



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère De l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE ABBES LAGHROUR - KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT : BIOLOGIE MOLECULAIRE ET CELLULAIRE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

FILIERE : BIOLOGIE

OPTION: MICROBIOLOGIE APPLIQUEE

Thème :

**Qualité microbiologique des eaux du
lac des oiseaux, site RAMSAR, wilaya
d'El-tarf.**

Présenté par :

ZEGHICHI Wafa

ARRIF Zeyneb

Encadré par :

BENREDJEM Lamia

Jury de soutenance :

Présidente :	DEROUICHE Fouzia	M,C,B	Université Abbès Laghrou khenchela
Directrice :	BENREDJEM Lamia	M,A,A	Université Abbès Laghrou khenchela
Examinatrice :	BOUTARFA Soumia	M,A,A	Université Abbès Laghrou khenchela

Promotion : Juin 2018

**Le travail a été réalisé au niveau du : laboratoire pédagogique de Microbiologie, Université Abbess
Laghrou-Khenchela**

Remerciement

Au terme de ce travail, nous exprimons notre gratitude au bon Dieu de nous avoir donné la force, la patience, de la conscience, le courage et de la volonté, pour avoir achevé ce modeste travail à la recherche de la vérité et d'esprit scientifiques.

Je tiens à remercier les professeur DEROUICHE et Boutarfa Soumia pour l'honneur qu'elles me font en acceptant de présider ce jury, qu'elles trouvent ici mes hommages les plus respectueux,

Je tiens particulièrement à remercier mon encadreur BENREDJAM Lamia Maître de Conférences au département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie pour ses conseils, ses commentaires et sa bienveillance. Qu'elle soit assurée de ma profonde gratitude pour m'avoir guidée et aidée tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je tiens également à remercier les personnels de laboratoire des Sciences de la Nature et de la Vie en particulier : Majida et Sara pour leur aide précieuse et pour les nombreux services qu'ils m'ont rendus durant la réalisation de ce travail, qu'ils trouvent ici le témoignage Dema reconnaissance, sans oublier tous ceux dont l'aide et les conseils m'ont été si utiles.



Dédicaces

A Mes Très Chers Parents

Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être. Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder vos santés, longue vie et bonheur.

A mon très cher Père

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour ; l'estime ; le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon bien-être. Ce travail est le fruit des sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation.

A ma très chère Mère

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement tu n'as jamais cessé de m'aimer de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Je dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

A mon très cher mari Zoheir

Aucun mot ne saurait t'exprimer mon profond attachement et ma reconnaissance pour l'amour, la tendresse et la gentillesse dont tu m'as toujours entouré. Cher mari j'aimerais bien que tu trouve dans ce travail l'expression de mes sentiments de reconnaissance les plus sincères car grâce à ton aide et à ta patience avec moi que ce travail a pu voir le jour. Que Dieu le tout puissant nous accorde un avenir merveilleux.

A mon tout Joud

C'est à toi mon adorable ange, ma joie, mon petit trésor que maman dédie ce travail pour te dire que tu resteras pour toujours le rayon du soleil qui égaye ma vie. Je t'aime mon bébé et je te souhaite tous le bonheur du monde.

A mes très chers frères

Yacine et sa femme Amina.

Djamel et sa femme Wafaa et ses petits enfants Douaa et Mohamed.

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite. Je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour. Que Dieu vous préserve.

A mes très chères sœurs

Assia et son mari Yacine et ses enfants Nadji, Roya, Haithem et ma jolie Jouri.

Nadia et son mari Saad et ses enfants Hatem, Sohaib, Iyad, mon héro soussou et même le bébé qui n'a pas encore venu au monde.

Souad et son mari haithem et ses enfants Maissem, mohamed, ma princesse Tasnime et mon prince Ilyes.

Et Soumia, Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter.

A ma belle famille

Tonton Hamide, tata Fatima, Sabrina et ses enfants Marouane, Hani, et ma jolie Loujayne, Iyes (Nounou) et sa future femme Samira, Abla et son petit adorable Abd El Raouf, pour les bons moments partagés, une jolie famille qui va s'agrandir.

A ma grande famille

Mes grandes mères, mes tentes, mes oncles, cousins, et cousines, petits et grands, veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de ma profonde affection.

A mes amies

Zeineb, Sarah, Souad, Ibtissem, Mouna, Walida et toute la promotion de microbiologie. Merci pour votre amitié, votre amour. Vous êtes toujours là pour me soutenir, m'aider et m'écouter. Que Dieu vous protège et vous procure joie et bonheur.

Wafa Zeghichi

1. Introduction

C'est dans l'eau que la vie sur la terre est apparue, d'abord dans les océans puis dans les milieux d'eau douce qui ne représentent aujourd'hui que 2,5% de l'eau (glaciers compris) de la planète. Progressivement, grâce au phénomène de migration, la vie lacustre s'est diversifiée et spécialisée. Plus récemment, le développement des sociétés humaines a accéléré les échanges d'espèces entre milieux (**Bertonello, 2018**).

L'Algérie qui présente une configuration géographique caractérisée par une série de grands ensembles physiques composés de montagnes, Hauts plateaux, plaines et déserts, possède une grande diversité de paysages, d'habitats et d'écosystèmes qui font d'elle un pays attractif au plan touristique et singulier au plan de la diversité biologique. Parmi toutes ces richesses, il faut noter, au plan typologie, la grande diversité de zones humides avec des particularités propres à chacune d'elles (**DGF, 2006**).

Ces zones humides représentent à l'échelle de tout le globe, une source non négligeable de revenus, pour une population croissante, et ont de ce fait une importance socio-économique significative pour les populations locales. Ces milieux jouent un rôle important dans les processus vitaux, entretenant des cycles hydrologiques et constituent également un habitat privilégié pour une flore et une faune importante, particulièrement les oiseaux d'eau migrateurs, dont ils constituent des quartiers d'hiver importants pour de nombreuses espèces (**Iseemann et Moali, 2001**).

Les zones humides sont des écosystèmes très complexes, vulnérables, et dont le fonctionnement n'est cependant pas encore bien connues ni bien compris. Ces milieux, malgré les énormes services écologiques et économiques qu'on leur reconnaît, n'échappent malheureusement pas à une dynamique de destruction sans pareille qui remet en cause l'existence d'un nombre élevé d'espèces floristiques et faunistiques.

Ainsi, l'Algérie connaît, aujourd'hui, de graves problèmes d'altération de ses sites naturels, cette dégradation est due à divers facteurs, au nombre desquels il faut compter les pratiques culturelles inappropriées, le braconnage ainsi que la mise en place des équipements et infrastructures de développement de l'industrie. L'altération des zones humides est également accentuée par d'autres conditions naturelles défavorables, comme la fragilité des sols et l'agressivité du climat. Une grande partie des atteintes est aussi liée à

la méconnaissance du statut des zones humides, et des enjeux liés à ces mêmes zones humides **(DGF, 2006)**.

A l'heure actuelle, le problème des zones humides est souvent pris en charge par les scientifiques, qui se préoccupent de leur préservation et de l'utilisation rationnelle et durable de ces ressources **(Jacobs et Ochando, 1970)**.

La bioremédiation est l'une des branches des biotechnologies qui utilise des mécanismes soit purement biologiques naturels, ou détournés pour traiter des problèmes environnementaux **(Cologgi D.L., et al 2011)**. En comparaison des méthodes physico-chimiques utilisées classiquement pour décontaminer les sols et les eaux, mais qui conduisent à leur déstructuration et à une forte diminution de leur fertilité et de leur productivité, la bioremédiation est considérée comme une technique respectueuse de l'environnement **(Alain VAVASSEUR, 2014)**.

Notre travail est structuré en deux parties ; dans la première partie, nous présentons une contribution à l'étude d'un état des lieux des zones humides et de leurs menaces. La deuxième partie de notre travail, concerne plus spécialement la recherche des bactéries pouvant être utiles dans la lutte contre la pollution dans la zone d'étude qui est le lac des oiseaux, site RAMSAR de la wilaya d'El Tarf.

1. Introduction

C'est dans l'eau que la vie sur la terre est apparue, d'abord dans les océans puis dans les milieux d'eau douce qui ne représentent aujourd'hui que 2,5% de l'eau (glaciers compris) de la planète. Progressivement, grâce au phénomène de migration, la vie lacustre s'est diversifiée et spécialisée. Plus récemment, le développement des sociétés humaines a accéléré les échanges d'espèces entre milieux (**Bertonello, 2018**).

L'Algérie qui présente une configuration géographique caractérisée par une série de grands ensembles physiques composés de montagnes, Hauts plateaux, plaines et déserts, possède une grande diversité de paysages, d'habitats et d'écosystèmes qui font d'elle un pays attractif au plan touristique et singulier au plan de la diversité biologique. Parmi toutes ces richesses, il faut noter, au plan typologie, la grande diversité de zones humides avec des particularités propres à chacune d'elles (**DGF, 2006**).

Ces zones humides représentent à l'échelle de tout le globe, une source non négligeable de revenus, pour une population croissante, et ont de ce fait une importance socio-économique significative pour les populations locales. Ces milieux jouent un rôle important dans les processus vitaux, entretenant des cycles hydrologiques et constituent également un habitat privilégié pour une flore et une faune importante, particulièrement les oiseaux d'eau migrateurs, dont ils constituent des quartiers d'hiver importants pour de nombreuses espèces (**Iseemann et Moali, 2001**).

Les zones humides sont des écosystèmes très complexes, vulnérables, et dont le fonctionnement n'est cependant pas encore bien connues ni bien compris. Ces milieux, malgré les énormes services écologiques et économiques qu'on leur reconnaît, n'échappent malheureusement pas à une dynamique de destruction sans pareille qui remet en cause l'existence d'un nombre élevé d'espèces floristiques et faunistiques.

Ainsi, l'Algérie connaît, aujourd'hui, de graves problèmes d'altération de ses sites naturels, cette dégradation est due à divers facteurs, au nombre desquels il faut compter les pratiques culturelles inappropriées, le braconnage ainsi que la mise en place des équipements et infrastructures de développement de l'industrie. L'altération des zones humides est également accentuée par d'autres conditions naturelles défavorables, comme la fragilité des sols et l'agressivité du climat. Une grande partie des atteintes est aussi liée à

la méconnaissance du statut des zones humides, et des enjeux liés à ces mêmes zones humides **(DGF, 2006)**.

A l'heure actuelle, le problème des zones humides est souvent pris en charge par les scientifiques, qui se préoccupent de leur préservation et de l'utilisation rationnelle et durable de ces ressources **(Jacobs et Ochando, 1970)**.

La bioremédiation est l'une des branches des biotechnologies qui utilise des mécanismes soit purement biologiques naturels, ou détournés pour traiter des problèmes environnementaux **(Cologgi D.L., et al 2011)**. En comparaison des méthodes physico-chimiques utilisées classiquement pour décontaminer les sols et les eaux, mais qui conduisent à leur déstructuration et à une forte diminution de leur fertilité et de leur productivité, la bioremédiation est considérée comme une technique respectueuse de l'environnement **(Alain VAVASSEUR, 2014)**.

Notre travail est structuré en deux parties ; dans la première partie, nous présentons une contribution à l'étude d'un état des lieux des zones humides et de leurs menaces. La deuxième partie de notre travail, concerne plus spécialement la recherche des bactéries pouvant être utiles dans la lutte contre la pollution dans la zone d'étude qui est le lac des oiseaux, site RAMSAR de la wilaya d'El Tarf.

Table des matières

Liste des tableaux.....	i
Liste des figures et des photographies.....	ii
Liste des abréviations.....	iii
Résumés.....	v
1. Introduction	01
2. Synthèse bibliographique.....	03
2.I. Les zones humides.....	03
2.I.1. La convention de RAMSAR.....	03
2.I.2. Définition d'une zone humide.....	03
2.I.2.1. Composition d'une zone humide	03
2.I.2.2. Principaux types de zones humides.....	04
2.I.2.3. Importance et fonctions des zones humides.....	04
2.I.2.4. Menaces, état et pressions.....	05
2.I.3. Les lacs.....	05
2.I.3.1. Les propriétés des lacs.....	06
2.I.3.1.1. Propriétés chimiques.....	06
2.I.3.1.2. Propriétés physiques.....	07
2.I.3.1.3. Propriétés biologiques	07
2.II. La pollution.....	09
2.II.1. Définition.....	09
2.II.2. Différents types de la pollution.....	10
2.II.2.1. Pollution Agricole.....	10
2.II.2.2. Pollution industriel.....	10
2.II.2.3. Pollution domestique.....	10
2.II.3. Contamination bactériologique.....	11
2.II.4. Classification des polluants.....	12
2.II.4.1. Polluants chimiques	12

2.II.4.1.1. Nitrates.....	12
2.II.4.1.2. Phosphates	13
2.II.4.1.3. Micropolluants	13
A. Micropolluants organiques	14
B. Micropolluants minéraux.....	15
C. Micropolluants organométalliques.....	15
2.II.4.2. Polluants physiques	15
2.II.4.3. Polluants biologique.....	16
2.II.5. L'eutrophisation.....	16
2.II.6. Impacts de la pollution des lacs.....	18
2.II.6.1. Sur le milieu naturel.....	18
2.II.6.2. Sur l'économie.....	18
2.II.6.3. Sur la santé	19
2.III. La bioremédiation	21
2.III.1. Définition de la bioremédiation	21
2.III.2. Principe de la bioremédiation	21
2.III.3. La bioremédiation par les bactéries.....	22
2.III.3.1. La bioaugmentation	22
2.III.3.2. La biofiltration	23
2.III.3.3. La biostimulation	23
2.III.3.4. La biolixiviation	23
2.III.3.5. Bioconcentration.....	24
2.III.3.6. Bioaccumulation	24
2.III.3.7. Déhalogénéation	26
2.III.3.8. Conjugation	26
2.III.4. Les microorganismes utilisés en bioremédiation.....	26
2.III.4.1. Les pseudomonas	27
a. Caractéristiques générales	27
b. Présentation de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	28
c. Morphologie et structure	28
d. Caractères cultureux.....	28

2.III.5. Avantages de la bioremédiation.....	29
2.III.6. Limites techniques	29
2.IV. Solutions et mécanismes de protection.....	30
2.IV.1. Protéger les écosystèmes aquatiques	31
2.IV.2. Assurer une eau potable de qualité et sécuritaire	31
3.Matériels et méthodes.....	32
3. I. Présentation de la zone d'étude	32
3.I.1. Localisation générale.....	32
3.I.2. La faune remarquable.....	33
3.I.3. Flore remarquable.....	33
3.II. Echantillonnage.....	33
3.III. Isolement des souches bactériennes.....	34
3.III.1. Isolement de <i>Pseudomonas</i>	34
3.III.2. Isolement de <i>Bacillus</i>	34
3.IV. Identification des souches isolées.....	34
3.IV.1. Etude morphologique	34
3.IV.1.1. Aspect macroscopique.....	34
3.IV.1.2. Aspect microscopique.....	35
3.IV.2. Etude biochimique.....	35
3.IV.2.1. Recherche de la catalase.....	35
3.IV.2.2. Test d'oxydase.....	35
3.IV.2.3. Test de nitrate-réductase.....	36
3.IV.2.4. Le test Mannitol Mobilité (MM).....	36
3.IV.2.5. Test de TSI.....	37
3.IV.2.6. Test de Clark et Lubs.....	38
3.IV.2.7. Le test ONPG.....	38
3.IV.2.8. Test de citrate de perméase.....	39
3.IV.2.9. Etude du type respiratoire.....	40
3.IV.2.10. Production de pigments par <i>Pseudomonas</i>	40
4. Résultats	41
4.I. Recherche du <i>Pseudomonas</i>	41
4.I.1. Examen macroscopique des colonies.....	41
4.I.2. Examen microscopique	42

4.I.3. Tests biochimiques.....	42
4.I.3.1. Test de catalase	43
4.I.3.2. Test d’ONPG.....	43
4.I.3.3. Test Citrate perméase.....	44
4.I.3.4. Test Clark et Lubs.....	44
4.I.3.5. Bouillon nitraté.....	45
4.I.3.6. Test Viande-Foie.....	45
4.I.3.7. Test Mannitol mobilité.....	46
4.I.3.8. King A et King B.....	46
4.II. Recherche du <i>Bacillus</i>.....	47
4.II.1. Examen macroscopique des colonies.....	47
4.II.2 Examen microscopique.....	48
4.II.3. Tests biochimiques.....	48
4.II.3.1. Test de catalase.....	49
4.II.3.2. Test d’ONPG.....	49
4.II.3.3. Test Clark et Lubs.....	50
4.II.3.4. Bouillon nitraté.....	50
4.II.3.5. Le test de VF.....	51
4.II.3.6. Test Mannitol mobilité.....	51
5. La discussion	53
6. La conclusion et perspectives.....	55
7. Références bibliographiques.....	56
8. Annexes.....	61

Liste des tableaux

Tableau N°01:	Sources potentielles de contamination bactériologique.....	11
Tableau N°02:	Principales maladies transmises par l'eau.....	20
Tableau N°03 :	le mode de la bioremédiation faisant appel à une étape de bioaccumulation	24
Tableau N°04:	Les tests biochimiques du genre considéré comme <i>Pseudomonas</i>	42
Tableau N°05 :	Les tests biochimiques du genre considéré comme <i>Bacillus</i>	48

Liste des figures et photographies

Figure N°01:	Localisation du Lac des Oiseaux.....	32
Figure N°02:	principe du test d'ONPG.....	39
Photographie N°01:	Observation macroscopique de <i>Pseudomonas</i>	41
Photographie N°02:	Aspect macroscopique des colonies obtenues sur gélose au cétrimide.....	41
Photographie N°03:	Observation microscopique après la coloration de Gram des bactéries obtenues sur gélose au cétrimide.....	42
Photographie N°04:	Résultat du test de la catalase (souche 1 et souche 2).....	43
Photographie N°05:	Résultats du test d'ONPG (souche 1 et souche 2).....	43
Photographie N°06:	Résultat du test du citrate perméase (la souche 1).....	44
Photographie N°07:	Résultats du test de Clark et Lubs (souche 1 et souche 2).....	44
Photographie N°08:	Résultats du test de bouillon nitraté (souche 1 et souche 2).....	45
Photographie N°09:	Résultats du test de viande-foie (souche 1 et souche 2)...	45
Photographie N°10:	Test de mannitol mobilité (souche 1 et souche 2).....	46
Photographie N°11:	Isolement sur milieux King A et King B; observation sous l'UV.....	47
Photographie N°12:	Isolement sur milieux King A et King B.....	47
Photographie N°13:	Aspects macroscopiques des trois souches isolés sur GN à l'amidon.....	47
Photographie N°14:	Observation microscopique après coloration de Gram des souches isolées sur GN à l'amidon.....	48
Photographie N°15:	Test de catalase des trois souches isolées.....	49
Photographie N°16:	Tes d'ONPG (Souches 1,2 et 3).....	49
Photographie N°17:	Test d'ONPG (Souches 1,2 et 3).....	50
Photographie N°18:	Résultats du test de Nitrate réductase des trois souches...	51
Photographie N°19:	Résultats du test de viande de foie des trois souches.....	51
Photographie N°20:	Résultats du test de viande de foie des trois souches.....	52

Liste des abréviations

°C : Degrés Celsius ;

µS/cm : Micro siemens/cm ;

CO : Monoxyde de carbone ;

CO₃: Carbonates ;

DBO : Demande Biochimique en Oxygène ;

DCO : Demande chimique en oxygène ;

E. coli : *Escherichia coli* ;

EC : Conductivité électrique ;

ETM : Eléments traces métalliques ;

H₂O : Eau ;

HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques ;

HCO³⁻ : Hydrogénocarbonates ;

Hg: Mercure ;

KMnO₄ : Permanganate de potassium ;

L : Litre ;

MEST : Matières en suspension totales ;

mg/l : Milligramme par litre ;

ml : Millilitre ;

mm : Millimètre ;

mS /m : Millisiemens par mètre ;

OH⁻ : Hydroxides;

Liste des abréviations

ONPG: *Ortho*-Nitrophenyl- β -galactoside;

Pb: Plomb ;

RM : Rouge de méthyle ;

SO₂ : Dioxyde de soufre ;

TA : Titre Alcalimétrique ;

TAC : Titre alcalimétrique complet.

3. Matériel et méthodes

3.I. Présentation de la zone d'étude

3. I.1. Localisation générale

Le lac des Oiseaux, une zone humide classée d'importance internationale, est situé en dehors des limites du parc national d'El Kala (PNEK). Le lac des Oiseaux est un étang d'eau douce de 170 hectares situé à quelque 200 m de la RN 44 (El Tarf, Annaba). Ses apports en eau se font naturellement par les eaux superficielles de ruissellement du bassin versant et des eaux souterraines (**Article B, 2018**).

Situé par $36^{\circ} 47' N$, $08^{\circ} 7' E$, le Lac des Oiseaux est localisé à égale distance (45 kilomètres) entre les villes d'El Kala à l'Est et d'Annaba à l'Ouest. Il fait partie de la commune du Lac des Oiseaux, daïra de Boutheldja, wilaya d'El-Tarf (**Figure n°01**) et se trouve à environ 20 km, à vol d'oiseaux, des lacs Oubeira et Mellah situés à l'Est dans le Parc national d'El Kala, et à 10 km du Marais de La Mékhada situé à l'Ouest. La RN 44 longe ses berges (côté Sud).

Sa profondeur maximale signalée antérieurement était de 2,5 mètres (Joleaud, 1936). Aujourd'hui, selon Cherouana (1996), elle n'excède pas deux mètres, ce qui laisse supposer un fort atterrissement, renforcé par l'apport de dépôts d'alluvions importants engendrés par la vidange du château d'eau qui le surplombe (**Article B, 2018**).



Figure N°01 : Localisation du Lac des Oiseaux (Google maps, 2018)

3.I.2. La faune remarquable

Classé site Ramsar en 1999, ce lac a un intérêt particulier pour les ornithologues et les scientifiques qui le considèrent comme une école pour leurs travaux de recherche et de dénombrement des oiseaux d'eau qui y séjournent. Malgré sa dimension relativement réduite en comparaison avec les autres lacs de la région, il accueille des milliers d'oiseaux d'eau chaque année (**Article C. Février 2018**).

La richesse aviaire constitue en effet la principale caractéristique de la zone humide. Le site abrite une importante avifaune rare telle que l'Erismature à tête blanche *Oxyura leucocephala*, espèce catégorisée comme étant en voie de disparition sur la Liste Rouge de l'IUCN (**Boumezbeur, 1993**).

Les eaux du lac hébergent un peuplement piscicole constitué de l'Anguille (*Anguilla anguilla*), du Mulet (*Mugil sp.*) et du Barbeau (*Barbus sp.*). Le zooplancton est représenté par *Simcephalus sp* et *Erytemora. Chironomidae* et *Hydracarina*, présentes dans quelques prélèvements du benthos établis par Morgan (1982).

3.I.3. Flore remarquable

La flore est remarquable par la présence de 26,7 % d'espèces cosmopolites, 13,3 % de sub-cosmopolites, 13,3 % d'Eurasiatiques, 13,3 % de méditerranéennes, 6,7 % de circumboréales, 6,7 % de tropicales et 3,3 % d'européennes et subcircum boréales. A titre d'exemple, citons : *Nymphaea alba*, *Zanichelliapeduneolata*, *Potamogetonfluitans*, *Erucastrum masturtufa*, *Scirpuslacustris*, *Alternanthersp. Lemnagibba*, *Apiumcrassipes*, *Butomusumbellatus* (unique station en Algérie) et *Myriophyllumverticillatum* (**Bertoncello, 2018**)

3.II. Echantillonnage

Le prélèvement d'eau de surface est réalisé avec une bouteille en plastique en raison des facilités qu'elles présentent pour le transport et la possibilité de leur usage unique étant donné leur faible coût. La bouteille est remplie en décrivant un arc de cercle vers le bas, c'est-à-dire en entrant dans les premiers centimètres de la colonne d'eau, puis en remontant vers la surface (**Maité, novembre 2008**).

L'échantillon est transporté dans une glacière et à l'obscurité ce qui permet d'assurer une conservation satisfaisante (**Rodier et al ., 1996**). L'échantillon doit être

analysé de préférence dans les 8 heures qui suivent le prélèvement, sinon impérativement dans les 24 h (Maïté, novembre 2008).

3.III Isolement des souches bactériennes

3.III.1. Isolement de *Pseudomonas*

Des dilutions variant de 10^{-0} à 10^{-5} sont réalisées, ensuite, 0.1 ml de chaque dilution est ensemencé sur le milieu Cétrimide agar (milieu d'isolement des *Pseudomonas*). L'incubation est faite à 30°C pour une durée de 24 heures (Martinneau, 1996).

Trois types de colonies peuvent être observés simultanément ou de manière isolée sur milieu solide :

- Colonies larges ‘‘la’’ de 2 à 3 mm de diamètre à bord irrégulier rugeuses une partie centrale bombée présentant des reflets métalliques.
- Colonies plus petites lisses ‘‘S’’ bombées à bord régulier.
- Colonies muqueuses ‘‘M’’ bombées coalescentes, filantes rencontrées chez les souches produisant un slime composé d'un polymère d'alginate.

3.III.2. Isolement de *Bacillus*

Des dilutions allant de 10^{-0} à 10^{-5} sont réalisées, ensuite, 0.1 ml de chaque dilution est ensemencé sur le milieu gélose nutritive à l'amidon. L'incubation est faite à 37°C pour une durée de 24 heures (Bactériologie, 2003).

3.IV Identification des souches isolées

3.IV.1. Etude morphologique

3.IV.1.1. Aspect macroscopique

L'observation de l'aspect macroscopique des colonies permet d'effectuer une première caractérisation, avec une orientation possible des résultats au cours de l'identification.

D'après Singleton (1999), les éléments d'identifications macroscopiques sont: la forme des colonies, la taille des colonies, la Chromogénèse, l'élévation, l'opacité et l'aspect de la surface.

3.IV.1.2. Aspect microscopique

L'observation microscopique consiste à observer les cellules bactériennes à l'état frais et après une coloration de Gram.

L'état frais permet de déterminer la forme, l'arrangement et la mobilité des bactéries. Il consiste en l'observation d'une goutte de suspension bactérienne, préparée avec de l'eau physiologique et placée entre lame et lamelle. L'observation se fait au microscope photonique à grossissement X 100 (**Singleton, 1999**).

La coloration de Gram est une double coloration qui nous permet de connaître la forme, l'arrangement, la pureté ainsi que la nature biochimique de la paroi des cellules purifiées.

3.IV.2. Etude biochimique

Les épreuves biochimiques permettent en général de distinguer les espèces, même étroitement apparentées entre elles (**Tortora et al ., 2003**).

3.IV.2.1. Recherche de la catalase

La catalase est une enzyme ayant la propriété de décomposer le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) avec dégagement d'oxygène selon la réaction suivante:



Sur une lame et à l'aide d'une pipette Pasteur, on dépose une colonie bactérienne à laquelle on ajoute de l'eau oxygénée (à 10 volumes). La présence d'une catalase est révélée par l'apparition immédiate de bulles de gaz qui correspond à l'oxygène dégagé (**Tortora et al ., 2003**).

3.IV.2.2. Test d'oxydase

Ce test est réalisé en ajoutant un disque imprégné d'oxalate N-diméthylphnyléne-diamine à une suspension bactérienne dense en eau physiologique. Ce réactif s'oxyde au contact de cytochrome des bactéries oxydase positive.

1. La réaction d'oxydation se traduit par une coloration violette foncée en deux minutes environ. (**Guillaume P.Y. 2004**)

3.IV.2.3. Test de nitrate-réductase

L'étude de la réduction des nitrates se fait par la mise en évidence des nitrites formés. Ces derniers en milieu acétique ou sulfurique, donnent une coloration rose.

A une culture de 24 à 48 H d'incubation à 30°C en bouillon nitraté, cinq gouttes de réactif de Griess sont ajoutés. Après agitation, la lecture est immédiate. Plusieurs cas de figures peuvent se présenter :

- lorsque la coloration est rose ou rouge ; les nitrates sont réduits en nitrites, on parle de nitrate réductase positive (NR+) ;
- lorsque le milieu reste incolore ; de la poudre de zinc est ajouté (réducteurs des nitrates) ; après cinq minutes les tubes sont de nouveau observés : si le milieu devient rose ou rouge, il reste des nitrates, donc ces derniers n'ont pas été réduits par la bactérie: nitrate réductase négative (NR-) (**Guillaume P.Y. 2004**).

3.IV.2.4. Le test Mannitol Mobilité (MM)

- **Principe**

Le milieu Mannitol-Mobilité-Nitraté est un milieu complexe utile à l'identification des bacilles Gram – dont les Entérobactéries. Ce milieu permet la lecture des teste suivants :

- **la fermentation du Mannitol** : les bactéries mannitol positif acidifient le milieu qui vire alors au jaune (grâce au rouge de phénol)
- **la mobilité** : du fait de la faible teneur en gélose du milieu (gélose molle), les bactéries peuvent s'y déplacer :

Mobilité + : les bactéries mobiles troublent le milieu.

Mobilité - : les bactéries immobiles persistent le long de la piqûre centrale.

- **Utilisation**

Se conformer aux protocoles en vigueur. D'une façon générale, le protocole suivant peut être appliqué :

1. Si avant utilisation, le culot est fragmenté, reprendre les tubes au bain-marie vers 90°C et laisser refroidir en position vertical dans un bain d'eau froide.

2. Ensemencer avec un fil de platine ou d'une pipette Pasteur, par piqûre centrale, jusqu'au fond du tube de gélose.
3. Incuber 18 à 24 heures à 35-37°C.
4. La fermentation du mannitol provoque un virage au jaune du milieu. Les bactéries mobiles envahissent tout le milieu à partir de la piqûre centrale.
5. La réduction des nitrates sera mise en évidence par l'addition des réactifs Nitrate A et B (**Brigitte, 2018**).

3.VI.2.5. Test de TSI

- **Principes**

Hajna a mis au point la formulation de la Triple Sugar Iron Agar (TSI) en ajoutant du saccharose à la formulation de la gélose à deux sucres (glucose et lactose), la Kligler Iron Agar (**Hajna, 1945**). TSI Agar contient trois glucides (glucose, lactose et saccharose). La fermentation de ces glucides provoque une production d'acide, qui est détectée par l'indicateur au rouge de phénol. Des changements de couleurs en résultent, et le milieu vire au jaune en cas de production d'acide, ou au rouge en cas d'alcalinisation. La formation d'acide dans le culot est due à la présence de deux sucres, le lactose et le saccharose, dont les concentrations sont beaucoup plus élevées que la concentration de glucose ; la formation d'acide à partir du glucose est inhibée par une oxydation rapide de la petite quantité d'acide présente dans la partie inclinée du tube, qui entraîne une réaction faisant passer le milieu à un pH neutre ou alcalin lorsque seul du glucose est fermenté. L'ajout de saccharose permet d'exclure certains coliformes et microorganismes *Proteus* susceptibles d'attaquer le saccharose, mais pas le lactose, pendant une durée d'incubation de 24 à 48 H (**MacFaddin, 1985**). En cas de pH neutre ou alcalin, l'acide sulfhydrique (produit à partir de thiosulfate de sodium) réagit avec le sel d'ammonium ferreux et entraîne la formation de sulfure de fer noir. Le chlorure de sodium maintient l'équilibre osmotique du milieu.

A l'origine, la formule de la gélose TSI est prévue pour une application en tant que milieu en tubes, avec un culot et une surface inclinée. Cette technique permet la différenciation du glucose, du lactose, et/ou des fermentants du saccharose et permet aussi de déceler la production éventuelle d'acide sulfhydrique (**Bopp et al., 2003**).

- **Mode opératoire du test**

Ensemencer la BD Triple Sugar Iron Agar avec une colonie suspecte prélevée dans une boîte de Pétri d'isolement primaire.

Incuber en atmosphère aérobie entre 35 et 37 °C pendant 18 à 24 h. Ne pas incuber en atmosphère enrichie au dioxyde de carbone, et ne pas dépasser 24 h d'incubation car cela risquerait de produire des résultats erronés (**Bopp *et al.*, 2003**).

3.IV.2.6. Test de Clark et Lubs

- **Principe**

Le milieu de Clark & Lubs permet de différencier les Enterobacteriaceae avec les réactions au rouge de méthyle et de Voges-Proskauer. Le rouge de méthyle différencie le processus de fermentation du glucose, il est jaune au-dessus d'un pH de 6,3 et rouge en dessous de 4,2. La production d'acétylméthylcarbinol se révèle par l'apparition d'une coloration rouge en surface du milieu.

Milieu liquide à ensemercer avec quelques gouttes de suspension. Incuber 24 H à 37°C.

- **Lecture**

Transvaser un peu du milieu dans un tube à hémolyse :

RM : ajouter quelques gouttes de rouge de méthyle

- milieu rouge: RM +
- milieu inchangé (orange à jaune): RM –

VP: ajouter au reste du milieu quelques gouttes de soude (ou potasse) et d' α -naphtol.

Incliner le tube et attendre au moins 15 min.

- VP + : coloration rouge en surface
- VP - : rien (**Brigitte, 2018**).

3.IV.2.7. Le test ONPG

- **Intérêt**

La recherche de la β -galactosidase est un des premiers tests enzymatiques réalisés en pratique courante.

Il est particulièrement important pour les entérobactéries, la β -galactosidase est une enzyme qui intervient dans le métabolisme du lactose. L'utilisation du lactose par la bactérie requiert deux enzymes :

- la lactose perméase qui permet au lactose de pénétrer dans la bactérie
- la β -galactosidase qui catalyse l'hydrolyse du lactose en glucose et galactose.

La recherche de la β -galactosidase ne présente d'intérêt que pour les bactéries lactose -. En effet, toutes les bactéries lactose + sont β -galactosidase + (Guillaume, 2004).

- **Principe**

La β -galactosidase peut-être mise en évidence facilement car elle est capable d'hydrolyser toute molécule analogue du lactose. Au laboratoire, on utilise l'ONPG ou Ortho Nitro Phényl Galactopyranoside.

- **Technique**

Le test se pratique uniquement chez les bactéries lactose - en 24 H sur milieu solide.

- réaliser une suspension épaisse des bactéries testées en eau distillée ;
- ajouter avec une pince flambée mais refroidie un disque imprégné d'ONPG ;
- incuber 30 min à 37°C ;
- lire la cupule de la galerie API 20 E ONPG -thio-galactoside ;
- Ensemencer avec la suspension d'une colonie en eau distillée (en général) ;
- Lecture identique à la technique classique (Guillaume, 2004).

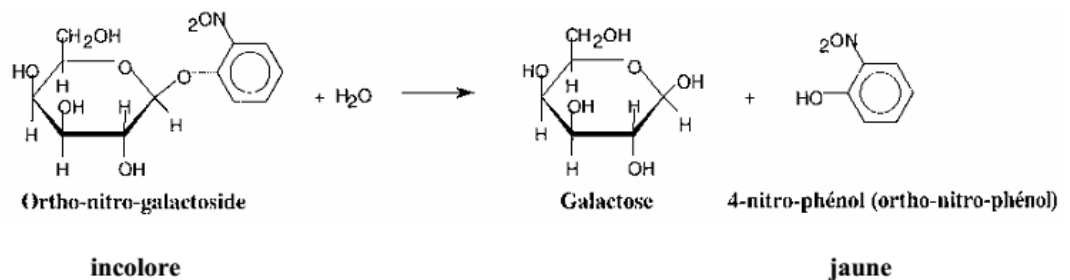


Figure N02 : principe du test d'ONPG (Guillaume, 2004).

3.IV.2.8. Test de citrate de perméase

- **Principe**

Seules les bactéries possédant une citrate perméase peuvent utiliser le citrate comme seule source de carbone. La lecture de l'utilisation du citrate comme seule source de carbone est possible grâce à la présence :

- d'un indicateur de pH, le bleu de bromothymo ;
- d'un seul composé carboné, le citrate de sodium.

- **Technique**

Sur une gélose en pente (sans culot), on va ensemencer la pente à l'aide d'une anse de culture prélevée sur milieu solide ou d'une suspension en eau physiologique.

On ne doit pas ensemer à partir d'un bouillon.

Il faut respecter les conditions d'aérobiose, donc on ne doit pas visser à fond (aérobiose nécessaire). l'incubation se fait à 37°C 1 à 4 jours.

- **Lecture**

→ Citrate + : pousse avec alcalinisation du milieu

→ Citrate - : pas de pousse, le milieu reste inchangé (**Brigitte, 2018**).

3.IV.2.9. Etude du type respiratoire

Selon MARCHAL et BOURDON (1982), le type respiratoire est mis en évidence par l'ensemencement d'un milieu gélosé (viande-foie) dans des tubes fins et profonds dans lesquels l'oxygène n'est présent qu'en surface et sur une zone étroite de 1cm.

Après incubation des milieux à 30°C pendant 24 heures, 4 types respiratoires peuvent être distingués :

- croissance en surface: bactéries aérobies strictes ;
- croissance en profondeur: bactéries anaérobies strictes ;
- croissance le long du tube: bactéries aéro-anaérobies facultatives ;
- croissance dans la partie supérieure proche de la surface: bactéries microaérophiles (**Guillaume, 2004**).

3.IV.2.10. Production de pigments par *Pseudomonas*

D'après Delarras (2007), *P. aeruginosa* produit deux types de pigments (fluorescent ou non) qui servent à son identification. Ils peuvent être mis en évidence dans le milieu de King B et King A.

- Pyoverdine : pigment jaune-vert fluorescent, soluble dans l'eau, insoluble dans le chloroforme.
- Pyocyanine (phénazinique) : pigment bleu-vert non fluorescent soluble dans l'eau et le chloroforme. Cette espèce est la seule capable à le produire.

- **Principe**

La confirmation est basée sur les caractéristiques de *P. aeruginosa* : les colonies produisant de la pyocyanine sont considérées comme *P. aeruginosa* confirmées mais les autres colonies fluorescentes ou de couleur brun rougeâtre nécessitent, après repiquage sur milieu nutritif, les confirmations suivantes : oxydase, la production de pigment

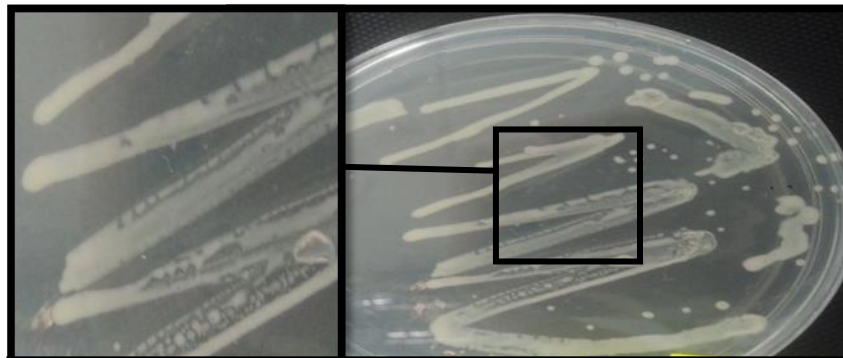
fluorescent, l'aptitude de produire généralement de l'ammoniac à partir d'acétamide, hydrolyse de la caséine (**Bopp *et al.*, 2003**).

4. Résultats

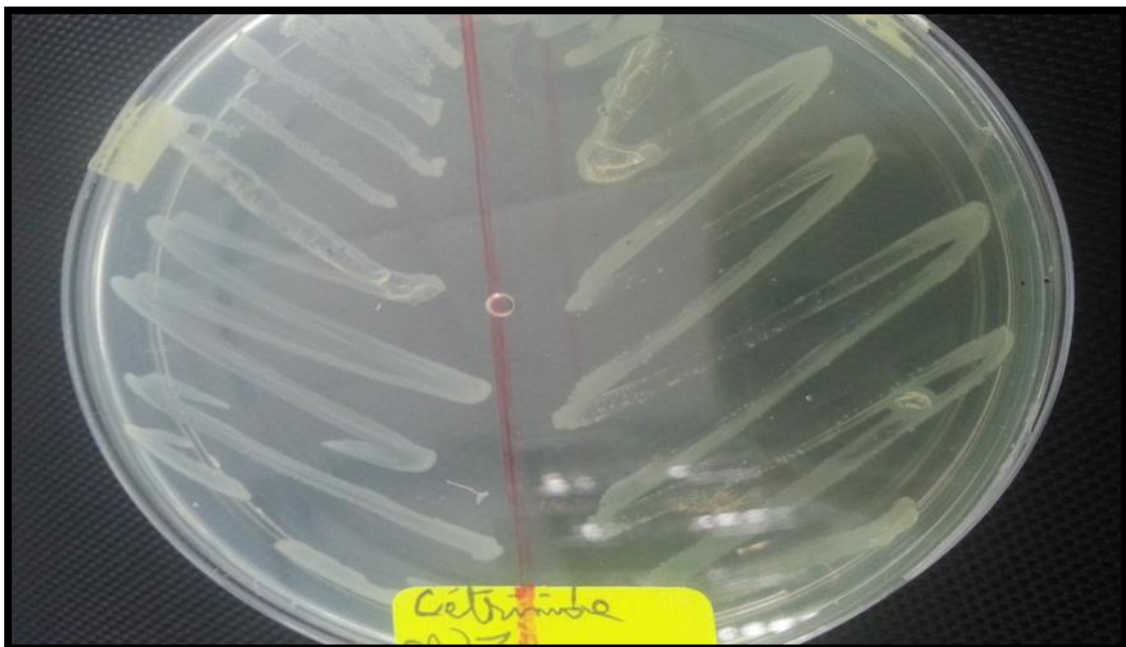
4.I. Recherche du *Pseudomonas*

4.I.1. Examen macroscopique des colonies

Deux types de colonies ont été observés sur gélose à la céramide : le premier est caractérisé par ces colonies petites, brillantes, légèrement bombées avec un bord circulaire régulier, et le deuxième est représenté par des colonies bombés, opaques, visqueuses parfois coulantes et représente une pigmentation jaune-verte (Photographie n°01), (photographie n°02).



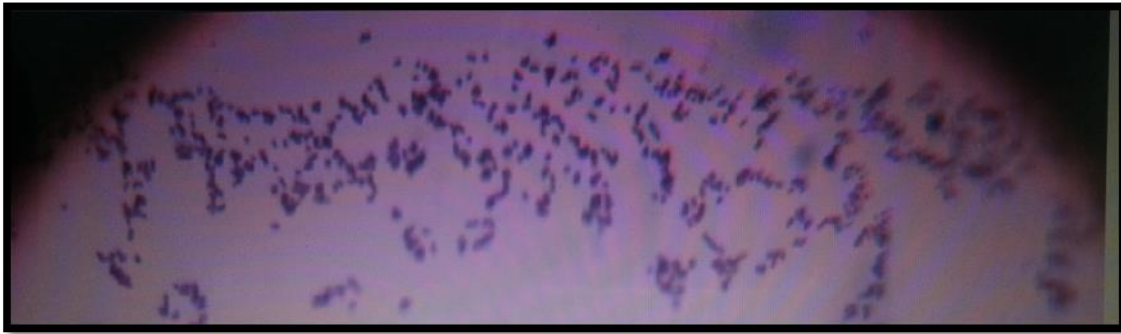
Photographie n°01 : Observation macroscopique de *Pseudomonas*.



Photographie n°02 : Aspect macroscopique des souches obtenues sur gélose au cétrimide.

4.I.2. Examen microscopique

L'observation microscopique après coloration de Gram a révélé des bacilles à Gram négatif droits ou légèrement incurvés à bouts arrondis. Les cellules se présentent isolées ou groupées par deux (**Photographie n°03**). L'état frais a montré des cellules mobiles et asporulées.



Photographie n°03 : Observation microscopique après la coloration de Gram des bactéries obtenues sur gélose au cétrimide.

4.I.3. Tests biochimiques

Les résultats des différents tests biochimiques des trois souches isolées sont représentés dans le tableau n°3.

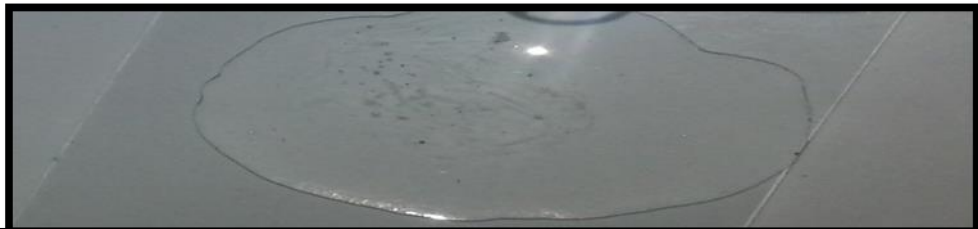
TABLEAU N°3 : SOUCHES ISOLEES SUR GELOSE AU CETRIMIDE

Souche		Pseudomonas pigmenté (Souche n°01)	Pseudomonas non pigmenté (Souche n° 02)
Test de catalase		Positif	Positif
Test d'ONPG		Négatif	Négatif
Test Citrate perméase		Négatif (pas de virage de couleur)	/
Test Clark et Lubs		RM : positif	RM : positif
Bouillon nitraté		Négatif	Négatif
VF		AAF	Aérobic strict
Mannitol mobilité	Mobilité	Positif	Négatif
	Fermentation du mannitol	Négatif	Négatif

King A	Couleur jaune-vert	Couleur jaune
King B	Couleur jaune	Couleur jaune

4.I.3.1. Test de catalase

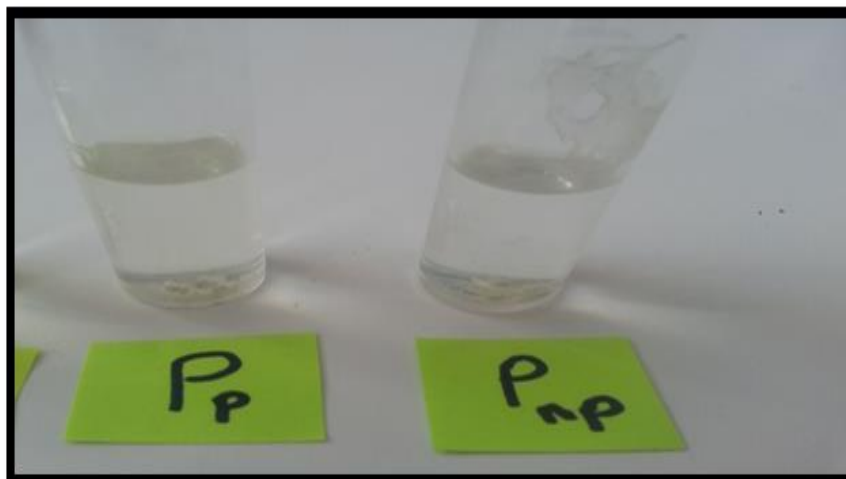
Une apparition de bulles, suite au dégagement gazeux d'oxygène, a été révélée en présence du H₂O₂ ce qui traduit une réaction catalase positive pour les deux souches 1 et 2 (**Photographie n °04**).



Photographie n °04: Résultat du test de la catalase pour les deux souches de *Pseudomonas*

4.I.3.2. Test d'ONPG

Les deux souches isolées montrent un résultat négatif pour l'hydrolyse d'ONPG ; elles ne possèdent pas la β-galactosidase, elle est dite ONPG – (**Photographie n°05**).



Photographie n°05 : Résultats du test d'ONPG (souche n°01 et souche n°02).

4.I.3.3. Test Citrate perméase

La souche n°01 n'utilise pas le citrate comme source de carbone. La transformation du triacide (acide citrique) en diacide par décarboxylation oxydative est absente ; car pas de virage de couleur au bleu (**Photographie n°06**).

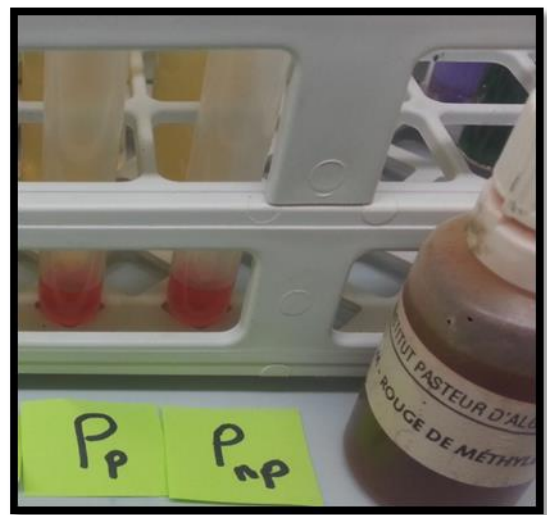
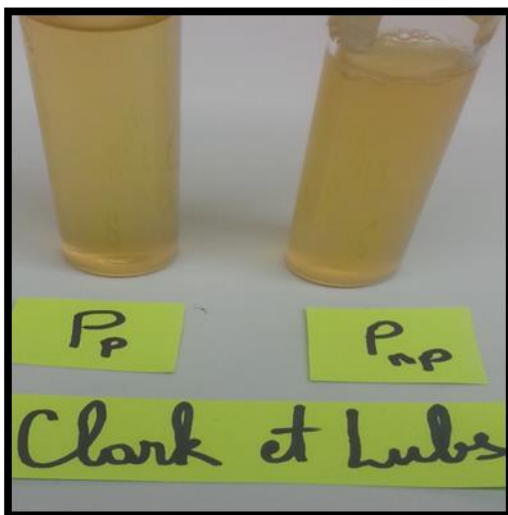


Photographie n°06 : Résultat du test du citrate perméase (la souche n°01).

4.I.3.4. Test Clark et Lubs

Après l'incubation des bactéries dans le milieu Clark et Lubs, on observe que les tubes sont troubles. On ajoute alors 1 ou 2 gouttes du réactif rouge de méthyle.

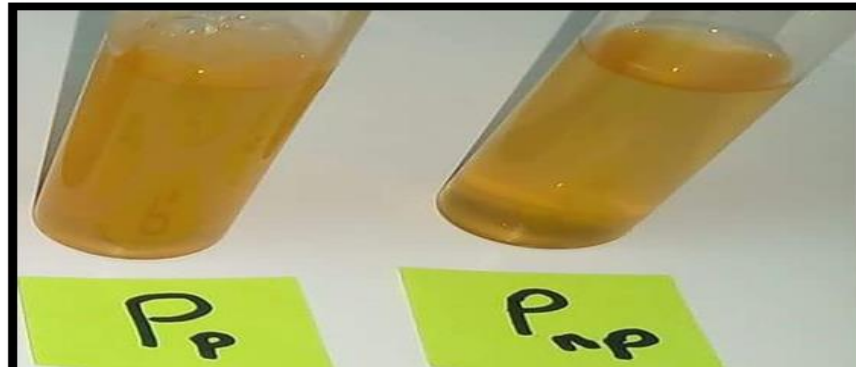
Le milieu est devenu rouge ; le pH est acide ; il y a eu formation de composées acides par les bactéries au cours de la fermentation du glucose. Les bactéries utilisent la voie des acides mixtes : alors les 2 souches isolées sont RM positif (**Photographie n°07**).



Photographie n°07 : Résultats du test de Clark et Lubs (souche n°01 et souche n°02).

4.I.3.5. Bouillon nitraté

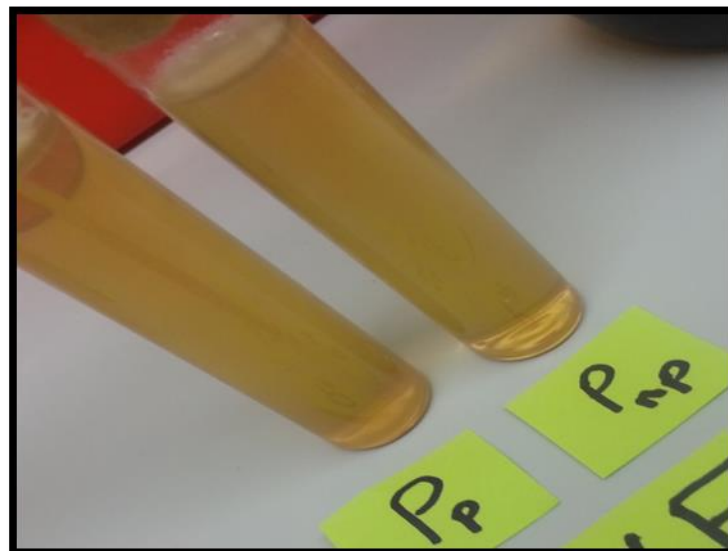
L'absence de virage de couleur indique l'absence de nitrite. Même après l'ajout de la poudre de zinc on observe que la couleur jaune persiste (**Photographie n°08**).



Photographie n°08 : résultats du test de bouillon nitraté (souche n°01 et souche n°02).

4.I.3.6. Test Viande-Foie

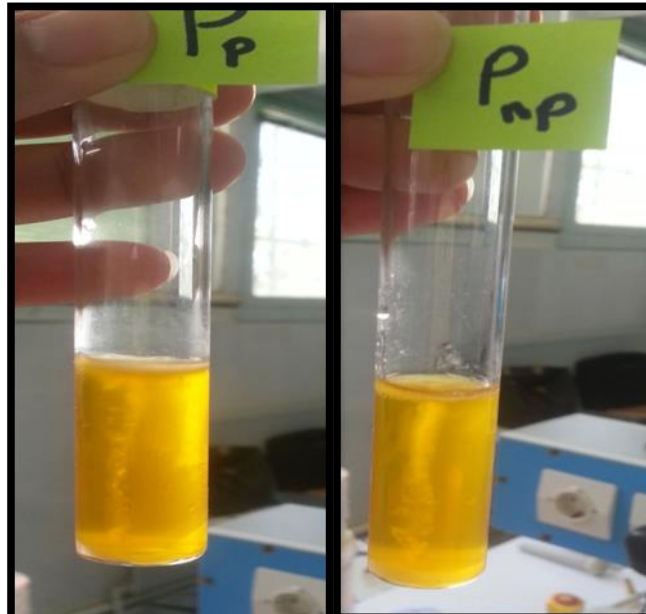
Pour la souche n°01 après l'incubation on observe une croissance bactérienne au long de la pique centrale, cela indique que la bactérie a un type respiratoire aero-anaerobie facultatif. En ce qui concerne la souche n°02, on observe une croissance bactérienne en surface seulement indiquant que la bactérie est aérobie stricte (**Photographie n°9**).



Photographie n°9 : Résultats du test de viande-foie (souche n°01 et souche n°02).

4.I.3.7. Test Mannitol mobilité

Pour la fermentation du mannitol, il y a absence de virage de couleur du milieu rouge au jaune indiquant la négativité de la réaction. Concernant la mobilité, dans le tube de la souche n°01, il y a apparition d'un trouble au milieu dû à la diffusion des bactéries à partir de la ligne d'ensemencement (**photographie n°10**).



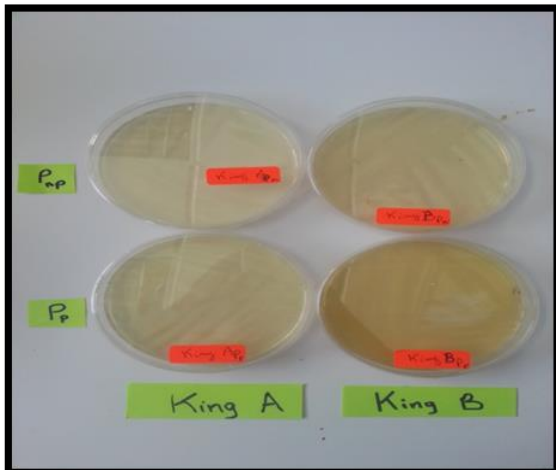
Photographie n°10 : Résultats du test de mannitol mobilité pour les souches n°01 et n°02.

4.I.3.8. King A et King B

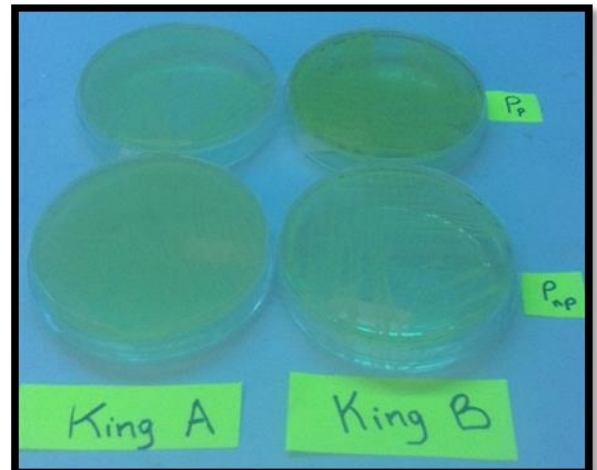
Absence de couleur bleue sur le milieu King A (absence de pyocyanine)

Le milieu King B permet de mettre en évidence l'aptitude des *Pseudomonas aeruginosa* à produire un pigment fluorescent sous UV.

Les souches de *Pseudomonas* fluorescentes isolées cultivent rapidement (24h) sur milieu King B en donnant des colonies crème à blanchâtres. Elles sont capables d'élaborer un pigment jaune-vert fluorescent sous UV (365nm) diffusible dans le milieu, se qui traduit la présence de **pyoverdine** chez la souche n°01. (**Photographie n° 12**).



Photographie n° 11 : Isolement sur milieux King A et King B.

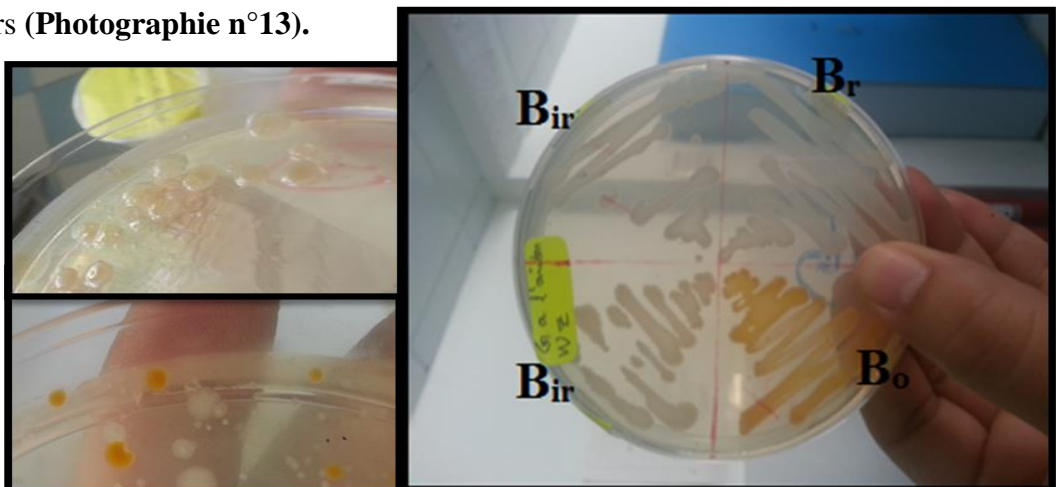


Photographie n° 12 : Isolement sur milieux King A et King B; observation sous l'UV.

4.II. Recherche du *Bacillus*

4.II.1. Examen macroscopique des colonies

L'observation macroscopique, a permet de distinguer la présence de trois types différents de souches, soit sur le plan morphologique, dont il'y a des colonies se caractérise par des bords irréguliers de grandes taille une couleur beiges écriâmes (**souche N°1**), le 2^{ème} type de colonies observés (**souche N°2**) ont différentes tailles, dont il' y a ceux qui sont de très petites, et/ou grande, opaque et bombés, avec une couleur blanchâtres. Le dernier type de colonies observées (**souche N°3**), est d'une consistance différente, dont les colonies sont visqueuses et d'une couleur orange, de petites tailles avec des bords réguliers (**Photographie n°13**).



Photographie n°13 : aspects macroscopiques des trois souches isolés sur GN à l'amidon.

4.II.2 Examen microscopique

L'observation microscopique a révélé des bacilles à Gram positif longues droites à bouts arrondis. A l'état frais, les cellules se présentent isolées ou groupées par deux ; immobile et sporulé (**Photographie n °14**).



Photographie n °14 : Observation microscopique après coloration de Gram des souches isolées sur GN à l'amidon.

4.II.3. Tests biochimiques

Les résultats des différents tests biochimiques des trois souches isolées sont représentés dans le tableau n°2.

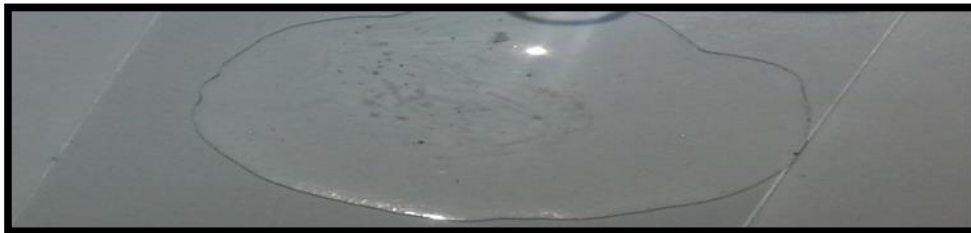
TABLEAU N°4 : RESULTATS DES TESTS BIOCHIMIQUES DES TROIS SOUCHES ISOLEES SUR GN A L'AMIDON

Souche	Souche N° 01(Bo)	Souche N° 02(Br)	Souche N° 03(Bir)
Test d'oxydase	Négatif	Négatif	Négatif
Test de catalase	Négatif	Négatif	Négatif
Test d'ONPG	Négatif	positif	Positif
Test Clark et Lubs	RM : positif	/	RM : négatif
Bouillon nitraté	Négatif	Négatif	Négatif
VF	AAF	AAF	AAF
Mannitol Mobilité	Négatif	Positif	Positif

mobilité	Fermentation du mannitol	Négatif	Positif	Positif
-----------------	---------------------------------	---------	---------	---------

4.II.3.1. Test de catalase

L'ajout d'une goutte d'eau oxygénée à la goutte de la suspension bactérienne étudiée, ne représente pas un dégagement de gaz, donc le test est considéré comme négatif (**Photographie n ° 15**).



Photographie n ° 15 : Test de catalase des trois souches isolées (N°1, N°2 et N°3).

4.II.3.2. Test d'ONPG

L'apparition de la couleur jaune dans les tubes contenant les souches N°1 et N°2 se traduit par l'hydrolyse de l'ONPG en ONPP par la β -galactosidase. On dit alors que se sont des bactéries à beta galactosidase positifs. Tandis que la souche N°3 est beta galactosidase négatif (**Photographie n ° 16**).



Photographie n ° 16 : Résultats du test d'ONPG (N°1, N°2 et N°3).

4.II.3.3. Test Clark et Lubs

Après l'incubation des bactéries dans le milieu Clark et Lubs, on observe que les deux tubes (souche n°1 et souche N°3) sont troubles alors que le tube contenant la souche N°2 est clair. On ajoute alors 1 ou 2 gouttes du réactif rouge de méthyle seulement aux deux tubes qui sont troubles (souche n°1 et souche N°3). Le milieu qui est devenu rouge : le pH est acide ; il y a eu formation de composés acides par les bactéries au cours de la fermentation du glucose. Les bactéries utilisent la voie des acides mixtes : on dit alors RM positif pour la souche N°3.

Le milieu qui est devenu jaune : le pH est basique ; les bactéries n'utilisent pas la voie des acides mixte lors de la fermentation du glucose. On dit alors RM négatif et c'est le cas de la souche N°1 (**Photographie n ° 17**).



Photographie n ° 17 : Résultats du test de Clark et Lubs et test d'RM (souches N°1, N°2 et N°3)

4.II.3.4. Bouillon nitraté

Pour les trois souches isolées, on observe l'absence totale du virage du couleur après l'ajout des deux réactifs nitrites 1, et nitrite 2 (réactif de Griess), et même après l'ajoute de la poudre de zinc. Le résultat est alors négatif, ce qui indique que les bactéries trouvées n'ont pas la capacité de réduire le nitrate (**Photographie n ° 18**).



Photographie n ° 18 : résultats du test de Nitrate réductase (souches N°1, N°2 et N°3)

4.II.3.5. Le test de VF

Après la réalisation de la pique centrale et l'incubation, on observe qu'il y a une croissance bactérienne le long de cette pique, ce qui indique que les bactéries trouvées appartiennent au type respiratoire : aérobie anaérobie facultatif (**Photographie n ° 19**).



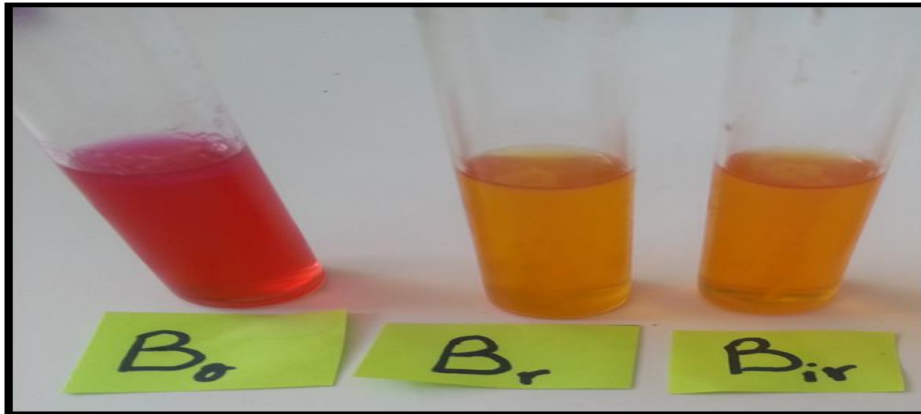
Photographie n ° 19 : Résultats du test de viande de foie (souches N°1, N°2 et N°3)

4.II.3.6. Test Mannitol mobilité

Souche N°1 : virage de la couleur du rouge au jaune, et l'apparition du trouble le long de la pique centrale, ce qui indique respectivement la capacité de la bactérie à acidifier le milieu, ainsi que leur mobilité (**Photographie n ° 20**).

Souche N°2 : le virage de la couleur et le trouble sont des résultats de l'acidification du milieu et la mobilité du genre trouvé (**Photographie n ° 20**).

Souche N°3 : l'absence totale du virage de la couleur, représente un résultat négatif de l'acidification du milieu, et on observe qu'il n'y a pas du trouble, donc pas de mobilité bactérienne (**Photographie n ° 20**).



Photographie n ° 20 : Résultats du test de viande de foie (souches N°1, N°2 et N°3).

Ces résultats indiquent sûrement que les souches étudiés n'appartiennent pas au genre *Bacillus*.

5. Discussion

Dans les derniers vingt ans, les méthodes appelées amis des écosystèmes ont été considérablement émergées, dont la décontamination des environnements se fait en utilisant différentes espèces bactériennes ; c'est la bioremédiation (**Kidd et al., 2009**). Les deux raisons fondamentales de traiter les eaux par les différentes voies de la bioremédiation, est la prévention et la diminution de la pollution et la protection de la santé publique (**Rivasseau et al., 2013**). Les bactéries hétérotrophes jouent un rôle très important dans l'élimination des matières organiques. Ces bactéries ont un travail durant le traitement des eaux des lacs en composant des groupements de flocons, des biofilms et des granules (**Cydzik-Kwiatkowska et al., 2014**).

Parmi les bactéries aérobies reconnues pour leur pouvoir de dégradation, nous pouvons citer celles appartenant aux genres *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Sphingomonas* et *Mycobacterium*. Elles peuvent dégrader les pesticides, les hydrocarbures, les alcanes et les composés polyaromatiques. Souvent, elles utilisent le polluant comme source de carbone et d'énergie (**Abdely, 2007**). Les genres *Bacillus*, *Micrococcus* et *Pseudomonas* sont très connus dans les milieux terrestres, tandis que *Pseudomonas*, *Aeromonas* et *Vibrio* sont présent beaucoup plus dans les milieux aquatiques (**Faulwetter et al., 2009**). Nos résultats sont en concordance avec ces études, ainsi, des isollements avec succès concernant le genre *Pseudomonas* sont obtenus. Par contre l'absence du genre *Bacillus* a été marquée. Les *Bacillus* ont aussi un rôle très important dans la bioremédiation des lacs, mais il été absent, cela est confirmé par les tests biochimiques réalisés.

Les bactéries isolées sont responsables de la stabilisation des eaux, *Pseudomonas* est principalement l'agent de la clarification de ces effluents. *Pseudomonas* est une bactérie de l'environnement, avec une capacité d'adaptation remarquable qui lui permet de survivre dans pratiquement n'importe où (eau, sol, végétaux) (**Kohler et al., 2009**). En plus de leur capacité à dépolluer les milieux aquatiques en réduction des Nitrates, *Pseudomonas* est aussi capable de résisté aux métaux lourds ; le zinc ainsi qu'au plomb et, présentait également une résistance à l'imipénème (Tienam) (**Tateda et al., 2001**).

D'un autre part *Pseudomonas* est considéré comme une bactérie pathogène opportuniste responsable d'infections nosocomiales sévères (**Perron et al., 2004**), donc la manipulation de ces souches doit tenir compte de cette propriété.

Pratiquement, deux méthodes basées sur l'utilisation des microorganismes sont utilisées *in-situ* pour la bioremédiation. La première est le dosage des microorganismes et la deuxième c'est l'utilisation des biofilms (**Ateia et al., 2015**). Dans notre étude, la contribution à l'isolement du *Pseudomonas* a montré un nombre restreint des deux souches obtenues à partir d'un seul essai, on constate qu'il y a des concentrations réduites du genre isolé. Donc une étape préalable de concentration est nécessaire avant l'application de ce microorganisme pour garantir une bioremédiation parfaite. Mais dans la plupart des cas on procède à l'utilisation d'un produit commercial, c'est FLO-1200, capable de renforcer le travail des microorganismes (**Wang et al., 2012**).

6. Conclusion et perspectives :

Les organismes microscopiques sont présents dans tous les milieux aquatiques. Le lac des oiseaux ne font pas exception à cette règle et abritent une communauté abondante et très diversifiée de microorganismes, dont le rôle est primordial pour le fonctionnement écologique de ces écosystèmes.

Dans ce cadre, nous nous sommes fixés comme objectif de rechercher et d'étudier la présence des bactéries intervenants dans la bioremédiation dans le lac des oiseaux, site RAMSAR, de la wilaya d'Eltaref.

Les résultats obtenus ont révélé que le lac étudié présente des bactéries appartenant au genre *Pseudomonas* (2 souches) dont une souche a été identifiée : *Pseudomonas aeruginosa*.

Ces bactéries sont responsables de la stabilisation des eaux, en plus de leur capacité à dépolluer les milieux aquatiques. Le dosage de ces microorganismes et l'utilisation des biofilms peuvent être prisent en considération comme méthodes de bioremédiation.

Les résultats obtenus nous ont ainsi conduis aux perspectives pouvant être réalisé ultérieurement, en effet, la portée de ces résultats, qui corroborent en grande partie ceux d'autres études, doit toutefois être nuancée par la faiblesse de l'échantillonnage. Des prélèvements complémentaires, sur ce même site ou sur d'autres, ainsi que les paramètres influençant la bioremédiation, études des effets indésirables sur les différents espèces d'oiseaux vu que ce lac est classé site RAMSAR et abrite des espèces en voie de disparition.

2.I. Les zones humides

2.I.1. La convention de RAMSAR

Trois conventions internationales traitent des zones humides : la convention de Berne, la convention de Rio et tout particulièrement la Convention de Ramsar (**Magdelaine, Mars 2018**).

En effet, la convention sur les zones humides est un traité intergouvernemental qui a été adopté le 2 février 1971 dans la ville iranienne de Ramsar, sur les berges méridionales de la mer Caspienne. Ceci explique pourquoi, bien que l'on écrive aujourd'hui généralement : « Convention sur les zones humides (Ramsar, 1971) ».

Elle vise à enrayer la dégradation et la perte de zones humides, en reconnaissant les fonctions écologiques fondamentales de celles-ci ainsi que leur valeur économique, culturelle, scientifique et récréative. Ce "label international" est le garant d'une gestion attentive de ces milieux puisque les Etats doivent élaborer et appliquer des plans d'aménagement de façon à favoriser la conservation de leurs zones humides et, autant que possible, permettre l'utilisation rationnelle de ces territoires (**Magdelaine, 2018**).

2.I.2. Définition d'une zone humide

Au sens de la convention de Ramsar, « les zones humides, sont des étendues de marais, de fagnes, de tourbières où l'eau est naturelle ou artificielle, permanente.

2.I.2.1. Composition d'une zone humide

En général, les milieux humides se composent de trois parties, la première comprend des terres hautes, soit des zones sèches qui abritent des arbres, des plantes herbacées et de nombreux autres types de végétation. La deuxième partie est constituée d'une bande riveraine, il s'agit d'une lisière de terre et de végétation entre les terres hautes et les zones d'eau de faible profondeur. La troisième partie d'un milieu humide est la zone aquatique, celle-ci peut être profonde et comporter une grande superficie d'eau libre, ou elle peut être peu profonde, sans aucune étendue d'eau libre, on y trouve une grande variété d'organismes aquatique (**Article, 2010**).

2.I.2.2. Principaux types de zones humides

La Convention de Ramsar a adopté une classification des types de zones humides qui comprend 42 types groupés en trois catégories : zones humides marines et côtières, zones humides continentales et zones humides artificielles (OCDE, 2008).

On reconnaît, en général, cinq types principaux de zones humides :

- marines (zones humides côtières comprenant des lagunes côtières, des berges rocheuses et des récifs coralliens);
- estuariennes (y compris des deltas, des marais cotidaux et des marécages à mangroves);
- lacustres (zones humides associées à des lacs);
- riveraines (zones humides bordant des rivières et des cours d'eau); et
- palustres (ce qui signifie « marécageuses » – marais, marécages et tourbières) (MCR, 2013).

2.I.2.3. Importance et fonctions des zones humides

Les zones humides sont vitales pour la survie de l'humanité. Elles sont parmi les milieux les plus productifs de la planète; berceaux de la diversité biologique, elles fournissent l'eau et la productivité dont des espèces innombrables de plantes et d'animaux dépendent pour leur survie.

Les zones humides sont indispensables pour les avantages infinis ou « services écosystémiques » qu'elles procurent à l'humanité, de l'apport d'eau douce à l'alimentation et aux matériaux de construction en passant par la biodiversité, la maîtrise des crues, la recharge des nappes souterraines et l'atténuation des changements climatiques (Anonyme, 2010).

Pour autant, les zones humides possèdent de nombreuses fonctions :

- elles permettent notamment la régulation des flux d'eau, que ce soit en les stockant lors de crues ou en les redistribuant en période de sécheresse.

- ces zones luttent contre les pollutions par épuration naturelle des eaux. Elles ont un rôle dans l'épuration de l'azote des eaux de surface : dans certaines conditions, près de 90 % des nitrates peuvent être retirés des eaux de surface par une forêt alluviale de 30 m de large, ayant des conséquences bénéfiques immédiates sur la qualité de l'eau de la rivière concernée (les forêts d'aulnes jouent un rôle dans l'épuration des nitrates des eaux souterraines).
- les zones humides sont un « réservoir de biodiversité ». On trouve ainsi dans les eaux douces environ 45 % des espèces de poissons connues, et la grande majorité des 5000 à 6000 espèces d'amphibiens identifiées sur Terre. Concernant les insectes.
- les zones humides ont aussi des fonctions de production (agriculture, foresterie, médicaments issus des espèces caractéristiques de ces milieux, etc.) et les fonctions d'agrément (pêche, chasse, tourisme, éco-tourisme, etc.) (**Article A, 2018**).

2.I.2.4. Menaces, état et pressions

Les écosystèmes d'eau douce sont victimes de nombreuses sources de pollution, individuelles et collectives, urbaines et industrielles (pollutions accidentelles, effluents insuffisamment épurés, lessivage par les pluies d'orages), agricoles (nitrates, phosphates, érosion source de turbidité, pesticides). Les filtreurs nettoient l'eau et améliorent souvent la qualité des sédiments, mais ils peuvent aussi bioconcentrer certains contaminants, au profit de la qualité de l'eau, mais avec des risques de bioconcentration et de perturbation. Les sédiments peuvent y concentrer de nombreux polluants (dont éléments-traces métalliques, plus ou moins durablement, notamment dans les régions industrielles ou dans les zones touchées par la pollution routière ou urbaine (**Canvan et al., 2007**)).

2.I.3. Les lacs

Les lacs sont des milieux complexes en constante évolution formés d'un large éventail d'éléments étroitement liés. Les lacs font également partie d'un écosystème plus vaste qui s'étend jusqu'aux terrains environnants qui s'y drainent. Le simple fait de modifier l'un des éléments du réseau d'un lac peut avoir des conséquences importantes sur d'autres composantes de l'étendue d'eau (**Article A, 2018**).

2.I.3.1. Les propriétés des lacs

Un lac est un environnement aquatique dynamique dont les propriétés chimiques, physiques et biologiques influent toutes les unes sur les autres et interagissent entre elles. En d'autres termes, le milieu biologique, ou la vie à l'intérieur d'un lac, est tributaire de la nature physique et chimique du lac. L'opposé est également vrai, car les organismes à l'intérieur du lac peuvent influencer sur ses propriétés chimiques et physiques. Nous pouvons, en nous renseignant au sujet des propriétés des lacs, mieux comprendre l'influence des processus naturels et de nos activités sur les lacs et faire de meilleurs choix pour aider à leur protection (OCDE, 2008).

2.I.3.1.1. Propriétés chimiques

En voyant un lac, on pourrait penser qu'il ne se passe pas grand-chose sous la surface de l'eau. En fait, beaucoup de phénomènes liés à la constitution chimique du lac sont en réalité en train de se dérouler, notamment la distribution de l'oxygène et des nutriments, qui peut avoir une influence considérable sur la santé du lac (Larsen, 2017).

- **L'oxygène**

La concentration d'oxygène dissous dans l'eau joue un rôle important dans la détermination du type et de la quantité d'organismes (poissons, invertébrés, végétaux, etc.) qui vivent dans un lac et elle représente un excellent indicateur de la santé générale du lac (Larsen, 2017).

- **Les nutriments**

Les nutriments sont vitaux pour le développement des plantes et de la vie animale. Dans un lac sain, les nutriments nourrissent les organismes aquatiques, comme les algues, les bactéries et les plantes aquatiques, et soutiennent leur croissance. Ceux-ci forment la base du réseau trophique soutenant l'ensemble de l'écosystème aquatique. L'azote et le phosphore sont les deux nutriments les plus courants à l'intérieur d'un lac. (Larsen, 2017).

2.I.3.1.2. Propriétés physiques

Les lacs ne représentent pas une masse d'eau uniforme; ce sont en fait des systèmes extrêmement complexes et peu homogènes. Les propriétés physiques effectives d'un lac, comme sa profondeur, sa forme et la température de l'eau, accentuent cette complexité au moyen de facteurs comme la sédimentation et la circulation de l'eau (**Redvet, 2009**).

- **La sédimentation**

Les sédiments constituent un vecteur important de nutriments; ils peuvent favoriser la croissance des plantes et des algues. Les sédiments du lac (sable, limon et argile) et la matière organique sous forme de particules (plantes, insectes ou animaux morts) peuvent se trouver en suspension ou se déposer. Dans les lacs sains, un équilibre se maintient entre les sédiments qui pénètrent dans le lac, ceux qui circulent à l'intérieur de celui-ci et ceux qui assurent le soutien de la vie aquatique (**Robert, 2016**).

- **La circulation de l'eau**

Les lacs sont des systèmes dynamiques qui changent au cours d'une année ainsi que d'une année à l'autre. L'eau à l'intérieur d'un lac se déplace à l'intérieur de la colonne d'eau (de la surface au fond) de même que sur la longueur du lac (des courants de déversement aux courants de débordement). Au cours d'une année, il est possible que des couches d'eau ayant des températures et des concentrations d'oxygène différentes se forment dans les lacs de plus de cinq à sept mètres de profondeur (**Robert, 2016**).

2.I.3.1.3. Propriétés biologiques

Un lac est un système complexe. Il s'agit en fait d'un système écologique, c'est-à-dire d'une communauté d'animaux, de plantes et de microorganismes qui interagissent les uns avec les autres et qui dépendent les uns des autres de même que de l'environnement dans lequel ils vivent. Les propriétés biologiques d'un lac affectent sa santé et les utilisations de l'eau autant que ses caractéristiques physiques et chimiques (**Redvet, 2009**).

- **Les algues**

Les algues sont des organismes photosynthétiques présents dans l'eau sous forme de cellules microscopiques simples ou de colonies visibles qui peuvent se trouver en

suspension dans l'eau ou se fixer à des surfaces solides comme des roches ou des billes de bois. Les algues constituent un élément vivant important des lacs et leur présence est généralement une bonne chose. Les algues et les plantes capables de photosynthèse sont les producteurs primaires de l'énergie alimentaire biologique à l'intérieur du réseau trophique d'un lac; elles fournissent celle-ci en effectuant la conversion initiale de l'énergie de la lumière et de l'énergie des nutriments chimiques. Les algues représentent, à titre de producteurs primaires, la base du réseau trophique; la majorité des autres formes de vie dans un lac dépendent d'elles pour leur nourriture, la production d'oxygène et le cycle nutritif (**Canvan et al., 2007**).

Les algues ont besoin de lumière, d'un approvisionnement en nutriments et de plages de températures particulières pour se développer et se reproduire. Parmi ces facteurs, l'approvisionnement en nutriments, en particulier le phosphore, détermine généralement l'ampleur du développement des algues dans un lac.

- **Les plantes aquatiques**

Tout comme les algues, les plantes aquatiques jouent un rôle vital dans l'écologie d'un lac. Elles se présentent sous de nombreuses formes et tailles et elles fournissent un couvert, un habitat et de la nourriture à la vie aquatique dans un lac (**OCDE, 2008**).

- **Les décomposeurs**

Les décomposeurs, notamment les bactéries, les champignons et autres microorganismes, se nourrissent des restes de matières organiques, comme les algues, les plantes, les insectes et les animaux morts qui proviennent des eaux de surface. Ce faisant, ils décomposent ou désintègrent les matières organiques, les ramenant à un état inorganique et retournant dans l'eau une partie des substances de base dont étaient composées les matières vivantes, tels les nutriments comme le phosphore et l'azote, qui deviennent alors accessibles pour la croissance de nouvelles plantes (**OCDE, 2008**).

Lorsque le niveau de matières organiques est excessif dans un lac, l'oxygène dissous disponible peut être consommé et s'épuiser au fur et à mesure que les décomposeurs assurent la dégradation des plantes organiques et des matières animales. Le processus peut avoir un effet négatif sur les autres organismes aquatiques ayant besoin d'oxygène, tels que le zooplancton, les poissons et les insectes. Si les concentrations d'oxygène deviennent trop basses, seules quelques espèces tolérant une faible présence d'oxygène

pourront décomposer les matières organiques. Les bactéries anaérobies sont des décomposeurs qui n'ont pas besoin d'oxygène; même si elles sont utiles, elles produisent des gaz nocifs comme sous-produit de leur métabolisme (**Article B, 2018**).

2.II. La pollution

2.II.1. Définition

La pollution est un ensemble de nuisances provoquées par la contamination des éléments nécessaires à la vie de l'homme, des animaux et des végétaux. (**Djennane et al., 2014**). La pollution est la conséquence de l'introduction dans un milieu de matières, en quantité suffisamment importante pour perturber son fonctionnement habituel à cours, moyen, ou long terme. La plus part du temps elle est due à l'activité de l'homme mais pas toujours (**Moletta, 2003**).

Les phénomènes de pollution se traduisent généralement par des modifications des caractéristiques physicochimiques du milieu récepteur. Un des moyens d'étude de cette pollution consiste à mesurer, par des analyses et à différentes périodes, les paramètres physico-chimiques dans les eaux superficielles (**Haied et al., 2014**)

Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation de l'environnement par la civilisation technologique contemporaine (**Saifouni, 2009**). Les mécanismes et les effets de la pollution des eaux figurent paradoxalement parmi les mieux connus de toutes les causes de pollution de l'environnement (**Raven, et al., 2009**).

Les activités anthropiques directes et indirectes, ont profondément altéré le rythme de changement des zones humides. L'opinion selon laquelle les zones humides sont «des places perdues», née de l'ignorance ou de la méconnaissance de l'importance des biens et services qu'elles procurent, est à l'origine de la transformation des zones humides au profit de l'agriculture intensive, de l'industrie ou de l'urbanisme ; certaines zones humides, disparaissent également par suite de la pollution du déversement de déchets, de l'exploitation minière ou de l'extraction de l'eau dans la nappe souterraine (**Saifouni, 2009**).

2.I.2. Différents types de la pollution

2.II.2.1. Pollution Agricole

Elle est avant tout une conséquence de l'expansion de certaines techniques agricoles modernes (**Abdelly, 2007**).

De jour en jour, les teneurs en sels nutritifs augmentent dans la majorité des bassins endoréiques africains et l'eutrophisation par "source diffuse" s'installe. Plus les activités agricoles sont intenses, plus l'enrichissement est rapide (**Ballouki, 2012**).

Les pratiques agricoles peuvent constituer une source diffuse de la pollution aux conséquences importantes sur la qualité de l'eau. Les éléments fertilisants (essentiellement l'azote et le phosphore provenant des engrais et de l'élevage), les pesticides, les sels et les agents pathogènes sont les principaux polluants des masses d'eau dont l'agriculture est responsable, sous l'effet du ruissellement et du lessivage des sols, mais aussi les rejets provenant des élevages et des réseaux d'irrigation (**OCDE, 2008 ; Ballouki, 2012**).

2.II.2.2. Pollution industriel

Les industries génèrent des polluants très nombreux et de toxicité variable (**Tazi, 2007**). La pollution industrielle comprend les matières solides en suspension, les sels dissous, les hydrocarbures, les éléments traces ou micro polluant (par exemple le cadmium rejeté par les teintureries ou le chrome rejeté par les tanneries) et les rejets acides ou basiques qui influent sur le pH de l'eau (**Tazi, 2007 ; Ballouki, 2012**).

Certains de ces polluants ont contaminé les sols et proviennent des décharges, des installations industrielles, comme conséquence d'accidents de transport ou encore par le biais des rejets urbains et industriels (**OCDE, 2008**).

2.II.2.3. Pollution domestique

Elle provient des habitations, elle est en générale véhiculée par le réseau d'assainissement. Les grands indicateurs de la pollution urbaine et domestique sont le dioxyde de soufre (SO₂), le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO_x),

l’ozone et les particules en suspension. Plusieurs travaux ont montré que ces substances présentent un risque potentiel pour la santé humaine (**Abdelly, 2007**)

Elle se caractérise par :

- de fortes teneurs en matières organiques ;
- des sels minéraux, dont l’azote et le phosphore ;
- des détergents ;
- des germes fécaux (**Faulwetter et al. 2009**).

2.II.3. Contamination bactériologique

Comme le décrit le tableau 2, elles peuvent être d’origine urbaine, rurale, agricole, industrielle et naturelle. Chacune de ces sources a un pouvoir de contamination distinctif (**Brouillette et al, 2013**). **Article**

TABLEAU N°01 : SOURCES POTENTIELLES DE CONTAMINATION BACTERIOLOGIQUE (BROUILLETTE ET OUELLET, 2013).

Urbaines	<p>Eaux usées municipales :</p> <ul style="list-style-type: none"> > non traitées; > non désinfectées; > déversements et dérivations aux stations d’épuration; > débordements des réseaux d’égout. <p>Eaux de ruissellement (égouts pluviaux).</p>
Rurales	<p>Eaux usées domestiques de bâtiments non desservis (résidences et commerces) :</p> <ul style="list-style-type: none"> > rejets directs d’eaux usées non traitées; > débordements de fosses septiques; > résurgences de champs d’épuration. <p>Eaux de ruissellement.</p>
Agricoles	<p>Déjections d’animaux d’élevage :</p> <ul style="list-style-type: none"> > rejetées aux cours d’eau (directement ou indirectement); > en provenance de systèmes d’entreposage défailants,

	d'aires d'alimentation et de cours d'exercice. Eaux de ruissellement et drains souterrains de terres fertilisées avec des déjections animales.
Industrielles	Industries agroalimentaires. Industries de pâtes et papier.
Naturelles	Déjections d'oiseaux et d'animaux sauvages. Eaux de ruissellement.

2.II.4. Classification des polluants

Si l'on cherche à classer les matières polluantes, c'est pour essayer de s'y retrouver et de bien choisir les procédés qui permettront de l'éliminer. La nature des matières polluantes de l'eau dépend bien sûr, de l'origine de l'eau usée (**Moletta, 2003**). Nous distinguerons trois catégories parmi les divers polluants des eaux : celle des agents chimiques, des agents physiques et des agents biologiques (**Moore et al., 2006**).

2.II.4.1. Polluants chimiques

La pollution minérale des eaux résulte de la libération dans ces derniers de divers métaux toxiques et de substances inorganiques telles les nitrates, les phosphates et autres sels minéraux nutritifs utilisés en agriculture comme fertilisants, enfin de divers résidus rejetés par la métallurgie et d'autres activités (**Raven, et al., 2009**). Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses (**Djennane et al., 2014**). Ils ne se dégradent pas ou ne se décomposent pas facilement (**Raven et al., 2009**).

2.II.4.1.1. Nitrates

Le problème de la pollution des eaux par les nitrates employés comme engrais chimiques en agriculture est actuellement très préoccupant (**Djennane et al., 2014**). Les plus nocifs sont les composés de l'azote, nitrates (NO_3^-) et nitrites (NO_2^-). Ils provoquent des troubles graves chez les jeunes vertébrés par dégradation de l'hémoglobine du sang (**Rutger, 2014**).

Les nitrates ne sont pas directement toxiques pour l'Homme. Le risque provient de leur transformation en nitrites dans l'appareil digestif. Ils provoquent l'oxydation de

l'hémoglobine en méthémoglobine, celle-ci est alors incapable d'assurer le transport de l'oxygène.

La pollution par les nitrates intervient quand l'apport d'engrais n'est pas complètement utilisé par les plantes. Les nitrates, solubles dans l'eau, descendent vers les nappes à des vitesses variables selon la nature du sol (**Ballouki, 2012**).

2.II.4.1.2. Phosphates

La civilisation moderne a accru la vitesse de circulation du phosphate. En effet, l'agriculture utilise comme engrais des tonnages considérables de divers phosphate (**Rivasseau et al, 2013**). Les phosphates sont les principaux responsables du phénomène d'eutrophisation. En effet, non toxiques en eux-mêmes pour la vie animale et végétale, ils portent atteinte à l'environnement dès qu'ils sont en fortes concentrations : ils deviennent alors de véritables engrais pour les milieux aquatiques qu'ils enrichissent en matière organique (**Valiron, 1989**).

2.II.4.1.3. Micropolluants

Sont des composés présents à des concentrations inférieures ou égales au microgramme par litre dans l'eau – ou microgramme par kilogramme dans les sédiments (**Reignier, 2000**). Les micropolluants présents dans l'eau comprennent une multitude de composés minéraux et organiques dont les effets sur les organismes vivants peuvent être toxiques à de très faibles concentrations (de l'ordre généralement du microgramme par litre) (**Ballouki, 2012**). Comprendre comment les communautés microbiennes s'adaptent à un apport en matière organique ou en micropolluants constitue un enjeu important pour le maintien de la qualité de l'eau (**Hadjel m. et al, 2014**).

La contamination des eaux de surface est due essentiellement à des rejets directs (égouts non raccordés à un système d'épuration, par exemple), au ruissellement de l'eau sur des surfaces contaminées ou encore à l'érosion de particules de sol. Les eaux souterraines sont, quant à elles, contaminées suite à l'infiltration des micropolluants dans le sol et le sous-sol. On distingue les apports ponctuels où les sources de pollution sont clairement identifiées (rejets industriels, pollution accidentelle, rejets des eaux usées domestiques), des sources diffuses liées

principalement aux activités agricoles et aux retombées atmosphériques (**Ballouki, 2012**).

On distingue généralement trois grands groupes de micropolluants : les micropolluants organiques, les micropolluants minéraux et les micropolluants organométalliques (**Ballouki, 2012**).

A. Micropolluants organiques

Regroupent plusieurs types de composés contenant un ou plusieurs atomes de carbone. Ce groupe de micropolluants peut être scindé en deux grandes familles : les pesticides et les autres micropolluants organiques (**Ballouki, 2012**).

- **Les pesticides**

Les pesticides, encore appelés produits phytopharmaceutiques (ou phytosanitaires) dans le domaine de l'agriculture, sont des substances utilisées comme moyen de lutte contre des organismes indésirables (plantes, animaux, champignons, bactéries). Le terme pesticide englobe également des usages non agricoles, pour lesquels la dénomination de produits biocides a été adoptée (**Rodier et al., 2009**).

- **Les hydrocarbures**

Les plus connus sont les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) qui se forment lorsque la combustion des matières organiques est incomplète. Ces composés sont dès lors présents de manière non intentionnelle dans de nombreux matériaux (goudrons, carburants...) (**Ballouki, 2012**).

L'action potentiellement néfaste sur la santé des hydrocarbures polycycliques aromatiques est bien admise. Ils proviennent en grande partie de la pyrolyse des hydrocarbures ou de leur combustion (**Rodier et al., 2009**).

Les hydrocarbures comme le pétrole, les huiles et les graisses proviennent surtout des activités d'exploitation, de transport et de raffinement du pétrole. L'essence et les huiles automobiles répandues sur la chaussée qui sont lessivées par la pluie, de même que les huiles usées jetées de façon inadéquate ou illégale entraînent également la contamination des milieux aquatiques (**Benoit, 2014**).

- **Détergents**

Les détergents (ou surfactants) sont des produits susceptibles de permettre les opérations de nettoyage (**Rodier et al., 2009**) qui possèdent des propriétés tensioactives (**Ballouki, 2012**).

B. Micropolluants minéraux

Sont représentés essentiellement par les éléments traces métalliques (ETM). Ces éléments sont présents naturellement dans les roches et les sols, mais les niveaux de concentration actuels résultent pour la plupart de diverses activités humaines (sidérurgie, tannerie, transport routier, effluents agricoles...) (**Ballouki, 2012**).

C. Micropolluants organométalliques

Sont des molécules mixtes dans lesquelles un ion métallique est lié à un groupement organique (ex: méthyle de mercure) (**Ballouki, 2012**).

Les micropolluants ne sont pas toxiques uniquement pour la faune et la flore aquatiques mais aussi pour les êtres humains. La toxicité dépend de plusieurs facteurs tels que le type de micropolluant, la dose reçue et la voie d'exposition (voie alimentaire, inhalation, passage à travers la peau). Les principaux effets observés sont la formation de radicaux libres, l'altération de l'expression des gènes, une toxicité au niveau d'un tissu ou d'un organe. Ces effets ont pour conséquences l'apparition de diverses pathologies : cancers, immunodéficience, infertilité, problème de croissance, maladie d'Alzheimer, malformations des nouveaux-nés (**Rutger, 2014**).

2.II.4.2. Polluants physiques

Il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans l'eau; qui lui confèrent un caractère trouble. On distingue aussi les matières décantées (plus lourds que l'eau elle-même), les matières flottables (plus légères que l'eau elle-même) et les matières non séparables (de même densité que l'eau) (**Moore et al, 2006**).

La pollution physique désigne autre type de pollution, telle que la pollution thermique due au température élevée qui cause une diminution de la teneur en oxygène

dissous ainsi qu'une réduction de la solubilité des gaz (Saifouni, 2009), et la pollution radioactive où la radioactivité des eaux naturelles est peut être d'origine naturelle ou artificielle (énergie nucléaire) (Ronald, 2003).

2.II.4.3. Polluants biologique

Un grand nombre de micro-organismes peut proliférer dans l'eau qui sert l'habitat naturel ou comme une simple moyenne de transport pour ces microorganismes.

L'importance de la pollution de l'eau dépend également des conditions d'hygiène, des populations, mais aussi des caractéristiques écologiques et épidémiologiques.

Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient dans l'eau sont: les bactéries, les virus, les parasites et les champignons, on parle ainsi de la pollution bactérienne, viral ou parasitaire (Raven *et al.*, 2009).

La pollution microbiologique a pour source des eaux usées improprement traitées ou des eaux de ruissellement contaminées se déversant dans les cours d'eau (Ballouki, 2012).

De nombreuses affections pathogènes sont favorisées par la pollution biologique des eaux : outre les colibacillooses, c'est par exemple le cas des dysenteries, y inclus du choléra, de typhoïde, des shigelloses, des maladies virales entériques (Raven *et al.*, 2009).

2.II.5. L'eutrophisation

L'eutrophisation est un enrichissement du milieu aquatique en nutriments (sels minéraux nutritifs), principalement azotés et phosphatés (Raven *et al.*, 2009). La présence des nitrates en quantité importante dans les eaux provoque un développement anarchique de microorganismes, d'algues et de plantes qui perturbent les équilibres naturels (eutrophisation) (Abdelly, 2007). L'augmentation de la turbidité par le phytoplancton et la croissance accrue de macro algues est très défavorable aux phanérogames marines (Magnoliophyta), et qui consomment l'oxygène indispensable à la survie des autres espèces (Rutger, 2014).

L'eutrophisation est un phénomène qui touche tous les plans d'eau à faible taux de renouvellement. Elle se traduit par une brutale pullulation des végétaux planctoniques.

Ce processus est naturellement lent mais il peut être fortement accéléré par l'apport d'effluents domestiques, industriels et/ou agricoles et conduire à la transformation de l'écosystème aquatique en quelques décennies voire même en quelques années (**Raven et al., 2009**).

La prolifération de la végétation aquatique peut être un phénomène naturel pour certains milieux fermés (lacs, étangs), et représente l'une des phases de leur eutrophisation. Cette prolifération est généralement lente quand les milieux sont équilibrés, et elle est limitée, à la fois par la quantité de sels nutritifs disponibles, mais aussi par la prédation des herbivores et l'agression des décomposeurs.

Quand un déséquilibre survient, dû par exemple à des apports artificiels de sels nutritifs (lessivage des terres amendées) ou à la prolifération en masse d'une espèce (réalisation d'un barrage créant des accumulations locales), le processus s'accélère et l'on aboutit rapidement à un état qualifiable de pollué.

L'eutrophisation des milieux aquatiques nuit à des impacts nuisibles sur les macrophytes (**Saifouni, 2009**). En effet, des études ont démontré que la richesse spécifique des macrophytes est significativement plus faible dans les milieux eutrophes que dans les milieux oligotrophes (**Tazi, 2007**). De plus, la morphologie des espèces est également affectée par le niveau trophique des milieux aquatiques (**Hauray et al., 2001**). Ce phénomène s'explique entre autres par le fait que la prolifération des algues, causée par l'apport excessif de nutriments, augmente la turbidité de l'eau et inhibe par le fait même le développement des macrophytes (**Moore et al, 2006**).

Les bio-indicateurs de l'eutrophisation les plus connus demeurent néanmoins les cyanobactéries. En effet, comme la quantité de phosphore disponible constitue le principal facteur limitant leur croissance, leur prolifération dépend directement de l'apport de phosphore dans le milieu (**Tazi, 2007**).

2.II.6. Impacts de la pollution des lacs

La question se pose quant aux effets sur les écosystèmes et sur la santé humaine d'une telle pollution.

2. II.6.1. Sur le milieu naturel

L'incidence des rejets sur notre environnement peut s'apprécier au regard des élévations de températures, des modifications du pH, des consommations d'oxygène du milieu ainsi que des effets spécifiques inhérents à chaque polluant. Ceci conduit à la modification de l'équilibre des écosystèmes.

Les modifications de température de pH, perturbent le développement normal de la faune et de la flore. Le rejet de matière organique entraîne une surconsommation d'oxygène par les micro-organismes et en prive d'autant les poissons. Les matières en suspension conduisent aussi au colmatage des branchies des poissons, les rejets d'azote et de phosphore favorisent l'eutrophisation des lacs (**Moletta, 2003**).

Les organismes autotrophes (phytoplanctons, algues macrophytes), de même que les invertébrés tant des eaux continentales que marines, sont victimes des innombrables substances chimiques rejetées dans les eaux par les activités industrielles- par les pollutions diffuses- et en milieu océanique par le transport pétrolier et chimique (**Raven et al., 2009**).

2.II.6.2. Sur l'économie

Il faut se rendre compte que dépolluer reste encore actuellement une activité de riches. Personne ne peut nier l'absolue nécessité de prendre en compte notre environnement. En France comme dans les pays développés, à la plus part des collectivités et les industries prennent en charge leurs rejets.

En certaines périodes de l'année, la prolifération d'algues qui viennent s'échouer et pourrir sur les côtes de la Manche conduit à des nuisances qui perturbent fortement l'activité touristique de ces régions... Cette prolifération est attribuée aux rejets de polluants azotés et phosphorés locaux ou d'ailleurs. Le maintien de l'activité touristique implique l'élimination de ces nuisances. Ceci représente un coût et un

manque à gagner important. Comme c'est souvent le cas, le secteur qui est à l'origine de la pollution n'est pas le secteur qui en subit les conséquences (**Moletta, 2003**).

2.II.6.3. Sur la santé

L'être humain peut être exposé à ces micropolluants principalement à travers la nourriture, notamment les poissons et l'eau potable. Selon les substances, les risques, en cas d'expositions élevées, peuvent être variés : cancers, modifications hormonales, malformations fœtales (**Reignier et al., 2000**).

Les maladies liées à la présence d'éléments pathogènes ou de molécules toxiques sont très répandues. Les parasitoses d'origine hydrique dominent très largement la pathologie des habitants du tiers monde :

- paludisme (un million de décès par an, 100 à 150 millions de cas annuels dont 90% en Afrique, et 300 millions de porteurs de parasites),
- filaires (maladie due à un vers injecté par des moustiques sous les climats chauds et humides),
- le choléra, du aux vibrions cholériques présent dans les eaux souillées,
- l'hépatite A (due à un virus présent aussi dans les eaux polluées)
- et les autres comme les dysenteries d'origines parasitaires, bactériennes et virales aux conséquences qui peuvent être très grave chez le jeune enfant.

Les métaux lourds comme le mercure, le plomb, le cadmium, le cuivre etc, présentent la particularité de se concentrer dans la chaîne biologique. Ils ne sont pas dégradables, leur présence est donc rémanente. Ils conduisent à des pathologies diverses en fonction de leurs natures, pathologies qui peuvent être très graves, voir mortelles (**Moletta, 2003**).

Les espèces microbiologiques impliquées dans les maladies d'origine hydrique proviennent majoritairement des matières fécales humaines et animales (**Amiard et al., 2011**). Ainsi, les pratiques inadéquates d'entreposage et d'épandage d'engrais constituent un risque potentiel important pour la santé de la population.

Synthèse bibliographique

TABLEAU N°02 : PRINCIPALES MALADIES TRANSMISES PAR L'EAU (A.F.E.E, 1985).

Organismes	Maladies	Principal site atteint
1. Bactéries		
<i>Shigella</i>	Shigelloses (dysenterie bacillaire)	Système gastro-intestinal
<i>Salmonella typhi</i>	Fièvre typhoïde	Intestin
<i>Salmonella cholerae</i>	Fièvre entérique	Système gastro-intestinal
<i>Salmonella entérique</i>	Gastro entérite	Système gastro-intestinal
<i>Escherichia coli</i>	Gastro entérite	Système gastro-intestinal
<i>Vibrio cholerae</i>	Choléra	Intestinal
<i>Francisella tularensis</i>	Tularémie	Système respiratoire foie – rate ganglions lymphatiques
<i>Leptospira icterohaemorrhagiae</i>	Leptospirose	Foie
2. Virus		
Entérovirus		
Poliovirus	Poliomyélite méningite aseptique	Moelle épinière Méningite
Coxsackievirus	Myocardite méningite aseptique –	Coeur –muscle
Echovirus	épidémie myalgia	Méningites- intestin
Adénovirus	Méningite aseptique gastro	Pharynx
Réovirus	entérite	Appareil respiratoire et digestif
Virus A del'hépatite	Pharyngite	Foie
Virus gastro- entérique	Maladies respiratoires diarrhées	Système gastro intestinal
3. Protozoaires		

<i>Entamoeba histolytica</i>	Ambiase	Système gastro-intestinal
<i>Naegleria gruberia</i>	Méningite encéphalitique	Système nerveux central
<i>Giardia lamblia</i>		Intestin

2.III. La bioremédiation

2.III.1. Définition de la bioremédiation

La bioremédiation est une branche des biotechnologies qui utilise des mécanismes biologiques naturels ou détournés pour traiter des problèmes environnementaux (Vavasseur, 2014).

En complément de l'approche mécanique et physico-chimique, il est possible de faire intervenir des êtres vivants, des bactéries ou des plantes : c'est ce qu'on appelle la bioremédiation (Vavasseur, 2014), c'est-à-dire l'emploi de procédés biologiques pour éliminer les polluants industriels qui contaminent le cycle biogéochimique des substances naturelles, est une option avantageuse pour diminuer la pression exercée sur l'environnement (Abdelly, 2007).

Par rapport aux techniques physico-chimiques, les techniques de remédiation biologique sont mises en œuvre *in situ* avec un impact moindre sur l'environnement. Elles peuvent ainsi traiter de larges espaces faiblement contaminés, elles diminuent l'érosion par le vent et le ruissellement, elles préservent la fertilité des sols, ainsi que le paysage. Leur coût est modéré, généralement de 10 à 100 fois inférieur aux techniques classiques (Vavasseur, 2014).

2.III.2. Principe de la bioremédiation

Le procédé de la bioremédiation consiste à activer la capacité naturelle que possèdent de nombreux organismes, la plupart des temps microscopiques (bactéries, microalgues, champignons), à dégrader les polluants en composés inertes, comme l'eau et le gaz carbonique. Ces organismes peuvent être indigènes (déjà présents dans la zone polluée), ou exogènes (ajoutés au milieu), ou encore être prélevés sur le site contaminé, cultivées au laboratoire puis réintroduits dans le sol (bioaugmentation). La bioremédiation se déroule généralement en condition d'aérobie, cependant l'application de systèmes de

bioremédiation en condition d'anaérobie permet la dégradation d'un certain nombre de molécules récalcitrantes (Vavasseur, 2014).

2.III.3. La bioremédiation par les bactéries

Les bactéries sont capables de réduire, oxyder, séquestrer, volatiliser ou dégrader les polluants. L'exploitation de leurs extraordinaires capacités métaboliques permet d'envisager leur utilisation dans des procédés efficaces et peu coûteux de bioremédiation des eaux ou sols contaminés, notamment par des métaux traces ou des radionucléides toxiques (Belouahem, 2012).

Dans le cas de métaux lourds toxiques, les phénomènes de biotransformation mis en jeu incluent : chimisorption renforcée par les microbes, biosorption, bioaccumulation, biominéralisation (Vavasseur, 2014).

2.III.3.1. La bioaugmentation

Cette technologie consiste à introduire des cultures de microorganismes à la surface du milieu contaminé dans l'objectif d'augmenter la biodégradation des contaminants organiques.

Généralement les microorganismes sont sélectionnés sur la base de leur aptitude à dégrader les composés organiques présents dans le site à dépolluer. La culture peut comprendre une ou plusieurs espèces de microorganismes. Des éléments nutritifs sont généralement apportés dans la solution contenant les microorganismes. Cette suspension de microorganisme est apportée à la surface du sol dans les conditions naturelles ou injecte dans le site contaminé sous pression.

Cette technologie est largement utilisée pour décontaminer les sites contenant des hydrocarbures : Les microorganismes choisis sont des bactéries dotées d'une grande capacité de digestion de ces hydrocarbures (Abdelly, 2007).

2.III.3.2. La biofiltration

Consiste à l'utilisation d'un biofiltre pour traiter les émissions gazeuses : le principe consiste à utiliser des microorganismes pour dégrader les polluants contenus dans l'air à traiter : la phase aqueuse (l'air contaminé) est mise en contact avec une phase aqueuse dans laquelle se développe la population microbienne, connue aussi sous le nom de la

biomasse. Dans une unité de biofiltration, l'air à épurer (à dépolluer) traverse d'abord un filtre et un humidificateur afin de supprimer les particules (poussières, graisses) présentes dans le gaz et d'amener le niveau d'humidité à 100%. L'air est ensuite introduit dans un réacteur (une cuve) contenant un garnissage formé de matériaux très poreux (très avide pour l'humidité). A la surface des particules qui constituent le garnissage se trouve un biofilm qui correspond à une pellicule d'eau contenant des microorganismes (bactéries et champignons) dont la fonction est de dégrader les polluants présents dans l'air à traiter.

Les biofiltres sont caractérisés par une flore microbienne immobilisée et une phase aqueuse stationnaire. Les effluents gazeux sont épurés lors de leur passage à travers un milieu solide (tourbe, compost, charbon actif) sur lequel sont fixés les microorganismes. Une humidification régulière permet le maintien d'une activité de l'eau (A_w) compatible avec la biodégradation (**Vavasseur, 2014**).

Cette technologie est par exemple utilisée pour traiter l'air pollué par le xylène ou par des composés azotés (**Belouahem, 2012**).

2.III.3.3. La biostimulation

Cette technologie consiste à stimuler l'activité des populations microbiennes indigènes (présentes dans le sol ou dans les eaux souterraines) par apport de nutriments et par ajustement des conditions du milieu (potentiel d'oxydoréduction, humidité). (**Abdelly, 2007**).

III.3.4. La biolixiviation

A l'inverse de la réduction, l'oxydation des sulfures métalliques peut être intéressante pour extraire les toxiques métalliques par remise en solution. Il s'agit de la biolixiviation. Cette approche est utilisée pour traiter des stériles miniers ou des eaux acides de drainage de mines. Les bactéries peuvent être utilisées de façon directe ou indirecte pour réaliser la biosolubilisation de métaux toxiques ou précieux. C'est la lixiviation favorisée par la voie biologique (généralement bactérienne). Elle correspond à une méthodologie de solubilisation des métaux lourds grâce à des bactéries acidophiles fonctionnant en présence ou en l'absence d'oxygène. Deux facteurs sont

importants pour la biolixiviation : la température qui doit être comprise entre 25 et 35 °C. La taille des particules doit être très proche de celle des bactéries (Abdelly, 2007).

Les micro-organismes qui participent à ces transformations sont principalement des bactéries du genre *Thiobacillus* (*ferrooxidans*, *thiooxidans*, *acidophilus*) ou *Leptospirillum* (*ferrooxidans*). Elles se développent dans des environnements très acides ($1 < \text{pH} < 2$) et supportent de fortes concentrations en métaux toxiques comme le cadmium, l'uranium ou le thorium (Belouahem-abad, 2012).

2.III.3.5. Bioconcentration

La propriété de certains organismes, en particulier les cyanobactéries, les microalgues et certaines plantes aquatiques, de concentrer dans leurs cellules les métaux lourds ou des agents polluants tels que le phosphore permet d'envisager leur utilisation pour la dépollution d'eaux chargées en produits toxiques. (Belouahem, 2012).

2.III.3.6. Bioaccumulation

Le phénomène de la bioaccumulation consiste en l'assimilation de polluants dans un organisme (par adsorption ou incorporation) dont la concentration augmente dans le temps et devient plus élevée que dans l'environnement immédiat (Amiard, 2011).

Le tableau n°03 présente des exemples de bioremédiation d'eaux polluées faisant appel à une étape de bioaccumulation. Toutefois, les méthodes présentées éliminent les métaux de l'effluent liquide en causant leur précipitation, mais ne les laissent en place dans l'écosystème (Belouahem, 2012).

TABLEAU N°03 : LE MODE DE LA BIOREMEDIATION FAISANT APPEL A UNE ETAPE DE BIOACCUMULATION. (BELOUAHEM, 2012).

Ecosystème	Origine de pollution	Organismes	Mécanismes	Efficacité	Référence
Lac naturel	Rejets de mines et de fonderie	Algues Bactéries Sulfato réductrices (BSR)	Biosorption par les algues puis mort des algues et sédimentation.	Bonne	Jackson (1978)

Synthèse bibliographique

			Précipitation de sulfures métalliques (Zn,Cd,CU,Fe) par les BSR. Conversion microbienne de Hg en diméthyle de Hg.		
Marécage et bassins	Eaux acides de drainage de mines	Cyanobactérie Mousses Sphaignes <i>Typha</i> <i>Scirpus</i> <i>Carex</i> BSR.	Biosorption, précipitation de sulfures métalliques par les BSR en anaérobiose. Précipitation de Fe+Mn par oxydation bacterienne en aérobiose.	Bonne en 4 mois élimination de 69-90% du Mn et 60% du Fe.	Erickson <i>et al.</i> (1987)
Bassins artificiels	Mines de plomb et traitement du minerai.	<i>Chlorella</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Cladophora</i> <i>Spirogyra</i> <i>Rhizodonium</i> <i>Potamogeton</i> <i>Typha</i>	Biosorption par les algues et les plantes. Le rôle des microorganismes n'est pas indiqué.	Fe, Pb,Cu, Ni, Cd éliminés à 99%.	Gale (1986)
Bassins artificiels	Mine d'uranium et traitement du minerai.	<i>Spirogyra</i> <i>Chara</i> <i>Oscillatoria</i> BSR	Après des traitements physiques conventionnels, biosorption	U 86% Se 96% Mo 65%	Ashley et Roach (1990)

			par les algues. Le rôle très probable des BSR n'est pas indiqué.		
--	--	--	---	--	--

2.III.3.7. Déhalogénéation

De nombreux pesticides et des polluants industriels contiennent du chlore ou d'autres halogènes. L'enlèvement de l'halogène détoxifie généralement ces composés. Les enzymes impliqués sont appelés déhalogénases (**Rodier, 1996**).

2.III.3.8. Conjugation

Ce sont des réactions qui associent un composé courant des voies métaboliques à un composé toxique dont elles provoquent l'inactivation. Par exemple *Cunninghamella elegans* peut conjuguer le pyrène avec du glucose. Certains organismes peuvent conjuguer un fongicide de la famille des dithiocarbamates avec de l'acide butyrique produisant une conjugaison moins toxique que le fongicide (**Belouahem, 2012**).

2.III.4. Les microorganismes utilisés en bioremédiation

Ils proviennent de milieux très variés et peuvent vivre dans des conditions extrêmes : des températures en dessous de 0°C ou au contraire, très élevées, dans des milieux inondés ou en plein désert, en présence d'un excès d'oxygène ou milieu anaérobie. En raison de leur pouvoir d'adaptation, ces microorganismes sont utilisés pour éliminer les composés xénobiotiques (**Abdelly, 2007**).

Parmi les bactéries aérobies reconnues pour leur pouvoir de dégradation, nous pouvons citer celles appartenant aux genres *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Sphingomonas*, *Mycobacterium*, *Geobacter metallireducens*, *Geobacter sulfureducens*, *Shewanella oneidensis*, *Desulfotomaculum reducens* ou *Thermoterrabacterium ferrireducens* (**Vavasseur, 2014**).

Elles peuvent dégrader les pesticides, les hydrocarbures, les alcanes et les composés polyaromatiques. Souvent, elles utilisent le polluant comme source de carbone et d'énergie (**Abdelly, 2006/2007**).

Les bactéries anaérobies sont moins fréquentes que les aérobies. Cependant, elles présentent un grand intérêt dans la bioremédiation des polyphényles polychlorés, du trichloroéthylène et le 1,2 dichloroéthane. Dans tous les cas, l'opération implique le contrôle non seulement de la disponibilité des dépollueurs mais aussi l'ajustement en permanence des conditions de leur efficacité: quantité et type de nutriments, concentration en oxygène, pH, température et salinité (**Abdelly, 2007**).

2.III.4.1. Les pseudomonas

a. Caractéristiques générales

Le genre *Pseudomonas* est découvert en 1894 par Migula, il appartient au phylum des *Proteobacteria*, classe des *Gammaproteobacteria*, famille des *Pseudomonaceae*, ordre des *Pseudomonales* (**Moore et al, 2006**). Ce sont des bactéries ubiquistes particulièrement abondantes dans les sols, les eaux, et souvent pathogènes des animaux et des végétaux. Elles possèdent plusieurs caractéristiques intrinsèques qui les rendent particulièrement intéressantes pour une utilisation comme agents de lutte biologique. Ainsi leur capacité à coloniser les racines et à y maintenir une forte densité de population est remarquable (**Abdelly, 2007**). Cette grande rhizocompétence vient de leur taux de croissance plus élevé que celui de la plupart des autres bactéries ; et de leur capacité à utiliser une gamme de substrats très large, souvent issus des exsudats racinaires, comme source d'azote ou de carbone. De plus, elles sont très faciles à isoler et à cultiver au laboratoire et se prêtent aisément aux manipulations génétiques (**Moore et al, 2006**).

Ces bactéries sont des bacilles à Gram négatif de 0,5 à 1 µm de diamètre sur 1,5 à 5µm de long, mobiles et asporulées (**Bell-Perkins al, 2002**). Ce sont aérobies obligatoires, à l'exception de certaines qui peuvent utiliser le NO³⁻ comme accepteur d'électrons. Elles ont un métabolisme mésophile et chimio-organotrophe oxydatif (**Moore et al, 2006**). Les différentes espèces de *Pseudomonas* sont divisées en cinq groupes selon leur ARNr. Le sous-groupe des *Pseudomonas* fluorescents, appartenant au premier groupe génomique, est certainement le plus étudié. Il se distingue par la production de pigments jaune-vert fluorescents (pyoverdine ou pseudobactine) dans des conditions de carence en fer. Les espèces appartenant à ce groupe sont : *Pseudomonas aeruginosa*, espèce pathogène pour l'Homme, *P. syringae*, espèce phytopathogène, *P. fluorescens*, *P. putida*, et *P. chlororaphis* (= *Pseudomonas aerufaciens*) rassemblent des espèces saprophytes (**Amiard et al., 2011**).

b. Présentation de *Pseudomonas aeruginosa*

P. aeruginosa, autrement connu sous le nom de bacille pyocyanique, est une bactérie versatile et ubiquitaire dans l'environnement. Elle est communément trouvée dans le sol et l'eau (eaux douces et marines) et sur les surfaces en contact avec ces milieux. Etymologiquement, le mot issu du grec pseudo (=simili ou imitation) et monas (=unité) désignait les germes du début de la microbiologie. Le mot aeruginosa, qui signifie vert de gris en latin, fait référence au pigment contenu par la bactérie qui donne à la colonie sa couleur caractéristique. *P. aeruginosa* est l'espèce type de *Pseudomonas* (Yeterian, 2010).

c. Morphologie et structure

Pseudomonas aeruginosa est un bacille Gram négatif en forme de bâtonnet, de 0.5 à 0.8 µm de diamètre sur 1 à 3µm de long. Mobile grâce à un flagelle polaire généralement unique, dépourvu de spores et de capsules. La paroi du bacille pyocyanique est caractéristique de celle des bactéries à gram négatif (Sadolff *al*, 1974). Elle est constituée d'une membrane externe et d'un espace péri plasmique et du peptidoglycane. La membrane externe est une bicouche asymétrique constituée du lipopolysaccharide (LPS) et de phospholipides (PL) où se trouvent de nombreuses protéines telles que les porines qui assurent la diffusion de divers types de molécules à travers la membrane externe (Pages, 2004). Chez *P. aeruginosa*, on distingue plusieurs types de porines : Opr D (D1 et D2), Opr E (E1 et E2), OprH (H1 et H2), Opr G et Opr F qui présentent la majorité de porines non spécifiques dans cet organisme (Amiard *et al*. 2011). La membrane de *P. aeruginosa* est aussi caractérisée par l'existence de nombreuses pompes d'efflux telles que MexA- MexB –OpeM, MexC-MexD-OprJ, qui jouent un rôle important dans l'injection des agents antimicrobiens (Xavier *et al*, 2010).

d. Caractères cultureux

Le bacille pyocyanique est une bactérie aux besoins très limités. Croissant sur des milieux synthétiques simples, elle pousse facilement en 24 heures à 37°C. Elle peut croître entre 5 et 42°C avec un optimum de 30°C. Par contre, elle supporte de moindres variations de pH (6.5 à 7.5) avec un pH optimal de 7.2. *P. aeruginosa* est une bactérie aérobie stricte mais capable d'utiliser les nitrates en conditions anaérobies (Souley, 2002). Elle est caractérisée par une odeur florale (Amiard *et al*, 2011). Un milieu sélectif à base cétrimide (ammonium quaternaire) permet la recherche et l'isolement de *P. aeruginosa* à partir de produits

biologiques (selles, urines, pus, liquide céphalo-rachidien...) en bactériologie médicale (Delarras, 2007).

2.III.5. Avantages de la bioremédiation

- Elle est souvent applicable sur le site (bioremédiation *in situ*) ou à proximité immédiate (quand des installations *ex situ* sont nécessaires), ce qui réduit les coûts de transport et de manutention.
- Elle perturbe généralement moins le biotope que les méthodes physico-chimiques (sauf pour les sols excavés).
- Elle élimine le polluant en permanence et, appliquée *in situ*, rend le biotope apte à relancer un processus d'autoépuration en cas de nouvelle pollution du même genre.
- Elle élimine les effets à long terme possibles avec les méthodes fondées sur le confinement.
- On peut associer, dans une chaîne de traitement, plusieurs techniques biologiques (exemples: un composteur et un biofiltre; deux ou plusieurs réacteurs en cascade, etc...)
- Les techniques biologiques peuvent également être couplées aux techniques de dépollution physico-chimiques (Raven,2009).

2.III.6. Limites techniques

La bioremédiation se heurte à des difficultés techniques multiples liées:

- à la nature, la concentration et le volume des produits à traiter. Les microflores sont plus efficaces à des dilutions relativement faibles, situées entre un seuil minimum nécessaire pour induire l'activité enzymatique (ou un cométabolisme) et un seuil maximum inhibiteur de l'activité microbienne.
- à la non existence ou aux difficultés d'adaptation des souches indigènes et/ou à l'obtention de souches efficaces *in situ*.

- à l'hétérogénéité de la dispersion du polluant dans le biotope, liée elle-même à la nature du sous-sol et à la porosité de celui-ci. Dans certains sols très hétérogènes sur le plan granulométrique, la circulation (naturelle ou forcée) des fluides (gaz et eaux) utilisés pour une dépollution in situ se fait uniquement par les zones de grande perméabilité, excluant de la dépollution une grande masse de sol.

- aux modifications physico-chimiques qui surviennent dans ce biotope:

- modifications des teneurs en oxygène et variations de température saisonnières qui rendent la bioremédiation inefficace en hiver,

- dilution due aux pluies, etc...,

- à des effets négatifs possibles sur l'environnement. Par exemple, la transformation microbienne de polluants peut produire des composés plus toxiques que le composé d'origine; l'utilisation des réacteurs à boue est destructrice de la structure du sol (**Ronalad, 2003**).

- Les durées de traitement doivent être améliorées ;

- La contamination doit être modérée et non multiple ;

- Chaque cas est spécifique, avec de nombreux paramètres (climat, sol...);

- L'exploitation de la biomasse offre un potentiel intéressant ;

- Une meilleure coordination des recherches est souhaitée (création de bases de données) (**Vavasseur, 2014**).

IV. Solutions et mécanismes de protection

L'eau, tout comme l'air, est une source irremplaçable de vie, de bien-être et de santé, d'où l'importance d'en contrôler la qualité pour assurer la protection de la santé publique et celle des écosystèmes (**Envirodoq, 2002**).

IV.1. Protéger les écosystèmes aquatiques

Les écosystèmes aquatiques et riverains ainsi que les milieux humides tels que les marais, marécages et tourbières sont reconnus pour leur richesse écologique, leur biodiversité ou encore pour leur fonction d'épuration (**Envirodoq, 2002**).

IV.2. Assurer une eau potable de qualité et sécuritaire

Parmi les préoccupations de santé en rapport avec l'eau, il y a d'abord l'approvisionnement en eau potable. Celui-ci fait partie des premiers services qu'une municipalité offre à sa population. L'eau étant essentielle à la vie, les municipalités ont la responsabilité d'offrir une eau de bonne qualité. L'eau est également une ressource stratégique indispensable au développement de ces municipalités (**Envirodoq, 2002**).

Les problèmes auxquels sont confrontées les ressources fauniques sont multiples. Ils concernent les agressions sur les habitats aquatiques et humides, les atteintes à l'intégrité des communautés de poissons et les contraintes exercées sur la pêche et son développement découlant de conflits d'usages liés à l'eau. Des actions concrètes doivent donc être réalisées afin de mieux protéger les rives et le littoral des lacs et cours d'eau, leurs plaines inondables ainsi que les milieux humides.

La protection des milieux aquatiques, riverains et humides peut être réalisée de différentes façons, soit par l'établissement de critères sur le régime hydrologique des cours d'eau, par l'attribution d'un statut de conservation, par l'encadrement ou le recours aux lois et règlements appropriés (**Envirodoq, 2002**).

1. **Anonyme, 2000.** 2000- Agir pour les Zones Humides en RMC. Politique d'inventaires : objectifs et méthodologie. Note technique SDAGE N°5. Agence de l'Eau. Rhône Méditerranée Corse. 35 p.
2. **Anonyme, 2018.** Article site web: <http://lepasdecote.com/zones-humides-preserver/>
3. **S. Larsen, A. S. Larsen, J. A. O'Donnell, J. H. Schmidt, H. J. Kristenson, D. K. Swanson. 18 April, 2017.** Article du site web : <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016JG003729>
4. **Amiard,J.et Amiard-Triquet,C.2011.** Les biomarqueurs dans l'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques. Paris, lavoisier, 400p.
5. **Article, 2010.** Article site web: <https://www.ramsar.org/fr/apropos/limportance-des-zones-humides>
6. **Article A. 2018,** article du site web : http://www2.gnb.ca/content/gnb/fr/ministeres/egl/environnement/content/eau/content/lacs/qu_est_ce_quun_lac.html.
7. **Article B. Mars.2018.** site web : http://cfwet.byethost24.com/lac_des_oiseaux/lac_des_oiseaux.html
8. **Article C. Février 2018.** site web : <http://www.aps.dz/regions/69837-el-tarf-plus-de-60-000-oiseaux-d-eau-migrateurs-recenses-a-el-tarf-pnek>.
9. **Article. Mars 2018.** site web: <http://lepasdecote.com/zones-humides-preserver/>
10. **Ateia M, Nasr M, Yoshimura C, Fujii M (2015)** Organic Matter Removal from Saline Agricultural Drainage Wastewater Using a Moving Bed Biofilm Reactor. *Water Science & Technology* 72: 1327-1333).
11. **Ballouki Karima, 2012.** Etude de la qualité physico-chimique et biologique de trois sources dans la région de Midelt (Haut moulouya).
12. **Bell-Perkins, L. J., et J.M. Lynch. 2002.** Rhizosphere microbiology, p. 2713-2728. In G. Bitton (ed.), *Encyclopedia of environmental microbiology*, A Wiley-Interscience Publication, Canada.
13. **Bertonello J-C, Brigitte Lods-Crozet , 2018.** *Encyclopedie Biologie et écologie*.
14. **Bopp, L., P. Monfray, O. Aumont, J.L. Dufresne, H. LeTreut, G. Madec, L. Terray, and J. Orr (2001),** Potential impact of climate change on marine export production, *Global Biogeochem. Cycles*, 15, 81–99.

15. **Brigitte VERON, 2018.** article du site web : <http://www.microbiologie-medicale.fr/metabolisme/mannitolmobilitenitrate.htm>
16. **Boumezbeur, 1993.** Écologie et biologie de la reproduction de l'Erismature a tête blanche (*Oxyura leucocephala*) et du Fuligule Nyroca (*Fuligula Nyroca*) su le lac Tonga et le lac des oiseaux (Est Algérien). Thèse de Doctorat, École Pratique des Hautes Études, Laboratoire de biogéographie et écologie des vertébrés. Montpellier, 1993, 254 p.
17. **Canavan, R.W., Van-Cappellen, P., Zwolsman, J.J.G., Van-den-Berg, G.A., Slomp, C.P., 2007.** *Geochemistry of trace metals in a fresh water sediment: field results and diagenetic modeling.* Sci. Total Environ. 381, 263–279
18. **Chedly ABDELLY, 2006-2007.** Bioremédiation / Phytoremédiation. Institut supérieur de l'éducation et de la formation continue.
19. **Cologgi D.L.,Lampa-Pastirk S. et al.,2011.** Extracellular reduction of uranium via *Geobacter* conductive pili as a protective cellular mechanism – Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2011, 108 (37): 15248-52.
20. **Cydzik-Kwiatkowska and Z. Magdalena, 2014.** “Cycle length and COD/N ratio determine properties of aerobic granules treating high-nitrogen wastewater,” *Bioprocess and Biosystems Engineering*, vol. 37, no. 7, pp. 1305-1313,.
21. **DEGREMONT. 1989.** Mémento technique de l'eau, Technique et documentation ,tome 1, , P : 5, 24,25.).
22. **Djennane A, Mahroug S, Hamza N.2014.** Article. Etude du traitement des eaux usées par procédé de lagunage naturel et aéré.
23. **Dominique Reignier, et al., 2000.** ARS 74 •Françoise Kerrien, ARS Rhône-Alpes, DD de la Savoie Qualité des eaux.
24. **Envirodoq ENV/2002/0310,** Bibliothèque nationale du Québec, L' eau. La vie. L'avenir. politique nationale de l'eau 2002ISBN 2-550-40074-7.
25. **Faulwetter JL, Gagnon V, Sundberg C, Chazarenc F, Burr MD, et al. (2009)** Microbial processes influencing performance of treatment wetlands: a review. *Ecological engineering* 35: 987-1004.
26. **Google maps, 2018.**
27. **Guillaume P.Y. 2004,** article du site web : http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biotech/microbio/tests_microbiologie2.htm

28. **Haas, D., et C. Keel. 2003.** Regulation of antibiotic production in root-colonizing *Pseudomonas* spp. and relevance for biological control of plant disease. *Ann. Rev. Phytopathol.* **41**: 117-153.
29. **HADJEL M. et BERKOK N., 2014.** Article. Menace de pollution par les micropolluants dans les eaux de l'Oranie en Algérie.
30. **Haied Nadjib, Chaab Salah, Bougherira Nabil, Fougou Atif, Khadri Samira. 2014.** Détermination du degré de pollution des eaux du Lac Noir (Région de Bordj Ali Bey, Bouteldja)
31. **Hajna A.A., 1945, J. Bacteriol,** 49:516. *International journal of systematic bacteriology.*
32. **Harbi Soumaya ,2016.** Structure et écologie des Sarcelles d'hiver *Anas crecca crecca* hivernant au niveau du lac des oiseaux et du Marais de la Mékhada (Wilaya d'El-Tarf).
33. **Höfte, M., et N. Altier. 2010.** Fluorescent pseudomonads as biocontrol agents for sustainable agricultural systems. *Res. Microbiol.* **161**: 464-471.
34. **Isenmann P. & Moali A. 2000.** Oiseaux d'Algérie. Société d'Études Ornithologiques de France S.E.D.F., Paris, 336 p.
35. **Jacobs et Ochando, 1970.** JACOBS P et OCHANDO B., 1970- Répartition et importance numérique des anatidés hivernant en Algérie, *le GERFAUT*, 69 :239-251
36. **J-C. BERTONELLO Brigitte Lods-Crozet, DGE,** Canton de Vaud, Biologie et écologie.
37. **Maïté Berdoulay, novembre 2008 .** Thèse de Doctorat. Analyses physico-chimiques et microbiologiques de façades en pierre exposées aux embruns marins du Golfe de Gascogne. L'Université de Pau et des Pays de l'Adour . 226 p.
38. **MacFaddin J. F. 2004,** Media for Isolation - Cultivation - Identification - Maintenance of Medical Bacteria.
39. **MARTINEAU B., (1996).** Systématique bactérienne, Guide d'identification des bactéries aérobies. Edition DECLARIE; Montréal.
40. **MARCEL Dore. Sans date** Chimie des oxydants et traitement des eaux. L'université de Poitiers (E.S.I.P).
41. **Moore, E.R.B., B.J. Tindall, V.A.P. Martins Dos Santos, D.H. Pieper, J.L. Ramos, et N.J. Palleroni. 2006.** Nonmedical: *Pseudomonas*, p.646-703. In M. Dworkin, S. Falkow, E. Rosenberg, K. H. Schleifer, et E. Stackebrandt (ed.), *Prokaryotes*, Springer, USA.
42. **P.H. Raven, L.R. Berg , D.M. Hassenzahl ,2009.** ENVIRONNEMENT 6^{ème} édition américaine par Marie-Pascale Colace, Anne Hancock, Guy Lemperier.

43. **Pr. Rutger de Wit. 2018.** Enjeux de biodiversité des lagunes côtières et leurs zones humides périphériques
44. **René Moletta, 2003.** L'eau, sa pollution, et son traitement, « Moletta Méthanisation » 1504 Route des Bottières 73470 Novalaise (France).
45. **Rivasseau C. et al. 2013.** An extremely radioresistant green eukaryote for radionuclide biodecontamination in the nuclear industry, *Energy Environ. Sci.*, n° 6, p. 1230-39 .
46. **RODIER J. 1996.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7^{ème} édition .
47. **Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Chapsaup H, Rodi L., 1996.** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Ed. Dunod, Paris, 30-1086.
48. **RONALAD V. 2003,** Eau, Environnement et Santé Publique, 2^{ème} édition, Ed TEC &DOC, PARIS.
49. **SAIFOUNI Aida, 2008-2009.** État des lieux des zones humides et des oiseaux d'eau en Algérie. Thèse de fin d'études. Ecole Nationale Supérieure Agronomique (E.N.S.A.). El Harrach, Alger
50. **SINGLETON P., (1999),** Bactériologie, Edition Duonod 4^{ème} édition Paris. P.415
51. **TAZI SADEQ H. ,2007.** Du droit de l'eau au droit à l'eau au Maroc et ailleurs : 473p.
52. **TORTORA G .J., FUNKE B.R. et CASE C. L., (2003).**Introduction à la microbiologie. Ed. de Renouveau pédagogique Inc. pp : 157- 355.
53. **VALIRON F., 1989.** Gestion des Eaux : alimentation en eau - assainissement, Presses de l'école Nationale des ponts et chaussées, Paris.
54. **Veronique Benoit-Chabot, 2014.** Les facteurs de selection des bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques : élaboration d'un outil d'aide à la décision.
55. **Wang J, Liu X, Lu J , 2012.** Urban river pollution control and remediation. *Procedia Environmental Sciences* 13, 1856-1862.

5. Discussion

Dans les derniers vingt ans, les méthodes appelées amis des écosystèmes ont été considérablement émergées, dont la décontamination des environnements se fait en utilisant différentes espèces bactériennes ; c'est la bioremédiation (**Kidd et al., 2009**). Les deux raisons fondamentales de traiter les eaux par les différentes voies de la bioremédiation, est la prévention et la diminution de la pollution et la protection de la santé publique (**Rivasseau et al., 2013**). Les bactéries hétérotrophes jouent un rôle très important dans l'élimination des matières organiques. Ces bactéries ont un travail durant le traitement des eaux des lacs en composant des groupements de flocons, des biofilms et des granules (**Cydzik-Kwiatkowska et al., 2014**).

Parmi les bactéries aérobies reconnues pour leur pouvoir de dégradation, nous pouvons citer celles appartenant aux genres *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Sphingomonas* et *Mycobacterium*. Elles peuvent dégrader les pesticides, les hydrocarbures, les alcanes et les composés polyaromatiques. Souvent, elles utilisent le polluant comme source de carbone et d'énergie (**Abdely, 2007**). Les genres *Bacillus*, *Micrococcus* et *Pseudomonas* sont très connus dans les milieux terrestres, tandis que *Pseudomonas*, *Aeromonas* et *Vibrio* sont présent beaucoup plus dans les milieux aquatiques (**Faulwetter et al., 2009**). Nos résultats sont en concordance avec ces études, ainsi, des isollements avec succès concernant le genre *Pseudomonas* sont obtenus. Par contre l'absence du genre *Bacillus* a été marquée. Les *Bacillus* ont aussi un rôle très important dans la bioremédiation des lacs, mais il été absent, cela est confirmé par les tests biochimiques réalisés.

Les bactéries isolées sont responsables de la stabilisation des eaux, *Pseudomonas* est principalement l'agent de la clarification de ces effluents. *Pseudomonas* est une bactérie de l'environnement, avec une capacité d'adaptation remarquable qui lui permet de survivre dans pratiquement n'importe où (eau, sol, végétaux) (**Kohler et al., 2009**). En plus de leur capacité a dépollué les milieux aquatiques en réduction des Nitrates, *Pseudomonas* est aussi capable de résisté au métaux lourds ; le zinc ainsi qu'au plomb et, présentait également une résistance à l'imipenème (Tienam) (**Tateda et al., 2001**).

D'un autre part *Pseudomonas* est considéré comme une bactérie pathogène opportuniste responsable d'infections nosocomiales sévères (**Perron et al., 2004**), donc la manipulation de ces souches doit tenir compte de cette propriété.

Pratiquement, deux méthodes basées sur l'utilisation des microorganismes sont utilisées *in-situ* pour la bioremédiation. La première est le dosage des microorganismes et la deuxième c'est l'utilisation des biofilms (**Ateia et al., 2015**). Dans notre étude, la contribution à l'isolement du *Pseudomonas* a montré un nombre restreint des deux souches obtenues à partir d'un seul essai, on constate qu'il y a des concentrations réduites du genre isolé. Donc une étape préalable de concentration est nécessaire avant l'application de ce microorganisme pour garantir une bioremédiation parfaite. Mais dans la plupart des cas on procède à l'utilisation d'un produit commercial, c'est FLO-1200, capable de renforcer le travail des microorganismes (**Wang et al., 2012**).

Erratum

Fautes	N° de page	Correction
Tableau N°03 <i>Pseudomonas</i> pigmenté (souche n°1) VF : AAF	42	<i>Pseudomonas</i> pigmenté (souche n°1) VF : AS
Tableau N°03 Fermentation du mannitol negative.	42	Fermentation du mannitol positif.
Teste mannitol mobilité Absence du virage de couleur dans le milieu, résultats négatif.	46	Il y a un virage de couleur de milieu du mannitol, résultat positif.
Tableau N°04 Le test d'oxydase.	48	le test d'oxydase est minable.
Conclusion et perspectives Le lac des oiseaux ne font pas exception.	55	Le lac des oiseaux ne fait pas exception.

Résumé

Pour le traitement de l'eau polluée par les différentes matières organiques, minérales, et des traces de métaux lourds, les voies de la bioremédiation sont des techniques prometteuses.

La sélection d'une technique se fera en fonction de différents critères, notamment de l'importance de la pollution, de la concentration en éléments toxiques, de la spéciation des contaminants et des caractéristiques hydrologiques du milieu.

Une étude a été réalisée sur l'eau du lac des oiseaux, site RAMSAR, de la wilaya d'Eltaref, pour caractériser les souches puissantes en tant que des éléments de la bioremédiation. Les différents tests réalisés indiquent la présence de *Pseudomonas aeruginosa*.

Pseudomonas aeruginosa est une bactérie saprophyte de l'environnement notamment hydrique, qui se caractérise par une capacité parfaite à dépolluer les milieux aquatiques, par la réduction de l'azote.

Mots-clés : bioremédiation, pollution, traitement, *Pseudomonas aeruginosa*.

Abstract

For the treatment of polluted water by the various organic, mineral, and traces of heavy metals, the pathways of bioremediation are promising techniques.

The selection of a technique will be based on different criteria, including the importance of pollution, concentration of toxic elements, speciation of contaminants and the hydrological characteristics of the environment.

A study was carried out on the water of the bird lake, RAMSAR site, Eltaref wilaya, to characterize powerful strains as elements of bioremediation. The different tests carried out indicate the presence of *Pseudomonas aeruginosa*.

Pseudomonas aeruginosa is a saprophytic bacterium of the environment, particularly watery, which is characterized by a perfect ability to depollute aquatic environments by reducing nitrogen.

Key words: bioremediation, pollution, treatment, *Pseudomonas aeruginosa*.

ملخص

من أجل معالجة المياه الملوثة بمختلف المواد العضوية ، والمعادن ، وآثار المعادن الثقيلة ، فإن طرق المعالجة البيولوجية هي تقنيات واعدة.

يعتمد اختيار التقنية على معايير مختلفة ، بما في ذلك أهمية التلوث ، وتركيز العناصر السامة ، وانتشار الملوثات ، والخصائص الهيدرولوجية للبيئة.

أجريت دراسة على مياه بحيرة الطيور ، موقع RAMSAR ، ولاية الطريف ، لتمييز السلالات القوية كعناصر للإصلاح البيولوجي. الاختبارات المختلفة التي أجريت تشير إلى وجود *Pseudomonas aeruginosa*.

Pseudomonas aeruginosa هو نوع من البكتريا المترسبة للبيئة ، وخاصة المائية ، والذي يتميز بقدرته كاملة على إزالة التلوث عن البيئات المائية عن طريق تقليل النيتروجين.

الكلمات المفتاحية: المعالجة الحيوية ، التلوث ، العلاج, *Pseudomonas aeruginosa*