

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ de BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Option : Eau, Environnement et Développement Durable.

Présenté par :

M^{me} BOUKENDAKDJI Hafida épouse NEDJARI

**Evaluation du pouvoir de réduction de
quelques polluants organiques des eaux de
rejets de la baie de Bou Ismail utilisant les
microalgues**

Proposé et Encadré par :

Dr Samira CHADER, UDES/CDER

Co encadré par:

Dr Fatma Zohra FERRADJI, CNRDPA

Remerciements

Ce travail de recherche a été réalisé à l'Unité de Développement des Equipements Solaires (UDES).

Madame CHADER Samira, Maitre de Recherche "A" à l'UDES a encadré ces travaux de recherches. Je la remercie de m'avoir proposé ce sujet et de m'avoir prodigué ses conseils on ne peut plus indispensables. Je la remercie aussi d'avoir suivi, guidé, et soutenu mon travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Madame FERRADJI Fatma Zohra, Docteur au CNRDPA qui m'a appris ce que c'est la microbiologie ainsi que pour sa disponibilité.

Je remercie Monsieur BOURAS docteur et responsable du master 2 à l'institut de génie chimique pour son aide considérable. J'adresse également mes respectueux remerciements à tous les membres du jury m'ont fait l'honneur de participer à évaluation de mon travail.

Mes remerciements se tournent également vers madame KASBADJI MERZOUK Nachida et monsieur MERZOUK, pour leurs aides.

Enfin, c'est avec beaucoup de plaisir qu'il m'est donné aujourd'hui d'exprimer ma sympathie et remerciements à mes amis pour leurs aides et soutiens, particulièrement à madame HATRAF Nesrine, SEBTI Aicha.

Enfin, je ne terminerai pas sans exprimer toute ma reconnaissance à mon marie, Hassan qui m'a encouragé et supporté avec bonté et patience pendant toutes ces années.

Sommaire

Introduction	1
I. Généralités sur les eaux usées.....	3
I.1. Définition et origine des eaux usées.....	3
I.2. Origine de la pollution des eaux usées industrielles.....	4
I.3. Caractéristiques des eaux usées.....	5
I.3.1. Paramètres physico-chimiques.....	5
I.3.1.1 La température.....	5
I.3.1.2 Le pH.....	5
I.3.1.3 La conductivité	6
I.3.1.4 La turbidité	6
I.3.1.5 Les matières en suspension MES.....	6
I.3.1.6 L'Oxygène dissout.....	6
I.3.1.7 Demande biologique en oxygène (DBO ₅).....	6
I.3.1.8 La demande chimique en oxygène (DCO).....	6
I.3.1.9 Les matières azotées.....	6
I.3.1.10 Les matières phosphatées.....	7
I.3.2. Paramètres Bactériologiques.....	7
I.4. Épuration des eaux usées.....	7
I.4.1 Les prétraitements	7
I.4.2 Traitement primaire	8
I.4.3. Le traitement secondaire ou traitement biologique.....	8
I.4.3.1 Boues activées	9
I.4.3.2 Lit bactérien.....	10
I.4.4. Les traitements tertiaires.....	10
I.5. Le Coûts d'exploitation des systèmes d'assainissement en Algérie.....	10
I.6.Épuration des eaux usées par les microalgues	11
1.6.1 Définition et origine des microalgues.....	11
1.6.2 Caractéristiques éco-biologiques et structurales des microalgues.....	11
I.6.3 Les modes de culture des microalgues.....	12
1.6.4 Épuration des eaux usées par les microalgues.....	13
II.1. Présentation générale de la zone d'étude la baie de Bou Ismail.....	15

II.2. Point de prélèvement	17
II.3. Contrôle qualité des rejets de la baie de Bou Ismail	18
II.3.1. Paramètres physico-chimiques.....	18
II.3.2. Analyses biologiques	19
II.4. Mise en œuvre de la bio-réduction des rejets dans la baie de Bou Ismail	20
II.4.1. Souche de microalgue utilisée.....	20
II.4.2. Culture, purification et conservation.....	20
II.4.3. Dispositif expérimental et suivi de la bio-réductions des rejets.....	22
III.1. Caractéristiques des eaux de rejets de la baie de Bou Ismail.....	23
III.2. Évaluation de l'effet de <i>Chlorella</i> sp sur l'épuration des eaux de rejets de la baie de Bou Ismail.....	24
III.2.1. Aspects physiques et chimiques du milieu de culture.....	24
III.2.2. Observations des cultures de microalgues.....	28
Conclusion Générale	32
Références bibliographiques.....	33
Annexes .	

Introduction

L'eau a de tout temps accompagné la vie des êtres vivants. Patrimoine commun de l'humanité, au même titre que l'air, elle est à la portée de tous, et bon marché. C'est ce qui le rend vulnérable. L'eau est constamment détériorée dans le monde qu'il s'agisse de pollution par les rejets industriels (éléments toxiques), par les substances utilisées pour l'agriculture intensive (herbicides et pesticides), ou par les excès de notre mode de vie (pollution, chlore), l'eau est rarement biocompatible. Aussi, la variabilité du climat et les conditions météorologiques extrêmes qui l'accompagnent (sécheresse et inondation) influent directement sur le milieu naturel et sur le développement socio-économique comme l'agriculture et les industries agro-alimentaires.

Les dernières études rapportent que d'ici 2050, la demande en eau devrait augmenter de 55 %, non seulement sous la pression d'une population croissante (la Terre comptera alors 9,5 milliards de personnes), mais aussi parce que la consommation s'envole. Les besoins de l'industrie devraient même exploser à plus de 400 %.

A l'instar, des autres pays, l'Algérie est confrontée aux mêmes problèmes. En effet, ses ressources en eau sont limitées en raison du climat semi-aride qui caractérise la majeure partie du territoire. A cela s'ajoute la sécheresse épisodique et permanente sur une grande partie du pays. Pour faire face à la rareté de l'eau et la rendre disponible, la question hydraulique a été placée en priorité sur l'agenda politique du gouvernement Algérien. De gros moyens ont été mis en œuvre pour mobiliser de nouvelles ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles (dessalement et réutilisation des eaux usées épurées).

D'énormes efforts sont consacrés pour la mise au point des moyens et procédés de traitement des eaux usées, afin de produire une eau qui pourrait être réutilisée en agriculture, en industrie et en d'autres activités sociales. Le volume global des eaux usées rejetées au niveau national est de 660 millions de m³. L'utilisation de 50% seulement de cette eau épurée permettra l'irrigation d'une superficie de près de 40 000 ha/an (Nichane et Khelil, 2014). Seulement, les techniques actuellement préconisées telle que les boues activées, le lit bactérien, les traitements chimiques sont énergivores et tributaires d'une maintenance lourde et coûteuse.

Il devient donc indispensable de recourir à l'optimisation des méthodes naturelles de traitement, largement préconisées ces dernières décennies dans plusieurs pays du monde (France, Espagne, Portugal,...). Dans cette perspective, les traitements biologiques par micro algues s'imposent fortement et offrent une alternative intéressante et prometteuse aux traitements conventionnels. Les microalgues sont utilisées depuis des décennies pour le traitement des eaux usées dans le cadre du lagunage. Actuellement, il est prouvé que certaines espèces de microalgues permettent de retirer efficacement les nutriments en fortes concentrations dans les eaux usées industrielles, avec comme second avantage de

Introduction

produire une biomasse pouvant être utilisée comme matière première valorisable. En effet, les microalgues se nourrissent essentiellement d'azote et de phosphate, dont les eaux usées sont fortement chargées. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude qui entre dans le cadre d'un projet de recherche inscrit dans les activités de recherche de l'Unité de Développement des Equipement Solaires (UDES) affiliée au Centre de Développement des Energies Renouvelables de Bouzaréah. Le projet s'intitule : Application des énergies renouvelables et des procédés naturelles pour le Traitement des eaux usées domestiques/ Plate forme Maison Solaire multifonctionnelle

A travers l'étude proposée, on tente d'évaluer le pouvoir épurateur d'une souche de microalgue apparentée au genre *Chlorella* isolée localement pour le traitement d'une eau usée mixte (urbaine et industrielle) déversée dans la baie de Bou Ismail.

Le présent mémoire est constitué de trois chapitres. Le premier chapitre donne quelques généralités sur les eaux usées, notions sur les traitements conventionnels des eaux usées industriels. Des généralités sur les microalgues, leurs modes de cultures et leurs influences dans les écosystèmes aquatiques. Pour finir par des généralités sur les procédés de l'épuration des eaux usées.

Le deuxième chapitre décrit les méthodes préconisées et la zone d'étude (Baie de Bou Ismail) ainsi que le matériel biologique testée. Il résume aussi, l'évaluation de la qualité des eaux de rejets dans la baie de Bou Ismail, les paramètres physiques et chimiques et bactériologiques ainsi que leurs protocoles opératoires utilisés. Il décrit aussi la méthodologie mise en œuvre pour le suivi de la bio-réduction des rejets après introduction de la souche *SI Chlorella* sp.

Le chapitre trois, donne l'interprétation des résultats obtenus pour la mesure de l'abattement des polluants par la souche *Chlorella* sp. Et enfin, le document est clôturé par une conclusion générale et des perspectives de travail motivantes.

I. Généralités sur les eaux usées

I.1. Définition et origine des eaux usées

Les eaux usées sont toutes les eaux souillées chargées de différents polluants du fait qu'elles ont déjà été utilisées dans une activité domestique ou industrielle, agricole et autres. On distingue plusieurs catégories de polluants : *les matières en suspension* (MES), qui désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau et la rendent trouble; *les matières organiques* (MO) qui sont, entre autres, tous les déchets carbonés tels que la cellulose produite par les papeteries, le sucre ou le lactosérum des industries agroalimentaires et enfin ; *les matières inhibitrices* (MI) parmi lesquelles on trouve des métaux ou métalloïdes (mercure, plomb), des pesticides, notamment les organochlorés , certaines huiles minérales et certains hydrocarbures (Perraud,2001). Selon leur origine, on distingue trois catégories d'eaux usées:

a) Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de Lessive, de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales), eaux de lavage de voirie, eaux pluviales. Elles contiennent des matières minérales et organiques dans les trois phases solide, liquide et gazeuse et dans les trois états de dispersion : débris grossiers, suspensions (émulsions), colloïdes, molécules dissoutes dissociées ou non. Les eaux usées véhiculent aussi des microorganismes pathogènes ou saprophytes et virus (Ouali, 2001). La pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée à selon les données de l'O.N.A (Office National d'Assainissement) :

- ▶ de 70 à 90 grammes de matières en suspension,
- ▶ de 60 à 70 grammes de matières organiques,
- ▶ de 15 à 17 grammes de matières azotées,
- ▶ 4 grammes de phosphore,
- ▶ Plusieurs milliards de germes pour 100 ml

b) Les eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de Ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des Caniveaux, des marchés et des cours). Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les Voies publiques et les marchés qui entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des boues, des sables, des déchets végétaux (herbes, pailles, Feuilles, graines, etc.) Toutes sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides, détergents utilisés pour le lavage des cours, des voies publiques, des automobiles, débris microscopiques de caoutchouc venant de l'usure des pneumatiques des véhicules. Plomb venant du plomb tétra éthyle contenu dans l'essence, retombées diverses de l'atmosphère, provenant notamment des cheminées domestiques et des cheminées d'usines (Desjardins, 1997).

c) Les eaux usées industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre (Boeglin). En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte (O.N.A).

I.2. Origine de la pollution des eaux usées industrielles.

Les eaux usées ou résiduaires industrielles sont spécifiques par leur volume et leur composition en polluants. On distingue trois types de pollution :

a) Pollution physique.

C'est une pollution due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau). On peut la répartir en trois classes: mécanique, thermique ou radioactive (Galaf., 003) :

- **La pollution mécanique** qui résulte des décharges de déchets et de particules solides apportées par les eaux résiduaires industrielles, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension (MES).
- **La pollution thermique** causée par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries..); et qui ont une température de l'ordre de (70 à 80) °C. Elle diminue jusqu' à (40 à 45) °C lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène. En outre, tout changement de température cause des effets significatifs sur la survie des organismes aquatiques. Un abaissement important de température ralenti la plupart des réactions chimiques vitales voire les arrêter. Par contraire, des augmentations de température peuvent tuer certaines espèces, mais également favoriser le développement d'autres organismes causant ainsi un déséquilibre écologique (Boeglin)
- **La pollution radioactive** occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets qui trouvent leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ces formes (installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs). Les éléments radioactifs s'incorporent dans les molécules des organismes vivants (Boeglin).

b) Pollution chimique

Elle résulte des rejets chimiques. La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories :

- **Pollutions organiques** (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols..) : ceux sont les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis

par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...). Ils provoquent une consommation d'oxygène dissout de ces eaux, entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement (dépôts de matières organiques au fond des rivières), fermentation anaérobie (putréfaction) génératrice de nuisances olfactives (Boeglin, Savadogo, 1996).

➤ **Pollutions minérales** qui peuvent provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux. Les polluants minéraux sont principalement les métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs (Mayet, 1994).

- **Les métaux lourds** : sont essentiellement le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le plomb l'argent (Ag), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le nickel (Ni) et le zinc (Zn). Ces éléments, bien qu'ils puissent avoir une origine naturelle (roches du sous-sol, minerais), proviennent essentiellement de la contamination des eaux par des rejets d'activités industrielles diverses (traitements de surface, galvanoplastie, hydrométallurgie, industries minières, chimique, pétrochimique, pharmaceutique,...etc.). Ils ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants ainsi que dans la chaîne trophique (Keck, 2000).
- **Les éléments minéraux nutritifs** (nitrates et phosphates) : provenant pour l'essentiel de l'agriculture et des effluents domestiques (Mayet, 1994) il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques.

c) Pollution microbiologique

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec la matière fécales. Cette flore en entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peuvent être classés en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (Savadogo, 1996).

I.3. Caractéristiques des eaux usées

Dans ce sous chapitre nous passerons en revue les principaux paramètres physicochimiques mesurés au cours de la partie expérimentale ainsi que les paramètres bactériologiques les plus rencontrés dans les eaux usées.

I.3.1. Paramètres physico-chimiques

I.3.1.1 La température : Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier O₂) dans l'eau ainsi que, la détermination du pH et la vitesse des réactions chimiques. La température agit aussi comme facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau.

I.3.1.2 Le pH : est la mesure du caractère acide ($1 < \text{pH} < 7$) ou basique ($7 < \text{pH} < 14$) des eaux usées. En général, l'activité biologique se situe entre 6.5 et 8 unités de pH. En dehors de

cet interval, le pH affecte la vie aquatique et par conséquent influence l'auto-épuration du milieu naturel.

1.3.1.3 La conductivité : La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

1.3.1.4 La turbidité : La turbidité représente l'opacité d'un milieu. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux par la présence des matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les grains de silice et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence des matières colloïdales d'origine organiques ou minérale.

1.3.1.5 Les matières en suspension MES: représentent les matières qui ne sont ni à l'état dissous ni à l'état colloïdales, donc filtrable. Elles sont organiques et/ou minérales et permettent une bonne évaluation du degré de pollution d'une eau.

Les MES sont responsable d'ensablement et de baisse de pénétration de la lumière dans l'eau, ce qui entraîne une diminution l'activité photosynthétique et une chute de la productivité du phytoplancton.

1.3.1.6 L'Oxygène dissout : La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse. Une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène (torrent), alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée. En effet, la forte présence de matière organique, dans un plan d'eau par exemple, permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène.

1.3.1.7 Demande biologique en oxygène (DBO₅) : exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes, dans des conditions données. Les conditions communément utilisées sont 5 jours (on peut donc avoir une dégradation partielle) à 20°C, à l'abri de la lumière et de l'air: on parle alors de DBO₅. Cette mesure est très utilisée pour le suivi de rejet de station d'épuration, car elle donne une approximation de la charge en matières organiques biodégradables. Elle est exprimée en mg d'O₂ consommé.

1.3.1.8 La demande chimique en oxygène (DCO) : exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant: le bichromate de potassium. Le résultat s'exprime en mg/l d'O₂. Elles représentent la plus part des composés organiques (détergents, matières fécales).

1.3.1.9 : Les matières azotées : Les formes de l'azote dans les eaux usées sont l'azote total (NTK), les nitrates (NO₃⁻) et les nitrites (NO₂⁻). En plus de la toxicité de la forme ammoniacale et nitrique l'azote intervient dans le phénomène de l'eutrophisation. Donc, sa

caractérisation et sa quantification sont primordiales pour les rejets liquides dans le milieu naturel (Deronzier, 2001).

I.3.1.10 : Les matières phosphatées : c'est la quantité de phosphore total contenu dans l'eau sous diverses formes : polyphosphates, organophosphates et orthophosphates. Le phosphore est aussi responsable de l'eutrophisation du milieu aquatique, d'où l'obligation de sa détermination (Martin, 1987).

I.3.2. Paramètres Bactériologiques

La détermination de la flore aérobie mésophile totale, des coliformes totaux, coliformes fécaux, staphylocoque, streptocoque, salmonelles et les *E. coli* ainsi que certains pathogènes (*Pseudomonas*) peuvent donner une indication sur les risques liés à l'utilisation ultérieure de certains types d'eaux (Dekhil, 2012).

I.4. Épuration des eaux usées

L'objectif principal de l'épuration est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement. À cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins d'opération et d'entretien minimaux. Les stations d'épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les solides en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques aux récoltes ainsi que les constituants biologiques (microbes pathogènes) qui concernent la santé publique en général.

Les différents degrés de traitements conventionnels sont :

I.4.1 Les prétraitements

Les effluents doivent subir avant le traitement proprement dit, un prétraitement comportant un certain nombre d'opérations à caractère physique ou mécanique. Le but est dans ce cas d'extraire et d'éliminer de l'eau les éléments solides en suspension ou en flottation et qui pourraient constituer une gêne pour les traitements ultérieurs.

Les traitements successifs sont :

- **Le relevage** est nécessaire avant tous prétraitement pour assurer un passage gravitaire de l'eau dans les différents ouvrages de traitement, le niveau d'entrée des eaux à épurer étant plus bas que le niveau de sortie du clarificateur des eaux épurées avant rejet dans le milieu naturel. On utilise alors un système de relevage assuré par des pompes à roues multicanales fermées ou par vis d'Archimède.
- **Le dégrillage** consiste à retenir les gros déchets solides au moyen de grilles à barreaux verticaux dont l'écartement varie entre 3 et 100 mm en fonction de l'efficacité voulue.

Sont ainsi éliminés les bois, plastiques, papiers, bouteilles, feuilles qui sont susceptibles de provoquer des dégâts aux conduites et machines des différentes unités de l'installation. Dans une STEP pour eaux résiduelles, l'écartement est de l'ordre de 10 à 30 mm. Le volume des matières dégrillées est de 5 à 10 dm³ par usager et par an pour un espacement d'environ 20 mm.

- **Le dessablage** est de plus en plus associé dans le même ouvrage au **déshuilage**. Il a pour but d'extraire des eaux brutes les sables, les graisses et particules minérales plus ou moins fines en suspension, de manière à éviter l'abrasion des pompes et conduites en aval. Le sable se dépose dans le fond de l'ouvrage, est raclé ou sucé par pompes montées sur pont roulant. Le volume extrait par habitant et par an est de l'ordre de 5 à 12 dm³. Les huiles et les graisses en principe flottent car leurs densités sont inférieures à celle de l'eau. On utilise souvent une aération sous forme de bulles d'air qui augmentent la vitesse de montée des particules grasses dont la récupération s'effectue dans une zone de tranquillisation. Le temps de séjour dans ce type d'ouvrage est de 5 à 12 minutes et le débit d'air insufflé est de l'ordre de 0,2 mètre cube et par heure.

I.4.2 Traitement primaire

Le traitement primaire élimine plus de la moitié des matières en suspension et constitue une pré-épuration non négligeable quoique insuffisante pour garantir la qualité du rejet en milieu naturel. Il fait appel à différents procédés physiques ou chimiques. Les matières en suspension se déposent au fond par différence en raison d'une densité supérieure à celle de l'eau. La décantation classique est possible lorsque les eaux prétraitées séjournent en eaux calmes dans le bassin de décantation primaire. Les matières en suspension, organiques ou non, se déposent dans le fond du bassin simplement par gravité. Elles y sont raclées et évacuées formant ainsi les boues primaires. Pour déstabiliser la suspension, il faut favoriser l'agglomération des colloïdes en diminuant leurs forces de répulsion électrostatique. Lorsque ces particules s'agglomèrent, il y a floculation ou coagulation. La coagulation s'obtient par addition dans l'eau d'un réactif chimique le sel d'aluminium ou de fer qui neutralise les charges électriques superficielles répulsives, et permet ainsi leur agglomération. Celle-ci est accélérée par l'ajout d'un polymère, sorte de macromolécule à longue chaîne qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées en flocons volumineux qui se déposent par gravité.

Ce type de traitement primaire n'est pas généralisé à toutes les STEP mais la coagulation - floculation, suivie d'une décantation permet d'éliminer jusqu'à 90% de MES et de 40 à 65% de la DBO₅ des effluents résiduels urbains.

I.4.3. Le traitement secondaire ou traitement biologique

Les procédés d'épuration secondaire (ou biologique) comprennent des procédés biologiques, naturels ou artificiels, faisant intervenir des microorganismes aérobies pour décomposer les matières organiques dissoutes ou finement dispersées (Desjardins, 1997). La dégradation peut se réaliser par voie aérobie (en présence d'oxygène) ou anaérobie (en l'absence d'oxygène) :

- **la voie anaérobie** : si les réactions s'effectuent à l'abri de l'air, en milieu réducteur. Le carbone organique, après dégradation, se retrouve sous forme de CO₂, méthane et biomasse. Ce type de traitement appelé « digestion anaérobie » n'est utilisé que pour des effluents très concentrés en pollution carbonées, de type industriel (basserie, sucrerie, conserverie ...).
- **la voie aérobie** : si l'oxygène est associé aux réactions. Cette voie est celle qui s'instaure spontanément dans les eaux suffisamment aérées. Le carbone organique se retrouve sous forme de CO₂ et de biomasse (Degremont, 1972).

L'épuration biologique des eaux usées peut être mise en œuvre par les micro-organismes qui se développent en suspension dans l'eau (boues activées), ou encore dans les réacteurs à biomasse fixée dans lesquels les micro-organismes se développent sur un support grossier ou sur garnissage plastique (lit bactérien) ou sur un disque (disques biologiques).

I.4.3.1 Boues activées

Les traitements réalisés en station d'épuration consistent à dégrader et séparer les polluants de l'eau (particules, substances dissoutes, microorganismes) par des procédés physiques, chimiques et biologiques pour ne restituer au milieu aquatique qu'une eau de qualité suffisante au regard du milieu récepteur. Le résultat de ces opérations est la production de boues qui est le principal sous-produit du cycle de traitement de l'eau. Donc les boues d'épuration urbaines résultent du traitement des eaux usées qui proviennent de l'activité des particuliers et éventuellement des rejets industriels dans les réseaux des collectivités après avoir suivi un prétraitement obligatoire (Pernin, 2003).

Une station de traitement par boues activées comprend dans tous les cas :

- un bassin dit d'aération dans lequel l'eau à épurer est mise en contact avec la masse bactérienne épuratrice,
- un clarificateur dans lequel s'effectue la séparation de l'eau épurée et de la culture bactérienne,
- un dispositif de recirculation assurant le retour vers le bassin d'aération de la boue biologique récupérée dans le clarificateur. Cela permet de maintenir dans ce bassin la quantité (ou concentration) de micro-organismes nécessaire pour assurer le niveau d'épuration recherché,
- un dispositif d'extraction et d'évacuation des boues en excès, c'est-à-dire du surplus de culture bactérienne synthétisée en permanence à partir du substrat,
- un dispositif de fourniture d'oxygène à la masse bactérienne présente dans le bassin d'aération,
- un dispositif de brassage de ce même bassin, afin d'assurer au mieux le contact entre les cellules bactériennes et la nourriture, (Degremont, 1972).

Il y a lieu de savoir qu'une épuration biologique (boues activées puis bassin de clarification) permet d'éliminer 90 % des virus, 60 à 90 % des bactéries, cependant elle a peu d'effet sur les kystes de protozoaires et les œufs d'helminthes (Faby, 1997).

Selon Asano (1998), un traitement par boues activées élimine 90 % des bactéries entériques,

80 à 99 % des entérovirus et des rotavirus, 90 % de *Giardia* et de *Cryptosporidium*. L'élimination a lieu grâce à la sédimentation des MES, la compétition avec les microorganismes non pathogènes et la température ; la part la plus importante est due à la sédimentation.

I.4.3.2 Lit bactérien

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs. Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux. Le rendement maximum de cette technique est de 80 % d'élimination de la DBO₅.

I.4.4. Les traitements tertiaires

Les traitements tertiaires regroupent toutes les opérations physiques, chimiques ou biologiques qui complètent les traitements primaires et secondaires. Les traitements tertiaires sont nombreux et peuvent constituer une chaîne complexe ; les opérations qui les composent dépendent de l'usage que l'on fera de l'eau traitée. Dans le cas des rejets en rivière, ils se limitent à la désinfection, l'élimination de l'azote et phosphore. Si l'eau traitée est destinée à un recyclage alors les opérations sont plus nombreuses et plus complexes, parmi les plus courantes (Ouali, 2001) :

- La filtration et adsorption,
- Désinfection,
- Echange d'ions,
- Séparations par membranes,
- Electrodialyse.

I.5. Le Coûts d'exploitation des systèmes d'assainissement en Algérie

Depuis le début des années 2000, le gouvernement algérien a pris des mesures importantes pour sortir de la situation de pénurie d'eau qui touchait le pays. La question hydraulique a été placée en priorité sur l'agenda politique et d'importants moyens ont été mis en œuvre pour mobiliser de nouvelles ressources en eau, conventionnelles et non conventionnelles. A cet effet, l'Algérie s'est dotée d'un arsenal juridique, qui relève principalement de la loi de l'eau (loi n°05-12 du 4 août 2005) et une politique de l'assainissement (décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006) qui consiste à collecter, à traiter et à rejeter en permanence les eaux traitées de qualité maximale au moindre coût et

de façon à ne pas compromettre le milieu et les usages (production d'eau alimentaire, baignades...).

L'Algérie dispose de 176 stations d'épuration (dont 89 lagunes) en fonctionnement avec une capacité installée estimée à 12 millions EQH (équivalent habitant) soit 800 Hm³/an. Toutes les stations d'épuration fonctionnent par le procédé à boues activées. Le volume d'eau traitée est de l'ordre de 560 000 m³/j.

Tenant compte des données publiées en décembre 2014 par l'O.N.A (Office National d'Assainissement), les frais d'exploitation des systèmes d'assainissement s'élèvent à **498 Millions de DA**, dont :

- Plus de **313 Millions de DA** pour la gestion et l'exploitation des réseaux, correspondant à un ratio de **3,64 DA/m³** d'eau collectée.
- Plus de **128 Millions de DA** pour la gestion et l'exploitation des STEP et lagunes, correspondant à un ratio de **8,32 DA/m³** d'eau épurée.
- Plus de **56 Millions de DA** pour la gestion et l'exploitation des stations de relevage, correspondant à un ratio de **2,78 DA/m³** d'eau relevée.

Sachant que l'O.N.A exploite 109 stations d'épuration d'eaux usées dont 60 stations de lagunage (O.N.A).

I.6.Épuration des eaux usées par les microalgues

1.6.1. Définition et origine des microalgues

Les microalgues sont des micro-organismes autotrophes pouvant se trouver dans l'eau douce ou dans l'eau de mer. Les algues bleues ou cyanobactéries sont les premières traces de vie de notre planète Terre, il y a environ 4 milliards d'années. Les algues rouges, vertes et brunes et toutes les autres formes de vie sont apparues par la suite. Les microalgues sont cosmopolites et ont colonisé la totalité de notre planète. Des microalgues peuvent être trouvées dans des milieux extrêmes comme l'Antarctique ou le Sahara, au plus profond des mers et même à proximité des sources thermales.

1.6.2 Caractéristiques éco-biologiques et structurales des microalgues

Il existe 1100 genres de microalgues dont 14000 espèces d'eau douce et 14000 d'eau salée. Ce sont des êtres photosynthétiques, c'est-à-dire qu'elles sont capables de produire de la matière organique à partir d'éléments minéraux grâce aux processus d'assimilation photosynthétique (photosynthèse). Les micro-algues sont donc des êtres autotrophes mais il est possible que certaines d'entre elles, comme les euglènes, deviennent hétérotrophes lorsqu'elles sont placées dans des conditions défavorables de survie.

Ces microorganismes synthétisent, par le biais de la photosynthèse, de l'oxygène et des métabolites organiques primaires tels que les glucides, les lipides et les protéines. Du point de vue structure cellulaire on distingue deux catégories. Les micro-algues eucaryotes qui possèdent une structure cellulaire végétale classique compartimentée, avec ou sans paroi cellulosique, et, avec des pigments photosynthétiques renfermés dans des plastes. Les micro-algues procaryotes, appelées aussi cyanobactéries, ont une structure bactérienne classique sans compartiment, les pigments photosynthétiques étant contenus dans des membranes lamellaires (Filali, 2012).

Les microalgues (eucaryotes et procaryotes) peuvent présenter des formes variables (Fig.1) : souvent sphériques (Porphyridium), en forme de croissant (Clostridium), de spirale (Arthrospira), de gouttelette (Chlamydomonas) et même d'étoile (Staurostrum).

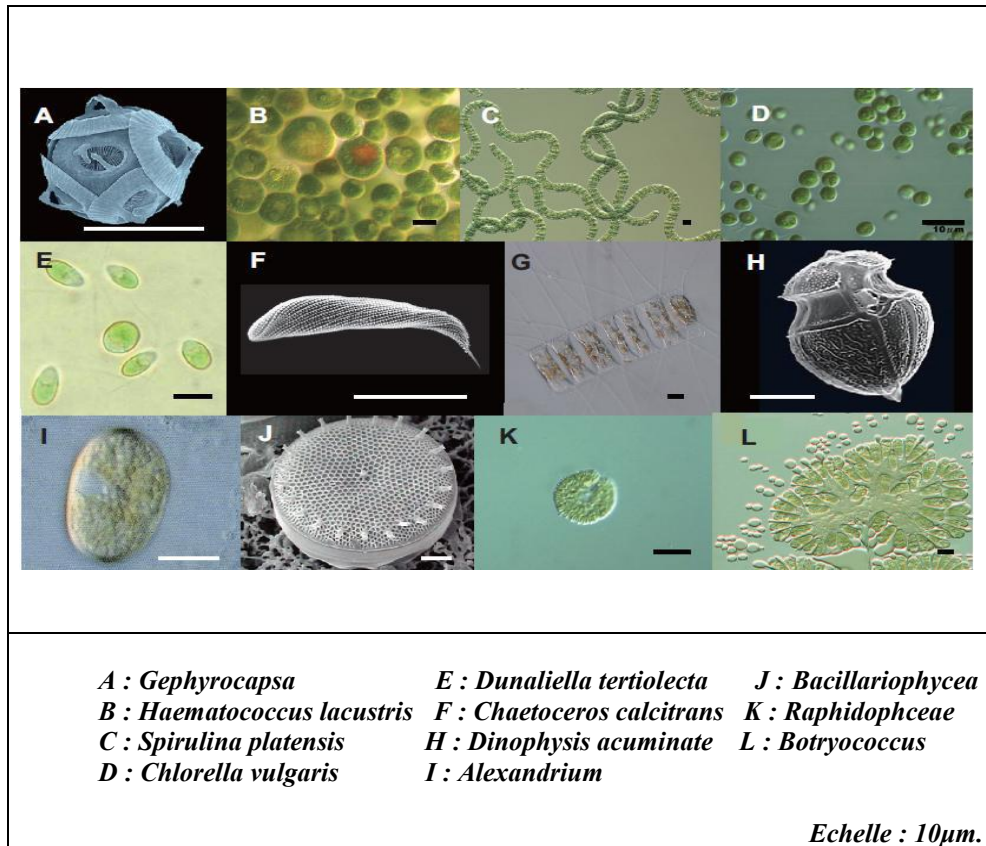


Figure 1. Diversité morphologique des microalgues (sumi, 2009) .

Les micro-algues peuvent vivre sous forme libre ou en colonie. Leur cellule unique et indifférenciée assure toutes les fonctions.

En ce qui concerne la multiplication des micro-algues, elles ne grandissent pas. Par contre, certaines d'entre elles, comme les diatomées, peuvent voir leur taille diminuer. Comme toutes les micro-algues, elles colonisent leur milieu en se divisant par mitose (reproduction asexuée), rapidement et activement, si les conditions physico-chimiques et nutritives sont favorables.

I.6.3. Les modes de culture des microalgues

Les micro algues peuvent être cultivées dans une multitude de récipients: éprouvettes, sacs en polyéthylène, colonnes, dispositif d'hélio synthèse, etc.... Plusieurs méthodes de cultures existent : les cultures en batch, en mode semi-continu et en mode continu.

- **Culture en batch :** La culture en batch représente un mode de culture très utilisé pour sa simplicité de mise en œuvre et son faible coût en matériel et en maintenance. Ce mode de culture consiste en une seule inoculation de cellules

dans un petit volume de milieu enrichi (type tube à essai) de culture. Quand la population algale a atteint son maximum d'abondance en cellules, les algues sont transférées dans un volume plus grand contenant du nouveau milieu enrichi (type flacon erlenmeyer 250 mL) et ainsi de suite jusqu'à des plus grands volumes (types bassin de 25000 litres)

- **Cultures en mode continu** : Les cultures en mode continu consistent en un apport régulier de milieu de culture dans le contenant, l'excès de culture est continuellement pompé (Principe des photobioréacteurs) (Fig. 2).



Figure 2 : Réacteur tubulaire.(Source : Microphyt)

- **Cultures en mode semi-continu** : La technique des cultures en mode semi-continu est intermédiaire. Dans le schéma de production de cultures en batch, une fois l'étape de la culture en grand volume (25000L par exemple) atteinte, une partie de cette culture est utilisée et un nouvel apport de milieu enrichi est réalisé pour ajuster le volume ce qui fait repartir la croissance de la population

1.6.4 Épuration des eaux usées par les microalgues

Les microalgues ont besoin d'éléments nutritifs présents dans le milieu pour leur croissance. Leurs capacités à retirer ces composés les rendent intéressantes et potentiellement performantes pour la phytoremédiation, qui consiste en l'utilisation de végétaux pour le retrait ou la bioconversion de polluants contenus dans un milieu contaminé dans le but de le traiter (Boileau, 2015). Grâce à l'absorption de l'azote et du phosphore, elles contribuent à réduire le phénomène d'eutrophisation de certains milieux aquatiques.

L'idée d'utiliser des micro-algues pour le traitement des eaux usées développée à l'origine dans les années 1950 en Californie par W.Oswald (Oswald et Gotaas, 1957; Oswald, 1963). Le rôle des algues était à la fois d'assimiler les nutriments et de soutenir les bactéries en oxygène. Les bactéries, à leur tour, ont été impliquées dans la dégradation des matières organiques dans les eaux usées, le même processus utilisé dans les boues activées.

Une étude ayant porté sur l'implication de *Chlorella vulgaris* dans l'absorption de l'azote et du phosphore des eaux usées a montré que l'oxygénation du milieu est facilitée

par la production in situ de O_2 par la photosynthèse, permettant ainsi de réduire l'aération extérieure et limitant la fuite dans l'air des composés organiques volatils. Certaines études ont eu recours à des algues vertes, principalement *Chlorella*, *Ankistrodesmus* et *Skeletonema*, pour les traitements des eaux usées issues d'usines de fabrication de pâte à papier ainsi que de production d'huile d'olive (Filali, 2012).

Plusieurs auteurs rapportent des résultats déterminants quant à l'efficacité des microalgues vertes pour le traitement des eaux usées chargées en nutriments. Par exemple, Wang et al. (2010) ont vérifié en laboratoire la capacité de retrait des nutriments par *Chlorella sp* dans les eaux usées municipales. Les résultats obtenus ont permis de conclure que ces microalgues peuvent facilement croître en utilisant les eaux usées comme substrat dans un volume de 100 mL. Elles sont de plus en mesure de retirer des quantités non négligeables de métaux, de phosphore et de nitrates et de diminuer la demande chimique en oxygène (DCO). Les meilleurs résultats de croissance et de retrait ont été obtenus avec le milieu le plus riche en nutriments (N et P principalement).

D'avantage d'études ont été réalisées sur l'utilisation des microalgues pour la phytoremédiation des eaux usées municipales plus que les eaux usées industrielles. Le fait est que, les eaux industrielles contiennent plus de composés vraisemblablement toxiques pour les algues que les eaux municipales, ce qui pourrait expliquer la difficulté d'applicabilité de ce traitement. De plus, la composition des eaux usées industrielles peut être variable d'une production à l'autre, ce qui rend difficile l'utilisation d'un procédé standardisé (Boileau, 2015).

La culture des microalgues en eaux usées combine l'avantage de traiter ces dernières en produisant au même temps de la biomasse algale qui peut être exploitée pour produire d'autres molécules intéressantes biodiesel, ou de l'énergie (biogaz). Le challenge reste à trouver un système dans lequel les déchets résiduels, les microalgues et la production d'énergie pourraient coexister avec de bonnes performances techniques et économiques (Becerra, 2009).

Introduction

Alors qu’environ 30 000 espèces de microalgues sont connues, leur domaine d’utilisation sont de plus en plus appliqués. Cependant, seule une trentaine d’espèces faciles à cultiver sont actuellement étudiées. Les microalgues intéressantes pour la production de nouveaux produits sommeillent encore dans la nature et sont à découvrir (C. Guadin, 2013).

Une des actuelles applications est expérimentée dans cette étude. Il s’agit d’évaluer le pouvoir épurateur d’une microalgue autochtone isolée du sud Algérien sur des eaux usées mixtes (urbaines et industrielles). Ce procédé pourrait être une solution à moindre cout pour un grand problème de pollution pour la baie de Bou ismail.

Les expériences de purification, de culture et d’analyse biochimiques ont été effectuées conjointement au Laboratoire d’Epuraton et de Valorisation des Eaux de Rejets de l’Unité de développement des Equipements Solaires de Bousmail (UDES, Tipaza) et le Laboratoire de microbiologie du Centre National Recherche & Développement Pêche et Aquaculture (CNRDPA, Bousmail, Tipaza.).

II.1. Présentation générale de la zone d’étude la baie de Bou Ismail

Notre site d’étude correspond à la baie de Bou Ismail (ex Golfe de Castiglione), limité à l’Est par le promontoire de Ras-Acrata et à l’Ouest par le cap du Mont Chenoua (Fig.1). Dans ce vaste domaine maritime, se trouve incluse la baie d’El Djamila. Elle couvre une superficie de 509Km² avec une ouverture de 40 Km orientée du Sud- Ouest au Nord- Est, soit 2° 54’ Est, 36° 48’ Nord à 2° 24’ Est et 36° 38’ Nord.

La région de Bou Ismail est une zone à vocation touristique et agricole ; elle est donc soumise à toutes sortes de pollution : domestique, agricole, et industrielle, (rejet TONIC-Industrie.) qui se déverse directement dans le milieu naturel sans aucun traitement au préalable.

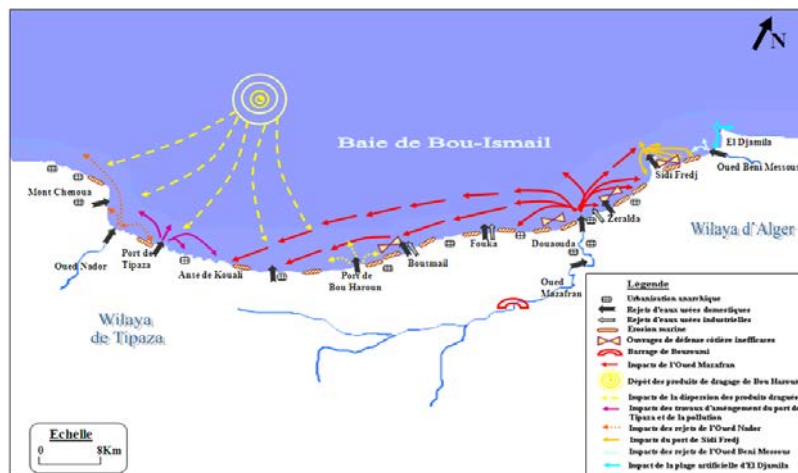


Figure 1. Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bousmail (Source CNRDPA).

La wilaya de Tipasa connait de nombreux problèmes environnementaux; l'apparition d'un nombre considérable de décharges sauvages, répertoriées sur le territoire de la wilaya, sont localisées en majorité sur les abords des voies, rives des oueds, bord de mer, forêts....

L'origine principale de la pollution qui affecte les eaux de surface, et marines de la wilaya de Tipasa ce sont les eaux usées que rejettent les ménages et les produits polluants dus à l'activité industrielle et qui ne subissent aucun traitement préalable.

Les rejets des eaux usées urbaines et industrielles se font vers les principaux bassins versants et sous bassins versants des oueds (Oued Nador, oued Mazafrane,...) traversant la wilaya ver l'eau de mer.

D'après une étude faite par le CNRDPA (Tableau 1 et Fig.2), le site le plus pollué est la zone industrielle de Bou Ismail où une forte pollution chimique a été constatée. Elle est essentiellement due aux rejets industriels dans la baie.

Tableau 1. Récapitulatif d'étude faite par le CNRDPA sur la willaya de TIPASA.

Activité industrielle	Nature des rejets	Impact environnemental
Bou-Ismaïl	Eaux usées et domestiques	Impact sur le milieu marin et catastrophe écologiques
Zone industrielle de Bou-Ismaïl	Déchets solides, chutes de carton, papier, peinture, colorant, produits agro-alimentaires, produits pharmaceutique	
Daouada	Rejets domestiques prédominants	Impact sur milieu marin Pollution d'oued Mazafran Risque de déperdition faunistique et floristique Risque de pollution biologique
Embouchure d'oued Mazafran	Rejets industriels	
Baie Chenoua	Rejets domestiques et agriculture	Risque de pollution biologique
Oued Nador		Eutrophisation



Figure 2. Pollution dans la baie de Bou Ismail (Photo prise le 18/03/2015).

II.2. Point de prélèvement :

Deux échantillons d’eaux usées ont été prélevés, en deux périodes, sur un même point de rejet des eaux usées de la ville de Bou Ismail (Fig. 3): La première datée du 18/03/2015, la deuxième le 20/04/2015. Ceux sont des prélèvements instantanés sur les rejets ne reflétant pas la composition de l’eau qui a un caractère évolutif, surtout vis-à-vis des phénomènes de pollution de la baie de Bou Ismail(photo1), une meilleure appréciation de ces variations peut résulter d’une multiplication des prélèvements, mais ceci demandera des dispositifs automatiques de prélèvement en continu et une surveillance sur les lieux de prélèvements .

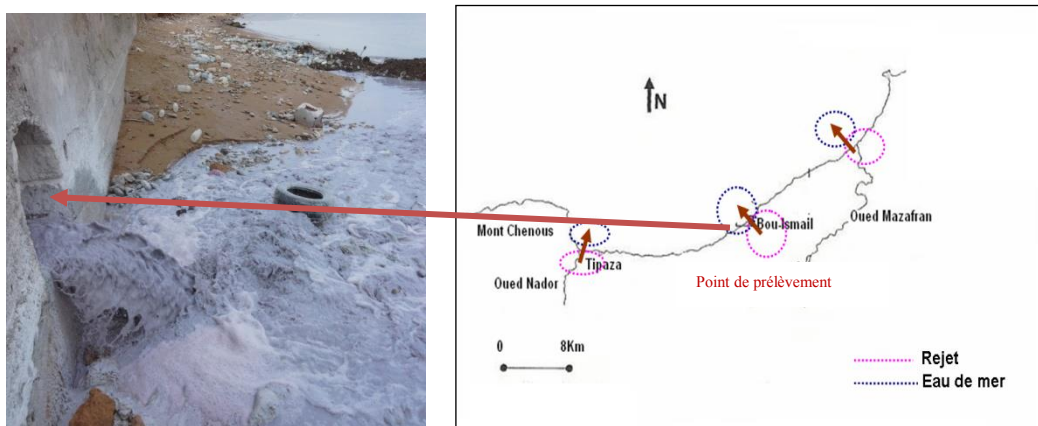


Figure 3. Déversent d’un collecteur d’eaux usées dans la baie de Bou Ismail (Photo prise le 18/03/2015)

II.3. Contrôle qualité des rejets de la baie de Bou Ismail

Pour l'évaluation globale de la qualité des rejets dans la baie de Bou Ismail, on s'est appuyé sur des paramètres physiques que nous avons mesurés sur le site de prélèvement et suivis durant toute la période de traitement au laboratoire, et apprécié la charge polluante ainsi que la qualité bactériologique.

II.3.1. Paramètres physico-chimiques

Les différents paramètres physico-chimiques retenus sont: la température, le pH, l'oxygène dissout et la conductivité, la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO₅), les ions phosphates (PO_4^{3-}), les ions ammoniums (NH_4^+), les ions nitrates (NO_3^-). Les protocoles standards utilisés lors de cette étude sont donnés en annexes.

a) Paramètres physiques

Les mesures de la température, du pH, de l'oxygène dissout, de la conductivité électrique ont été effectuées in situ à l'aide d'un multi-paramètre à sonde de marque WTW 340i.

b) Paramètres chimiques

Parmi les paramètres chimiques la demande biochimique en oxygène (DBO) est directement liée à la teneur en matière organiques biologiquement dégradables (biodégradables) et la demande chimique en oxygène (DCO) est liée à la teneur en matière organique totales (biodégradables et non biodégradables) (Rodier, 2009).

➤ Mesure de la demande biochimique en oxygène en 5 jours:

La demande biochimique en oxygène DBO₅ est définie comme étant la quantité d'oxygène consommée lors de la dégradation de la matière organique. Elle se mesure en général à l'obscurité, à 20°C et pendant 5 jours; c'est ce qu'on appelle DBO₅. Les mesures de DBO₅ se sont faites au laboratoire, selon la méthode manométrique à l'aide d'un appareillage de type Velp-Scientifica®. Un volume de 150 ml de l'échantillon à analyser est placé dans un flacon relié à un manomètre à mercure. Le CO₂ formé par la respiration des bactéries est fixé par des pastilles de KOH placées dans le bouchon du flacon. Seule la variation de l'oxygène consommé lors de la dégradation de la matière organique est prise en compte. Cette consommation est traduite par une dépression mesurée par le manomètre, et convertie directement en mg d'oxygène par litre.

➤ Mesure de la demande chimique en oxygène:

La mesure de la demande chimique en oxygène DCO est faite par la méthode dite de «digestion au réacteur». Après homogénéisation des échantillons d'eau usée, 2 ml sont prélevés et introduits dans des tubes à DCO, puis incubés en présence d'un témoin à 150 °C pendant 2 heures dans un réacteur (appareil de chauffage multitubes) de DCO de marque VELP Scientifica. Après refroidissement des tubes, la valeur de la DCO de l'échantillon est lue en mg/l, au photomètre de marque, AQUALYTIC à la longueur d'onde 600 nm.

➤ L'indice de biodégradabilité (DCO / DBO₅)

Le rapport DCO/DBO₅ détermine la possibilité et le rendement de dégradation que l'on peut espérer par un traitement d'oxydation biologique.

Pour les effluents industriels, qui peuvent contenir une fraction notable de composés non biodégradables, on pourra considérer selon le rapport DCO/DBO₅ que l'aptitude à la biodégradation est plus ou moins favorable à un traitement biologique, les règles suivantes étant généralement retenues:

- DCO/DBO₅ < 3 effluent facilement biodégradable,
- 3 < DCO/DBO₅ < 5 effluent moyennement biodégradable,
- DCO/DBO₅ > 5 effluent difficilement biodégradable, voire non biodégradable

Nous nous sommes principalement intéressés aux sels nutritifs les plus impliqués dans le phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques.

➤ Dosage des phosphates

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique. Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates, le développement de la coloration est accélérée par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium des orthophosphates, par spectrométrie.

➤ Dosage de l'Ammonium

Nous avons appliqué la méthode au bleu d'indophénol pour le dosage de l'ammonium, le principe consiste à mettre, dans un milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme un catalyseur, les ions ammonium traités par une solution de chlore pour les transformer en monochloramine (NH₂Cl) et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage par spectrométrie d'absorption moléculaire.

➤ Dosage de nitrates (N-NO₃)

La méthode appliquée est la méthode par réduction de cadmium (Aminot et al, 1983). Le dosage des ions NO₃⁻ après la réduction des nitrates par passage de l'échantillon de cadmium traitée au cuivre (la colonne réductrice).

II.3.2. Analyses biologiques

Les analyses biologiques ont été faites au laboratoire du CNRDPA par recherche et dénombrement des coliformes en milieu liquide de BCPL. La technique en milieu liquide fait appel à deux tests consécutifs :

- Test de présomption, réservé à la recherche des coliformes totaux.
- Test de confirmation ou test de Mac Kenzie, ce test est basé sur la recherche des coliformes fécaux ou thermo tolérants parmi lesquels, on redoute surtout la présence d'*Escherichia coli* à partir des tubes positifs du test de présomption (Protocole en annexe).

II.4. Mise en œuvre de la bio-réduction des rejets dans la baie de Bou Ismail

II.4.1. Souche de microalgue utilisée:

La souche S1 de *Chlorella* sp utilisée, a été isolée dans l'oasis de Sid Ahmed Timmi, altitude de 252 à 282 m, 0° 15' de longitude Est, 27° 45'N en latitude près de Tamentit à Adrar, dans le Sahara Algérien (Chader, 2009). Une première identification basée sur les caractères morphologiques a révélé que la souche est apparentée au genre *Chlorella*, une microalgue verte unicellulaire, de forme sphérique, entre 2 à 10 µm de diamètre, sans flagelles et contenant un chloroplaste d'une structure de pyrénocyste typique (Fig. 4).

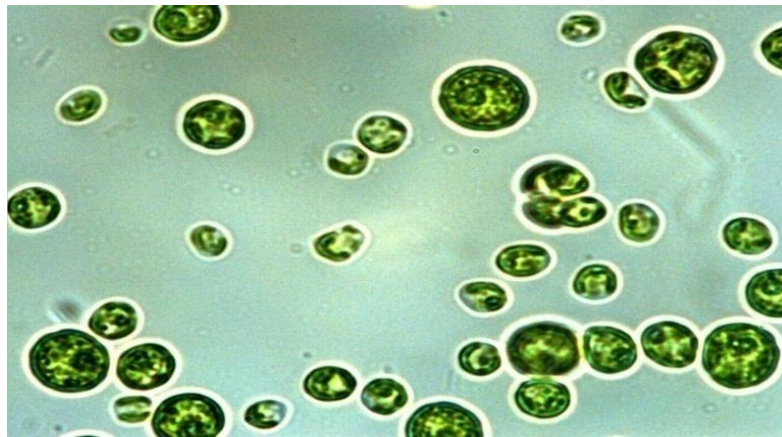


Figure.4. *Chlorella* sp observée au microscope photonique grossissement x 40 (Chader, 2009).

II.4.2. Culture, purification et conservation

L'étape de la purification des cultures, nous permet d'obtenir des cultures pures à après trois jours d'incubation. Un échantillon de colonie est prélevé ensuite purifié par repiquage : Les colonies correspondantes aux chlorelles vont être prélevées et étalées sur des nouvelles boîtes de pétri (Fig.5). Cette opération sera répétée plusieurs fois pour s'assurer de l'isolement d'une colonie pure correspondant à *Chlorella* sp.

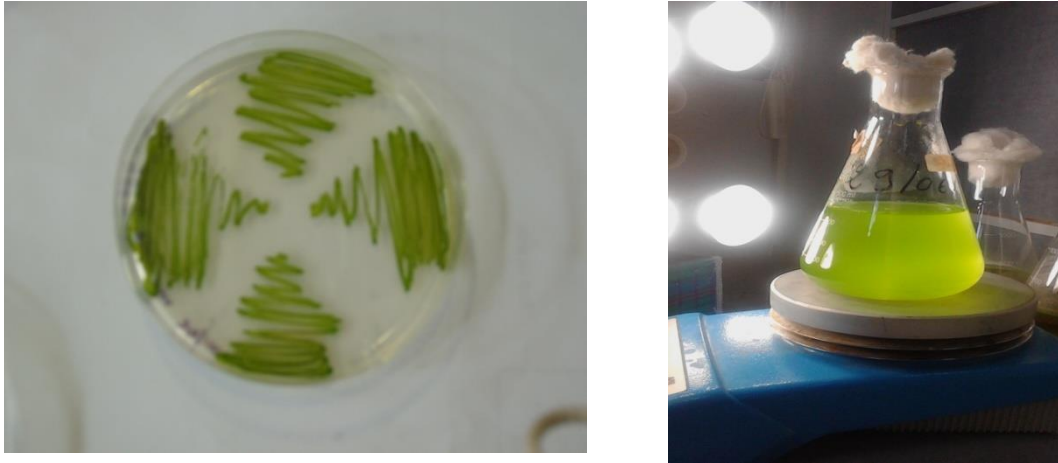


Figure.5. Culture de *Chlorella* sp sur boîte de Pétri (A) et en milieu liquide dans les Erlens (B).

La souche ainsi purifiée peut être cultivée, dans les conditions du laboratoire, en milieu de culture Bold Basal dont la composition est donnée dans le tableau 1. La souche isolée est conservée à 4°C dans des boîtes de Pétri pour une durée de 3 à 5 semaines.

Tableau 2. Composition du milieu de culture Bold Basal (Nicholes, 1973).

		solution stocks	g pour 1 litre
Macronutri	Solution mères	NaNO ₃	2,5
		CaCl ₂	2,5
		MgCl ₂	7,5
		K ₂ HPO ₄	7,5
		KH ₂ PO ₄	17,5
		NaCl ₂	2,5
Macronutri	Solution EDTA alcalinisée	EDTA	50
	Micronutri	KOH	31
Solution acidifiée de fer		FeSO ₄ ,7H ₂ O	4 ,98
		H ₂ SO ₄	1ml
Solution de bore		H ₃ BO ₃	11 ,42
Solution d'éléments minéraux en trace		ZnSO ₄ ,7H ₂ O	8,82
		MnCl ₂ , 4 H ₂ O	1,44
		(NH ₄)M0O ₇ O ₂₄ ,4 H ₂ O	0,71
	CuSo ₄ , 4 H ₂ O	1,57	
		CaCL ₂	0 ,49

II.4.3. Dispositif expérimental et suivi de la bio-réductions des rejets

Pour les deux échantillons d'eaux prélevées, nous avons utilisé des Erlenmeyers de 2 litres : Erlen A contenant 150 ml de culture algale complétée à 600 ml par les eaux usées du prélèvement, l'Erlen B contient 600 ml d'eaux usées brutes ; c'est le témoin blanc. L'Erlen T1 contient 600 ml d'eaux usées qu'on couvre pour empêcher la photosynthèse et favoriser seulement l'activité bactérienne ; c'est le témoin biologique. Pour le témoin chimique, l'Erlen T₂, il contient l'eau usée, autoclavée à 120°C pendant 20 minutes, pour éliminer l'action des bactéries. Les 4 Erlen ont été incubés à température ambiante (Fig.6).

Cependant, les Erlen A, B et T1 ont été maintenus sous agitation avec barreaux sur des plaques magnétiques. A l'exception de l'Erlen T₂, les 3 autres ont été exposés à une source de lumière continue à l'aide de 06 lampes de 32 W chacune.



Figure 6. Dispositif expérimental (série de quatre Erlen dans 4 situations : (A) Eaux usées contenant *Chlorella* sp, (B) Témoin, (T1) Eaux usées maintenues à l'obscurité, (T2) Eaux usées exposées à la lumière.

Pour évaluer la bio-réduction des eaux de rejets étudiés en présence ou en absence des microalgues, un suivi régulier de la température, du Ph, et de l'oxygène dissout, a été effectué. Pour la DBO₅ et la DCO, les phosphates et l'ammonium ainsi que l'analyse bactériologique, seules les valeurs initiales (T0) et finales (14^{ème} jour) ont été prises en compte.

III.1. Caractéristiques des eaux de rejets de la baie de Bou Ismail

Le tableau 3 donne les principales caractéristiques des eaux de rejets de la baie de Bou Ismail, utilisées comme milieu de culture de base pour la souche étudiée *Chlorella sp.* Il est à noter que ces eaux sont très chargées en colorants. Ces derniers ne pouvaient être analysés ni identifiés faute d'information au près des industries les ayant rejeté.

Tableau 3. Principales caractéristiques des eaux de rejet prélevées le 18/03/2015 et le 20/04/2015 comparées aux Normes Algériennes.

Paramètres	Prélèvement	Prélèvements	Normes de rejets*
	1 (18/03/2015)	2 (20/04/2015)	
T°C	19,7	24.1	30
pH	8.34	7.87	6,5-8,5
Conductivité (μ s/cm)	1431	1557	Non définie
Oxygène dissout (ppm)	0.33	0.65	Non définie
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	338	429	35
DCO (mg O ₂ /l)	1243	929	120
NH ₄ ⁺ (mg/l)	2,23	0,0776	30 (Azote Kjeldahl)
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	2,42	0,031	10 (Phosphore total)
Coliformes (germe/100ml)	totaux 240	43	Non définie
Streptocoques (germe/100ml)	fécaux 1100	460	Non définie

*D'après le décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

Comme indiqué dans le chapitre précédent (chapitre II), les eaux de rejets étudiées sont un mélange des eaux de rejets urbains de la ville de Bou Ismail, auxquelles s'ajoutent les rejets industriels de la région, essentiellement ceux de TONIC- industrie (industrie du papier). Comparée aux normes, il apparaît clairement que la température des eaux ne dépasse pas 25°C (inférieur à la norme) ce qui ne constitue pas une pollution thermique pour le milieu récepteur.

Quant au pH, il a été remarqué que le 2^{ème} prélèvement était relativement neutre pour des rejets industriels, ce qui fait croire que certains industriels neutralisent leurs eaux usées avant rejet. Toutefois, ces rejets restent très chargés en matières organiques : une DCO

moyenne de 1086 mg O₂/l et une DBO₅ moyenne de 383,5 mg O₂/l, très largement au dessus de la norme requise et qui est respectivement de 120 et 35 mg O₂/l.

Les concentrations moyennes de l'azote ammoniacal (1,15 mg/l) et des ions phosphates (1,2 mg/l) sont largement en dessous des normes 30 mg/l pour l'azote Kjeldahl et 10 mg/l pour le phosphate total.

En ce qui concerne les paramètres bactériologiques, la réglementation en vigueur ne les détermine pas pour les rejets industriels, mais comme ce sont des rejets mixtes, une analyse bactériologique obligatoire a été réalisée par dosage des coliformes totaux et des streptocoques fécaux. Le prélèvement 1 s'est révélé plus chargé en population microbienne que le prélèvement 2. Ceci pourrait être dû à un déversement plus important des eaux usées domestiques à cette période d'échantillonnage.

III.2.Évaluation de l'effet de *Chlorella* sp sur l'épuration des eaux de rejets de la baie de Bou Ismail

Pour évaluer et de façon irrécusable l'influence des microalgues sur les eaux de rejet, il est indispensable d'écarter l'effet des autres microorganismes. Pour cela, il a été utile d'apprécier l'indice de biodégradabilité des eaux de rejet étudiées. Le calcul du rapport DCO/DBO₅ ou "*indice de biodégradabilité*", révèle que les eaux de rejet des deux prélèvements ont un caractère moyennement biodégradable, puisque l'indice du **Prélèvement 1** est de 3,6 et celui du **Prélèvement 2** est de 2,16. Ce qui indique que l'action des microorganismes présents, naturellement dans ces eaux, va être très faible et on ne peut en aucun cas la considérer compétitive avec l'action des micro-algues introduites pour l'épuration de ces eaux.

L'évaluation de l'effet des microalgues sur l'épuration des eaux de rejet, a porté notamment sur les aspects physiques et chimiques du milieu de culture (eaux de rejet) et les observations des cultures de microalgues.

III.2.1.Aspects physiques et chimiques du milieu de culture

a) La température

La température moyenne des deux eaux de rejet prélevées avoisine 21,9°C. Ce qui est largement inférieure à la norme fixée à 30°C. Durant les 14 jours d'incubation, la température ne varie pas tellement. En effet, dans les conditions du laboratoire, les températures des cultures étaient égales à la température ambiante c'est-à-dire comprise entre 25°C et 27 °C (Fig.9).

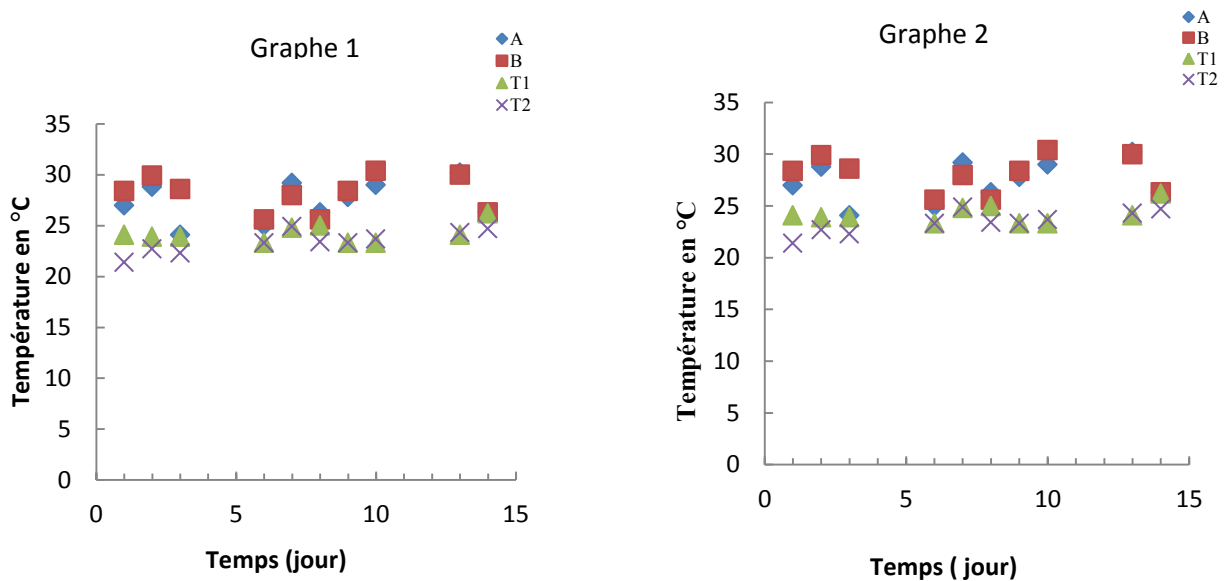


Figure 9. La variation de la température du prélèvement 1 (Graphe 1) et du prélèvement 2 (Graphe 2) en fonction du temps d'incubation. (A) Eaux usées contenant *Chlorella* sp, (B) Témoin, (T1) Eaux usées maintenues à l'obscurité, (T2) Eaux usées exposées à la lumière.

b) pH

La mesure du pH donne une indication sur l'alcalinité ou l'acidité des milieux. Ce facteur est considéré comme principal indicateur des activités biochimiques des microalgues, dont principalement la photosynthèse et la biodégradation de la matière organique. Il renseigne sur la disponibilité ou non du carbone assimilable par les microalgues. Il est admis que la forme assimilable de carbone pour les microalgues est soit le carbone issu du CO₂ atmosphérique (0.033%) ou le Carbone issu de la matière organique (après dégradation) sous forme d'ion HCO₃⁻.

Dans nos expérimentations, il a été noté que le pH augmentait de 7,8 jusqu'à 9 pendant les premiers jours de traitement ceci est dû essentiellement à la consommation du CO₂ existant, puis décline à 7 à partir du 12^{ème} jour (Fig.10). Cette régression est probablement due à la diminution du taux du carbone dissous dans le milieu, puisqu'il a été complètement absorbé par les microalgues et qu'aucune source supplémentaire n'était disponible (culture en batch).

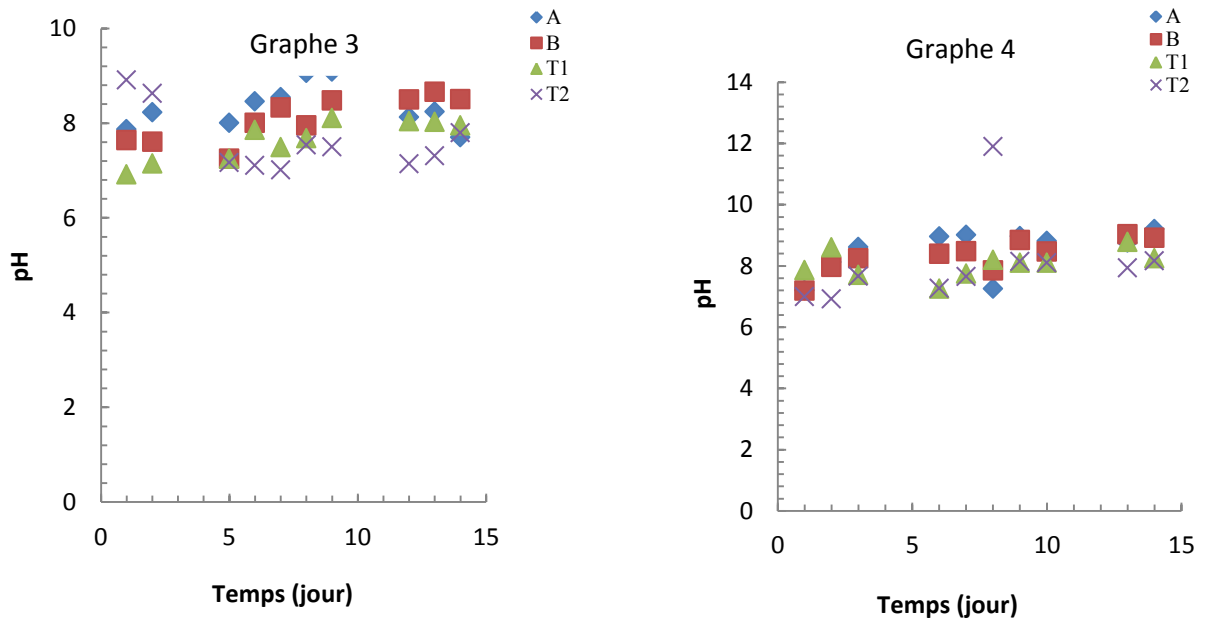


Figure. 10. La variation du pH du prélèvement 1 (Graphe 3) et du prélèvement 2 (Graphe 4) en fonction du temps d'incubation. (A) Eaux usées contenant *Chlorella* sp, (B) Témoin, (T1) Eaux usées maintenues à l'obscurité, (T2) Eaux usées exposées à la lumière.

c) Oxygène dissout

Les valeurs mesurées de l'oxygène dissout des les eaux usées brutes utilisées (prélèvement 1 et 2) sont très faibles 0.33 ppm à 0.65 ppm (Tableau 3). En présence de *Chlorella* sp, les concentrations de l'oxygène dissout augmentent pour atteindre des valeurs comprises entre 2,1 ppm et 5.12 ppm (Fig. 11) pour les deux prélèvements. Cette augmentation est le résultat de la prolifération des microalgues grâce à la l'activité photosynthétique de la souche microalgale. Il est donc clair que la composition des eaux utilisées contient les éléments de base pour le métabolisme des microalgues.

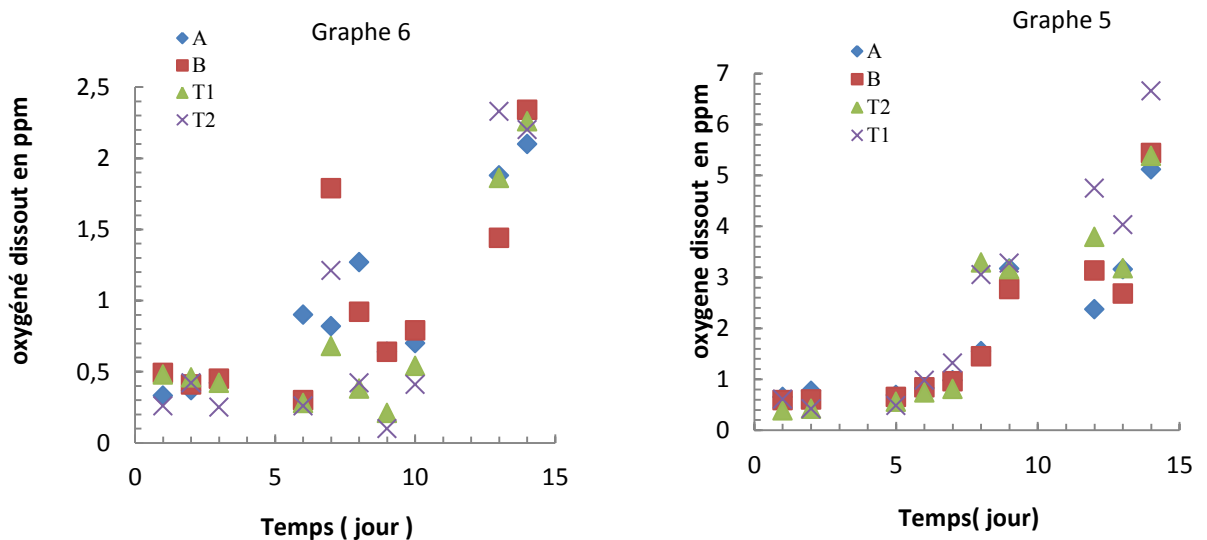


Figure. 11. La variation de l'oxygène dissout du prélèvement 1 (Graphe6) et du prélèvement 2 (Graphe 5) en fonction du temps d'incubation. (A) Eaux usées contenant *Chlorella* sp, (B) Témoin, (T1) Eaux usées maintenues à l'obscurité, (T2) Eaux usées exposées à la lumière.

d) Abatement de la DBO₅, DCO, bactériologique et les éléments nutritifs

Sur la figure 12 sont donnés les taux d'abattement (pourcentage d'élimination) de la DBO₅ et la DCO, des éléments nutritifs NH₄⁺, PO₄³⁻ et les bactéries pour les deux prélèvements.

Les résultats obtenus permettent de déduire qu'en présence de *chlorella* sp dans les eaux de rejet permettent de réduire efficacement la DBO₅ et la DCO, les deux principaux indicateurs de pollution. En effet, le taux d'abattement de la DBO₅ varie entre 49% et 59% pour les deux prélèvements. Ces valeurs restent dans la moyenne, comparée à celle obtenue par El Hachemi (2012). Le taux d'abattement attendu devait varier entre 88% et 94 % si les microalgues avaient été en consortium avec les bactéries ou du moins atteindre les 75% (Cabanelas, 2013). Ce qui n'est pas le cas de notre étude puisque les charges organiques n'étaient pas suffisamment disponibles.

Quant au taux d'abattement des ions phosphates, il avoisine les 99%, un taux proche des rendements rapportés dans les travaux de Larsdotter (2006). Ces observations sont surtout valables pour le prélèvement 1 pour lequel les charges de départ sont significatives contrairement au prélèvement 2 où les valeurs de départ étaient déjà insignifiantes (0,0776 mg/l pour NH₄⁺ et 0,031 mg/l pour PO₄³⁻). Pareillement, l'élimination des ions ammoniums NH₄⁺ est moins satisfaisante (5%) compte tenu de la faible concentration initiale.

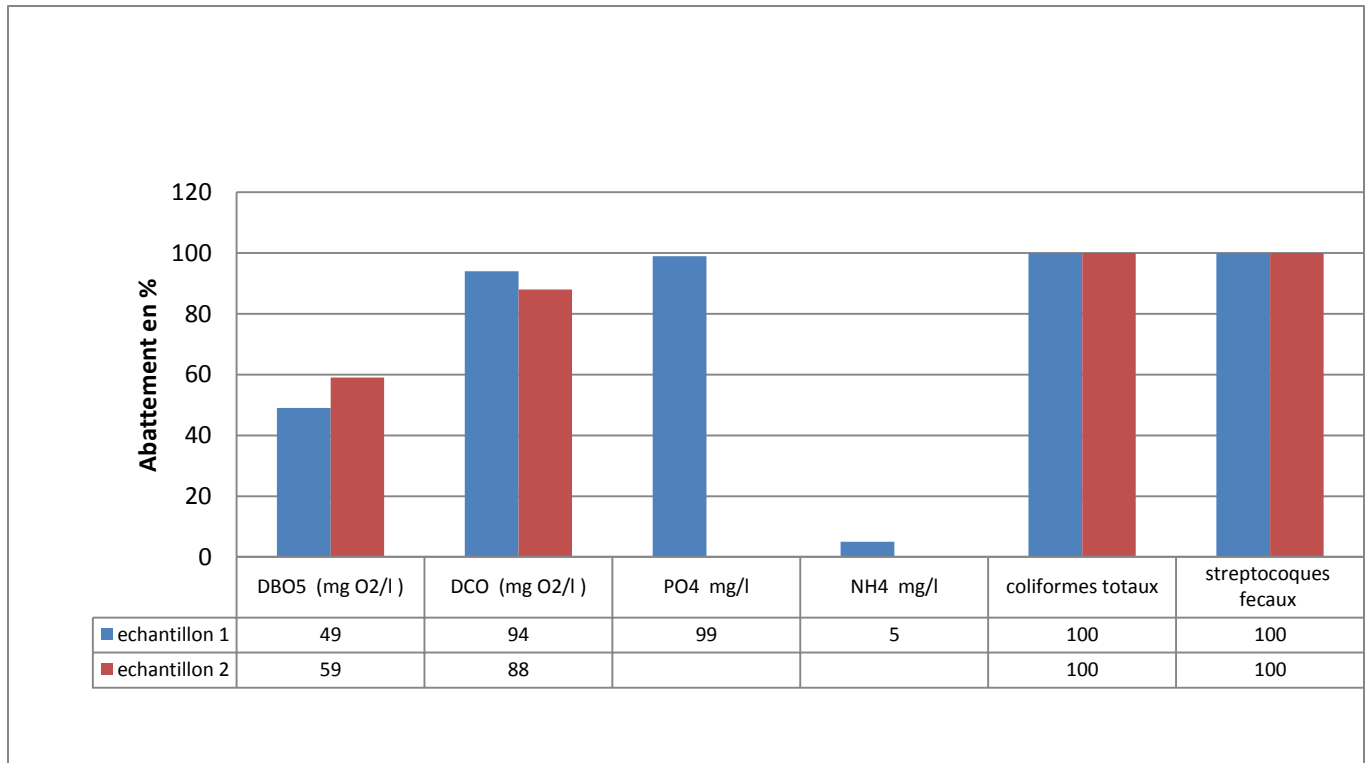


Figure. 12. Résultats relatifs à d'élimination des ions phosphates (PO_4^{3-}), des ions Ammoniums (NH_4^+), des coliformes totaux, des streptocoques, DBO_5 et DCO.

Par ailleurs, le taux d'élimination des coliformes totaux et des streptocoques fécaux est de 100% pour les deux prélèvements. L'obtention d'un tel taux pourrait être du soit aux faibles charges organiques initiales (milieu incomplet) soit à la profondeur de l'eau à traiter (volume testé). En effet, d'après Moersidik (1992), l'élimination des bactéries est inversement proportionnelle à la profondeur et l'efficacité épuratoire est relativement importante dans des bassins de faible profondeur.

D'autres facteurs agissent sur la qualité des eaux traitées tel que le temps de séjour (Said Nacir 2010), un facteur pris en compte dans d'autres essais (résultats non indiqués).

III.2.2. Observations des cultures de microalgues

Les figures ci-après (Fig. 13, 14 et 15) montrent la dégradation des colorants après 14 jours de traitement des eaux usées brutes par les micro-algues. Une décoloration significative est observée sur les trois tests (A, B et T1) contrairement à la culture témoin (T2) n'ayant subi aucun traitement. Des observations similaires ont été rapportées dans les travaux de Nagasathya et Thajuddin (2008) qui décrivent la décoloration des effluents des fabriques de papier en utilisant des micro-algues (Cyanobactéries). Un changement significatif dans la réduction de la couleur (60-90%) a été enregistré après 20 jours

d'incubation. Les résultats obtenus suggèrent que les colorants ont été soit, neutralisés par l'action de la lumière (photocatalyse), soit dégradés par les microalgues ou les deux combiné.

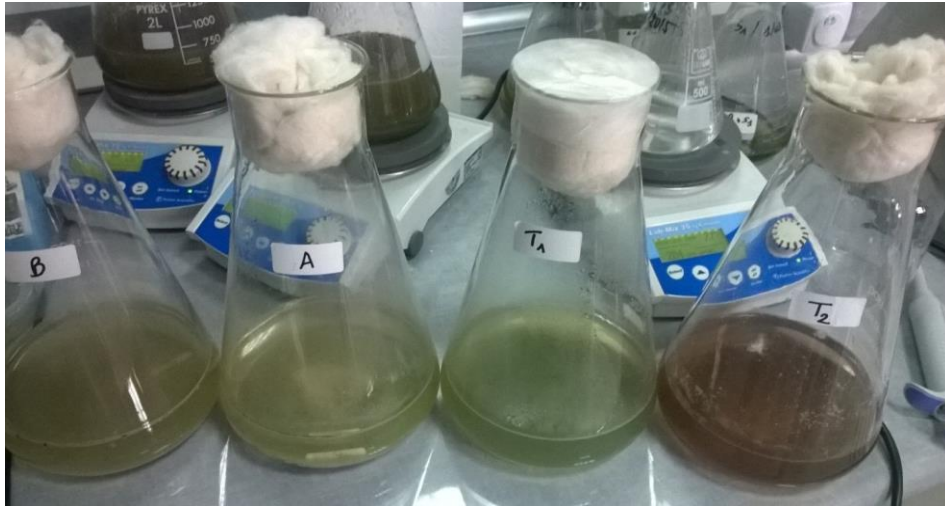


Figure. 13 Vue des quatre cultures d'eaux de rejet après 14 jours. (A) eaux de rejet avec *Chlorella* sp, (A) Eaux usées contenant *Chlorella* sp, (B) Témoin, (T1) Eaux usées maintenues à l'obscurité, (T2) Eaux usées exposées à la lumière.



Figure. 14 Aspect des eaux de rejet avant traitement aux microalgue

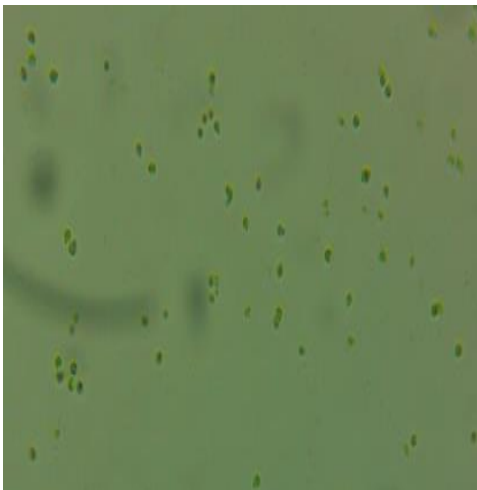


Figure. 15 Aspect des eaux de rejet après traitement aux microalgue

L'observation de l'aspect des microalgues au microscopie optique (Figure 16) montre qu'il y a un changement morphologique radical de la souche (*Chlorella* sp) après incubation dans les eaux de rejets domestiques et industriels. Ces modifications sont en fait dues à la présence d'éléments indésirables dans le milieu de culture (Bashan et al., 2002). En effet, les cellules vertes de *Chlorella* sp, initialement bien individualisées, isolées à contour régulier, s'agglutinent et se rassemblent pour former des amas irrégulier d'aspect gélatineux. Ce phénomène suggère la formation d'un mycélium ou bio film probablement due à l'adsorption des rejets chimiques sur les parois des microalgues. Cette observation a été notée dans une récente étude (Le Chevanton, 2013) qui rapporte que certaines bactéries pourraient non seulement favoriser la croissance des micro-algues mais également provoquer la sécrétion de matière organique de nature polysaccharidique et par conséquent favoriser la formation de bio film par certaines micro-algues.

Il a été observé également l'apparition de zone translucide bien délimitée autour de quelques cellules vertes. Cette zone rappelle la zone d'inhibition correspondant à la production d'une molécule qui jouerait le rôle de protection pour les microalgues ou *bio surfactant* produit dans la culture avec les rejets.

a. Avant traitement



b. après traitement

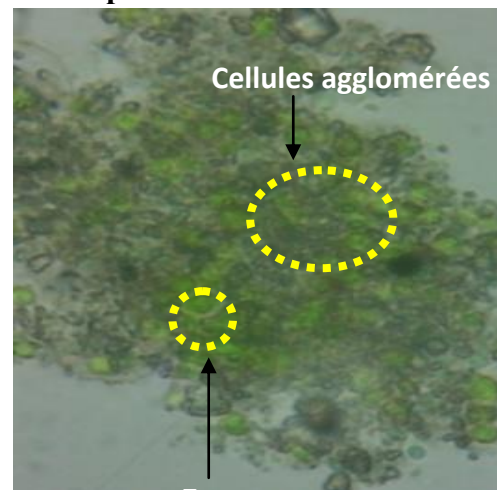


Figure. 16 Aspect des cultures observées au microscope photonique (grossissement x40)

Les observations microscopiques réalisées, concluent à l'apparition du phénomène décrit ci-dessus, suivant 4 étapes successives à savoir ;

1. Agrégation des microorganismes et formation d'un grillage,
2. Formation d'une surface active entre les microorganismes et le milieu (environnement),
3. Formation d'un bio film mixte entre les microorganismes et les cellules de *Chlorella* sp,
4. Adsorption ou piégeage et solubilisation des nutriments (rejets : source de carbone, azote, phosphore,...).

Il ressort des résultats obtenus que *Chlorella* sp possède la capacité de s'adapter à tous les milieux dans les quelles elle est introduite. En effet, quelque soit la concentration et la qualité des éléments dissouts (charges organiques et inorganiques), elle est en mesure d'orienter son métabolisme vers l'activité qui lui permettra de tirer tous les bénéfices par absorption, adsorption, transformation,.....

Conclusion Générale

Il ressort de l'étude réalisée dans le cadre du projet de recherche intitulée : Application des énergies renouvelables et des procédés naturels pour le Traitement des eaux usées domestiques/ Plate forme Maison Solaire multifonctionnelle, qu'un traitement utilisant les micro-algues se révèle efficace sur le plan environnemental puisqu'il a recours au procédé biologique basé sur la photosynthèse.

L'utilisation des microalgues pour le traitement des eaux usées offre des avantages intéressants par rapport au traitement conventionnel ; à savoir :

- Un traitement peu coûteux par rapport aux traitements conventionnels.
- Une faible consommation d'énergie, puisque l'épuration réalisée à l'échelle du laboratoire, peut être appliquée à l'échelle industrielle avec pour seule énergie ; l'énergie solaire.
- Une réduction de la formation des boues et la production de biomasse algale, qui sera soit réutilisée dans de nouveaux traitements ou valorisée pour la production de biogaz, de biodiesel ou fertilisants biologiques.

L'objectif de l'étude était d'évaluer le pouvoir épurateur de la souche autochtone *Chlorella* sp et d'utiliser les eaux de rejets de la ville de Bou Ismail comme substrat de culture pour la croissance de la souche et ce dans une optique de réduire la charge polluante de ces eaux usées avant leurs rejets à la mer. L'étude a révélé que cette souche est très active sur les eaux domestiques et urbaines car elles sont chargées en streptocoques fécaux et coliformes totaux. Les résultats ont montré une dégradation totale de ces derniers.

Un changement significatif dans la réduction de la couleur a été enregistré après 14 jours d'incubation, de même qu'il y avait une réduction drastique de la DBO₅ et DCO de l'effluent traité.

Il ressort également de cette étude, que cette microalgue possède un pouvoir de réduction des sels nutritifs très intéressant et que si les eaux usées en étaient plus chargées les résultats auraient été plus significatifs, donc une combinaison plus équilibrée entre eaux industriels et eaux domestiques serait plus favorable.

Dans tous les cas, les résultats présentés dans cette étude permettent d'orienter les travaux vers des voies à suivre et sur les futurs essais pour développer par exemple des techniques de séparation en utilisant le phénomène de sorption des microalgues, et de se procurer des souches pré-acclimatées aux types de polluants rencontrés et de combiner leurs pouvoirs de réduction afin d'augmenter les rendements.

Références bibliographiques

Ammour. F, A.Beggache*, S. Houli*, Y. Touil (2011) « élimination du zinc et du cadmium par des algues vertes » 1er Séminaire International sur la Ressource en eau au Sahara, (Ouargla)

Asano. T, (1998), waste water reclamation and reuse , water quality management library vol 10 lancaster ,technomic publishing Inc

Becerra celis Giuliana Patricia, (2009) « proposition de stratégies de commande pour la culture de microalgues dans un photobioacteur continu. » .Thèse de doctorat. École centrale des arts et manufactures « école centrale paris ».

Boeglin Jean-Claude. Pollution industrielle de l'eau. Techniques de l'Ingénieur, traité - Génie des procédés. Volume G1210.

Boileau Marie-Eve, (2015) « Evaluation du potentiel d'utilisation d'une eau usée industrielle comme substrat de culture pour des microalgues d'eau douce dans une optique de production de biocombustibles de 3^e génération». Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître en environnement (M. env).

Chader Samira, 2009 Etude du mécanisme de la production biologique de l'hydrogène à partir des microalgues. Thèse Doctorat en Sciences Biologiques. Faculté des Sciences Biologiques. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene).

Département de géographie et télédétection. Faculté des lettres et sciences humaines Université de Sherbrooke

Degremont, Mémento technique de l'eau : 8^{ème} édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier. Édition (1972).

Dekhil .S (2012). .Traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville de Bordj Bou Arreridj en Algérie effectué par la station d'épuration des eaux usées .ONA. Université Mohamed El Bachir ELIBRAHIMI- Master de chimie et microbiologie de l'eau

Deronzier .Gaelle et al. (2001) Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités

Desjardins R, (1997) Le traitement des eaux. 2^{ème} édition. Ed. Ecole polytechnique.

Dominguez.Cabanelas Iago Teles, (2013) Comparing the use of different domestic wastewaters for coupling microalgal production and nutrient removal. Bioresource Technology 131 429-436

El Hachemi Ouafae (2010.), Traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique (oasis de Figuig) : performances épuratoires et aspect phytoplanctonique. Thèse de doctorat Université Mohammed Premier Faculté des Sciences Oujda.

El Hachemi et al, (2012), Etude des performances épuratrices dans une station de traitement des eaux usées par lagunage en climat désertique (oasis de figuig -maroc): aspect bactérien et organique. Rev. Microbiol. Ind. San et Environn. Vol 6, N°1, p : 84-97.

Faby j.A. Brissaud .F,(1997) L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau.

Filali. Rayen (2012) « Estimation et commande robustes de culture de microalgues pour la valorisation biologique de CO₂ ». Thèse de doctorat. Ecole Doctorale « Sciences et Technologies de l'Information des Télécommunications et des Systèmes ». Paris .

Gabriel Acién Fernández. 2014 *Closed versus open photobioreactors*, Seminar and Workshop on Microralgal Biotechnology in the Euromediterranean Region (EMBS 2014). Almería, Spain.

Galaf F et S Ghannam, (2003). Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin. Mémoire d'ingénieur d'état. Université Hassan II. Rabat. Royaume du MAROC.

Gudin. C, mai (2013) Une histoire naturelle des microalgues, Odile Jacob.

KECK G. et Vernus E, (2000) « Déchets et risques pour la santé », Techniques de l'Ingénieur, Paris, 2450p.

Larsdotter Karin (2006): *Microalgae for phosphorus removal from wastewater in a Nordic climate*. A doctoral thesis from the School of Biotechnology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. ISBN: 91-7178-288-5

Mekhalif Faiza (2009) « réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement ». Mémoire de Magister. Université de SKIKDA.

Marad D. (1986) *Sewage treatment in hot climates*, Ed. John Wiley and Sons. 168p.

Martin, (1987) « Le problème de l'azote dans les eaux. » Ed technique et documentation, Paris, 279p.

Mayet. J (1994), « La pratique de l'eau, Traitements aux points d'utilisation, le Moniteur » 2^{ème} Edition, p382, Paris,

Nagasathya. A et Thajuddin .N, (2008). Décoloration des effluents des fabriques de papier Utilisation hyper concentrée cyanobactérie. *Journal de la recherche des sciences environnementales*, 2: 408-414

Nichane et Khelil, décembre (2014) Changements climatiques et ressources en eau en Algérie : vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation 1-7 Revue des BioRessources Vol 4 N° 2.

O.N.A : office national d'assainissement, ministère des ressources en eau.

Ouali Mohand – Said .cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux .O.P.U.

Rodier Jean et all. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 9^{ème} édition. DUNOD. PARIS. (2009)

Palmer. C. Mervin, (1969) « A composite rating of algae tolerating organic pollution ». Journal de Phycologie, Volume 5, numéro 1, pages 78-82, mars

Pernin Céline,(2003) Épandage de boues d'épuration en milieu sylvo-pastoral. Étude des effets in situ et en mésocosmes sur la mésofaune du sol et la décomposition d'une litière de chêne liège (*Quercus suber* L.) Ecole doctorale: Sciences de l'environnement, MARSEILLE (AIX-MARSEILLE III).

Perraud. Bliefert(2001) : Chimie de l'environnement. Air, eau, sols, déchets

Savadogo Mahamadi, (1996) « mémoire de licence sur la station d'épuration des eaux usées Ibn Ziad ». Département de la microbiologie .Université de CONSTANTINE.

Sumi, Y. (2009). Microalgae Pioneering the Future -Application and Utilization, Life Science -Research Unit, quarterly review No.34

Sites

<http://les-biocarburants-vs-le-petrole.e-monsite.com/pages/iii-3eme-generation/les-micro-algues.html#dJ0HrB4ATLPr0Lzh.99>

<http://www.geneve-villesetchamps.ch/wp-content/uploads/2014/09/Les-micro-algues.pdf>

http://www4.ac-nancy-metz.fr/ia54-circos/ienstmax/sites/ienstmax/IMG/pdf_pdf_Les_eaux_usees_et_leur_epuration.pdf

http://www.lemonde.fr/ressources-naturelles/article/2015/03/20/la-crise-de-l-eau-illustree-en-5-graphiques_4597592_1652731.html#Q4OYohvEVBcoi8eY.99

ANNEXES

▪ Dosage de l'azote ammoniacal (N-NH₄)

Méthode appliquée : Méthode de Koreleff, 1969.

Principe général :

La méthode décrite mesure la totalité de l'azote ammoniacal soit N-NH₃ + N-NH₄.

Mode opératoire :

- préparer le mélange réactif (R1 et R2).
 - Prendre 100 +_ 5 ml d'échantillon directement dans le flacon.
 - Ajouter 3 ml du réactif R1, boucher et agiter pour bien homogénéiser.
 - Ajouter sans attendre 3 ml du réactif R2.
 - boucher agiter à nouveau.
 - placer immédiatement à l'abri de la lumière pendant 6 à 8 h (ou mieux pendant une nuit).
 - mesure l'absorbance à 630 nm en cuves de 10 cm de trajet optique .
- La coloration reste stable pendant plusieurs jours à l'abri de la lumière.

Réactifs nécessaires pour le dosage de L'azote ammoniacal

Solution	Réactifs nécessaire	Préparation	Remarques
Réactif 1 :(1litre) Solution de phénol- nitroprussiate	Eau distillée 35 g de phénol 400mg de nitroprussiate de sodium	Dissoudre les deux produits dans 100ml d'eau distillée et le conserver au réfrigérateur à l'abri de la lumière , et laisser stabiliser pendant quelques semaines.	Il doit être renouveler s'il prend une teinte verdâtre

Réactif 2 :(1 litre) Solution d'alcaline d'hypochlorite		Dissoudre les produits 1 et 2 dans 800 ml d'eau distillée ; ajouter un volume de solution d'hypochlorite de sodium correspondant à 1 ,4g de Cl ou C ₃ .C ₁₂ DICHLORISOCIANUREEEDÉ potassium.	Ce réactif se conserve au froid pendant 1 à 2 mois.
--	--	--	---

▪ Dosage des ions phosphates

Principe

L'acide phosphorique forme avec le molybdate d'ammonium le complexe phospho-molybdique jaune et réduit avec l'acide 1amino 2-naphtal 4 sulfurique en solution acide qui donne une couleur bleu par formation du bleu molybdène.

Réactifs

- Solution d'acide sulfurique ($d = 1,84$) à 15 % environ en volume.
- Solution de molybdate d'ammonium à 40 g/L.
molybdate d'ammonium tétrahydraté 20 g
eau déionisée *q.s.p.* 500 mL
- Solution d'acide ascorbique à 20 g/L :
acide ascorbique 2 g
eau déionisée *q.s.p.* 100 mL

Mode opératoire

A 100 ml échantillon, on ajoute 1 ml d'acide chlorhydrique 15%, 0,5ml d'acide oxalique et 2 ml de molybdate d'ammonium puis 2 ml d'ANS (l'acide 1amino 2-naphtal 4 sulfurique). On agite et on laisse reposer pendant 5 min en suite on lit l'absorbance au spectrophotomètre à 650 nm.

▪ Méthodes d'analyse microbiologique

1. Préparation de l'échantillon et des dilutions :

- Homogénéiser l'échantillon soit par aspiration et refoulements successifs à la pipette, ou par agitation vigoureuse du flacon bouché
- Préparation les d'illutions à partir de l'échantillon homogénéisé au 1/10^{ème}, en utilisant des tubes contenant 9 ml du l'eau physiologique.

2. Recherche et dénombrement des coliformes en milieu liquide de BCPL

La technique en milieu liquide fait appel à deux tests consécutifs :

- Test de présomption, réservé à la recherche des coliformes totaux.
- Test de confirmation ou test de Mac Kenzie, ce test est basé sur la recherche des coliformes fécaux ou thermo tolérants parmi lesquels, on redoute surtout la présence d'*Escherichia coli* à partir des tubes positifs du test de présomption ;

Test de présomption

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement : 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml du milieu BCPL (D/C) muni de cloche de Durham. 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml du milieu BCPL (S/C) muni de cloche de Durham. A partir de la dilution dans l'eau physiologie, 1 ml dans 5 tubes de BCPL(S/C).

Chasser le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu.

Incubation : L'incubation se fait à l'étuve à 37°C pendant 48h

Lecture : Sont considérés comme positifs les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement gazeux 1/10^{ème} du volume de la cloche au moins
- Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu.
- **Test de confirmation ou test de Mac Kenzie**
-

Les tubes de BCPL trouvés positifs (les tubes où se produira simultanément un trouble dans toute la masse du liquide et un dégagement du gaz dans la cloche de Durham) lors du dénombrement des Coliformes totaux feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'une öse bouclée dans tube contenant le milieu Schubert muni d'une cloche de Durham.

L'incubation se fait cette fois-ci au bain marie à 44°C pendant 24 heures.

Sont considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :

- un dégagement gazeux,
- un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *Escherichia Coli* après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kowacs.

Remarque : Etant donné que les Coliformes fécaux font partie des Coliformes totaux, il est pratiquement impossible de trouver plus de Coliformes fécaux que de Coliformes totaux.

La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP qui figure en annexe II.

3. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

Tout comme la méthode de recherche des coliformes en milieu liquide, celle de la recherche et dénombrement des streptocoques fécaux fait appel à deux tests consécutifs à savoir, un test

de présomption où l'ensemencement se fait dans un milieu contenant une certaine quantité d'azide de sodium et un test de confirmation où les tubes positifs seront repiqués sur un milieu nettement plus inhibiteur (plus forte concentration en azide de sodium et d'éthyle violet) ne laisse se développer que les streptocoques fécaux.

▪ **Test de présomption**

- 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml du milieu Rothe (D/C)
- 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml du milieu Rothe (S/C).

A partir de la dilution dans l'eau physiologie porter aseptiquement 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml du milieu BCPL (S/C), bien mélanger le milieu et l'inoculum.

Incubation : L'incubation se fait à l'étuve à 37°C pendant 48h.

Lecture : Sont considérés comme positifs les tubes présentant à la fois :

- Un trouble microbien.
- Une pastille violette au fond de tube.

Ces tubes ne doivent en aucun cas faire l'objet de dénombrement. Ils doivent par contre faire l'objet d'un repiquage sur milieu EVA LITSKY pour confirmer la présence des streptocoques fécaux.

▪ **Test de confirmation** : Chaque tube de Rothe trouvé positif lors du test de présomption fera l'objet d'un repiquage de 6 gouttes à l'aide d'une pipette pas dans un tube contenant le milieu EVA LITSKY, bien mélangé le milieu et l'inoculum.

Incubation : elle se fait à 37°C pour les tubes, pendant 24h.

Lecture : sont considérés comme positifs les tubes présentant à la fois :

- Un trouble microbien.
- Une pastille blanchâtre ou violette au fond des tubes.

Les résultats sont exprimés par le nombre de germes dans 100 ml d'eau.

Colimétrie en milieu liquide : Test de présomption

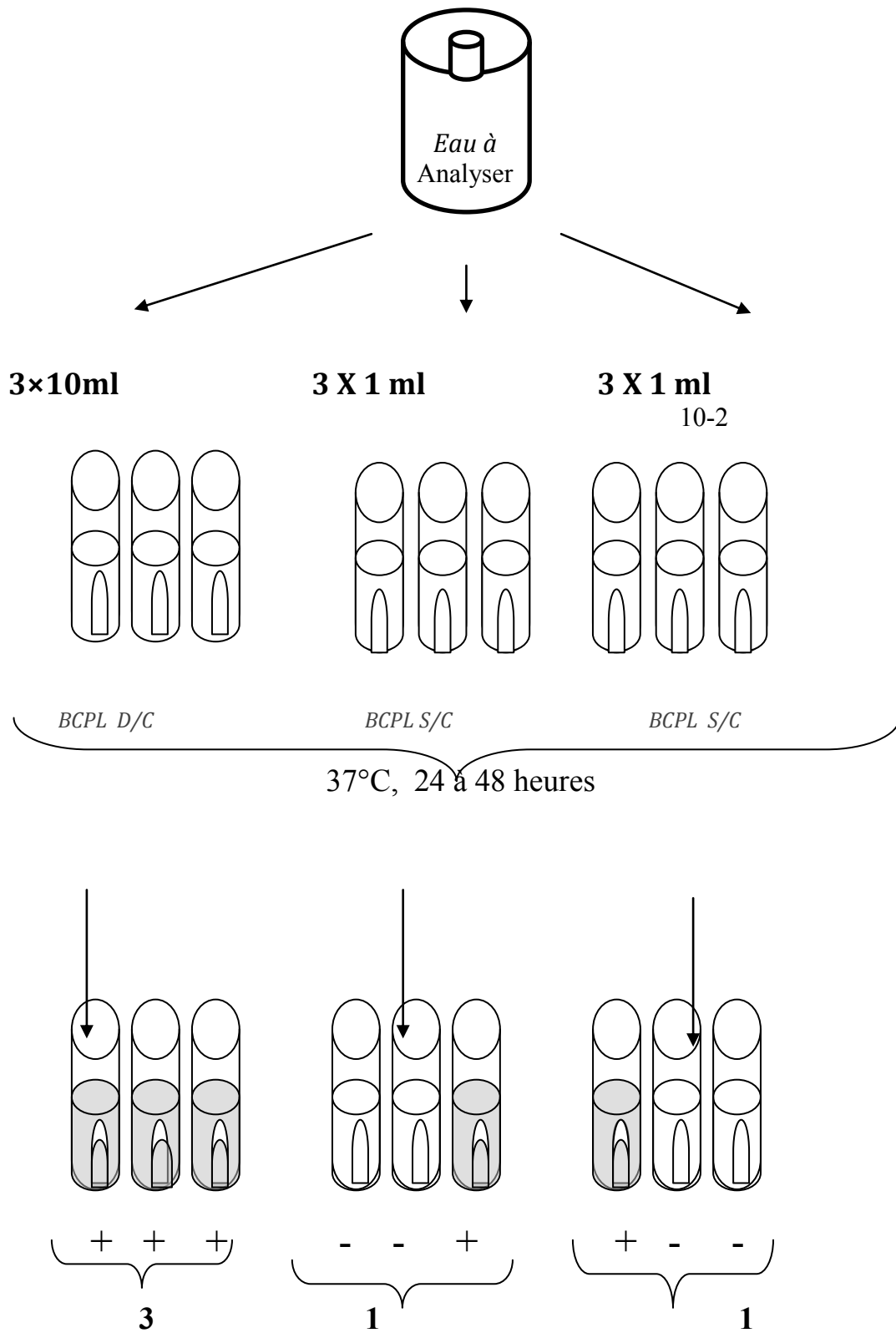


Schéma n°1

Colimétrie en milieu liquide : Test de confirmation

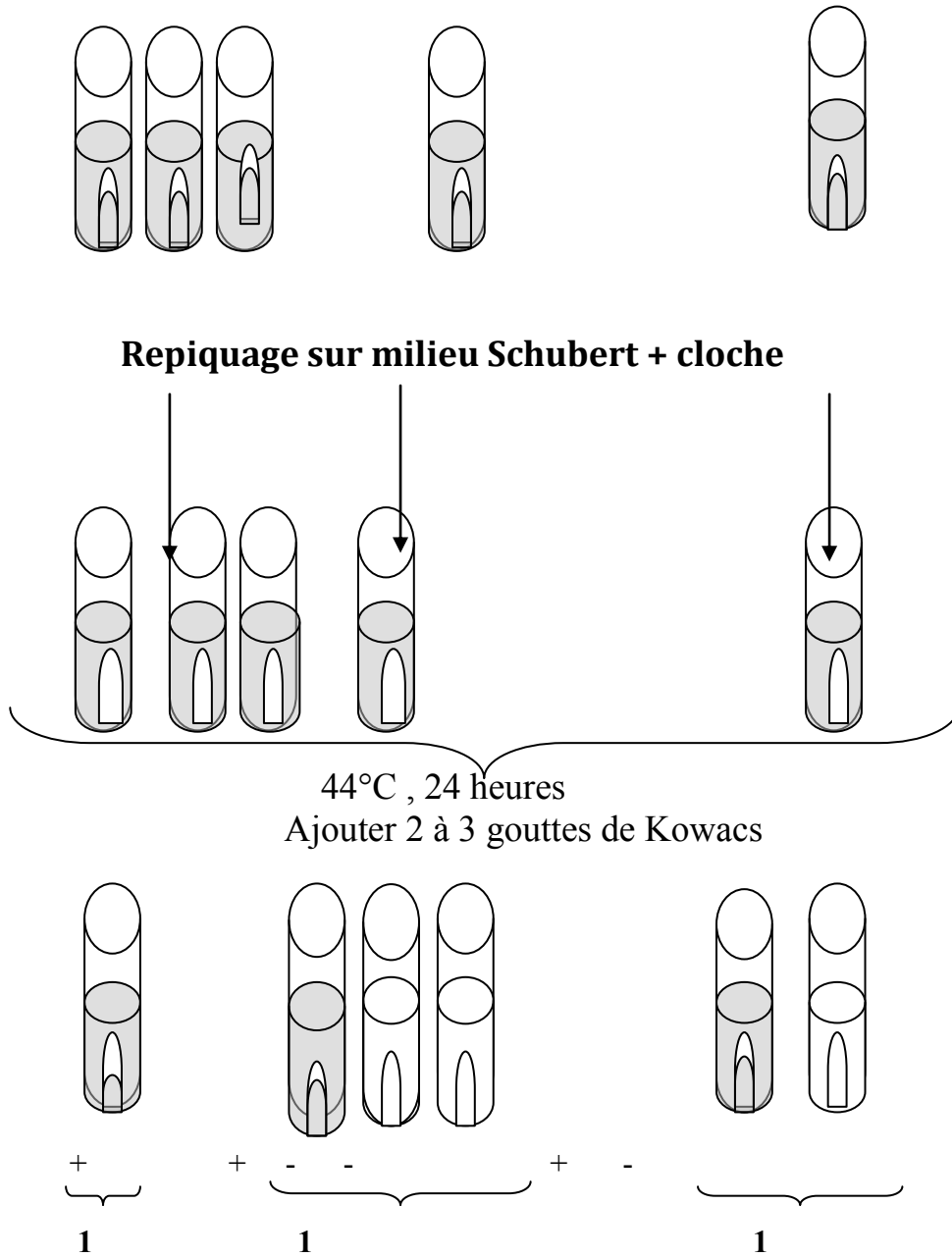


Schéma n°2

. STREPTOMETRIE
Recherche et dénombrement des *Streptocoques fécaux* en milieu liquide :
Test de Présomption

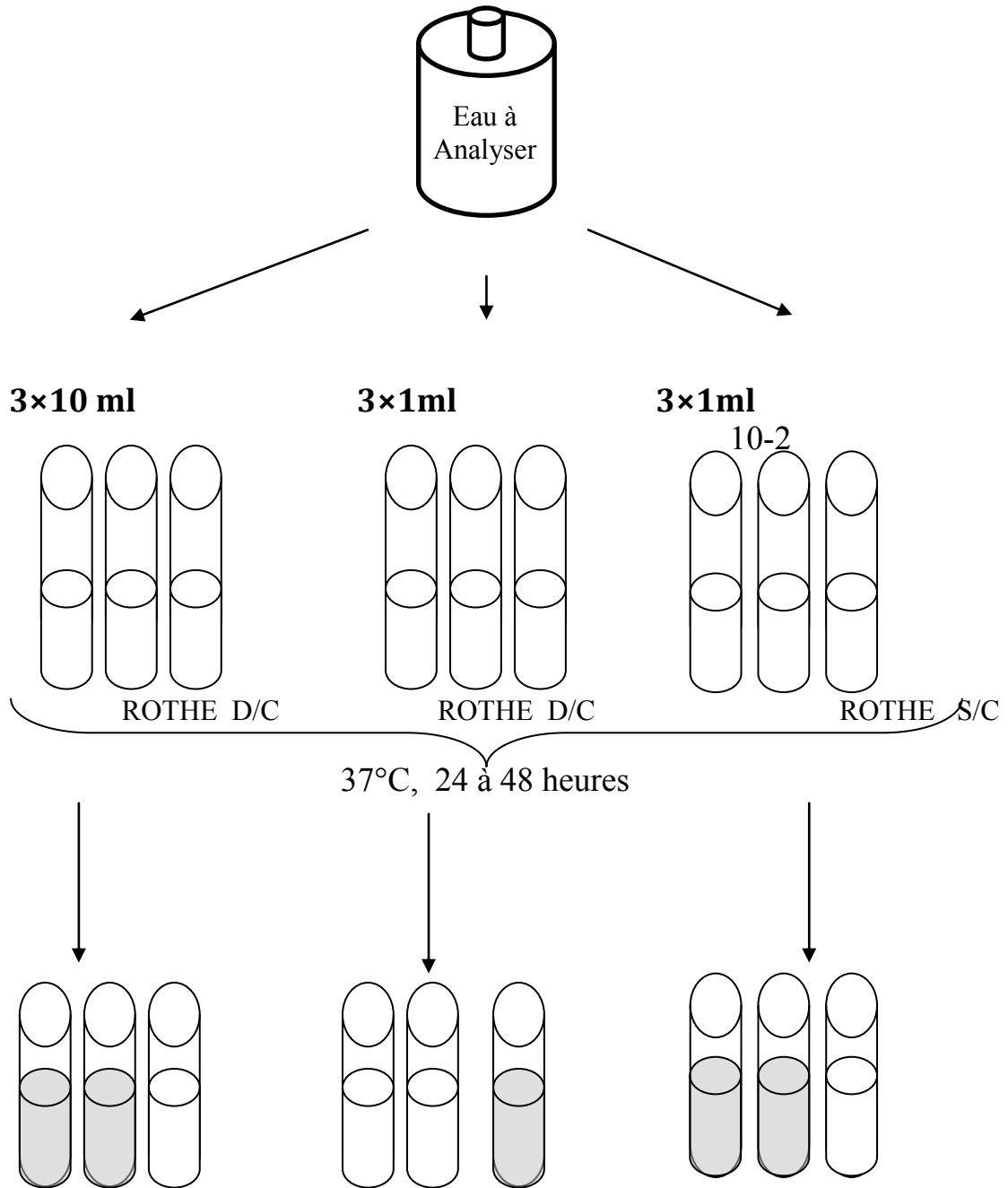


Schéma n°3

STREPTOMETRIE
*Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux en milieu liquide :
 Test de confirmation*

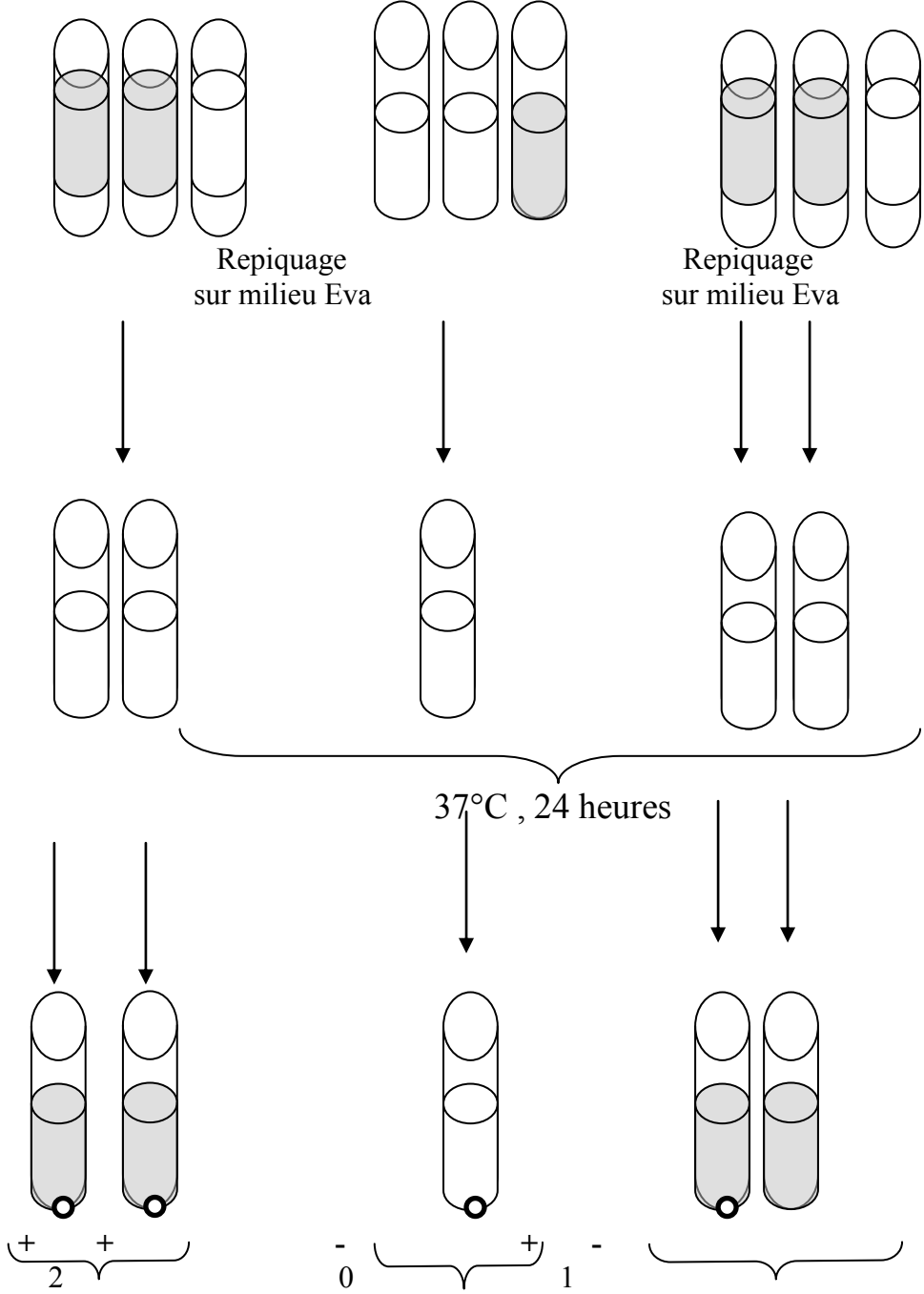


Schéma n°3

Milieux de culture, réactifs et additifs

- Bouillon lactosé pourpre de bromocrésol (BCPL) double et simple concentration.
- Eau physiologique
- Bouillon lactosé au vert brillant (BLBVBL ou VBL).
- Réactif de Kovacs.
- Milieu de rothe double et simple concentration.
- Milieu Litsky.
- Gélose Hectoène.

Composition (g/l)

Bouillon lactosé pourpre de bromocrésol (BCPL)

	BCPL (S/C)	BCPL (D/C)
Extrait de viande	1	2
Peptone de caséine	7	14
Lactose	5	10
Bromocrésol pourpre	0.03	0.06
Extrait de levure	/	/
Bile salt	/	/
Agar	/	/
pH du milieu	6.7± 0.2	6.7± 0.2

Eau physiologique

Chlorure de sodium	8.5
Eau distillée	1000ml
pH =7	
Autoclaver à 121°C pendant 15 minutes.	

Bouillon lactosé au vert brillant (VBL)

Peptone	10.00
Lactose	10.00
Bile de bœuf déshydraté	20.00
Vert brillant	0.0133
Eau	1000 ml
pH final	7.3 ±0.2
Autoclaver à 121°C pendant 15 minutes	

Réactif de Kovacs

P.diméthylaminobenzaldéhyde	5g
Alcool amylique	75.0g
Acide chlorhydrique	25.0g

Milieu de Rothe

	Rothe (S/C)	Rothe (D/C)
Hydrolysats tryptique de caséine	12.6	25.2
Peptone bactériologique	8.0	16.0
Chlorure de sodium	05	10
Phosphate dipotassique	2.7	5.4
Phosphate mono potassique	2.7	5.4
Azide de sodium	0.2	0.4
pH final 6.8 ±0.2		
Autoclaver à 121°C pendant 15 minutes.		

Milieu Litsky

Peptone	20
Glucose	05
Chlorure de sodium	05
Phosphate dipotassique	2.7
Phosphate mono potassique	2.7
Azohydrate de sodium	0.3
Ethyl-violet	0.0005
pH final 6.8 ± 0.2	
Autoclaver à 115°C pendant 20 minutes.	

Eau peptonée alcaline (EPEI)

Protéase peptone	10
Peptone de viande	10
Chlorure de sodium	5
Tryptone	10
pH final 7.2	
Autoclaver à 120°C pendant 15 minutes.	

Gélose Hektoen

Protéose peptone	12
Extrait de levure	3
Chlorure de sodium	5
Thiosulfate de sodium	5
Sels biliaires	9
Citrates de fer ammoniacal	1.5
Salicine	2
Lactose	12
Saccharose	12
Fuschine acide	0.1
Bleu de bromotymol	0.065
Agar	13
pH final 7.5 ±0.2	
Autoclaver à 121°C pendant 15 minutes.	

Nombre le plus probable(NPP) de micro-organismes dans 100 ml de l'eau. (Table de Mac-Grady) ; galerie de 3

Nombre de tubes donnant une réaction positive sur			NPP dans 100 ml	Limites de confiance à 95%	
3 tubes de 10 ml	3 tubes de 1ml	3 tubes de 0.1 ml		Limites inférieures	Limites supérieures
0	0	1	3	<0.5	9
0	1	0	3	<0.5	13
1	0	0	4	<0.5	20
1	0	1	7	1	21
1	1	0	7	1	23
1	1	1	11	3	36
1	2	0	11	3	36
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	149
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	379
3	1	0	43	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	380
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	36	1300
3	3	1	460	71	2400
3	3	2	1100	150	4800

Unité de Développement des Équipements Solaires

Mesure de la demande biologique en oxygène

1. Introduction :

La demande biologique en oxygène (DBO) est proportionnelle à la quantité de matière organique biodégradable présente dans l'échantillon d'eau.

L'oxydation de la matière organique se fait par des microorganismes aérobies qui consomment l'oxygène sous forme de gaz dissous dans l'eau.

2. Calibrage et lecture :




Affichage éteint.




Affichage allumé.

a) Choix de la plage de mesure:

--  Appuyer sur le bouton A ou B=> apparition de l'échelle de mesure actuelle.



--  Appuyer sur le bouton A et B=> apparition de l'échelle de mesure ;




Appuyer sur le bouton A pour changer l'échelle de mesure ;



Appuyer sur le bouton B pour lancer la mesure avec l'échelle choisie.

b) Lecture des données :

--  maintenir le bouton B enfoncé => accès à la mémoire : apparition du nombre indiquant le numéro de la mesure (chaque nombre indique de numéro du jour de l'expérience).



Appuyer sur le bouton B pour changer le numéro de la mesure.



Appuyer sur A pour lire la valeur choisie.



-- ● Appuyer sur le bouton B => apparition de la dernière mesure enregistrée.



3. Préparation des échantillons :

1-Mettre dans les bouteilles un volume d'échantillon correspondant à l'échelle choisie comme le montre le tableau suivant :

Echelle (mg O ₂ /l)	Volume d'échantillon (ml)
1000	100
600	150
250	250
90	400

2-Introduire les barreaux aimantés dans chaque bouteille.



3-Mettre les bouteilles en position dans l'équipement aimanté.

Unité de Développement des Équipements Solaires



4-Introduire l'équipement aimanté dans le thermostat réfrigéré à la température préréglée de 20°C.

5-Brancher le câble d'alimentation interne (de l'équipement aimanté) à la prise et mettre en marche le dispositif en appuyant sur les 2 boutons sur la façade du thermostat réfrigéré. L'équilibre entre l'environnement intérieur et les bouteilles est atteint au bout de 30-40min de marche.



4. Maintenance :

Après chaque mesure de la DBO, les bouteilles, les barreaux aimantés ainsi que les joints doivent être soigneusement lavés avec de l'eau chaude à l'aide d'une brosse.

Ne jamais utiliser du détergent pour le lavage de ces équipements car leur forte DBO peut influencer sur le résultat de la prochaine mesure.

Si l'équipement ne sera pas utiliser pendant une longue période, garder les bouteilles partiellement vissées afin de ne pas endommager le joint d'étanchéité.

Mesure de la demande chimique en oxygène

a) Introduction :

La demande chimique en oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène requise pour oxyder la matière organique et inorganique oxydable contenue dans un échantillon.

b) Principe et théorie :

La matière oxydable contenue dans un échantillon est oxydée par chauffage à reflux en milieu fortement acide avec une quantité connue de bichromate de potassium dans une éprouvette fermée.

La consommation d'oxygène par l'échantillon provoque un changement de couleur dont l'absorbance est proportionnelle à la quantité de bichromate de potassium réduit et se mesure en équivalent d'oxygène.

c) Plage de mesure:

Il existe 3 plages de mesure de la DCO :

- Plage LR (low): 0- 150 mg/l.
- Plage MR (medium): 0-1500 mg/l.
- Plage HR (high): 0- 15000 mg/l.

d) Préparation des échantillons:

Ouvrir un tube de réactif bouché par un bouchon à vis blanc et le remplir avec un volume d'échantillon indiqué pour chaque plage :

- Plage LR/MR : 2ml d'échantillon d'eau.
- Plage HR : 0,2 ml d'échantillon d'eau.



Fermer solidement les tubes avec le bouchon à vis. Mélanger le contenu en retournant le tube avec précaution et chauffer pendant 120 minutes à 150°C dans le dispositif ()



Unité de Développement des Équipements Solaires

Sortir les tubes du bloc de chauffage et les laisser refroidir à 60°C ou moins. Mélanger soigneusement le contenu en retournant plusieurs fois les tubes encore chauds. Ensuite, laisser refroidir les tubes à la température ambiante et ne procéder qu'ensuite à la mesure.

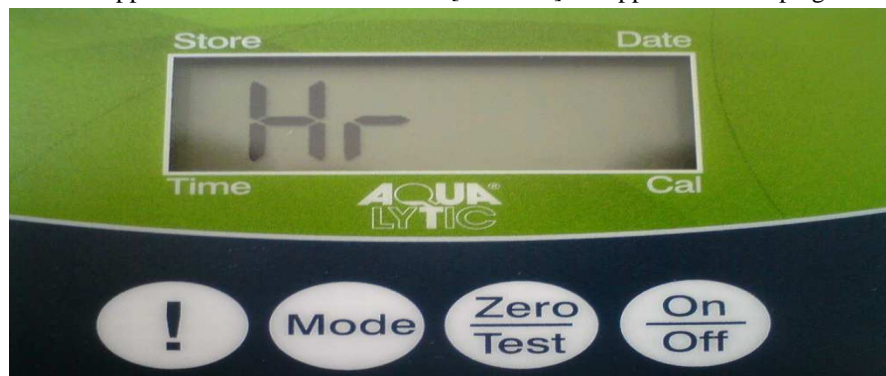
Créer un tube de calibration en utilisant de l'eau exempt de COT au lieu de l'échantillon (LR/MR : 2ml, HR : 0,2ml) et les mettre à chaque fois au chauffage avec les échantillons.

e) Mesure :

1. Poser l'adaptateur pour tubes de 16 mm sur le compartiment de mesure. (il faut que les flèches de l'adaptateur et du compartiment coïncident).



2. Mettre en marche l'appareil en actionnant la touche [ON/OFF] => apparition de la plage de mesure.



3. Sélectionner la plage de mesure avec la touche [MODE].
4. Positionner le tube de calibration dans la chambre de mesure.
5. Appuyer sur la touche [ZERO/TEST].
6. Le symbole de plage de mesure clignote pendant 8 secondes environs => apparition du message suivant (0.00).
7. Après la fin du calage à zéro, sortir le tube de la chambre de mesure. Positionner le tube de mesure dans la chambre de mesure et appuyer sur la touche [ZERO/TEST].
8. Le symbole de la plage de mesure clignote pendant 3 secondes environs => **apparition du résultat de la mesure.** =>

}	Plage LR/MR : en mg/l.
	Plages HR : en g/l.