

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : ENVIRONNEMENT

Thème:

*Désinfection des eaux usées épurées par la méthode "SODIS"
pour l'amélioration de la qualité microbiologique des eaux
rejetées en mer.*

Présenté par:

- **Mr. MOUSSAOUI Arezki**
- **Mr. BOUMRAR Hakim**

Soutenu le 21/07 /2011 devant le jury suivant :

Mr BELKESSA R.	Maitre de Conférence A (ENSSMAL)	Président.
Mme BACHARI F.	Maitre de Conférence A (ENSSMAL)	Examinatrice.
Mme HALLADJ F.	Maitre Assistante (Univ de BOUMERDES)	Examinatrice.
Mr CHOUIKH A.	Directeur Exploitation et Maintenance ONA	Invité.
M^{elle} AMROUCHE L.	Maitre Assistante (ENSSMAL)	Promotrice.
Mr IGOUD S.	Chargé de Recherche (UDES)	Co-promoteur.

Promotion: 2011

Remerciements

Remerciements

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

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à M^{elle} *AMROUCHE L.*, notre promotrice, et Mr *IGOUD S.*, notre Co-promoteur pour nous avoir confié ce sujet, pour leur disponibilité, mais aussi pour leurs conseils et remarques constructives sans lesquels ce travail n'aurait pas pu aboutir ; Nous tenons aussi à leur exprimer nos reconnaissances et nos sincères gratitude ;

D'autre part, nous remercions tout particulièrement les Membres du Jury, Mr *BELKESSA.R.*, M^{me} *BACHARI.F.*, M^{me} *HELLADJ.F.* et Mr *CHOUIKH.A.* pour avoir accepté d'examiner notre travail ;

Nous tenons par ailleurs à exprimer notre haute considération et sincères remerciements à l'ensemble des ingénieurs et techniciens des laboratoires de l'ENSSMAL, le personnel de la bibliothèque, pour leur précieuse aide ;

A tout les membres du laboratoire du l'U.D.E.S et de la STEP de Tipaza, avec qui nous avons travaillé dans des meilleures conditions ;

Un immense merci revient à M^{me} *REFES.N.*, responsable de laboratoire microbiologique à L'ENSSMAL, qui nous a beaucoup aidées avec beaucoup de gentillesse et de patience ;

Nous exprimons notre gratitude à l'ensemble de nos enseignants qui ont si soigneusement partagé leurs connaissances en science de la mer, passion, qui nous a tous réunis à l'ENSSMAL ;

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

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes très chers parents,

*Je le dédie également à ma petite sœur Tinhinnane, ainsi qu'à
toute ma famille et à tous mes amis.*

Arezki.

Je dédie ce travail

*à mes chers parents qui m'ont soutenu dans les moments les plus
durs et mes frères, ainsi qu'à toute ma famille et à tous mes amis.*

Hakim.

Sommaire

Sommaire

Remerciements.

Dédicace.

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction..... 1

PARTIE THEORIQUE

Chapitre I. Généralités sur les eaux usées.

I.1. Les origines des eaux usées	3
I.1.1.La pollution domestique	3
I.1.2.La pollution industrielle	3
I.1.3. La pollution agricole	3
I.1.4.Phénomènes naturels.....	3
I.2.Les polluants présents dans l'eau	4
I.3 Les caractéristiques des eaux usées	5
I.3.1. Les paramètres physico-chimiques	5
I.3.1.1. La température	5
I.3.1.2. La toxicité	5
I.3.1.3.Les matières en suspension.....	5
I.3.1.4.Demande biochimique en oxygène (DBO5).....	5
I.3.1.5.Demande chimique en oxygène (DCO).....	5
I.3.1.6.Le potentiel d'hydrogène (pH).....	6
I.3.1.7.Conductivité électrique	6
I.3.1.8.Les composés phosphorés (PO_4^{3-}).....	6
I.3.1.8.Les composés azotés	6
I.3.2. Paramètres microbiologiques	7
I.3.2.1.Les Coliformes totaux (CT)	7
I.3.2.2.Les Coliformes fécaux « thermotolérants » (CF).....	7
I.3.2.3.Les Streptocoques fécaux (SF)	7
I.3.2.4.Les Salmonelles	8
I.3.2.5.Les Vibrions	8
I.3.2.6.Les Staphylocoques.....	8
I.3.2.7.Les Clostridium sulfite-réducteurs	8
I.3.2.8.Les champignons « mycètes ».....	9
I.3.2.8.1.Les moisissures	9
I.3.2.8.2.Les levures.....	9
I.3.3.Autres paramètre biologiques.....	9
I.3.3.1.La chlorophylle.....	9
I.4.Conséquences de la pollution	9
I.4.4.1.Conséquences sanitaires	9
I.4.4.2.Conséquences écologiques	10
I.4.4.3.Conséquences esthétiques.....	10
I.4.4.4.Conséquences industrielles	10

I.4.4.5.Conséquences agricoles	10
I.5.Les normes de salubrité	10
Chapitre II : Traitement des eaux usées.	
II.1.Historique du traitement des eaux	13
II.2.Filières de traitement	13
II.2.1.Le prétraitement des eaux	13
II.2.1.1.Dégrillage	13
II.2.1.2.Dessablage.....	13
II.2.1.3.Déshuilage	14
II.2.2.Traitement primaire	14
II.2.2.1.Coagulation-floculation.....	14
II.2.2.2.Décantation	14
II.2.2.3.Flottation.....	14
II.2.2.4.Filtration.....	14
II.2.3.Traitement secondaire ou biologique.....	15
II.2.3.1. <i>Procédés extensifs</i>	15
II.2.3.2. <i>Procédés intensifs</i>	15
II.2.3.3. <i>Procédés biologiques anaérobies</i>	16
II.2.3.3.1. <i>Biométhanisation à cultures libres</i>	16
II.2.3.3.2. <i>Biométhanisation à cultures fixées</i>	16
II.2.4. Traitement des boues.....	17
II.2.5. Traitement tertiaire.....	17
II.2.5.1.1. <i>Procédés physiques</i>	17
II.2.5.1.2. <i>Procédés chimiques</i>	17
II.3. Désinfection par irradiation solaire	18
II.3.1. Désinfection par méthode « SODIS ».....	18
II.3.2.La photocatalyse hétérogène par TiO_2	19
II.4. La réutilisation des eaux usées.....	21
II.4.1. Epanchage des eaux résiduaires.....	21
II.4.2. Irrigation.....	21
II.4.3. Réutilisations industrielle.....	21
II.4.3.1. Refroidissement industriel par eau.....	21
II.4.3.2. Lavage et transport industriels de matériaux.....	22
II.4.4. Chauffage de bâtiments avec pompes à chaleur.....	22
II.4.5. Usages récréatifs et municipaux.....	22
II.4.6. Infiltration-percolation et injection dans les nappes.....	22
II.4.6.1. Infiltration-percolation.....	22
II.4.6.2. Injection dans les nappes.....	23
Chapitre III : Traitement des eaux usées en Algérie.	
III.1.Les capacités d'épuration des eaux usées en Algérie.....	24
III.2.La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie.....	25
III.2.1.Définition.....	25
III.2.2.Le cadre réglementaire existant en matière de REUE	25
III.3.Présentation de la STEP de Tipaza	25

III.3.1. Caractéristiques techniques	26
III.3.2. Le procédé d'épuration à boues activées	27
III.3.3. Les étapes d'épuration	27
PARTIE EXPERIMENTALE.	
VI. Matériels et Méthodes	
IV.1 Contexte.....	35
IV.2 Prélèvements, lieux d'expérimentations et d'analyses.....	36
IV.3 Méthodes analytiques.....	41
IV.3.1 Analyses microbiologiques.....	41
IV.3.1.2 Recherche des Salmonelles et les Vibrions.....	46
IV.3.1.3 Dénombrement des germes sulfitoréducteurs.....	50
IV.3.1.4 Recherche et dénombrement des Levures et Moisissures.....	51
IV.3.1.5 Techniques d'isolement et d'identification des bactéries recherchées	51
IV.3.2 Autres analyses.....	53
IV.3.2.1 Mesure de la matière en suspension (MES).....	53
IV.3.2.2 La matière organique particulaire (MOP).....	54
IV.3.2.3 Dosage de la chlorophylle	54
IV.3.2.3 Dosage des sels nutritifs.....	55
V. 1 Résultats et Discussions.....	58
V. 1.1 Caractéristiques physico-chimiques des eaux épurées de la STEP de Tipaza.....	58
V. 1.1.1 La température.....	58
V.1.1.2 Le potentiel d'hydrogène (pH).....	58
V.1.1.3 Matière en suspension	58
V.1.1.4 La pollution Organique DBO ₅ et DCO.....	59
V.1.2 Caractéristiques bactériologiques des eaux épurées de la STEP de Tipaza.....	60
V.1.3 Influence de la durée d'exposition au soleil sur l'efficacité de la méthode SODIS.....	61
V.1.4 Optimisation de la température au cours de la désinfection par la technique « SODIS »	63
V.1.5 Optimisation de la concentration de TiO ₂ au cours de la désinfection par photocatalyse.....	64
V.1.6 Etude comparative entre les deux techniques de désinfection, photocatalyse et SODIS..	65
V.1.7 Evaluation des performances d'un photoréacteur plan pour la désinfection solaire « SODIS ».....	69
V.1.7.2 Effet de SODIS sur les pathogènes.....	70
V.1.7.3. Evolution des sels nutritifs au cours de procédé SODIS.....	70
V.1.7.4 Effet de SODIS sur les matières en suspension et la matière organique.....	71
V.1.7.5. Effet de SODIS sur la chlorophylle <i>a</i>	73
Conclusion.	
Références bibliographiques.	
Les annexes.	

Liste d'abréviation

- **SODIS** : Solar Water Disinfection.
- **STEP** : Station d'épuration.
- **UV** : Ultra-violet.
- **UV-A** : Ultra-violet A (320 à 400 nm).
- **UV-B** : Ultra-violet B (300 à 320 nm).
- **CF** : Coliformes Fécaux.
- **CT** : Coliformes Totaux.
- **ADN** : Acide Désoxyribonucléique.
- **AOP** : Advanced Oxydation Processes.
- **T₁O₂**:Dioxyde de Titane.
- **ISO**: International Standard Organization.
- **OMS**: Organisation Mondiale de la Santé.
- **PNUE** : Programme des Nations Unies pour l'Environnement.
- **SF** : Streptocoques Fécaux.
- **O.N.A** : Office National de l'Assainissement.
- **REUE**: Réutilisation des eaux usées épurées.
- **UFC**: Unite Formant Colonie.
- **MOP**: Matière Organique Particulaire.
- **BEA**: Bile Esculine Agar.
- **UDES**: Unité de Développement des Equipements Solaires.
- **E.COLI**: *Escherichia coli*.
- **SFB**: Bouillon au sélénite de sodium et cystéine.
- **EPA**: Eau Peptonee Alcaline.
- **TCBS**: Thiosulfate-citrate-bile-saccharose.
- **VF**: Viande Foie.
- **MES**: Matière en suspension.
- **MO**: Matière organique.
- **MI**: Matière inhibitrice.
- SANDEC** : Eau et assainissement dans les pays en développement.
- EAWAG** : Institut fédéral suisse pour l'aménagement, l'épuration et la protection.

Liste des figures

Figure II.1 : Différentes filières de traitement des boues	17
Figure II.2 : Mécanisme de dégradation photocatalytique.....	20
Figure III.1 : Répartition de la capacité de traitement des eaux usées par zone géographique.	24
Figure III.2 : Schéma descriptif de la station d'épuration de Tipaza.....	26
Figure III.3 : Poste de relevage	28
Figure III.4 : Dégrilleur grossier	28
Figure III.5 : Dégrilleur fin.....	28
Figure III.6 : le déssableur/déshuileur.....	30
Figure III.7 : Classificateur de sable.....	30
Figure III.8 : Chambre de distribution.	31
Figure III.9 : le bassin biologique.....	31
Figure III.10 : Clarificateur.....	32
Figure III.11 : Poste de reprise des boues.....	32
Figure III.12 : Epaisseur.....	33
Figure III.13 : la déshydratation mécanique.....	33
Figure IV.1 : Schéma du protocole expérimental.....	36
Figure IV.2 : Photographie du banc d'essais N°01.....	37
Figure IV.03 : Photographie du banc d'essais N°02.....	38
Figure IV.04 : Photographie du banc d'essais N°03.....	39
Figure IV.05 : Photographie du banc d'essais N°04.....	40
Figure IV.06 : Photoréacteur plan (U.D.E.S 2011).....	40
Figure IV.07 : Dispositif de l'appareil de filtration sur membrane.....	42
Figure IV.08 : Technique de dénombrement des coliformes.....	43
Figure IV.09 : Dénombrement des indicateurs de contamination fécale par la méthode des NPP.....	44
Figure IV. 10 : Technique de dénombrement des streptocoques fécaux.....	45
Figure IV. 11 : Technique de dénombrement des staphylocoques.....	46
Figure IV.12 : Technique de recherche des salmonelles.....	47
Figure IV.13 : Technique d'identification des salmonelles.....	48
Figure IV.14 : Technique de recherche et d'identification des vibrions.....	49
Figure IV.15 : Technique de recherche des bactéries sulfitoréductrices.....	50
Figure IV.16 : Recherche et dénombrement des Levures et Moisissures.....	51
Figure IV.17 : Four à moufle.....	54
Figure IV.18 : Auto Analyser San Plus.....	55
Figure V.1 : Représentation graphique de la variation des MES à la sortie de la station durant les mois : Avril, Mai et juin 2011.....	58
Figure V.2 : Représentation graphique de la variation des DBO ₅ à la sortie de la station durant les mois : Avril, Mai et juin 2011.....	59
Figure V.3 : Représentation graphique de la variation des DCO à la sortie de la station durant les mois : Avril, Mai et juin 2011.....	60
Figure V.4 : Evolution de pourcentage d'abattement des différents germes en fonction de la durée d'exposition au soleil.....	61

Figure V.5 : Evolution du pourcentage d'abattement en fonction de la durée d'exposition et de la température de chauffage.....	63
Figure V.6 : Variations de pourcentage d'abattement des différents germes en fonction de concentration de TiO_2	64
Figure V.7 : Variations des concentrations des coliformes totaux en fonction de la technique de désinfection.....	66
Figure V.8 : Variations des concentrations des coliformes fécaux en fonction de la technique de la désinfection.....	66
Figure V.9 : Variations des concentrations des streptocoques en fonction de la technique de désinfection.....	67
Figure V.10 : Variations des concentrations des staphylocoques en fonction de la technique de désinfection.....	67
Figure V.11 : Variations des concentrations des Anaérobies Sulfito-Réducteurs en fonction de la technique de désinfection.....	68
Figure V.12 : Variations des concentrations des levures et les moisissures en fonction de la technique de désinfection.....	68
Figure V.13 : Variations de pourcentage d'abattement des différents germes dans le photoréacteur plan.....	69
Figure V.14 : Evolution des teneurs de l'ammonium en fonction de la durée d'exposition au soleil...	71
Figure V.15 : Evolution des teneurs de phosphates en fonction de la durée d'exposition au soleil.....	71
Figure V.16 : Evolution des teneurs de nitrates en fonction de la durée d'exposition au soleil.....	71
Figure V.17 : Evolution des teneurs de nitrites en fonction de la durée d'exposition au soleil.....	71
Figure V.18 : Evolution des teneurs de matière en suspension en fonction de la durée d'exposition au soleil.....	72
Figure V.19 : Evolution des pourcentages de la matière organique en fonction de la durée d'exposition au soleil.....	72
Figure V.20 : Evolution des teneurs de la chlorophylle « a » en fonction de la durée d'exposition au soleil.....	73
Figure 01 : Auto-analyser SAN Plus Système de marque SKALAR, 1998 (annexe I).	
Figure 02 : Ensoleillement journalier de 14 Juin. (annexe IV)	
Figure 03 : Ensoleillement journalier de 05 Juin. (annexe IV)	
Figure 04 : Ensoleillement journalier de 29 Mai. (annexe IV)	
Figure 05 : Ensoleillement journalier de 08 Mai. (annexe IV)	
Figure 06 : Ensoleillement journalier de 26 Avril.(annexe IV)	

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Principaux critères de qualité des eaux de baignade (Extrait de l'annexe 1 du décret n° 93-164 du 10 juillet 1993).....	11
Tableau I.2 : Les valeurs limites maximales des paramètres de rejet des installations de déversement industriel	12
Tableau III.1 : Données de base Caractéristiques techniques de la station d'épuration de Tipaza	27
Tableau III.2 : Dimensions du dégrilleur fin	29
Tableau III.3 : Dimensions du convoyeur à bande	29
Tableau III.4 : caractéristiques du déssableur/déshuileur.....	30
Tableau III.5 : Caractéristiques de l'épaississeur.....	33
Tableau V.1 : Représentation des résultats des analyses bactériologiques des eaux usées épurées de la STEP de Tipaza.....	61

Annexe II

Tableau 1 : Nombre le plus probable (NPP) dans le cas du système à trois tubes.

Annexe III

Tableau 2 : Résultats moyens des paramètres bactériologiques de l'expérimentation 01.

Tableau 3 : Résultats moyens des paramètres bactériologiques de l'expérimentation 02.

Tableau 4 : Résultats moyens des paramètres bactériologiques de l'expérimentation 03.

Tableau 5 : Résultats moyens des paramètres bactériologiques de l'expérimentation 04.

Tableau 6 : Résultats des paramètres bactériologiques de l'expérimentation 05.

Annexe IV

Tableau 7 : Ensoleillement journalier moyen des différentes dates.

Introduction

Introduction

L'augmentation de la population mondiale a soulevé plusieurs défis qu'il est impératif de relever pour assurer sa survie et son évolution. Parmi ces défis l'eau dont la disponibilité et la qualité constitue actuellement une préoccupation internationale non seulement pour approvisionner les besoins en eau potable, en eau d'hygiène et de confort, en eau d'irrigation, en eau-solvant industriel...Mais, aussi, pour la prise en charge du rejet des eaux usées dont les volumes ne cessent d'augmenter.

C'est aussi le cas en Algérie où le rejet des eaux usées brutes, domestiques et industrielles, dans le milieu naturel perturbe l'équilibre écologique terrestre, aquatique et marin menaçant ainsi la biodiversité de ces milieux et leur maintien.

Cette situation est plus menaçante sur le littoral où l'on retrouve la plus forte densité démographique, particulièrement durant la période estivale. En effet, dans les zones littorales, le rejet de ces eaux s'effectue d'abord dans les rivières qui se transforment en égouts à ciel ouvert pour finir, ensuite, dans la mer méditerranée.

Heureusement, cette situation n'est pas généralisée à toutes les villes côtières puisque celles qui enregistrent les plus importantes densités démographiques sont déjà équipées par des stations d'épuration urbaines.

Néanmoins, ces dernières, conçues pour l'élimination de la pollution solide, dissoute, physico-chimique et biologique, n'affinent pas cette dépollution par la désinfection considérée comme secondaire puisque les eaux épurées ne sont pas destinées à la réutilisation.

Pourtant, l'application de la désinfection rehausserait obligatoirement le niveau de préservation de l'équilibre écologique de notre littoral, de sa ressource halieutique et de sa biodiversité ainsi que les zones de baignade.

Cependant, le recours à l'application de ce traitement, à travers la désinfection par chloration, très utilisée en Algérie, et autres procédés chimiques, considérés sûrs, engendrerait une nouvelle source de pollution environnementale et un risque pour la santé publique ! En effet, l'augmentation des bactéries résistantes à divers processus de désinfection est un phénomène inquiétant. Quelle serait dans ce cas la meilleure technique à utiliser ?

La recherche d'alternatives pour combattre efficacement les microorganismes et qui s'insérerait dans le cadre d'un environnement durable est notre objectif.

C'est dans ce contexte que nous proposons à travers des expérimentations, la désinfection solaire des eaux épurées. Cette technique de désinfection est réputée pour être « douce », facile d'application, peu coûteuse et intégrée dans le concept du développement durable puisqu'elle utilise l'énergie solaire. Ces avantages sont particulièrement attrayants pour la station d'épuration de Tipasa au niveau de laquelle nous avons prélevé les eaux qui

ont fait l'objet de nos expérimentations. En effet, la station est certifiée ISO 14001 en management environnemental.

Notre travail consiste à l'évaluation des performances de la technique SODIS (Solaire water Disinfection) par comparaison à la photocatalyse et la recherche de quelques paramètres d'optimisation : la durée d'exposition au soleil ainsi que la température de l'eau traitée. Nous avons également procédé à l'évaluation des performances d'un photoréacteur plan pour la désinfection par la technique SODIS.

L'évaluation des résultats s'est basée sur le suivi des paramètres physicochimiques et bactériologiques dont les indicateurs de contamination fécales et les pathogènes qui les accompagnent, avant et après désinfection.

PARTIE THEORIQUE

Généralités sur les eaux usées

L'eau est le vecteur principal pour éliminer la majorité de ses déchets ; ce qui a donné lieu à la formation des eaux usées caractérisées par différentes composition et concentration en éléments polluants. Par ailleurs, à part le secteur urbain, presque tous les secteurs industriels, agricoles et artisanaux consomment de l'eau et rejettent des *eaux résiduelles*. Sous cette terminologie, on regroupe habituellement des eaux d'origines très diverses [1].

I. 1 Les origines des eaux usées : [2]

I.1.1 La pollution domestique :

Provenant des habitations, elle est en général véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. La pollution domestique se caractérise par de fortes teneurs en :

- Germes fécaux ;
- Matières organiques ;
- Sels minéraux (azote, phosphore) ;
- Détergents.

I.1.2 La pollution industrielle :

Provenant des usines, elle est caractérisée par une grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau (process), tous les produits ou sous produits de l'activité humaine se retrouvent ainsi dans l'eau, qui est un bon solvant :

- matières organiques et graisses (industries agroalimentaire équarrissages...) ;
- hydrocarbures (raffineries) ;
- métaux (traitement de surface, métallurgie) ;
- acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries)
- eau chaude (circuits de refroidissement des centrales thermiques) ;
- matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

I.1.3 La pollution agricole :

Provenant des fermes ou des cultures, elle se caractérise par :

- De fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore, potassium)
 - ✓ des engrais,
 - ✓ des purins et lisiers (élevage) ;
- La présence de produits chimiques de traitement (pesticides, herbicides...).

I.1.4 Phénomènes naturels :

Certains auteurs considèrent que divers *phénomènes naturels* sont aussi à l'origine de pollution (par exemple, une irruption volcanique, un épanchement sous-marin d'hydrocarbure...).

I.2 Les polluants présents dans les eaux usées : [1]

Les eaux usées collectées par le réseau d'assainissement contiennent toutes sortes de résidus rejetés par les utilisateurs de l'eau courante. On trouve dans ces eaux résiduaires des flottants, des matières en suspension et des matières dissoutes. Ces résidus sont essentiellement constitués de matières organiques (environ 75%).

On distingue plusieurs catégories de polluants :

Ils détériorent la qualité de la potabilité des eaux superficielles et même aux usages industriels et agricoles si leur concentration dépasse les normes ;

Les *acides et les bases*, rejetés par l'industrie chimique et d'autres installations industrielles, ils sont indésirables non seulement pour les activités récréatives (nage, pêche, navigation) mais aussi pour la vie aquatique ; marines et des zones de rejet terrestre.

Les *matières en suspension* (MES) désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau et la rendent trouble ;

Les *matières organiques* sont tous les déchets carbonés induits par les matières fécales, le lessivage des sols, l'industrie agro-alimentaire et industrielle (les papeteries, le sucre ou lactosérum des industries agroalimentaires)... A l'inverse des MES, ces matières constituent un apport alimentaire de choix pour les micro-organismes (MO) de l'eau et provoquent leur prolifération ;

Les *matières inhibitrices* (MI) s'avèrent toxiques pour les daphnies (zooplancton). On y trouve des métaux ou métalloïdes (mercure, plomb), des pesticides, notamment des organochlorés (lindanes), certaines huiles minérales et certains hydrocarbures. Les MI présentent des risques d'effets toxiques immédiats ou différés par accumulation dans les chaînes alimentaires et des risques d'effets cancérogènes ;

Les *déchets solides divers*, objets divers d'origines variées, posent des problèmes d'esthétiques (rejets sur les rives et plages) et de gêne. Ils peuvent au cours de leur dépôts et en se décomposant porter préjudice à la faune et à la flore aquatique ;

Les *détergents* sont des produits à la fois émulsionnants, moussants et mouillants. Ils ont l'inconvénient de diminuer la capacité de réoxygénation des eaux de rivière, de produire des mousses et d'inhiber dans le traitement biologique l'action de biomasse épuratrice ;

Les *matières colorantes* modifient la transparence et l'éclairement du milieu ;

La *pollution thermique* est due au rejet des eaux utilisées pour le refroidissement d'installations industrielles diverses. Cet échauffement engendre de nombreux inconvénients tels que appauvrissement des eaux en oxygène, action stimulante sur la vitesse de multiplication d'algues, croissance de l'activité bactérienne, etc.

I.3 Les caractéristiques des eaux usées :**I.3.1 Les paramètres physico-chimiques :****I.3.1.1 La température :**

La connaissance de la température de l'eau est très importante, car elle joue un rôle dans les différents phénomènes aquatiques tels que, la solubilité des sels et surtout des gaz, la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, la détermination du pH, la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels,...etc. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques et du point de vue industriel pour les calculs d'échanges thermiques [3].

I.3.1.2 La toxicité :

A partir d'une certaine concentration, certains éléments contenus dans l'eau deviennent toxiques vis-à-vis des êtres vivants dans le milieu, cette notion de dose est fondamentale, car la plupart des éléments sont toxiques à partir de certaines doses ou vis-à-vis de certains organismes (y compris le sel, l'oxygène,...) [2].

I.3.1.3 Les matières en suspension :

Ce sont des matières non solubilisées, de nature organique et minérale, les premières sont généralement volatiles, elles peuvent être traitées par dégradation biologique ; les dernières de natures minérales essentiellement inertes, elles peuvent être éliminées en grande partie par sédimentation.

Ces matières solides contenues dans les eaux usées sont séparables par filtration décantation (filtres en papier, membranes filtrantes) ou par centrifugation. Les teneurs en MES sont obtenues après séchage à 105°C [4].

I.3.1.4 Demande biochimique en oxygène (DBO5) :

Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour oxyder la matière organique biodégradable présente dans l'eau. L'essai normalisé en laboratoire prévoit un ensemencement microbien de l'échantillon et une incubation à l'obscurité, pendant 5 jours. Le résultat est exprimé en mg/l d'oxygène consommé, durant cette période. Elle fournit donc une indication importante permettant de juger la qualité d'une eau et de son degré de pollution et des dimensionnements des ouvrages d'épuration [5].

I.3.1.5 Demande chimique en oxygène (DCO) :

Elle représente la consommation d'oxygène nécessaire à l'oxydation non biologique de l'ensemble des matières organiques présentes dans l'effluent, qu'elles soient biodégradables ou non. L'essai normalisé en laboratoire consiste à mesurer la quantité de dichromate de potassium consommé, à chaud, par les matières oxydables (du sulfate d'argent est ajouté comme catalyseur). Cette mesure a l'avantage de fournir rapidement un résultat, et d'être facilement reproductible, mais ne renseigne pas directement sur la biodégradabilité de

l'effluent. La DCO constitue un paramètre important et complémentaire à la DBO5 pour la surveillance des eaux usées et des rejets industriels [5].

I.3.1.6 Le potentiel d'hydrogène (pH) :

La connaissance exacte du pH est nécessaire pour connaître la qualité physique, chimique et la teneur des ouvrages (agressivité, corrosivité,...) et des traitements de correction [6].

I.3.1.7 Conductivité électrique :

Elle mesure la capacité du milieu aqueux à transmettre un courant électrique, celle-ci étant liée à la qualité des particules chargées (anions et cations). Elle permet donc d'évaluer la minéralisation globale de l'eau. Elle augmente avec la salinité [7].

I.3.1.8 Les composés phosphorés (PO_4^{3-}) :

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation, répondent au test de spectrophotométrie sont dits orthophosphates (PO_4^{3-}).

L'hydrolyse en milieu acide fait apparaître le phosphore hydrolysable et le phosphore organique. Chaque fraction (en solution ou en suspension) peut être séparée analytiquement en orthophosphates, phosphore hydrolysable et phosphore organique [3].

I.3.1.9 Les composés azotés :

Parmi ces composés, on retrouve essentiellement : l'azote ammoniacal, les nitrates (NO_3^-), et les nitrites (NO_2^-).

❖ L'azote ammoniacal :

Il est présent sous deux formes en solution, l'ammoniac (NH_3) et l'ammonium (NH_4^+) dont les proportions relatives dépendent du pH, de la température et de la salinité. Dans les eaux marines, l'ammonium est prédominant.

Il provient des excréments animaux et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés [4].

❖ Les nitrates (NO_3^-) :

L'ion nitrate est une forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Il ne présente pas de faculté de complexation ou d'absorption.

Il entre dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton.

❖ Les nitrites (NO_2^-) :

Dans le cycle de l'azote, les ions nitrites sont des intermédiaires entre l'azote ammoniacal et ions nitrates.

Les concentrations retrouvées dans les eaux naturelles, douces, saumâtres, marines vont de zéro à quelques ($\mu\text{mol/l}$) de nitrite [4].

I.3.2 Paramètres microbiologiques :

Il existe deux catégories de bactéries dans la nature : [2]

- Celles qui ont un rôle écologique fondamental dans la transformation de la matière organique.
- D'autres qui ont un pouvoir pathogène vis-à-vis des organismes vivants qui avec les amibes sont responsables de plusieurs maladies dangereuses.

I.3.2.1 Les Coliformes totaux (CT) :

Ils regroupent un certain nombre d'espèces appartenant à la famille des *Entérobactereaceae*. Selon la définition (ISO), ce sont des bacilles à Gram négatif, non sporulant, anaérobie facultatif, oxydase négative. Ils peuvent croître en présence des sels biliaries et sont capables de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production de gaz en 48 heures à des températures de 35 à 37°C.

Les Coliformes totaux constituent un groupe de bactéries très hétérogènes, le plus souvent présentes en grand nombre dans les excréments animaux et humains mais dont certaines espèces ne sont pas nécessairement liées à la flore intestinale humaine ou animale et peuvent proliférer dans les sols ou dans les milieux aquatiques.

Les coliformes comprennent les genres : *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Yersinia*, *Serratia* [8].

I.3.2.2 Les Coliformes fécaux « thermotolérants » (CF) :

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermotolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44°C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est '*Escherichia coli* et dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella* [9].

La recherche des coliformes thermotolérants est très importante car un très grand nombre d'entre eux vivent en abondance dans les matières fécales des animaux à sang chaud et de ce fait, constituent de très bons indicateurs de pollution d'origine fécale. Leur densité est proportionnelle au degré de la pollution et leur suivie dans l'environnement est également équivalente à celle des pathogènes [3].

I.3.2.3 Les Streptocoques fécaux (SF) :

L'expression « streptocoques fécaux » regroupe toutes les bactéries à Gram positif de forme cocci sphériques légèrement ovales, catalase négative [17].

Ils peuvent se multiplier dans des milieux présentant des pH allant jusqu'à 9,6. On peut par conséquent les utiliser comme indicateurs d'organismes pathogènes qui ont une résistance similaire aux pH élevés [17].

Ils regroupent l'ensemble des streptocoques possédant la substance (acide teïchoïque) antigénique caractéristique du groupe D de la classification de Lancefield, tels que:

Enterococcus faecalis, *E.faecium*, *E.durans*, *E.hirae*, *Streptococcus peals*, *S.suis* et *S. equinus*.

Ces streptocoques du groupe D sont généralement pris globalement en compte comme des témoins de pollution fécale, car tous ont un habitat fécal [3].

Les dénombrements des streptocoques fécaux présumés sont rarement effectués indépendamment des dénombrements des coliformes.

I.3.2.4 Les Salmonelles :

Elles sont de la famille des *Entérobactereaceae*, Gram négatif, aéro-anaérobies facultatifs, sous forme de bâtonnet. Tous les produits d'origine animale sont susceptibles de contenir des salmonelles. Ce sont des microorganismes non sporulant, habituellement mobiles grâce à des flagelles péritriches, mésophiles avec une température optimale de croissance de 37°C. Les salmonelles fermentent le glucose, le maltose et le mannitol, avec production de gaz, mais elles ne fermentent pas le saccharose. Elles réduisent le sulfite en sulfure et décarboxylent la lysine [11].

I.3.2.5 Les Vibrions :

Les vibrions appartiennent à la famille des *Vibrionaceae*, elle comprend des bacilles à Gram négatif qui sont soit mobiles par une ciliature polaire, péritriche. Ils sont oxydases positives, réduisent les nitrates et dégradent des glucides par métabolisme fermentatif. Au sein de cette famille, on distingue 4 genres : *Vibrio*, *Aeromonas*, *Plesiomonas* et *Photobacterium*.

Les bactéries du genre *Vibrio* sont des bacilles incurvés ou droits, mobiles grâce à un flagelle polaire, basophiles, oxydase positive, ils présentent une importance particulière dans la contamination des eaux et des fruits de mer. La plupart des vibrions sont d'origine marine, ils ne se multiplient qu'en présence de NaCl. On distingue une trentaine d'espèces différentes, les plus importantes qui sont réputées pathogènes pour l'homme sont : *V. parahaemolyticus*, *V. cholerae* et *V. vulnificus* [12].

I.3.2.6 Les Staphylocoques :

Ces bactéries appartiennent à la famille des *Micrococcaceae*, sont des cocci à Gram positif arrangés en paires, en tétrades ou en grappes. Ils sont immobiles, aérobies ou anaérobies facultatifs, asporulés et catalase positive. Il existe de nombreuses espèces commensales de l'homme ; mais certaines sont potentiellement pathogènes. En effet, dans certaines conditions de fragilisation des défenses naturelles, elles peuvent provoquer diverses infections de gravité variable. Présents dans l'eau, en particulier, dans les piscines *Staphylococcus aureus* est responsable d'affections cutanées et d'intoxications [5,24 et 3].

I.3.2.7 Les Clostridium sulfito-réducteurs :

Ce sont des Bacilles Gram positif, anaérobies, sporulants, mobiles par ciliatures péritriches, ne possèdent aucun caractère halophile préférentiel particulier [13].

Les Clostridiums sont recherchés dans l'eau comme témoins de contaminations fécales fréquentes et très résistantes, mais leur spécificité est discutable car il existe des Clostridiums d'origine tellurique [2].

Les toxines produites par ces bactéries, qui ne sont généralement pas détruites par les enzymes du système digestif, provoquent de violentes douleurs abdominales accompagnées de vomissements et attaquent le système nerveux central en bloquant l'influx nerveux.

I.3.2.8 Les champignons « mycètes » :

I.3.2.8.1 Les moisissures :

Ce sont des thalles constitués de longs filaments de cellules reliées les unes aux autres, qu'on appelle les hyphes. Les moisissures sont capables de vivre dans des habitats où ne peuvent pas survivre des bactéries grâce à la rigidité des hyphes qui contiennent de la chitine. Quand les conditions du milieu le permettent, les hyphes augmentent de taille ou évoluent pour former une masse filamenteuse « mycélium » visible à l'œil nu [23 et 25].

I.3.2.8.2 Les levures :

Ce sont des mycètes unicellulaires, non filamenteux qui sont généralement sphériques ou ovales. Comme les moisissures, les levures sont très répandues dans la nature, elles se présentent souvent sous forme de poudre blanche.

Une cellule mère de levure se reproduit par bourgeonnement et est capable de croissance anaérobie facultative [23 et 25].

I.3.3 Autres paramètres biologiques :

I.3.3.1 La chlorophylle :

La chlorophylle est un pigment indispensable à la photosynthèse. Sa présence dans tous les organismes vivants qui se développent, associée à l'énergie solaire, lui permet de synthétiser ses propres matières organiques carbonées à partir du carbone minéral. Dans les milieux aquatiques, les algues possèdent une diversité de pigments dont les plus importants sont les chlorophylles *a*, *b*, *c*₁, *c*₂ et *d*. La chlorophylle *a* est le pigment photosynthétique principal du phytoplancton qui est considéré comme étant un bon indicateur de la santé de l'océan et de son niveau de productivité et de la biomasse phytoplanctonique [4].

I.4 Conséquences de la pollution : [2]

Les conséquences d'une pollution peuvent être classées en plusieurs catégories :

I.4.1 Conséquences sanitaires :

Les conséquences sanitaires sont donc celles à prendre en compte en priorité. Elles peuvent être liées à l'ingestion d'eau, de poissons(...), mais aussi au simple contact avec le milieu aquatique (cas de nombreux parasites).

Il ne s'agit pas toujours de problèmes de toxicité immédiats, les conséquences sanitaires pouvant intervenir à travers des phénomènes complexes.

I.4.2 Conséquences écologiques :

Les conséquences écologiques se mesurent en comparant l'état du milieu pollué par rapport à ce qu'il aurait été sans pollution.

D'une manière générale, les conséquences écologiques sont éradiquées par l'élimination de la source de pollution et la réduction des potentialités d'exploitation du milieu (pêche, aquaculture, tourisme, promenade...) à court et long terme.

I.4.3 Conséquences esthétiques :

Il s'agit de pollutions n'ayant pas de conséquences sanitaires ou écologiques importantes, mais perturbant le paysage d'un milieu. Les conséquences esthétiques sont, par définition, les plus perceptibles, et c'est donc celles dont les riverains et le grand public auront, en premier, pris conscience.

I.4.4 Conséquences industrielles :

Le développement industriel peut donc être stopper par la pollution (c'est une des raisons pour laquelle la préoccupation relative à la pollution est apparue d'abord dans les pays industrialisés).

I.4.5 Conséquences agricoles :

Les eaux usées sont, dans certaines régions, largement utilisée pour l'arrosage ou l'irrigation, souvent sous forme brute (non traitée).

La texture du sol (complexe argilo humique), sa flore bactérienne, les cultures et le bétail, sont sensibles à la qualité de l'eau.

De même, les boues issues du traitement des eaux usées pourront, contenant des toxiques (métaux lourds) peuvent être à l'origine de la pollution des sols.

I.5 Les normes de salubrité :

La pollution de l'eau peut avoir des conséquences sur la santé de l'homme ainsi que sur leur milieu naturel. L'Algérie soucieuse de la santé publique et de l'environnement a établi des normes relatives aux rejets des eaux usées dans le milieu naturel.

Tableau I.2 : Les valeurs limites maximales des paramètres de rejet des installations de déversement industriel [15].

Paramètres	Unités	Valeurs limites	Tolérances aux valeurs limites anciennes installations
Température	°C	30	30
pH	/	6,5 à 8,5	6,5 à 8,5
MES	mg/l	35	40
DBO5	mg/l	35	40
DCO	mg/l	120	130
Azote Kjeldahl (NTK)	mg/l	30	40
Phosphore total	mg/l	10	15
Cyanures	mg/l	0,1	0,15
Aluminium	mg/l	3	5
Cadmium	mg/l	0,2	0,25
Chrome total	mg/l	0,5	0,75
Etain total	mg/l	2	2,5
Fer	mg/l	3	5
Manganèses	mg/l	1	1,5
Mercure total	mg/l	0,01	0,05
Nickel total	mg/l	0,5	0,75
Plomb total	mg/l	0,5	0,75
Cuivre total	mg/l	0,5	1
Zinc total	mg/l	5	5
Huiles et graisses	mg/l	20	30
Hydrocarbures totaux	mg/l	10	15
Indice de Phénol	mg/l	0,3	0,5
Substances toxiques bioaccumulables	mg/l	0,005	0,01
Fluor et composés	mg/l	15	20
Composés organochlorés	mg/l	5	7

Source : Journal Officiel Algérien, N° 26 Avril 2006.

Tableau I.1 : Principaux critères de qualité des eaux de baignade [14].

Paramètres microbiologiques	Unités	Valeurs guide	Valeur impérative
Coliformes totaux	/100ml	500	10 000
Escherichia coli	/100ml	100	2 000
Streptocoques fécaux	/100ml	100	-
Salmonelles	ll	-	0
Vibrion cholérique	/450ml	-	0
Paramètres Physicochimiques			
Coloration	mg/l	-	Pas de changement anormal de la couleur (0)
Huiles minérales	mg/l	0,3	Pas de film visible à la surface de l'eau et absence d'odeur
pH	-	-	6-8
Oxygène dissous	% saturation en O ₂	-	80 - 120
Transparence	Mètre	2	-
Autres substances	-	-	Ne doit pas contenir des substances capables de nuire la santé des baigneurs

Source : Journal officiel de la république algérienne, 1993.

- **Valeurs guide** : caractérise une bonne qualité pour la baignade.

- **Valeurs limites** : constitue la limite supérieure au-delà de laquelle l'eau est considérée de mauvaise qualité (baignade interdite).

- Les eaux dont les concentrations sont comprises entre les valeurs guides et valeurs limites sont de qualité acceptable et doivent faire l'objet d'une surveillance continue.

Traitements des eaux usées

II.1 Historique du traitement et de l'épuration des eaux :

L'une des plus anciennes références au traitement des eaux de consommation est tirée d'un texte médical en sanscrit datant de 2000 ans avant Jésus Christ qui indique comment rendre les eaux potables en les faisant bouillir au-dessus d'un feu, en les chauffant au soleil, en y plongeant un fer chaud ou en les filtrant à travers un lit de sable et de gravier [27].

Depuis le début du siècle, on a réalisé d'importants progrès en matière de traitement des eaux. La désinfection continue des eaux est maintenant chose courante ; des produits désinfectants, comme l'ozone et le dioxyde de chlore, assurent une meilleure désinfection [27].

Dans le domaine de l'épuration des eaux usées, la bibliographie indique également que cette activité remonte à la période de la Grèce antique et l'empire romain. Le procédé utilisé demeure d'actualité à ce jour et utilise le rayonnement solaire : il s'agit du lagunage [28].

II.2 Filières de traitement :

L'épuration des eaux usées a pour principal objectif de prévenir la transmission des maladies véhiculées par les eaux et préserver l'équilibre environnemental des zones de rejets notamment les cours d'eau et surtout dans les eaux littorales. Et pourquoi pas pour produire de l'eau potable ; c'est le cas actuellement à Singapour [27].

II.2.1 Le prétraitement des eaux :

Un prétraitement est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs.

II.2.1.1 Dégrillage :

Les grilles éliminent les déchets grossiers et généralement flottants qui sont véhiculés par les eaux usées brutes ; ce qui permet de, protéger les ouvrages postérieurs, éviter l'obstruction des installations d'épuration. Elles sont utilisées en premier lieu pour des raisons de sécurité. L'installation de dégrillage se compose d'un canal, de la grille, du dégrilleur et d'une benne pour l'évacuation des déchets piégés [1].

II.2.1.2 Dessablage : [1]

Le dessablage a pour but d'extraire les particules de sables et autres solides décantables de même taille. Cet ouvrage permet d'éviter les dépôts dans les canaux et conduites, de protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion. Le domaine usuel du dessablage porte sur les particules de granulométrie supérieure à 200 μm . Pour assurer le dessablage des eaux usées, on utilise par ordre croissant d'importance et d'efficacité les principaux ouvrages ci-après :

-Les dessableurs couloirs simples dans lesquels la vitesse d'écoulement varie avec le débit. Ces ouvrages sont utilisés pour les petites stations d'épuration.

-**Les dessableurs couloirs à vitesse d'écoulement constante** comportant un ou mieux deux canaux équipés d'un déversoir de sortie.

-**Les dessableurs circulaires à alimentation tangentielle** ou à brassage mécanique, ou mieux à insufflation d'air, dans lesquels la vitesse de balayage de fond créée est maintenue sensiblement constante quel que soit le débit.

-**Les dessableurs rectangulaires aérés** dans lesquels l'air insufflé provoque une rotation du liquide, créant ainsi une vitesse de transit qui, beaucoup plus faible, peut alors être variable sans inconvénient.

II.2.1.3 Déshuilage :

C'est l'opération de séparation de l'eau des graisses et des huiles pour l'extraction des corps flottants, moins denses que l'eau, ce qui permet d'éviter un mauvais fonctionnement principalement du traitement biologique mais aussi de combattre les risques de colmatage et les nuisances esthétiques. L'ensemble de ces procédés peut être remplacé par le tamisage qui a pour fonction de retenir les matières citées précédemment sur une toile métallique ou une tôle perforée.

II.2.2 Traitement primaire :

Il consiste à l'élimination des matières solides en suspension contenues dans les eaux usées brutes, plusieurs techniques peuvent être utilisées.

II.2.2.1 Coagulation-floculation :

La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qui surnage en surface de l'eau ; le raclage de ces derniers permet leur élimination.

II.2.2.2 Décantation :

La décantation est une opération unitaire qui utilise, parmi les techniques de séparation liquide-solide, basée sur le phénomène de sédimentation, celui-ci consiste à séparer les particules en suspension des eaux usées en utilisant les forces gravitaires. Le raclage des particules sédimentées, au fond de l'ouvrage, permet leur élimination.

II.2.2.3 Flottation :

La flottation sépare les substances solides en suspension (généralement finement dispersées dans l'eau) collectées à la surface de l'appareillage, en utilisant la faculté de celle-ci de se fixer à des bulles de gaz (l'air en général) de faibles dimensions, ce qui leur confère une densité apparente plus légère que celle du milieu.

II.2.2.4 Filtration :

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux. On distingue trois types de filtration :

- la filtration sur matériau filtrant tels que le sable et l'anthracite
- la filtration sur charbon actif en grains
- la filtration membranaire [27].

II.2.3 Traitement secondaire ou biologique :

C'est le procédé le plus important car, à l'inverse d'autres procédés n'agissent qu'en concentrateurs de pollution, il permet la transformation des corps indésirables, notamment de la pollution organique biodégradable. Il constitue le mode classique d'épuration de la pollution organique carbonée à savoir : la digestion aérobie. Selon les caractéristiques des eaux à traiter et du milieu réservé à cet effet, deux formes d'application peuvent être utilisées [1].

II.2.3.1 Les procédés extensifs :

❖ Lagunage :

Le lagunage est une technique d'épuration des eaux usées par voie naturelle. L'épuration par lagunage consiste à faire passer des effluents d'eaux usées dans des étangs où la pollution est dégradée, par l'activité bactérienne ou par la photosynthèse et l'assimilation des substances minérales et par le pouvoir germicide de la lumière et de certaines algues.

On distingue deux types de lagunes

1. Les lagunes *naturelles* (des bassins de faible profondeur de 0,8 à 1m), anaérobies facultatives ou aérobies qui peuvent recevoir des effluents bruts ou prétraités. La recirculation des boues biologiques décantées n'est pas réalisée et la concentration de la biomasse épuratrice reste faible [1].

2. Les lagunes *aérées* (vastes bassins) qui constituent un dispositif très proche du procédé à boues activées à faible charge. On y effectue une épuration biologique bactérienne comme celle qui se pratique naturellement dans un étang, en apportant de l'extérieur par insufflation d'air ou oxygénation au moyen d'aérateurs de surface, l'oxygène nécessaire au maintien des conditions aérobies des bactéries épuratrices [1].

II.2.3.2 Les procédés intensifs :

❖ Boues activées :

Le procédé à boues activées consiste à optimiser la digestion aérobie à travers l'aération de la population microbiologique présente dans les eaux usées. Cette technique accélère le développement microbiologique et par conséquent la réduction de la matière organique biodégradable nécessaire à leur prolifération.

Par opposition à cette technique qui utilise une épuration par cultures bactériennes libres, celles qui suivent utilisent des cultures fixées sur supports.

❖ Filtres biologiques :

Cette technique utilise simultanément le procédé physique pour la rétention des matières en suspension et celui biologique pour la dégradation de la matière organique, d'où l'appellation de « biofiltration »

Le principe consiste à faire passer l'eau usée à traiter, préalablement décantée, sur un garnissage poreux ou caverneux d'une hauteur convenable et qui sert de support aux micro-organismes opérateurs. En plus de la rétention des matières en suspension, cela favorise le contact eau usée / population microbienne et provoque l'abattement du taux de matière organique consommée [1]. Deux options existent, à savoir :

- Les Lits bactériens considérés comme rustiques,
- Les bio-filtres qui présentent des améliorations par rapports aux premiers principalement dans la finesse du matériau de filtration,
- Les filtres plantés qui associent une culture (roseaux, bambous...) pour éviter le colmatage et favoriser l'élimination des éléments dissouts.

❖ Biodisques :

Le principe consiste à l'utilisation de disques tournant autour d'un axe horizontal et baignant en partie dans l'eau à traiter. De part la rotation, la biomasse fixée sur les disques se trouve alternativement en contact avec l'eau usée à épurer provoquant l'abattement de la matière organique et en contact avec l'air ambiant pour son aération [1].

II.2.3.3 Procédés biologiques anaérobies : [1]

Le traitement par voies anaérobies présente un certain nombre d'avantages par rapport à un traitement aérobie :

- ✓ Faible consommation d'énergie pour les besoins du processus ;
- ✓ Faible production de boues biologiques en excès ;
- ✓ Et surtout la récupération d'un biogaz (à 70% de méthane, la matière) pouvant être utilisée comme source d'énergie.

II.2.3.3.1. Biométhanisation à cultures libres :

Le digesteur conventionnel très utilisé dans la digestion anaérobie des boues résiduaires est le fermenteur en « mélange intégral » dans lequel on assure un brassage puissant pour homogénéiser le milieu, le plus souvent par recyclage d'une fraction du biogaz produit.

II.2.3.3.2 Biométhanisation à cultures fixées :

Dans ces techniques, on s'efforce de fixer la culture bactérienne anaérobie sur un support solide de façon à permettre la montée en concentration de la biomasse active dans le réacteur sans nécessiter de clarification séparée, ni de recyclage.

Deux types de biométhanisation :

- La méthanisation par cultures fixes.
- La méthanisation en lit mobile ou fluidisé.

II.2.4 Traitement des boues :

Le schéma suivant représente les différentes filières de traitement que peuvent subir les boues produites :

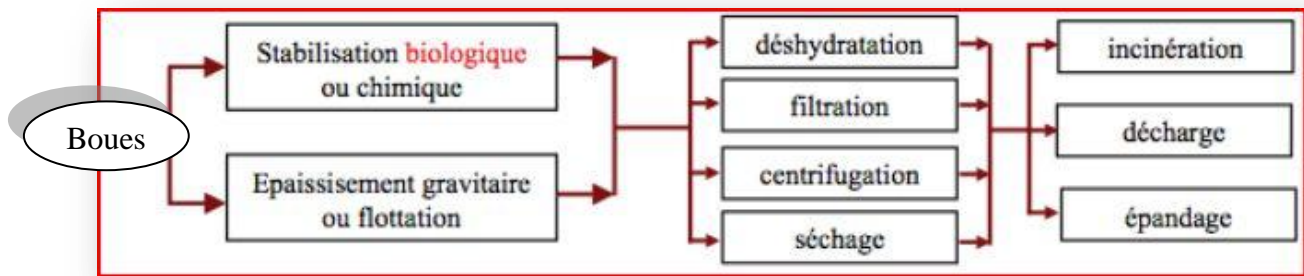


Figure II.1 : Différentes filières de traitement des boues.

II.2.5 Traitement tertiaire :

On entend par "traitement tertiaire" tout traitement ayant pour but l'affinage de l'effluent épuré ayant subi un traitement physique primaire et un traitement biologique secondaire.

Ce traitement consiste à la désinfection qui permet de détruire ou d'inactiver les microorganismes pathogènes susceptibles de transmettre des maladies. Différentes techniques sont utilisées :

Procédés physiques : une réduction de la population microbologique des eaux peut être obtenue par application de procédés physiques agissant, soit par coagulation des protéines, soit en bloquant les réactions enzymatiques qui interviennent dans la vie et la reproduction des organismes vivants.

- *Chaleur* permet de détruire la totalité des organismes vivants indésirables.
- Les *rayons ultraviolets* émis par les lampes à vapeur de mercure avec une longueur d'onde comprise entre 200 et 300 nm ont un effet biocide puissant.
- Les *rayons ionisants* (rayons gamma, en particulier) ont un pouvoir biocide élevé.

Procédés chimiques : Les procédés chimiques par oxydation agissent par destruction des matières organiques (protéines, polyols) qui constituent la matière vivante elle-même. Parmi les agents oxydants les plus utilisés on rappelle : le chlore et ses dérivés (hypochlorites, chloro-isocyanurates), le brome, l'ozone, les composés peroxydes. Les produits chimiques non oxydants agissent par toxicité directe ou par blocage des réactions chimiques qui permettent normalement à l'organisme vivant de puiser sa nourriture dans le milieu et d'y rejeter ses déchets.

II.3 Désinfection par irradiation solaire :

II.3.1 Désinfection par méthode « SODIS » :

Historique :

La recherche sur la désinfection de l'eau par irradiation solaire fut initiée par le Professeur Aftim Acra à l'Université de Beirut [30 et 31]. Le travail d'Acra motiva l'Integrated Rural Energy Systems Association (INRESA) à lancer un projet en réseau en 1985. Puis le Brace Research Institute à Montréal organisa un atelier en 1988 afin de valoriser les résultats de cette étude de terrain [32].

En 1991, une équipe interdisciplinaire composée d'ingénieurs en assainissement, de photochimistes, de bactériologistes ainsi que de virologistes de l'EAWAG/SANDEC se lança dans des tests exhaustifs de laboratoire et de terrain afin d'évaluer le potentiel de SODIS (Solar Water Désinfection) et de développer une méthode de traitement de l'eau qui soit efficace, durable et bon marché [18].

En Algérie, ce procédé de désinfection fait l'objet, depuis 2010, d'une activité de recherche menée conjointement par l'Equipe de recherche « Epuration et valorisation des eaux de rejet » de l'Unité de Développement des Equipements Solaires et l'Office National de l'Assainissement. L'objectif d'utilisation de ce procédé ne vise pas la désinfection de l'eau potable mais celle des eaux usées épurées pour leur réutilisation.

Aspects techniques :

SODIS utilise deux composantes de la lumière solaire pour la désinfection de l'eau. Le premier, le rayonnement UV-A a un effet germicide. Le second est le rayonnement infrarouge qui augmente la température de l'eau. La combinaison du rayonnement UV-A et de la chaleur produit un effet synergique qui augmente l'efficacité du processus.

❖ Effet du rayonnement UV : [18]

Le rayonnement UV particulièrement UV-A à longueur d'ondes longues (320 à 400 nm), a un effet létal sur les pathogènes humains présents dans l'eau. Etant donné que ces pathogènes vivent spécifiquement dans le tractus gastro-intestinal de l'homme, ils ne sont pas adaptés à des conditions environnementales agressives. Ils sont donc plus sensibles au rayonnement solaire que d'autres organismes retrouvés communément dans l'environnement.

Le rayonnement UV-A interagit directement avec l'ADN, les acides nucléiques et les enzymes des cellules vivantes. Il modifie la structure moléculaire et conduit à la mort cellulaire. Le rayonnement UV réagit également avec l'oxygène dissout dans l'eau et produit des formes particulièrement réactives d'oxygène (radicaux libres et peroxydes d'hydrogène). Ces molécules réactives interfèrent à leur tour avec les structures cellulaires et détruisent les pathogènes.

❖ Effet de la température (rayonnement infrarouge) : [18]

Un autre aspect de la lumière du soleil est le rayonnement de grande longueur d'onde appelé infrarouge. Ce rayonnement est également invisible à l'œil humain, mais nous pouvons

sentir la chaleur produite par une lumière de longueur d'onde supérieure à 700nm. Le rayonnement infrarouge absorbé par l'eau est responsable de l'augmentation de température.

L'eau n'a pas besoin d'atteindre le point d'ébullition pour que 99,9% des microorganismes soient détruits. Une eau exposée au soleil qui a atteint 50 à 60°C pendant une heure aurait le même effet bactéricide.

Facteurs d'efficacité :

➤ *Météo et climat :*

L'efficacité du procédé SODIS dépend du rayonnement solaire disponible. Cependant, le rayonnement solaire est distribué de manière inégale et varie en intensité d'une région géographique à l'autre, en fonction de la latitude, de la saison et de l'heure de la journée.

➤ *Turbidité de l'eau :*

Les particules en suspension dans l'eau réduisent la pénétration du rayonnement et protègent les microorganismes contre celui-ci. Par conséquent, l'efficacité de SODIS est réduite dans le cas d'une eau turbide.

➤ *Oxygène :*

SODIS est plus efficace dans de l'eau bien oxygénée. En effet, le soleil produit des formes hautement réactives d'oxygène (radicaux libres d'oxygène et des peroxydes d'hydrogène) dans l'eau. Ces molécules réactives réagissent avec les structures cellulaires et détruisent les pathogènes [29].

II.3.2 La photocatalyse hétérogène par TiO_2 : [19]

Principe :

La photocatalyse hétérogène est l'une des technologies d'oxydation avancées TOA qui a pour but la minéralisation totale de polluants en CO_2 , H_2O et composés inorganiques.

Une réaction de photocatalyse hétérogène peut être globalement assimilée à une réaction d'oxydoréduction se produisant à la surface d'un semi-conducteur. Ce dernier est activé par des photons caractérisés par une énergie variable d'un semi-conducteur à l'autre.

Elle consiste à irradier un semi-conducteur, généralement du dioxyde de titane (TiO_2), à l'aide d'un rayonnement ultraviolet (UV) produit naturellement via la lumière solaire ou artificiellement à l'aide d'une lampe UV.

Electrochimiquement parlant, la méthode repose sur un processus électronique qui se produit à la surface du catalyseur, le dioxyde de titane (TiO_2). On peut, de manière succincte, schématiser le processus en quatre étapes successives :

- production de paires électron / trou : le dioxyde de titane est un semi-conducteur qui possède une structure électronique à bande interdite. Le processus photocatalytique repose sur l'excitation du TiO_2 par des photons de toutes longueurs d'onde de la région des UV ($G <$

380 nm). Ainsi, s'il est soumis à un rayonnement de photons d'énergie au moins égale à celle de la bande interdite, un électron du semi-conducteur peut passer de la bande de valence (BV) à une orbitale vacante de la bande conduction (BC). Il y a alors création d'un site d'oxydation (trou h^+) au niveau de la bande de valence, et d'un site de réduction (un électron e^-) dans la bande de conduction.



- séparation des électrons et des trous : la durée de vie des paires (e^-/h^+) est de quelques nanosecondes et leur recombinaison s'accompagne d'un dégagement de chaleur. Dès lors, en l'absence d'accepteur et de donneur d'électrons appropriés, une réaction de recombinaison trou/électron très rapide a lieu. Pour que l'oxydation photocatalytique soit efficace, il faut bien entendu éviter cette recombinaison. Ceci est rendu possible par le transfert et le piégeage des charges libres vers des niveaux d'énergie intermédiaires grâce à des irrégularités de structure ou via des molécules adsorbées.

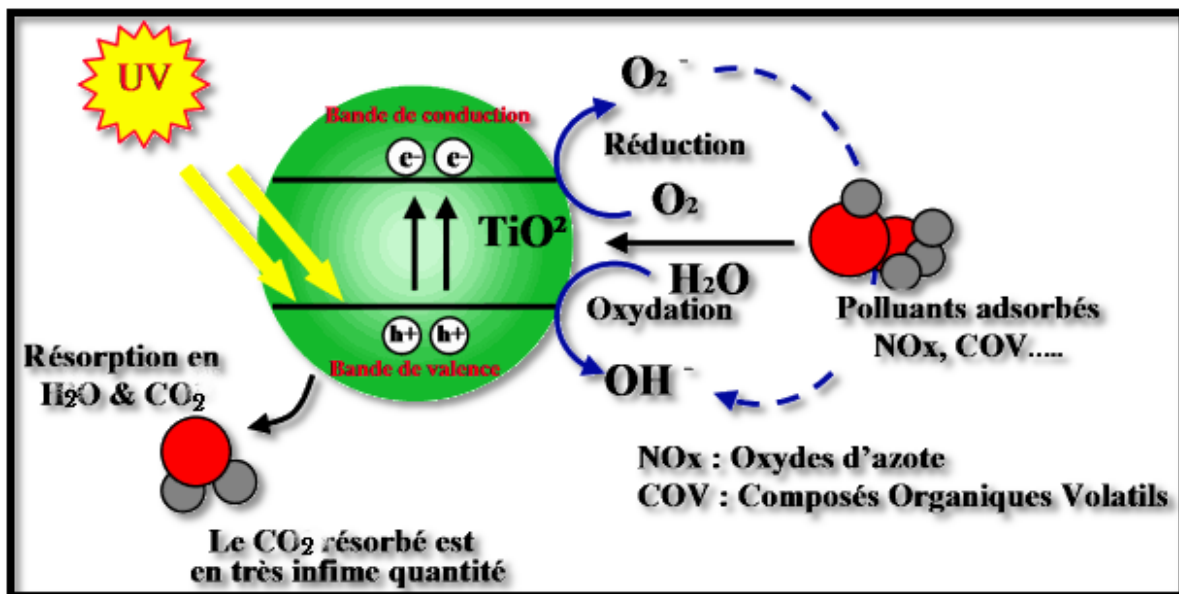
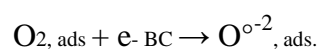


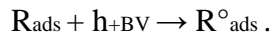
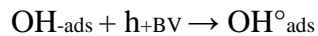
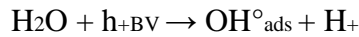
Figure II.2 : Mécanisme de dégradation photocatalytique [19].

réactions d'oxydation et de réduction : les charges créées migrent à la surface du catalyseur et réagissent avec des substances adsorbées susceptibles d'accepter ou de donner des électrons. Ce sont ces réactions d'oxydation ou de réduction qui sont intéressantes pour la dépollution. D'un côté, les électrons réagissent avec des accepteurs d'électrons tels que l'oxygène adsorbé pour former des radicaux superoxydes :



D'autre part, les trous h^+ réagissent avec certaines espèces susceptibles de donner des électrons. Ainsi, ils forment des radicaux hydroxyles et R° en oxydant ces donneurs

d'électrons tels que l'eau, les anions OH⁻ et les produits organiques R adsorbés à la surface du semi-conducteur :



- dégradation des molécules organiques : à leur tour, les radicaux générés (OH[°], O₂[°], R[°]) sont très oxydants et peuvent décomposer des composés (polluants réfractaires, pesticides, herbicides, colorants, etc.) adsorbés sur la surface du semi-conducteur, jusqu'à les minéraliser. Les produits finaux de ce mécanisme sont principalement de l'eau et du dioxyde de carbone.

II.4 La réutilisation des eaux usées : [16]

On appelle réutilisation des eaux usées, l'usage immédiat des "eaux de deuxième main" rejetées par des usages précédents grâce à des actions volontaristes accélérant ou raccourcissant le cycle naturel de l'eau.

II.4.1 Epandage des eaux résiduaires :

L'épandage est un procédé d'épuration des eaux usées, qui consiste à faire absorber la charge polluante contenue dans ces dernières par un système sol-culture spécialement prévu. La valorisation agricole obtenue se faisant est considérée comme un sous-produit de l'épuration : ce n'est pas le premier but recherché.

L'épandage des eaux résiduaires ne peut pas se pratiquer sur n'importe quel sol, ni avec n'importe quelle culture. En dehors des aspects sanitaires liés à l'utilisation de la récolte, la première qualité du système sol-culture doit permettre l'exportation ou la réduction maximale des éléments polluants contenus dans l'eau épandue.

II.4.2 Irrigation :

Les eaux usées utilisées proviennent des rejets d'eaux urbaines, c'est-à-dire des eaux domestiques résiduaires auxquelles sont susceptible d'être mélangées en proportion plus ou moins importante, des résultants d'activités diverses (notamment industrielle) raccordées sur le réseau d'assainissement. Généralement, ces eaux sont utilisées soit brutes, soit après traitement d'épuration de type secondaire (boues activées ou lagunage le plus souvent) avec ou sans chloration.

II.4.3 Réutilisations industrielle :

II.4.3.1 Refroidissement industriel à eau :

Le refroidissement à eau est utilisé dans des industries nombreuses et variées :

- La production d'électricité dans les centrales thermiques ou nucléaires constitue la plus grosse consommation d'eau de refroidissement.

- La sidérurgie est un autre gros consommateur d'eau refroidissement dans les hauts fourneaux (refroidissement des fours où se produit la réduction des oxydes de fer du minerai par le coke, des machines à moules, des tuyauteries, du gaz).
- La pétrochimie, la chimie, l'industrie du caoutchouc, de nombreuses industries alimentaires (sucrierie, produits laitiers...).

II.4.3.2 Lavage et transport industriels de matériaux :

L'utilisation industrielle de l'eau pour le lavage et le transport de matériaux comprend :

- ✓ Le lavage de matières premières (charbon, gravier, betteraves, etc.) et leur transport (craies, par exemple) ;
- ✓ Le transport de déchets (cendres d'une centrale thermique, par exemple) ;
- ✓ Le lavage de produits semi-finis ou finis (produits de laminoirs par aspersion sous pression, pâtes en papeterie, peaux en tannerie, étoffes en teinturerie où on opère successivement un lavage à l'eau savonneuse et un rinçage, etc.) ;
- ✓ Le lavage d'entretien (wagon, sols, bouteilles, etc.) ;
- ✓ Le lavage de gaz avant réutilisation ou rejets dans l'atmosphère(en sidérurgie ,au niveau de la réduction des minerais, de la cokerie, des hauts fourneaux, des convertisseurs, des laminoirs ,ou des fonderies, en métallurgie pour la plupart des métaux ,dans l'industrie chimique, etc.) .

II.4.4 Chauffage de bâtiments avec pompes à chaleur :

Il est bien connu que la pompe à chaleur fonctionne sur le principe inverse du réfrigérateur, c'est-à-dire prélève des calories dans un milieu en le refroidissant et les restitue à plus haute température, grâce à l'apport d'une petite quantité d'énergie.

La pompe à chaleur est associée à un milieu extérieur où sont prélevées les calories et à un système de distribution des calories. Le milieu extérieur et le fluide du système de distribution sont en général de l'air ou de l'eau.

II.4.5 Usages récréatifs et municipaux :

Les usages dits municipaux peuvent couvrir une assez large gamme d'utilisations précises qui ne requièrent pas d'eau de qualité potable, comme par exemple :

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

II.4.6 Infiltration-percolation et injection dans les nappes :

II.4.6.1 Infiltration-percolation :

L'infiltration-percolation se fait généralement par bassins. L'effluent est répandu à doses élevées pendant plusieurs jours ou plusieurs semaines. Les périodes d'infiltration sont suivies d'une période de repos permettant au sol de se ressuyer et de rétablir ainsi sa capacité d'infiltration.

II.4.6.2 Injection dans les nappes :

Il faut distinguer l'injection ou le rejet d'effluents dans des nappes impropres à la consommation, et l'injection dans des nappes profondes d'eaux usées ayant subi un traitement avant d'être injectées en vue de leur réutilisation. Cette technique de réutilisation des eaux usées est moins répandue que les autres. Elle est utilisée quand la nappe est profonde et que la recharge par infiltration-percolation est impossible ou trop onéreuse.

Les eaux usées en Algérie

L'eau est source de vie sur laquelle repose le devenir des peuples une condition sine qua non pour le développement économique et social. La protection de cette ressource et la garantie de sa disponibilité est donc une obligation de survie.

L'Algérie, particulièrement menacée par le déficit hydrique de part sa situation géographique climatique, a mis en place un ambitieux programme pour l'augmentation des capacités de ses ressources en eau et par l'exploitation rationnelle des :

- Eaux souterraines (nappes),
- Eaux de surfaces (barrages),
- Eaux non conventionnelles (dessalement et réutilisation des eaux usées épurées).

L'épuration des eaux non conventionnelles et leur réutilisation est du ressort de l'Office National de l'Assainissement (ONA) l'entreprise publique nationale à caractère industriel et commercial. Cette gestion nécessitera la généralisation de la désinfection des eaux usées épurées, jusque là, non réutilisées [20].

III.1 Les capacités d'épuration des eaux usées en Algérie :

En matière de potentiel, le volume nominal des eaux usées épurées générées par les **121** Stations d'épuration en exploitation, en Algérie, est de **517** Millions de m^3 /an.

L'ONA participe à cet effort à travers l'exploitation de **67** stations produisant ainsi **100** Millions de m^3 /an d'eau usée épurée soit une capacité journalière de **757 445** m^3 .

La figure suivante représente la répartition géographique de la capacité d'épuration des eaux usées relevant de secteur d'exploitation de l'ONA [20].

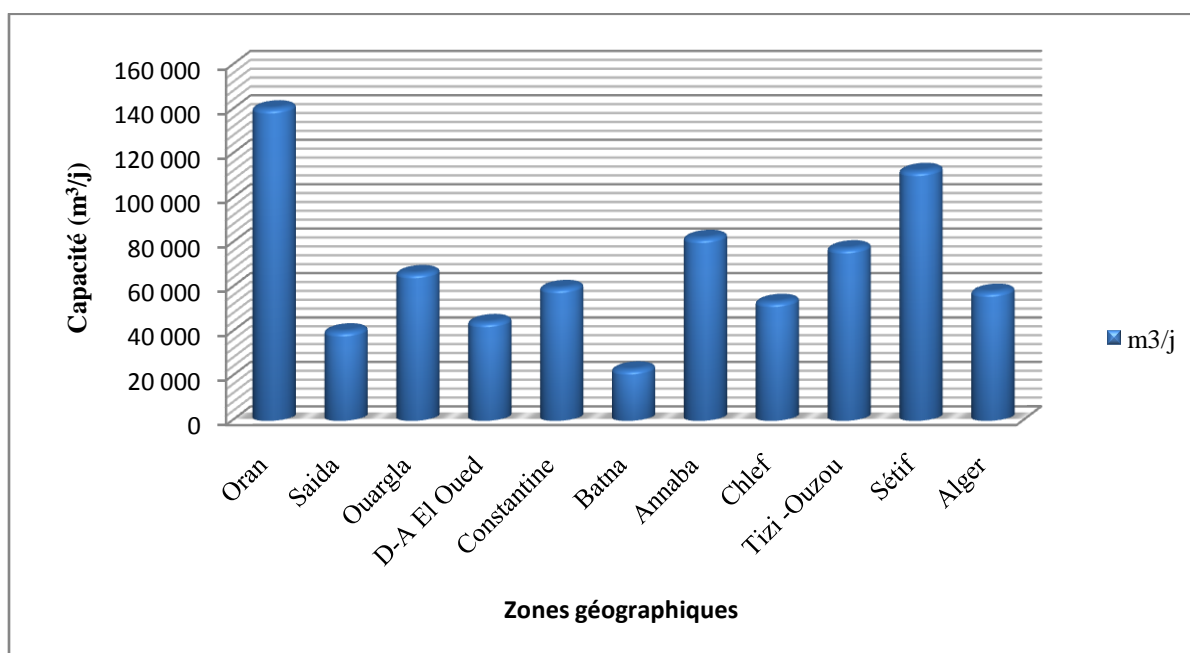


Figure III.1 : Répartition de la capacité d'épuration des eaux usées par zone géographique [20].

III.2 La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie :

III.2.1 Définition :

La réutilisation des eaux usées c'est l'emploi nouveau des «eaux de deuxième main» pour un usage différent de celui de son premier emploi grâce à des actions volontaires.

La réutilisation peut être réalisée de manière directe ou indirecte :

-la réutilisation directe correspond à l'emploi immédiat des eaux utilisées, après épuration, sans passage ni dilution de ces eaux dans le milieu naturel,

-la réutilisation indirecte correspond à l'emploi, sous forme diluée, des eaux déjà utilisées, après leur rejet et dilution dans le milieu naturel (cours d'eau, eaux souterraines).

III.2.2 Le cadre réglementaire existant en matière de REUE :

- La **loi n°05-12** du 04 Août 2005, relative à l'eau, a institué la concession de l'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (Journal Officiel n°60-année 2005)
- Le **décret n°07-149** du 20 mai 2007 fixe les modalités de concession de l'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent.

L'arrêté interministériel pris en application des dispositions de l'article 2 du décret exécutif n° 07- 149, validé et signé en Mars 2011 est en cours de publication dans le journal officiel. Il fixe les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation et notamment en ce qui concerne les :

- Normes microbiologiques (**annexe IV**).
- Normes physico-chimiques (**annexe IV**).
- Liste de culture pouvant être irriguées avec les eaux usées épurées (**annexe IV**).
- Liste des laboratoires qualifiés pour assurer les analyses de la qualité des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation (en instance, **annexe IV**).

III.3 Présentation de la STEP de Tipaza :

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Tipaza est administrativement localisée dans la daïra et la wilaya de Tipaza. Elle est géographiquement située dans la région de Chenoua à environ 70 kilomètres à l'ouest de la wilaya d'Alger.

Elle a été mise en service en 2008 pour assurer l'épuration des eaux domestiques et industrielles de la ville de Chenoua, Tipaza et Nador avec une capacité de 11 200 m³/j pour 70 000 Equivalent Habitant. Elle est de type boues activées à faible charge avec aération prolongée, son milieu récepteur est oued Nador qui se déverse après une dizaine de mètres dans la plage de Chenoua.

La station d'épuration de Tipaza a été certifiée selon la norme internationale ISO 14 001 version 2004. Cette distinction demeure la première en son genre à l'échelle nationale et africaine dans le domaine de la gestion et de l'exploitation du système d'assainissement [21].

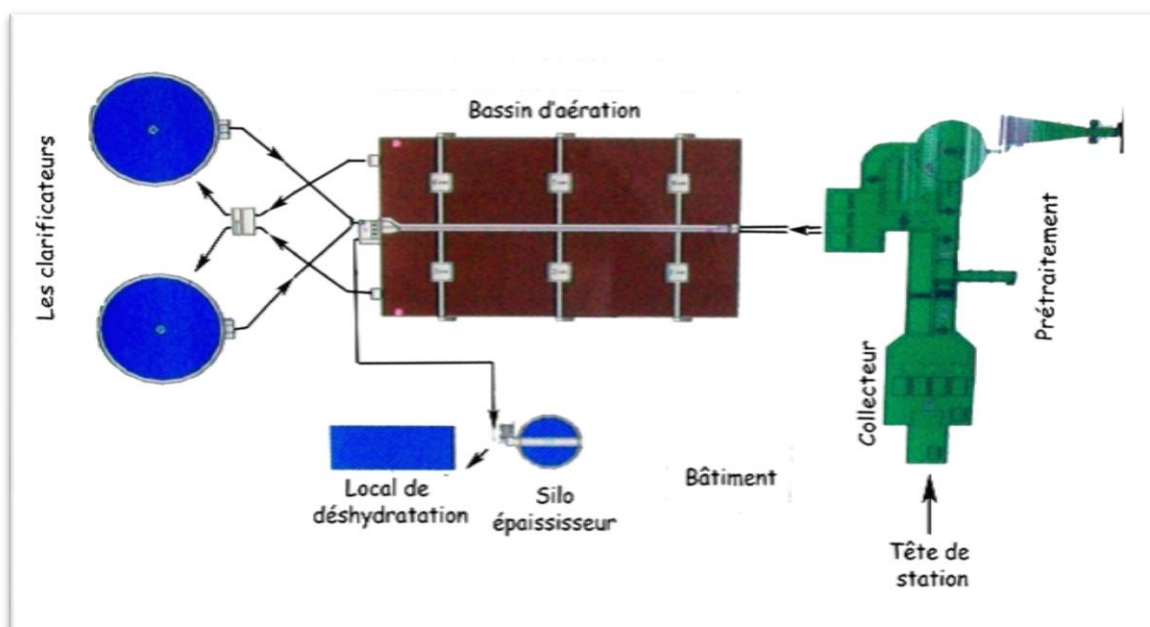


Figure III.2 : Schéma descriptif de la station d'épuration de Tipaza [21].

III.3.1 Caractéristiques techniques :

Le but du traitement est d'obtenir un effluent épuré pour lequel la pollution soit limitée à un degré, tel que le rejet ne crée aucune nuisance à la faune ni à la flore du milieu récepteur (environnement).

Le procédé d'épuration de la STEP est une reproduction intensifiée du phénomène d'autoépuration naturelle des cours d'eau à l'échelle d'un bassin, qui consiste à la dégradation des charges organiques polluantes sous l'action des microorganismes et qui exige une quantité d'oxygène, appelée DBO_5 exprimée en $mg\ d'O_2/l$.

La conception et le dimensionnement d'une station d'épuration des eaux usées urbaines est conditionnée par la charge polluante des eaux polluées à traiter, les conditions de fonctionnement et des contraintes techniques et culturelles. Ce dernier est choisi en relation avec le degré d'épuration voulu. Les données de base pour la conception de cette station d'épuration sont données dans le tableau 1 :

Tableau III.1 : Données de base Caractéristiques techniques de la station d'épuration de Tipaza [21].

Volume journalier	11200m³/j
Débit moyen 24h	467 m³/j
Débit de pointe temps sec	803 m³/j
DBO5 journalières	4200Kg/j soit 375 mg/l
MES journalières	4900 Kg/j soit 438 mg/l
pH	entre 6,5 et 8,5
DCO (totale)	825 mg/l
bDCO (biodégradable)	600 mg/l
SDCO (DCO soluble)	305 mg/l
TKN (azote kjeldhal)	40 mg/l
P phosphore total	10 mg/l

III.3.2 Le procédé d'épuration à boues activées :

Un bassin à boues activées est un réacteur biologique alimenté en continu par l'eau usée à traiter, dans lequel, la biomasse bactérienne épuratrice est brassée et aérée en même temps que l'eau usée.

Dans ce procédé, les molécules biodégradables constituant la fraction organique des eaux usées brutes sont mises en contact avec la population bactérienne dont la croissance est optimisée par leur aération et leur brassage. La prolifération bactérienne provoque d'une sorte la consommation de cette matière organique qui constitue son apport nutritif.

Le processus de dégradation des molécules est aérobie. Donc la présence d'oxygène est nécessaire pour oxyder les matières organiques solubles et colloïdales en CO₂ et H₂O. Cet oxygène est apporté par un système d'aération installé à l'intérieur du réacteur biologique.

III.3.3 Les étapes d'épuration :

Le procédé d'épuration se compose des ouvrages d'épuration suivants :

✿ Collecteur :

Les eaux usées arrivent en tête de station dans un puisard de 45 m³ constitué d'un :

- **Poste de relevage et dégrillage grossier :**

Les eaux brutes à traiter arrivent en tête de station dans un poste de relevage constitué d'un puisard de 45 m³ avec :

Les eaux usées passent à travers un premier dégrillage composé d'un piège à cailloux et d'une grille grossière qui consiste à retenir les déchets solides. Le dégrilleur est constitué de

barreaux plats d'une largeur de 1,50 m, inclinés à 70° avec un écartement de 5 cm. Le relevage des eaux est ensuite assuré par quatre pompes submersibles.



Figure III.3 : Poste de relevage.



Figure III.4 : Dégrilleur grossier.

✿ **Ouvrages de prétraitement :**

▪ **Dégrilleur fin :**

En amont du déssableur-déshuileur est installée une grille fine, à nettoyage mécanisé sur le canal d'amenée.

Pour assurer la continuité du fonctionnement, un chenal by-pass, équipé d'une grille fine à nettoyage manuelle contourne le dégrilleur fin automatisé.



Figure III.5 : Dégrilleur fin.

Tableau III.2: Dimensions du dégrilleur fin [21].

Dimensionnement	100X200 cm (canal)
Inclinaison	15°
Epaisseur des barreaux	20 mm
Ecartement	20 mm
Hauteur de rejet	350 Cm

- **Convoyeur à bande :**

Les déchets retenus par le dégrilleur sont convoyés par un transporteur à bande vers un conteneur de stockage de 8 m³. Ces dimensions sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.3 : Dimensions du convoyeur à bande [21].

Largeur de la bande	500 mm
Longueur	5 m
Charge minimale	16 m³/h
matériau transporté	Déchets retenus par les grilles
Vitesse	0,3 m/s

- **Dessableur-Déshuileur :**

En aval du dégrilleur fin est installé un dessableur-déshuileur en béton armé pour éliminer les huiles et graisses contenues dans l'eau brute .Sa capacité de traitement est de 1167 m³/h. Il comprend les éléments suivants :

-*Un groupe tournant* : qui assure la sédimentation des sables par contrôle de la vitesse de rotation de l'effluent.

-*Une conduite d'alimentation de type air lift* : qui permet d'aspirer le sable déposé au fond de l'ouvrage.

La flottation des huiles en surface de l'ouvrage favorise l'élimination des graisses par raclage.



Figure III.6 : Dessableur/déshuileur.

Les caractéristiques du dessableur/déshuileur sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.4 : caractéristiques du dessableur/déshuileur [21].

Forme	tronc-conique
diamètre du bassin	5 m
débit maximal	1 850 m ³ /h
vitesse de rotation	16 tr/min
diamètre des pales	2 550 mm
diamètre de la conduite d'aspiration	150

- **Un classificateur de sable :**

Le sable évacué du dernier ouvrage est lavé puis déshydraté par drainage gravitaire grâce à une vis d'Archimède de 5 m. Le sable est d'abord stocké ensuite évacué vers le CET de Sidi-Rached.



Figure III.7 : Classificateur de sable.

- **Chambre de distribution :**

Située en aval du dessableur-déshuileur, elle permet une répartition équitable des débits. Cette chambre est dimensionnée pour un débit de $1167 \text{ m}^3/\text{h}$. Elle répartit ce débit en trois parties égales dans trois compartiments identiques. Deux d'entre eux desservent les deux couloirs du bassin biologique, le troisième est prévu pour une future extension de la station.

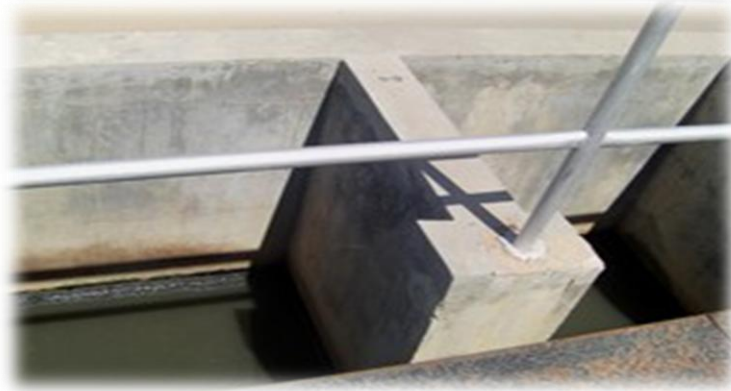


Figure III.8 : Chambre de distribution.

- **Bassin biologique :**



Figure III.9: le bassin biologique.

Le bassin est composé de deux compartiments d'un volume de 6000 m^3 chacun, à la surface desquels sont disposés trois turbines d'aération.

Le traitement biologique est effectué dans le compartiment aérobie à l'aide du processus aérobie par lequel les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau.

L'apport de l'oxygène est optimisé grâce aux six turbines de surface. Cette aération, avec le maintien d'une concentration constante de boues fraîches, permet d'activer l'action de digestion d'où l'appellation de « boues activées ».

Après un séjour déterminé grâce à un dimensionnement préalable, (de l'ordre de deux jours), cette liqueur mixte est dirigée vers les deux clarificateurs pour provoquer la séparation solide / liquide par décantation.

✿ Les clarificateurs :



Figure III.10 : Clarificateur.

La station est dotée de deux clarificateurs dimensionnés pour un débit moyen de $467 \text{ m}^3/\text{h}$ (soit $234 \text{ m}^3/\text{h}$ pour chaque ouvrage).

Chaque clarificateur est équipé d'un pont racleur tournant constitué d'une passerelle équipée de racleurs de fond et de surface. La décantation a pour but de séparer les matières dont la densité est supérieure à un.

Les boues décantées au fond du clarificateur sont d'abord dirigées au centre de l'ouvrage par l'intermédiaire du pont racleur ensuite évacuées par pompage.

✿ Pompes de recirculation des boues :



Figure III.11 : Poste de reprise des boues.

Le poste de reprise des boues en aval des décanteurs dans la filière (boue) permet la recirculation des boues activées et pomper les boues en excès vers l'épaississeur.

La recirculation est assurée par deux pompes $200 \text{ m}^3/\text{h}$ chacune dont une de réserve. L'évacuation des boues en excès vers l'épaississeur est assurée par deux pompes immergées de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ chacune.

✿ **Epaississeur :**



Figure III.12 : Epaississeur.

Les boues en excès sont épaissies par gravité dans cet ouvrage, un mécanisme de rotation lent, augmente l'efficacité du processus d'épaississement et augmente le contenu des matières solides.

L'épaississement est de type cylindrique à hauteur droite, ses caractéristiques sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.5 : Caractéristiques de l'épaississeur [21].

diamètre	11 m
hauteur	4 m
surface	95 m²
volume	378 m³
siccité des boues	3,5 % (35 Kg/m³)
production des boues	130 m³/jour
temps de séjour de la boue	3 jours

✿ **Déshydratation :**



Figure III.13 : la déshydratation mécanique.

Le poste de déshydratation mécanique est équipé de deux filtres à bandes en parallèle et complètement indépendant car chaque filtre est équipé par sa propre pompe d'alimentation en boue et sa pompe de dosage du polymère.

- La siccité moyenne à la sortie est de **20%** ;
- Le régime d'exploitation est de 7 jours par semaine et 12 heures par jour.

PARTIE EXPERIMENTALE

Matériel
et

Matériel
et
méthodes

IV.1 Contexte :

Notre étude est une contribution à l'effort national de protection du littoral et des zones côtières particulièrement menacés par le rejet des différentes pollutions engendrées par l'activité anthropique.

Les expérimentations de notre étude sont menées dans le cadre des activités scientifiques de l'équipe de recherche « Epuration et valorisation des eaux de rejets » de l'Unité de développement des Equipements solaires (UDES) de Bou-Ismaïl.

Objectifs :

L'objectif de notre étude consiste à proposer un traitement de désinfection solaire, simple et peu coûteux, pour l'amélioration de la qualité microbiologique des eaux usées épurées au niveau de la station d'épuration de Tipasa. Ces eaux sont d'abord rejetées dans l'oued Nador ensuite, elles se déversent, après quelques dizaines de mètres, dans la plage de Chenoua, très fréquentée en période estivale.

Cette situation est provoquée par l'absence du traitement tertiaire relatif à la désinfection des eaux usées épurées au niveau de la station de Tipasa.

Cette orientation nous permettra, également, d'évaluer l'efficacité de la désinfection solaire par la technique de traitement « Solar Water Disinfection » dite « SODIS ».

Protocole expérimental :

Notre étude a consisté à l'évaluation des paramètres d'optimisation de la technique « SODIS » à travers :

1. La durée d'exposition solaire ;
2. La température de chauffage.

Nous avons également évalué l'efficacité de la technique « SODIS » à travers une étude comparative qui a permis d'expérimenter une seconde technique de désinfection solaire : la photocatalyse.

Afin de mener à bien cette approche, nous avons aussi procédé à l'étude de détermination de la concentration optimale du photocatalyseur utilisé : le dioxyde de Titane (TiO_2).

En fin de parcours, l'efficacité de la technique « SODIS » a été expérimentée à travers un photoréacteur plan d'une contenance de 50 litres.

Le schéma suivant représente l'organisation du déroulement des expérimentations :

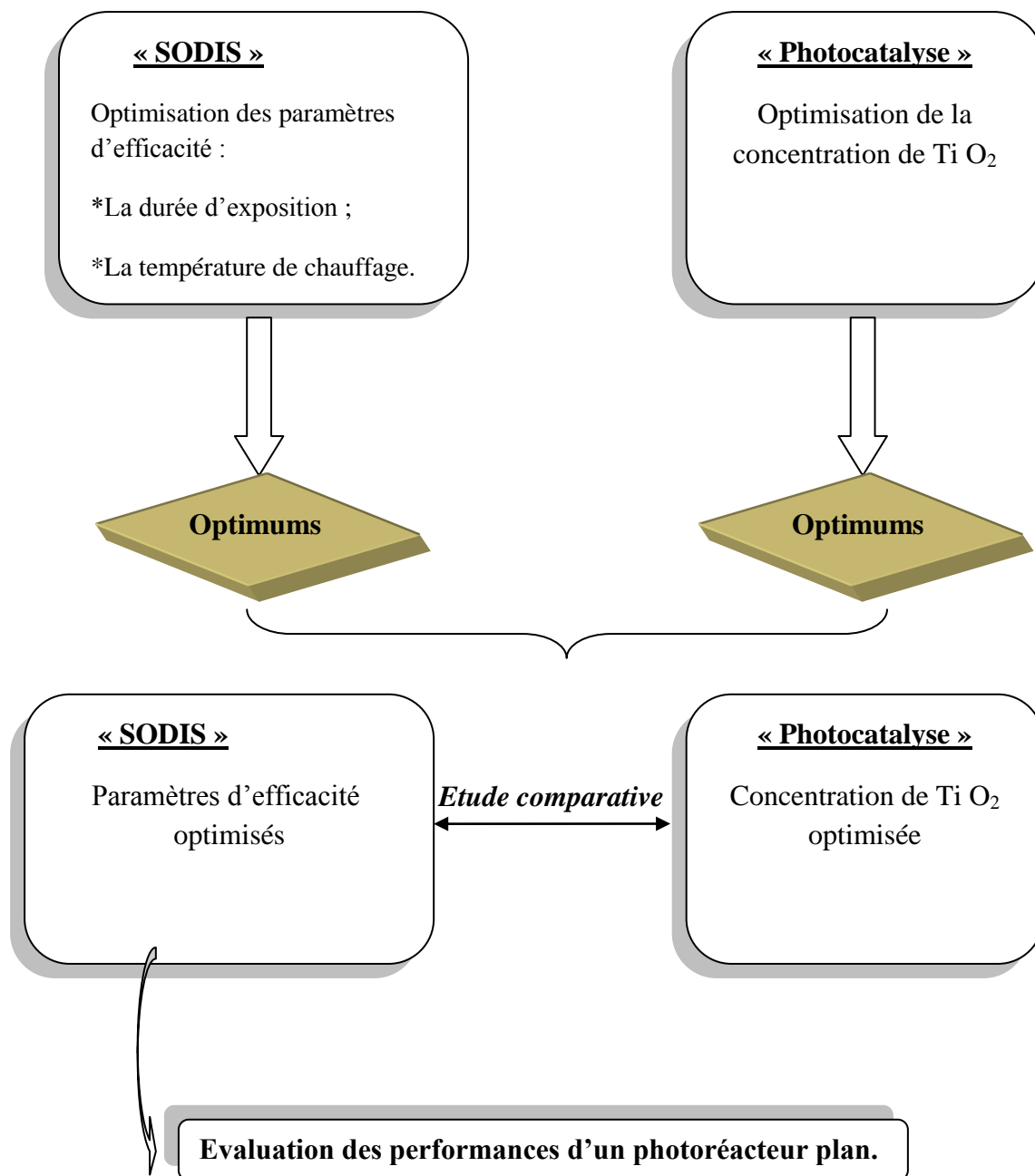


Figure IV.1 : Schéma du protocole expérimental.

IV.2 Prélèvements, lieux d'expérimentations et d'analyses :

Les expérimentations ont été menées sur les eaux usées épurées prélevées à partir de la station d'épuration de Tipaza, localisée dans la région de Chenoua à environ 70 kilomètres à l'ouest de la wilaya d'Alger (voir chapitre III).

Les prélèvements des eaux usées épurées ont été effectués à partir du clarificateur N° 1 de la station d'épuration. Les conditions de stérilité lors des prélèvements ont été respectées. C'est également le cas pour les récipients utilisés, leur transport aux lieux d'expérimentation et d'analyse.

L'étude expérimentale a été conduite au cours des mois d'Avril, de Mai et de Juin.

Les expérimentations ont été effectuées dans des bancs d'essais montés dans le laboratoire de l'équipe de recherche « Epuration et valorisation des eaux de rejet » de l'Unité de Développement des Equipements Solaire de Bou-Ismaïl (U.D.E.S).

A la fin de chaque expérimentation, les échantillons des eaux traitées étaient transvasés dans des récipients stérilisés, conditionnés et transportés au laboratoire de l'ENSSMAL pour effectuer les analyses microbiologiques.

Expérimentation 01: Etude de la durée d'ensoleillement au cours de la désinfection par la technique de désinfection « SODIS ».

Une première étude visant à évaluer l'influence de la durée d'exposition à la radiation solaire, sur la réduction et/ou à l'inactivation des microorganismes indicateurs de contaminations fécales et agents pathogènes dans l'eau.

Banc d'essais N°01 :

L'étude a été réalisée en utilisant quatre ballons à fond plat (d'une capacité de deux litres) en verre (borosilicaté) entièrement exposés à la radiation solaire (figure IV.2). Les ballons ont été remplis avec de l'eau usée épurée (un litre et demi pour chaque ballon) dans des conditions stériles et ils ont été hermétiquement fermés pour éviter toutes formes de contaminations.

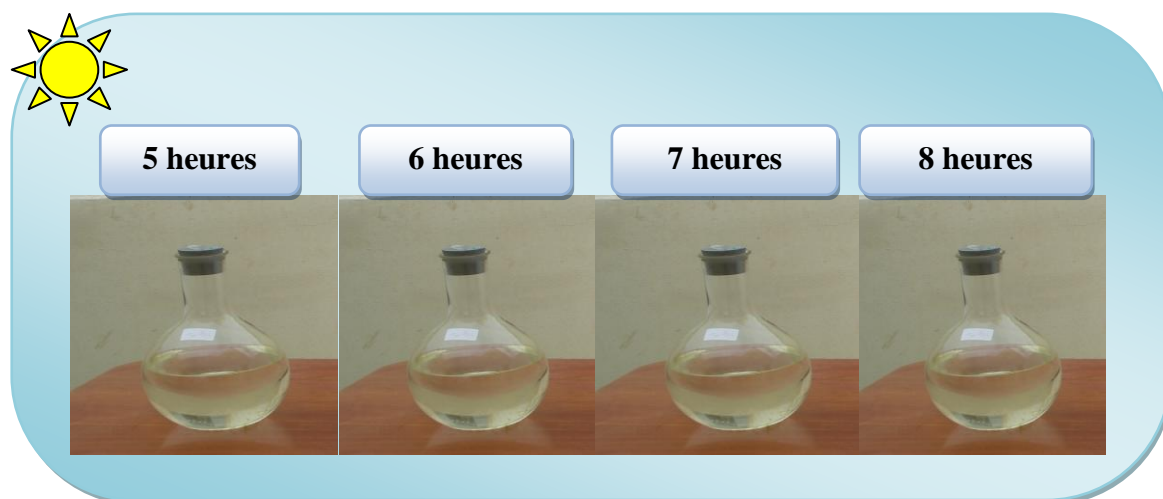


Figure IV.2 : Photographie du banc d'essais N°01.

L'expérimentation s'est déroulée entre 9h et 17h et des prélèvements ont été effectués après la cinquième heure d'exposition, à une fréquence d'une heure (soit 14h, 15h, 16h et 17h). Il est à noter qu'un prélèvement « témoin » a été mis à part au cours de remplissage sans qu'il soit soumis à l'irradiation solaire.

Au total deux répétitions de ces séries d'expérimentations ont été réalisées à des jours différents (15 et 23 Mai 2011).

Expérimentation 02 : Optimisation de la température au cours de la désinfection par la technique « SODIS ».

Une seconde expérimentation visant à comprendre l'effet synergique entre le rayonnement solaire et la température sur la réduction et l'inactivation des microorganismes (indicateurs de contaminations et des agents pathogènes) dans l'eau épurée.

Banc d'essais N°2 :

Comme pour la première étude, le banc d'essais est formé par quatre ballons à fond plat en verre, mais cette fois-ci chaque ballon est équipé d'un agitateur chauffant et d'une sonde pour contrôler la stabilisation de la température de chauffage de l'eau à traiter (Figure IV.03).



Figure IV.3 : Photographie du banc d'essais N°02.

Au cours de cette étude, le premier ballon a été exposé à la radiation solaire à une température ambiante (25°C) comme témoin et les autres ballons ont été soumis aux températures respectives de 40°C, 50°C et 60°C.

L'expérimentation a été conduite pendant six heures entre 9h et 15h la journée du 29 Mai 2011. La récupération des eaux traitées et du témoin a été effectuée à 15h.

Expérimentation 03 : Optimisation de la concentration de TiO₂ au cours de la désinfection par la technique photocatalyse.

Cette expérimentation a été réalisée dans le but d'évaluer la concentration optimale du photocatalyseur Ti O₂ pour que la désinfection photocatalytique soit efficace.

Banc d'essais N°03 :

Dans cette expérimentation, le banc d'essais se compose de quatre ballons en verre (à fond plat) contenant chacun 1,5 litre d'eau épurée, entièrement exposée à la radiation solaire.

Le premier ballon est un témoin exempt de TiO_2 (0g/l). Les trois autres ballons contiennent des concentrations respectives de **1g/l**, **1,5g/l** et **2g/l** de TiO_2 .

Afin d'assurer le maintien en suspension du photocatalyseur ajouté, chaque ballon est équipé d'un barreau magnétique mis en mouvement par une agitation magnétique de 150 tours/min (Figure IV.04).

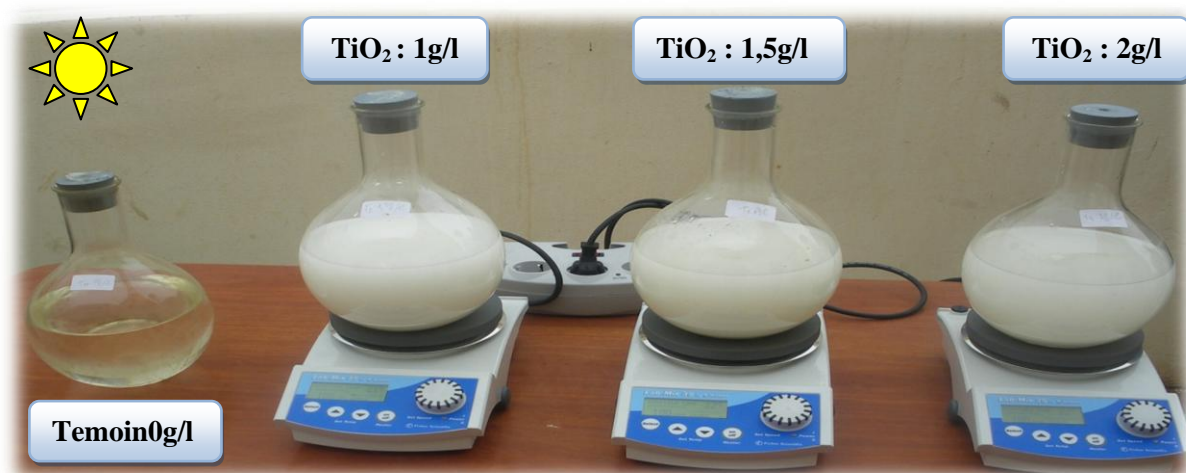


Figure IV.4 : Photographie du banc d'essais N°03.

Au cours des trois répétitions qui se sont déroulées les journées du 26 Avril, 3 et 4 Mai 2011, les expérimentations s'étaient déroulées entre 9h et 15h. La récupération des échantillons des eaux expérimentées et du témoin.

Expérimentation 04 : Etude comparative entre les deux techniques de désinfection, photocatalyse et SODIS.

Cette expérimentation a été réalisée pour comparer entre l'efficacité des deux techniques de désinfection à savoir SODIS et photocatalyse. Afin de réduire, au maximum, les degrés de variabilité, nous avons opté pour la reproduction des paramètres d'efficacité optimisés relatif à chaque technique et déterminés lors des expérimentations antérieures (expérimentation N°01,02 et 03).

Banc d'essais N°4 :

L'expérimentation a été réalisée en utilisant deux ballons exposés à la radiation solaire (figure IV.05). Chaque ballon est équipé d'un agitateur magnétique chauffant et d'une sonde pour contrôler la stabilité de la température de chauffage de l'eau à traiter.



Figure IV.5 : Photographie du banc d'essais N°04.

Pendant l'exposition à la radiation solaire, le ballon numéro 01 (SODIS) a été chauffé à une température de 50°C. Quant à l'eau épurée du ballon numéro 02, elle a été traitée par photocatalyse avec une concentration de 1,5g/l du catalyseur TiO_2 en prévoyant une agitation de 150 tours/min pour éviter son dépôt.

Expérimentation 05 : Evaluation des performances d'un photoréacteur plan pour la désinfection solaire « SODIS ».

Cette expérimentation a été réalisée dans le but d'évaluer et d'optimiser les performances d'un photoréacteur plan destiné à la désinfection de l'eau par la radiation solaire.

Dispositif expérimental :

Le dispositif (figure IV.06) se compose d'un réacteur constitué de plaques en verre d'une épaisseur de 5cm. Il a la forme d'un parallélépipède rectangulaire à base carrée. Son volume total est de 50 litres et ses dimensions sont les suivantes [35] :

1. longueur = 1m,
2. largeur = 1m,
3. épaisseur = 5cm

Le réacteur est porté par un support d'une hauteur d'un mètre avec une inclinaison de 35°.



Figure IV.6 : Photoréacteur plan (UDES, 2011).

L'expérimentation a consisté au remplissage du photoréacteur avec environ 50 litres d'eau usée épurée qui ont été exposées à la radiation solaire.

Un suivi horaire a été effectué, entre 9h et 17h (huit heures d'expérience), pour réorienter le réacteur face à la radiation solaire.

Les prélèvements à partir de réacteur ont été effectués à 13h, 14h, 15h, 16 et 17h suivi de mesure des paramètres physico-chimiques (pH, température et conductivité).

IV.3 Méthodes analytiques :

IV.3.1 Analyses microbiologiques :

L'objectif de l'analyse microbiologique des échantillons prélevés lors des différentes expérimentations présentées ci-dessus est d'évaluer l'effet d'abattement obtenu après utilisation des techniques de désinfection solaire (SODIS et Photocatalyse). Afin d'évaluer ces résultats, nous ne procéderons pas à l'inventaire de toutes les espèces présentes mais nous rechercherons uniquement les indicateurs de contamination fécale et les pathogènes. Les germes recherchés sont :

1. les coliformes totaux,
2. les coliformes fécaux, *E. coli*,
3. streptocoques fécaux,
4. les staphylocoques,
5. les sulfitoréducteurs,
6. les vibrions
7. les salmonelles,
8. ainsi que des mycètes (levures et moisissures).

IV.3.1.1 Dénombrement des coliformes, des streptocoques fécaux et des staphylocoques :

Dans notre étude nous avons opté pour la méthode de filtration sur membrane pour estimer la charge bactérienne des eaux usées épurées. Cette méthode est la plus utilisée au laboratoire, pour sa facilité et sa reproductibilité. Elle consiste en une filtration d'un volume d'eau sur des membranes stériles de porosité $0,45\mu\text{m}$ susceptibles de retenir les bactéries avec un quadrillage en surface facilitant les dénombrements. Pour une meilleure appréciation de la qualité bactériologique « colimétrie » de l'eau épurée désinfectée, nous avons utilisée une deuxième méthode qui est celle du dénombrement en tubes multiples ou nommées aussi la méthode du nombre le plus probable.

a) Matériel :

- Dispositif de filtration de marque « **Sartorius stedim** » (**Figure IV.07**)
- Bec-Bunsen pour garder tout au long de la manipulation la zone de travail stérile ;
- Boîtes de Pétri avec les milieux de culture spécifiques pour chaque germe ;
- Membranes de marque Millipores, d'ester de cellulose, filtrantes, quadrillées et stériles de porosité de $0,45\mu\text{m}$ et de 47 mm de diamètre susceptibles de retenir les bactéries ;
- Deux Etuves (l'une fonctionnant à 37°C et l'autre à 44°C) ;
- Pompe à vide et Fiole de récupération des eaux filtrées.
- Pincettes stérilisées et Pipettes.

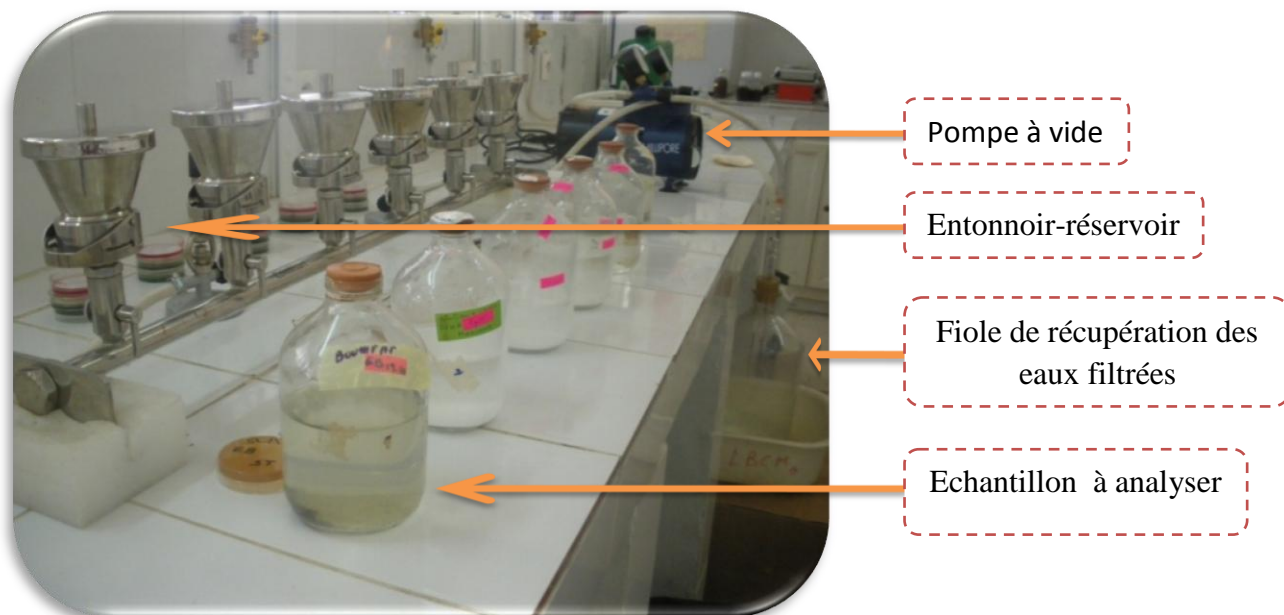


Figure IV.7: Dispositif de l'appareil de filtration sur membrane.

b) Mode opératoire :

- Mettre en place le dispositif de filtration.
- Stériliser par flambage la plaque poreuse et l'entonnoir-réservoir.
- Prélever une membrane stérile en la saisissant par son bord extérieur, avec une pince flambée et refroidie ; la déposer sur la plaque poreuse.
- Placer l'entonnoir-réservoir au-dessus de la membrane.
- Fermer le robinet du support.
- Agiter soigneusement le flacon d'eau à analyser et verser l'eau, stérilement, dans le réservoir jusqu'au repère (100 ml).
- Mettre en marche la pompe à vide et ouvrir le robinet du support suffisamment pour laisser l'eau s'écouler lentement sous l'action du vide.
- Dès que la membrane paraît sèche, fermer le robinet, enlever l'entonnoir-réservoir.
- Prélever la membrane avec une pince flambée en la saisissant par son extrême bord, et la déposer sur le milieu de culture adapté pour chaque bactérie recherchée.
- Incuber les boîtes à la température adéquate.

La composition des milieux de culture et des réactifs utilisés est consignée en **annexe II**.

c) 1. Dénombrement des Coliformes totaux et thermotolérants «fécaux» (Colimétrie) :

La recherche et le dénombrement de l'ensemble des coliformes, sans préjuger de leur appartenance taxonomique et de leur origine. Cet examen, capital pour la vérification de l'efficacité d'un traitement désinfectant.

Principe :

Après filtration de l'eau à analyser, la membrane est déposée sur un milieu gélosé approprié (Géloses au TTC et Tergitol) Ceci permet aux colonies de coliformes de se développer préférentiellement au cours d'une incubation de 24 à 48 heures à 37°C et 44°C.

Le dénombrement des coliformes à 37 °C est souvent désigné sous l'expression de « dénombrement des coliformes totaux ». Le terme de « coliformes fécaux » ou de « coliformes thermo-tolérants » correspond à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés (caractéristiques des coliformes) après incubation à la température de 44 °C. Le caractère sélectif de la gélose TTC ; ne pousseront théoriquement que les coliformes.

Le nombre de colonies trouvées sera exprimé en (Unité Formant Colonie) dans 100 ml d'eau analysée (UFC/100ml). La flore bactérienne associée est généralement beaucoup moins abondante dans la boîte incubée à 44°C.

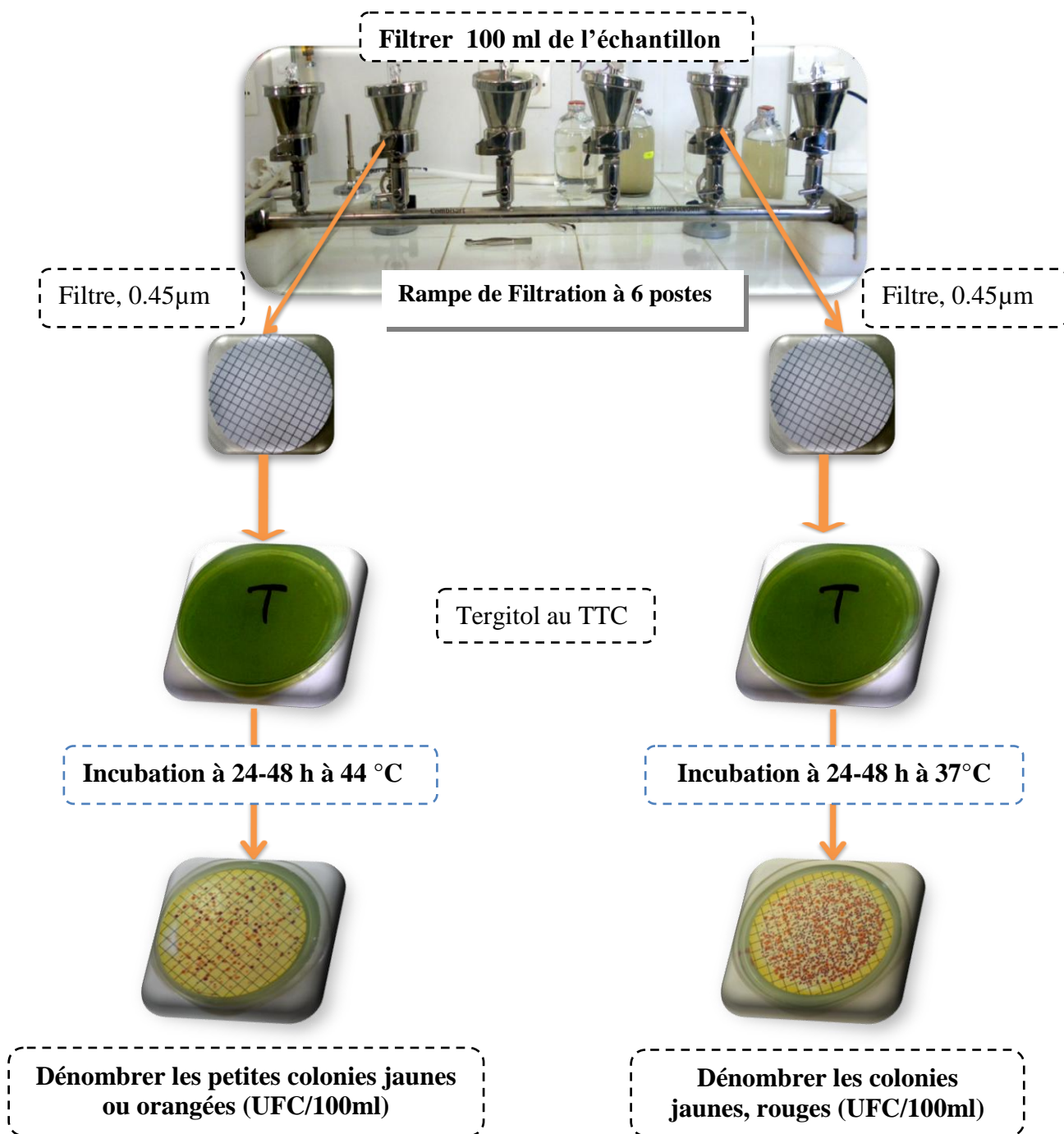


Figure IV.8: Technique de dénombrement des coliformes.

c) 2. Dénombrement des Coliformes totaux et thermotolérants «fécaux» (NPP) :

Principe :

Après ensemencement de plusieurs dilutions de l'échantillon, chacune dans une série de tubes (3) contenant un milieu de culture permettant de mettre en évidence la fermentation du lactose avec production de gaz et contenant des sels biliaires (BVBL), incubés à 37°C pour le dénombrement des coliformes totaux et à 44°C pour les coliformes fécaux. La détermination du nombre caractéristique (nombre de tubes positifs pour chaque dilution) permettra l'établissement du nombre le plus probable de coliformes par la consultation de Table de Mc Grady (annexe II).

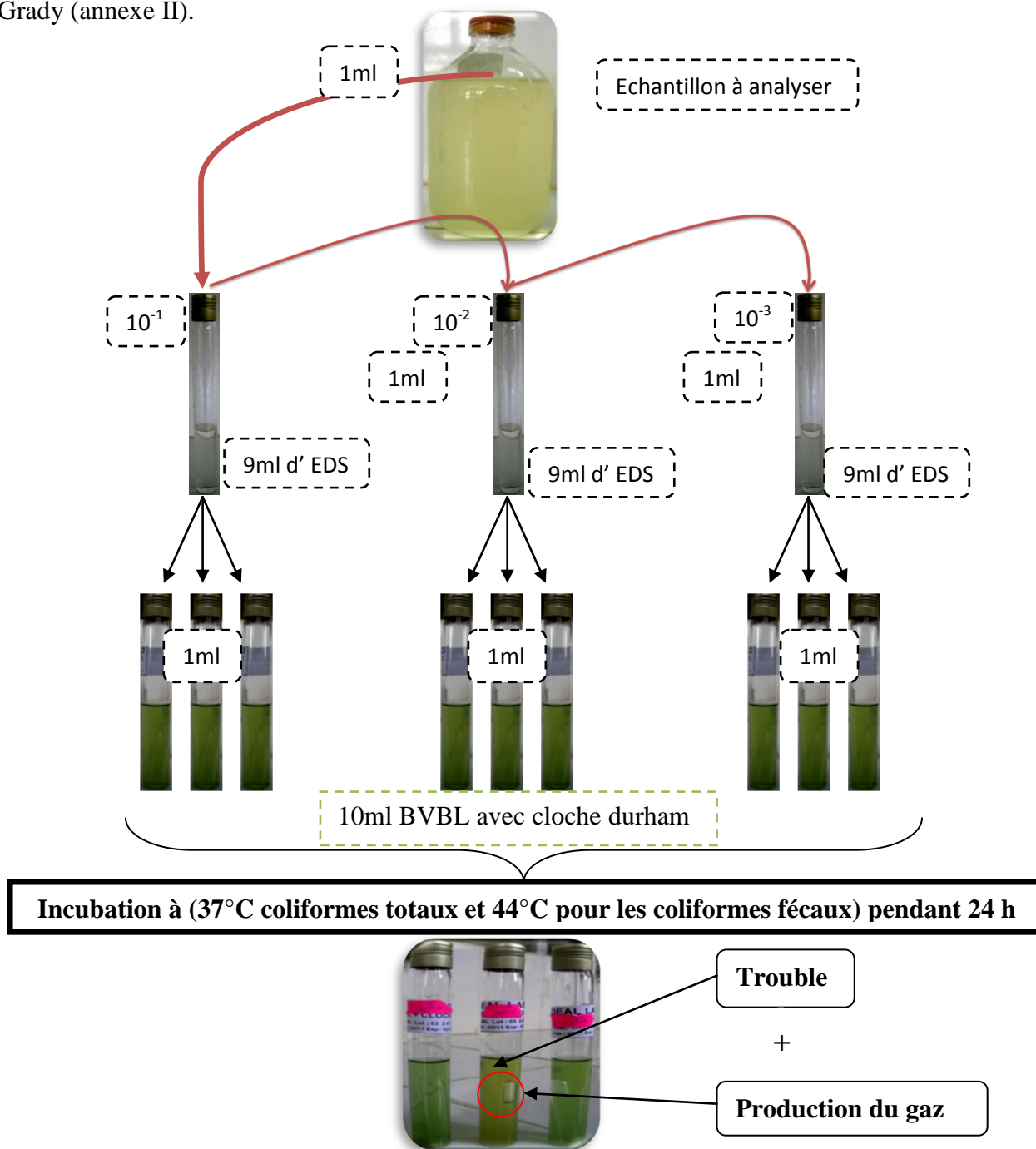


Figure IV.9 : Dénombrement des coliformes totaux et fécaux par la méthode des NPP.

d) Dénombrement des Streptocoques fécaux :

Principe :

Après filtration sur membrane de cellulose, celle-ci est appliquée sur un support nutritif contenant des substances inhibitrices qui laissent se développer préférentiellement les colonies de streptocoques fécaux.

Deux tests sont effectués. Le premier est présomptif, réalisé sur le milieu de Slanetz et Bartley. Le second est confirmatif, réalisé sur gélose BEA.

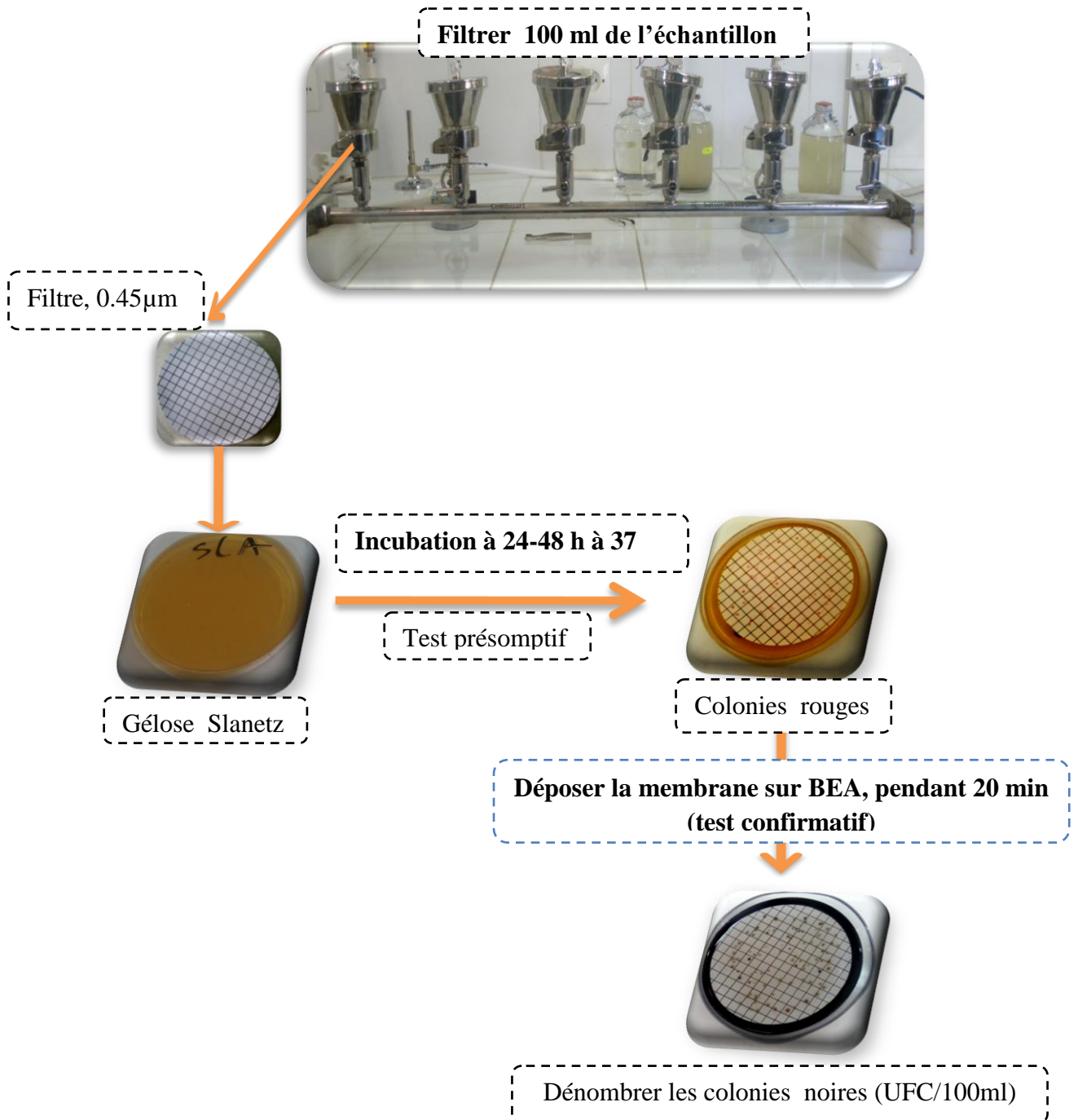


Figure IV. 10 : Technique de dénombrement des streptocoques fécaux.

e) Dénombrement des Staphylocoques :

Principe :

Après filtration de la prise d'essai, appliquer la membrane sur la gélose (milieu Chapman). Incuber à 37 °C durant 24 heures ou, si besoin est, durant 48 heures. Les souches de *Staphylococcus aureus* sont de taille importante et élaborent leur propre pigment ; elles apparaissent en jaune, surmontant une zone jaune du milieu sous la membrane, par suite de la fermentation du mannitol. Les colonies jaunes dorées suspectes sont dénombrées

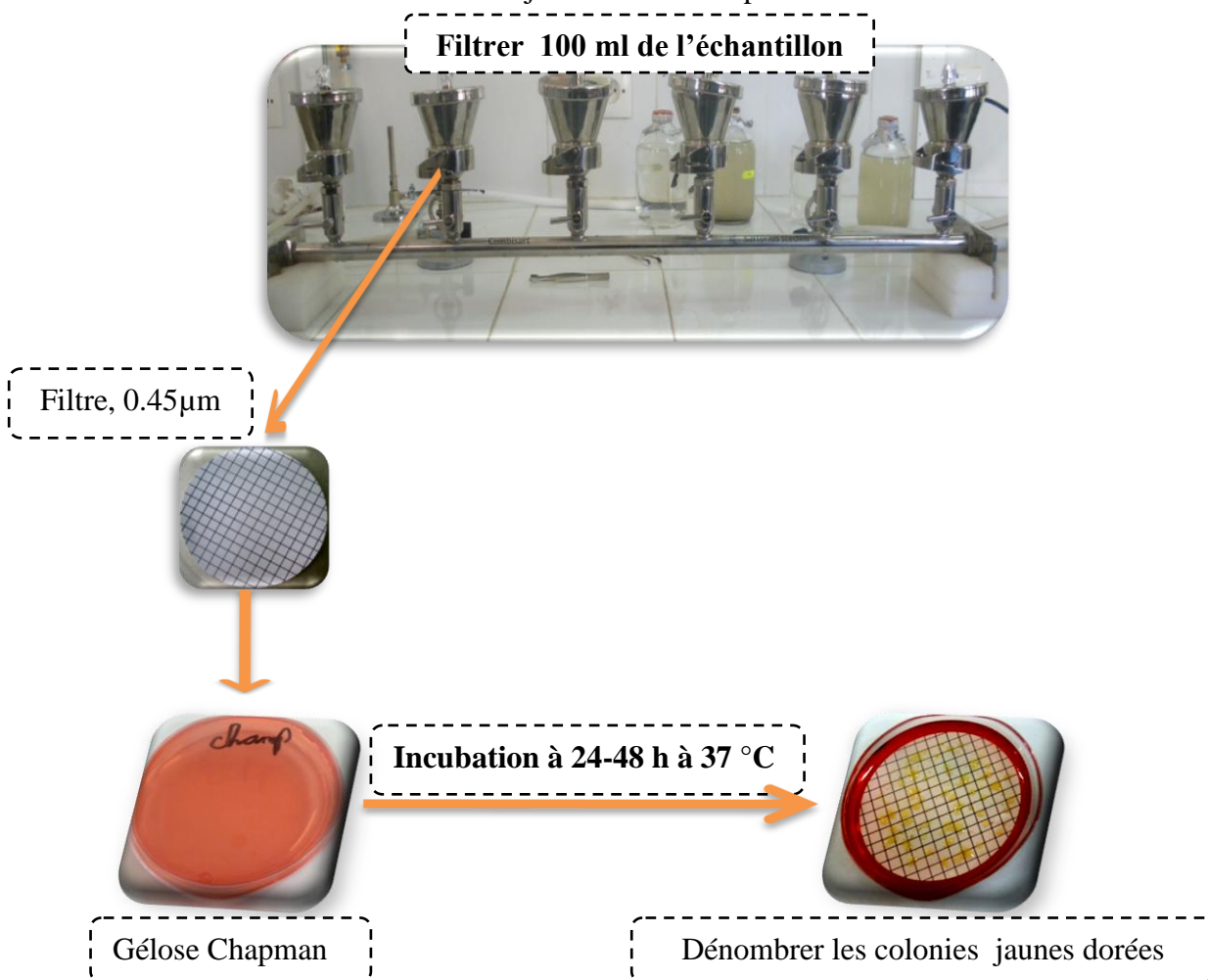


Figure IV. 11 : Technique de dénombrement des staphylocoques.

IV.3.1.2 Recherche des Salmonelles et des Vibrions :

La recherche des Salmonelles et des Vibrions est effectuée par la méthode qualitative, réalisée en trois étapes successives : Enrichissement, isolement et identification biochimique.

Les Salmonelles :

Leur recherche a été réalisée en trois étapes : enrichissement, isolement, identification biochimique.

L'enrichissement : l'enrichissement des Salmonelles est effectué sur bouillon SFB au sélénite de Sodium (ou disc SFB). Le SFB favorise leur développement en inhibant par

l'action du sélénite de Sodium, la croissance des coliformes et des Entérocoques. L'incubation est effectuée à 37°C pendant 18h à 48h.

1^{er} isolement : Un isolement est réalisé sur gélose Hektoen. L'incubation est effectuée à 37°C pendant 24H.

La présence de colonies bleues-verte ou verte à centre noir présume la présence de Salmonelles.

2^{ème} isolement : A partir du premier isolement, on procède à un ré-isolement d'un seul type de colonies sur la même gélose pour avoir une culture pure, valable à l'identification.

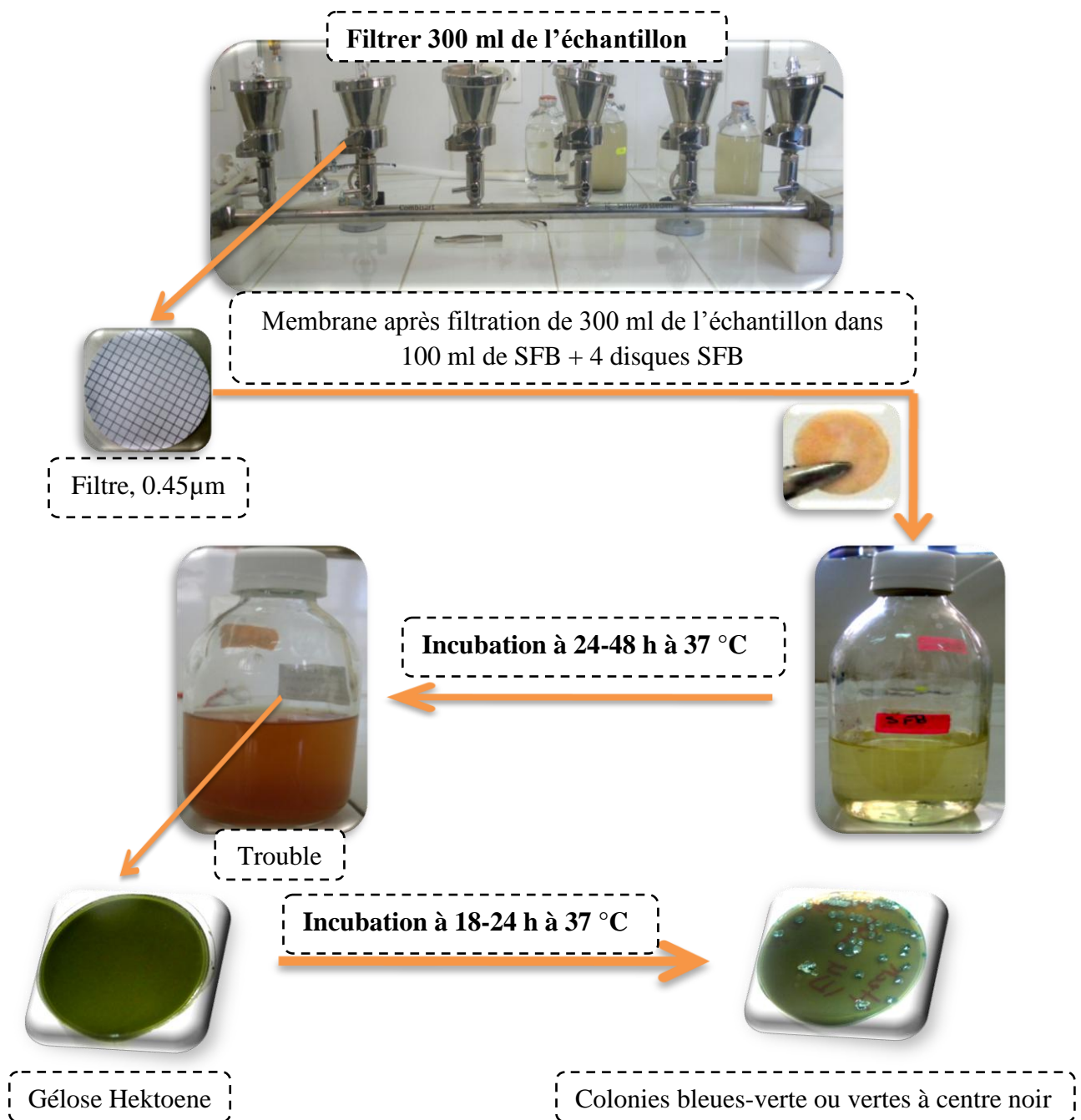


Figure IV.12 : Technique de recherche des salmonelles.

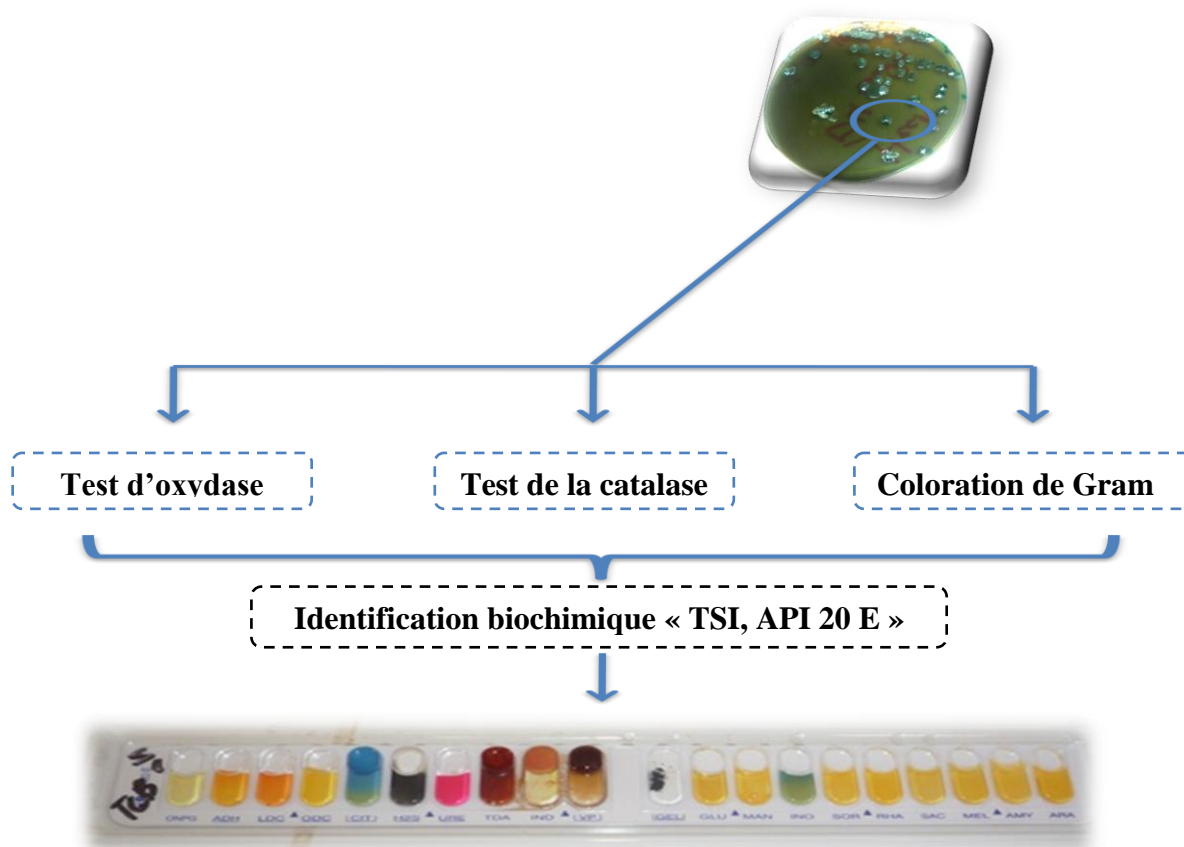


Figure IV.13 : Technique d'identification des salmonelles.

Les Vibrions :

Les vibrions sont des germes pathogènes pour l'Homme, leur présence est indicatrice de pollution.

L'enrichissement : Le milieu d'enrichissement des Vibrions est l'Eau Peptonée Alcaline (EPA) concentrée 10 fois, 50 ml d'EPA, est complété avec 450 ml d'eau à analyser, puis incubé à 37 °C, pendant 24h à 48h.

1^{er} isolement : A partir du premier enrichissement, on procède à un isolement en stries très serrées d'une goutte prélevée en surface d'EPA positif (trouble), sur gélose TCBS, l'incubation est réalisée a 37°C pendant 24h.

La présence de colonies jaunes, vertes et des colonies à centre noir présume la présence de vibrions

2^{eme} isolement : A partir du premier isolement, on procède à un ré-isolement d'un seul type de colonies sur la même gélose pour avoir une culture pure, valable à l'identification.

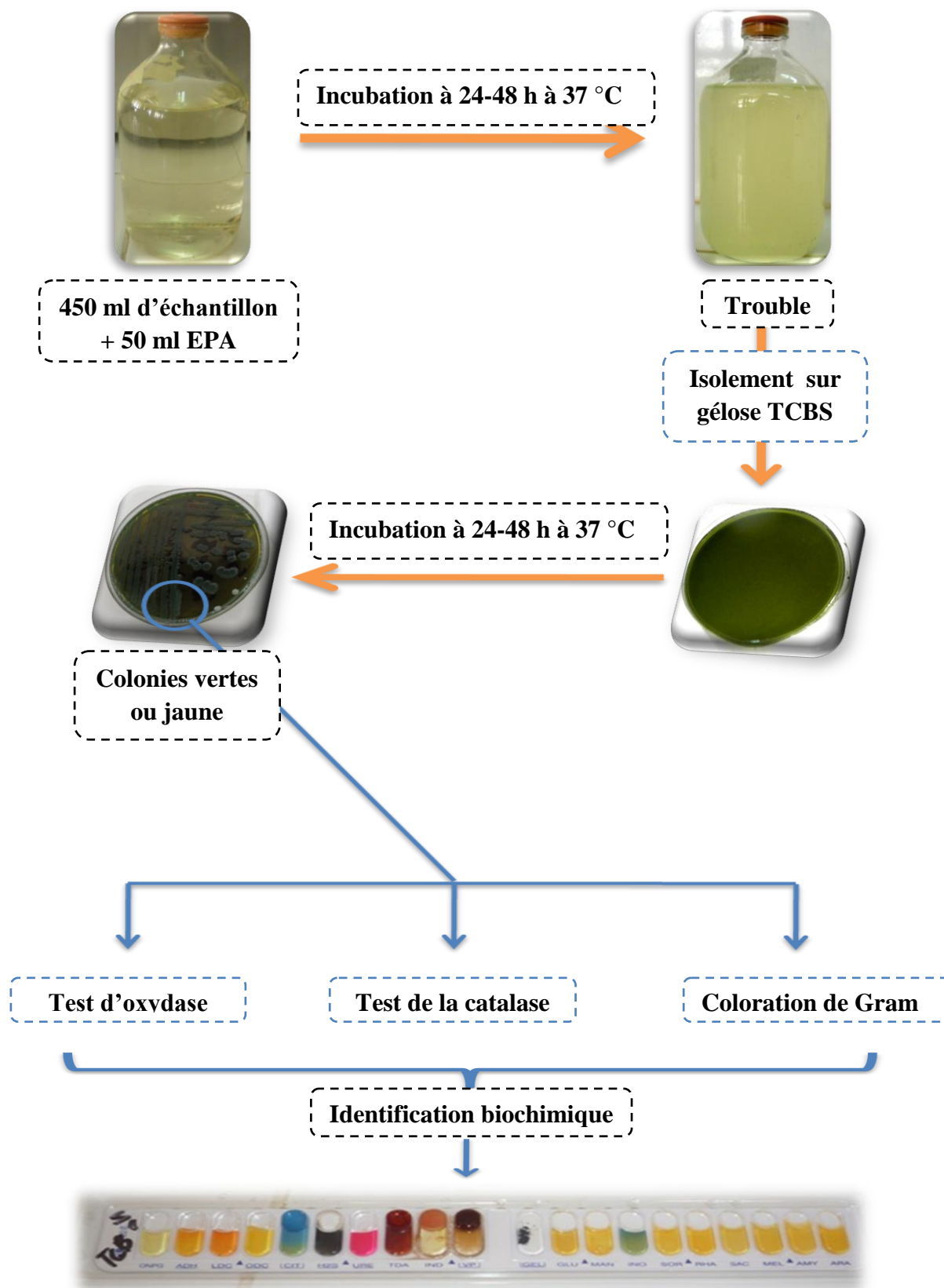


Figure IV.14 : Technique de recherche et d'identification des vibrios.

IV.3.1.3 Dénombrement des germes sulfitoréducteurs :

Principe

Après destruction des formes végétatives par chauffage à 80 °C pendant 10 minutes et refroidissement brutal sous l'eau de robinet, l'échantillon est ensemencé dans une Gélose viande-foie. La composition du milieu est établie pour tenir compte d'un volume déterminé d'eau incorporée. L'incorporation se fait dans un tube et non dans une boîte afin de limiter la surface de contact entre le milieu et l'air. Après solidification et incubation à 37°C, pendant 24 à 48 heures, la présence de germes sulfito-réducteurs se traduit par un halo noir autour des colonies.

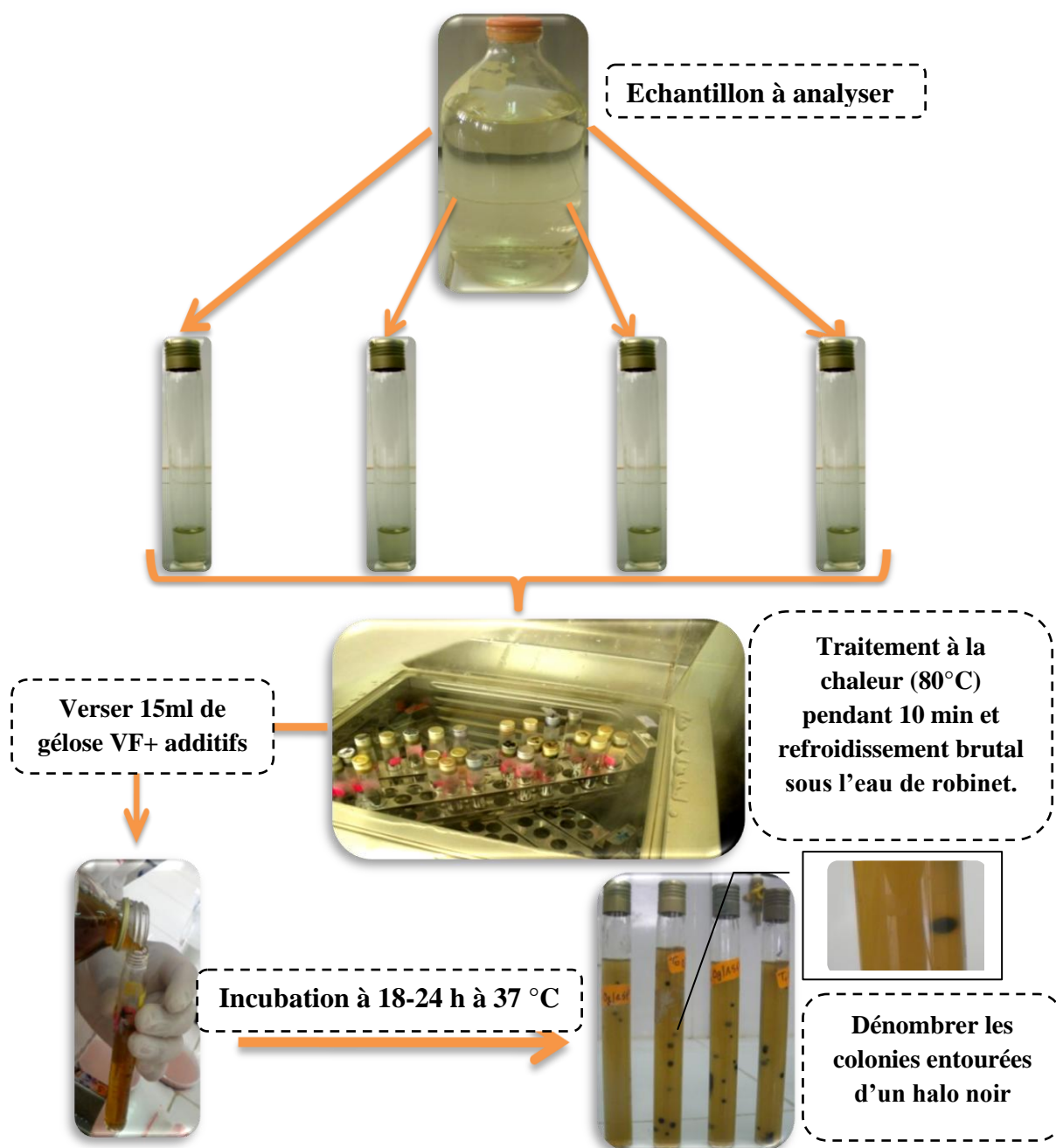


Figure IV.15: Technique de recherche des bactéries sulfitoréductrices.

IV.3.1.4 Recherche et dénombrement des Levures et Moisissures :

Les levures et les moisissures ont été également recherchées dans les eaux épurées et désinfectées. Le protocole est illustré ci-dessous :

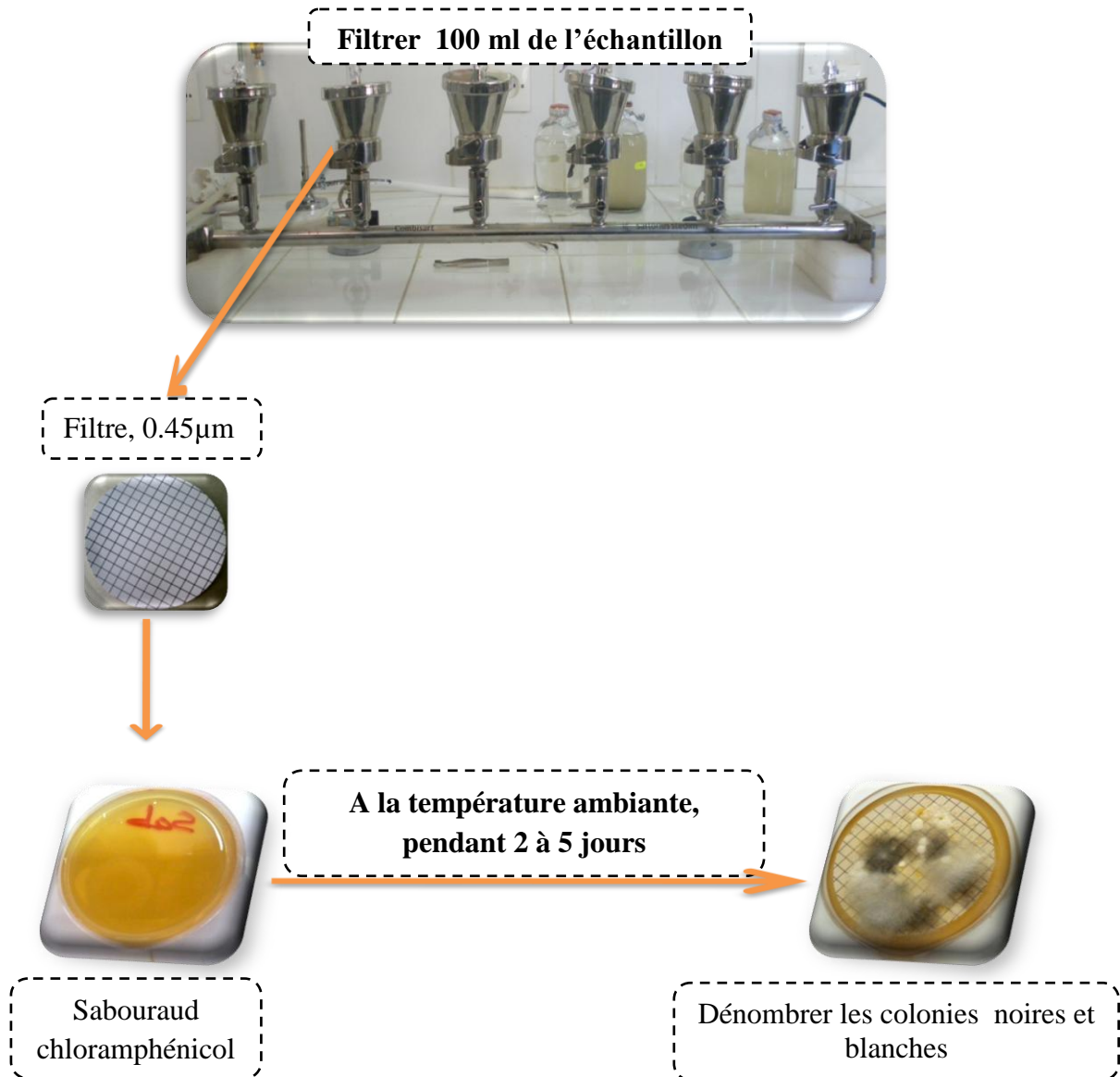


Figure IV.16: Recherche et dénombrement des Levures et Moisissures.

IV.3.1.5 Techniques d'isolement et d'identification des bactéries recherchées :

Afin de mieux caractériser le profil biochimique des bactéries recherchées qui appartiennent aux groupes des coliformes, des streptocoques fécaux et surtout des germes pathogènes, une série de tests a été effectuée, il s'agit de :

a) Coloration de Gram :

Mise en point par Christian Gram en 1884. Elle permet la distinction entre deux groupes bactériens, les Gram (+) et les Gram (-).

Principe de coloration de Gram :

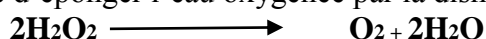
Sur le frottis bactérien préparé, le 1^{er} colorant, le violet de gentiane, colore en violet les bactéries, puis le Lugol (solution iodo-iodurée) libère de l'iode qui fixe le colorant précédent. Un complexe iodo-cristal violet se forme; il sera solubilisé par l'alcool à 95° lors de la phase de décoloration, uniquement pour les bactéries de Gram(-). Le 2^{ème} colorant, dit de contraste, fuchsine, colore en rose les bactéries Gram (-), les bactéries Gram (+), non décolorées par l'alcool, conserveront leur coloration violette.

Mode opératoire :

- Préparer un frottis sur une lame :
 - Déposer un peu d'eau sur une lame en verre propre de microscope ;
 - Ajouter à cette eau une colonie bactérienne pour obtenir une suspension de cellules;
 - Etaler cette suspension sur une surface d'un ou deux centimètres carrés et laisser sécher pour obtenir ce qu'on appelle "un frottis";
- Le frottis est ensuite fixé par des passages rapides dans la flamme d'un bec de Bunsen ;
- Recouvrir le frottis avec du violet de gentiane, laisser agir une minute puis jeter le colorant.
- Recouvrir la lame avec le Lugol et laisser agir 20 secondes (généralement on fixe le colorant précédent avec deux bains du Lugol séparés par 20 secondes); rincer à l'eau distillée.
- Incliner la lame, laisser tomber goutte à goutte l'agent de décoloration (alcool)
- recolorer avec la fuchsine, laisser agir 2 minutes, rincer à l'eau distillée.
- Sécher la lame au dessus d'une flamme, observer au microscope à l'objectif ×40 puis ×100 à immersion et décrire.

b) Test de la catalase :

Cette enzyme catalyse la décomposition du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) qui est produit par certaines réactions cellulaires et est très toxiques, donc c'est l'une des enzymes chargée d'éponger l'eau oxygénée par la dismutation. La réaction catalysée est la suivante :

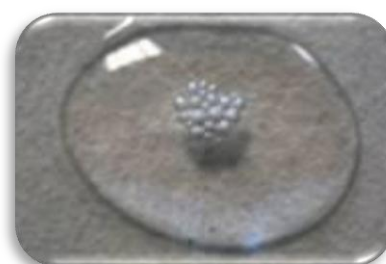


Le test de la catalase consiste essentiellement à ajouter du peroxyde d'hydrogène à des bactéries : la présence de catalase donne lieu à l'apparition de bulles d'oxygène.

Mode opératoire :

Sur une lame propre et séchée déposer une goutte d'eau oxygénée à 10 volumes.

- A l'aide d'une pipette Pasteur., une colonie bactérienne isolée est déposée sur la lame.
- Observer immédiatement



✓ Catalase (+) → effervescence (bulles de gaz).

c) Test d'oxydase :

L'oxydase ou Cytochrome oxydase est un enzyme présente dans certaines chaînes respiratoires cytochromiques bactériennes. La recherche de cette enzyme est utile dans le diagnostic des bacilles à Gram(-).

Mode opératoire :

Imbiber un disque "Oxydase" commercialisé avec une goutte d'eau distillée ou d'eau physiologique stérile, puis prélever une partie de la colonie à étudier à l'aide d'une pipette pasteur boutonnée stérile et l'étaler sur le disque. Une coloration violette foncée, apparaît immédiatement ou en quelques secondes: test oxydase (+).

d) Identification par la méthode des galeries API 20E:

Les espèces bactériennes une fois isolées (cultures pures) ont fait l'objet d'une identification biochimique grâce à l'utilisation des galeries d'identification API 20 E, API20 STAPH et API20 STREP (afin d'identifier respectivement des bacilles Gram(-) appartenant à la famille des *ENTEROBACTERIACEAE*, des staphylocoques et des streptocoques).

Principe :

La galerie API 20 E comporte 20 microtubes contenant des substrats déshydratés. Les microtubes sont inoculés avec une suspension bactérienne qui reconstitue les tests. Les réactions produites pendant la période d'incubation se traduisent par des virages colorés spontanés ou révélés par l'addition de réactifs.

La lecture de ces réactions se fait à l'aide du Tableau de Lecture et l'identification est obtenue à l'aide du Catalogue Analytique ou d'un logiciel d'identification.

Mode opératoire :

A partir d'une boîte de Pétri contenant une culture pure (un seul type de bactérie), une suspension dans de l'eau physiologique a été préparée. Avec cette solution bien homogénéisée, on remplit les galeries en respectant le mode d'emploi. Les galeries sont incubées à 37°C pendant 24H. Le mode opératoire détaillé est consigné en **annexe II**.

IV.3.2 Autres analyses :

IV.3.2.1 Mesure de la matière en suspension (MES) :

Elle consiste à filtrer un volume d'eau (400 ml) à travers un filtre (Wattman GF/C) afin de retenir les particules supérieures à 0.45 µm. Le filtre est séché et pesé avant et après filtration. La différence du poids entre les deux pesées permet de connaître la masse sèche totale de la matière en suspension dans le volume d'eau filtré correspondant.

$$[\text{MES}] \text{ (mg/l)} = \frac{(P_2 - P_1)}{V}$$

- [MES] : concentration de la matière en suspension (mg/l)
- P_1 : Poids du filtre sec avant filtration (mg).
- P_2 : Poids du filtre sec après filtration (mg).
- V : volume d'eau filtrée (l)

IV.3.2.2 La matière organique particulaire (MOP) :

Les filtres précédents obtenus pour la détermination de la teneur de la matière en suspension dans l'eau sont mis dans des creusets en porcelaine, et pesés avec précision avant et après passage au four à moufle à 600°C pendant deux heures. La différence de ces deux poids nous donne le poids de la matière organique brûlée (calcinée).

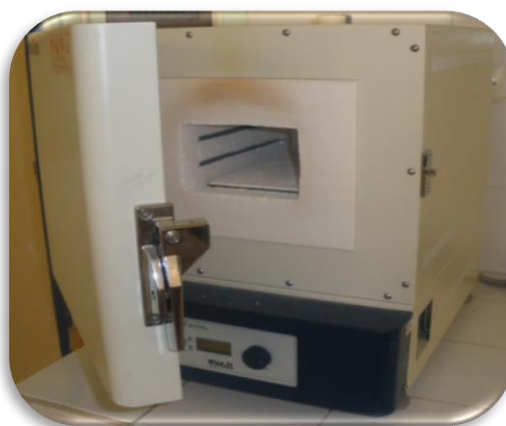


Figure IV.17: Four à moufle(Wise Thurm).

$$\text{MOP (\%)} = \frac{m_2 - m_1}{m_2} * 100$$

Avec :

m_1 : Poids du filtre après incinération (mg).

m_2 : Poids du filtre sec pesé pour la M.E.S (mg).

IV.3.2.3 Dosage de la chlorophylle :

La concentration en chlorophylle a été déterminée selon la méthode fluorimétrique de Yestch et Menzel (1963) adaptée par Holm-Hansen et Rieman (1978) pour l'extraction des pigments à l'aide du méthanol.

Principe :

Cette méthode consiste à filtrer un volume d'eau (250 ml) à travers un filtre en fibre de verre Whatman GF/F de diamètre 25 mm. Immédiatement après la filtration, le filtre est placé dans un tube contenant 7 ml de méthanol pur. Le tube est ensuite bouché et placé dans un réfrigérateur (5°C) pour une période d'extraction de 30 minutes. Après ce délai, la fluorescence de l'échantillon est mesurée sur un fluorimètre Turner designs 10.005R équipé d'un Kit pour la détermination de la chlorophylle *a* (lampe F4T4BL, Filtre primaire Corning 5-60, filtre secondaire Corning 2-60).

Les concentrations du chlorophylle *a* sont calculées d'après le formule suivante :

$$[\text{Chlorophylle } a] (\mu\text{g/L}) = \frac{F_0}{K_0} \times \frac{VE}{VF}$$

F₀ : fluorescence (U.A).

K₀ : coefficient d'étalonnage du fluorimètre de chlorophylle *a*.

VE : volume de méthanol utilisé pour l'extraction (VE = 7 ml).

VF : volume d'eau filtré (VF = 250 ml).

IV.3.2.4 Dosage des sels nutritifs :

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (ammonium ,nitrites, nitrates, et orthophosphates) est le dosage par colorimétrie à flux continu et automatisé, sur l'appareil « **Auto Analyser San Plus** » S.F.A.S troisième génération (**annexe I**) selon les protocoles définis par SKALAR, 1998.

Le mode opératoire détaillé pour le dosage de chaque sel ainsi que les réactifs utilisés sont consignés en **annexe I**. Selon les protocoles définis par SKALAR, (1998).

Le mode opératoire détaillé pour le dosage de chaque sel ainsi que les réactifs utilisés sont consignés en **annexe I**.



Figure IV.18 : Auto Analyser San Plus
Système de marque SKALAR, (1998).

Principe :

Cette méthode est basée sur une réaction de coloration. En effet, ces sels réagissent dans certaines conditions (T°C, pH, Catalyseur ...) avec des réactifs spécifiques pour donner naissance à une coloration absorbant la lumière à une certaine longueur d'ondes (λ).

L'absorption de l'énergie lumineuse dépend de l'intensité de la coloration, de même, cette dernière est d'autant plus importante que la solution est concentrée en sel dosé. La colorimétrie est basée sur la loi de Beer-Lambert qui est définie comme suit :

$$A_{\lambda} = -\log \frac{I}{I_0} = \varepsilon_{\lambda} \cdot \ell \cdot C.$$

- **I₀, I** : est l'intensité lumineuse incidente et émergente du milieu absorbant.
- **A** : est l'absorbance ou densité optique.
- **ε** : est le coefficient d'extinction moléculaire.
- **L** : est le trajet optique (épaisseur du milieu absorbant).
- **C** : est la concentration du milieu absorbant.

1. Principe de dosage de l'Azote ammoniacal (NH₄⁺)

Elle est basée sur la réaction de Berthelot (1859) modifiée par Thé. En milieu alcalin (8 < PH < 11,5), l'ammonium dissous réagit sur l'hypochlorite pour former une monochloramine.

Ce composé, en présence de phénol et d'un excès d'hypochlorite (milieu oxydant) donne lieu à la formation d'un bleu indophénol. Après oxydation, un composé coloré vert est formé. La réaction de Thé est catalysée par le nitroprussiate de sodium. Le composé formé dans un maximum d'absorption qui se fait à une longueur d'onde de 630 nm (SKALAR® 1998).

2. principe de dosage de l'azote nitreux (NO₂⁻)

Les nitrites (NO₂⁻) forment un diazoïque avec la sulfanilamide en milieu acide (pH < 2), puis le diazoïque réagit avec le N-naphtyl-éthylènediamine pour former le colorant rose absorbe à la longueur d'onde de 543 nm. (Appliquée par Bendschneider, Robinson (1952) et Skalar (1998)).

3. Principe de dosage de l'azote nitrique (NO₃⁻)

La méthode est basée sur la réduction des nitrates (NO₃⁻) en nitrites (NO₂⁻) par passage de l'échantillon sur une colonne de cadmium traité au cuivre. En réalité, on mesure la somme

des concentrations des ions NO_3^- et NO_2^- . Par déduction de la concentration en nitrite, déterminé sans réduction, on obtient la concentration en nitrate.

4. Principe de dosage du phosphore (PO_4^{3-})

En présence de tartrate de potassium à une température de 40°C , les ions phosphate réagissent avec le molybdate d'ammonium, en présence d'antimoine (III), pour former un complexe que l'on réduit par l'acide ascorbique ; cette forme réduite, de coloration bleue, a un maximum d'absorption à 885 nm.

Résultats

et

Résultats
et
discussion

V. 1 Résultats et Discussions :

V. 1.1 Caractéristiques physico-chimiques des eaux épurées de la STEP de Tipaza:

V. 1.1.1 La température :

La température moyenne des eaux usées épurées enregistrée durant trois mois (Avril, Mai et Juin) est de **21,76 °C** avec un écart type de **1,64**. Cette valeur ne dépasse pas les normes de rejets recommandées par l'OMS (30°C).

V.1.1.2 Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Dans le cas de la STEP de Tipaza la moyenne du pH de l'eau épurée est de **7,65** avec un écart type de **0,18**. Elle reste dans les limites fixées par la législation algérienne pour le rejet des eaux usées en mer (6 à 8). [15].

V.1.1.3 Matière en suspension:

Les résultats enregistrés durant les mois d'avril, de Mai et de Juin sont représentés sur le graphe ci-dessous :

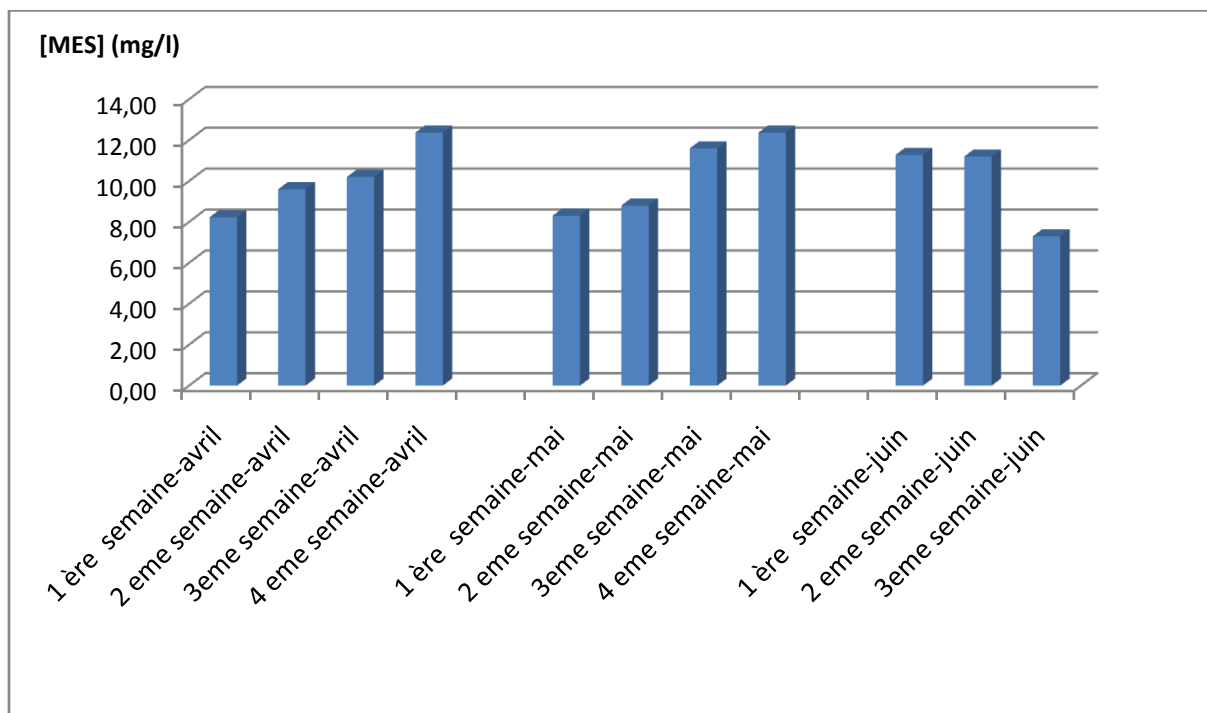


Figure V.1 : Représentation graphique de la variation des MES à la sortie de la station durant les mois : Avril, Mai et juin 2011.

La teneur en MES des eaux traitées est très réduite avec un rendement de plus de 96% durant ces trois mois et ne dépasse pas les normes de rejets recommandées par l'OMS (35 mg/l), cela est dû au bon fonctionnement du prétraitement (dessablage), à leur élimination par voie biologique (les réactions d'adsorption et l'absorption par les flocs bactériens) et enfin lors de la clarification.

Même si les teneurs en MES sont réduites, elles peuvent cependant constituer un facteur limitant pour la désinfection solaire.

Janex *et al.* (1998) ont testé l'impact de la qualité (MES) de l'effluent sur la désinfection aux ultra-violet. L'influence de la concentration en MES sur l'inactivation des coliformes fécaux se traduit par une relation linéaire (la pente de la droite est très forte) dans une fourchette de teneur en MES située entre 0 et 5 mg/l, et au delà des 5mg/l, l'inactivation diminue beaucoup moins. La différence d'abattement entre un effluent filtré et non filtré sur sable était de presque 3 log pour les coliformes fécaux/100ml [41].

Il semble donc qu'une partie des coliformes fécaux (adsorbés aux MES) échappent à la désinfection lorsque la quantité de MES est importante. Elles bénéficient ainsi d'une protection physique par rapport au rayonnement UV.

V.1.1.4 La pollution Organique DBO₅ et DCO:

a) DBO₅:

Les résultats enregistrés durant la période d'étude sont illustrés ci-après:

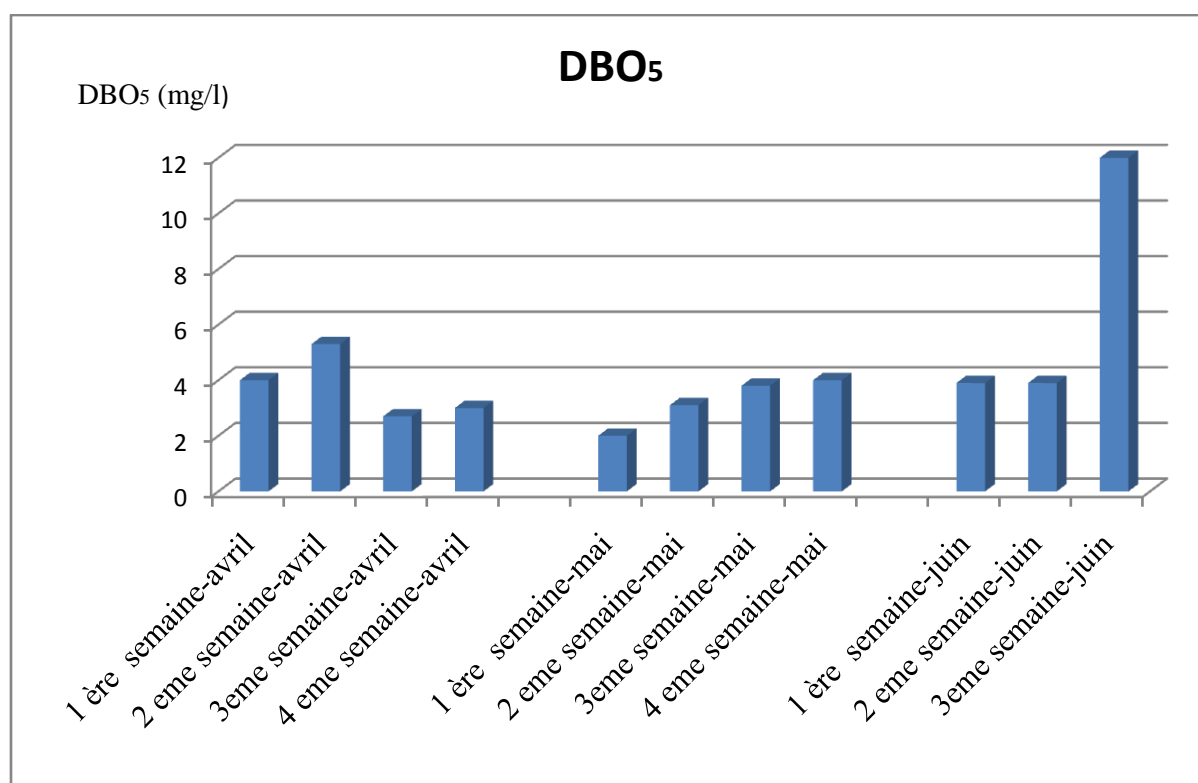


Figure V.2: Représentation graphique de la variation des DBO₅ à la sortie de la station durant les mois : Avril, Mai et juin 2011.

Les valeurs de la DBO₅ varient entre 2 mg/l et 12 mg/l pour l'eau épurée soit une moyenne de rendement d'abattement de 98,3%.

Ces valeurs ne dépassent pas les normes de rejet recommandées par l'OMS (30 mg/l). On conclue que les résultats d'analyse de la DBO₅ sont plus que satisfaisants puisque le maximum des valeurs ne représente que 50% des normes. Cela traduit le bon fonctionnement du bassin d'aération et donc l'oxydation des matières organiques par la biomasse épuratrice.

b) DCO :

Les résultats enregistrés durant les mois d'avril, de Mai et de Juin sont représentés sur le graphe ci-dessous :

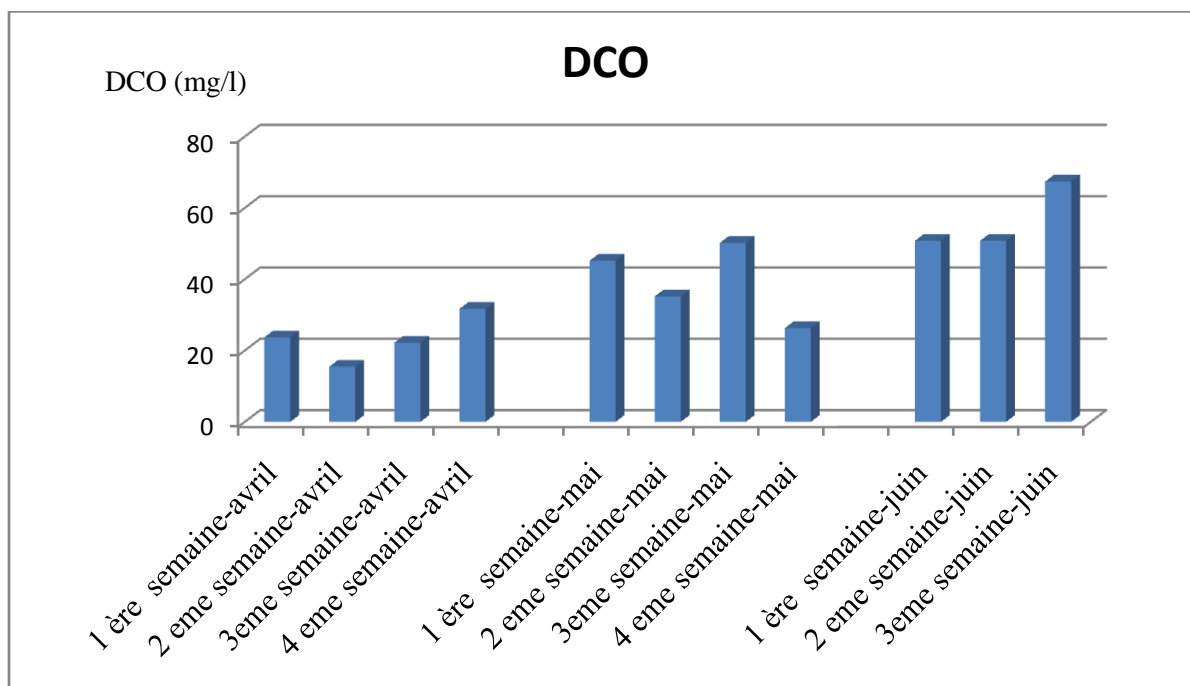


Figure V.3: Représentation graphique de la variation des DCO à la sortie de la station durant les mois : Avril, Mai et juin 2011.

Les valeurs de DCO de l'eau épurée à la sortie de la station oscillent entre 15,5 et 67,4 mg/l. Ces taux sont largement en dessous des normes de rejet recommandées par l'OMS (150mg/l). Il y a donc aussi une bonne élimination de la matière organique par voie chimique.

La DBO5 et la DCO sont deux paramètres complémentaires de pollution, qui nous permettent dans ce cas d'apprécier le taux d'abattement des matières organiques après traitement des eaux. En effet, le traitement des eaux par boues activées au niveau de la STEP a permis une élimination de 96,24%, de la matière organique.

V.1.2 Caractéristiques bactériologiques des eaux épurées de la STEP de Tipaza :

Les eaux épurées par boues activées au niveau de la STEP de Tipaza ont fait l'objet des analyses microbiologiques. La technique de filtration sur membrane a été retenue pour sa simplicité et reproductibilité. Les concentrations moyennes des germes testés sont consignées dans le tableau ci-dessous. En ce qui concerne les germes pathogènes salmonelles et vibrions, ils ont été recherchés (présence ou absence) dans deux litres d'eaux.

Tableau V.1 : Représentation des résultats moyens des analyses bactériologiques des eaux usées épurées de la STEP de Tipaza prélevées durant les journées d'expérimentations.

	Paramètres	Résultats
Dénombrement	Coliformes totaux	3080 CT /100ml
	Coliformes fécaux	970 CF /100ml
	Staphylocoques	169 UFC/100ml dont 90 <i>S.aureus</i> /100ml
	Streptocoques fécaux	358 UFC/100ml
	Sulfitoréducteurs	612 Spores/100ml
	Levure et moisissures	23 Colonies/100ml
Recherche	Salmonelles	Présence : <i>Salmonella enteritidis</i> <i>Shigella spp</i>
	Vibrions	Absence mais présence de : <i>Aeromonas fluvialis.</i> <i>Aeromonas hydrophila.</i>

Bien que le traitement des eaux usées par boues activées ait permis une élimination de 98,69 %, de la pollution biologique, il en demeure pas moins que la présence de certains germes, tels que *Salmonella enteritidis*, *Shigella spp*, *Aeromonas fluvialis*, *Aeromonas hydrophila* et *Staphylococcus aureus*, rend cette eau suspecte.

V.1.3 Influence de la durée d'exposition au soleil sur l'efficacité de la méthode SODIS.

L'expérimentation a été menée lors d'une journée à ciel partiellement couvert et la température ambiante de 25,5°C en moyen. Les résultats sont illustrés ci-après :

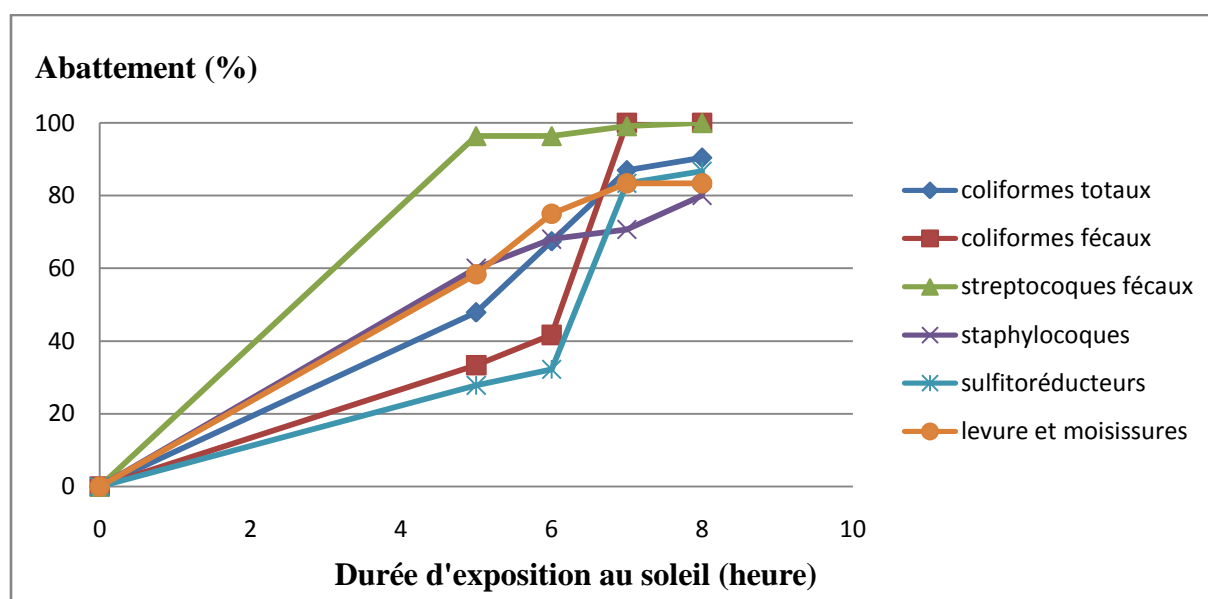


Figure V.4 : Evolution de pourcentage d'abattement des différents germes en fonction de la durée d'exposition au soleil.

Au regard de la figure V.4, on constate qu'après cinq heures d'exposition de l'eau usée épurée à la radiation solaire, des abattements moyens ont été obtenus, pour la plupart des germes étudiés. Il est admis actuellement que le spectre UV solaire arrivant à la surface du sol est divisé conventionnellement en UV-B (300-320nm) et UV-A (320-400nm) [36].

Davies –Colley et al. (1997) ont montré que la fraction du spectre UV-B solaire est la principale source d'élimination des *E.coli* et des phages lors du traitement des eaux usées par lagunage car ils sont fortement absorbés par l'ADN d'où leur effet néfaste sur les microorganismes. Mais l'action des UV-B serait diminuée et/ou arrêtée par la présence de la matière organique dissoute, la chlorophylle, les MES et la durée d'exposition [37].

Les longueurs d'onde élevées (320-500nm) comme les UV-A et le visible permettent une élimination de 50 à 75% des indicateurs de contamination fécale, ces radiations solaires seraient absorbées par les structures humiques des germes et causeraient des endommagements photooxydatifs des structures internes de façon non réversible. La cible serait la membrane plasmique, les protéines, voire la capsid pour les virus.

Par ailleurs, le rendement d'abattement des streptocoques fécaux et des staphylocoques sont plus prononcés que ceux des coliformes et sulfitoréducteurs. Ce constat trouverait son explication dans la structure des parois bactériennes. Les coliformes (Gram négatif), les streptocoques fécaux et les staphylocoques (Gram positif) répondraient différemment à cause de la différence de la structure de leur surface externe.

Les bactéries Gram négatif seraient plus résistantes que les bactéries Gram positif du fait de la protection confinée par le lipolysaccharide de la paroi des Gram négatif qui constitue une barrière contre les composés toxiques générés dans l'eau [33] et [34].

Néanmoins, les moisissures et les levures démontrent une sensibilité similaire à celle des staphylocoques bien qu'elles soient de structures complètement différentes.

Après sept heures d'exposition à la radiation solaire, on remarque des abattements plus ou moins importants pour tous les germes. Les streptocoques fécaux et les coliformes fécaux qui avaient atteint un taux d'abattement proche de 100% dû sûrement à leur vulnérabilité face aux radiations solaires.

Après huit heures d'exposition, 100% des streptocoques fécaux et des coliformes fécaux ont été éliminés. Pour les autres germes, des abattements se situant entre 80% et 90% ont été obtenus et cela s'explique probablement par :

- La quantité des coliformes survivants après désinfection est peut être liée au phénomène de l'adsorption relativement important de ces bactéries aux particules en suspension.
- La photoréactivation des bactéries : c'est un processus par lequel certaines bactéries réparent les dommages subis par leur ADN dus à leur irradiation par les ultraviolets. C'est le système de réparation par excision du segment lésé. En fait, le segment touché est excisé de l'ADN et remplacé par un segment nouvellement synthétisé, identique au segment originel. Chaque espèce possède ces propres caractéristiques de photoréactivation. La photoréactivation à la lumière naturelle du soleil peut être très rapide, pour les coliformes fécaux, la saturation est atteinte en 15 minutes. Cependant,

après les 15 premières minutes, on constate une diminution de l'effectif des CF photoréactifs [39].

- La résistance des sulfitoréducteurs, peut être expliquée par leur forme sporulée qui résiste au stress environnemental, particulièrement à la radiation solaire.
- Les staphylocoques, les moisissures et les levures ne sont pas totalement abattues, ce qui est dû probablement à la présence de certaines espèces résistantes.

A partir des résultats obtenus, on peut conclure que la durée idéale pour éliminer une quantité importante de microorganismes, se situe entre 6 heures et 7 heures d'exposition à la radiation solaire.

V.1.4 Optimisation de la température au cours de la désinfection par la technique « SODIS ».

Les pourcentages d'abattement des différents germes représentés dans l'illustration ci-dessous, sont calculés par rapport à un échantillon témoin. Ce dernier a été exposé aux mêmes conditions d'expérimentation (rayonnement solaire et durée d'exposition) sans être chauffé ; il a été donc soumis à la température ambiante.

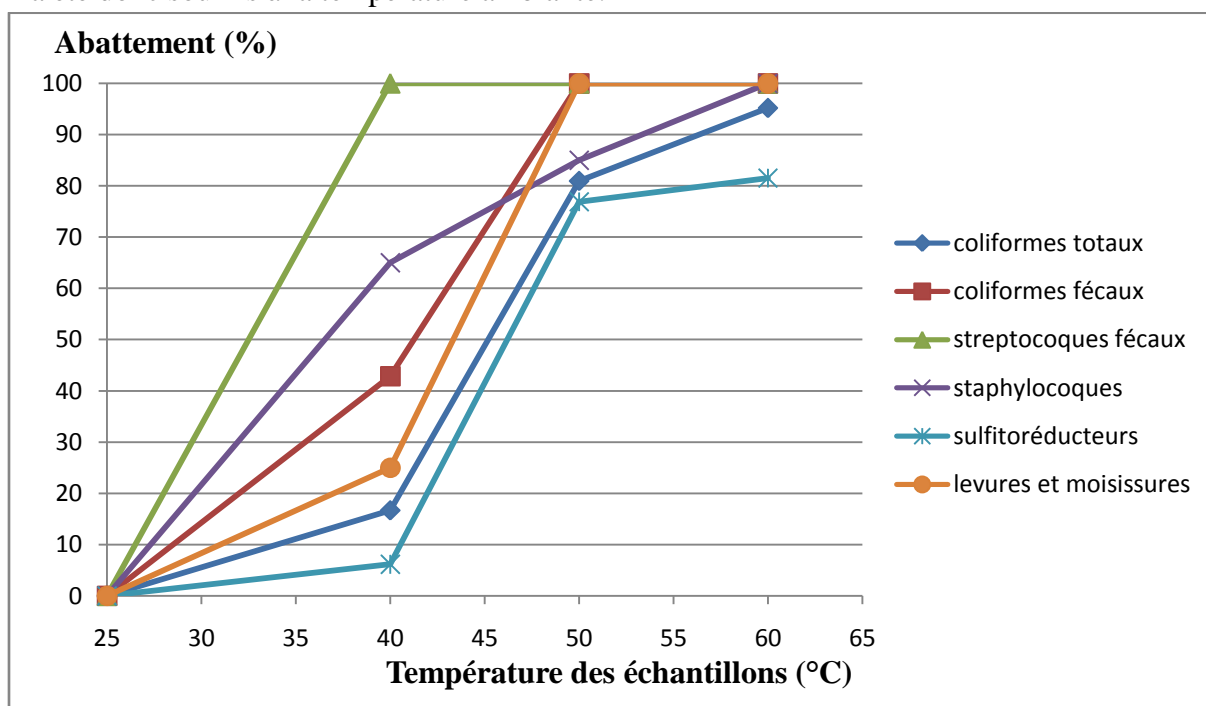


Figure V.5 : Evolution du pourcentage d'abattement des différents germes en fonction de la température de chauffage.

La durée d'exposition optimale (06 heures) a été retenue pour la suite de l'expérimentation. On constate que l'application d'un chauffage lors de la radiation solaire améliorerait les résultats de désinfection. Cela s'expliquerait par l'effet cumulé de ces deux paramètres et leur synergie.

L'application d'une température comprise entre 25°C et 40°C n'influencerait pas beaucoup sur le rendement de la désinfection. Ce qui laisserait croire que l'abattement des microorganismes dû aux effets synergiques de la radiation solaire et de la température serait négligeable pour les valeurs inférieures à 40°C.

Par contre, on constate qu'une température de chauffage de l'eau à traiter à 50°C augmente considérablement le taux d'abattement des streptocoques fécaux, coliformes fécaux ainsi que celui des levures et moisissures. Le taux de mortalité des coliformes fécaux exposés au soleil augmente significativement lorsque deux facteurs de stress, le rayonnement et l'élévation de la température sont présents [18].

Mieux encore, le taux d'abattement des staphylocoques et des coliformes totaux atteint les 100% pour des températures de chauffage comprises entre 50 et 60°C. Dans cet intervalle de température, les protéines en occurrence les enzymes ont tendance à précipiter et coaguler. il y a donc une dénaturation de ces molécules, exception faite pour celles des bactéries thermophiles.

On peut conclure que l'élévation de la température de l'eau contribuerait à un net abattement des microorganismes, qui est du à l'effet synergique entre cette dernière et la radiation solaire.

V.1.5 Optimisation de la concentration de TiO₂ au cours de la désinfection par photocatalyse.

La photocatalyse est habituellement préconisée pour la destruction des produits récalcitrants, très peu de travaux ont fait l'objet d'utilisation du catalyseur TiO₂ pour l'élimination des microorganismes.

Les résultats d'abattement des microorganismes testés, représentés dans la figure ci-dessous, sont la moyenne de trois expérimentations qui se sont déroulées par jours à ciel partiellement couvert avec une température ambiante moyenne de 23°C. Les taux obtenus par rapport à ceux des témoins (exempts de TiO₂ (0g/l)).

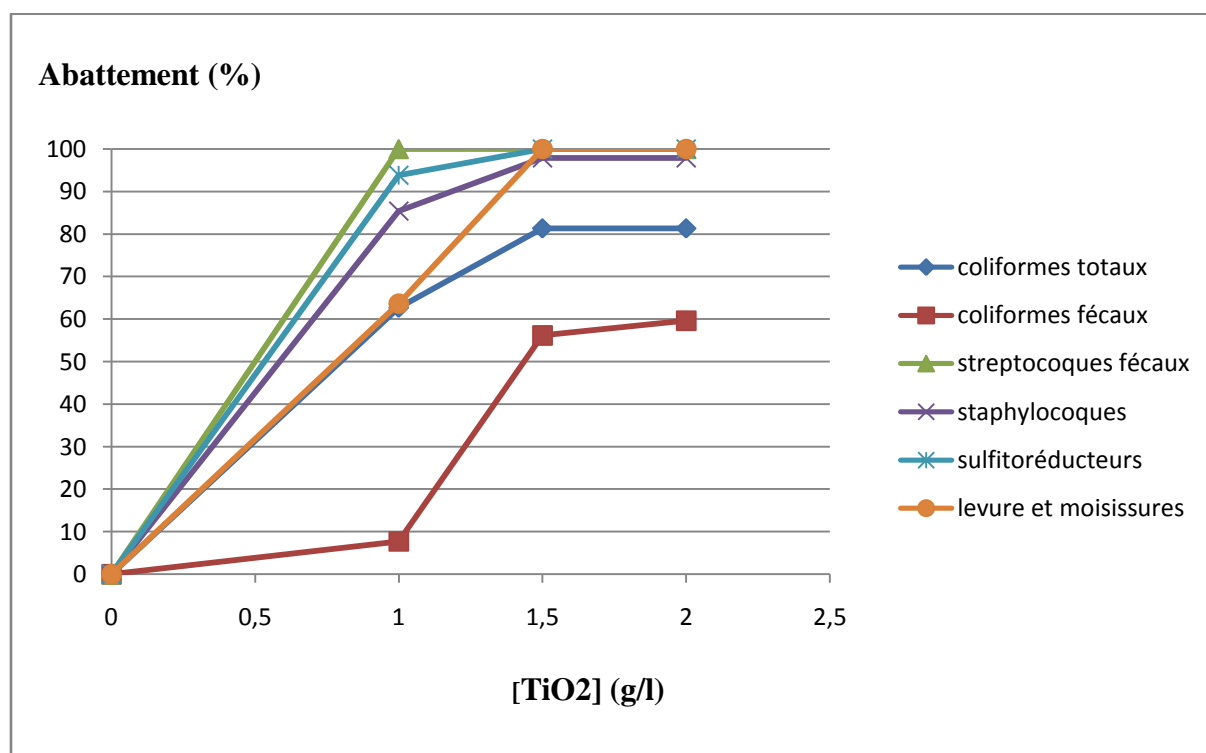


Figure V.6 : Variations de pourcentage d'abattement des différents germes en fonction de concentration de TiO₂.

Au regard de la figure V.6, on peut constater que la concentration de 1,5g/l de TiO_2 est la plus efficace pour la destruction des germes testés. En effet, l'utilisation de ce catalyseur à cette concentration a permis d'obtenir une destruction totale (100% d'abattement) aussi bien pour les streptocoques fécaux, staphylocoques, les levures et moisissures et même les sulfitoréducteurs. Bien que Ces bactéries sporogènes soient de nature très résistantes, elles semblent sensibles à la photocatalyse. Cette sensibilité peut être du au fait que :

L'excitation du TiO_2 par des photons ($\lambda < 380 \text{ nm}$) produit des paires électrons / trous.

D'un côté, les électrons réagissent avec des accepteurs d'électrons tels que l'oxygène adsorbé pour former des radicaux superoxydes qui peut mener à la formation hydroperoxyde puis de peroxyde d'hydrogène. Ces molécules sont très toxiques pour les bactéries.

D'autre part, les trous h^+ réagissent avec certaines molécules susceptibles de donner des électrons. Ainsi, ils forment des radicaux hydroxyles et R° en oxydant des donneurs d'électrons tels que l'eau, les anions OH^- et les produits organiques R adsorbés à la surface du catalyseur [19].

Les radicaux générés (OH° , O_2° , R°) sont très oxydants et peuvent décomposer des composés (polluants réfractaires, pesticides, herbicides, colorants, etc.) adsorbés sur la surface du semi-conducteur TiO_2 , jusqu'à les minéraliser. Ils déstabilisent aussi de façon irréversible le métabolisme bactérien en dénaturant par exemples les protéines (en occurrence les enzymes bactérienne), ce qui engendrerait un désordre métabolique et la mort cellulaire.

Malheureusement cette sensibilité à la photocatalyse n'est pas la même pour toute les bactéries. En effet, le taux d'abattement des coliformes totaux et fécaux n'est que d'environ 81% et 56% respectivement avec la même concentration et durée d'exposition. C'est la limite de la photocatalyse car son efficacité dépend de plusieurs facteurs, entre autre, de la concentration initiale des bactéries, de leur état physiologique, du transfert des bactéries entre différentes cultures, de la concentration du catalyseur et de la faculté de ces germes à s'adsorber d'où cette différence de sensibilité [38].

Néanmoins, la concentration du TiO_2 à 1,5g/l semble être optimale puisque son augmentation à 2g/l donne les mêmes taux d'abattements. On peut conclure que l'efficacité de la photocatalyse des eaux épurées est étroitement dépendante de la concentration du catalyseur TiO_2 mais aussi du degré de leur clavetté.

V.1.6 Etude comparative entre les deux techniques de désinfection, photocatalyse et SODIS.

Après avoir déterminé les conditions optimales pour les deux procédés de désinfection (1.5g/l de TiO_2 « photocatalyse », une température moyenne de 50°C « SODIS » et une durée d'exposition à la radiation solaire de six heures), nous avons essayé de comparer l'efficacité de ces deux méthodes.

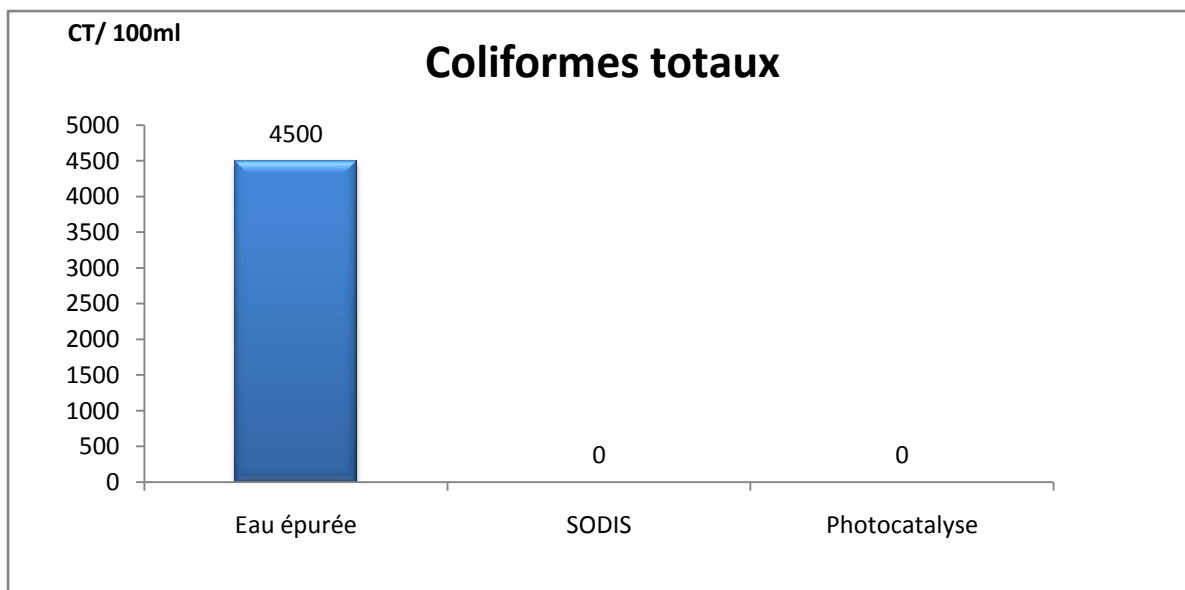


Figure V.7 : Variations des concentrations moyennes des coliformes totaux en fonction de la technique de désinfection.

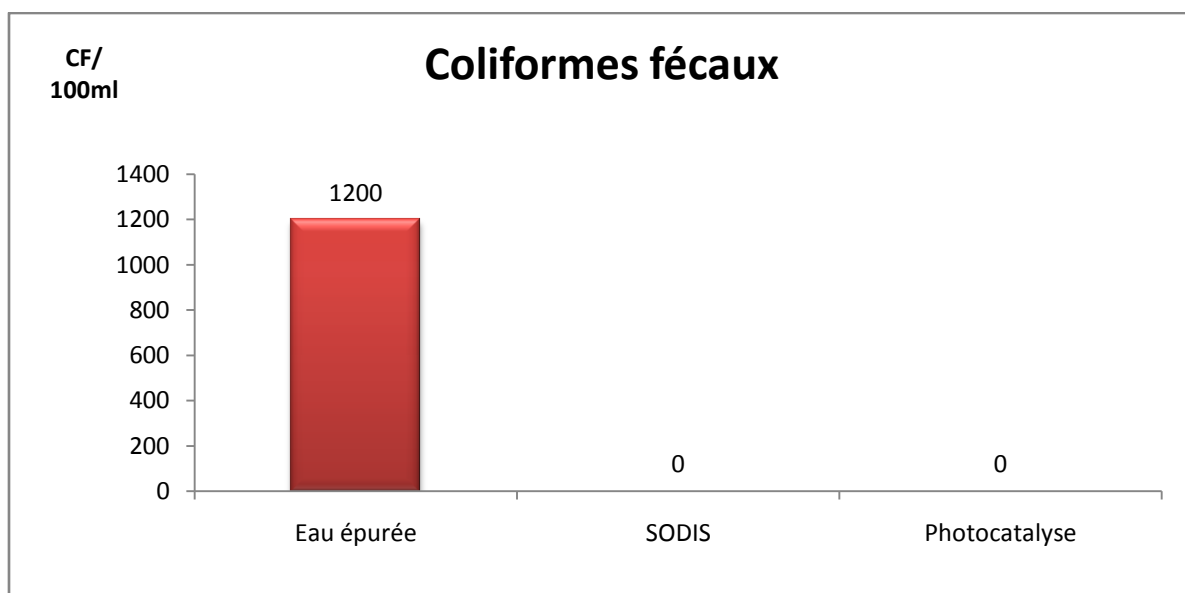


Figure V.8 : Variations des concentrations des coliformes fécaux en fonction de la technique de la désinfection.

A partir de ces deux figures ci-dessus, on constate que les deux techniques de désinfection solaire photocatalyse et SODIS sont efficaces pour l'élimination des coliformes totaux et fécaux.

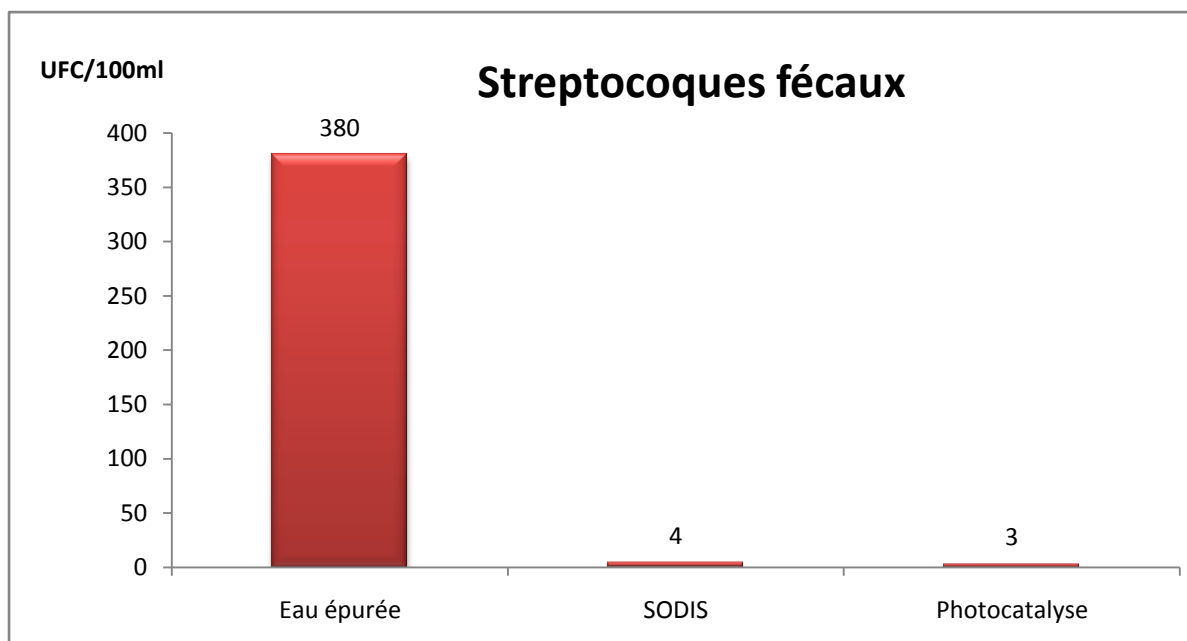


Figure V.9 : Variations des concentrations des streptocoques en fonction de la technique de désinfection.

D'après l'histogramme on constate que les streptocoques fécaux sont éliminés presque totalement par les deux techniques utilisées.

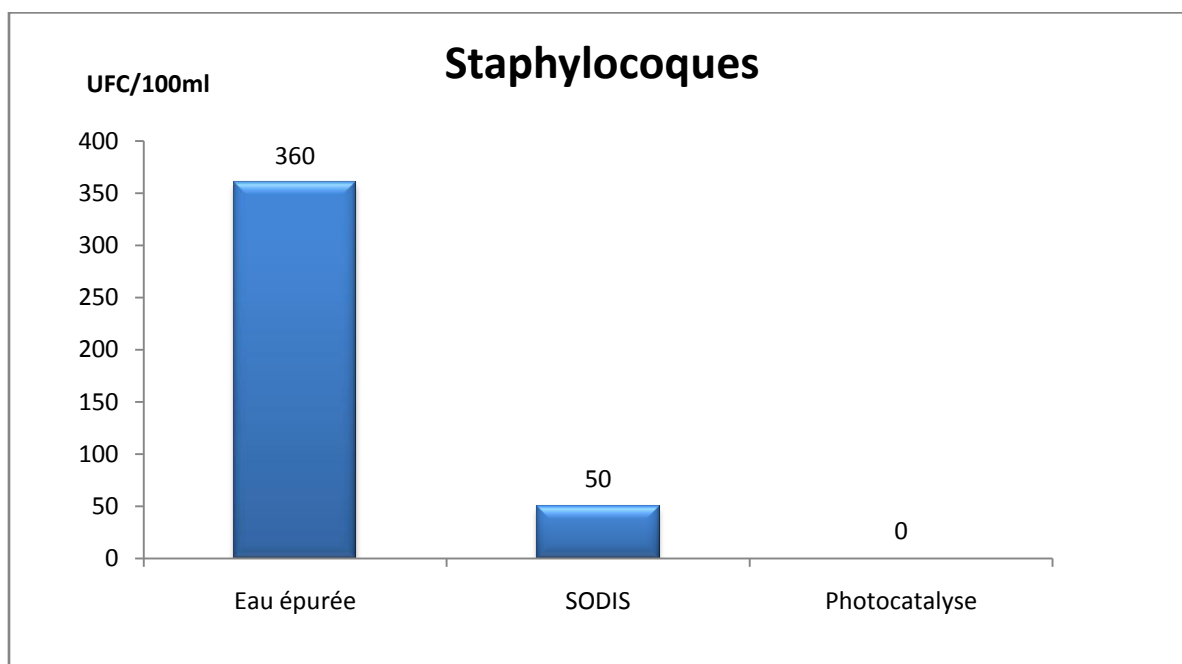


Figure V.10 : Variations des concentrations des staphylocoques en fonction de la technique de désinfection.

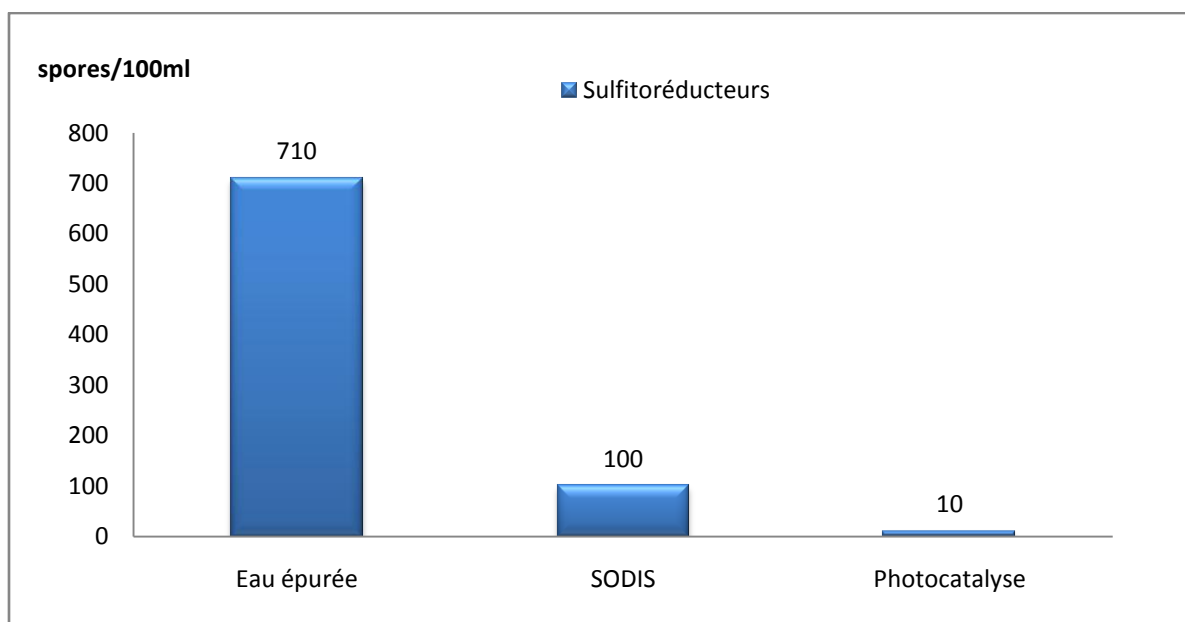


Figure V.11 : Variations des concentrations des Anaérobies Sulfito-Réducteurs en fonction de la désinfection.

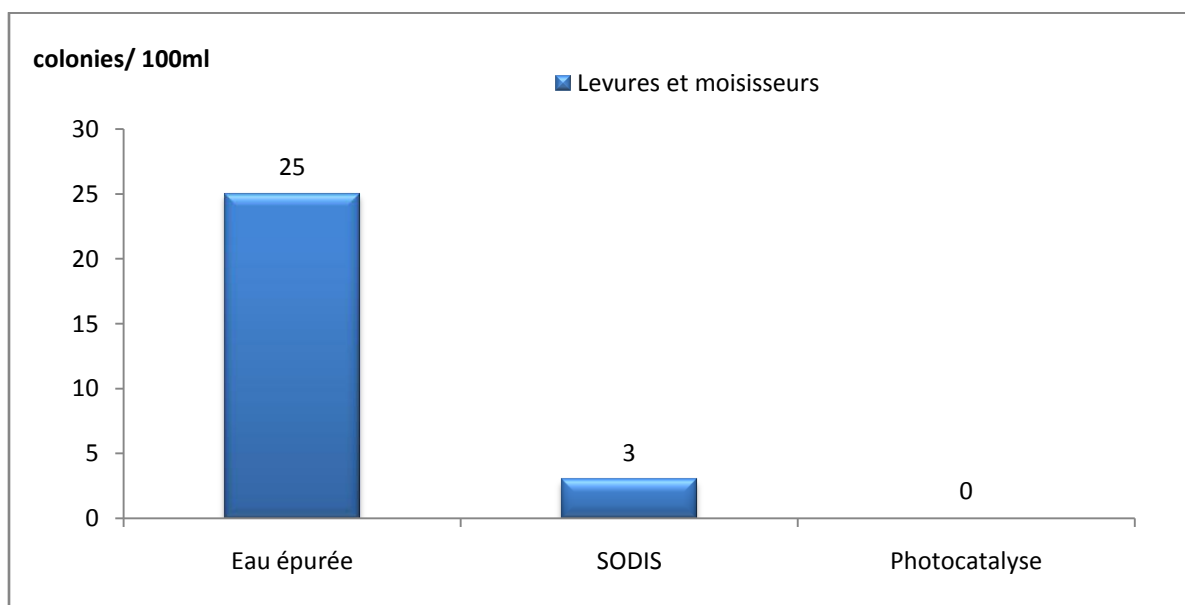


Figure V.12 : Variations des concentrations des levures et les moisissures en fonction de la technique de désinfection.

Pour les staphylocoques, sulfitoréducteurs, moisissures et levures on constate une meilleure efficacité de désinfection par photocatalyse que par SODIS. Cependant, il est important de relever le résultat satisfaisant obtenu par la technique SODIS particulièrement si l'on considère la simplicité de son utilisation.

Enfin, on pourrait conclure que l'étude comparative a démontré que la désinfection photocatalytique de l'eau épurée, en présence du catalyseur (TiO_2) a permis d'atteindre des taux d'élimination très satisfaisants par rapport à la méthode SODIS. Ceci prouve la performance du catalyseur ajouté et l'efficacité de la technique utilisée.

V.1.7 Evaluation des performances d'un photoréacteur plan pour la désinfection solaire « SODIS ».

V.1.7.1 Paramètres microbiologiques :

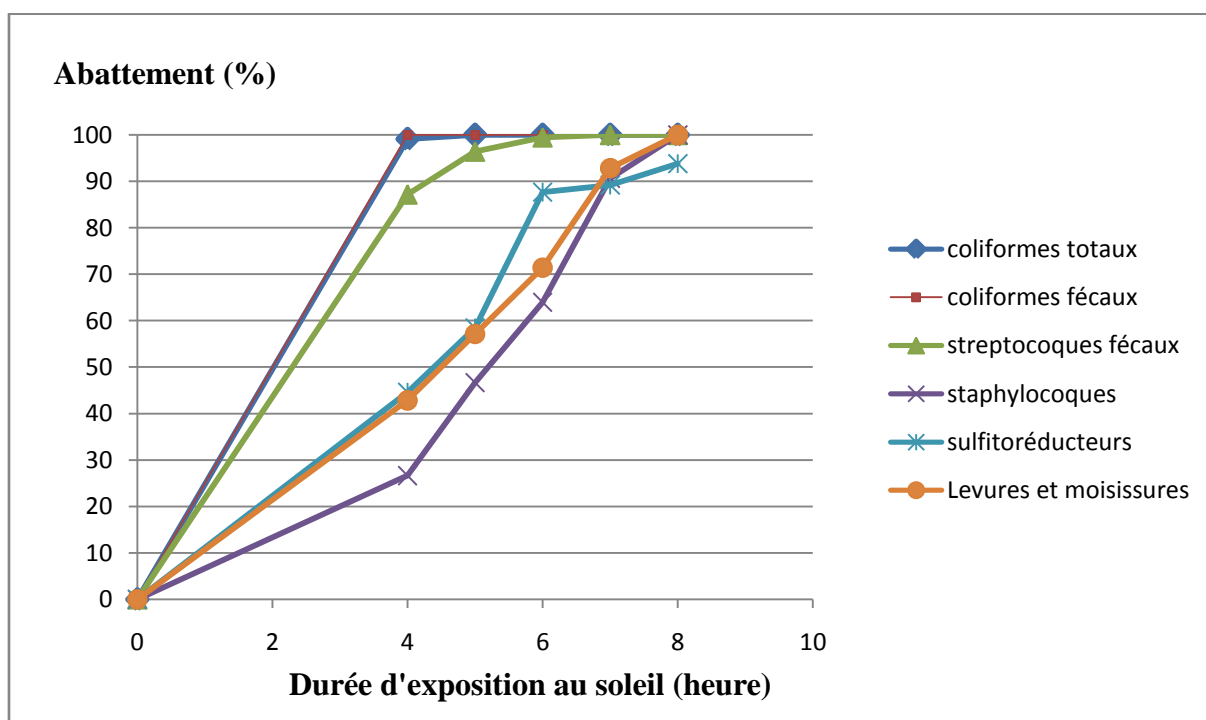


Figure V.13 : Variations de pourcentage d'abattement des différents germes dans le photoréacteur plan.

D'une manière générale, d'après les résultats obtenus, il s'avère que le photoréacteur plan est très performant après une durée d'exposition solaire de huit heures.

Si nous considérons les différentes cinétiques d'abattement, nous notons l'élimination totale des coliformes au bout de quatre heures d'exposition au soleil. Nous avons également noté que le photoréacteur est efficace pour l'élimination des streptocoques fécaux, avec un abattement de 87% pendant quatre heures d'exposition au soleil, un abattement de 97% et 100% après cinq et six heures d'exposition à la radiation solaire respectivement.

Par ailleurs, nous constatons un abattement plus important pour les autres germes après sept heures d'exposition et un abattement total après huit heures d'exposition. Tandis que pour les sulfitoréducteurs, donnent un abattement de 93% pendant huit heures d'exposition au soleil. Ceci prouve que la forme sporulée est très résistante à la radiation solaire.

Il s'avère donc que les propriétés de désinfection solaire du photoréacteur plan soient plus efficaces par rapport aux réacteurs dans lesquelles se sont déroulées les expérimentations précédentes. Ceci serait dû au degré d'inclinaison du photoréacteur qui aurait permis l'optimisation de la réception des rayonnements solaires ainsi qu'à la forme des réacteurs utilisés.

V.1.7.2 Effet de SODIS sur les pathogènes :

La plupart des pathogènes humains sont très fragiles à l'extérieur de l'hôte. Ils ne peuvent pas se multiplier et meurent hors du corps humain. La salmonelle est une des rares exceptions qui, toutefois, requiert des conditions environnementales favorables pour survivre (approvisionnement approprié en nutriments). Après six heures d'exposition aux rayonnements solaires à une température de 50°C, aucune salmonelle et shiguelle, ni aucun *Aeromonas* n'ont été identifiés dans deux litres d'eau analysée

Toute fois, il est important de noter que SODIS ne produit pas une eau stérile. Des organismes non pathogènes pour l'homme, telles que des algues par exemple, sont bien adaptés aux conditions de traitement par SODIS et peuvent même y proliférer. Cependant, ces organismes sont sans danger pour la santé humaine.

V.1.7.3. Evolution des sels nutritifs au cours de procédé SODIS :

Les teneurs en sels nutritifs des eaux épurées de la STEP de Tipaza ne sont pas très élevées puisqu'il s'agit d'eau douce. Néanmoins, nous avons procédé à leur analyse pour déterminer la nature de leur évolution au cours de la désinfection solaire des eaux usées

En observant les figures ci-dessous, on remarque une légère augmentation des teneurs de l'ammonium qui serait due à la dégradation de l'azote organique par les bactéries, confirmant qu'une exposition de quatre heures au soleil n'inhibe pas ces bactéries. A partir de cinq heures d'exposition, la teneur de l'ammonium commence à diminuer.

L'évolution des teneurs en phosphate est similaire à celle de l'ammonium, avec une augmentation qui serait due toujours à la dégradation de la matière organique. Cette phase d'augmentation est suivie par une phase de diminution. Par contre, les nitrates et les nitrites ont subi une diminution pendant les quatre premières heures d'exposition qui pourrait s'expliquer par leur nitrification en ammonium par les bactéries.

Après cette durée et jusqu'à six heures d'exposition, une augmentation des concentrations de ces deux sels est remarquée. Ils seraient issus de l'oxydation de l'ammonium en nitrite puis en nitrate. Nous remarquons aussi que les teneurs en nitrite sont faibles, car c'est une forme intermédiaire entre le nitrate et l'ammonium.

Entre six et huit heures d'exposition, les concentrations de tous ces sels ont diminuées considérablement ; ce qui pourrait s'expliquer par une consommation par le phytoplancton et les micro- algues au cours de la photosynthèse ou une photodégradation de ces sels sous l'effet des rayonnements solaires.

Les résultats obtenus sont représentés dans les graphes suivants :

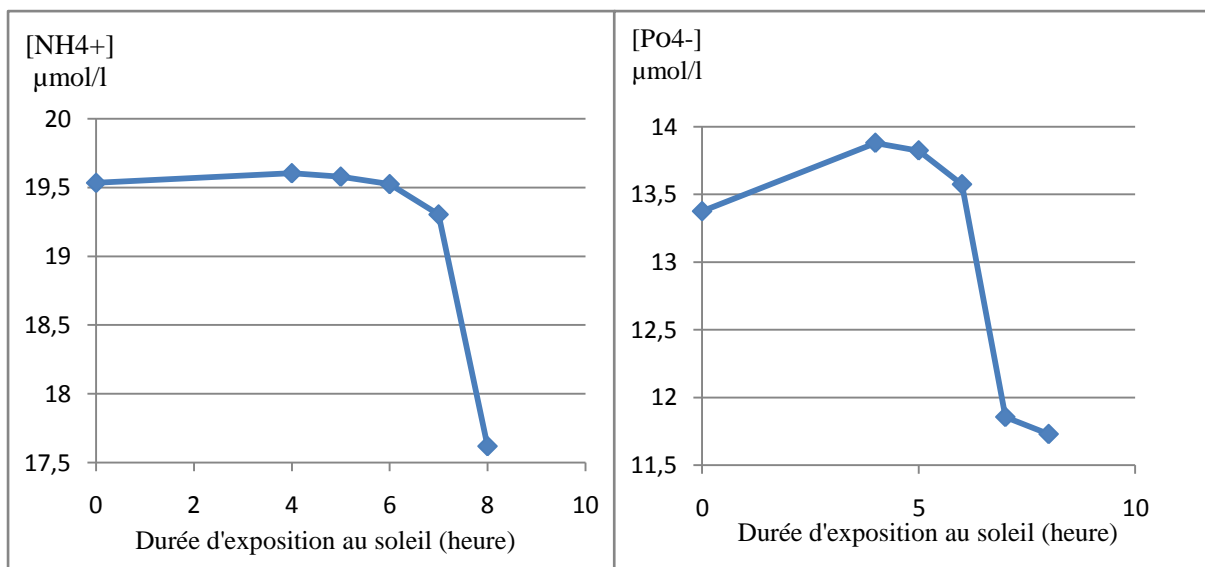


Figure V.14 : Evolution des teneurs de l'ammonium en fonction de la durée d'exposition au soleil.

Figure V.15 : Evolution des teneurs des phosphates en fonction de la durée d'exposition au soleil.

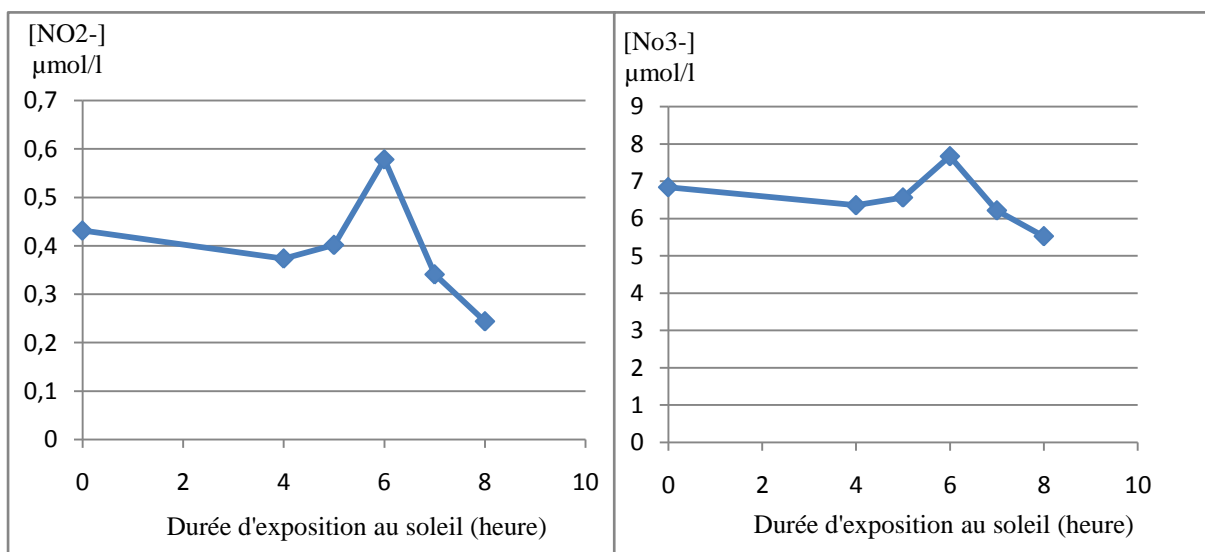


Figure V.17 : Evolution des teneurs des nitrites en fonction de la durée d'exposition au soleil.

Figure V.16 : Evolution des teneurs des nitrates en fonction de la durée d'exposition au soleil.

V.1.7.4 Effet de SODIS sur les matières en suspension et la matière organique :

La grande partie des matières en suspension est éliminée dans le clarificateur de la STEP de Tipasa ; ce qui a donné une eau qui se prête à la désinfection par le rayonnement solaire.

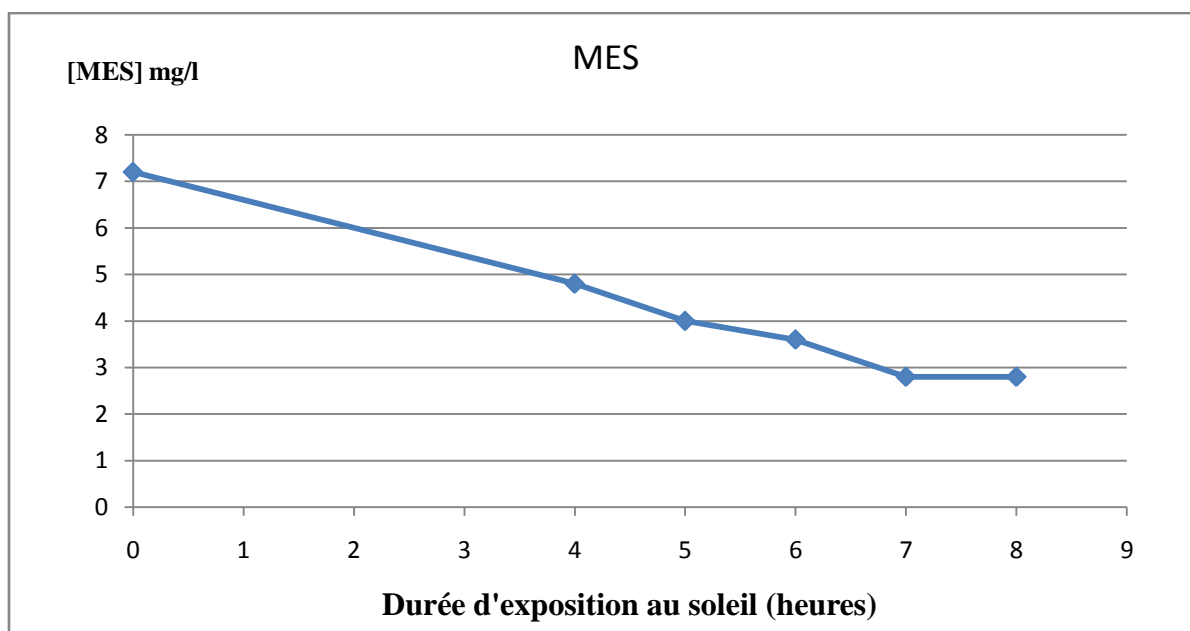


Figure V.18 : Evolution des teneurs de matière en suspension en fonction de la durée d'exposition au soleil.

Au cours de notre expérimentation, nous avons remarqué une diminution des matières en suspension. Etant donné ces dernières contiennent une portion des matières organiques, donc ce résultat serait également provoqué par la minéralisation bactérienne et la photolyse de ces matières. Ce résultat est confirmé par la mesure des pourcentages des matières organiques par rapport aux matières en suspension qui sont représentés par la figure suivante :

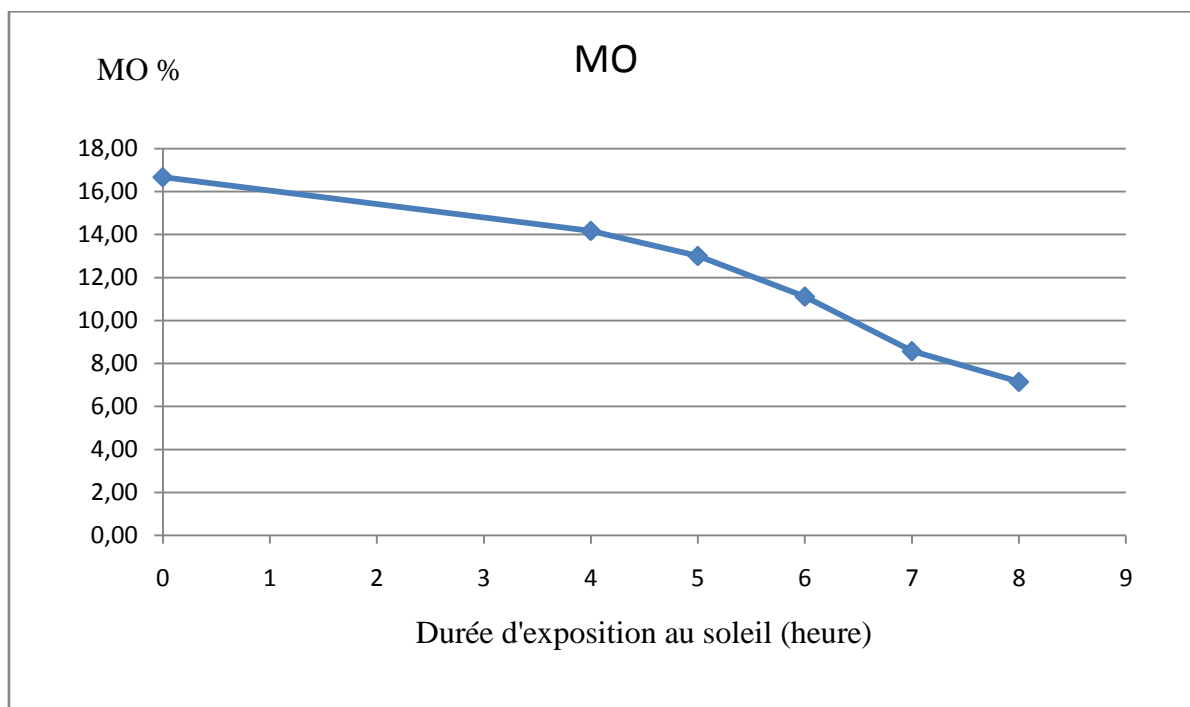


Figure V.19 : Evolution des pourcentages de la matière organique en fonction de la durée d'exposition au soleil.

Nous avons remarqué que les eaux épurées de la STEP de Tipaza sont pauvres en matière organique du au bon fonctionnement du bassin d'aération en oxydant les matières organiques par la biomasse épuratrice.

A partir de cette figure nous remarquons que les pourcentages des matières organiques, ont subi une diminution au cours du temps. Cela s'expliquerait par la minéralisation de cette matière composée, par la population bactérienne et par le phénomène de photodégradation induit sous l'effet du rayonnement solaire.

En effet, L'absorption du rayonnement solaire par la matière organique dissoute, les nitrates et d'autres composés présents dans l'eau peut générer une grande variété d'espèces chimiques hautement réactives. Il y a plus de vingt ans, des techniques ont été mises au point pour détecter dans l'eau deux de ces espèces réactives, le radical hydroxyle et l'oxygène singulet. Le radical hydroxyle réagit de manière très efficace avec la quasi-totalité des substances organiques [40].

V.1.7.5. Effet de SODIS sur la chlorophylle *a* :

Les valeurs des concentrations de la chlorophylle « *a* » reflètent indirectement la présence des végétaux chlorophylliens contenus dans les eaux traitées, notamment le phytoplancton et les microalgues. Les résultats obtenus lors de la désinfection SODIS, utilisant le photoréacteur, sont représentés dans le graphe suivant :

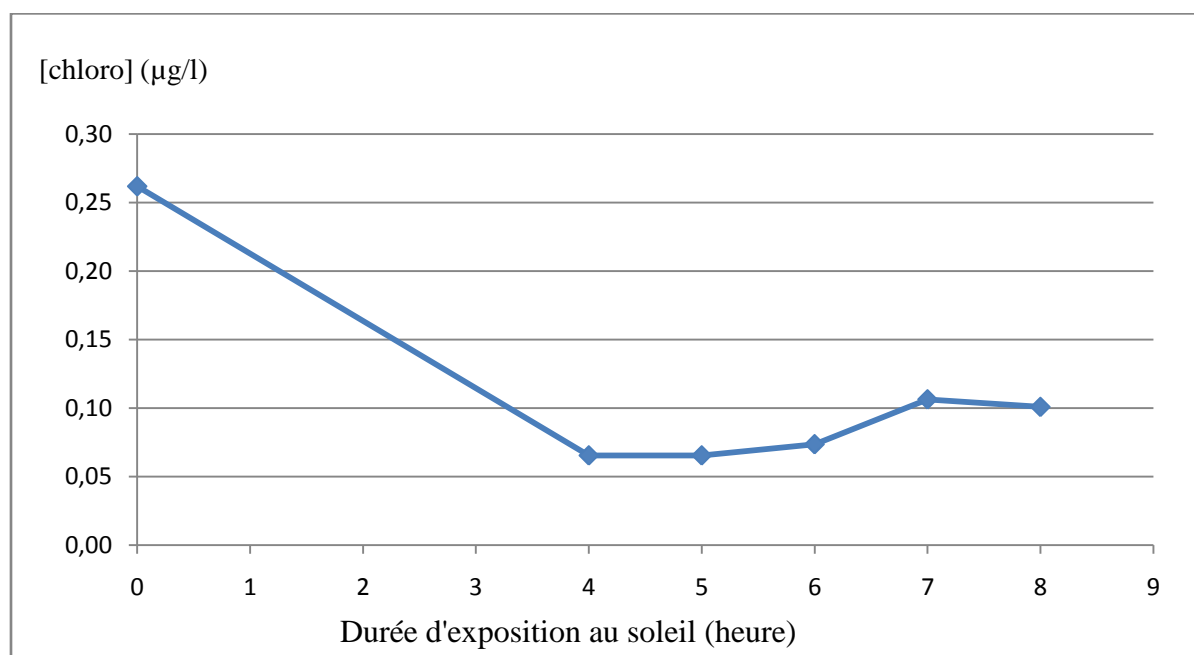


Figure V.20 : Evolution des teneurs de la chlorophylle « *a* » en fonction de la durée d'exposition au soleil.

A partir de ce graphe, nous remarquons une forte diminution de la concentration en chlorophylle « *a* » après quatre heures d'exposition au soleil. Cela peut s'expliquer par une forte consommation de ces végétaux par les différents prédateurs qui se trouvent dans nos

échantillons (eau épurée). Au cours de cette période, leur taux d'élimination par prédation serait supérieur à celui de leur reproduction.

A partir de cinq heures d'exposition au soleil, les teneurs en chlorophylle « a » commencent à augmenter de nouveau. Cet accroissement pourrait s'expliquer par une tendance inverse aux premières quatre heures de radiation. C'est-à-dire que la réduction de la prédation, provoquée par la photodégradation des prédateurs, au dépend de l'abondance de l'activité photosynthétique et de la reproduction des végétaux chlorophylliens. Mais cette augmentation n'est pas continue dans le temps puisqu'après sept heures d'exposition, cette évolution diminue sans doute à cause de l'épuisement des sels nutritifs et de la matière organique de l'eau traitée.

Les résultats de ces analyses nous laisseraient croire que le rayonnement solaire n'a pas d'effet néfaste sur le phytoplancton et les microalgues.

Conclusion

et

Conclusion
perspective
perspective

Conclusion

L'objectif du présent travail est de proposer une technique de désinfection des eaux épurées qui pourrait éventuellement s'insérer comme traitement tertiaire au niveau de la STEP de Tipaza.

En effet, le procédé d'épuration par boues activées, mis en place au niveau de cette station, ne prévoit pas de traitement tertiaire pour la désinfection des eaux usées épurées. En outre, le rejet de ces eaux dans l'oued Nador (qui est lui-même très pollué), puis au niveau de la baie de Chenoua présenterait un risque potentiel de santé publique. Egalement, la réutilisation de ces eaux épurées pour l'irrigation, prévue par l'état algérien, nécessiterait la désinfection de ces eaux avant leur valorisation. Le statut de cette station, certifiée ISO 14001 version 2004, nous a orienté vers la proposition de la désinfection solaire à travers l'utilisation de deux techniques : SODIS et Photocatalyse.

Les expérimentations que nous avons mené à l'Unité de Développement des Équipements Solaires (UDES) à Bou-Ismaïl et les analyses que nous avons effectués à l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'aménagement du Littoral (ENSSMAL), nous ont permis de conclure, sous réserve, ce qui suit :

D'une manière générale, les résultats que nous avons obtenus confirment l'effet bactéricide des rayonnements solaires ; ce qui concorde avec la bibliographie consultée. Cela est particulièrement relatif à l'abattement des indicateurs de contamination fécale et des pathogènes qui les accompagnent.

S'agissant de l'efficacité de la technique SODIS lors de la première expérimentation, nous avons relevé que l'exposition au soleil de l'eau épurée nécessite une durée comprise entre six et sept heures ; cela pour atteindre un taux d'abattement de 80% des germes étudiés. Néanmoins, pour atteindre ce rendement, les staphylocoques ont nécessité une durée d'exposition plus importante (8 heures). Nous pouvons expliquer cela par la présence de certaines espèces plus résistantes et capable de photoréactivité.

Ce premier résultat a été significativement amélioré lors de la combinaison des deux facteurs d'efficacité de la désinfection solaire retenus : le rayonnement solaire et le chauffage de l'eau à traiter.

Les meilleurs résultats enregistrant des taux d'abattement de 100% pour les streptocoques fécaux, les coliformes fécaux ainsi que les levures et moisissures sont obtenus avec une température de chauffage de 50°C et une durée d'exposition solaire de six heures. Par ailleurs, le taux d'abattement des staphylocoques et des coliformes totaux n'augmente considérablement qu'à partir des températures de chauffage comprises entre 50 et 60°C pour enregistrer des taux d'abattement respectifs de 81% et 95%. L'élévation de la température de l'eau améliore l'efficacité de la désinfection solaire.

Des résultats de nos expérimentations (SODIS avec ou sans élévation de température), il ressort que les sulfitoréducteurs semblent plus résistants à l'action de la radiation solaire par rapport aux autres microorganismes. Ce comportement s'expliquerait par leur forme sporulée qui leur confère une plus importante résistance par rapport aux autres germes étudiés.

Quant à l'évaluation de l'efficacité de la technique SODIS par comparaison à la photocatalyse utilisant le TiO_2 à une concentration de 1,5 gramme par litre, a révélé que la photocatalyse a permis d'obtenir des abattements de 100% pour les staphylocoques, les levures et moisissures, 99% pour les streptocoques fécaux et 98% pour les sulfitoréducteurs. Elle est donc plus avantageuse que la technique SODIS qui n'a permis d'atteindre que 86% d'abattement des staphylocoques, 88% des levures et moisissures, 98% des streptocoques fécaux et 85% des sulfitoréducteurs. Cependant, une élimination totale des coliformes a été obtenue par les deux techniques.

Néanmoins, il est à signaler qu'après la prise en compte des facteurs techniques et financiers, SODIS serait plus avantageuse pour l'amélioration de la qualité microbiologique des eaux usées épurées.

Pour évaluer l'efficacité de la technique SODIS à grande échelle, nous avons expérimenté un photoréacteur plan de 50 litres, réalisé à l'UDES. Les résultats obtenus ont révélé également l'efficacité de la technique qui a permis d'atteindre un taux d'abattement de 85% des germes étudiés après une durée d'exposition solaire de sept heures. La forme du réacteur et son inclinaison à 35° seraient à l'origine de ses performances.

A l'avenir il serait intéressant de :

- ✚ Pousser les analyses microbiologiques pour confirmer l'efficacité de cette technique de désinfection et prendre en considération la résistance des parasites, des coliphages et des virus vis-à-vis de ce traitement,
- ✚ Etudier les paramètres qui influent sur l'efficacité de cette méthode telle que l'oxygène dissous, le pH...
- ✚ Utiliser le rayonnement artificiel à travers des lampes Ultra-violettes pour la réduction de la durée de traitement. En effet, ces équipements fonctionnent par énergie solaire photovoltaïque ; ce qui permet d'augmenter l'efficacité de la désinfection au cours des journées à ciel couvert au cours de la période nocturne moyennant l'utilisation des batteries solaires.

Références

bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] : **KOLLER E.** Traitement des pollutions industrielles Eau, Air, Déchets, Sols, Boues,21,22,23,52 ,58,78,79,84 et 85p.
- [2] : **GAUJOUS D ., 1995.**La pollution des milieux aquatiques, 2^{ème} édition revue, édition Lavoisier Tec et doc Paris, 16,17,18,19 et 110p.
- [3] : **RODIER J., Chambon P., Champsaur H., et Rodi L ., 2005 .** Analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaire, eaux de mer. DUNOD.8^{ème} édition, Paris, 1383 p.
- [4] : **AMINOT A. et CHAUSSEPIED M., 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre National pour l'Exploitation des Océans, Brest, France. 396 p.
- [5] : **RODIER J., BAZIN C., CHABON P., BROUTIN J.P., CHAMPSAUR H., RODI L., 1996.** Analyse de l'eau, l'eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer, DUNOD.8^{ème} édition, paris.
- [6] : **GOMELLA C. et GUERREE H., 1978.** Le traitement des eaux publiques industrielles et privées, édition Eyrolles Paris.
- [7] : **MESSAOUD-NACER.S 2003.** Suivis de la qualité des eaux et des sols dans le cadre du développement durable de la région de REGHAIA.
- [8] : **Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec, 2005.a.** Recherche et dénombrement des coliformes fécaux (thermotolérants) et confirmation à l'espèce Escherichia coli : méthode par filtration sur membrane. MA. 700-col 1.0, Rév .2, Ministère du développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 20 p.
- [9] : **Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec, 2005.b.** Recherche et dénombrement des coliformes fécaux (thermotolérants) et confirmation à l'espèce Escherichia coli : méthode par filtration sur membrane. MA. 700-Fec. Ec. 1.0, Rév .2, Ministère du développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 20 p.
- [10] : **Leclerc H., Gaillard J.L. et, Simonet M., 1995.**Microbiologie générale : La bactérie et le monde bactérien. Ed. Doin.
- [11] : **Bourgeois C.M., 1990.**Microbiologie alimentaire : Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaire (Tome D).Ed. Technique & documentation, Lavoisier, Paris. 422 p.
- [12] : **Singleton P. et Sainsbury D., 1984.** Bactériologies. Ed MASSON.
- [13] : **Brisou J.F., Denis F.A., 1980.**Technique de surveillance de l'environnement maritime. Ed Masson, 206 p.
- [14] : **Journal officiel de la république algérienne, 1993.** Principaux critères de qualité des eaux de baignade. Extrait de l'annexe 1 du décret n° 93-164 du 10 juillet 1993.

[15] : **Journal officiel de la république algérienne., 2006.** Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels N°26 : 24Rabie Elaouel 427 23avril 2006.

[16] : **F.VALIRON., 1983.** La réutilisation des eaux usées, Edition technique et documentaire laisisier53, 85, 105, 131, 155,165 et 169p.

[17] : **PNUE/OMS, 1977.**Recommandation pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicole. Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, Copenhague, 168 p.

[18] : **Rapport SANDEC., 2005.** (Département Eau et assainissement dans les pays en développement) No 12/ 05 à l'EAWAG (Institut fédéral suisse pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux).

[19]: **SIMON.J. C., DAUBY.B.et NONET.S., 2008.** Evaluation de l'efficacité de l'oxydation avancée par photocatalyse hétérogène UV/TiO₂ sur un effluent industriel contaminé par des composés organiques non biodégradables (colorants). Revue Scientifique des ISILF n°22.

[20] : **O.N.A** (Office National de l'Assainissement).

[21] : Manuel d'exploitation de la STEP de Tipaza.

[22] : **J.P BECHAC, P.BOUTIN, B.MERCIER, P.NUER.,1984.** « Traitement des eaux usées » édition Eyrolles.

[23] : **Hart T. et Shears P., 1999.** Atlas de poche de microbiologie. Ed. Flammarion, Paris, 313 p.

[24] : **Ramade F., 1992.** Précis d'écotoxicologie. Ed. Masson, Paris, 300 p.

[25] : **Gérard J. T., Berdell R. F. et, Christine L. C., 2003.** Introduction à la microbiologie. Ed.ERPI, Québec, Canada, 945 p.

[26] : **Aminot A. et Chaussepied M., 1983.** Manuel des analyses chimique en milieu marin. Centre National pour l'Exploitation des Océans, Brest, France, 396 p.

[27] : **DESJARDINS R., 1990.** Le traitement des eaux, 2^{ème} édition revue édition de l'école polytechnique de Montréal 1,2 et 71p.

[28] : **LE LAGUNAGE ECOLOGIQUE.** globenet.org/preceup/fr/docsfr/michelguy.rtf

[29]: **Reed R.H., 1997.** Solar inactivation of faecal bacteria in water: the critical role of oxygen, Letters in Applied Microbiology, 24.

[30]: **Acra A., Raffoul Z., Karahagopian Y. 1984.** Solar Disinfectionof Drinking Water and Oral Rehydration Solutions, UNICEF (extract).

- [31]: **Acra A., Jurdi M., Mu'Allem H., Karahagopian Y., Raffoul Z. 1990.** Water Disinfection by Solar Radiation, Assessment and Application, Technical Study 66e, IDRC (extract).
- [32]: **Lawand T.A., Alward R., Odeyemi O., Hahn J., Kandpal T.C., Ayoub J. 1988.** Solar Water Disinfection, Proceedings of a Workshop held at the Brace Research Institute, Montreal, Que., Canada, 15 - 17 August 1988 (extract).
- [33]: **Jemli M., Alouini Z., Sabbahi S and Gueddari M. 2002.** Destruction of fecal bacteria in wastewater by three photosensitizers. *Journal of Environmental Monitoring*.4 (4):511-516.
- [34]: **Jori G. and Barown S.B. 2004.** Photosensitised inactivation of microorganisms. *Photochemical and photobiological Sciences* 3(5) 403-405.
- [35]: **S.IGOUD, W. TAANE et H. BENDJEBBAS, 2011** – Etude et réalisation d'un photoréacteur plan pour l'étude de la désinfection solaire. Rapport technique interne, UDES.
- [36]: **Paterson C. and Curtis T., 2005.** Physical and chemical environment. In *Pond treatment technology*. Shilton A(ED). IWA publishing, London, UK, 49-65.
- [37]: **Davies-Colley R.J., Donnison A.M. and Speed D.J., 1997.** Sunlight wavelengths inactivating fecal indicator microorganisms in waste stabilization ponds. *Water sciences and technology* 35, 11/ 12, 219- 225.
- [38]: **RINCON BENAVIDES A.-G., 2005.** Solar disinfection of water by photocatalytic processes. Physico-chemical and biological aspects, these de doctorat, EPFL, Lausanne.
- [39]: **Kashimada K., Kamiko K., Yamamoto K. and Ohgaki S., 1996.** Assessment of photoreactivation following ultraviolet light disinfection, *Water Science and Technology*, 33, 10-11, 261-269.
- [40]: **Silvio Canonica., Jannis Wenk et Hans-Ulrich Laubscher Eawag, News 66f/Août 2009.** Matière organique, lumière et dégradation des polluants 01-02.
- [41]: **Janex M. L., Savoye P., Do-Quang Z., Blatchley III E. and Laine J. M. 1998.** Impact of water quality and reactor hydrodynamics on wastewater disinfection by UV use of CFD modelling for performance optimization. *Wat. Sci. Tech.* 38, 6, 71-78.

Les annexes

Annexe I

Mode opératoire pour la mesure des (MES)

Principe de la méthode de mesure

La méthode consiste à filtrer l'eau de mer sur des membranes filtrantes afin de retenir les particules de taille supérieure à $0.45\mu\text{m}$ la membrane est séchée et pesée avant et après filtration.

La différence de poids permet de connaître la masse sèche totale de matières en suspension dans le volume filtré correspondant.

Echantillonnage:

L'eau est prélevée dans des flacons de 225ml en verre stérilisée au préalable à l'étuve à 120°C pendant 15 minutes

Préparation du matériel

Les filtres utilisés sont des GE/C Wattman, ils sont manipulés avec des pinces non oxydables.

Les filtres pesés sont placés à plat dans des boîtes individuelles avec couvercle.

Les boîtes sont numérotées

On pèse chaque filtre: ce poids est noté P_1 .

Filtration:

- Homogénéiser l'échantillon: on doit agiter le flacon de prélèvement par plusieurs retournements successifs pour homogénéiser les particules en suspension et éviter la décantation.
- Mesurer le volume à filtrer ($V = 100 \text{ ml}$).
- Placer un filtre bien centré dans le dispositif de filtration.
- Verser l'échantillon sur le filtre et appliquer le vide sans créer de dépression pour filtrer progressivement tout le volume mesuré.
- Supprimer l'aspiration dès que le filtre est à sec et verser alors 5 à 10 ml d'eau distillée sur le filtre et aspirer à nouveau.
- Retirer l'entonnoir de filtration et, sous aspiration, rincer avec soin la couronne du filtre à l'aide d'une pissette d'eau distillée.
- Supprimer l'aspiration et remettre chaque filtre dans la boîte correspondante.

Séchage et pesée des filtres

- Mettre les boîtes contenant les filtres, sans le couvercle à l'étuve à 70°C pendant 2 heures.
- Laisser refroidir au dessiccateur et n'en sortir les filtres que juste avant la pesée,
- Peser chaque filtre : ce poids est noté P_2 .

Calcul et expressions des résultats

La concentration des matières en suspension (MES) est donnée par l'expression suivante :

$$[\text{M.E.S}](\text{mg/l}) = (P_1 - P_2) / V$$

P_1 = poids du filtre avant filtration (en mg),

P_2 = poids du filtre après filtration (en mg),

V = volume filtré (en l).

Dosage des sels nutritifs

Dosage de l'ammonium

I. Réactifs

a. Solution tampon**Produits chimiques exigés :**

Tartrate de potassium et de sodium	
$C_4H_4O_6KNa \cdot 4H_2O$	33 g.
Citrate de sodium $C_6H_5O_7Na_3 \cdot 2H_2O$	24 g.
Acide sulfurique H_2SO_4 (1N).....	x ml.
Eau distillée H_2O	1000 ml.
Brij 35 (30 %).....	2 ml.

Préparation

Dissoudre le tartrate de potassium et de sodium dans \pm 800 ml d'eau distillée. Ajouter le citrate de sodium et dissoudre. Ajuster le pH à 5 avec la solution d'acide sulfurique. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le Brij 35 et mélanger.

Note :

La solution est stable pendant 1 semaine. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

b. Solution de phénol**Produits chimiques exigés :**

Phénol C_6H_5OH	6g.
Hydroxyde de sodium $NaOH$	40 g.
Eau distillée H_2O	1000 ml.

Préparation

Dissoudre le phénol dans \pm 50 ml d'eau distillée. Ajouter l'hydroxyde de sodium. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 1 semaine.

c. Solution d'hypochlorite de sodium**Produits chimiques exigés :**

Solution d'hypochlorite de sodium $NaClO$	
(13 % de chlore actif).....	200 ml.
Eau distillée H_2O	800 ml.

Préparation

Diluer la solution d'hypochlorite de sodium dans \pm 700 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

d. Solution de nitroprussiate de sodium**Produits chimiques exigés :**

Nitroprussiate de sodium $Na_2[Fe(CN)_5NO] \cdot 2H_2O$	0,5 g.
Eau distillée H_2O	1000 ml.

Préparation

Dissoudre le nitroprussiate de sodium dans \pm 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

Note :

Conserver dans une bouteille à couleur sombre.

La solution est stable pendant 1 semaine.

Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

e. Liquide de rinçage :Eau fraîchement distillée H₂O.**II. Préparation des solutions étalons****a. Solution mère de 100 ppm N (*)****Produits chimiques exigés :**

Chlorure d'ammonium NH₄Cl.....0,3819 g.
 Eau distillée H₂O.....1000 ml.

Préparation

Dissoudre le chlorure d'ammonium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 1 mois. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

b. Solution fille de 10 ppm N

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm N dans 100 ml d'eau distillée.

Note : Préparer la solution fille à 10 ppm Si chaque semaine et les standards chaque jour.

(*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en µmoles/l de NH₄⁺.

Dosage des nitrites + nitrates :**I. Réactifs :****a. Solution tampon :**

Chlorure d'ammonium NH₄Cl50 g.
 Solution d'ammonium NH₄OH (25%).....±1 ml.
 Hydroxyde de sodium NaOH.....5g.
 Eau distillée H₂O.....1000 ml.
 Bridj 35 (30%).....3 ml.

Préparation :

Dissoudre le chlorure d'ammonium dans 800 ml d'eau distillée. Ajuster le ph 8,2 avec la solution d'ammonium. Ajouter l'hydroxyde de sodium et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée, ajouter le Bridj 35 et mélanger.

Note : La solution est stable pendant une semaine. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

b. Réactifs colorants :**Produits chimiques exigés :**

Acide o-phosphorique H₃PO₄ (85%).....50 ml.
 Sulfanilamide C₆H₈N₂O₂S.....10 g.
 α-Naphtyléthylène diamine dihydrochloride C₁₂H₁₆Cl₂N₂.....0,5g.
 Eau distillée H₂O.....850 ml.

Préparation :

Diluer l'acide o-phosphorique H₃PO₄ dans ± 750 ml d'eau distillée. Ajouter le Sulfanilamide C₆H₈N₂O₂S et le α-Naphtyléthylène diamine dihydrochloride C₁₂H₁₆Cl₂N₂ et dissoudre. Ajouter 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

Note : La solution est stable pendant deux semaines. Conserver dans une bouteille à couleur sombre.

c. Liquide de rinçage :

Eau fraîchement distillée H₂O (régénérée chaque semaine).

II. Préparation des solution étalons :

a. Solution mère de 100 ppm N (*) :

Produits chimiques exigés :

Nitrate de sodium NaNO₃.....0,6068g.
Eau distillée H₂O.....1000 ml.

Préparation :

Dissoudre le nitrate de sodium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

b. Solution fille de 10 ppm N :

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm N dans 100 ml d'eau distillée.

Note : préparer la solution fille à 10 ppm chaque semaine et les standard chaque jour.

(*) : les concentration des solution étalons sont transformées en µmoles/l de N-NO₃⁻ ou de N-NO₂⁻ puis en µmoles/l de NO₃⁻ ou de NO₂⁻.

III. Préparation de la colonne réductrice :

a. Solution d'acide chlorhydrique (4N) :

Produits chimiques exigés :

Acide chlorhydrique HCl (32%).....400 ml.
Eau distillée H₂O.....600 ml.

Préparation : diluer l'acide chlorhydrique dans 600 ml d'eau distillée.

b. Cadmium :

Produits chimiques exigés :

Granule de cadmium taille 0,3-1 mm (tamisé).....2,5g.

Procédure de remplissage :

- 1- Les granules de cadmium sont mélangées avec ± 30 ml de la solution d'acide chlorhydrique (4N).
- 2- Agiter pendant une minute.
- 3- Ajouter environ 50 ml de solution de sulfate de cuivre et agiter pendant 5 minutes.
- 4- Laver la saleté entre les granules avec l'eau distillée.
- 5- Sécher les granules de cadmium.
- 6- Ajouter, à l'aide d'un entonnoir, les granules dans une colonne sèche, en secouant de temps en temps pour emballer la colonne de deux côtés.
- 7- Remplir jusqu'à ± 5 mm du sommet.

- 8- Placer un petit morceau de tube en polyéthylène, dans la colonne pour éviter que les granules ne sortent de la colonne.
- 9- Remplir la colonne, à l'aide d'une seringue contenant la solution tampon (réactif a préparé précédemment).
- 10- Placer la colonne dans le système.

Note : Eviter que l'air entre dans la colonne.

Les granules de cadmium activés peuvent être stockés sec, dans une bouteille bien fermée.

Dosage des orthophosphates :

I. Réactifs

a. Solution de molybdate d'ammonium :

Produits chimiques exigés :

Tartrate de potassium et d'antimoine	
$K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 5H_2O$	230 mg.
Acide sulfurique H_2SO_4 (97%).....	69,4 ml.
Molybdate d'ammonium $(NH_4^+)6Mo_7O_{24} \cdot H_2O$	6 g.
Eau distillée H_2O	1000 ml.
FFD6.....	2 ml.

Préparation :

Dissoudre le tartrate de potassium et d'antimoine dans \pm 800 ml d'eau distillée. Ajouter soigneusement l'acide sulfurique en mélangeant constamment. Ajouter le molybdate d'ammonium et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

Note :

Ne pas employer de cuillères en métal pour le molybdate d'ammonium. La sensibilité peut être augmentée de 50 % en employant 35 ml d'acide sulfurique concentré au lieu de 69,4 ml. Avec 35 ml l'interférence des silicates est 10 % pour 300 ppb Si et 10 % pour 10 ppb P.

Le pH final doit être inférieur à 1. La solution est stable pendant 5 jours. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

b. Solution d'acide ascorbique

Produits chimiques exigés :

Acide ascorbique $C_6H_8O_6$	6g.
Acétone $C_3H_6O_8$	60 ml.
Eau distillée H_2O	1000 ml.
FFD6.....	2 ml.

Préparation

Dissoudre l'acide ascorbique dans \pm 800 ml d'eau distillée. Ajouter l'acétone. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 5 jours. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

c. Liquide de rinçage

Eau fraîchement distillée H_2O (régénérée chaque semaine).

II. Préparation des solutions étalons

a. Solution mère de 100 ppm P (*)

Produits chimiques exigés :

Dihydrogène o-phosphate de potassium KH_2PO_40,4394 g.

Eau distillée H_2O1000 ml.

Préparation

Dissoudre le dihydrogène o-phosphate de potassium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

2-2- Solution fille de 10 ppm P

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm P dans 100 ml d'eau distillée.

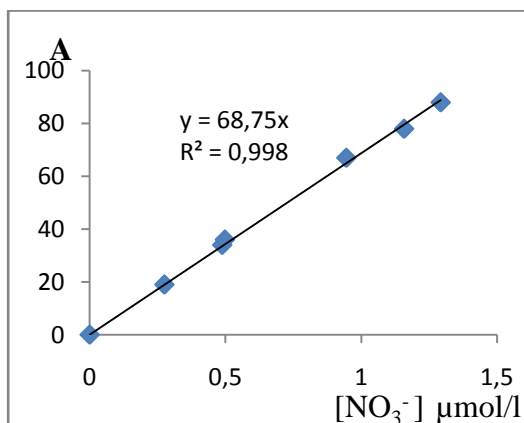
Note : Préparer la solution fille à 10 ppm P chaque semaine et les standards chaque jour.

(*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en $\mu\text{moles/l}$ de PO_4^- .

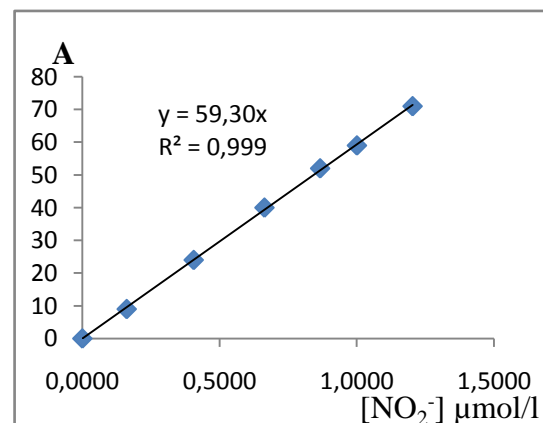


Figure 01: Auto-analyser SAN Plus Système de marque SKALAR, 1998.

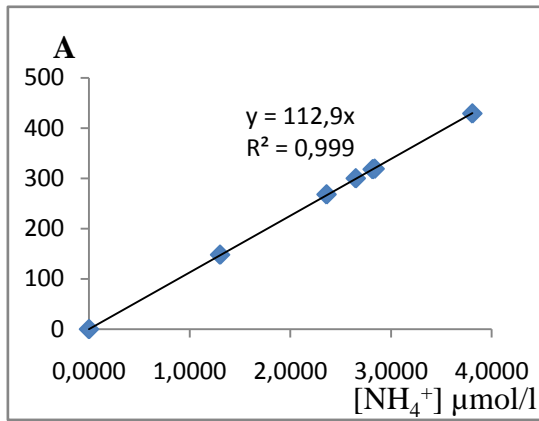
❖ Les courbes d'étalonnage



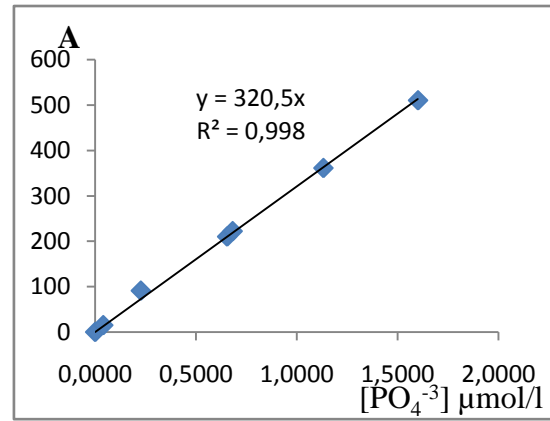
Courbe d'étalonnage pour les nitrates



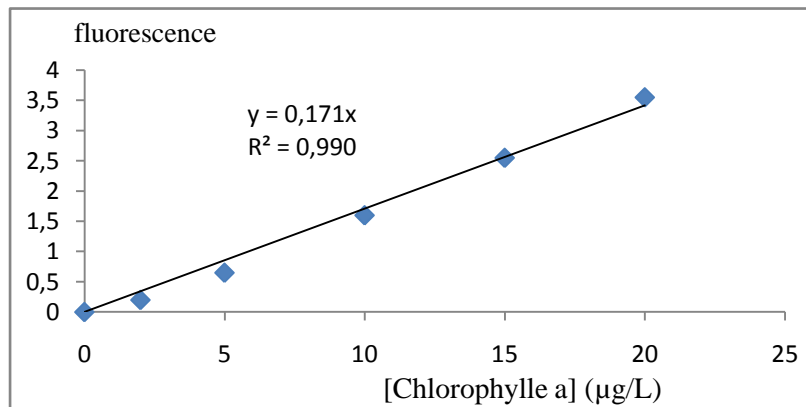
Courbe d'étalonnage pour les nitrites



Courbe d'étalonnage pour l'ammonium



Courbe d'étalonnage pour le phosphate



Courbe d'étalonnage pour la chlorophylle.

Annexe II

La composition des milieux de culture utilisés

◆ Milieu de Baird Parker

Composition	Quantité (g/L)
Hydrolysate trypsique de caséine	10
Extrait de viande de bœuf	5
Extrait de levure	1
Pyruvate de sodium	10
Chlorure de lithium	5
Glycocolle	12
Agar	20

PH : 6.8, autoclaver à 120 C° pendant 15minutes.

◆ Bouillon au Sélénite de sodium :

Composition	Quantité (g/L)
Peptone bactériologique	5
Phosphate de sodium	10
Lactose	4

- Stériliser au bain –Marie bouillant ou à la vapeur pendant 10 minutes.
- Ne pas autoclaver

◆ **Gélose Chapman**

Composition	Quantité (g/l)
Extrait de viande de bœuf	1
Peptone de caséine et de viande	10
Chlorure de sodium	75
D Mannitol	10
Agar	15
Rouge de phénol	0,025

- PH : 7,5
- Stérilisation à l'autoclave : 15 minutes à 121°C.

◆ **Milieu de Slanetz et Bartley**

Composition chimique	Quantité (g/l)
Tryptone	20
Extrait de levure	5
Glucose	2
Monohydrophosphate de potassium (K ₂ HPO ₄)	4
Azide de sodium	0,4
Chlorure de triphényltétrazolium (TTC)	0,05
Agar	10

- PH : 7,2±0,2
- Ne pas autoclave, ne pas refondre.

◆ **Gélose viande-foie**

Composition	Quantité (g/L)
Base viande-foie	30
Glucose	2
Amidon	2
Sulfite de sodium	1
Citrate de fer ammoniacal	0,5
Agar	11

- pH : 7,6±0,2
- Stérilisation à l'autoclave : 121°C pendant 15 minutes.

◆ **Eau peptonée salée alcaline (EPA)**

Composition	Quantité (g/l)
Peptone	40
NaCl	60

- pH : 8,6
- Stérilisation à l'autoclave : 15 minutes à 121°C.

♦ **Gélose thiosulfate-citrate-bile-saccharose (TCBS)**

Composition	Quantité (g/l)
Peptone	10
Extrait de levure	5
Citrate de sodium	10
Chlorure de sodium	10
Thiosulfate de sodium	10
Bile de bœuf	8
Citrate de fer	1
Saccharose	20
Bleu de bromothymol	0,04
Bleu de thymol	0,04
Agar	14

- PH: 8,6 ±0,2.
- Stérilisation à l'autoclave : 121°C pendant 15 minutes.

♦ **Bile-Esculine-Azide (BEA)**

Composition	Quantité (g/l)
Tryptone	17
Peptone	3
Extrait de levure	5
Bile de boeuf déshydratée	10
Chlorure de sodium	5
Esculine	1
Citrate de fer et d'ammonium	0,5
Azoture de sodium ou azide de sodium	0,15
Agar	15

- pH : 7,1±0,2
- Stérilisation à l'autoclave : 15 minutes à 120°C.

♦ **Gélose lactosée au TTC et au Tergitol**

Composition	Quantité (g/l)
Peptone	10
Extrait de levure	6
Extrait de viande	5
Lactose	20
Bleu de bromothymol	0,05
Agar	12,75

- pH : 7,2±0,2
- Stérilisation à l'autoclave : 15 minutes à 115±1°C.

♦ **Gélose Salmonelles-Shigelles (SS) :**

Composition	Quantité (g/l)
Peptone	5
Extrait de viande de bœuf	5
Sels biliaires	4,2
Citrate de sodium	10
Citrate de fer	2
Lactose	10
Rouge neutre	0,025
Vert brillant	0,3 (mg)
Thiosulfate de sodium	8,5
Agar	12

- pH : 7,3±0,2 à 25°C.
- Ne pas autoclaver.

♦ **Bouillon au sélénite de sodium (SFB) :**

Composition	Quantité (g/l)
Peptone de viande	5
Lactose	4
Sélénite de sodium	4
Phosphate dipotassique	3,5
Phosphate monopotassique	6,5

- pH : 7,0±0,2 à 25°C.
- Ne pas autoclaver.

♦ **Gélose Hektoen :**

Composition	Quantité (g/l)
Peptone de viande	12
Extrait de levure	3
Sels biliaires	9
Lactose	12
Saccharose	12
Salicine	2
Chlorure de sodium	5
Hyposulfite de sodium	5
Citrate de fer ammoniacal	1,5
Bleu de bromothymol	0,064
Fuchsine acide	0,04
Agar	13,5

- pH : 7,6
- Ne pas autoclaver.

♦ **Bouillon lactosé bilié au vert brillant (BLBVB)**

Composition	Quantité (g/l)
Peptone	10
Lactose	10
Bile	20
Vert brillant	0,013

- pH : 7,4.
- Autoclaver à 121°C pendant 15minutes.

♦ **Gélose de Sabouraud**

Composition	Quantité (g/l)
Peptone Chapoteaut	10
Glucose mssé	20
Agar	15

- pH final = 6-6,3
- Autoclaver à 120°C pendant 20 minutes.

Tableau 1: Nombre le plus probable (NPP) dans le cas du système a trois tubes [13].

♦ **Table de Mc Grady**

Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules
000	0.1	201	1.4	302	6.5
001	0.3	202	2.0	310	4.5
010	0.3	210	1.5	311	7.5
011	0.6	211	2.0	312	11.5
020	0.6	212	3.0	313	16.0
100	0.4	220	2.0	320	9.5
101	0.7	221	3.0	321	15.0
102	1.1	222	3.5	322	20.0
110	0.7	223	4.0	323	30.0
111	1.1	230	3.0	330	25.0
120	1.1	231	3.5	331	45.0
121	1.5	232	4.0	332	110.0
130	1.6	300	2.5	333	140.0
200	0.9	301	4.0		

❖ Méthode d'Identification par galeries API

- Préparation de la galerie
 - mettre de l'eau distillée sur le fond de la boîte (partie alvéolée), toutes les alvéoles doivent être remplies, éliminer l'excès d'eau en renversant la boîte au dessus de l'évier.
 - Placer la galerie sur le fond de la boîte elle doit être manipulée avec la pince.
 - Recouvrir la boîte avec son couvercle.
 - Inscrire nom, référence souche, date et température d'incubation sur la languette latérale de la boîte.
- Préparation de l'inoculum
Réalisez une suspension de la souche à étudier. La suspension doit avoir une densité suffisante
- Inoculation de la galerie
 - remplir les cupules de suspension en évitant les bulles d'air.

Mode de remplissage :

Cupule vide	Cupules simples ex : GEL Remplir la partie inférieure	Cupules encadrées ex : CIT ; VP Remplir la cupule en entier	Cupules soulignées ex : <u>H₂S</u> Remplir la partie inférieure puis compléter avec de l'huile de vaseline
-------------	---	---	---

- Incubation

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures pour : Api 20 E, Api Staph et Api 20 Strep

- Lecture et Identification de la souche en utilisant le catalogue

🚩 Annexe III

Tableau 2: Résultats moyens des paramètres bactériologiques de l'expérimentation 01.

Durée d'exposition au soleil (heures)	T	5h	6h	7h	8h
Coliformes totaux (CT/100ml)	2300	1200	750	300	222
Coliformes fécaux (CF/100ml)	600	400	350	0	0
Staphylocoques (UFC/100ml)	150	60	48	44	30
Streptocoques fécaux (UFC/100ml)	110	4	4	1	0
Sulfitoréducteurs (spores/100ml)	900	650	610	150	120
Levures et moisissures (colonies/100ml)	24	10	6	4	4

T : Témoin.

Tableau 3: Résultats moyens des paramètres bactériologiques de l'expérimentation 02.

Température des échantillons (°C)	Eau épurée	25	40	50	60
Coliformes totaux (CT/100ml)	1600	420	350	80	20
Coliformes fécaux (CF/100ml)	800	560	320	0	0
Staphylocoques (UFC/100ml)	1090	40	14	6	0
Streptocoques fécaux (UFC/100ml)	150	15	0	0	0
Sulfitoréducteurs (spores/100ml)	600	520	488	120	96
Levures et moisissures (colonies/100ml)	20	8	6	0	0

Tableau 4: Résultats moyens des paramètres bactériologiques de l'expérimentation 03.

[TiO ₂] (g/l)	0	1	1.5	2
Coliformes totaux (CT/100ml)	1500	560	280	280
Coliformes fécaux (CF/100ml)	520	480	228	210
Staphylocoques (UFC/100ml)	94	14	2	2
Streptocoques fécaux (UFC/100ml)	72	0	0	0
Sulfitoréducteurs (spores/100ml)	180	40	0	0
Levure et moisissures (colonies/100ml)	15	8	0	0

Tableau 5: Résultats moyens des paramètres bactériologiques de l'expérimentation 04.

Méthode de désinfection	Eau épurée	SODIS	Photocatalyse
Coliformes totaux (CT/100ml)	4500	0	0
Coliformes fécaux (CF/100ml)	1200	0	0
Staphylocoques (UFC/100ml)	360	50	0
Streptocoques fécaux (UFC/100ml)	380	4	3
Sulfitoréducteurs (spores/100ml)	710	100	10
Levures et moisissures (colonies/100ml)	25	3	0

Tableau 6: Résultats des paramètres bactériologiques de l'expérimentation 05.

Durée d'exposition au soleil (heures)	Eau épurée	4h	5h	6h	7h	8h
Coliformes totaux (CT/100ml)	4500	40	0	0	0	0
Coliformes fécaux (CF/100ml)	1500	0	0	0	0	0
Staphylocoques (UFC/100ml)	150	110	80	54	14	0
Streptocoques fécaux (UFC/100ml)	390	50	14	2	0	0
Sulfitoréducteurs (spores/100ml)	650	360	270	80	70	40
Levures et moisissures (colonies/100ml)	28	16	12	8	2	0

✚ **Annexe IV** : Les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.

▪ **Tableau 07 : Paramètres microbiologiques :**

Groupes de cultures	Paramètres microbiologiques	
	Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs/l) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive Culture de produits pouvant être consommés crus.	<100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	<250	< 0,1
Arbres fruitiers ⁽¹⁾ Cultures et arbustes fourragers ⁽²⁾ Cultures céréalières Cultures industrielles ⁽³⁾ Arbres forestiers Plantes florales et ornementales ⁽⁴⁾.	Seuil recommandé <1000	<1
Les cultures du groupe C utilisant l'irrigation localisée ⁽⁵⁾	Pas de norme recommandée	Pas de norme recommandée

Source : O.N.A

(1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est à éviter.

(2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.

(3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.

(4) Une directive plus stricte (<200 coliforme fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légume.

A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrise la gestion de l'irrigation localisée et respecte les règles d'hygiène exigées. Aucunes populations alentour.

▪ **Tableau 08 : Paramètres physico-chimiques :**

PARAMÈTRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	PH	-	$6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = 0-3 CE	ds/m	0.2
			0.3
			0.5
			1.3
			3
6-12			
12-20			
20-40			
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	Chlorure (Cl)	meq/l	10
	Azote (NO3-N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO3)	meq/l	8.5
Eléments Toxique ^(*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

Source : O.N.A

▪ **Liste des cultures pouvant être irriguées avec les eaux usées épurées :**

Groupes de cultures pouvant être irriguées par les eaux usées épurées.	Liste des Cultures
Les arbres fruitiers ⁽¹⁾	dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, Rhubarbe, Arachides, Noix, Olive.
Les agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Les cultures fourragères ⁽²⁾	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce, et luzerne.
Culture industriel	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, Coton, le tabac, le lin.
Les cultures céréalières	Blé, orge, triticales et avoine.
Les cultures de production de semences	Pomme de terre, Haricot et Petit pois.
Les arbustes fourragers	l'Acacia et l'Atriplex.
Les plantes florales à sécher ou à usage industriel	le rosier, l'iris, le jasmin, la marjolaine et le romarin.

Source : O .N.A

(1) L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise puisque on peut cesser l'irrigation plusieurs jours avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.

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

- Projet de normes et guides techniques définissant les recommandations sur les eaux usées épurées et leurs différentes utilisations est en cours d'approbation par l'IANOR.
- En l'absence des normes Algériennes de la REUE → Obligation de se référer aux normes internationales l'OMS et la FAO, et particulièrement en ce qui concerne la qualité microbiologique des eaux épurées.

Annexe IV :

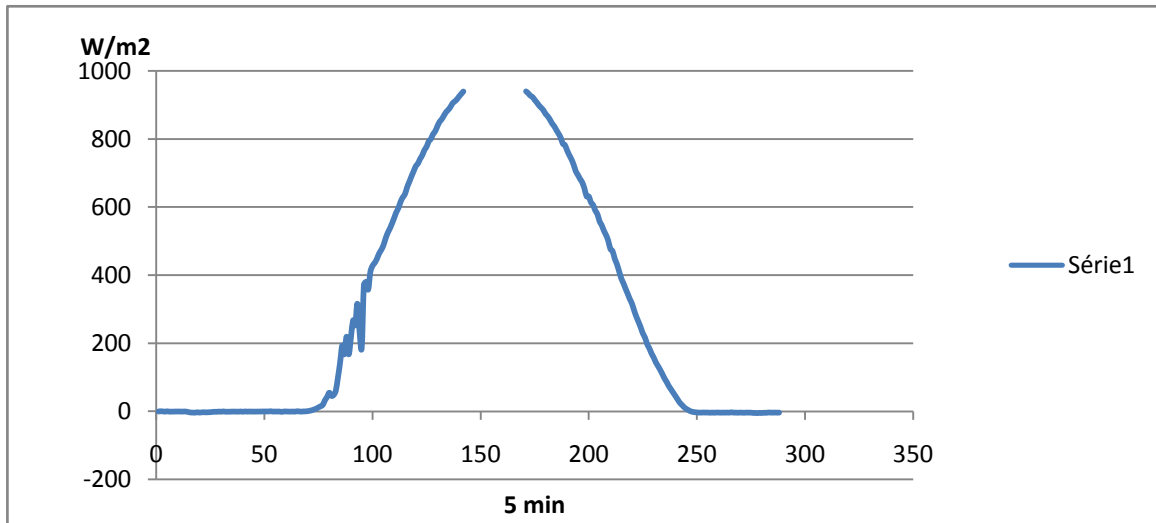


Figure 02 : Ensoleillement journalier de 14 Juin.

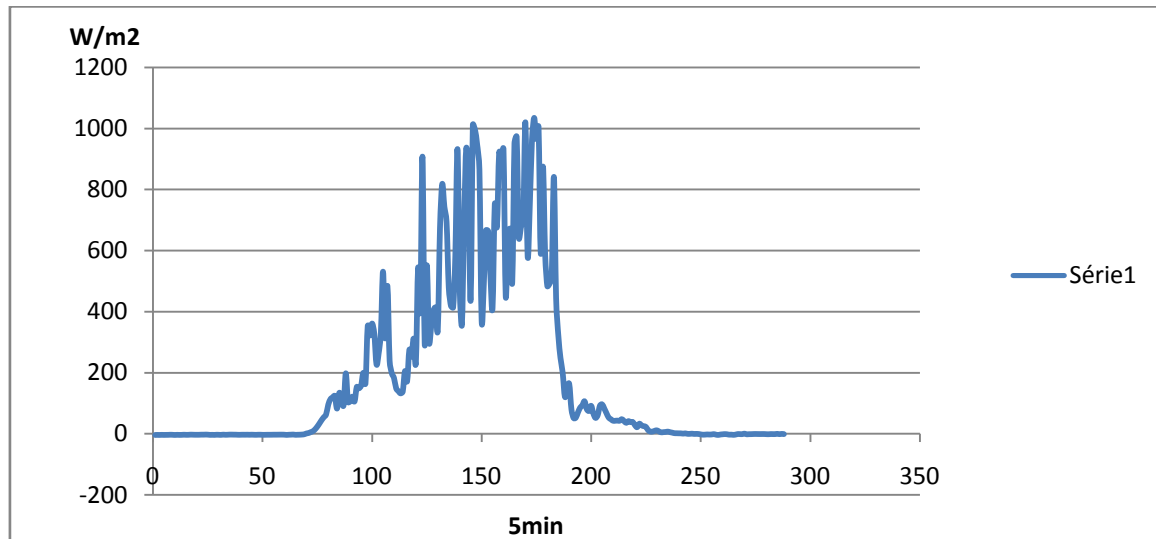


Figure 03 : Ensoleillement journalier de 05 Juin.

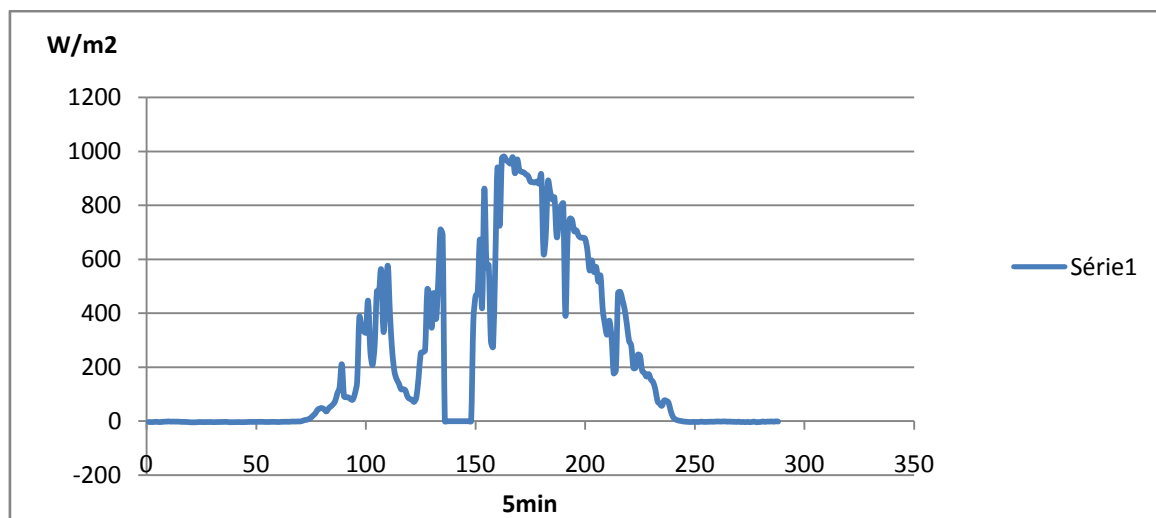


Figure 04 : Ensoleillement journalier de 29 Mai.

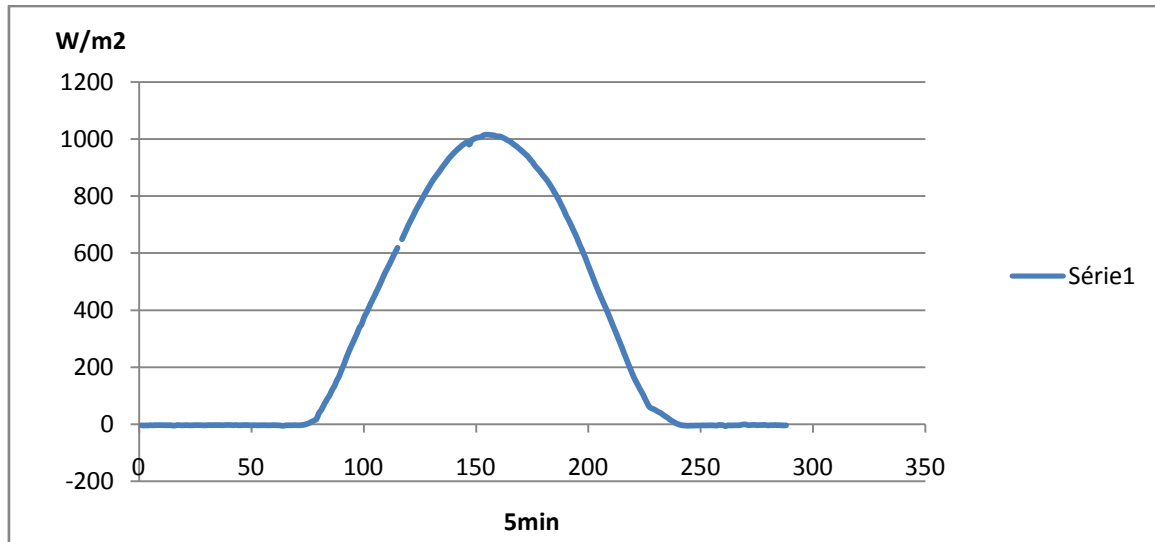


Figure 05 : Ensoleillement journalier de 08 Mai.

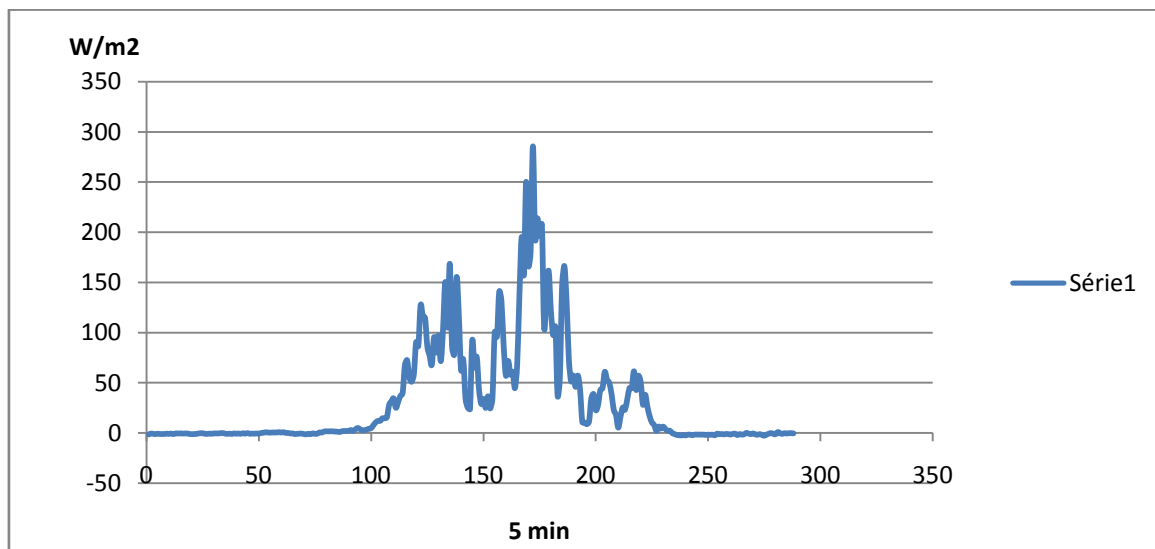


Figure 06 : Ensoleillement journalier de 26 Avril.

Tableau 7 : Ensoleillement journalier moyen des différentes dates.

La journée	14 Juin	05 Juin	29 Mai	08 Mai	26 Avril
Ensoleillement moyen (W/m ²)	478,136081	312,86	402,126593	563,3	58,46