

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة جيجل

Université de Jijel



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Microbiologie Appliquée et
Sciences Alimentaires

كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم: الميكروبيولوجيا التطبيقية و
علوم التغذية

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Biologie**

Option : Microbiologie

Thème

**Etude de la capacité d'accumulation du cadmium
par les bactéries isolées à partir des eaux usées
d'origine industrielle de la tannerie de Jijel.**

Membres de Jury

Présidente : M^{me} Amira S.

Examinatrice : D^r Akroum S.

Encadrante : M^{me} Benhamada W.

Présenté par :

Bensmara Halima

Boudadi Samiha

Année Universitaire 2017 – 2018

Numéro d'ordre :



Remerciement

Nous remercions tout d'abord **ALLAH**, le miséricordieux le très miséricordieux de nous avoir guidé et toujours soutenu, et pour son aide à durant toute notre vie et nos années d'étude. Paix et salut soit sur prophète Mohamed (SAW) qui sera toujours pour nous un modèle.

Au terme de la réalisation de ce mémoire, nous tenons à remercier :

Notre encadreur M^{me} Benhamada Wahiba, pour avoir Dirigé et supervisé ce modeste travail, ainsi que pour sa patience avec nous, son aide, et sa grande gentillesse, ses conseils précieux et sa disponibilité entière toute au long de période de travail.

M^{me} Amira pour avoir aimablement accepté de présidé le jury de soutenance

D^r Akroum pour avoir aimablement accepté examiner notre travail.

En fin, nous adressons nos remerciements à nos familles et à toutes nos amis, et en particulièrement celle de notre promotion

(2017-2018)

« **MERCI** »

Liste des abréviations

ATP : Adénosine triphosphate

Cd : Cadmium

PCA : Plant Count Agar

ppm : Partie Par Million

SAA: Spectrométrie d'Adsorption Atomique

UFC : Unité Formant une colonie

VBL : milieu lactose biliée au cristal violet

Liste de figure

Figure	Titre	Page
01	schématisation des différents groupements fonctionnels de la membrane d' <i>E. coli</i>	08
02	le système de résistance au Cd ²⁺ ATPase chez <i>S. aureus</i>	11
03	Modèle d'action du déterminant de la résistance cationique <i>czc</i>	11
04	Photo du site de prélèvement	15
05	Aspect de l'échantillon d'eau	15
06	Résultat de test d'indole	20
07	Aspect des colonies surgélose Columbia	20
08	Croissance des germes totaux sur la gélose nutritive en présence de différentes concentrations du cadmium	24
09	Croissance d' <i>Escherichia coli</i> sur gélose nutritive en présence de différentes concentrations du cadmium	24
10	Croissance des Streptocoques fécaux sur la gélose nutritive en présence de différentes concentrations du cadmium.	25
11	Croissance de la souche (a) d'Entérobactériessur la gélose nutritive en présence de différentes concentrations du cadmium	25
12	Croissance de la souche (b) d'Entérobactériessur la gélose nutritive en présence de différentes concentrations du cadmium	26
13	Croissance de la souche (c) d'Entérobactériessur la gélose nutritive en présence de différentes concentrations du cadmium	26
14	Croissance des germes totaux dans milieu liquide en présence de différentes concentrations du cadmium	27
15	Croissance <i>Escherichia coli</i> dans milieu liquide en présence de différentes concentrations du cadmium	27
16	Croissance des streptocoques fécaux dans milieu liquide en présence de différentes concentrations du cadmium	27
17	Croissance de la souche (a) d'entérobactéries dans milieu	27

	liquide en présence de différentes concentrations du cadmium	
18	Croissance de la souche (b) d'entérobactéries dans milieu liquide en présence de différentes concentrations du cadmium	28
19	Croissance de la souche (c) d'entérobactéries dans milieu liquide en présence de différentes concentrations du cadmium	28
20	Croissance de la souche (a) d'entérobactéries dans milieu liquide en présence de différentes concentrations du cadmium	29
21	la quantité du cadmium accumulé par les germes totaux déterminée par SAA.	29
22	la quantité du cadmium accumulé par les Streptocoques fécaux déterminée par SAA	29
23	la quantité du cadmium accumulé par la souche (a) d'entérobactéries déterminée par SAA	30
24	la quantité du cadmium accumulé par la souche (b) d'entérobactéries déterminée par SAA	30
25	la quantité du cadmium accumulé par la souche (c) d'entérobactéries déterminée par SAA	30

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
I	contaminants importants des eaux usées et leurs sources	03
II	Résistance bactérienne au cadmium	10
III	résultat de dénombrement des germes totaux dans les eaux usées de la tannerie	19
IV	résultat des coliformes totaux dans les eaux de la tannerie	19
V	résultat des streptocoques fécaux dans les eaux de la tannerie	20
VI	Résultat de coloration de Gram	21

Sommaire

Introduction.....	01
Partie I : Etude bibliographique	
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées	02
I.1. Origine des eaux usées.....	02
I.1.1. Origine industrielle.....	02
I.1.2. Origine domestique.....	02
I.1.3. Origine agricole.....	02
I.2. Polluants des eaux usées.....	03
I.2.1. Polluants microbiens.....	03
I.2.2. Polluants azotés et phosphorés.....	04
I.2.3. Polluants radioactifs.....	04
I.2.4. Pollution par les métaux lourds.....	04
I.3. Cadmium.....	04
I.3.1. Généralités sur le Cadmium.....	04
I.3.2. Formes du cadmium.....	05
I.3.2.1. Formes dissous.....	05
I.3.2.2. Formes colloïdales.....	05
I.3.2.3. Formes particulières.....	05
I.3.3. Caractéristiques physico-chimiques du Cadmium.....	05
I.3.4. Caractéristiques biologiques du Cadmium.....	05
I.3.5. Toxicité du cadmium.....	06
I.3.5.1. Toxicité sur l'environnement.....	06
I.3.5.2. Toxicité sur la santé humaine.....	06
Chapitre II : Elimination du cadmium.....	07
II.1. Mécanismes d'élimination du cadmium.....	07
II.1.1. Biosorption.....	07
II.1.2. Bioaccumulation.....	08
II.1.3. Facteurs influencent l'élimination du cadmium.....	09
II.1.3.1. Effet du pH.....	09
II.1.3.2. Effet de la concentration initiale en ions métalliques.....	09
II.1.3.3. Analyse thermodynamique.....	09
II.1.3.4. Paroi cellulaire.....	09
II.2. Mécanismes de résistance.....	10
II.2.1. Système d'efflux.....	10
II.2.1.1. Résistance au cadmium chez les bactéries à Gram positif.....	10
II.2.1.2. Résistance au cadmium chez les bactéries à Gram négatif.....	11
II.2.2. Méthallothionéine.....	12
Partie II : Partir Pratique	
I. Matériel.....	13
I.1. Milieux de culture	13
I.2. Produits chimique et réactifs.....	13
I.3. Matériel et appareillage	13

I.4. Présentation de site de prélèvement	14
I.5. Prélèvement d'échantillon d'eau	14
II. Méthode.....	17
II.1. Etude microbiologique de l'eau.....	15
II.1.1. Préparation de la solution mère et des dilutions.....	15
II.1.2. Isolement des bactéries.....	15
II.1.2.1. Recherche de la Flore Mésophile Aérobie Totale (FTAM).....	15
II.1.2.2. Recherche des Coliformes (CT).....	15
II.1.2.3. Recherche des coliformes Thermotolérants (CTT).....	16
II.1.2.4. Recherche des Streptocoques fécaux.....	16
II.1.2.5. Recherche des <i>Clostridium</i> Sulfito-réducteurs.....	17
II.1.2.6. Recherche de <i>Staphylococcus aureus</i>	17
II.1.2.7. Recherche de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	17
II.1.2.8. Recherche des Entérobactéries.....	17
II.1.3. Identification des souches bactériennes par étude microscopique.....	17
II.2. Traitement des souches bactériennes isolées par le cadmium.....	18
II.2.1. Préparation des différentes concentrations du cadmium.....	18
II.2.2. Préparation des cultures bactériennes.....	18
II.2.3. Mesures de la croissance bactérienne.....	18
II.2.3.1. Mesure de la densité optique.....	18
II.2.3.2. Croissance sur milieu solide.....	18
II.3. Dosage du cadmium.....	18
II.3.1. Procédure de digestion.....	18
II.3.2. Analyse par Spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme.....	18
Résultats et discussion	19
I. Evaluation de la qualité microbiologique de l'eau.....	19
I.1. Germes totaux.....	19
I.2. Coliformes totaux.....	19
I.3. Coliformes Thermotolérants.....	20
I.4. Streptocoques fécaux.....	20
I.5. Entérobactéries.....	21
I.6. <i>Clostridium</i> Sulfito-réducteurs, <i>Pseudomonas</i> et Staphylocoques.....	21
I.7. Résultats de l'identification microscopique.....	21
II. Influence de la concentration du cadmium sur la croissance des bactéries.....	23
II.1. Etude de la croissance des bactéries isolées en présence de différentes concentrations du cadmium sur milieu solide.....	23
II.2. Etude de la croissance des bactéries isolées en présence de différentes concentrations du cadmium sur milieu liquide.....	27
III. Test de bioaccumulation du cadmium.....	28
Conclusion.....	34
Références bibliographiques.....	35

La mesure de l'efficacité de l'assainissement et du traitement des eaux usées nécessite en effet de caractériser leur degré de pollution et la difficulté s'accroît avec la complexité de composition des effluents, notamment due à la diversité des rejets industriels (**Naffrechoux et al., 1991**), qui entraînent une libération importante des substances toxiques dans l'environnement (**Limcharoensuk et al., 2015**), parmi ces substances toxiques on trouve les métaux lourds.

Dans ces dernières années, la pollution par les métaux lourds est devenue l'un des problèmes environnementaux les plus graves. La découverte des métaux constitue une étape fondamentale dans l'histoire de l'homme, qui est présents dans tous les compartiments de l'environnement, en particulier dans l'eau et leurs concentrations varient suivant l'élément considéré (**Joris, 2005**). Parmi les métaux lourds les plus toxiques on trouve le cadmium, c'est l'un des éléments les plus rares dans la nature, il est considéré comme un polluant environnemental et industriel, car il est présent dans le sol, l'eau, l'air et la nourriture. Ainsi, l'être humain peut être affecté par ce métal à partir de la consommation des aliments et de l'eau contaminés (**Kehili et al., 2017**).

La toxicité de cadmium est bien connue non seulement chez l'être humain mais aussi pour la flore microbienne. Les microorganismes en particulier les bactéries, peuvent interagir avec les métaux de différentes manières. On peut tout d'abord observer une transformation des métaux par des processus tel que l'oxydation/réduction. Ces modifications modifient généralement la toxicité et la mobilité du métal d'origine. Les métaux peuvent également être accumulés par des phénomènes d'adsorption passive au niveau des membranes ou par transport actif à l'intérieur de la cellule (**Haq, 1999; Llanos, 2000**).

Le but de notre travail est l'étude du processus de la bioaccumulation de cadmium après l'isolement de certains genres bactériens à partir de l'effluent de la Tannerie de Jijel. Il comprend deux parties : Dans La première partie nous présentons des données bibliographiques sur les polluants des eaux usées, et les différentes techniques de biodégradation du cadmium alors que la deuxième partie est concerne l'isolement des bactéries à partir des eaux usées de la tannerie de la Wilaya de Jijel, traitement des souches isolées par différentes concentrations du cadmium, et étude de l'accumulation de ce métal par les souches isolées.

L'eau est un élément indispensable à la vie sur terre. La part représentée par les eaux douces n'est que de 2,8 % et seule une infime fraction est exploitable par l'Homme. Quelle que soit son origine, marine ou continentale, l'eau sert à la fois de ressource (apports alimentaires, loisirs, usages industriels et agricoles).

Les eaux usées sont définies comme étant les eaux polluées artificiellement ou ayant fait l'objet d'une utilisation qui proviennent des activités humaines (domestiques, industriels, agricoles) et les eaux pluviales et qui contiennent un mélange des matières polluantes dispersées ou dissoutes dans l'eau. Les caractéristiques d'une eau usée sont influencées par des nombreux paramètres, dont la taille de la collectivité concernée, le niveau de confort de ses habitants, la présence et les caractéristiques d'un réseau de collecte, mais aussi le climat (**Grosclaude, 1999 ; Barnich, 2003 ; Alexandre et al., 2006 ; Kouakou, 2008 ; Baudart et Paniel, 2014**).

I.1. Origine des eaux usées

I.1.1. Origine industrielle

L'eau est aussi indispensable à l'activité industrielle qu'à la vie de l'homme. À l'intérieur des entreprises, cette eau est utilisée à des très nombreux usages. Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés des rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales: blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc. Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement : soit ils sont directement rejetés dans le réseau domestique ; soit ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique ; soit ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel. Ce dernier cas, ne nous intéresse pas dans le cadre de la réutilisation des eaux usées épurées (**Hartemann, 2004 ; Baumont, 2014**).

I.1.2. Origine domestique

Les eaux usées d'origine domestiques sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. On distingue généralement deux types d'eaux usées domestiques qui arrivent toutes deux dans le réseau d'assainissement : les eaux vannes (contenant des déjections humaines-urines, fèces) et les eaux ménagères (de toilette, de nettoyage, des sols et des aliments) (**Grosclaude, 1999 ; Baumont, 2014**).

I.1.3. Origine agricole

La pollution diffuse d'origine agricole est à l'origine des problèmes sanitaires et environnementaux liée à la détérioration de la qualité des eaux de surface et les eaux souterraines. Ce phénomène est essentiellement dû aux nitrates, aux phosphates, aux pesticides, aux eaux de ruissellement des ensilages et des lisiers (**OCDE, 2000**).

I.2. Polluants des eaux usées

Il existe diverses sources de pollution de l'eau. Une des plus importantes reste son utilisation à grande échelle au niveau industriel. L'eau est très employée dans des nombreuses activités et un excellent fluide caloporteur, très utilisé pour le refroidissement d'innombrables machines et installations. On retrouve donc l'eau partout en milieu industriel. L'industrie utilise des grandes quantités d'eau mais le principal problème tient à ce que la majeure partie de cette eau retourne à la nature, polluée car chargée des déchets, des produits chimiques et des métaux lourds. Plus de 85% de l'eau consommée par l'industrie sont retournés à la nature sous forme d'eau usée. La pollution industrielle peut avoir un effet toxique sur les organismes vivants, ou causer l'accumulation de certains éléments dans la chaîne alimentaire (métaux, pesticides, radioactivité...). Les rejets liquides industriels véhiculent une importante pollution organique et toxique. Les dangers sont microbiologiques, chimiques ou physiques. Le risque est mal connu, sauf pour les maladies à déclaration obligatoire sont difficile à apprécier même pour des professions très exposées (employés des stations d'épuration des eaux usées, spécialistes de la ventilation climatisation) (**Hartemann, 2004 ; Hartemann, 2004 ; Crini et Badote, 2007 ; Zerki, 2013 ; Belhadj, 2017**). Les principales sources de contamination des eaux usées sont indiquées dans le tableau I.

Tableau I : contaminants importants des eaux usées et leurs sources (**Crini et Badote, 2007**).

Contaminants	Sources
Solides (en suspension notamment)	Domestique, industries, infiltration
Matières organiques biodégradable	Domestique, industries
Matières organiques réfractaires	Industries
Métaux lourds	Industries, mines
Nutriments	Domestique, industries
Solides dissous inorganique	Domestique, industries
Organismes pathogènes	Domestique

I.2.1. Polluants microbiens

Les eaux usées sont très chargées en microorganismes pathogènes et les concentrations en virus, bactéries et parasites peuvent atteindre plusieurs milliers par litre et même le million dans les pays en voie de développement et ceux où l'eau est plus rare. Par exemple, les effluents issus de l'industrie agro-alimentaire renferment des matières organiques non toxiques par elles-mêmes, mais dont la dégradation par voie bactérienne consomme l'oxygène dissous dans les cours d'eau

entraînant la mort de nombreux organismes aquatiques dont les poissons par asphyxie (**Hartemann, 2004 ; Crini et Badote, 2007**).

I.2.2. Polluants azotés et phosphorés

L'azote et le phosphore, sont des origines de pollution responsable de l'augmentation en nitrates des eaux et du phénomène d'eutrophisation (**Audoin, 1991**).

I.2.3. Polluants radioactifs

Le développement de l'industrie électronucléaire ainsi que celui de l'énergie nucléaire, la fabrication d'isotopes radioactifs qui en découle et l'utilisation de plus en plus large de différents radio-isotopes dans de nombreux domaines, notamment le domaine médical, entraînent une augmentation du nombre de points de rejet et des quantités d'effluents radioactifs déversés dans les eaux de surface (**Brémond et Vuichard, 1973**).

I.2.4. Pollution par les métaux lourds

Les métaux lourds sont des éléments dont la densité est supérieure à 5 g / cm^3 . Les métaux lourds dans les eaux usées proviennent des industries et des eaux usées municipales et sont l'une des principales causes de pollution de l'eau et de sol. Les rejets de déchets industriels ont entraîné l'accumulation des métaux dans l'environnement et ont fini par s'accumuler dans la chaîne alimentaire, entraînant des graves problèmes écologiques et de santé. Ces métaux sont souvent toxiques à faible concentration et les microorganismes sont les premiers organismes influencés par cette toxicité, parmi les ions métalliques les plus dangereuse est caractérisée par une stabilité et une toxicité élevée le cadmium (**Ansari et Malik, 2007 ; Habi, 2009 ;Kermani et al., 2010 ;Shamim et Rehman, 2012**).

I.3. Cadmium

I.3.1. Généralités sur le Cadmium

Son nom a pour origine *cadmia* en latin, et *kadmeia* en grec. Il fut découvert à partir de la calamine en 1817 par le chimiste allemand Friedrich. Le cadmium était extrait de ce minerai dans les environs de la ville de Thèbes, qui fut fondé par Kadmos, dans sa forme pure le cadmium est blanc argenté avec une couleur bleuâtre, est un sous-produit d'extraction du zinc, cet élément métallique est principalement libéré par les procédés industriels, les engrais phosphatés, il a été trouvé dans le sol, l'eau et l'atmosphère. Le cadmium existe sous forme d'ions hydratés ou de complexes ioniques avec d'autres substances inorganiques ou organiques. Les formes solubles migrent dans l'eau alors que les formes insolubles sont immobiles et vont se déposer et s'absorber dans les sédiments. Le cadmium est largement utilisé dans l'industrie pour un certains nombres d'applications, y compris l'électrodéposition, la protection contre la corrosion et la stabilisation du

plastique (Cobb, 2008 ; (Andujar et *al.*, 2010 ; Shamim et Rehman, 2012 ; (Christopher et Portier, 2012 ; Chahid, 2016 ; Gao et *al.*, 2018).

I.3.2. Formes du cadmium

Dans la nature le cadmium est présent sous formes dissoute, colloïdale et particulaire :

I.3.2.1. Formes dissoutes

Les formes dissoutes de cet élément en milieu aquatique sont des espèces libres (Cd^{2+}) et formées par des associations de cadmium avec des composés minéraux ou organiques par exemples : CdCl^+ , CdCOOCR (Cossa et Lasso, 1989).

I.3.2.2. Formes colloïdales

Le cadmium peut former des colloïdes avec des molécules de haute points moléculaires : l'acide humique, lipides, polysaccharides ...etc, la présence de cadmium sous forme colloïdale est aussi le fait de l'adsorption de ce métal à la surface des colloïdes par exemples : CdCO_3 , CdS , Cd-AcHumiques (Cossa et Lasso, 1989 ; Gonzalez, 1999).

I.3.2.3. Formes particulières

Le cadmium particulaire issu des continents associés à différentes phases d'origine détritique, par liaison à une fraction d'origine organique (carbonates, restes d'organismes, pelotes, fécales), par précipitation avec différentes fractions minérales (carbonates, phosphates, oxydes et hydroxydes de fer ou de manganèse, sulfures) et par adsorption sur des phases de différentes natures : argiles, matières organiques, oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse (Gonzalez, 1999).

I.3.3. Caractéristiques physico-chimiques du Cadmium

Le cadmium est un élément chimique appartenant au groupe IIB des métaux de transition dans le tableau périodique des éléments de Mendeleïev, de faible masse atomique (112,4) g/mol à un numéro atomique de 48, et une masse volumique de 8,65 g/cm³ à 20 °C, le point de fusion et de 321 °C et le point d'ébullition de 765 °C. Le cadmium est rencontré sous forme métallique ou de sel (oxyde, chlorure, sulfure. . .), les sels ont une très grande stabilité thermique et chimique, cet élément est un métal ductile qui résiste particulièrement à la corrosion. Le cadmium est l'ion métallique le plus dangereux caractérisé par une stabilité et une toxicité élevée, il n'est pas dégradé dans la nature et sera donc, une fois rejeté dans l'environnement, rester en circulation (Schwartz et Reis, 2000 ; (Verge et Petit, 2009 ; Kermani et *al.*, 2010 ; Andujar et *al.*, 2010 ; (Shamim et Rehman, 2012 ; Rahimzadeh et *al.*, 2017).

I.3.4. Caractéristiques biologiques du Cadmium

Le cadmium n'est pas généralement considéré comme ayant une fonction biologique (Lane et Morel, 1999), capable d'entrer dans les cellules vivantes via des transporteurs habituellement utilisés

pour l'absorption de cations essentiels tels que le calcium, le fer, le zinc, etc. (**Shamim et Rehman, 2012**).

I.3.5. Toxicité du cadmium

I.3.5.1. Toxicité sur l'environnement

Le cadmium figure parmi les métaux d'origine tellurique les plus préoccupants, aussi bien du point de vue éco-toxicologique que sanitaire, ce métal pénètre dans l'environnement principalement à partir des processus industriels tels que, la fabrication de batteries, plaquage au cadmium, piles alcalines, cuivre alliages, peinture, plastiques et d'engrais, entraînant la pollution de l'eau, l'air et du sol grâce à l'accumulation excessive de cadmium non traité ce qui devient hautement toxique pour les humains, les animaux et les plantes. Chez les plantes l'exposition au cadmium induit divers symptômes de phytotoxicité en raison de sa grande mobilité et de sa toxicité sévère, les symptômes les plus généraux sont un retard de croissance et la chlorose des feuilles et des troubles nutritionnels. Dans les milieux aquatiques le Cd diminuait les activités de la mono-oxygénase microsomique chez les poissons telles que la plie, l'achigan et la truite. Pour les micro-organismes, le Cadmium a été prouvé pour être l'un des plus toxiques des métaux et un inhibiteur de croissance (**Ajmalet Khan, 1984 ;Gauthier et al., 1986 ; Ueng et al., 1996 ; Samantaray et Rout, 1997 ; Jamali1 et al. 2012 ; Moreno, 2014 ; Nordberg, 2014 ;Li et al., 2017**).

I.3.5.2. Toxicité sur la santé humaine

Les humains sont sensibles à la toxicité des ions du cadmium principalement par l'ingestion d'aliments ou d'eau contaminés. Est semblé faiblement mutagène, tératogène et cancérogène. Le cadmium exerce sa toxicité par : l'induction du stress oxydatif, de l'inflammation, stress du réticulum endoplasmique, l'instabilité génomique, inhibe les mécanismes de la réparation de l'ADN. De plus, il est un indicateur de l'apoptose et affecte l'homéostasie des métaux biologique et les voies de transduction du signal. Le cadmium provoque aussi d'autres maladies, comme la maladie Itai-Itai, l'anémie, troubles rénaux et squelettiques troubles respiratoires, hépatiques et cardiovasculaires, problèmes aux systèmes nerveux central telle que la maladie d'Alzheimer (**Ajmal et Khan, 1984 ; Godtet al., 2006 ; Ménager et al., 2009 ; Brancaet al., 2018 ;Balmuriet al., 2017 ;Li et al., 2017 ;Tinkov et al., 2018**).

La présence des concentrations élevées du cadmium toxiques dans les eaux usées entraîne directement la contamination des plans d'eau récepteurs. Une variété de méthodes traditionnelles pour éliminer les ions métalliques dissous des eaux usées comprennent la précipitation chimique, l'oxydation et la réduction chimique, l'échange d'ions, la filtration et le traitement électrochimique. Cependant, ces procédés sont coûteux, relativement inefficaces et génèrent dans la plupart des cas une grande quantité de déchets difficiles à éliminer. L'adaptation à des environnements riches en cadmium toxique conduit à des micro-organismes qui ont une grande affinité pour ce métal, parmi ces microorganismes on trouve les bactéries, les algues, les champignons et les levures. La biosorption et la bioaccumulation est l'un des mécanismes utilisés par ces microorganismes pour la réduction du cadmium à une forme moins toxique. Pour les bactéries, la paroi cellulaire est le premier compartiment efficace pour l'adsorption des métaux lourds. L'adsorption de ces métaux à l'aide des bactéries Gram positif semble plus forte que celle des bactéries Gram négatif (Kefala et al.,1999; Rajbanshi, 2008 ; Kulkarni et al.,2013 ; Oyetibo et al., 2014; Khadivinia et al., 2014 ; Limcharoensuk et al., 2015).

II.1. Mécanismes d'élimination du cadmium

II.1.1. Biosorption

La biosorption est l'une des propriétés significatives des micro-organismes vivants et morts, c'est un processus passif, dans lequel des particules des métaux lourds sont adsorbées passivement à la surface des matériaux biologiques, elle est caractérisée par la liaison indépendante de l'énergie des ions métalliques sur la surface des parois cellulaires microbiennes, ce processus est rapide, réversible et indépendant de la viabilité cellulaire. La biosorption et une meilleure compréhension des interactions possibles entre les ions du métaux lourds et les groupes fonctionnels dans la structure de la cellule bactérienne. Plusieurs groupes fonctionnels sont présents sur la paroi cellulaire bactérienne (Figure 01), y compris les groupes carboxyle, phosphonate, amine et l'hydroxyle. Les groupes carboxyles étaient responsables de la liaison du cadmium via le complexe Cd-carboxyle sur la surface bactérienne, inversement, les groupes amines sont très efficaces pour éliminer les ions métalliques, car non seulement il chélate les ions métalliques cationiques, mais adsorbe également les métaux anioniques grâce aux interactions électrostatiques ou des liaisons hydrogènes (Kotrbaetal., 2011 ; Fomina et Gadd, 2013 ;Khadivinia et al., 2014 ; Oyetibo et al.,2014 ;Limcharoensuk et al., 2015 ;Pulit et al., 2018).

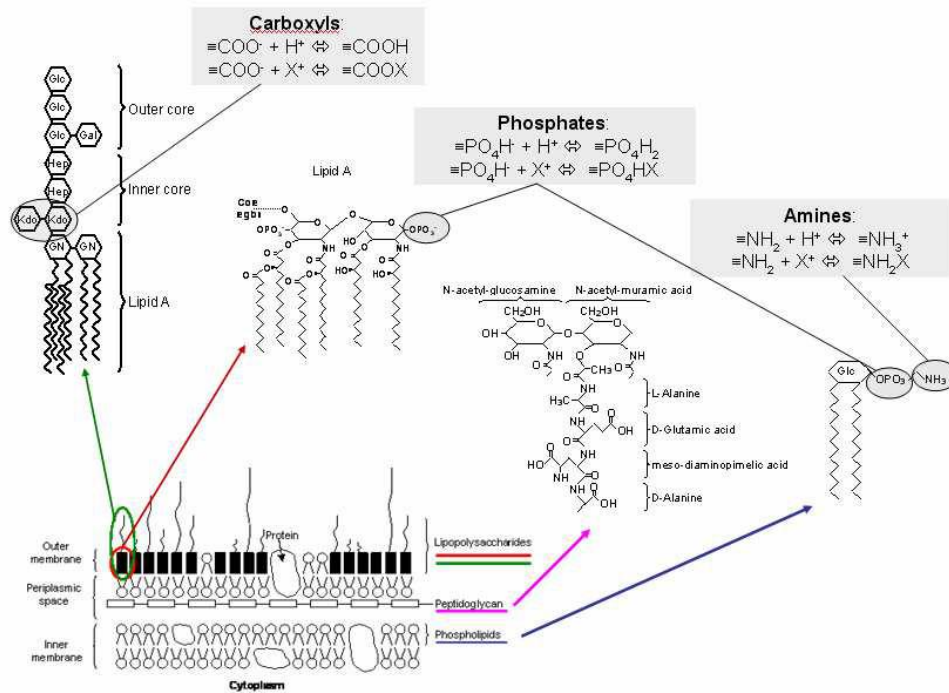


Figure 01 : Schématisation des différents groupements fonctionnels de la membrane d'*E.coli* (Desaunay, 2011).

II.1.2. Bioaccumulation

Les aspects les plus importants des interactions entre le cadmium et les bactéries résident dans la fixation du métal par les cellules, son accumulation et sa transformation sous une forme plus ou moins accessible et utilisable par les autres organismes. La bioaccumulation est un processus actif, dans lequel les particules des métaux lourds sont transportées vers les cellules, où ils s'accumulent, en utilisant l'énergie du métabolisme cellulaire. Généralement, l'accumulation des métaux lourds par les microorganismes implique deux phases ; la première présente la liaison rapide et simple des cations sur la surface cellulaire et est indépendante de métabolisme microbiens, la deuxième phase est une séquence plus lente de transport intracellulaire dépendant du métabolisme et séquestration des cations sur des structures intracellulaires. Les phénomènes d'accumulation et de concentration des métaux correspondent soit à l'absorption d'élément métallique dans les cellules microbiennes, soit à leur adsorption ou complications par les parois cellulaires. La bioaccumulation peut correspondre à un mécanisme de résistance aux métaux, comme par exemple la production des protéines fixant préférentiellement le cadmium, ou la production des polysaccharides exocellulaires immobilisant les métaux, ou bien encore la modification de la composition des membranes bactériennes, avec une production plus importante d'acides aminés dicarboxyliques, assurant une meilleure immobilisation du cadmium (Gauthier *et al.*, 1986, Stengel et Gelin, 1998 ; Kujan *et al.*, 1995 ; Limcharoensuk *et al.*, 2015).

II.1.3. Facteurs influencent l'élimination du cadmium

Dans l'environnement naturel, la toxicité du Cd est influencée par de nombreux facteurs chimiques, physico-chimiques et physiologiques, tels que la force ionique, la chimie des ions métalliques, le pH, la température, la concentration en métaux, le temps de contact, la composition des parois cellulaires et les caractéristiques physiologiques du microorganisme (**Pulit et al., 2018**).

II.1.3.1. Effet du pH

Le pH est un facteur essentiel à prendre en considération dans les mécanismes de fixation des métaux lourds. Le pH permet l'ionisation du biosorbent et donc agit sur les groupements fonctionnels disponibles pour la fixation des métaux, à faible pH, les ions hydrogènes entrent en compétition avec les ions métalliques, ce qui entraîne la protonation des sites actifs. Mais avec l'augmentation du pH, plus des surfaces chargées négativement seront disponibles, plus l'élimination du métal seront élevée, cependant à des conditions alcalines une précipitation des métaux lourds s'est produite en raison de la faible solubilité des deux ions à pH élevé (**Kulkarniet al., 2013 ;Boulaiche et Slatnia, 2016**).

II.1.3.2. Effet de la concentration initiale en ions métalliques

La capacité de biosorption de la biomasse augmente avec l'augmentation de la concentration en ions métalliques (**Boulaiche et Slatnia, 2016**), à des concentrations plus faibles, tous les ions métalliques dans les solutions pourraient interagir avec les sites de liaison sur le biosorbent et ainsi le pourcentage d'élimination de l'ion métallique était élevé au début. La diminution du pourcentage d'élimination des métaux avec une augmentation de la concentration initiale était due à l'épuisement des sites de sorption disponibles sur la biomasse (**Kulkarni et al., 2013**).

II.1.3.3. Analyse thermodynamique

Il est important de connaître l'effet de la chaleur sur le processus de la biosorption. La température affecte la capacité d'équilibre de la biomasse en fonction de la nature exothermique ou endothermique du processus de biosorption. L'augmentation de la température augmentera les taux de mouvements des ions métalliques pour atteindre la surface du biosorbent (**Kulkarni et al., 2013**).

II.1.3.4. Paroi cellulaire

La paroi cellulaire bactérienne est le premier compartiment efficace pour l'adsorption des métaux lourds car elle contient de nombreux groupes fonctionnels anioniques capables de se lier aux métaux lourds, tels que le peptidoglycane, les acides téichoïques, les phospholipides et les lipopolysaccharides (**Limcharoensuk et al., 2015**).

II.2. Mécanismes de résistance

Les microorganismes doivent développer des mécanismes de résistance contre les ions métalliques, deux mécanismes de base de la résistance à ces ions sont possibles : complication intracellulaire par la production des métallothionéines et accumulation réduite basée sur un système d'efflux (TableauII).

Tableau II : Résistance bactérienne au cadmium (Nies, 1992).

Espèces	Déterminant	Mécanisme
<i>Staphylococcus aureus</i>	cadCA	Efflux
<i>S. aureus</i>		Efflux
<i>Pseudomonas putida</i>		Efflux
<i>P. putida</i>	czcCBAD	Complication
<i>Thiobacillusthiooxidans</i>		Complication
<i>SynechococcusSp</i>		Complication
<i>Alcaligeneseutrophus</i>		Efflux

cad CA : gène sur le plasmide pI258 de *Staphylococcus aureus* codent pur une protéine régulatrice, cadC et une pompe d'efflux Cad A, Czc :la pompe d'efflux chimiosmotique code les protéines requises pour l'efflux (CzcA, CzcB et CzcC) et la régulation du déterminant czc (CzcD).

II.2.1. Système d'efflux

La toxicité de cadmium chez les bactéries est bien connue, néanmoins certaines souches microbiennes sont résistantes à ce métal. On sait que cette résistance implique une altération de l'absorption et non transformation enzymatique du métal, ces systèmes de résistance ont été trouvés sur des plasmides, cette résistance comprend uniquement la complication, qui joue un rôle de seconde ligne de défense et des systèmes d'efflux comme système de résistance principal, parmi ces systèmes on trouve ATPase de type P, résistance-nodulation-cell division (RND) et cation diffusion facilitators (CDF) (Trevors et al., 1986 ; Nies, 1992 ; Silver, 1996 ; Desauy, 2011).

II.2.1.1. Résistance au cadmium chez les bactéries à Gram positif

Chez les bactéries à Gram positif, le cadmium semble être détoxifié par le système ATPase de type P. Les ATPases de type P (Figure 02) sont une famille d'ions actifs primaires transporteurs qui se trouvent pratiquement dans toutes les cellules eucaryotes et aussi dans les bactéries, ce sont des transporteurs d'une grande variété d'ions, ils utilisent l'énergie libre de l'hydrolyse de l'ATP .

La protéine (ATPase CadA) comportant une seule chaîne de 727 acides aminés, fonctionne comme une kinase phosphatase en même temps qu'elle transporte le cadmium à l'extérieur. Les ATPase ont le «domaine aspartyl kinase» et le «domaine phosphatase». Pendant le cycle de transport, la

protéine est phosphorylée par l'ATP sur le résidu invariant Asp 415. On y'a trouvé que 4 fonctions thiol ; deux dans le domaine de fixation du cadmium (Cys 23, Cys 26), la séquence TGES est interprétée comme essentielle à l'activité phosphatase par comparaison avec autres enzymes (Silver, 1996). (Apell, 2004 ;Malcolm et al, 2017).

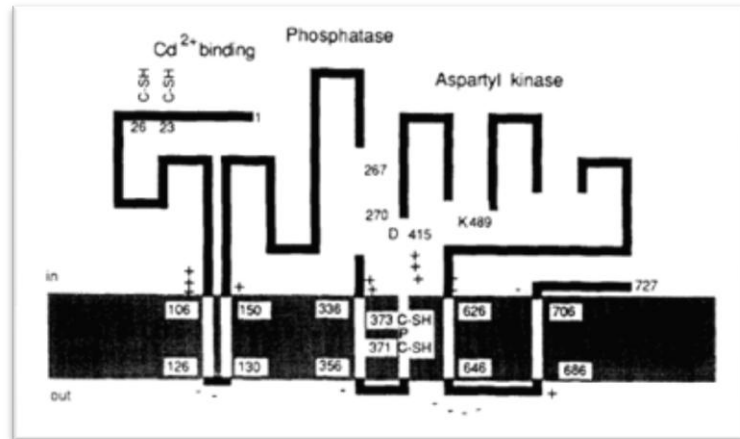


Figure 02 : le système de résistance au Cd^{2+} ATPase chez *S. aureus* (Silver et Guangyong, 1994).

II.2.1.2. Résistance au cadmium chez les bactéries à Gram négatif

Chez les bactéries Gram négatif le cadmium est pompé par un complexe membranaire à trois polypeptides (Figure 03) qui n'est pas une ATPase. Le complexe consiste en une protéine membranaire interne (CzcA) fonctionne comme la membrane interne de base protéine, une protéine membranaire externe (CzcC) est une pompe d'efflux, et une protéine associée aux deux membranes (CzcB) semble fonctionner comme une protéine de fusion membranaire (Silver, 1996).

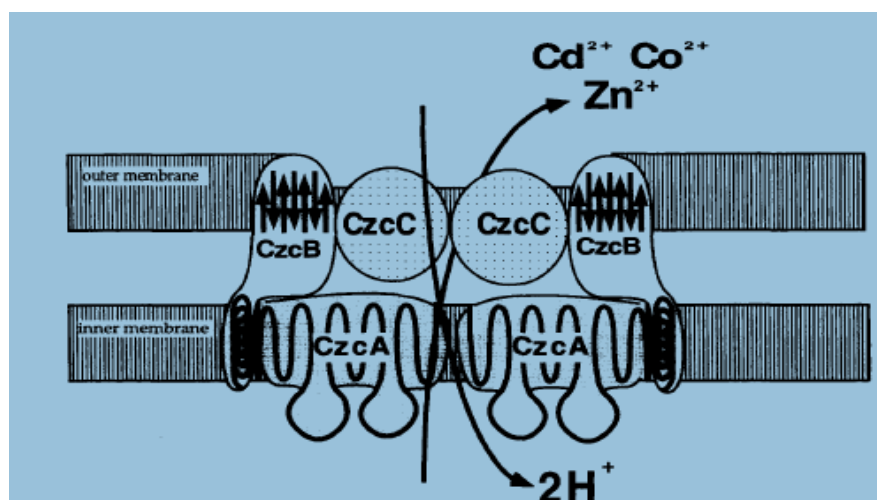


Figure 03 :Modèle d'action du déterminant de la résistance cationique *czc* (Silver, 1996).

II.2.2. Méthallothionéines

Les méthallothionéines (MTs), protéines de faible poids moléculaire (6 à 10 KDa) riches en cystéine, se distinguent par leur forte potentialité de séquestration des métaux ce mécanisme est lié à des gènes codant pour des plasmides de résistance. Il est bien connu que la MT protège contre la toxicité au cadmium un bon exemple de méthallothionéines chez *Pseudomonas*, trois petites protéines riches en cystéine apparentées dans une souche de *Pseudomonas putida* résistante au cadmium ont été décrites. L'analyse par Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) de ces protéines a montré des domaines soufre-cadmium similaires aux méthallothionéines de mammifères (Nies, 1992 ; Beattie et al., 2005 ; Ménager et al., 2008 ; SZF, 2009 ; Desaunay, 2011).

Notre travail a été réalisé au niveau des laboratoires du département de microbiologie appliquée et des sciences alimentaire de la faculté des sciences de la nature et de la vie, de l'université de Jijel, pendant la période Mai - Juin de l'année 2018, l'objectif était d'étudier la bioaccumulation de cadmium par les bactéries isolée à partir des eaux usées de la tannerie de Jijel.

I. Matériel

I.1. Milieux de culture

Les milieux de culture utilisés pour isoler les bactéries:

- PCA : pour le dénombrement de la flore aérobie mésophile (FTAM).
- VBL : pour la recherche et le dénombrement des bactéries coliformes.
- Hektoen : pour l'isolement et la différenciation des entérobactéries.
- Columbia : pour l'identification des Streptocoques.
- Chapman : pour l'isolement des *staphylococcus*.
- Gélose nutritif : est un milieu d'isolement non sélectif.
- Bouillon nutritif : pour l'ensemencement des *Pseudomonas*, *Escherichia coli*, *salmonelles*.
- Eva Litsky : pour effectuer le test confirmatif des streptocoques fécaux.
- Urée indole : est utilisé pour l'identification des bactéries thermotolérantes.
- Viande foie : pour la culture de clostridium.
- Eau physiologique.

I.2. Produits chimique et réactifs

Lors de la réalisation de cette étude, les produits chimiques et réactifs suivants ont été utilisés :

- Nitrate de cadmium $Cd(NO_3)_2$.
- Alun de fer.
- Sulfite de sodium.
- Réactif de Erlich Kovacs.
- Eau oxygéné (H_2O_2).
- Acide nitrique (HNO_3).
- Fuschine.
- Violet de gentiane.
- Lugol.
- Éthanol.

I.3. Matériel et appareillage

- Autoclave (ShiavxElecteic), Bain marie (Mermert).

- Agitateur vortex (VWR).
- Etuve (Mettler).
- Bec Bunsen.
- Réfrigérateur.
- Micropipettes (Microlit).
- Microscope (Olympus).
- Spectrophotomètre (SPECORD 50).
- Balance (Denver).
- Anse de platine.
- Tube à essai.
- Milieux de culture.
- Flacons de collecte.
- Pipettes graduées.
- Les filtres de 0,22 μm .

I.4. Présentation de site de prélèvement

L'échantillon d'eau utilisé au cours de notre étude pratique est prélevé de la station d'épuration Tannerie de Jijel. Cette tannerie est une unité par action, entrée en production en 1967, spécialisée dans le traitement des peaux de bovins, production et vente des cuirs naturels destinés à l'industrie de chaussure, de l'ameublement et de l'artisanat. Implantée sur le plateau de Haddada, distante de 3 Km de la ville de Jijel, l'usine a une capacité de production de 4500 tonnes /an (**site 01**).

I.5. Prélèvement d'échantillon d'eau

Cette recherche a concerné un seul prélèvement effectué le 18/05/2018, au niveau de la station de la tannerie de Jijel (Figure 04) à partir des premiers rejets avant le traitement. L'eau a été recueillie à l'aide d'un flacon en verre stérile (Figure 05), d'une capacité de 250 ml, et prélevée à une profondeur de 30 cm sous la surface. L'échantillon a été ensuite transporté dans une glacière au laboratoire, les analyses étaient effectuées au plus tard dans les 24 heures qui suivies le prélèvement.



Figure 04 : Photo du site de prélèvement



Figure 05 : Aspect de l'échantillon d'eau

II. Méthodes

II.1. Etude microbiologique de l'eau

II.1.1. Préparation de la solution mère et des dilutions

Elle est réalisée par la méthode classique (dilutions en séries) en utilisant l'eau physiologique stérile (NaCl 9‰), en ajoutant 01 ml d'eau à analyser dans un tube à essai contenant 09 ml de solution de dilution stérile, les dilutions obtenus sont : 10^{-1} , 10^{-2} et 10^{-3} (Guiraud, 2003).

II.1.2. Isolement des bactéries

II.1.2.1. Recherche de la Flore Mésophile Aérobie Totale (FTAM)

Dénombrer la « flore totale » c'est de compter tous les microorganismes présents, afin d'apprécier la pollution microbienne et d'évaluer le nombre d'UFC présente dans un produit. A partir des dilutions décimales (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}) et la solution mère (SM) à l'aide d'une micropipette on prélève 1ml aseptiquement et déposer dans une boîte Pétri puis recouvrir avec la gélose PCA, repartir dans les boîtes en fusant forme de 8 pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose, les boîtes sont ensuite incubée à 37°C pendant 48 heures (Joffin et Joffin, 2000).

II.1.2.2. Recherche des Coliformes Totaux (CT)

Le test mise en évidence des coliformes comporte :

a. Test présomptif

Le milieu VBL avec cloche du Durham est inoculé par 1ml de chaque dilution (3 tubes pour chaque dilution), et incubé à 37°C pendant 24-48 heure. La lecture consiste à examiner les tubes présentent un trouble et une production de gaz au niveau de la cloche du Durham.

b. Test confirmatif

A partir de chaque tube de milieu VBL positif, on ensemence d'autres tubes de milieu VBL avec cloche, incubé à 37°C pendant 48 heures. La présence d'un trouble plus production de gaz au niveau de la cloche du Durham confirment les résultats présomptifs positif, donc présence de coliformes dites : coliformes totaux.

II.1.2.3. Recherche des coliformes Thermotolérants (CTT)

Les coliformes comprennent une large gamme des bactéries dont l'origine peut ne pas être l'intestin, pour vérifier la présence de coliformes fécaux ou Thermotolérants (*Escherichia coli*) les étapes suivantes sont nécessaires :

- A partir des tubes positifs de milieu VBL on ensemence d'autres tubes de même milieu avec cloche, et incubé à 44°C pendant 48 heures. La présence d'un trouble plus production de gaz caractérisent les coliformes fécaux (**Delarras et Trébaol, 2003**).
- **Teste d'indole**

A partir des tubes positifs de milieu VBL on ensemence des tubes du milieu Urée indole, et incubés à 44°C pendant 24 heures, après l'incubation on ajoute quelques gouttes de réactif Kovacs avec agitation, l'apparition d'un anneau rouge en surface caractérise la production d'indole donc la présence d'*Escherichia coli* (**Guiraud, 2003**).

La pureté des souches bactériennes a été vérifiée en les repiquant individuellement par la technique d'épuisement par stries sur des boîtes de pétri contenant la Gélose nutritive. Il est indispensable de répéter la procédure d'isolement par strie au moins une fois. Cette culture pure est alors appelée « souche bactérienne ».

II.1.2.4. Recherche des Streptocoques fécaux

La technique se repose sur deux tests : le premier permet d'enrichir le milieu en *Enterococcus*, et l'autre assure une identification à partir d'un milieu riche en bactéries.

a. Test présomptif

Transférer à l'aide d'une pipette stérile dans neuf tubes de milieu litsky, une prise de 1 ml de l'échantillon de dilution 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} . On incube les tubesensemencés à l'étuve à 37°C / 24 à 48 heures.

b. Test confirmatif

Après l'agitation des tubes positifs, on prend de chacun d'eux quelques gouttes reportées sur milieu de litsky à éthyle violet et azide de sodium. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures. L'apparition d'un trouble microbien confirme la présence de Streptocoques fécaux (**Joffin et Joffin, 2000**).

La pureté des souches bactériennes a été vérifiée en les repiquant individuellement par la technique d'épuisement par stries sur des boîtes de pétri contenant la gélose Columbia. Il est indispensable de répéter la procédure d'isolement par strie au moins une fois. Cette culture pure est alors appelée « souche bactérienne ».

II.1.2.5. Recherche des *Clostridium* Sulfito-réducteurs

a. Destruction des formes végétatives

Chauffer l'échantillon d'eau (un tube à essai contenant 5 ml), à 80°C pendant 10 min puis refroidir rapidement à environ 55°C.

b. Préparation de milieu de culture

Faire fondre la gélose viande foie au bain marie, refroidir rapidement à environ 55°C puis on ajoute 6.25ml de sulfite de sodium et 2.5 ml d'alun de fer ammoniacal 5%.

c. Ensemencement

Un tube contenant 20 ml de milieu (5 ml d'échantillon et 15 ml de milieu viande foie est bien mélanger par rotation et incuber à 37°C pendant 24 à 48 heures (**Joffin et Joffin, 2000**).

II.1.2.6. Recherche de *Staphylococcus aureus*

A partir de bouillon nutritive qui contient une population mixte de bactéries ont effectué l'ensemencement par stries sur des boîtes de pétri contenant la Gélose Chapman, la culture est incubée à 37°C pendant 24 heures. Les *Staphylococcus aureus* donnent des colonies jaunes (**Jahan et al., 2015**).

II.1.2.7. Recherche de *Pseudomonas aeruginosa*

A partir de bouillon nutritive, ont ensemence le milieu King A en faisant une strie à la surface de la gélose avec l'anse de platine, l'observation d'une couleur bleue indique la production de pyocyanine par *Pseudomonas aeruginosa* (**Larpen, 1997**).

II.1.2.8. Recherche des Entérobactéries

Les Entérobactéries pathogènes sont recherchées sur le milieu Hektoen, l'ensemencement est effectué en surface par des stries à partir de milieu SFB déjà ensemencé, les cultures sont ensuite incubées à 37°C pendant 24 à 48 heures (**Siboukur et Mati, 2007**). Les Entérobactéries donnant des colonies pigmentées, lisses ou rugueuses de 1 à 3 mm de diamètre (**Guiraud, 2003**).

La pureté des souches bactériennes a été vérifiée en les repiquant individuellement par la technique d'épuisement par stries sur des boîtes de pétri contenant la gélose Hektoen. Il est indispensable de répéter la procédure d'isolement par strie au moins une fois. Cette culture pure est alors appelée « souche bactérienne ».

II.1.3. Identification des souches bactériennes par étude microscopique

L'aspect microscopique est noté après la réalisation d'une coloration de Gram d'un frottis préparé à partir d'une colonie isolée.

II.2. Traitement des souches bactériennes isolées par le cadmium

II.2.1. Préparation des différentes concentrations du cadmium

Une gamme de dilution est préparée à partir de la concentration mère du cadmium (1 M), dont les concentrations à utiliser sont 5, 10, 30, 100 et 300 mM.

II.2.2. Préparation des cultures bactériennes

Les souches isolées sont ensemencées dans des tubes de bouillon nutritif en présence de 100 μL de différentes concentrations du cadmium, les tubes sont ensuite incubés à 37°C pendant 24 heures.

Pour étudier la résistance et /ou la sensibilité des souches bactériennes vis-à-vis du cadmium, des boîtes de pétri contenant la gélose nutritive sont ensemencées à partir de bouillon nutritif présentant un trouble par la méthode de stries, les boîtes sont ensuite incubées à 37°C pendant 24 heures.

II.2.3. Mesures de la croissance bactérienne

II.2.3.1. Mesure de la densité optique

Après repiquage des bouillons sur gélose nutritive et afin de mesurer la croissance bactérienne, ces bouillons sont ensuite utilisés pour mesurer la turbidité à l'aide d'un spectrophotomètre piloté par ordinateur à la longueur d'onde 630 nm en utilisant le bouillon nutritif comme blanc (**Khan et al., 2016**).

II.2.3.2. Croissance sur milieu solide

Après incubation, les boîtes sont contrôlées pour vérifier la résistance et/ ou la sensibilité vis-à-vis de différentes concentrations du cadmium.

II.3. Dosage du cadmium

II.3.1. Procédure de digestion

A partir des cultures positives sur milieu gélosé de différentes souches bactériennes, des suspensions bactériennes dans l'eau physiologique ont été préparées et ajustées à la DO 0,2 nm. Les tubes contenant les suspensions bactériennes sont séchés à 90 °C pendant 24 heures. Après 24 heures d'incubation on ajoute aux tubes 2 ml de HNO₃ et 1ml de H₂O₂, les tubes sont placés à la température ambiante pendant 48 heures, enfin les préparations sont filtrées à l'aide des filtres de 0,22 μm et complétées à 10 ml par l'eau physiologique (**Warren et Zimmerman, 1994**).

II.3.2. Analyse par Spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme

Le dosage du cadmium accumulé par les bactéries est effectué par Spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme de type Shimadzu AA-6200 piloté par ordinateur (**Hussein et al., 2005**).

I. Evaluation de la qualité microbiologique de l'eau

Les résultats des analyses microbiologiques des eaux usées de la tannerie de Jijel ont montré l'existence des germes totaux, des coliformes, des Entérobactéries, *Escherichia coli* et des Streptocoques fécaux ;et l'absence de staphylocoques, *Pseudomonas* et des *Clostridium* Sulfite réducteur. Ces résultats ont montré que les eaux ont été contaminées, c'est la raison pour laquelle les eaux usées de la tannerie sont traitées avant leur rejet dans l'environnement.

I.1.Germes totaux

Les résultats de dénombrements de germes totaux dans les eaux usées pour les différentes dilutions sont résumés dans le tableau III.

Tableau III : résultat de dénombrement des germes totaux dans les eaux usées de la tannerie.

Dilutions	Solution mère	10^{-1}	10^{-2}
Nombre des Colonies	indénombrable	64	24
	indénombrable	41	20

D'après ces données, le nombre de germes totaux est égale à 6772,73 UFC / ml.

Le dénombrement des germes aérobies mésophiles ou germes totaux est utilisé comme indicateur de pollution. La FTAM est représentée dans cette étude par les coliformes, les Entérobactéries, les Streptocoques fécaux et *Escherichia coli*. La contamination de ces eaux par les germes totaux pourrait être due à la pollution avoisinante (élevage des cuirs) (Ayad et Kahoul, 2016).

I.2.Coliformes totaux

Les résultats du dénombrement des coliformes totaux sont résumés dans le tableau IV

Tableau IV : résultat des coliformes totaux dans les eaux de la tannerie.

Dilution	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}
Résultats	+++	++-	---
Chiffre attribué à chaque dilution	3	2	0

D'après la table de Mac Grady, le nombre des coliformes totaux est égal à 95microorganismes par ml.

I.3.Coliformes Thermotolérants

- *Escherichia coli*

Le test d'indole et après l'addition du réactif Erlich Kovacs (Figure 06) montre la présence d'un anneau rouge à la surface du milieu ce qui indique la présence d'*Escherichia coli*. Cette présence est due probablement à une pollution d'origine fécale (Guiraud, 2003).



Figure06 : Résultat de test d'indole.

I.4.Streptocoques fécaux

Les résultats du dénombrement des Streptocoques fécaux sont résumés dans le tableau V.

Tableau V : résultat des streptocoques fécaux dans les eaux de la tannerie.

Dilution	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}
Résultats	+ + -	- - -	+ + -
Chiffre attribué à chaque dilution	2	0	2

D'après la table de Mac Grady, le nombre des Streptocoques fécaux est égal à 20 microorganismes par ml.



Figure 07 : Aspect des colonies sur gélose Columbia.

Les Streptocoques fécaux sont des germes test de contamination fécale particulièrement intéressant pour identifier des contaminations anciennes de l'eau en effet on note une présence des streptocoques fécaux dans les eaux de la tannerie de Jijel, cela est due probablement à une pollution d'origine fécale (Ayad et Kahoul, 2016).

Nous avons constaté un degré élève des coliformes par rapports aux streptocoques, ceci s'explique par le fait que les coliformes sont des bactéries d'origine fécale et environnementale (Haijoubi et al., 2017).

I.5. Entérobactéries

Les tests de la présence de ces bactéries dans les eaux analysées sont positifs. Les entérobactéries sont trouvées dans les eaux où ils participent à la dégradation des matières organiques, Leur présence dans l'eau peut être interprétée comme un indicateur d'une contamination fécale. Ces bactéries sont peu nombreuses dans l'eau à l'exclusion des eaux usées car ce milieu est souvent du point de vue nutritif (Guiraud, 2003).

I.6. Clostridium Sulfito-réducteurs, Pseudomonas et Staphylocoques

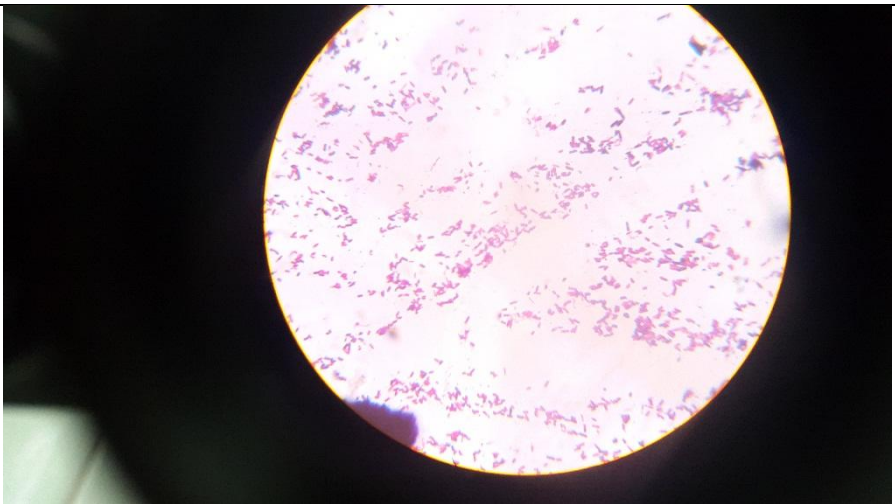
Les résultats obtenus montrent une absence totale de *Clostridium*s Sulfito-réducteurs, de *Pseudomonas* et de Staphylocoques.

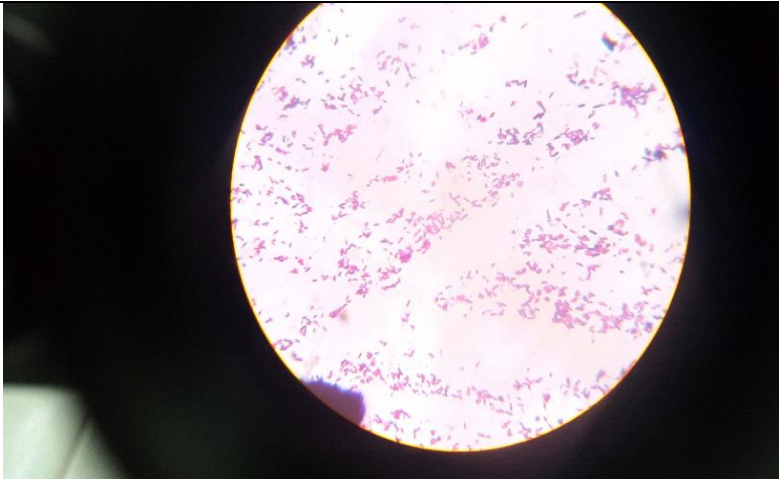
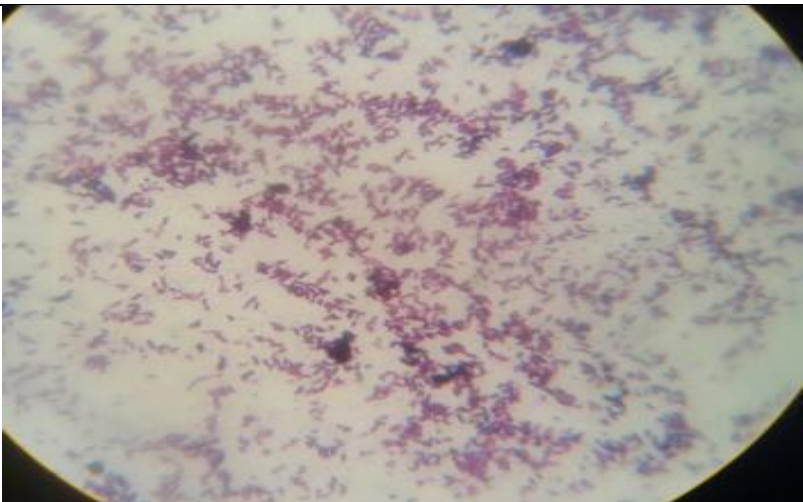
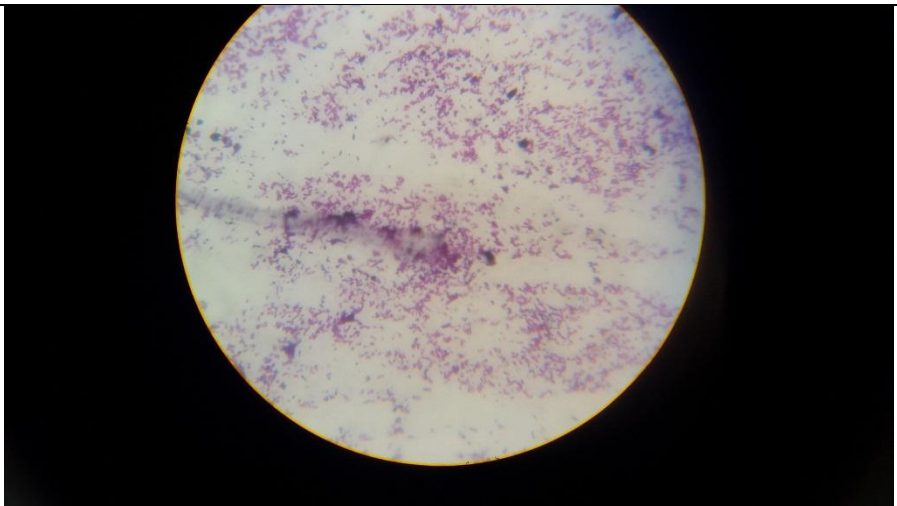
L'absence de ces germes pathogènes dans l'eau analysée peut être due au fait que le nombre de ces bactéries dans l'eau est très faible, ou que la technique adoptée n'a pas été assez fiable pour la culture de ces germes ou encore on peut expliquer ce résultat par le fait que les eaux usées sont d'origine industrielle et pas domestique.


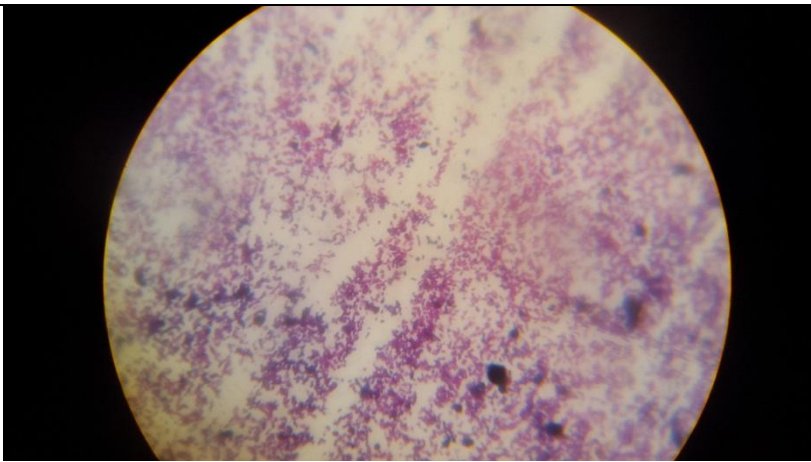
I.7. Résultats de l'identification microscopique

Les résultats de la coloration de Gram des souches isolées sont présentés dans le tableau VI.

Tableau VI: Résultat de coloration de Gram

Souche	Forme	Gram
<i>Escherichiacoli</i>	Bacille	

		
la souche (a) d'entérobactéries	Bacille	
la souche (b) d'entérobactéries	Bacille	

<p>la souche (c) d'entérobactéries</p>	<p>Bacille</p>	
<p>streptocoque fécaux</p>	<p>Coque</p>	

II. Influence de la concentration du cadmium sur la croissance des bactéries

II.1. Etude de la croissance des bactéries isolées en présence de différentes concentrations du cadmium sur milieu solide

Les résultats de la croissance des germes totaux, d'*E. coli*, des Streptocoques fécaux, des souches (a)(b) et (c) d'entérobactéries sont présentées respectivement dans les figures 08, 09, 10, 11, 12 et 13.

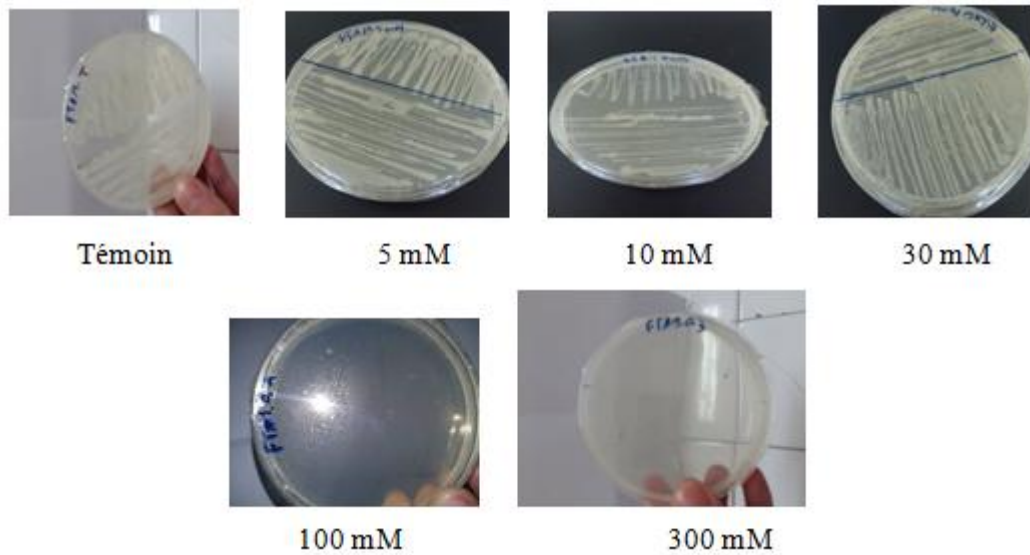


Figure 08 : Croissance des germes totaux sur la gélose nutritive en présence de différentes concentrations du cadmium.

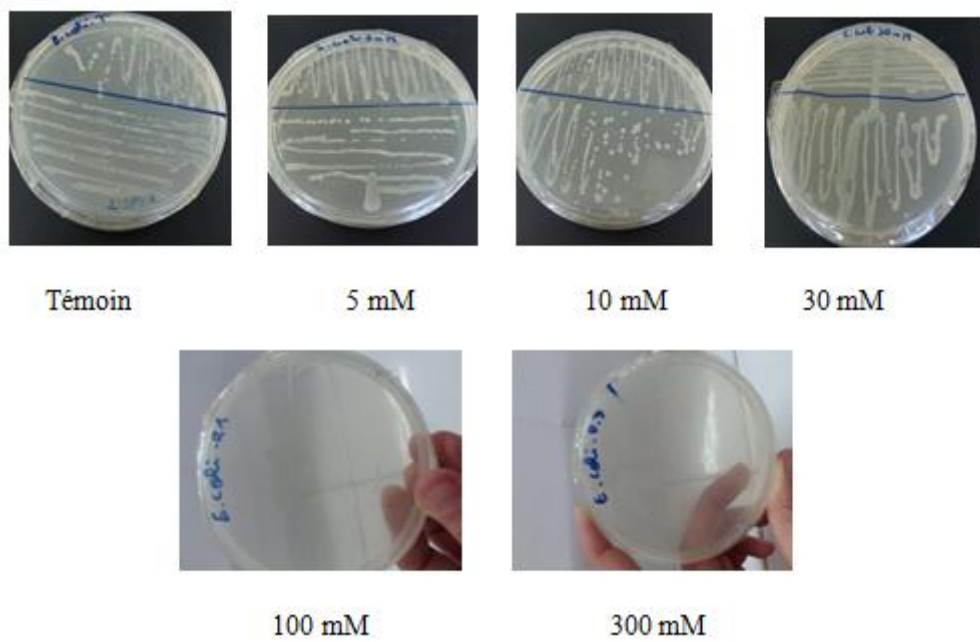


Figure 09 : Croissance d'*Escherichia coli* sur gélose nutritive en présence de différentes concentrations du cadmium.

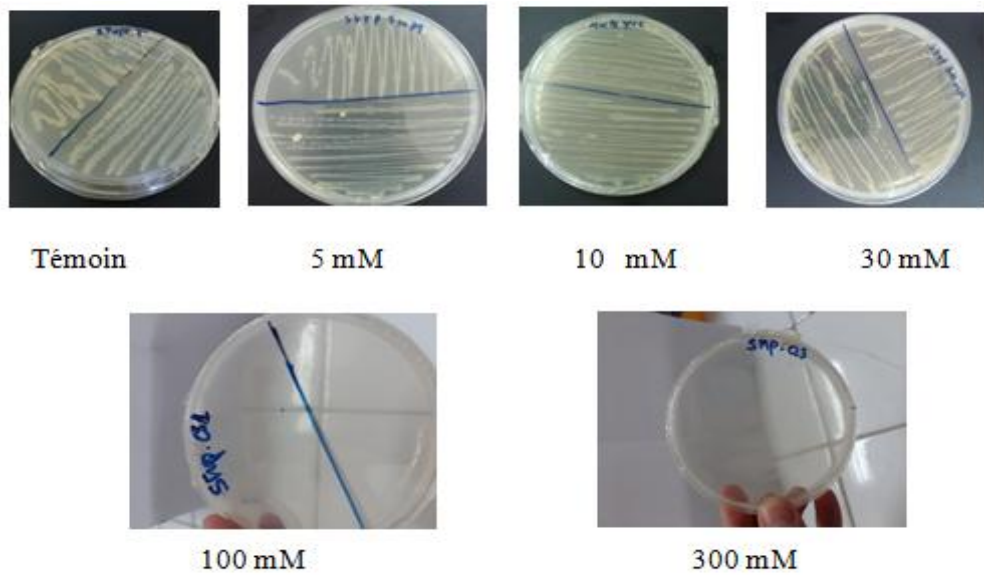


Figure 10 : Croissance des Streptocoques fécaux sur la gélose nutritive en présence de différentes concentrations du cadmium.

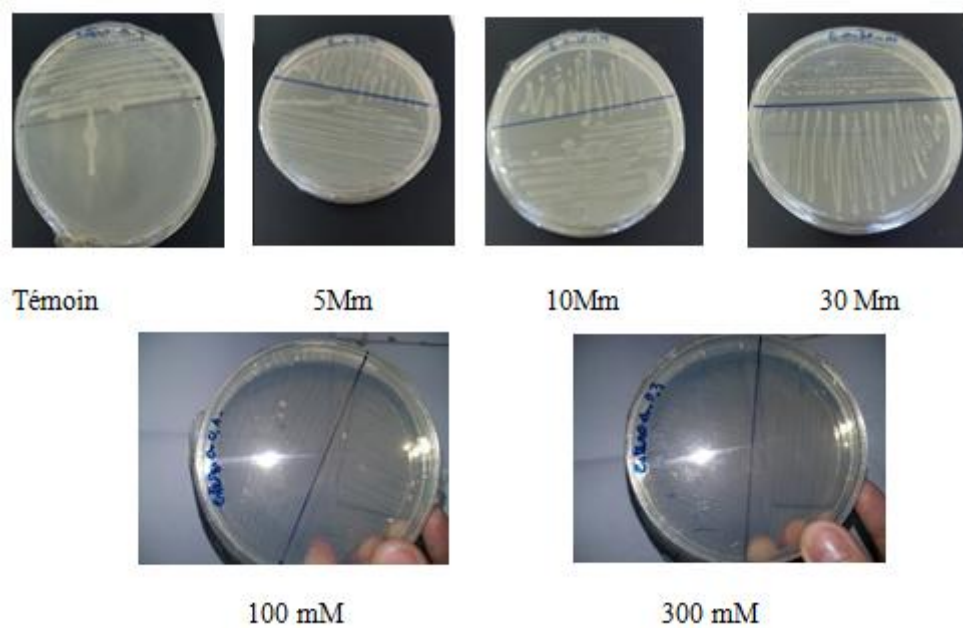


Figure 11 : Croissance de la souche (a) d'Entérobactéries sur la gélose nutritive en présence de différentes concentrations du cadmium.

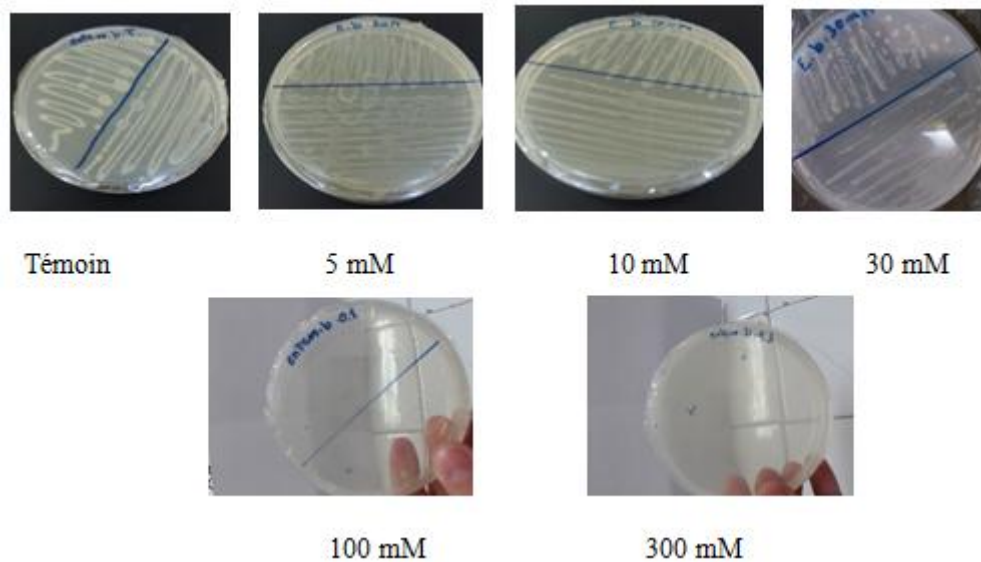


Figure 12 : Croissance de la souche (b) d'Entérobactéries sur la gélose nutritive en présence de différentes concentrations du cadmium.

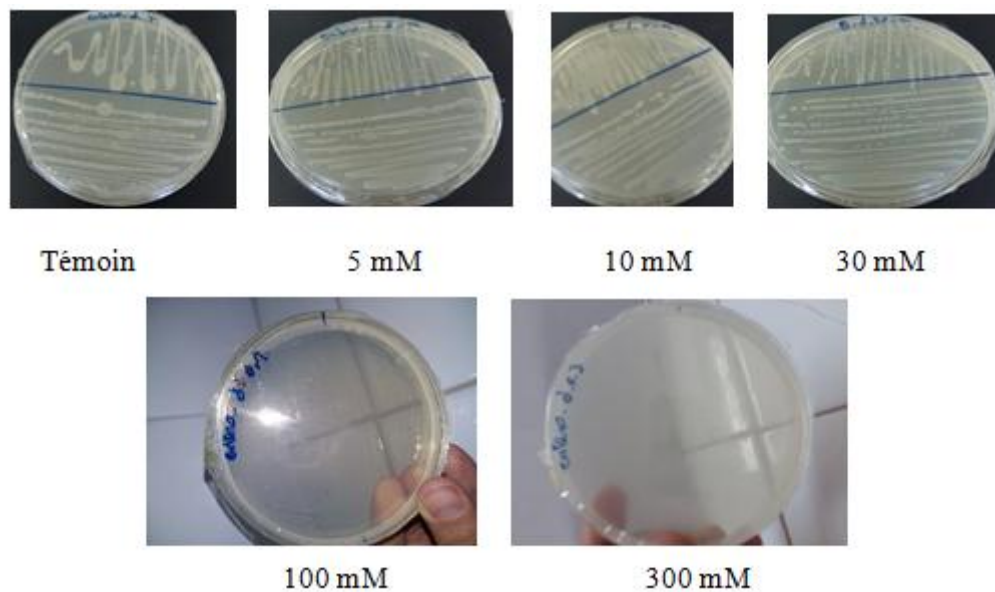


Figure13 : Croissancede la souche (c) d'Entérobactériessur la gélose nutritive en présence de différentes concentrations du cadmium.

Les résultat sont montré que les souches isolées sont résistantes vis à vis de concentrations de 5, 10, 30 mM.Par contre aucune croissance n'est remarquée en présence des concentrations de 100 et 300 mM du cadmium.

En présence du cadmium, les bactéries ont été développées des systèmes de résistance contre la toxicité de ce métal, ces résultats était en accord avec ceux obtenus par **Silver, 1996 ; Khan et al., 2016** et **Malcolm et al., 2017**.

II.2. Etude de la croissance des bactéries isolées en présence de différentes concentrations du cadmium sur milieu liquide

Les figures 14, 15, 16, 17, 18 et 19 montrant la croissance des germes totaux, d'*E. coli*, des Streptocoques fécaux, des souches (a), (b) et (c) d'entérobactéries respectivement en présence de différentes concentrations du cadmium.

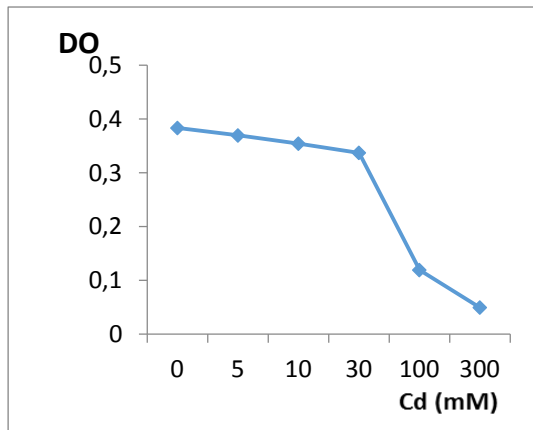


Figure 14 : Croissance des germes totaux dans milieu liquide en présence de différentes concentrations du cadmium.

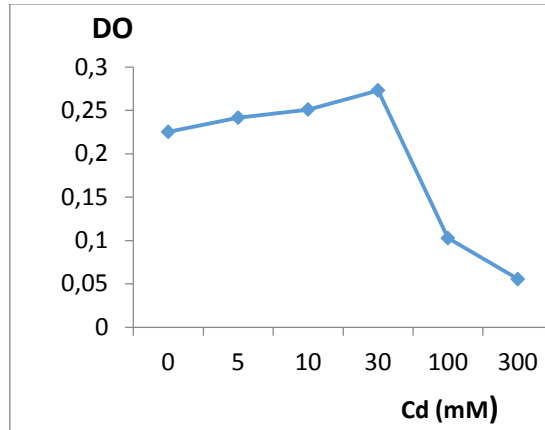


Figure 15 : Croissance *Escherichia coli* dans milieu liquide en présence de différentes concentrations du cadmium.

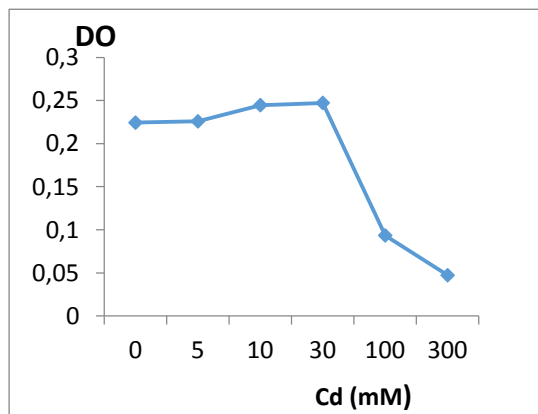


Figure 16 : Croissance des streptocoques fécaux dans milieu liquide en présence de différentes concentrations du cadmium.

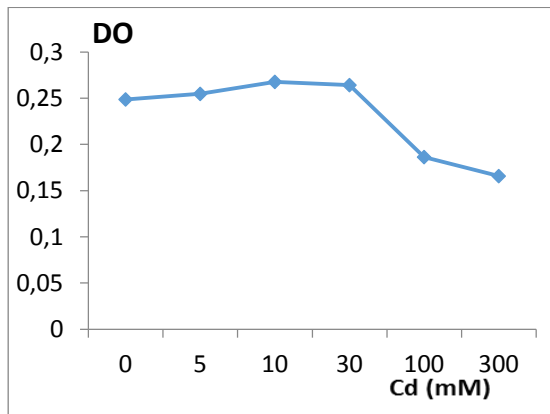


Figure 17 : Croissance de la souche (a) d'entérobactéries dans milieu liquide en présence de différentes concentrations du cadmium.

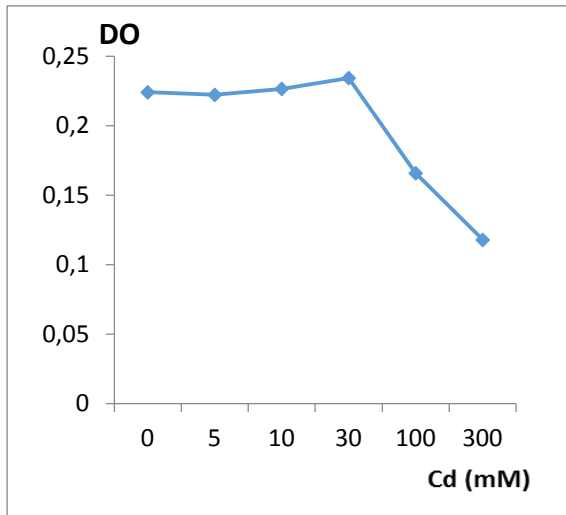


Figure 18 : Croissance de la souche (b) d'entérobactéries dans milieu liquide en présence de différentes concentrations du cadmium.

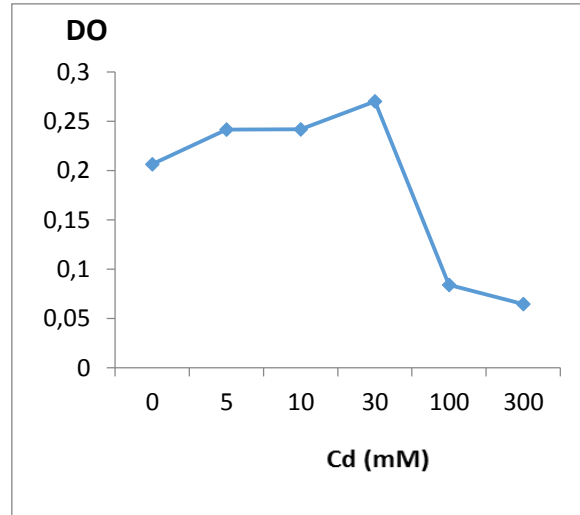


Figure 19 : Croissance de la souche (c) d'entérobactéries dans milieu liquide en présence de différentes concentrations du cadmium.

Les figures (14, 15, 16, 17, 18, 19) montrent que la croissance des souches (germes totaux, *Escherichia coli*, Streptocoques fécaux et Entérobactéries) était importante en présence de concentrations 5, 10 et 30 mM du cadmium, où on a mesuré des DO comprises entre 0.22 et 0.33, autrement dit, ces faibles concentrations n'entraînent aucun effet toxique sur la croissance, alors que les fortes concentrations (100 et 300mM) présentent une toxicité sur ces bactéries ce qui diminue sa croissance. Cette observation est corrélée avec les résultats de la croissance sur milieu solide, où on a obtenu une pousse en présence des faibles concentrations (5, 10 et 30mM) et absence de croissance en présence de fortes concentrations (100 et 300mM).

III. Test de bioaccumulation du cadmium

Ce test permet d'étudier le processus de la bioaccumulation du cadmium par les souches isolées en présence des différentes concentrations 5, 10 et 30 mM, sachant que chaque essai a été accompagné par un témoin qui ne contient pas le métal. Les valeurs obtenues sont mesurées par la SAA, les résultats sont exprimés en ppm. Les figures 20, 21, 22, 23, 24 et 25 présentent respectivement les résultats de la bioaccumulation du cadmium par des germes totaux, *E. coli*, Streptocoques fécaux, souches (a, b et c) d'entérobactéries.

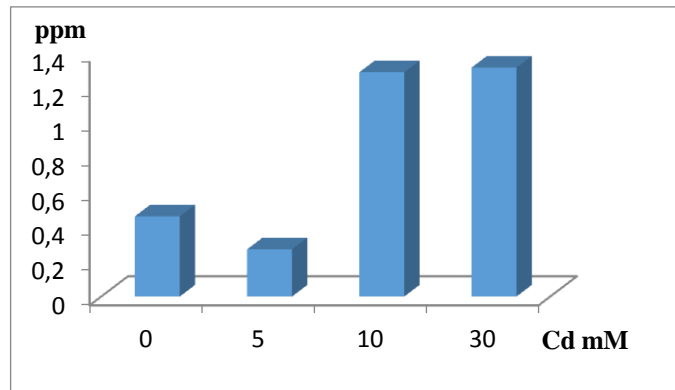


Figure 20 : La quantité du cadmium accumulé par les germes totaux déterminée par SAA.

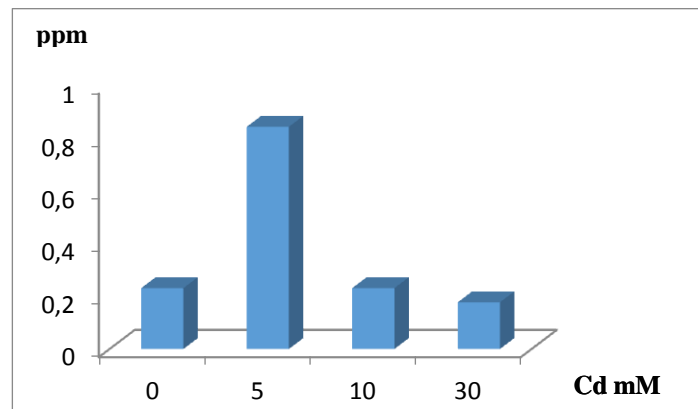


Figure 21 : La quantité du cadmium accumulé par *Escherichia coli* déterminée par SAA.

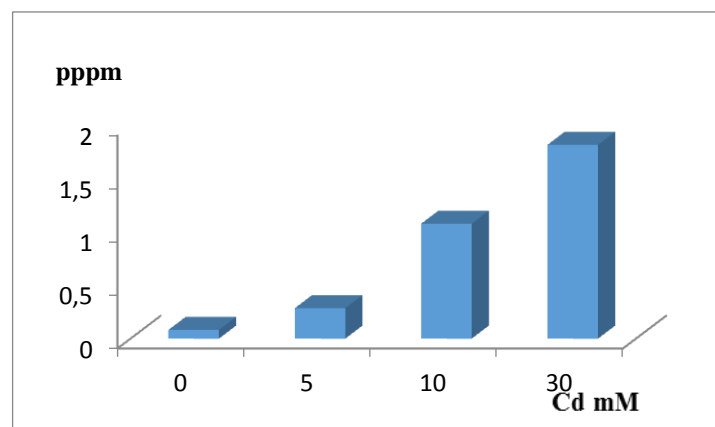


Figure 22 : La quantité du cadmium accumulé par les Streptocoques fécaux déterminée par SAA.

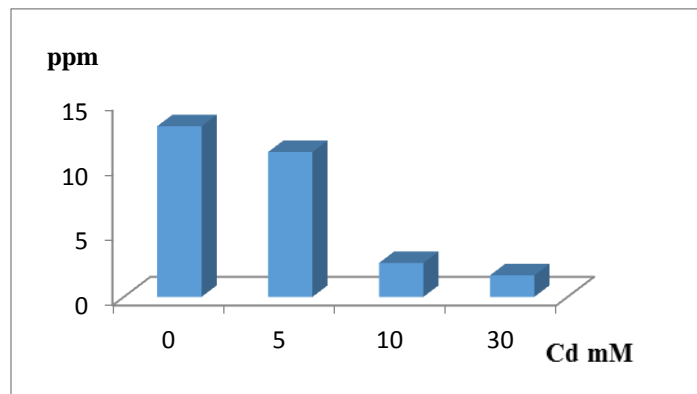


Figure 23 : La quantité du cadmium accumulé par la souche (a) d'entérobactéries déterminée par SAA.

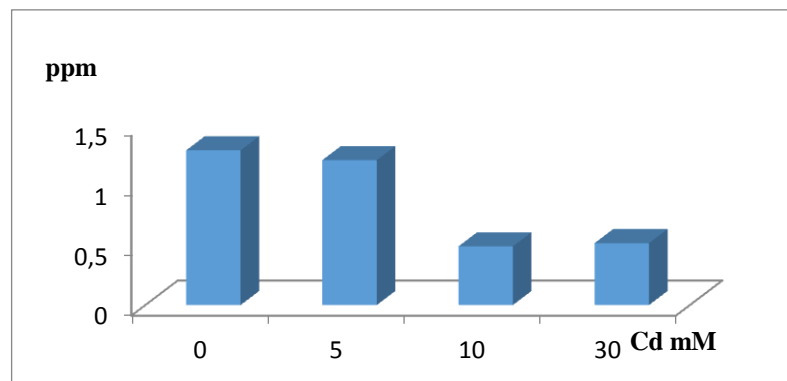


Figure 24:La quantité du cadmium accumulé par la souche (b) d'entérobactéries déterminée par SAA.

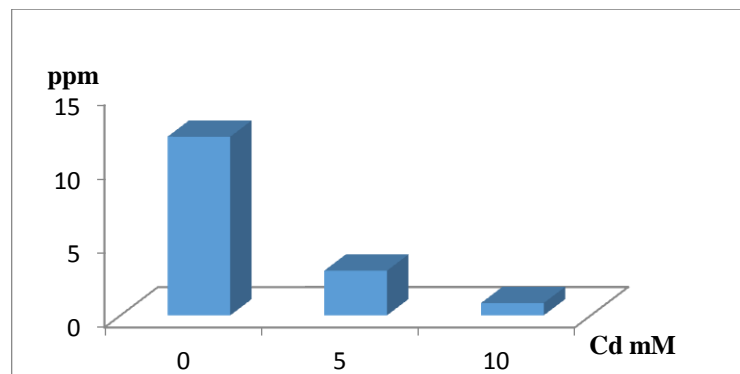


Figure 25:La quantité du cadmium accumulé par la souche (c) d'entérobactéries déterminée par SAA.

Le test de la bioaccumulation indique qu'il y'a une accumulation importante du cadmium dans tous les essais y compris les témoins (sans traitement par le métal), on peut expliquer l'accumulation du cadmium dans les tests témoins par le fait que les eaux de la tannerie contiennent au paravent des traces en cadmium.

D'après les résultats obtenues dans cette étude, il apparait clairement que toutes les souches isolées sont capables d'accumuler des quantités importantes du cadmium, toutefois la concentration du

métal accumulé diffère d'une souche à une autre, chez les souches (a), (b) et (c) d'entérobactéries l'accumulation diminue avec l'augmentation de la concentration du métal, par contre chez les Streptocoques fécaux l'accumulation augmente avec l'augmentation de la concentration du métal, pour *E. coli* l'accumulation est importante en présence de la concentration 5mM.

Les Figures 21, 23, 24 et 25 montrent que la capacité de la bioaccumulation atteint son maximum à la concentration 5 mM, ce résultat peut être expliqué par le fait que tous les ions métalliques dans les solutions pourraient interagir avec les sites de liaison sur le biosorbant, la diminution de l'efficacité de la bioaccumulation avec l'augmentation de la concentration était due à l'épuisement des sites de sorption disponibles sur la biomasse (**Kulkarni et al., 2013**).

D'après les figures 20 et 22, nous constatons que la capacité de la bioaccumulation est augmenté avec l'augmentation de la concentration en ions métallique, cette augmentation est due à une augmentation des interactions entre les bactéries et les ions métalliques (**Boulaiche et Slatnia, 2016**).

Selon **LimcharoensukTossapol et ces collaborateurs**, Les ions du cadmium ont été rapidement adsorbés sur la paroi cellulaire des bactéries résistantes au cadmium ; la paroi cellulaires, peuvent empêcher l'entrée d'ions métalliques dans les cellules par liaison covalente et / ou liaison ionique avec des groupes fonctionnels présent dans les peptidoglycanes, les acides téchoïques chez les bactéries Gram-positif et les phospholipides, les lipopolysaccharides chez les bactéries Gram-négatif sont responsable de leur caractère anionique qui permet la fixation par la paroi cellulaire des métaux lourds sous forme cationique (**Halttunen et al., 2007**).

Notre étude a porté principalement sur l'étude d'un processus intéressant pour la détoxification du cadmium qui est la bioaccumulation. Les souches bactériennes utilisées dans cette étude ont été isolées à partir des effluents de la tannerie de Jijel et sont mises en contact avec des concentrations différentes du cadmium. L'étude a permis d'isoler en plus du FTAM 5 souches bactériennes une d'*E.coli*, une des streptocoques fécaux et trois d'entérobactéries. Après le traitement de ces bactéries par différentes concentrations du cadmium, les résultats ont montré que les souches isolées sont résistantes vis-à-vis des concentrations de 5, 10, 30 mM. Par contre aucune croissance n'est remarquée en présence des concentrations 100 et 300 mM du cadmium.

Les souches isolées semblent capable d'accumuler le cadmium, toutefois la concentration du métal accumulé diffère d'une souche à l'autre. La bactérie la plus accumulatrice du cadmium est la souche (a) d'entérobactéries qui accumule une concentration de 13,138 ppm, alors que les faibles accumulateurs sont les streptocoques fécaux avec une concentration de 0,082 ppm.

D'après les résultats obtenus dans cette étude on peut conclure l'existence d'interaction entre le cadmium et les bactéries de l'eau ce qui révèle que les bactéries accumulent le cadmium dans un but de détoxification et donc on peut les utiliser avec succès dans les domaines de bio remédiation.

Ajmal M. et Khan A.U. (1984), Effect of Water Hardness on the Toxicity of Cadmium to Microorganisms, *Water Research*, 18 (12): 1288-1297.

Alexandre O., Lagrange C., Victoire R. et Torterotot J.Ph. (2006), Station d'Épuration des Petites Collectivités : Méthodologie et Analyse des Coûts d'Investissement et d'Exploitation par Unité Fonctionnelle, Cemagref : 17.

Andujar P., Colas L.B et Descatha A. (2010), Intoxication Aiguë et Chronique au Cadmium, *médecine interne*, 31 :107-108.

Ansari M.I. et Malik A. (2007), Biosorption of Nickel and Cadmium by Metal Resistant Bacterial Isolates from Agricultural Soil Irrigated With Industrial Wastewater, *Bioresource Technology*, 98: 3149-3153.

Apell H.J. (2004), How de P-ATPases Transport Ions ?, *Bioelectrochemistry*, 63 :149-156.

Audoin L. (1991), Rôle de L'azote et du Phosphore dans la Pollution Animale, *International Office Epizootics*, 10 (3) : **629-654**.

Ayad W. et Kahoul M. (2016), Evaluation de la Qualité Physico-Chimique et Bactériologique des Eaux de Puits dans la Région d'El-Harrouch (N.E -Algérie), *Material and environmntal science*, 7 (4) : 1294, 1295.

Balmuri S.R., Selvarajb U., Kumarc V.V., Anthonyc S.Ph., Tsatsakise A.M., Golokhvastf K.S. et Raman Th. (2017), Effect of Surfactant in Mitigating Cadmium Oxide Nanoparticle Toxicity : Implications for Mitigating Cadmium Toxicity in Environment, *Environmental Research*, 152: 141–149.

Barnich L., Bellefroid M., Delnoy M. et Haenen V. (2003), Le Permis d'Environnement de la Chambre de Commerce et d'Industrie, SA, Belgique : 240.

Baudart J. et Paniel N. (2014), Sources et Devenir des Micro-Organismes pathogènes dans les Environnements Aquatiques, 459 : 29.

Baumont S. (2014), Réutilisation des Eaux Usées Epurées : Risques Sanitaires et Faisabilité en Île-De-France, ORS, Ile-De-France : 11, 13.

Beattie J.H., Owen H.L.H., Wallace Sh.W., Arthur J.R., Kwun I.S., Hawksworth G.M. et Wallace H.M. (2005), Metallothionein Overexpression and Resistance to Toxic Stress, *Toxicology Letters*, 157: 69-78.

- Belhadj M.Z. (2017)**, Qualité des Eaux de Surface et leur Impact sur l'Environnement dans la Wilaya de Skikda, thèse de doctorat : 8.
- Boulaiche W. et Slatnia A. (2016)**, Biosorption des Ions de Métaux Lourds par une Biomasse Fongique pour le Traitement des Eaux Industrielles, *Third International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution* : 1066-1073.
- Branca J.J.V., Morucci G., Maresca M., Tencib M., Cascellac R., Paternostroa F. et Ghelardini C. (2018)**, Selenium and zinc: Two key Players Against Cadmium-Induced Neuronal Toxicity, *Toxicology in Vitro*, 48: 159-169.
- Brémond R. Et Vuichard R. (1973)**, Paramètres de La Qualité des Eaux, Ministère de La Protection de La Nature et de L'environnement, SPEPE, Paris : 179.
- Chahid A. (2016)**, Quantification des Eléments Traces Métalliques (Cadmium, Plomb et Mercure Total) de Certains Produits de la Pêche Débarqués dans la Zone Essaouira-Dakhla : Evaluation des Risques Sanitaires, thèse de doctorat : 12.
- Christopher J. et Portier Ph.D. (2012)**, Agency for Toxic Substances and Disease Registry: 143.
- Cobb A. (2008)**, Cadmium, Marshall Cavendish, New York: 4.
- Cossa D. et Lassus P. (1989)**, Le Cadmium en Milieu Marin / Biogéochimie et Ecotoxicologie, SDP, France : 20.
- Crini G. et Badot P.M. (2007)**, Traitement et Epuration des Eaux Industrielles Polluées : Procédés Membranaires, Bioadsorption et Oxydation Chimique, Presses Universitaires de Franche-Comté : 21.
- Delaras C., Trébool B. et Durand J. (2010)**, Surveillance Sanitaire et Microbiologique des Eaux, 2^{ème} édition, Lavoisier : 65, 68.
- Desaunay A. (2012)**, Etude et Modélisation de la Biosorption des Métaux par les Bactéries. Application au Transfert du Cadmium et du Zinc, Seuls ou en Mélange par *Escherichia coli* et *Cupriavidus metallidurans* en Colonnes de Sable d'Hostun, thèse de doctorat : 21.
- Fomina M. et Gadd G.M. (2013)**, Biosorption: Current Perspectives on Concept, Definition and Application, *Bioresource Technology*: 1-43.
- Fowler B.A. (2009)**, Monitoring of Human Populations for Early Markers of Cadmium Toxicity: A Review, *Toxicology and Applied Pharmacology*, 238: 294-300.
- Gao M., Zhang Z., Lv M., Song W. et Lv Y. (2018)**, Toxic Effects of Nanomaterial-Adsorbed Cadmium on *Daphnia magna*, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148: 261–268.

- Gauthier M.J., Clément R.L., Flatau G.N. et Amiard J.C. (1986)**, Accumulation du Cadmium par les Bactéries Marines a Gram Négatif Selon Leur Sensibilité au Métal et Leur Type Respiratoire, *Oceanologica Acta*, 9 (3) : 333-337.
- Godt J., Scheidig F., Siestrup Ch.G., Esche V., Brandenburg P., Reich A. et Groneberg D.A. (2006)**, The Toxicity of Cadmium and Resulting Hazards for Human Health, *Occupational Medicine and Toxicology*, 1(22) : 1-6.
- Gonzalez J.L. (1999)**, Le Cadmium : Comportement d'un Contaminant Métallique en Estuaire, Ifremer : 6-7.
- Grosclaude G. (1999)**, L'eau : Tom 2 : Usage et Polluants, 6^{ème} Edition, INRA, Paris : 143.
- Guiraud J.P. (2003)**, Microbiologie Alimentaire, Dunod, Paris : 250,
- Gulisanoa M., Mannelli L.D.C. et Pacinia A. (2018)**, Selenium and Zinc: Two Key Players Against Cadmium-Induced Neuronal Toxicity, *Toxicology in Vitro*, 48: 160.
- Halttunen T., Salminen S. et Tahvonen R. (2007)**, Rapid Removal of Lead and Cadmium from Water by Specific Lactic Acid Bacteria, *International Journal of Food Microbiology*, 114: 30–35.
- Haq R., Zaidi. et Shakoori AR. (1999)**, Cadmium resistant *Enterobacter cloacae* and *Klebsiella* sp. isolated from industrial e.uents and their possible role in cadmium detoxication, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 15: 283-290.
- Hartemann P. (2004)**, Contamination des Eaux en Milieu Professionnel, *EMC-Toxicologie Pathologie*, 1 : 63, 78.
- Hussein H., Farag S., Kandil K. et Moawad H. (2005)**, Tolerance And Uptake of Heavy Metals by *Pseudomonad*, *Process Biochemistry*, 40: 955-961.
- Jahan M., Rahman M., Parvej M.d.Sh., Chowdhury Z.H.Sh.Md., Enamul Haque Md., Talukder A.Kh.Md. et Ahmed S. (2015)**, Isolation and Characterization of *Staphylococcus aureus* from Raw Cow Milk in Bangladesh, *Advanced Veterinary and Animal Research*, 2 (1): 49-55.
- Joffin Ch. et Joffin J.N. (2000)**, Microbiologie Alimentaire, 5^{ème} édition, CRDP d'Auitaine, Bordeaux : 132, 144, 154.
- Joris MA. (2005)**, Etudes biochimiques et génétiques de la réponse adaptative de mollusques face aux contaminations métalliques et au stress oxydant, Thèse de Doctorat : 1.
- Kefala M.I., Zouboulis A.I. et Matis K.A. (1999)**, Biosorption of Cadmium Ions by *Actinomycetes* and Separation by Fotation, *Environmental Pollution*, 104: 283-293.

- Kehili N., Saka S. et Aouacheri O. (2017)**, L'Effet Phytoprotecteur de la Nigella (*Nigella sativa*) Contre la Toxicité Induite par le Cadmium chez les Rats, *Phytothérapie* : 1-9.
- Kermani A.J.N., Ghasemi M.F., Khosravan A., Farahmand A. et Shakibaie M.R. (2010)**, Cadmium Bioremediation by Metal-Resistant Mutated Bacteria Isolated from Active Sludge of Industrial Effluent, *Environmental Health Science and Engineering*, 7 (4): 279-286.
- Khadivinia E., Sharafi H., Hadi F., Zahiri H.Sh., Modiri S., Tohidi A., Mousavi A., Salmanian A.H. et Noghabi K.A. (2014)**, Cadmium Biosorption by a Glyphosate-Degrading Bacterium, a Novel Biosorbent Isolated from Pesticide-Contaminated Agricultural Soils, *Industrial and Engineering Chemistry*: 1-7.
- Khan Z., Rehman A., Hussain S.Z., Nisar M.A. et Zulfiqar S. (2016)**, Cadmium Resistance and Uptake by Bacterium, *Salmonella enterica* 43C, Isolated from Industrial Effluent, 6: 1-16.
- Kotrba P., Mackova M. et Macek T. (2011)**, Microbial Biosorption of Metals, Springer, London New York: 123.
- Kouakou J. (2008)**, Développement d'une Zone Humide Simulée Plantes avec Amaranthaceae et Capri : Aridacea pour le Traitement des Eaux Usées Domestique, Africantechology Policy Studies Network : 6.
- Kujan P., Votruba J. et Kamen K.V. (1995)**, Substrate Dependent Bioaccumulation of Cadmium by Growing Yeast *Candida utilis*, *Folia Microbiol*, 40 (3): 288-292.
- Kulkarni R.M., Shetty K.V. et Srinikethan G. (2013)**, Cadmium (II) and Nickel (II) Biosorption by *Bacillus laterosporus* (MTCC 1628), *The Taiwan Institute of Chemical Engineers*: 1628-1635.
- Lane T.W. et Morel F.M.M. (2000)**, A Biological Function for Cadmium in Marine Diatoms, *Biochemistry*, 97 (9): 4627-4631.
- Larpent J.P. (1977)**, Microbiologie alimentaire : Technique de laboratoire. Lavoisier, Paris, 1073.
- Li Y.K., Yang T., Chen M.L. et Wang J.H. (2017)**, Supported Carbon Dots Serve as High-Performance Adsorbent for the Retention of Trace Cadmium, 12 (20): 16-25.
- Limcharoensuk T., Sooksawat N., Sumarnrote A., Awutpet T., Kruatrachue M., Pokethitiyook P. et Auesukaree Ch. (2015)**, Bioaccumulation and Biosorption of Cd⁺² And Zn⁺² by Bacteria Isolated from a Zinc Mine in Thailand, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122: 322-333.

- Llanos J., Capasso C., Parisi E., Prieur D. et Jeanthon Ch. (2000)**, Susceptibility to Heavy Metals and Cadmium Accumulation in Aerobic and Anaerobic Thermophilic Microorganisms Isolated from Deep-Sea Hydrothermal Vents, *Current Microbiology*, 41 : 201-205.
- Malcolm L.R., Aracic S., Kannan R., Mann G. et Franks A.E. (2017)**, Functional Characterization of Gram-Negative Bacteria from Different Genera as Multiplex Cadmium Biosensors, *Biosensors and Bioelectronics*, 94: 380-387.
- Ménager M.T., Laplace J.G et Goyffon M. (2009)**, Toxicologie Nucléaire Environnementale et Humaine, Lavoisier, Paris, :223.
- Moreno B.M., Almagro L., Pedreno M.A. et Ferrer M.A. (2014)**, Accumulation and Tolerance of Cadmium in a non Metallicolous Ecotype of *Silene vulgaris* Garcke (Moench), *Anales de Biología*, 36: 55-60.
- Naffrechoux E., Mazas N. et Thomas O. (1991)**, Identification rapide de la Composante Industrielle d'une Eau Residuaire, *Environmental Technology*, 12 : 325-332.
- Nies D.H. (1992)**, Resistance to Cadmium, Cobalt, Zinc, and Nickel in Microbes, *Plasmid*, 27: 17-18.
- Nordberg G.F. (2014)**, Health Hazards of Environmental Cadmium Pollution, *Royal Swedish Academy of Sciences*, 3 (2): 17-28.
- OCDE**: Organisation de Coopération et de développement Économique.
- Oyetibo G.O., Ilori M.O., Obayori O.S. et Amund O.O. (2014)**, Equilibrium Studies of Cadmium Biosorption By Presumed Non-Viable Bacterial Strains Isolated From Polluted Sites, *International Biodeterioration and Biodegradation*, 91: 37- 44.
- Pulit A.Ch., Bednare K.J.S. et Laba. W (2018)**, Optimization of Copper, Lead and Cadmium Biosorption onto Newly Isolated Bacterium Using a Box-Behnken Design, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 149: 275-283.
- Rahimzadeh M.R., Rahimzadeh M.R. et Moghadamnia A.A. (2017)**, Cadmium Toxicity and Treatment: An update, *Caspian Journal of Internal Medicine*, 8(3): 135-145.
- Rajbanshi A. (2008)**, Study on Heavy Metal Resistant Bacteria in Guheswori Sewage Treatment Plant, *Nature*, 6: 52-57.
- Rosen B.P. (2002)**, Transport and Detoxification Systems for Transition Metals, Heavy Metals and Metalloids in Eukaryotic and Prokaryotic Microbes, *Comparative Biochemistry and Physiology*, 133: 689-693.

Samantaray D.S. et Rout G.R. (1997), Studies on Cadmium Toxicity in Plants, *Environmental Pollution*, 98 (1): 29-36.

Schwartz G.G. et Reis I.M. (2000), Is Cadmium a Cause of Human Pancreatic Cancer, *Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention*, 9: 139-145.

Shamim S. et Rehman A. (2012), Cadmium Resistance and Accumulation Potential of *Klebsiella pneumoniae* Strain CBL- 1 Isolated from Industrial Wastewater, *Zoology*, 44 (1): 203-208.

Siboukur O. et Mati A. (2007), Evolution de la Flore Microbienne d'Origine Exogène dans le Lait de Chamelle (*Camelusdromedarius*) Lors de sa Transformation Artisanale en Lait Fermenté, *Researchgate* : 1-14.

Silver S. (1996), Bacterial Resistances to Toxic Metal Ions, *Gene*, 179: 09-19.

Silver S. et Guangyong J. (1994), Newer Systems for Bacterial Resistances to Toxic Heavy Metals, *Environmental Health*, 102(3):107-113.

Stegel P. et Gelin S. (1998), Sol : Interface Fragile, INRA, Paris : 88.

SZF: Société Zoologique de France , (2009).

Tinkov A.A., Gritsenko V.A., Skalnaya M.G., Cherkasov S.V., Aaseth J. et Skalny A.V. (2018), Gut As a Target for Cadmium Toxicity, *Environmental Pollution*, 235: 429-434.

Trevors J.T., Stratton G.W et Gad G.M. (1986), Cadmium Transport, Resistance, and Toxicity in Bacteria, Algae, and Fungi, *Microbiol*, 32: 447-464.

Ueng Y.F., Liu C., Lai C.F., Meng L.M., Hung Y.Y. et Ueng T.H. (1996), Effects of Cadmium and Environmental Pollution on Metallothionein and Cytochrome P450 in Tilapia, *Environmental Contamination and Toxicology*, 57: 125-131.

Verge G. et Petit C. (2009), Contamination des Organismes Marin du Littoral Français par Le Cadmium : Evaluation et Gestion du Risque, *Médecine Vétérinaire*, 160 (10) : 484-490.

Warren LA. et Zimmerman AP. (1994), The Influence of Temperature and Naci on Cadmium, Copper and Zinc Partitioning Among Suspended Particulate and Dissolved Phases in an Urban River, *Water Research*, 28 (9) : 1921-1931.

Zerki N. (2013), Apport de la Chimie pour l'Analyse et l'Interpretation de Quelques Parametres Physicochimiques Influençant la Repartition des Metaux Lourds, des Elements Nutritifs des Anions dans les Eaux de l'Oued de Bouregreg, thèse de doctorat : 30.

Site 01

<https://www.tidjaramarket.com/annuaire-geographique/1274:tannerie-de-jijel>.

Présenté par :
- Bensmara Halima.
-BoudadiSamiha.

Présidente : M^{me} Amira S.
Examinatrice : D^r Akroum S.
Encadrante : M^{me} Benhamada W.

Etude de la capacité d'accumulation du cadmium par les bactéries isolées à partir des eaux usées d'origine industrielle de la tannerie de Jijel

Résumé

Des centaines de polluants sont rejetés chaque jour dans l'environnement. Parmi eux, les métaux lourds sont considérés comme des polluants de grave incidence sur l'environnement à cause de leur persistance et leur tendance à s'accumuler dans les organismes vivants.

Notre travail porte essentiellement sur l'isolement des bactéries à partir des eaux usées de la tannerie de la Wilaya de Jijel, traitement des souches isolées par différentes concentrations du cadmium, et étude de l'accumulation de ce métal par les souches isolées. D'après les résultats obtenus, on a pu isoler en plus du FTAM 5 souches bactériennes, une souche d'*E.coli*, une souche de Streptocoque et trois souches différentes des Entérobactéries. Les résultats obtenus montrent que la croissance des souches bactériennes isolées varie en fonction de différentes concentrations du plomb et que la souche (a) d'entérobactérie est la plus accumulative avec une concentration de 13,138 ppm et les Streptocoques sont les moins accumulateurs avec une concentration de 0,082 ppm.

Les mots clés : métaux lourds, bactéries, cadmium, bioaccumulation.

Summary

Hundreds of pollutants are released into the environment each day. Among them, heavy metals are considered as serious environmental pollutants due to their persistence and tendency to accumulate in living organisms.

Our work focuses on the isolation of bacteria from wastewater tannery of the Wilaya of Jijel, The isolated strains were treated by different concentrations of cadmium, in addition to study the accumulation of this metal by the isolated strains. From the results obtained, it was possible to isolate in addition to FTAM 5 bacterial strains, an *E. coli* strain, a strain of Streptococci and three different strains of enterobacteria. The obtained results showed that the growth of the isolated bacterial strains varies according to different concentrations of cadmium and that the Enterobacterium strain (a) is the most accumulative with a concentration of 13.138 ppm and the *Streptococci* are the least accumulators with a concentration of 0.082 ppm.

Key words: Heavy metals, bacteria, cadmium, bioaccumulation.

المخلص

يتم رمي المئات من الملوثات في البيئة كل يوم من بينها، المعادن الثقيلة والتي تعتبر من الملوثات البيئية الخطيرة بسبب سرعة انتشارها وقدرتها على التراكم الخلوي في الكائنات الحية. تمتلك البكتيريا القدرة على نزع سمية الكاديوم من خلاياها لآلية التراكم الخلوي.

الهدف من هذه الدراسة عزل البكتيريا من مياه الصرف الصحي لولاية جيجل، و معالجة السلالات المعزولة بتركيز مختلفة من الكاديوم، بالإضافة إلى دراسة تراكم المعدن عند السلالات المعزولة. من النتائج التي تم الحصول عليها تمكنا من عزل بالإضافة إلى FTAM 5 سلالات بكتيرية: *E. coli*، Streptocoque وثلاث سلالات من Entérobactéries.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن نمو السلالات البكتيرية المعزولة يختلف باختلاف تركيز الكاديوم وأن (a) Entérobactérie هي الأكثر تراكمًا بتركيز 13.138 جزءًا في المليون وتكون Streptocoque هي الأقل تراكمًا بتركيز 0.082 جزءًا في المليون.

الكلمات المفتاحية: المعادن الثقيلة، البكتيريا، كاديوم، التراكم الخلوي.