5 ... 10	25 ... 40	moyenne
3	< 50	< 3	10 ... 25	40 ... 80	médiocre
4	-	-	> 25	> 80	Hors classe

- 1A :** Qualité excellente - absence de pollution : qualité d’eau normale ;
- 1B :** Qualité d’eau bonne - pollution modérée : eau possédant des propriétés requises pour la vie et la production des poissons, ainsi que pour la production d’eau destinée à l’alimentation humaine après traitement simple ou normal ;
- 2 :** Qualité moyenne - pollution nette : eau possédant des propriétés requises pour la vie piscicole mais où la reproduction du poisson est aléatoire, et permettant la production d’eau destinée à l’alimentation humaine après traitement poussé (affinage et stérilisation) ;
- 3 :** Qualité mauvaise - pollution importante : eau dans la quelle la vie piscicole est aléatoire et impropre à la production d’eau destinée à l’alimentation humaine ;
- 4 :** Hors classe - pollution très importante : dégradation du milieu, possibilité de mort biotique ou azoïque.

Conclusion :

Un certain nombre de mesures seront effectuées obligatoirement sur le terrain, de préférence dans les lagunes même, sinon dans un récipient de grande capacité : température et pH par exemple. Ces mesures sont réalisées à l’aide de sondes spécifiques et effectuées selon les normes en vigueur, en se conformant aux instructions du fabricant. Les appareillages doivent avoir fait l’objet, auparavant, d’un étalonnage ou calibrage en laboratoire ou sur site. La lecture de la mesure se fait après stabilisation de la valeur. Les résultats seront consignés dans une fiche de terrain.

Le préleveur utilisera obligatoirement les flacons appropriés aux analyses. Il vérifiera leur conformité et leur propreté avant de partir sur terrain. Le repérage des flacons sera fait à l’aide d’une étiquette stable sur laquelle seront portés les éléments permettant d’identifier facilement l’échantillon : soit une étiquette codée, soit une étiquette comportant au minimum l’identification de la station et la date du prélèvement.

Les échantillons seront transportés au laboratoire à l’obscurité dans une enceinte réfrigérée à une température entre 0 et 4°C. Ils seront livrés dans un délai maximum de 24 heures. Au laboratoire, l’analyste identifie les échantillons et applique rigoureusement le protocole de chaque paramètre à mesurer et dresse ensuite les résultats sur une fiche récapitulative.

Les analyses appliquées (selon les normes en vigueur) aux échantillons prélevés du lagunage naturel de Béni-Messous durant la journée du : 06 Juin 2007 se sont correctement déroulées pour donner les résultats présentés avec leur interprétations dans le chapitre suivant.



Chapitre 6

Résultats et Interprétations



Introduction :

L'analyse des échantillons terminée, il convient de présenter les résultats de telle façon qu'ils soient facilement exploitables pour déterminer la pollution résiduelle de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous. Il est également présenté, dans ce qui suit, l'interprétation des résultats obtenus pour chaque paramètre analysé.

6.1. La température :

Obtenue par la moyenne de l'entrée et de la sortie de chaque bassin, la température dans les lagunes augmente significativement de 21,4°C dans le bassin de tête à 23,2°C dans le bassin de sortie. Cette augmentation est due à la fois, à la profondeur décroissante des bassins mais également, à leur surface de contact avec l'air qui diminue aussi. En effet, plus la profondeur et la surface de contact eau-air d'un bassin sont moins importants, plus celui-ci s'échauffe.

Tableau 10 : Températures, profondeurs et surface de contact air-eau des quatre bassins du lagunage de Béni-Messous.

Bassin	B1	B2	B3	B4
Température (°C)	21,4	21,9	22,8	23,2
Profondeur (m)	3	2	1,5	1,5
Surface de contact eau-air (m ²)	18000	7000	3800	3040

La température moyenne de l'eau des lagunes est de 22,25°C.

Avec uniquement 23,2°C et comme illustré sur la figure 13, la température de l'eau en sortie respecte largement la norme fixée à 30°C (voir tableau 1).

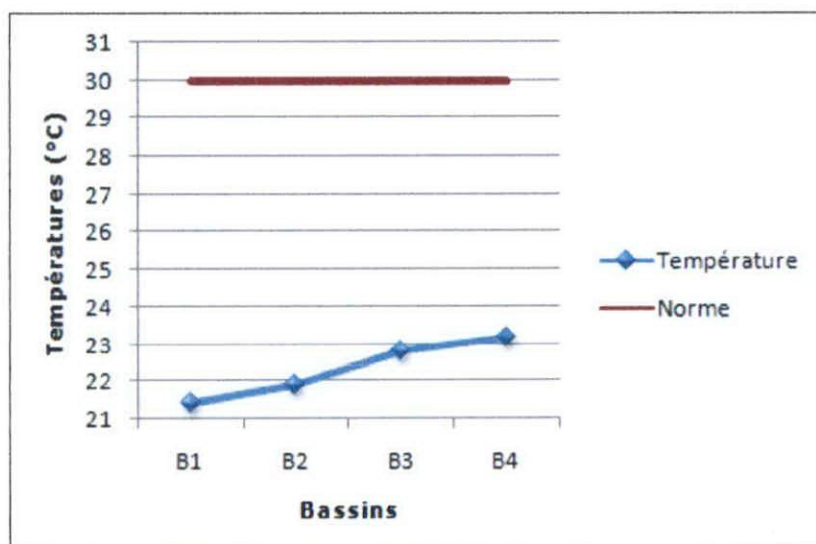


Figure 13 : Températures des bassins de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous.

6.2. Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Avec un minimum de 7,4 dans le premier bassin et un maximum de 8,7 dans le troisième bassin (calculés par la moyenne de l'entrée et de la sortie de chaque bassin), selon GAUJOUS (1995), le pH reste compris entre 6 et 9, ce qui n'as pas d'incidence écologique forte sur les organismes aquatiques.

D'après SEVRIN REYSSAC et al (1995), dans le cas de très fortes densités algales, le pH reste très élevé, généralement supérieur à 8,3. Ceci explique la valeur maximale atteinte dans le troisième bassin qui comme on peut le voir sur la figure 14, dépasse même la norme limitée à 8,5. Ceci dit, ce pH élevé favorise la volatilisation de l'azote ammoniacal dans l'atmosphère. En effet, ce phénomène appelé « Stripping » permet d'éliminer par entrainement gazeux des quantités d'autant plus importantes d'azote ammoniacal que le pH est élevé (SEVRIN REYSSAC et al, 1995).

Le pH alcalin et la température modérée des bassins constituent des conditions de milieu idéales pour la prolifération des algues et des bactéries qui établissent un parfait équilibre biologique permettant la dégradation de la matière organique et la décontamination de l'eau.

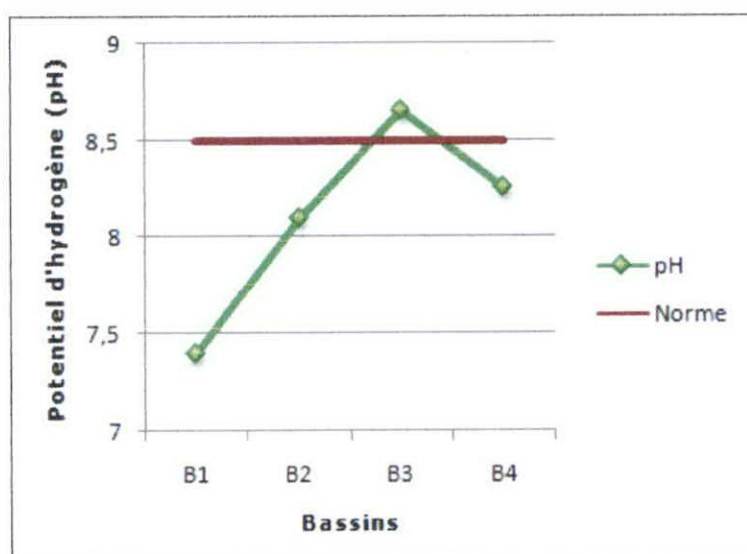


Figure 14 : Potentiel d'hydrogène (pH) des bassins de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous.

Les valeurs de pH généralement observées en milieu naturel vont de 6 à 8,5 (SEVRIN REYSSAC et al, 1995). Le pH de l'eau en sortie est de 8,2. Respectant la norme de rejet délimitée entre 6,5 et 8,5 (voir tableau 1), cette valeur coïncide, d'après GAUJOUS, 1995, avec le pH normal de l'eau de mer et des eaux douces en zones calmes.

6.3. Les matières en suspension (MES) :

Les résultats obtenus pour les MES montrent qu'il y a une élimination très importante de ces derniers entre l'entrée et la sortie de la station. En effet, avec une teneur de 114 mg/l à l'entrée contre uniquement 8 mg/l au niveau de la sortie, le rendement global de l'épuration pour ce paramètre atteint 93 %.

Sur la figure 15, on peut clairement voir l'écart qu'accuse la faible teneur en MES de l'eau en sortie avec celle de l'entrée ainsi qu'avec la norme de rejet, limitée à 35 mg/l (voir tableau 1).

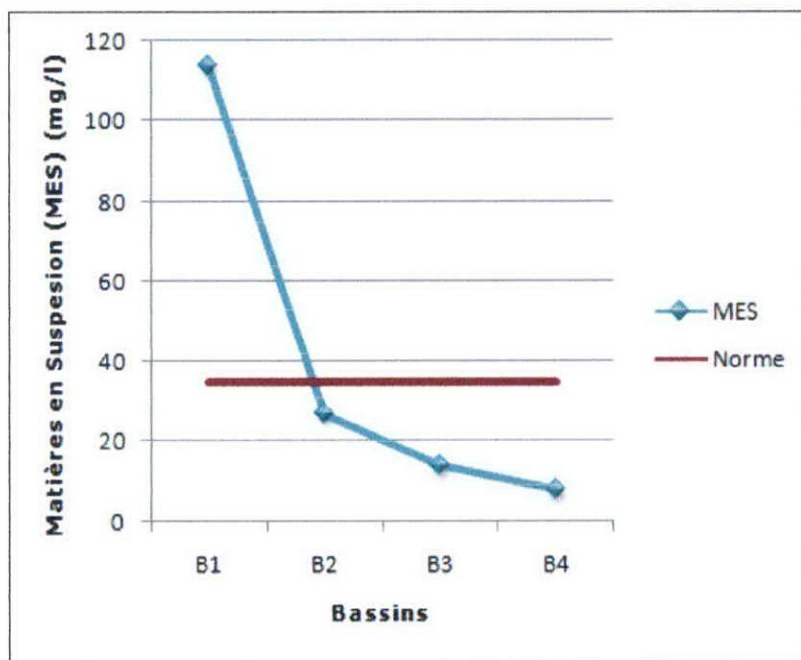


Figure 15 : Teneur en matières en suspension (MES) dans les bassins de la station d'épuration du lagunage de Béni-Messous.

Au regard de la figure 16 ci-dessous, l'abattement des MES est majoritaire dans le premier bassin avec un rendement de 81,6 % ; ce qui confirme que celui-ci représente le bassin de décantation. Le rendement des trois autres bassins est approximativement le même (environ 45 %) ; ce qui indique une épuration uniforme des matières en suspension.

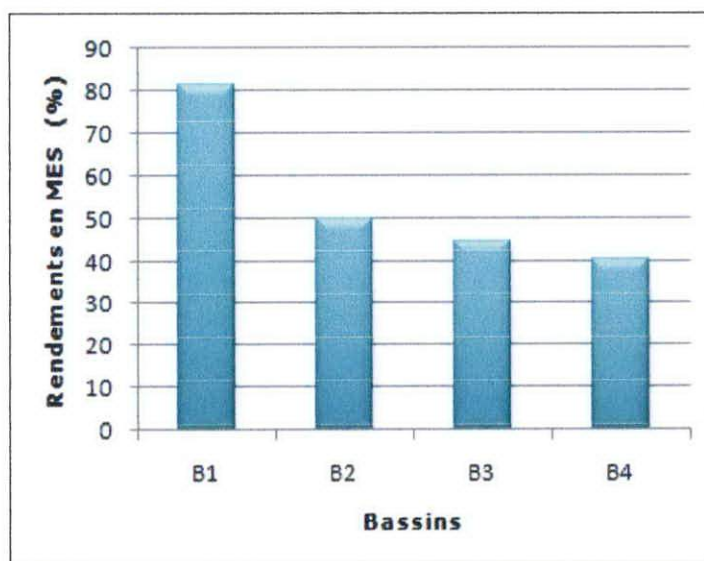


Figure 16 : Rendements d'épuration en MES des quatre bassins de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous.

6.4. Détermination de la pollution résiduelle :

On estime souvent, dans une station d'épuration, la pollution de l'eau de façon directe par la mesure des paramètres globaux DCO et DBO₅ qui offrent une représentation plus ou moins complète (certains hydrocarbures ne sont, par exemple, pas oxydables) des matières oxydables et biodégradables présentes dans un échantillon.

Cependant, dans le cas d'une station d'épuration par lagunage naturel, cette mesure directe constitue une surestimation de la pollution en incluant en termes de DCO ou de DBO₅ une part importante de matière organique sous forme de biomasse algale qui ne devrait pas être considérée comme étant une pollution. En effet les micro-algues dans ce type de traitement des eaux usées sont non seulement nécessaires à l'épuration mais présentent aussi la possibilité d'être récupérées pour divers usages bénéfiques (en agriculture par exemple).

De ce fait, cette pollution additionnelle due à la présence des micro-algues que l'on définit comme pollution résiduelle doit être déterminée et soustraite pour estimer avec plus d'exactitude la véritable pollution de l'eau.

Il est nécessaire de mesurer la DCO et de la DBO₅ des échantillons, avant et après leur filtration pour déterminer la pollution résiduelle qui se traduira alors par les deux relations suivantes :

$$\Delta DCO = DCO_{AvF} - DCO_{ApF}$$

$$\Delta DBO_5 = DBO_{5AvF} - DBO_{5ApF}$$

Où :

- ΔDCO : la pollution résiduelle exprimée en termes de DCO ;
- DCO_{AvF} : DCO de l'échantillon analysé avant filtration ;
- DCO_{ApF} : DCO de l'échantillon analysé après filtration ;
- ΔDBO_5 : la pollution résiduelle exprimée en termes de DBO₅ ;
- DBO_{5AvF} : DBO₅ de l'échantillon analysé avant filtration ;
- DBO_{5ApF} : DBO₅ de l'échantillon analysé après filtration ;

L'analyse de la DCO et de la DBO₅ des échantillons prélevés aux entrées des bassins et à la sortie de la station étudiée ont donné les moyennes regroupées en annexe 9. Leur traitement a permis de déterminer la pollution résiduelle dans chaque bassin dont le résultat et l'interprétation sont présentés ci-après.

6.5. La demande chimique en oxygène (DCO) :

En se référant uniquement aux valeurs de DCO des échantillons avant leur filtration, représentés sur la figure 17 par la série DCO_{AvF}, nous remarquerons alors l'abattement important de la charge polluante globale (matières organiques et inorganiques) des eaux interceptés par la lagune de Béni-Messous, de 763 mg/l à 60,2 mg/l.

Cependant, la filtration des échantillons révèle par la série DCO_{ApF}, que cet abattement est, en réalité, de 456 à 27 mg/l et que la différence entre les deux séries, représentée par la série DCOR, n'est autre que la pollution résiduelle.

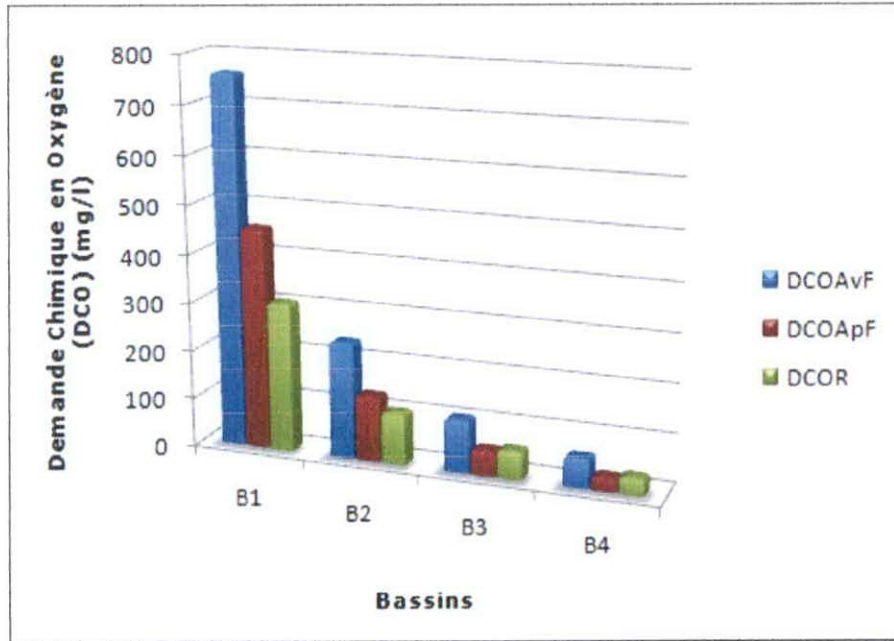


Figure 17 : DCO des bassins de la station d’épuration par lagunage naturel de Béni-Messous.

Nous pouvons, également, constater à travers la figure 17, l’importance de la pollution résiduelle sensiblement grandissante jusqu’à même dépasser, dans les deux derniers bassins, la véritable pollution en confirmant ainsi sa surestimation.

Le rendement global en DCO est de 94 %. Ceci témoigne du traitement très efficace de l’épuration vis-à-vis des matières oxydables. Avec une DCO de 27 mg/l, l’eau en sortie, est bien inférieure à la norme de rejet fixée à 120 mg/l et correspond, effectivement, selon BLIEFERT et PERRAUD (2001) à la DCO typique des eaux communales après épuration biologique.

La figure 18 illustre le rendement en DCO de chacun des quatre bassins de la lagune de Béni-Messous.

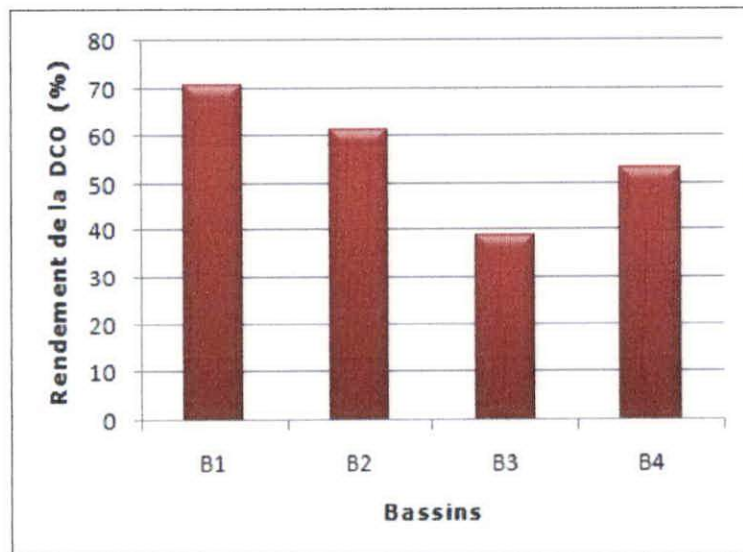


Figure 18 : Rendement en DCO des bassins de la station d’épuration par lagunage naturel de Béni-Messous.

6.6. La demande biologique en oxygène (DBO₅) :

De façon analogue à la figure 17, la figure 18 illustre en termes de DBO₅, l'importance de la pollution résiduelle à travers les séries, DBO₅Avf, DBO₅ApF, et DBO₅R.

Par rapport à la pollution globale sans filtration, nous remarquons, avec les valeurs de la DBO₅, de façon plus nette, la part considérable que tient la pollution résiduelle ; avec plus du double dans les bassins B3 et B4. Puisque la DBO₅ donne uniquement la représentation des matières biodégradables présentes dans l'eau ; entre autre le phytoplancton en majorité dans le cas du lagunage naturel, la mise en évidence de la pollution résiduelle est meilleure qu'avec la DCO.

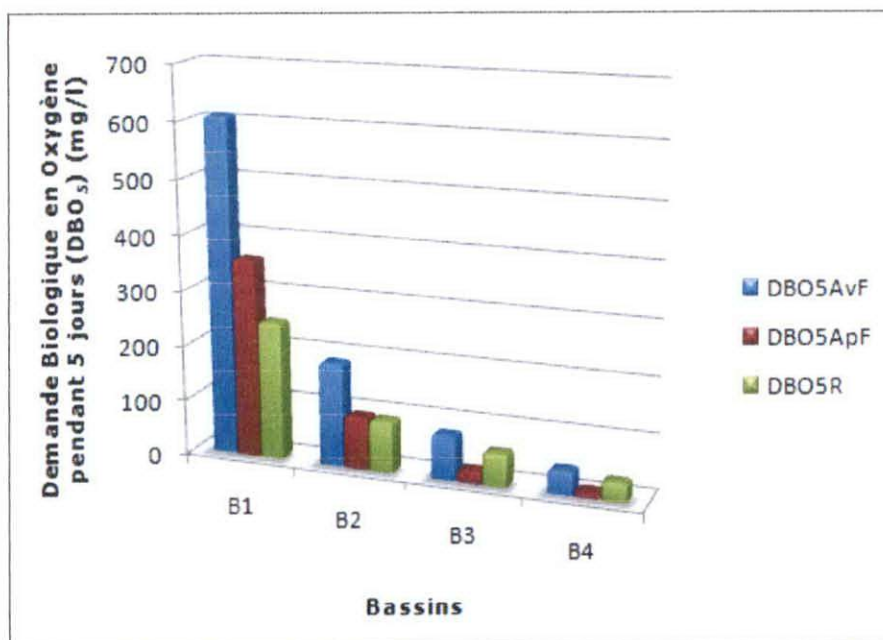


Figure 19 : DBO₅ des bassins de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous.

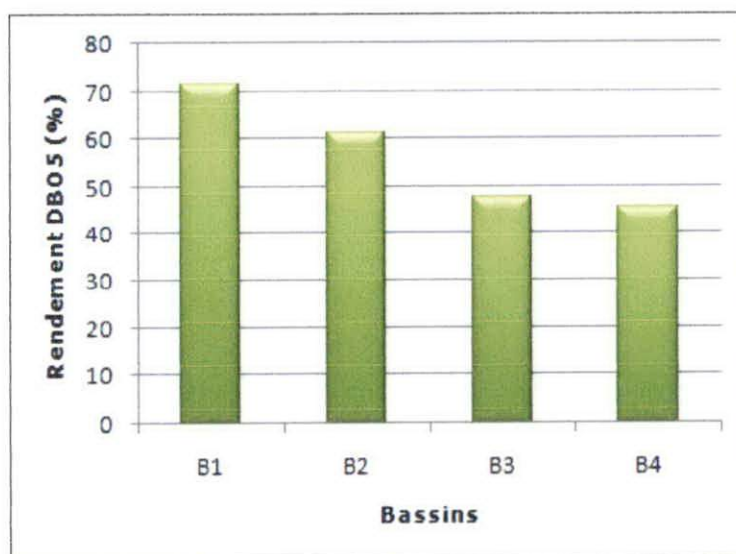


Figure 20 : Rendement en DBO₅ des bassins de la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous.

En considérant la DBO₅ après filtration, la réduction des matières biodégradables est de 360 mg/l à 9 mg/l ; ce qui représente un rendement global en DBO₅ de 97,5 %. Tout comme les MES et la DCO, le rendement en DBO₅ (voir figure 20), est particulièrement important dans le premier (plus profond : 3m) bassin où la majeure partie de la matière organique décante.

Bien en dessous de la valeur limite de rejet, 35 mg/l, l'eau en sortie à une DBO₅ de 9 mg/l ; ce qui se situe, d'après BLIEFERT ET PERRAUD (2001), entre la DBO₅ typique des cours d'eaux courantes, modérément polluées, et celle des eaux communales après traitement biologique.

6.7. La qualité de l'eau rejetée par la lagune de Béni-Messous :

En tenant compte du classement de qualité des eaux cité dans la section 5.6 du chapitre précédent et en se basant sur les indicateurs DCO et DBO₅ après filtration des échantillons, l'eau rejetée par la lagune de Béni-Messous sera du type 2 donc de qualité moyenne ; puisque l'eau en sortie est caractérisée par une DCO de 27 mg/l et une DBO₅ de 9 mg/l. Une eau de cette catégorie est dite de pollution nette, c'est-à-dire, une eau possédant des propriétés requises pour la vie piscicole, mais où la reproduction du poisson est aléatoire, et la production d'eau destinée à l'alimentation humaine après traitement poussé (affinage et désinfection).

La DCO et la BDO₅ de l'eau rejetée par la station sont respectivement compris entre 20 et 200 mg/l et entre 5 et 45 mg/l. Ce qui encourage, selon VALENTINA LAZAROA et AKIÇA BAHRI (2005), sa réutilisation pour l'irrigation. Cependant, il est nécessaire, dans ce cas, pour évaluer davantage sa qualité, d'étudier d'autres paramètres n'ayant pas fait l'objet de notre étude, à savoir : la salinité, le rapport d'absorption du sodium (RAS), les éléments traces (cadmium, aluminium, etc.), les ions toxiques, les nutriments (N-P-K), ...

Conclusion :

Afin d'estimer de façon correcte la pollution, il faut prendre le soin de déterminer, la pollution résiduelle qu'engendre la présence des micro-algues, particulièrement remarquable dans le cas d'une station d'épuration par lagunage naturel. En effet, cette pollution, non négligeable peut être très importante et influence donc l'appréciation de la véritable charge polluante de l'eau épurée et de ce fait l'interprétation des résultats.

L'état délaissé dans lequel la station d'épuration par lagunage naturel de Béni-Messous a été trouvée n'a vraisemblablement pas influencé le traitement. En effet, les résultats de l'analyse des paramètres globaux de la pollution organique montrent que celle-ci rejette une eau épurée de qualité satisfaisante ; sachant qu'une eau épurée n'est considérée comme telle que lorsqu'elle respecte les normes de rejets, ce qui est le cas pour tous les paramètres étudiés.

L'efficacité du traitement durant notre étude a été favorisée par l'absence d'écoulement des eaux usées entre les bassins. Ce qui a permis, effectivement, aux eaux usées de séjourner plus longtemps dans les bassins et donc de s'épurer davantage.

L'eau du quatrième bassin est propice à la vie piscicole mais son utilisation pour l'alimentation humaine requière des traitements plus avancés, et sa réutilisation pour l'irrigation nécessite l'analyse de paramètres spécifiques.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Nous avons tenté à travers ce travail de déterminer la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel par l'analyse des paramètres globaux d'estimation de la pollution organique des eaux usées.

Pour ce faire, nous avons tout d'abord choisi de regrouper les informations pertinentes sur les eaux usées et leurs traitements pour maîtriser les principaux paramètres pouvant les caractériser.

Nous avons aussi essayé d'établir un état général de l'assainissement en Algérie pour avoir une idée sur les différents procédés utilisés dans notre pays. On retiendra, essentiellement, qu'au cours de ces dernières années, le Ministère des Ressources en Eau (MRE) à entrepris la mise en œuvre d'un important programme d'investissement concernant la réalisation, la réhabilitation ou l'étude de réhabilitation de plusieurs stations d'épuration ce qui permettra d'atteindre un parc de 194 STEP à l'horizon 2010 dont 36 % seront représentés par le lagunage naturel (DAPE, 2006).

Nous nous sommes ensuite penchés sur l'étude du lagunage naturel en décrivant son principe de fonctionnement mais également ses avantages, ses inconvénients et les paramètres pouvant influencer son bon fonctionnement.

Après la description de la région de Béni-Messous où est implantée la station d'épuration par lagunage naturel sur la quelle nous avons choisi de travailler, nous avons abordé les méthodes de prélèvement, d'échantillonnage et de conservation des échantillons d'eaux usées pour détailler ensuite les méthodes d'analyses des paramètres étudiés à savoir : la température, le pH, les MES, la DCO et la DBO₅ ce qui a donc permis de rassembler leurs protocoles d'analyse.

À l'issue du dernier chapitre qui présente les résultats obtenus pour les échantillons prélevés de la station étudiée, nous espérons avoir atteint l'objectif qui vise l'appréciation de l'importance de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel et la qualité de l'eau qu'elle rejette. Cette dernière s'avère dans le cas de la lagune de Béni-Messous être satisfaisante, confortant sa réutilisation surtout dans le cas où l'eau potable se raréfie de plus en plus.

Il nous semble utile, Cependant, de revenir sur quelques points pouvant approfondir notre étude, à savoir :

- L'analyse de la chlorophylle pour quantifier la part de la biomasse algale dans la matière retenue par les filtres, considérée dans notre cas majoritaire ;
- Suivre l'évolution de la pollution résiduelle à l'issue de plusieurs prélèvements répartis sur toute une saison par exemple ;
- Étudier la possibilité de réutilisation de l'eau épurée de la station dans l'irrigation des terres agricoles avoisinantes par l'étude davantage de paramètres physicochimiques mais aussi microbiologiques.
- Faire des essais de grossissement d'espèces piscicoles dans le bassin de sortie qui profiteront du phytoplancton abondant.

Bibliographie

Bibliographie

Agence Nationale des Ressources Hydrauliques., 1996. Étude de faisabilité du lagunage sur les hauts plateaux. 13p.

AMINOT A., CHAUSSEPIED M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, 395p.

BADIA-GONDARD F., 2003. L'assainissement des eaux usées. Edition techni.cités, 231p.

BEAUDRY J.P., 1984. Traitement des eaux. Edition le Griffon d'Aigle Inc, 231p.

BECHAC J.P., BOUTIN P., MERCIER B., NUER P., 1987. Traitement des eaux usées. Edition Eyrolles, 281p.

BERNE F., CORDONIER J., 1991. Traitement des eaux. Edition Technip, 306p.

BLIEFERT C., PERRAUD R., 2001. Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets. Edition de boeck, 477p.

BONTOUX J., 1993. Introduction à l'étude des eaux douces : eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 166p.

CHAIB A., 2004. Bioépuration par lagunage naturel. Bulletin du Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER), N°5 Juin 2004, pp21.

DEGREMONT, 1978. Mémento technique de l'eau : 8^{ème} édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 1200p.

DEGREMONT, 1989. Mémento technique de l'eau : vol. 1, 9^{ème} édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 592p.

DES JARDINS R., 1990. Le traitement des eaux, 2^{ème} Edition. Edition de l'École Polytechnique de Montréal, 304p.

Bibliographie

Direction de l'Assainissement et de la Protection de l'Environnement (DAPE), 2006. Étude de réutilisation des eaux épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national, Mission 1 : Reconnaissance et collecte des données de base, 120p.

GAUJOUS D., 1995. La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 220p.

GAUTHIER M., PIETRI C., 1998. Devenir des bactéries et virus entériques en mer, Microorganismes dans les écosystèmes océaniques. Edition Masson, 447p.

GOMELLA C., GUERREE H., 1978. Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées. Edition Eyrolles Paris, 262p.

GROSCLAUDE G., 1999. L'eau : usage et polluants. Edition INRA, 210p.

JOLY B., REYNAUD A., 2003. Entérobactéries : systématiques et méthodes d'analyses. Edition Technique et documentation, Paris, 356p.

Journal Officiel de la République Algérienne (JORA). N°46, Juillet 1993.

Journal Officiel de la République Algérienne (JORA). N°26, Avril 2006.

JOLY B., REYNAUD A., 2003. Entérobactéries : systématiques et méthodes d'analyses. Edition Technique et documentation, Paris, 356p.

KOLLER E., 2004. Traitement des pollutions industrielles : eau, air, déchets, sols, boues. Edition DUNOD, 424p.

LAZAROVA V., BAHRI A., 2005. Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass. CRC PRESS, 456 p.

Bibliographie

LECLERC H., GAILLARD J.L., SIMONET M., 1995. Microbiologie générale : la bactérie et le monde bactérien. Edition Doin, 535p.

MARTIN G., LAFFORT P., 1991. Odeurs et désodorisation dans l'environnement. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 452p.

PNUE / OMS., 1979. Recommandation pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles. Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, Copenhague, 168p.

PEARSON H., 2005. Microbiology of waste stabilisation ponds. In: A. SHILTON (Ed.) : pp.14-48. Pond Treatment Technology. London : IWA Publishing.

REJSEK F., 2002. Analyse des eaux : Aspects Réglementaires et Techniques. Edition SCEREM, 360p.

RODIER J., BAZIN C., CHAMBON P., BROUTIN J.-P., CHAMPSAUD H., RODI L., 1996. Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8^{ème} édition. Edition DUNOD, Paris. 1983p.

SATIN M., SELMI B., 1999. Guide technique de l'assainissement, 2^{ème} édition. Edition LE MONITEUR, Paris, 680p.

SEVRIN-REYSSAC J., DE LA NOÛE J., PROULX D., 1995. Le recyclage du lisier de porc par lagunage. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 118p.

VALIRON F., 1983. La réutilisation des eaux usées. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 207p.

VILAGINES R., 2003. Eau, environnement et santé publique. 2^{ème} édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 190p.

Annexes

Annexe 1

Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels.

Le Chef du Gouvernement,

Sur le rapport du ministre de l'éducation nationale,

Vu la Constitution, notamment ses articles 81 et 116 ;

Vu la loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement ;

Vu la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 relative au code des eaux ;

Vu la loi n° 85-05 du 16 février 1985, modifiée et complétée, relative à la protection et à la promotion de la santé ;

Vu la loi n° 89-23 du 19 décembre 1989 relative à la normalisation ;

Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990 relative à la commune ;

Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990 relative à la wilaya ;

Vu le décret présidentiel n° 92-304 du 8 juillet 1992 portant nomination du Chef du Gouvernement ;

Vu le décret présidentiel n° 92-307 du 19 juillet 1992 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret n° 92-489 du 28 décembre 1992 fixant les attributions du ministre de l'éducation nationale ;

Décète :

Article 1er. — Le présent décret a pour objet, en application des dispositions de la loi n° 83-03 du 5 février 1983 et de la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 susvisées, de réglementer les rejets d'effluents liquides industriels.

CHAPITRE I DISPOSITIONS GENERALES

Art. 2. — Au sens du présent décret, il est entendu par rejet tout déversement, écoulement, jets, dépôts directs ou indirects d'effluents liquides industriels dans le milieu naturel.

Art. 3. — Les rejets, tels que définis à l'article 2 ci-dessus, sont soumis à autorisation conformément aux dispositions du présent décret.

L'autorisation détermine les conditions techniques auxquelles sont subordonnés les rejets.

CHAPITRE II DES CONDITIONS D'OBTENTION, DE RETRAIT OU DE MODIFICATION DES AUTORISATIONS

Art. 4. — Sans préjudice des conditions de l'article 101 de la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, susvisée, les rejets d'effluents liquides industriels, tels que définis à l'article 2 ci-dessus, ne peuvent être autorisés que :

— s'ils ne dépassent pas à la source les valeurs limites maximales telles qu'annexées au présent décret.

— s'ils remplissent les conditions techniques dont la définition fera, l'objet d'un arrêté du ministre chargé de la protection de l'environnement.

Art. 5. — Les conditions techniques prévues à l'article 4 ci-dessus tiennent compte notamment :

— du débit et du degré de pollution des eaux réceptrices et de leur capacité de régénération naturelle,

— des conditions d'utilisation des eaux réceptrices et des exigences de l'alimentation en eau des populations,

— de la protection de la faune et de la flore et des exigences sanitaires économiques et touristiques,

— de l'importance et de la nature des rejets.

Art. 6. — L'autorisation de rejet prévue à l'article 3 du présent décret, est délivrée par le ministre chargé de l'environnement après avis du ministre chargé de l'hydraulique.

Art. 7. — Les demandes d'autorisation de rejet sont adressées en trois exemplaires au ministre chargé de l'environnement par l'intermédiaire du wali territorialement compétent.

Art. 8. — Les dossiers de demande d'autorisation de rejet comportent notamment :

1) les noms, prénoms, qualité et domicile du demandeur ou si la demande émane d'une collectivité, d'une entreprise publique ou de toute autre personne morale, les indications suivantes : nature, siège, objet, noms, prénoms et qualité du ou des représentants habilités auprès de l'administration,

2) la description de l'emplacement de l'opération projetée et le cas échéant de sa profondeur et des niveaux souterrains dans lesquels elle s'effectue,

3) la nature et l'importance du rejet, les conditions d'évacuation ou de dépôt notamment sa répartition dans le temps, les mesures proposées pour remédier à la pollution des eaux,

4) la nature des agents polluants susceptibles d'altérer la qualité des eaux,

5) la description technique des installations prévues pour éviter d'altérer la qualité des eaux ou de nuire à la salubrité publique.

A la demande est jointe une carte à l'échelle minimale de 1/50.000 sur laquelle est reporté l'emplacement de l'opération projetée.

DECRETS

Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

Le Chef du Gouvernement,

Sur le rapport du ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement,

Vu la Constitution, notamment ses articles 85-4° et 125 (alinéa 2) ;

Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990, complétée, relative à la commune ;

Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990, complétée, relative à la wilaya ;

Vu la loi n° 03-10 du 19 Jomada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

Vu la loi n° 04-04 du 5 Jomada El Oula 1425 correspondant au 23 juin 2004 relative à la normalisation ;

Vu la loi n° 05-07 du 19 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 28 avril 2005 relative aux hydrocarbures ;

Vu le décret présidentiel n° 04-136 du 29 Safar 1425 correspondant au 19 avril 2004 portant nomination du Chef du Gouvernement ;

Vu le décret présidentiel n° 05-161 du 22 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 1er mai 2005 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels ;

Décrète :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 10 de la loi n° 03-10 du 19 juillet 2003, susvisée, le présent décret a pour objet de définir les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

SECTION 1

DES DISPOSITIONS PRELIMINAIRES

Art. 2. — Au sens du présent décret on entend par rejet d'effluents liquides industriels tout déversement, écoulement, jet et dépôt d'un liquide direct ou indirect qui provient d'une activité industrielle.

Art. 3. — Les valeurs limites de rejets d'effluents liquides industriels sont celles fixées en annexe du présent décret.

Toutefois, en attendant la mise à niveau des installations industrielles anciennes dans un délai de cinq (5) ans, les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels prennent en charge l'ancienneté des installations industrielles en déterminant une tolérance pour les rejets d'effluents liquides industriels émanant de ces installations. Ces valeurs sont fixées et annexées au présent décret.

Pour les installations pétrolières, le délai est de sept (7) ans conformément aux dispositions législatives en vigueur, et notamment celles de la loi n° 05-07 du 19 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 28 avril 2005, susvisée.

En outre et en raison des particularités propres aux technologies utilisées, des tolérances particulières aux valeurs limites sont également accordées selon les catégories industrielles concernées. Ces tolérances sont annexées au présent décret.

SECTION 2

DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES RELATIVES
AUX REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES
INDUSTRIELS

Art. 4. — Toutes les installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent être conçues, construites et exploitées de manière à ce que leurs rejets d'effluents liquides industriels ne dépassent pas à la sortie de l'installation les valeurs limites des rejets définies en annexe du présent décret et doivent être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge de pollution rejetée.

Art. 5. — Les installations de traitement doivent être conçues, exploitées et entretenues de manière à réduire à leur minimum les durées d'indisponibilité pendant lesquelles elles ne peuvent assurer pleinement leur fonction.

Si une indisponibilité est susceptible de conduire à un dépassement des valeurs limites imposées, l'exploitant doit prendre les dispositions nécessaires pour réduire la pollution émise en réduisant ou en arrêtant, si besoin, les activités concernées.

SECTION 3

DU CONTROLE DES REJETS
D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS

Art. 6. — Au titre de l'autocontrôle et de l'autosurveillance les exploitants d'installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent tenir un registre où sont consignés la date et les résultats des analyses qu'ils effectuent selon des modalités fixées par arrêté du ministre chargé de l'environnement et, le cas échéant, du ministre chargé du secteur concerné.

Les mesures sont effectuées sous la responsabilité de l'exploitant et à ses frais dans les conditions fixées par la réglementation en vigueur.

Art. 7. — Les résultats des analyses doivent être mises à la disposition des services de contrôle habilités.

Art. 8. — Les services habilités en la matière effectuent des contrôles périodiques et ou inopinés des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des rejets d'effluents liquides industriels visant à s'assurer de leur conformité aux valeurs limites fixées en annexe du présent décret.

Art. 9. — Le contrôle des rejets comporte un examen des lieux, des mesures et analyses opérées sur place et des prélèvements d'échantillons aux fins d'analyses.

Art. 10. — L'exploitant de l'installation concernée est tenu d'expliquer, commenter ou fonder tout dépassement éventuellement constaté et fournir les actions correctives mises en œuvre ou envisagées.

Annexe 3

DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

Station : ALGER DAR-EL-BEIDA

Altitude : 25 m - Latitude : 36°41 N - Longitude : 03°13 E

Précipitations : Précipitations mensuelles et annuelles exprimées en millimètres (mm).

	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juin	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	An
1995	171	40	107	29	00	24	00	49	18	19	58	39	554
1996	94	232	57	161	36	32	07	04	38	86	27	34	808
1997	38	24	09	95	22	10	09	33	37	45	130	93	545
1998	29	52	37	76	151	01	00	08	22	49	103	82	610
1999	121	133	86	47	01	2	00	04	19	22	170	202	807
2000	16	06	19	17	53	0	01	01	04	47	74	41	279
2001	126	73	0	34	14	01	00	03	45	39	49	57	441
2002	39	15	34	39	14	00	00	34	12	54	145	102	488
2003	200	133	22	87	20	00	00	28	40	38	58	110	736
2004	90	46	79	56	149	01	02	01	12	43	116	109	704
2005	85	115	50	26	01	00	00	00	15	57	102	81	532

Températures : Températures maximales moyennes exprimées en degrés Celsius (°C).

	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juin	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	An
1995	162	194	187	210	260	272	312	329	282	269	232	197	242
1996	190	156	189	204	233	267	308	310	272	231	216	197	231
1997	182	190	197	221	247	283	289	315	298	268	210	185	240
1998	179	192	197	216	230	279	315	320	301	247	203	18	225
1999	167	154	194	218	266	290	318	333	303	280	188	170	240
2000	147	191	203	230	258	275	322	338	295	252	217	198	244
2001	184	178	241	228	247	322	323	332	297	290	194	165	250
2002	178	186	213	221	266	297	306	308	297	259	216	194	245
2003	155	157	198	216	246	312	340	348	299	257	216	170	243
2004	174	184	184	213	219	288	312	337	317	292	198	176	241
2005	149	141	185	215	260	301	325	322	294	271	200	167	236

Températures : Températures minimales moyennes exprimées en degrés Celsius (°C).

	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juin	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	An
1995	56	65	65	63	127	168	187	199	162	140	110	96	120
1996	95	70	78	99	106	158	182	203	159	111	95	81	120
1997	85	52	40	89	145	168	188	200	188	156	116	81	126
1998	62	63	58	92	127	154	180	194	189	112	96	55	115
1999	64	49	82	79	151	176	188	224	189	169	92	74	128
2000	21	41	68	99	149	162	201	199	174	129	100	74	118
2001	58	43	94	75	115	156	184	202	176	159	92	38	116
2002	47	36	67	84	109	161	186	195	165	133	106	85	115
2003	61	54	72	96	122	185	216	223	184	157	70	69	126
2004	57	61	79	85	110	155	210	209	179	153	95	74	122
2005	78	33	76	94	127	169	193	183	153	141	87	61	116

Annexe 3

DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES (suite)

Évaporation : Évaporation, totaux mensuels et annuels exprimés en millimètre (mm), mesurés sous abri avec un évaporomètre Piche.

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	An
1995	53	56	68	87	118	106	134	147	131	89	138	81	1208
1996	111	68	77	97	103	113	139	136	133	87	109	87	1260
1997	122	56	90	107	102	121	164	168	169	132	95	74	1400
1998	78	50	69	111	76	106	152	152	143	96	62	63	1158
1999	60	57	79	88	113	137	177	167	126	123	58	68	1253
2000	48	75	87	132	92	127	137	181	110	75	85	90	1239
2001	63	39	80	85	84	151	125	105	80	72	48	34	966
2002	35	40	64	72	104	94	93	85	90	71	65	50	863
2003	48	44	49	53	51	110	121	132	81	50	47	58	844
2004	46	37	43	61	48	84	90	141	107	95	38	40	830
2005	29	38	43	65	77	95	115	97	82	65	52	45	803

Ensoleillement : Ensoleillement, totaux mensuels et annuels exprimés en heures (h).

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	An
1995	178	223	236	280	308	269	381	333	251	199	177	139	2974
1996	145	124	221	200	295	307	320	290	259	251	223	144	2779
1997	129	228	308	234	261	335	300	299	257	221	153	160	2885
1998	188	201	244	248	244	314	364	301	241	233	159	173	2910
1999	146	175	213	313	259	253	348	287	271	237	142	154	2798
2000	226	251	256	262	260	334	330	327	252	215	188	170	3071
2001	164	205	251	276	263	363	343	300	261	237	170	161	2994
2002	206	202	236	243	302	291	304	273	258	238	145	153	2851
2003	131	130	221	227	265	328	279	296	238	184	136	134	2569
2004	209	172	169	242	201	312	312	393	253	213	196	148	2820
2005	193	143	160	213	289	303	333	315	261	248	175	165	2798

Vents : Vitesse des vents, moyenne mensuelles et annuelles en (m/s).

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	An
1995	23	17	21	20	22	28	24	23	22	12	24	29	22
1996	29	36	28	28	24	24	22	20	22	13	24	20	24
1997	26	12	15	21	21	21	27	23	20	18	29	19	21
1998	22	12	14	26	21	21	21	21	25	17	18	13	19
1999	20	22	20	16	28	28	28	32	28	26	24	33	25
2000	12	19	21	43	25	25	32	32	28	28	33	32	28
2001	33	24	31	30	33	33	31	25	30	19	20	14	27
2002	15	20	28	27	31	31	31	24	29	24	30	28	27
2003	40	34	20	27	25	28	27	25	24	20	25	33	27
2004	24	20	23	32	31	24	24	24	20	16	16	32	24
2005	20	26	21	30	27	28	35	31	24	20	21	23	26

Annexe 4

CONSERVATION DES PRÉLÈVEMENTS

Caractéristique ou élément analysé	Récepteur	Conservateur à utiliser	Volume minimum du prélèvement (en mL)	Température de conservation (en °C)	Effectuer la mesure avant ...
Acidité-alcalinité	P ou Vb	0	200	4	24h (obsc)
Ammonium	P ou V	0		4	48h (obsc)
Anhydride carbonique		Acide sulfurique q.s.p. pH < 2		4	quelques jours (obsc)
AOX	Vb	Mesure in situ 0	500	4	
			flacon rempli complètement et bouché		
Arsenic, Sélénium, Titane, Vanadium.	P ou V	Acide nitrique q.s.p. pH < 2	-	-	2 mois
Azote kjeldahl	P ou V	0	1000	4	48h (obsc)
		Acide sulfurique q.s.p. pH < 2		4	plusieurs semaines (obsc)
Bore	P				
Carbone Organique Total	Vb	0	500	4	quelques jours (obsc)
	V	passé 1 h à 400°C Acide sulfurique q.s.p. pH < 2	100	4	24 h (obsc)
Chlorophylle	V brun		1000	4	(*)
Chlorures	P ou V	0	100	-	15 jours
Composés organiques non volatils :					
- organo-halogénés	V	0	1000	4	(**)(obsc)
- organo-phosphorés	V	0	1000	4	48h (obsc)
- organo-azotés	V	0	1000	4	quelques jours (obsc)
Composés organiques volatils	V bouchon serti			4	quelques jours (obsc)
Conductivité	P ou V	Mesure in situ de préférence	100	4	48h (obsc)
Cyanures totaux	P	Hydroxyde de sodium q.s.p. pH > 10	500	4	quelques semaines (obsc)
Cyanures libres	P	Hydroxyde de sodium q.s.p. pH > 10	500	4	48h (obsc)
DBO	P ou V	0	1000	4	24h
DCO	P ou V	Acide sulfurique q.s.p. pH < 2	100	4	24h (obsc)
Dureté	P ou V	Acide nitrique q.s.p. pH < 2	100	-	1 mois
Fer	P	(voir texte)	-	-	-
Fluorures, Bromures	P	0	300	-	7 jours
Iodures	V			4	48h (obsc)
Huiles et graisses	V	Acide chlorhydrique q.s.p. pH < 2	1000	4	15 jours
Hydrocarbures (indice)	V	Tétrachlorure de carbone (10 mL)	800	4	6 jours (obsc)
Hydrocarbures polycycliques	V	Hexane (10 mL)	1000	4	6 jours (obsc)
Lithium, Sodium, Potassium, Calcium, Magnésium, Strontium, Baryum	V	Acide nitrique	800	-	Plusieurs mois

Annexe 4

CONSERVATION DES PRÉLÈVEMENTS (suite)

Caractéristique ou élément analysé	Récepteur	Conservateur à utiliser	Volume minimum du prélèvement (en mL)	Température de conservation (en °C)	Effectuer la mesure avant ...
Aluminium, Argent, Cadmium, Chrome, Cuivre, Manganèse, Plomb, Zinc, Cobalt, Nickel, Étain	P ou V	Acide nitrique q.s.p. pH < 1,5	-	-	2 mois
Mercure	Vb	Acide nitrique q.s.p. pH < 1,5 + Permanganate de potassium	-	-	1 mois
Nitrates	P ou V	0 Acide sulfurique q.s.p. pH < 2		4 4 4	48h (obsc) plusieurs semaines (obsc)
Nitrites	P ou V	0		4	48h (obsc)
Matières en suspension	P ou V	0	1000	4	6h (obsc)
Odeur, Couleur, Saveur	V	0	500	4	24h
Oxygène Dissous	Vb	Mesure in situ de préférence	300	4	24h (obsc)
Pesticides	V	0	2000	4	7 jours (obsc)
pH	P ou V	Mesure in situ de préférence	-	4	24h (obsc)
Phénol (indice)	P ou V	Soude pH = 12	500	4	quelques jours (obsc)
		1 g/L de sulfate de cuivre + acide phosphorique q.s.p. pH < 2		4	7 jours
Phosphates (Ortho, Poly et P total)	P ou V	0 Acide sulfurique q.s.p. pH < 2	100 100	4 4	48h (obsc) 1 semaine
Radioactivité	P	0	1000	-	15 jours
Résidu	P ou V	-	500	4	7 jours
S.E.C.	V	Chlorure mercurique (40 mg/L) ou chloroforme (1 mL/L)	variable	4	48h
Silice	P	-	50	4	7 jours (obsc)
Sulfates	P ou V	-	200	4	7 jours
Sulfites, Sulfures	P	Prélèvement avec flacon spécial acétate de zinc (pH 12 + soude) (voir texte)	100	4	plusieurs semaines
Surfactifs (détergents anioniques et non ioniques)	V	Chloroforme (1 mL/L)	200	4	24h (obsc)
TA-TAC, TH	P ou V	Mesure in situ de préférence	200	4	24h (obsc)
Turbidité	P ou V	-	100	4	24h (obsc)
Coliformes totaux	P ou V	Flacons stériles (***) (en présence d'une eau traitée par un oxydant, ajouter avant stérilisation 5 gouttes d'une solution de tio- sulfate de sodium à 10%)	250	4	24h (obsc)
Coliformes fécaux	P ou V		250	4	24h (obsc)
Streptocoques fécaux	P ou V		250	4	24h (obsc)

P : Polyéthylène V : Verre Vb : Verre borosilicaté généralement bouché émeri obsc : obscurité
 (*) Voir norme AFNOR T 90-116 et T 90-117. (**) Voir norme AFNOR T 90-120 et T 90-125.
 (***) Les flacons en verre peuvent être stérilisés au Four Pasteur à 180°C pendant 1 h 30 ou à l'autoclave à 120°C pendant 1 h. les flacons en polyéthylène peuvent être stérilisés par irradiation (25 kGy soit 2,5 Mrad).

SOURCE : RODIER J., BAZIN C., CHAMBON P., BROUTIN J.-P., CHAMPSAUD H., RODI L., 1996.

Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8^{ème} édition. Edition DUNOD, Paris, 1983p.

Annexe 5

PROTOCOLE DE NETTOYAGE DE LA VAISSELLE DE LABORATOIRE

1- Domaine d'application :

Ce protocole concerne toute la verrerie utilisée au laboratoire mais aussi le matériel nécessitant un prétraitement avant utilisation.

2- Nettoyage de la verrerie :

Toute la verrerie utilisée au laboratoire doit être rincée après utilisation à l'eau courante, puis à l'eau déminéralisée. Après passage à l'eau déminéralisée la verrerie est placée à l'étuve à 60°C, pendant au minimum une nuit, puis rangée.

Dans le cas où la verrerie est très sale, il est nécessaire de la laisser tremper une nuit dans un bac de détergent, de la rincer à l'eau courante et de la laisser tremper une autre nuit dans des bacs d'acide (H_2SO_4 1%). La suite du rinçage avant séchage se fait comme énoncé précédemment.

De même pour les tubes ayant servi à un dosage, il est nécessaire de les rincer à l'eau courante et de les laisser tremper 24h dans des bacs à acide avant de les rincer à l'eau et de les faire sécher à l'étuve.

Remarque : toutes les indications portées sur la verrerie ou les éventuelles étiquettes doivent être supprimées lors du nettoyage.

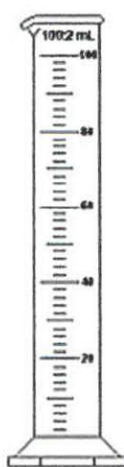
VERRERIE USUELLE



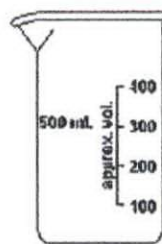
Burette



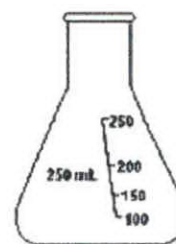
Pipette
graduée



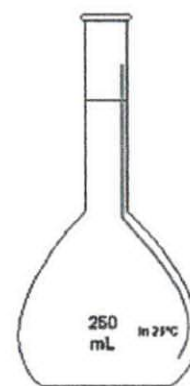
Burette



Becher



Erlenmeyer



Fiole
jaugée

Annexe 6

ÉTIQUETAGE DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons destinés au laboratoire doivent être désignés de façon claire et durable afin de permettre leur identification sans ambiguïtés. On distingue de types de désignations possibles :

- soit les flacons sont désignés par une étiquette où sont indiquées l'origine de l'échantillon et les conditions dans lesquelles il a été prélevé ;
- soit il est possible de simplifier cette opération en utilisant un système d'étiquettes numérotées ou codées.

Afin d'éviter les oublis lors du remplissage de l'étiquette, l'ensemble de ses champs doit être renseigné comme suit :

- La désignation de la station et du site échantillonné est indispensable ;
- La date et l'heure sont très importants car ils constituent une clé d'entrée pour retrouver l'échantillon ;
- L'origine de l'eau présente d'une part le type d'eau prélevée (eau de surface, rejet, ...), et le milieu consterné (rivière, canal, ...) d'autre part ;
- Le nom du préleveur ;
- Les analyses à effectuer ou le nombre de paramètres à analyser ;
- Si un produit (conservateur) a été introduit, cela doit être mentionné.

Station :	N° de code :
Site :	N° de code :
Date :	Heure :
Origine de l'eau :	
Nom du préleveur :	
Analyses à effectuer :	
.....	
Conservateur :	

Il est recommandé, par souci de simplicité, d'utiliser un système d'étiquettes codées. Le code du flacon est reporté sur une fiche comme sur l'exemple représenté dans la figure suivante :



Annexe 7

PRÉPARATION DES RÉACTIFS NÉCESSAIRES POUR LA DÉTERMINATION DE LA DCO

1- Solution de dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ à 0,040 mol/l contenant du sulfate de mercure (II) :

- Dissoudre 80 g de sulfate de mercure dans 800 ml d'eau déminéralisée ;
- Ajouter avec précaution 100 ml d'acide sulfurique H_2SO_4 concentré ($\rho = 1,84$) ;
- Laisser refroidir et ajouter 11,767 g de dichromate de potassium préalablement séché à 105 °C pendant 2 h ;
- Transvaser dans une fiole jaugée d'un litre et compléter au volume avec de l'eau distillée.
- Cette solution reste stable pendant 1 mois.

2- Solution d'acide sulfurique et sulfate d'argent :

- Ajouter 10 g de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) à 40 ml d'eau distillée ;
- Mélanger avec 960 ml d'acide sulfurique H_2SO_4 concentré ($\rho = 1,84$) ;
- Agiter et laisser refroidir.
- Laisser reposer 1 à 2 jours.

3- Solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium (sel de Mohr) $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ 0,12 mol/l :

- Dissoudre 47 g de sulfate de fer (II) et d'ammonium dans de l'eau déminéralisée ;
- Ajouter 20 ml d'acide sulfurique H_2SO_4 concentré ($\rho = 1,84$) ;
- Laisser refroidir et diluer à 1000 ml.
- Cette solution doit être étalonnée journalièrement.

4- Solution d'indicateur coloré (Ferroïne) :

- Dissoudre 0,7 g de sulfate de fer (II) dans de l'eau distillée ;
- Ajouter 1,50 g de phénanthroline-1,10 monohydraté ;
- Diluer à 100 ml.

5- Solution d'hydrogénophthalate de potassium $KC_8H_5O_4$ à 2,0824 mmol/l :

- Dissoudre 0,4253 g d'hydrogénophthalate de potassium, préalablement séché à 105°C dans de l'eau distillée et diluer jusqu'à 1000 ml dans une fiole jaugée.
- Cette solution a une DCO théorique de 500 mg/l et est stable au moins une semaine à 4°C.

6- Granules :

- Ce sont des régulateurs d'ébullition : pierres ponce ou billes de verre.

LA DÉTERMINATION DE LA DCO

PRÉPARATION DES RÉACTIFS NÉCESSAIRES POUR LA DÉTERMINATION DE LA DCO

1- Solution de dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ (0,0200 mol/l) contenant 42,00 g/l de $K_2Cr_2O_7$:

- Pesez 42,00 g de dichromate de potassium dans un bécher.
- Ajoutez avec précaution 100 ml de solution de H_2SO_4 (10%) (p. 18).
- Transvasez dans une fiole jaugée de 250 ml et complétez au volume avec de l'eau distillée.
- Cette solution reste stable pendant 1 an.

2- Solution d'acide sulfurique de 10% (p. 18) :

- Pesez 10 g d'acide sulfurique dans un bécher.
- Mélangez avec 90 ml de solution de H_2SO_4 (10%) (p. 18).
- Cette solution reste stable pendant 1 an.

3- Solution de sulfate de fer (II) et d'arsénite de sodium (sel de Mohr) (0,0100 mol/l) :

- Pesez 0,7 g de sulfate de fer (II) et 0,2 g d'arsénite de sodium dans un bécher.
- Ajoutez 10 ml d'acide sulfurique (10%) et complétez au volume avec de l'eau distillée.
- Cette solution doit être utilisée immédiatement.

4- Solution d'iodure de potassium (0,1000 mol/l) :

- Pesez 0,2147 g de sulfate de fer (II) dans un bécher.
- Ajoutez 10 ml d'acide sulfurique (10%) et complétez au volume avec de l'eau distillée.
- Cette solution doit être utilisée immédiatement.

5- Solution d'hydrogénophosphate de potassium $K_2H_2O_7$ (0,0200 mol/l) :

- Pesez 0,4200 g d'hydrogénophosphate de potassium dans un bécher.
- Ajoutez avec précaution 100 ml de solution de H_2SO_4 (10%) (p. 18).
- Transvasez dans une fiole jaugée de 250 ml et complétez au volume avec de l'eau distillée.
- Cette solution reste stable pendant 1 an.

6- Standards :

- Ce sont des solutions d'acide sulfurique de 10% (p. 18) et d'acide sulfurique de 20% (p. 18).

Annexe 8

FICHE D'ANALYSE DE LA DBO5

Nom : **Date :**

Gammes d'estimation :

DBO (mg/l)	Prise d'essai (ml)	Facteur
0 ... 40	432	1
0 ... 80	365	2
0 ... 200	250	5
0 ... 400	164	10
0 ... 800	97	20
0 ... 2000	43,5	50
0 ... 4000	22,7	100

Mesure :

Échantillon	1	2	3	4	5
Station					
Gamme de mesure					
Prise d'essai					
Dilution					
Facteur					
Lecture (chiffre)					
Valeur de la DBO5					
DBO5 si dilution					
Remarques :					

Annexe 9

RÉSULTATS DES ANALYSES

Date de prélèvement et de début d'analyse : 06 Juin 2007

Station		E1	E2	E3	E4	S	
Température (°C)		21,5	21,3	22,5	23,1	23,3	
pH		7,3	7,5	8,7	8,65	7,75	
MES (mg/l)		192	36	18	10	6	
DCO (mg/l)	Avant filtration	1180,4	345,6	134,4	82	38,4	
	Après filtration	710,4	201,6	68	34	20	
DBO ₅ (mg/l)	Avant filtration	950	270	105	55	30	
	Après filtration	560	160	30	12	6	
Bassins		-	B1	B2	B3	B4	-
Température (°C)		-	21,4	21,9	22,8	23,2	-
pH		-	7,4	8,1	8,7	8,2	-
MES (mg/l)		-	114	27	14	8	-
Rendements MES (%)		-	81,25	50	44,45	40	-
DCO (mg/l)	Avant filtration	-	763	240	108,2	60,2	-
	Après filtration	-	456	134,8	51	27	-
ΔDCO (mg/l)		-	307	105,2	57,2	33,2	-
Rendements DCO (%)		-	70,7	61,1	39	53,2	-
DBO ₅ (mg/l)	Avant filtration	-	610	187,5	80	42,5	-
	Après filtration	-	360	95	21	9	-
ΔDBO ₅ (mg/l)		-	250	92,5	59	33,5	-
Rendements DBO ₅ (%)		-	71,6	61,1	47,6	45,5	-