

N° d'ordre : 16/2013-M/CH

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene
Faculté de Chimie



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER

EN : CHIMIE

Spécialité : Chimie et Physique des Matériaux Inorganiques

Par : M^{elle} BENREJDAL Fazia

Sujet

***Utilisation d'une Plante Marécageuse pour
l'Épuration des Eaux de Pluie***

Soutenu publiquement le 14/02/2013, devant le Jury composé de:

M TRARI Mohamed	Professeur à l'USTHB	Président
M ^e GHOUALEM Hafida	Maître de Conférences (A) à l'USTHB	Directeur de mémoire
M CHELGHOUM Chabane	Professeur à l'USTHB	Examineur
M KHOUIDER Ali	Professeur à l'USTHB	Examineur

Dédicaces

À mes chers parents,

À mes frères et sœurs, pour leurs conseils et leur soutien précieux.

À toute ma famille.

À toutes mes amies sans exception.

À tous ceux et celles qui me sont cher(e)s.

Je dédie ce modeste travail.

Remerciements

Je remercie le Bon Dieu qui de là-haut, me protège et m'aide dans les épreuves de la vie.

Ce travail a été réalisé au laboratoire d'Electrochimie-Corrosion, Métallurgie et Chimie Minérale, Faculté de Chimie, USTHB.

*Ma gratitude s'adresse à ma directrice de thèse, M^{me} **Hafida GHOUALEM**, Maître de Conférences à l'USTHB, pour son orientation, ses conseils et l'aide qu'elle m'a apporté au cours de cette thèse sans lesquels je n'aurai pu mener à bien ce travail.*

*Je remercie M^r **Mohamed TRARI**, Professeur à l'USTHB, d'avoir accepté de présider ce jury et rapporter ce mémoire.*

*Je remercie, M^r **Chabane CHELGHOUM** Professeur à l'USTHB et M^r **Ali KHOUIDER** Professeur à l'USTHB, d'avoir accepté de juger ce travail.*

J'ai l'agréable tâche de témoigner ma grande reconnaissance aux différents services techniques auprès desquels j'ai bénéficié d'un aimable appui, notamment ceux qui m'ont facilité l'accès aux données de mesure et à la documentation, en particulier :

- *Laboratoire des eaux de l'ANRH d'Alger (particulièrement M^{me} Moufida KHOUIDER)*
- *L'Office National de la Météorologie (station de Dar El Beida d'Alger et la station de Tizi-Ouzou particulièrement, le responsable de la Météo de Tizi-Ouzou, M^r Nourdine CHIKHI).*

Je ne manquerai pas d'adresser mes plus vifs remerciements à ma famille pour les encouragements et le soutien accordés tout au long des ces années.

Un immense merci à ma très chère copine Ouiza d'avoir toujours été là à mes côtés quel que soit mon humeur, de m'avoir soutenu et encouragé tout au long de ce travail et pour m'avoir apportée autant de bonheur tout au long de ces trois ans.

Je voudrais également remercier Les membres du laboratoire, M^{me} SADI, M^r BOUFATIT, M^{me} BOUCHENNA, Radia, Hafsa, Nabila, Soraya, Mohamed, Fatma, Siham, Hayet, Kahina et en particulier Fatiha, Habiba, Fateh et Amrane, qui ont contribué au bon déroulement de ce mémoire, par leurs conseils ou simplement par leurs présence.

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I : Généralités sur les Eaux

I Généralités sur les eaux.....	4
I.1 Différentes qualités d'eau.....	4
I.1.1 Eaux naturelles.....	4
I.1.1.1 Eaux souterraines.....	5
I.1.1.2 Eaux de surface.....	5
I.1.1.3 Eaux de mer et océans.....	5
I.1.2 Eaux de consommation.....	6
I.1.3 Eaux usées.....	6
I.1.3.1 Eaux usées domestiques.....	6
I.1.3.2 Eaux usées industrielles.....	7
I.1.3.3 Eaux usées agricoles.....	7
I.1.3.4 Eaux usées urbaines.....	7
I.1.3.5 Eaux pluviales.....	8
I.2 Pollution des eaux.....	9
I.2.1 Pollution organique.....	10
I.2.2 Pollution agricole.....	10
I.2.3 Pollution microbiologique.....	11
I.2.4 Pollution chimique.....	11
I.2.5 Pollution radioactive.....	11
I.2.6 Pollution thermique.....	12
I.3 Différents paramètres de pollution.....	12
I.3.1 Paramètres organoleptiques.....	13
I.3.1.1 Couleur.....	13

I.3.1.2 Odeur.....	13
I.3.2 Paramètres physiques.....	13
I.3.2.1 Température.....	13
I.3.2.2 Potentiel hydrogène (pH).....	14
I.3.2.3 Conductivité électrique (CE).....	14
I.3.2.4 Turbidité (Tu)	15
I.3.2.5 Matières en suspension (M.E.S).....	15
I.3.2.6 Matières volatiles en suspension (M.V.S).....	15
I.3.3 Paramètres chimiques.....	15
I.3.3.1 Matière organique.....	16
I.3.3.2 Substances nutritives.....	17
I.3.3.4 Chlorures.....	18
I.3.3.5 Sulfates.....	18
I.3.3.6 Métaux.....	19
I.3.4 Paramètres microbiologiques.....	20
I.4 Procédés d'épuration des eaux.....	20
I.4.1 Traitement primaire ou physico-chimique.....	21
I.4.2 Traitement biologique.....	21
I.4.3.1 Traitement aérobie.....	22
I.4.3.2 Ammonification, Nitrification et dénitrification.....	25
I.4.3.3 Traitement anaérobie.....	25
I.4.3 Traitement tertiaire.....	25

Chapitre II : Climatologie

II.1 Présentation de la région d'étude.....	26
II.1.1 Alger	26

II.1.2 Tizi-Ouzou	26
II.2 Analyse climatologique.....	26
II.2.1 Diagramme Ombrothermique.....	27
II.2.2 Indice de De Martonne.....	28
II.3 Etude des facteurs climatiques.....	29
II.3.1 Température.....	29
II.3.2 Pluviométrie.....	31

Chapitre III : Méthodes d'Analyse Physico-chimique

III. 1 Récupération des échantillons.....	33
III. 2 Méthodes d'analyse physico-chimique.....	34
III.2.1 Méthodes d'analyse physique.....	35
III.2.1.1 Potentiel hydrogène (pH).....	35
III.2.1.2 Conductivité (CE).....	35
III.2.1.3 Turbidité (Tu).....	35
III.2.1.4 Matières en suspension (MES)	35
III.2.2 Méthodes d'analyse chimique.....	36
III.2.2.1 Demande chimique en oxygène (DCO).....	36
III.2.2.2 Spectrométrie UV-Visible.....	39
III.2.2.3 Dosage volumétrique des chlorures.....	44
III.2.2.4 Analyse à Flux Continu (CFA).....	45

Chapitre IV : Evaluation des Paramètres de Pollution

IV.1 Résultats et discussion.....	49
IV.1.1 Potentiel hydrogène (pH).....	51
IV.1.2 Conductivité (CE).....	51

IV.1.3 Turbidité (Tu)	52
IV.1.4 Matières en suspension (MES).....	53
IV.1.5 Demande chimique en oxygène (DCO).....	54
IV.1.6 Ion ammoniacal (NH_4^+).....	55
IV.1.7 Nitrates (NO_3^-).....	56
IV.1.8 Nitrites (NO_2^-).....	57
IV.1.9 Orthophosphates (PO_4^{3-}).....	58
IV.1.10 Sulfates (SO_4^{2-}).....	58
IV.1.11 Chlorures (Cl^-).....	59
IV.1.12 Alcalins et Alcalino-terreux.....	59
IV.1.12.1 Alcalins (Na^+).....	60
IV.1.12.2 Alcalino- terreux (Ca^{2+}).....	60
IV.2 Conclusion	61

Chapitre V : Traitement par Filtres Plantés

V.1 Matériel et méthodes	62
V.1.1 Pilote expérimental.....	62
V.1.2 Plantation.....	63
V.2 Résultats et interprétation	63
V.2.1 Potentiel hydrogène (pH).....	64
V.2.2 Conductivité (CE).....	65
V.2.3 Turbidité (Tu).....	66
V.2.4 Matières en suspension (MES).....	66
V.2.5 Ion ammoniacal (NH_4^+).....	67
IV.2.6 Nitrates (NO_3^-).....	68
V.2.7 Nitrites (NO_2^-).....	69

V.2.8 Orthophosphates (PO_4^{3-}).....	70
V.2.9 Sulfates (SO_4^{2-}).....	70
V.2.10 Chlorures (Cl^-).....	71
V.2.11 Alcalins et Alcalino-terreux.....	72
V.2.11.1 Alcalins (Na^+).....	72
V.2.11.2 Alcalino- terreux (Ca^{2+}).....	72
V.3 Evolution des rendements d'élimination.....	73
V.3.1 Turbidité (Tu).....	74
V.3.2 Matières en suspension (MES).....	74
V.3.3 Ion ammoniacal (NH_4^+).....	75
V.3.4 Nitrates (NO_3^-).....	75
V.3.6 Nitrites (NO_2^-).....	76
V.3.7 Orthophosphates (PO_4^{3-}).....	77
V.3.8 Chlorures (Cl^-).....	77
V.3.9 Alcalins et Alcalino-terreux.....	78
V.3.9.1 Sodium (Na^+).....	78
V.3.9.2 Calcium (Ca^{2+}).....	78
Conclusion générale.....	80
Références Bibliographiques.....	82
Annexe	

Abréviations

AFNOR	Association Française de Normalisation
ISO	International Organization for Standardization
OMS	Organisation Mondiales de la Santé
UV	Ultraviolet
λ	Longueur d'onde
pH	Potentiel d'hydrogène
T	Température
P	précipitation
Obs	Obscurité
CFA	Analyse à Flux Continu
Tu	Turbidité
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
$\mu\text{S/cm}$	Micro-Siemens/ centimètre
Cond	Conductivité
MVS	Matières volatiles sèches
MES	Matières en Suspension
DBO	Demande Biochimique en Oxygène
DBO₅	Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours
DCO	Demande Chimique en Oxygène
R	Rendement

Liste des formules

FeSO₄(NH₄)₂SO₄	Sel de Mohr
C₃₆H₂₄FeN₆O₄S	Ferroïne
KC₈H₅O₄	Hydrogénophtalate de potassium
C₄H₄KNaO₆	Tartrate double de sodium et de potassium
C₆H₄K₂O₁₂ Sb₂	Acide sulfanilique
C₇H₅NaO₃	Salicylate de sodium
C₃H₇NO)	N,nDiméthyl-formamide
C₂₅H₂₀N₃NaO₆S	Xylidil bleu
C₁₄H₂₄N₂O₁₀	Ethylene glycol tetraacetic acid

Liste des Figures

Figure 1.a: Courbe Ombrothermique de Bab-Ezzouar	27
Figure 1.b: Courbe Ombrothermique de Tizi-Ouzou	28
Figure 2.a: Variation de la température moyenne mensuelle de Bab-Ezzouar	30
Figure 2.b: Variation de la température moyenne mensuelle de Tizi-Ouzou	30
Figure 3.a: Variation des précipitations moyennes mensuelle de Bab-Ezzouar	31
Figure 3.b: Variation des précipitations moyennes mensuelles de Tizi-Ouzou.....	32
Figure 4: Evaluation du pH en fonction du temps.....	51
Figure 5: Evaluation de la conductivité en fonction du temps.....	51
Figure 6: Evaluation de la turbidité en fonction du temps.....	52
Figure 7: Evaluation des MES en fonction du temps.....	53
Figure 8 : Evaluation de la DCO en fonction du temps.....	54
Figure 9 : Evaluation de l'ion ammoniacal en fonction du temps.....	55
Figure 10 : Evaluation des nitrates en fonction du temps.....	56
Figure 11 : Evaluation des nitrites en fonction du temps.....	57
Figure 12 : Evaluation des orthophosphates en fonction du temps.....	58
Figure 13 : Evaluation des sulfates en fonction du temps.....	58
Figure 14 : Evaluation des chlorures en fonction du temps.....	59
Figure 15 : Evaluation de sodium en fonction du temps.....	60
Figure 16: Evaluation de calcium en fonction du temps.....	60
Figure 17: Dispositif expérimental.....	62
Figure 18: Evaluation du pH en fonction du temps.....	64
Figure 19: Evaluation de la conductivité en fonction du temps.....	65

Figure 20: Evaluation de la turbidité en fonction du temps.....	66
Figure 21: Evaluation des MES en fonction du temps.....	66
Figure 22: Evaluation de l'ion ammoniacal en fonction du temps.....	67
Figure 23: Evaluation des nitrates en fonction du temps.....	68
Figure 24 : Evaluation des nitrites en fonction du temps.....	69
Figure 25 : Evaluation des orthophosphates en fonction du temps.....	70
Figure 26 : Evaluation des sulfates en fonction du temps.....	70
Figure 27 : Evaluation des chlorures en fonction du temps.....	71
Figure 28 : Evaluation de sodium en fonction du temps.....	72
Figure 29 : Evaluation de calcium en fonction du temps.....	72
Figure 30: Taux d'élimination de La turbidité en fonction du temps.....	74
Figure 31: Taux d'élimination des MES en fonction du temps.....	74
Figure 32 : Taux d'élimination des ions NH_4^+ en fonction du temps.....	75
Figure 33: Taux d'élimination des ions NO_3^- en fonction du temps.....	75
Figure 34: Taux d'élimination des ions NO_2^- en fonction du temps.....	76
Figure 35: Taux d'élimination des ions PO_4^{3-} en fonction du temps.....	77
Figure 36: Taux d'élimination des ions Cl^- en fonction du temps.....	77
Figure 37: Taux d'élimination des ions Na^+ en fonction du temps.....	78
Figure 38: Taux d'élimination des ions Ca^{2+} en fonction du temps.....	78

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Normes de potabilité.....	12
Tableau I.2 : Rapport entre la conductivité et la minéralisation.....	14
Tableau I.3 : Concentrations maximales connues en éléments toxiques.....	19
Tableau I.4 : Maladies provoquées par les microorganismes.....	20
Tableau I.5: Espèce de plantes généralement utilisées pour le traitement des eaux résiduaires dans les filtres plantés.....	24
Tableau II.1 : Caractérisation du climat par l'indice de De Martonne.....	28
Tableau II.2 : Indice de De Martonne pour les régions d'étude.....	29
Tableau III.1 : Conditions de conservation des échantillons.....	33
Tableau III.2 : Méthodes d'analyse.....	34
Tableau IV.1 : Composition moyenne des paramètres de pollution des eaux de pluie.....	50
Tableau IV.2: Classes de turbidité usuelle.....	53
Tableau V : Rendements d'élimination des paramètres de pollution.....	79

Introduction

Générale

Introduction générale

Bien qu'apparemment inépuisable, l'eau est très inégalement répartie dans le monde. Au vu du développement industriel et de la demande de plus en plus croissante, tous les pays auront, plus ou moins à brève échéance, à faire face au problème de son manque [1].

L'eau est un élément de la vie quotidienne, elle est si familière, qu'on oublie souvent son rôle, son importance et sa nécessité absolue. Sans l'eau, la terre ne serait qu'un astre mort et aucune vie humaine, biologique, ou animale, n'existerait [2].

Longtemps, l'eau de pluie a été considérée comme une eau pure dépourvue de tout effet néfaste sur l'environnement. Seule la lutte contre les risques d'inondation était prise en compte, ce en quoi le domaine des eaux de pluie ne relevait que d'une vision purement quantitative. Or, depuis une décennie, il est clairement apparu que les rejets urbains par temps de pluie constituent le problème numéro un en matière de pollution des eaux. En effet, l'eau de pluie par lessivage et ruissellement mobilise la pollution accumulée par temps sec: matières en suspension, micropolluants organiques et métalliques. Cette pollution, transportée dans les réseaux vers les déversoirs d'orage et les stations d'épuration, finira pour 40 à 50 % du total par se déverser directement et sans traitement dans le milieu naturel, récepteur final [3,4].

Les activités industrielles sont les principaux processus entraînant la pollution atmosphérique et la pollution des eaux de pluie. Cependant, la composition chimique de la précipitation peut être affectée par différents facteurs tels que les procédés de transport de polluants ou des conditions météorologiques [4].

Les eaux de pluie sont susceptibles de perturber l'équilibre des milieux récepteurs et de causer des problèmes sanitaires comme la contamination des eaux de surface et souterraines. Une certaine dépollution est assurée par les sols, les rivières et autres systèmes hydriques, mais la capacité de cette autoépuration est largement dépassée [5].

La réutilisation des eaux usées [6] est un enjeu politique et socio-économique pour le développement futur des services d'eau potable et d'assainissement à l'échelle mondiale.

L'eau présente, en effet, l'avantage majeur d'assurer une ressource alternative à moindre coût permettant de limiter les pénuries d'eau, de mieux préserver les ressources naturelles et de contribuer à la gestion intégrée de l'eau [7].

Les techniques d'épuration dont le traitement par les plantes hélrophytiques bénéficient d'une attention croissante. Les hélrophytes intéressants dans le domaine de la phyto-épuration sont assez nombreux, parmi lesquels le roseau qui fait l'objet de cette étude. Les potentialités épuratoires des plantes aquatiques et plus particulièrement du roseau ont été mises en évidence par SEIDEL dès 1946 pour traiter des effluents industriels contenant des substances chimiques tels que les métaux lourds [8].

Un traitement par la plante aquatique (le roseau) d'une eau de pluie récupérée dans la région de Bab-Ezzouar et Tizi-Ouzou est envisagé.

Notre travail a pour objectif d'étudier le degré de pollution des eaux de pluie ainsi que la faisabilité d'un traitement par filtres plantés de roseaux.

Avant d'envisager le traitement, on a procédé à une caractérisation physico-chimique des eaux de pluie afin de présenter un système adéquat pour la réduction de la pollution avant son utilisation qui touche les domaines économiques et environnementaux. On a proposé un mode de traitement facile à réaliser, coût d'investissement largement inférieur à celui d'une station d'épuration classique contribue à la protection de l'environnement et la santé humaine [9].

L'utilisation des végétaux dans l'épuration des eaux usées est un procédé qui reprend les techniques naturelles d'auto-épuration [10-13].

Dans un premier temps, on a procédé à une caractérisation physico-chimique des paramètres de pollution tels que : MES, DCO, pH, conductivité et turbidité ainsi que les ions SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , Cl^- , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+} .

Dans un deuxième temps, un traitement de cette eau par un procédé biologique aérobie par filtres plantés de roseaux est étudié.

Notre travail s'organise principalement autour de cinq chapitres, la réalisation d'une étude bibliographique sur les différentes qualités d'eaux, la pollution et les paramètres de pollution. Les différents procédés de leur traitement seront également évoqués dans le premier chapitre.

Le chapitre II est consacré à la description de deux sites expérimentaux retenus pour cette étude. Les analyses climatologiques des régions d'étude seront décrites.

Dans le chapitre III on étudie les méthodes analytiques et les protocoles utilisés pour la caractérisation physico-chimique des eaux de pluie.

Dans le chapitre IV on étudie les paramètres de pollution des eaux de pluie. Toutes les analyses chimiques et physiques pertinentes sont employées pour caractériser ces paramètres et les résultats seront comparés aux normes de potabilité.

Au terme des paramètres de pollution dépassants les normes de potabilité qui posent de nombreux problèmes en vue de leur réutilisation, nous présenterons dans le chapitre V les résultats d'un traitement biologique par filtres plantés de roseaux.

Enfin nous concluons sur les différents résultats obtenus.

Chapitre I
Généralités sur les
Eaux

I Généralités sur les eaux

L'eau en tant que ressource est primordiale, car nécessaire à toute vie; dans l'environnement, elle est un bien fragile, largement utilisée et naturellement accaparée, voire domptée par les sociétés pour leur propre développement [14].

Il est donc indispensable de limiter les rejets de pollution dans le milieu naturel. Ceci nécessite de traiter l'ensemble des effluents domestiques et industriels. Ces traitements peuvent être réalisés par voie biologique, chimique, mécanique ou par la combinaison des trois [15].

En effet la réutilisation des eaux usées [7] est beaucoup plus pratiquée dans les régions du monde où la ressource en eau est limitée [16,17].

I.1 Différentes qualités d'eau

Le caractère de bien commun de l'eau et sa capacité à remplir de nombreuses fonctions font la spécificité de cette ressource. On peut évaluer la qualité de l'eau par rapport à son état d'origine, mais celle-ci se définit le plus souvent par rapport à l'usage qu'on en fait. Les niveaux de qualité sont ainsi différents si l'eau est destinée à la production d'eau potable ou à un usage industriel. Il existe donc non pas une qualité mais des qualités de l'eau, selon l'usage et les normes qui lui correspondent [18].

I.1.1 Eaux naturelles

Sous le terme «eau», on rassemble celles qui coulent ou qui stagnent sur les sols, dans la nature, ou encore les eaux souterraines. Les eaux qui coulent à la surface du sol sont les eaux naturelles (les fleuves, les rivières). Les eaux stagnantes sont les lacs, les étangs, également les océans et les mers [19].

Donc on distingue deux types de ressources naturelles:

- les eaux superficielles ou de surface (rivières, fleuves et lacs...)
- les eaux souterraines.

L'eau à l'état naturel, superficielle ou souterraine, n'est jamais pure, c'est un milieu vivant qui se charge très rapidement de divers éléments au contact des milieux qu'elle traverse et sur lesquels elle ruisselle [20].

I.1.1.1 Eaux souterraines

Les eaux qui ne sont ni réévaporées, ni retournées à la mer par ruissellement s'infiltrant dans le sol et le sous-sol et s'y accumulent pour constituer les eaux souterraines. La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment de leur structure qui peut permettre la formation de réservoirs aquifères appelés nappes [20].

Les eaux souterraines constituent le plus important réservoir d'eau douce de la planète (97 % du total à l'exception des glaciers) [21], elles représentent une importante ressource exploitée pour la consommation humaine et pour une utilisation dans les domaines agricoles et industriels. Ces eaux sont souvent menacées par la contamination par des polluants de natures différentes : biologique, chimique ou physique [22].

I.1.1.2 Eaux de surface

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux. Ces eaux sont le siège d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans traitement [23].

I.1.1.3 Eaux de mer et océans

Environ 97,5% de l'eau de la planète se trouve dans les océans, elle est donc trop salée pour qu'on l'utilise directement en agriculture ou dans l'industrie. Ainsi seulement 2,5% de l'eau est douce. Cependant, la majeure partie est difficilement accessible car sous forme de glace et de neige éternelles (70%). Enfin de compte, moins de 1% de l'eau douce du monde est aisément accessible pour des usages humains directs [24].

I.1.2 Eaux de consommation

Ce sont les eaux destinées à la consommation domestique, elles ont connu une énorme croissance suite au développement démographique et à l'amélioration des conditions de vie des populations. L'évaluation de cette eau doit inclure les paramètres microbiologiques et organoleptiques mesurés sur une longue période. Dans l'évaluation, il faut prendre en considération tous les facteurs pouvant influencer sur la qualité de l'eau [25].

I.1.3 Eaux usées

Ramade (2000) définit les eaux usées comme étant des eaux ayant été utilisées pour des usages domestique, industriel ou même agricole ; constituant donc un effluent pollué et qui sont rejetées dans un émissaire d'égout. Les eaux usées regroupent les eaux usées domestiques (les eaux vannes et les eaux ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels [26]. Donc les eaux usées peuvent être classées en:

- Eaux usées domestique et urbaine.
- Eaux usées industrielles.
- Eaux usées agricoles.
- Eaux de ruissellement.

I.1.3.1 Eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales et des matières organiques, elles comprennent les eaux ménagères et les eaux vannes [9].

a-Eaux ménagères

Les eaux ménagères renferment des matières en suspension et des matières dissoutes organiques ou minérales provenant du lavage des sols ou des légumes. Elles contiennent des graisses issues de la cuisine et sont caractérisées surtout par l'apport de savons et de détergents [20].

b-Eaux vannes

Elles sont constituées par les urines et les matières fécales telles que l'acide urique, l'urée et la créatine [20].

I.1.3.2 Eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles sont des effluents qui résultent des activités humaines. Ces rejets d'eau usée résultent des industries des produits chimique, pharmaceutique, électrochimique, électronique et pétrochimique. Les eaux usées peuvent être très fortes en termes de concentrations en polluants et par conséquent peuvent contribuer d'une manière significative à la charge globale de la pollution imposée à l'environnement [27].

Les besoins en eau et la production d'eau résiduaire dépendent de plusieurs facteurs: la taille des entreprises, les méthodes, la production et la présence de circuits d'eau interne dans les usines. Pour couvrir ces besoins, l'industrie s'alimente soit des réseaux publics de distribution, soit des nappes souterraines ou les eaux de surface dans le cas des entreprises qui ont leur propre installation de captage [28].

I.1.3.3 Eaux usées agricoles

Les eaux usées agricoles provenant de l'élevage, dont les fumiers et lisiers, riches en matières organiques et nutritifs [29,30].

L'agriculture est une source de pollution des eaux qui n'est pas du tout négligeable car elle apporte les nitrates, les engrais et les pesticides. Les engrais et les pesticides utilisés en agriculture posent un sérieux problème de pollution des eaux qui n'est pas du tout négligeable [31].

I.1.3.4 Eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines proviennent essentiellement des activités domestiques et industrielles [17]. Elles comprennent les eaux usées domestiques et les eaux pluviales [32].

La composition des eaux résiduaires urbaines dépend donc, en d'autres termes:

- Essentiellement de l'activité humaine (eaux ménagères et eaux vannes).
- De la composition des eaux d'alimentation en eau potable et de la nature des matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau pour quelques constituants chimiques.
- De la nature et la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain.

Les eaux usées urbaines contiennent donc des matières solides, des substances dissoutes et des micro-organismes [33].

I.1.3.5 Eaux pluviales

Les eaux de pluie ou de ruissellement provenant du lavage de l'atmosphère (pluies acides) et du lessivage des sols de voirie et de toute surface imperméable (routes, chemins de fer, parkings, surfaces bâties). Elles peuvent aussi constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds) les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques [34].

a- Eaux de pluie météorique

Les pluies acides résultent essentiellement de la pollution de l'air par des gaz et des particules, issue de différentes activités industrielles, de la combustion de produits fossiles tels que le charbon, qui produit l'oxyde d'azote et le dioxyde de soufre. Ceux-ci se transforment partiellement en acide sulfurique (H_2SO_4) et en acide nitrique (HNO_3) par oxydation et abaissent le pH de la vapeur d'eau dans l'atmosphère : c'est le phénomène des pluies acides [35].

L'eau de pluie peut être contaminée lors de son passage dans l'atmosphère par les poussières contenant des bactéries [36].

De nombreux composés organiques (pesticide, hydrocarbures) et minéraux (métaux, anions et cations divers) peuvent être retrouvées dans les eaux de pluie souvent accompagnées de micro-organismes [37].

b- Eaux de ruissellement

Les eaux de ruissellement sont produites par le ruissellement des eaux pluviales sur les surfaces imperméables, voire sur les surfaces non imperméables mais saturées par une pluviométrie de grande ampleur [38].

Le ruissellement est aussi un facteur de pollutions liées à l'agriculture: les engrais et autres produits de traitement sont entraînés vers les cours d'eau, puis vers la mer [23].

Les eaux de ruissellement contiennent une charge bactériologique non négligeable. En système unitaire, les quantités de micro-organismes déversés dans le milieu naturel lors de pluies intenses peuvent donc être très importantes [38].

I.2 Pollution des eaux

L'activité humaine, quelle soit industrielle (chimie, papeterie, industrie agroalimentaire...), urbaine (usage domestique, commerce), ou agricole (utilisation d'engrais et pesticides), produit des quantités de substances polluantes de toutes natures qui sont à l'origine de différents types de pollution : pollutions organique (essentiellement d'origine animal), chimique (pesticides, métaux, détergents..), agricole (nitrates, phosphates), biologique (bactéries, virus et autres champignons), ou encore radioactive [39].

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) considère que 80 % des maladies qui affectent la population mondiale sont directement produites par l'eau [9].

I.2.1 Pollution organique

La pollution organique comprend une fraction biodégradable, la DBO₅, et une fraction non biodégradable estimée par la différence entre DCO et DBO ultime (mesurée après 21 jours) [40].

Certaines substances organiques sont facilement biodégradables et peuvent donc être décomposées et éliminées grâce aux capacités naturelles d'autoépuration des milieux aquatiques. Mais, lorsqu'elles sont en excès, leur décomposition peut entraîner l'asphyxie de la faune aquatique. En cas de la forte pollution, la vie végétale aussi tend à disparaître. Les micropolluants organiques comme les organo-halogénés peuvent également entraîner des risques de toxicité immédiate (effets mutagène et cancérogène) [38].

I.2.2 Pollution agricole

Au sein du domaine hydro-agricole qui serait due aux apports massifs et pas toujours parfaitement dosés des engrais et potentiellement des pesticides, à l'irrigation par des eaux de qualité physico-chimique médiocres, à la mauvaise gestion des eaux d'assainissement et aux effluents d'élevage. La pollution des eaux d'origine agricole est généralement liée aux nitrates ou aux phosphates [41].

La consommation d'une eau chargée en nitrate peut alors représenter un risque pour l'homme du fait du caractère cancérogène des nitrates (elle provoque la méthémoglobinémie: maladie du bébé bleu chez le nourrisson), ce pourquoi la limite en nitrates de l'eau potable est fixée à 50 mg/L [42].

Le phosphore est l'élément limitant de la croissance des plantes [32]. De très faibles teneurs en phosphore peuvent constituer un polluant dangereux, le risque est lié aux phosphates qui favorisent le développement d'algues dont la dégradation bactérienne dans les eaux plus profondes crée des conditions d'anoxie qui conduisent à l'eutrophisation des lacs et des rivières [43].

I.2.3 Pollution microbiologique

En plus des rejets localisés des stations d'épuration, qui peuvent être considérés comme des sources ponctuelles, le milieu naturel reçoit également des micro-organismes fécaux par des sources diffuses de contamination, (lessivage des sols) [44].

Le pouvoir auto-épurateur des eaux de surface vis-à-vis des bactéries d'origine entérique est un fait largement reconnu depuis des décennies. Ainsi, on considère généralement, qu'une fois rejetées en rivière, les bactéries d'origine fécale disparaissent rapidement car elles ne sont pas adaptées à cet environnement qui leur est étranger. Cette disparition résulte de l'action combinée de divers paramètres physico-chimiques et biologiques qui interagissent entre eux [44].

I.2.4 Pollution chimique

Les eaux usées contiennent des substances chimiques toxiques très persistantes non dégradables qui sont les métaux lourds [45]. En plus de ces substances, plusieurs environnements aquatiques ont été pollués par les pesticides, les nitrates [9] et les substances pharmaceutiques qui présentent la pollution chimique la plus dangereuse [46].

I.2.5 Pollution radioactive

La pollution radioactive reste un problème toujours d'actualité. Les centrales nucléaires et les applications militaires produisent une grande quantité de déchets solide irradiés. Elle a un effet direct sur le peuplement aquatique en raison de sa toxicité propre de ses éléments et des propriétés cancérogènes et mutagènes de ces rayonnements. L'homme peut subir ces irradiations en ingérant des organismes contaminés qui sont concentrés des isotopes radioactifs [39].

Les sources de pollution sont essentiellement les installations nucléaires. La difficulté sur le plan écologique de la pollution radioactive est due au fait que le seul moyen de faire disparaître la radioactivité est de laisser l'élément se désintégrer spontanément [47].

I.2.6 Pollution thermique

La pollution thermique est due aux rejets des eaux utilisées pour le refroidissement d'installations industrielles diverses. Cet échauffement engendre de nombreux inconvénients tels que appauvrissement de eaux en oxygène, action stimulante sur la vitesse de multiplication d'algues, croissance de l'activité bactérienne [28,24].

I.3 Différents paramètres de pollution

La composition de l'eau potable doit répondre à certaines normes de caractères physiques, organoleptiques, chimiques et bactériologiques [48].

Le tableau I.1 représente les normes de potabilité

Tableau I.1 : Normes de potabilité [49,50].

Paramètres	Normes de potabilité
Turbidité (NTU)	0.5
Conductivité à 20°C (μS/cm)	1000
pH	6.5 – 9
Cuivre (Cu) (mg/L)	1
Fer (Fe) (μg/L)	200
Sulfates (SO ₄ ²⁻) (mg/L)	250
Chlorures (Cl ⁻) (mg/L)	250
Nitrites (NO ₂ ⁻) (mg/L)	0.05
Nitrates (NO ₃ ⁻) (mg/L)	50
Sodium (Na ⁺) (mg/L)	200
Ammonium (NH ₄ ⁺) (mg/L)	0.1
Potassium (K ⁺) (mg/L)	12
Cadmium (Cd) (μg/L)	5

I.3.1 Paramètres organoleptiques

Ces différents caractères doivent être appréciés au moment du prélèvement : certaines odeurs peuvent disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifie au cours du stockage (apparition d'une coloration de précipités, etc.) [51].

I.3.1.1 Couleur

L'eau prend une couleur quand les substances étrangères telles que la matière organique des sols, de la végétation et des minéraux sont présentes.

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux substances dissoutes, c'est-à-dire passant à travers un filtre de porosité égale à 0,45 μm . Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité [51,52].

I.3.1.2 Odeur

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Le sens olfactif peut seul, parfois, les déceler [53].

I.3.2 Paramètres physiques**I.3.2.1 Température**

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz dont l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique. Par ailleurs, la température accroît la vitesse des réactions chimiques et biochimiques. L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît [54]. La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduelles chaudes.

Une température élevée des effluents rejetés pourra se révéler nocive pour la vie aquatique, et favoriser le développement de microorganismes. La température des rejets des stations d'épuration ne doit pas excéder 25°C [38].

I.3.2.2 Potentiel hydrogène (pH)

Le pH est la mesure de la concentration en ions H_3O^+ en solution. Il est représenté par une expression logarithmique. Plus la concentration en ions hydrogène est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide [55]. Le type et la quantité des minéraux dissous, les gaz, et les organismes aquatiques dans l'eau déterminent la nature du pH de l'eau [23].

I.3.2.3 Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (CE) d'une eau représente sa minéralisation totale. Elle augmente avec l'augmentation de la teneur en ions dissous et mesurée en $\mu\text{S}/\text{cm}$ [56].

Le tableau I.2 montre une relation entre le degré de la minéralisation et la conductivité selon la réglementation française.

Tableau I.2 : Rapport entre la conductivité et la minéralisation [21].

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation
0 – 100	Minéralisation très faible
100 – 200	Minéralisation faible
200 – 333	Minéralisation moyenne
333 – 666	Minéralisation moyenne accentuée
666 – 1 000	Minéralisation importante
> 1 000	Minéralisation élevée

I.3.2.4 Turbidité (Tu)

La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau; c'est l'inverse de la limpidité. Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée (diffraction) ou absorbée [52]. Elle est causée par diverses matières particulières ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques ainsi que du plancton et d'autres micro-organismes [57].

I.3.2.5 Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) sont, en majeure partie, de nature biodégradable. La plus grande partie des micro-organismes pathogènes contenus dans les eaux usées, est associée aux MES qui peuvent être considérées comme des polluants, via les éléments toxiques qu'elles peuvent transporter. Des augmentations de concentrations en MES peuvent entraîner une diminution de la pénétration de la lumière [58], diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique.

I.3.2.6 Matières volatiles en suspension (MVS)

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension. Ces matières disparaissent au cours d'une combustion, et sont mesurées à partir des matières en suspension (résidu sec à 105°C), en calcinant à 625°C pendant 2 heures.

I.3.3 Paramètres chimiques

Le programme d'évaluation des paramètres chimiques doit aussi inclure l'évaluation des risques liés à des contaminations potentielles ou existantes. Afin de pouvoir mettre en évidence des changements de la composition de l'eau.

I.3.3.1 Matière organique

La matière organique présente dans les eaux est constituée d'une fraction particulaire et d'une fraction dissoute. La matière organique dissoute est composée de molécules organiques provenant de la décomposition d'organismes morts, de végétaux et de micro-organismes comme les bactéries [59].

La plupart des matières organiques ne deviennent polluantes que lorsqu'elles sont en excès notamment dans le milieu aquatique. On distingue, d'une part les matières organiques biodégradables qui se décomposent dans le milieu naturel. D'autre part les matières organiques non biodégradables (hydrocarbures.).

L'importance de l'oxygène dans l'eau est une variable déterminante pour la vie aquatique. On la mesure avec trois paramètres [60] :

- La teneur en oxygène dissous.
- La demande chimique en oxygène (DCO).
- La demande biologique en oxygène (DBO₅).

a-Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) représente la quantité d'oxygène qui serait nécessaire pour oxyder les substances organiques dissoutes ou en suspension. Lorsque des matières organiques sont présentes dans l'eau, leur oxydation entraîne une chute de la quantité d'oxygène dissous, ce qui peut nuire, en cas d'excès, à la survie de la faune et la flore [60].

b-Demande biologique en oxygène (DBO)

La demande biologique en oxygène (DBO₅) représente la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes après 5 jours pour oxyder les matières organiques biodégradables. La pollution par les matières organiques peut provenir des rejets urbains, agricoles et industriels [61].

La mesure de cette demande en oxygène permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables, donc son degré de pollution ou sa qualité [62].

Les substances inhibitrices ont un effet toxique sur l'activité des micro-organismes. La présence de métaux lourds comme le cuivre, le chrome, le cadmium même en quantité faible peut inhiber l'action des bactéries [63].

I.3.3.2 Substances nutritives

Pour les plantes typiques (plantes vertes), les substances nutritives sont des traces, nécessaire à leur métabolisme; a coté du carbone et de quelques autres éléments, l'azote et le phosphore font partie de ces substances. Ces deux éléments en particulier, si importants pour les plantes, peuvent devenir fortement nocifs pour les eaux, lorsqu'ils sont utilisés en excès.

A cause de tels apports de substances nutritives dans les eaux, les algues se développent plus rapidement. L'apparition des algues bleues et vertes en grande quantité est un signe d'eutrophisation. Dans les cas extrêmes, particulièrement au cours des saisons chaudes, l'eutrophisation peut conduire à l'asphyxie des eaux; si l'oxygène est consommé, la dégradation se poursuit de manière anaérobie [19].

L'augmentation des teneurs des composés azotés traduit une pollution de la ressource liée aux activités humaines [64].

a-Azote

L'azote est un nutriment essentiel à l'activité biologique dans l'eau. Cependant, au-dessus d'une certaine concentration, sa présence peut entraîner des problèmes sérieux de pollution [42]. Il peut changer très facilement de forme chimique [60].

L'azote organique peut subir une minéralisation qui produit du NH_4^+ (ammonification).

Le processus de nitrification consiste en l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrite (NO_2^-).

Nitrate est la forme la plus oxydée de L'azote. Puisqu'il peut causer la méthémoglobinémie, c'est un paramètre très important dans les normes d'eau potable.

b-Phosphore

L'impact du phosphore particulaire sur l'eutrophisation d'une eau est un phénomène complexe qui dépend de l'hydrodynamique, de la saison, de l'aptitude des suspensions à céder ou fixer des ions phosphates (pouvoir fixateur) ainsi que de la capacité des algues à utiliser le phosphore provenant de ces sédiments (biodisponibilité) [65].

Comme l'azote, entraîne une prolifération d'algues grandes consommatrices d'oxygène, ce qui peut conduire à l'asphyxie des milieux aquatiques (eutrophisation) [60].

I.3.3.4 Chlorures

Le chlorure est un traceur de pollution en raison de sa présence à des teneurs élevées dans les eaux. Il peut se produire de l'oxydation des chlorures contenant dans les roches [29], apportés par les embruns maritimes [30] ou encore par les engrais (KCl).

I.3.3.5 Sulfates

Naturellement, ils existent dans de nombreux minéraux comme le gypse (CaSO_4) [29]. Ils peuvent aussi provenir de l'oxydation des sulfures présents dans les minéraux sulfurés tels que la pyrite [66], que l'on peut retrouver dans les roches granitiques. Les sulfates peuvent avoir une origine atmosphérique notamment à travers les embruns marins provenant de la mer Méditerranée [30].

Les sulfates sont rejetés dans l'environnement aquatique avec les déchets des industries [62] qui emploient des sulfates et de l'acide sulfurique.

L'eau hypersulfatée présente un gout inacceptable et la consommation de cette eau provoque la diarrhée chez les consommateurs [67].

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur (goût, corrosion), l'OMS recommande comme valeur limite 250 mg/L [21].

I.3.3.6 Métaux

Les métaux sont naturellement présents dans les roches et les sols [60].

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées sont extrêmement nombreux ; les plus abondants (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/L}$) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. Ces éléments traces métalliques, à faible concentration peuvent être toxiques pour les organismes vivants [68]. Leur origine est multiple : ils proviennent des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels [26].

Le tableau I.3 représente la concentration maximale en éléments toxiques.

Tableau I.3 : Concentrations maximales connues en éléments toxiques [49].

Eléments	Normes de potabilisation ($\mu\text{g/L}$)
Arsenic	100
Cadmium	5
Chrome	50
Cyanure	50
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	1

I.3.4 Paramètres microbiologiques

Les eaux usées contiennent des micro-organismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. Les micro-organismes pathogènes des industries de biotechnologie, industries agricoles et les hôpitaux provoquent des maladies infectieuses portées par les eaux, telles que typhoïde, choléra et l'hépatite. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Ils peuvent être les agents de la propagation de maladies infectieuses [38,26]. Les maladies provoquées par ces micro-organismes sont représentées dans le tableau I.4

Tableau I.4 : Maladies provoquées par les micro-organismes [69,38].

Microorganismes	Symptômes, Maladie
Virus (Hépatite A)	Hépatite A
Bactérie (Salmonella)	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose
Protozoaires (Cyclospora)	Diarée, légère fièvre, perte de poids
Helminthes (Necator)	Anémie

I.4 Procédés d'épuration des eaux

Le traitement des eaux usées varie selon le degré de la pollution transportée par ces eaux [70].

Le traitement primaire consiste à éliminer par décantation une forte proportion de matières en suspension [61]. Mais l'eau contient toujours des molécules de grande énergie qui se décomposent par action microbienne [70].

Des traitements biologiques sont ensuite appliqués, afin d'éliminer la matière organique. Ces traitements sont généralement insuffisants en ce qui concerne la destruction des microorganismes, il est souvent indispensable d'effectuer une désinfection de l'effluent avant rejet [71].

I.4.1 Traitement primaire ou physico-chimique

La décantation primaire permet d'éliminer les matières colloïdales ou émulsionnées et également les matières en suspension décantables par précipitation simultanée. Environ 60% de ces derniers peuvent être éliminés, tandis qu'une petite partie de la matière colloïdale peut être enlevée avec les solides solubles [27].

I.4.2 Traitement biologique

Les techniques d'épuration biologique reposent sur les conditions qui permettent aux flores microbiennes de se développer pour assurer la dégradation des matières organiques polluantes.

L'épuration biologique s'applique aux composés oxydables qui, en solution ou en suspension, constituent souvent la fraction majeure de la pollution des eaux. Les matières oxydables biodégradables sont celles qui peuvent être éliminées par des microorganismes. Elles sont transformées finalement en constituant cellulaire et en déchets gazeux, dissous ou solides [28].

Les procédés biologiques d'épuration sont multiples et de conceptions variées, ils se classent en deux catégories : les traitements aérobies en présence d'oxygène et anaérobies en absence d'oxygène [5].

I.4.3.1 Traitement aérobie

Les procédés aérobies mettent en œuvre des bactéries hétérotrophes qui dégradent la matière organique pour leur développement. Elles s'activent avec la température et transforment la matière organique soluble en énergie et en matière organique de synthèse en consommant l'oxygène. Certains hétérotrophes peuvent se dispenser d'oxygène et utiliser les nitrates, elles sont alors dénitrifiantes dans une zone dite d'anoxie [40].

On distingue les procédés intensifs à cultures libres (boues activées), les procédés à cultures fixées (lits bactériens, filtres plantés) et les procédés extensifs (lagunage) [5].

a-Boues activées

Les boues activées sont des processus de croissance aérobie dans lesquels les matières organiques solubles sont oxydées par des micro-organismes. L'agglomération de la biomasse produit un effluent solide en suspension qui peut être séparé des eaux usées par sédimentation dans un décanteur [72].

Le traitement biologique d'un effluent par le procédé à boues activées aboutit à des taux variables d'élimination de virus. Selon Payment et al, le pourcentage est de 98 % [5].

b-Lit bactérien

Le lit bactérien permet de fixer les bactéries et les micro-organismes sur un support pour la dégradation de la matière organique présente dans l'eau. Les eaux usées passent sur le substrat en pierre concassée [73].

L'épuration sur lit bactérien est plus efficace qu'un traitement à boues activées car elle élimine non seulement les virus et les bactéries (respectivement 30 à 40 % et 50 à 95 %) mais aussi les œufs d'helminthes (20 à 90 %) et les kystes de protozoaires (83 à 99 %) [26].

c-Lagunage

Le lagunage naturel est un procédé d'épuration extensif, consistant à faire séjourner les eaux usées dans plusieurs bassins successifs.

Le lagunage est typiquement employé pour stabiliser la matière organique biodégradable, bien qu'on observe parfois l'élimination de l'azote (par nitrification, dénitrification et ammonification) et du phosphore par la précipitation chimique, cette élimination est obtenue par des micro-organismes [72]. Il utilise donc des mécanismes naturels (bactéries, photosynthèse et pouvoir germicide de la lumière et de certaines algues). Les bactéries pathogènes sont éliminées de 90 à 99 % [26].

d-Filtres plantés

Les systèmes plantés ont plusieurs avantages. Ils sont moins coûteux à construire et à exploiter, ils peuvent être utilisés pour stocker et traiter les eaux usées non industrielles [9] et les eaux de ruissellement, ils nécessitent peu d'équipements mécanisés et sont moins sensibles aux variations de charges polluantes [29].

Théoriquement, plusieurs espèces de plantes peuvent être utilisées (Scirpus, Typha...), mais le roseau est souvent le plus utilisé pour sa résistance (longue période submergée du filtre, périodes sèches, fort taux de matières organiques), et la croissance rapide des racines et des rhizomes [74,75].

La profondeur du lit dépend de la pénétration de racine des plantes utilisées (le roseau 600 mm). Le substrat et les racines augmentent la surface de fixation pour la croissance des micro-organismes hétérotrophes [30].

L'oxygène est transféré aux rhizomes à travers les tiges et les racines. Donc des zones aérobies sont produites dans le filtre, également des zones anoxiques et réduites sont produites dans la rhizosphère. Cette combinaison assure le développement des bactéries aérobies et anaérobies, permettant la dégradation des matières organiques, la nitrification, la dénitrification et la dégradation en condition anaérobie [30].

Les plantes et les micro-organismes se développent dans le filtre et élimine la DBO et les substances nutritives [29].

- **Rôle des plantes**

Les plantes aquatiques ont l'aptitude de transférer l'oxygène à travers les feuilles, les tiges et les racines vers les rhizosphères [76]. Elles contribuent d'une manière indirecte à la dégradation de la matière organique par la croissance des bactéries nitrifiantes. D'une façon générale, le milieu filtrant grâce à la présence des racines, possède une grande diversité d'espèce (bactéries, protozoaires, invertébrés) dont la présence dépend étroitement de la charge organique et des conditions de renouvellement de l'oxygène. Tous ces organismes contribuent à la diminution des populations de bactéries fécales. Les racines qui se développent dans le substrat aèrent mécaniquement et dégagent de l'oxygène en profondeur. Elles secrètent également des acides organiques qui permettent ainsi le développement des bactéries dans la rhizosphère [9].

Les racines des plantes aquatiques contribuent pour la biosorption d'une grande partie des polluants, les polluants fréquemment visés sont la DBO, l'azote, le phosphore et les métaux [77,78].

Les espèces des plantes utilisées pour le traitement des eaux résiduaires dans les filtres plantés sont portées le tableau suivant:

Tableau I.5: Espèce de plantes généralement utilisées pour le traitement des eaux résiduaires dans les filtres plantés [76].

Espèce	Caractéristiques	
	pH	Salinité (g/L)
Phragmites (roseau commun)	2-8	< 45
Massette	4-10	< 1
Iris jaune	5-7,5	< 0,5
Jonc	5-7,5	0-25

I.4.3.2 Ammonification, Nitrification et dénitrification

L'azote organique peut subir une minéralisation qui produit du NH_4^+ (ammonification) ensuite l'ion NH_4^+ subit la nitrification en deux étapes:

L'oxydation des ions ammonium en ions nitrites par les micro-organismes Nitrosomonas

L'oxydation des ions nitrites en ions nitrate par les micro-organismes Nitrobacter

La dénitrification permet l'élimination des nitrates par leur réduction en azote gazeux. Il existe une vingtaine d'espèces de bactéries strictement dénitrifiantes qui appartiennent notamment aux genres Bacillus, Paracoccus et Pseudomonas [64].

I.4.3.3 Traitement anaérobie

La digestion anaérobie permet la transformation biologique de la matière organique et inorganique en absence d'oxygène moléculaire et forme le méthane et le dioxyde de carbone [79]. C'est un procédé efficace pour le traitement de déchets très chargés en DCO [80].

Les rendements d'élimination varient de 50 à 60 % pour les MES et la DCO totale. Les volumes de gaz produits sont de l'ordre de $0,5 \text{ m}^3$ de gaz/kg de DCO éliminé dont 60 à 65 % de méthane et 30 à 35 % de CO_2 [81].

I.4.3 Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire est essentiellement utilisé afin d'éliminer l'excès d'azote et de phosphore présent dans les eaux usées ayant subi un traitement secondaire. Certains traitement tertiaires, appelés aussi technique d'affinage, apportent une étape supplémentaire de désinfection. Ils s'appliquent principalement à des eaux rejetées dans les milieux sensibles, ou destinées à un usage spécifique [16].

Du calcium ou l'hypochlorite de sodium sont souvent employés comme désinfectants [27].

Chapitre II

Climatologie

II.1 Présentation de la région d'étude

Notre étude consiste à analyser les eaux de pluie de deux régions: Tizi-Ouzou et Bab-Ezzouar située dans la wilaya d'Alger. A cet effet la présentation des deux wilayas est nécessaire.

II.1.1 Alger

La wilaya d'Alger s'étend sur une superficie de 809,22 km², elle est limitée par la mer méditerranée au Nord, par la wilaya de Blida au Sud, par la wilaya de Tipaza à l'Ouest et par la wilaya de Boumerdès à l'Est (Voir annexe). Le linéaire côtier s'étend sur une longueur de 80 km

La station météorologique de Dar El Beida d'Alger est située à une altitude de 25 m, à 03°13' Est de longitude et 36°41' de latitude Nord.

II.1.2 Tizi-Ouzou

La wilaya est limitée par la mer méditerranée au Nord, par la wilaya de Bouira au Sud, par la wilaya de Boumerdès à l'Ouest et par la wilaya de Bejaia à l'Est (Voir annexe).

La station de Tizi-Ouzou est située à une altitude de 154,20 m, à 04°08' Est de longitude et 36°42' de latitude Nord.

II.2 Analyse climatologique

La caractérisation du climat d'une zone donnée à l'aide d'indices ou de diagrammes permet de comparer les climats d'une région à l'autre. Ils prennent généralement en compte la pluviométrie et la température. Ceux qui sont les plus couramment utilisés sont les suivants:

- Diagramme Ombrothermique
- Indice de De Martonne

II.2.1 Diagramme Ombrothermique

Un mois sec se définit, selon Bagnouls et Gaussen [82], comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) égal ou inférieur au double de la température ($P \leq 2T$). Ainsi, on constate que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs.

Le diagramme de Gaussen permet de mettre en évidence une saison sèche débutant au mois de Mai qui se termine au mois de Septembre, et une saison humide qui s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril pour la région de Bab-Ezzouar (figure 1.a).

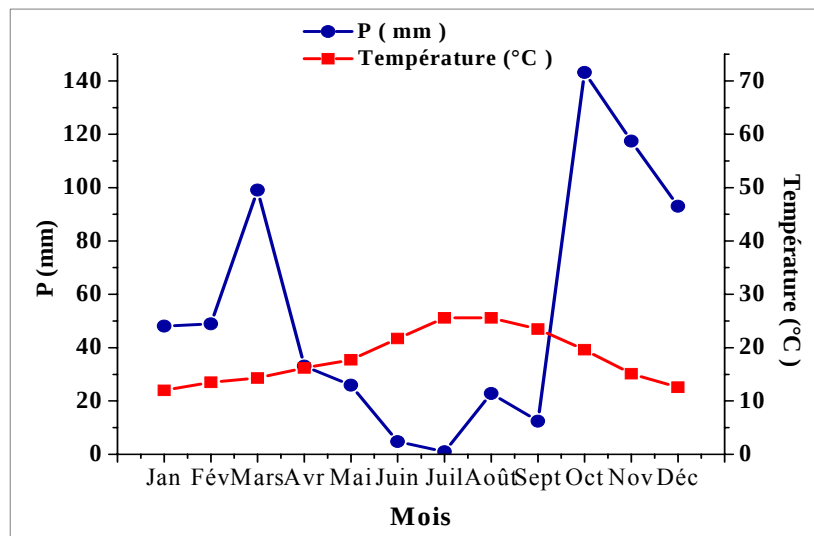


Figure 1.a: Courbe Ombrothermique de Bab-Ezzouar

Le diagramme de Gaussen permet de mettre en évidence une saison sèche débutant au mois de Juin qui se termine au mois de Septembre, et une saison humide qui s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai pour la région de Tizi-Ouzou. (Figure 1.b).

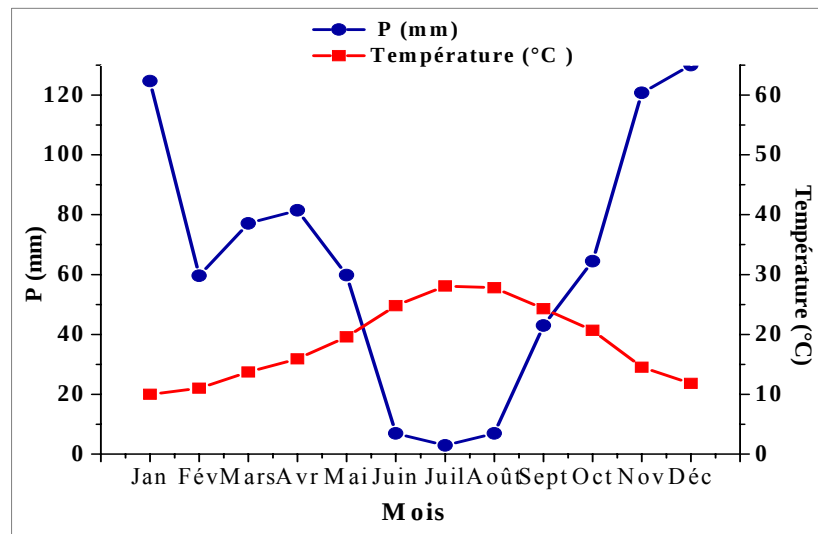


Figure 1.b: Courbe Ombrothermique de Tizi-Ouzou

II.2.2 Indice de De Martonne [82]

Cet indice est fonction des températures et des précipitations ; il est calculé par la relation suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

I : indice d'aridité.

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C.

Suivant les valeurs de (I), De Martonne a établi la classification suivante :

Tableau II.1: Caractérisation du climat par l'indice de De Martonne

Climat	Hyperaride	Aride	Semi-aride	Semi-humide	Humide
Indice d'aridité	0-5	5-10	10-20	20-30	30-55

Cet indice est de 21,81 pour la région de Bab-Ezzouar et de 25,74 pour la région de Tizi-Ouzou (tableau II.2), ce qui montre que les deux régions bénéficient d'un climat semi-humide.

Tableau II.2: Indice de De Martonne pour les régions d'étude.

Région	Précipitation (mm)	Températures (°C)	Indice de De Martonne
Bab-Ezzouar	649,4	19,8	21,81
Tizi-Ouzou	777,4	20,2	25,74

II.3 Etude des facteurs climatiques

II.3.1 Température

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique.

Les histogrammes représentant la variation mensuelle de la température sur une période de 11 ans (1995-2005) pour la région de Bab-Ezzouar et (2000-2010) pour la région de Tizi-Ouzou.

❖ Variations de la température moyenne mensuelle

La température moyenne maximale la plus élevée pour la région de Bab-Ezzouar est de 25,6 °C au mois de Juillet et de 28,1°C pour la région de Tizi-Ouzou aux mois de Juillet et Août qui représentent les mois les plus chauds.

La température moyenne minimale la plus faible est de 12°C pour la région de Bab-Ezzouar au mois de Janvier qui est le mois le plus froid de l'année et de 10°C pour la région de Tizi-Ouzou.

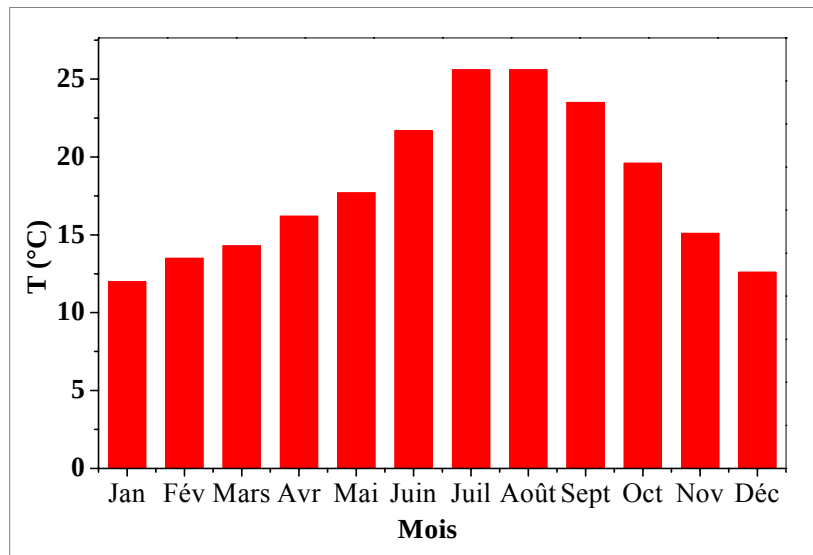


Figure 2.a : Variation de la température moyenne mensuelle de Bab-Ezzouar

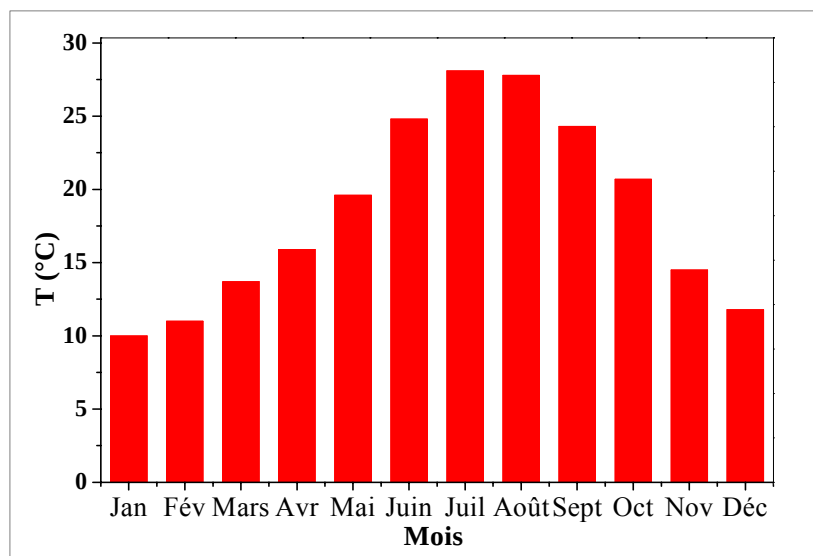


Figure 2.b : Variation de la température moyenne mensuelle de Tizi-Ouzou

II.3.2 Pluviométrie

L'étude pluviométrique présente un intérêt considérable en hydroclimatologie, car elle permet de décrire le régime d'écoulement.

Les variations des précipitations sont étudiées sur une période de 11 ans, (1995-2005) et (2000-2010) respectivement pour les régions: Bab-Ezzouar et Tizi-Ouzou.

❖ Variations moyennes mensuelles des précipitations

La courbe des variations des moyennes mensuelles des précipitations pour la région de Bab-Ezzouar montre que le mois d'octobre est le plus pluvieux, avec 143,2 mm, alors que le mois de Juillet est le plus sec, avec 1 mm (figure 3.a).

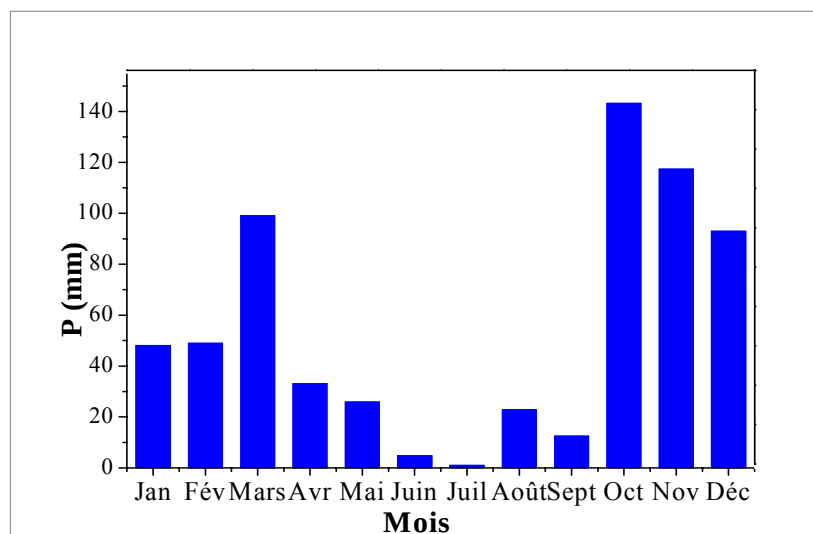


Figure 3.a : Variation des précipitations moyennes mensuelles de Bab-Ezzouar

La courbe des variations des moyennes mensuelles des précipitations montre que le mois de Décembre est le plus pluvieux, avec 130 mm, alors que le mois de Juillet est le plus sec, avec 2,9 mm pour la région de Tizi-Ouzou (figure 3.b).

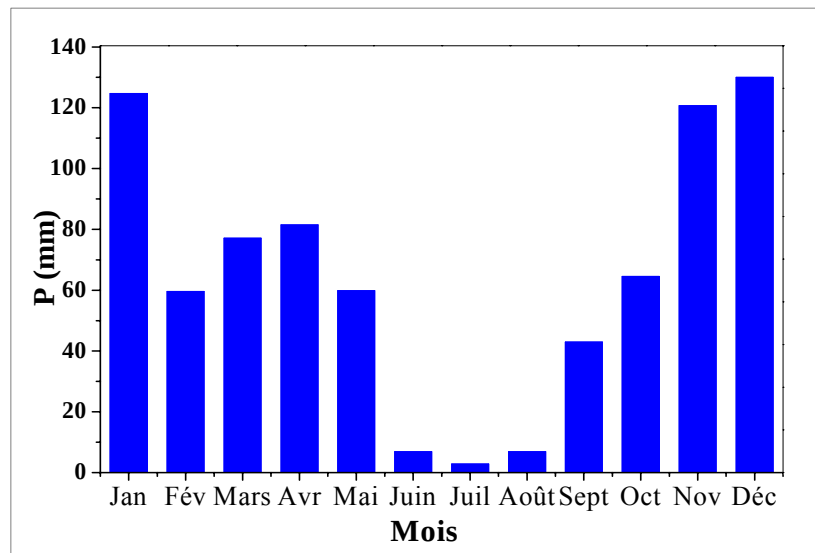


Figure 3.b : Variation des précipitations moyennes mensuelles de Tizi-Ouzou

Chapitre III
Méthodes
d'Analyse
Physico-chimique

III.1 Récupération des échantillons

La récupération des échantillons de l'eau de pluie est effectuée chaque journée d'un événement pluvieux.

Les échantillons sont récupérés dans des cuves en plastique rincées initialement à l'eau distillée, puis placés dans des jerricans de 5 L et des bouteilles en plastique de 1,5 L qui au préalable rincés à l'eau distillée puis à l'eau à analyser, les échantillons sont ensuite transportés à l'USTHB et conservés selon les conditions indiquées dans le tableau III.1.

Les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire d'Electrochimie, Corrosion, Métallurgie et Chimie Minérale de la Faculté de Chimie (USTHB) et au laboratoire des eaux de l'ANRH d'Alger.

Tableau III.1 : Conditions de conservation des échantillons [21].

Caractéristique ou élément analysé	Température de Conservation en °C	Effectuer la mesure avant
pH	4	24h (obs)
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	4	48 jours
Matières en suspension (mg/L)	4	6h (obs)
Turbidité (NTU)	4	24h (obs)
DCO (mg O_2/L)	4	24h (obs)
Ammonium (mg/L)	4	48h (obs)
Nitrates (mg/L)	4	48h (obs)
Nitrites (mg/L)	4	24h (obs)
Phosphates (mg/L)	-	15 jours
Sulfates (mg/L)	4	Un mois
Chlorures (mg/L)	-	Un mois

III.2 Méthodes d'analyse physico-chimique

Les paramètres physico-chimiques des eaux de pluie ont été analysé selon les protocoles normalisés AFNOR et ISO résumés dans le tableau III.2

Tableau III.2 : Méthodes d'analyse [21].

Paramètres	Méthodes d'analyse	Références
pH	pH-métrie	NF T90-008 :2001
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductimétrie	NF EN 27888 :1994
Turbidité (NTU)	Néphélométrie	NF EN ISO7027 :2000
MES (mg/L)	Filtration à 105°C	NF EN 872 :2005
DCO (mg O_2/L)	DCO-métrie (dichromate de potassium)	NF T90-101 :2001
NH_4^+ (mg/L)	Colorimétrie (Nessler)	NF EN 25663 :1994
NO_2^- (mg/L))	Colorimétrie (Zambelli)	ISO 6777 :1984
NO_3^- (mg/L)	Colorimétrie (Salicylate de sodium)	ISO 7890 /3 :1988
PO_4^{3-} (mg/L)	Colorimétrie (acide ascorbique)	ISO 6878/1 :1986
SO_4^{2-} (mg/L)	Colorimétrie (dichlorure de baryum)	NF T90-040 :1986
Cl^- (mg/L)	Volumétrie (Mohr)	ISO 9297 :2000
K^+ , Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} (mg/L)	Analyse à flux continu	-

III.2.1 Méthodes d'analyse physique**III.2.1.1 Potentiel hydrogène (pH)**

Le pH est mesuré par la méthode électrochimique à l'aide d'un pH mètre à l'électrode en verre de type BASIQUE 20 CRISON suivant la norme NF T90-008, 2001.

Mode opératoire

Le pH mètre est étalonné avec 3 solutions étalons. L'électrode est plongée dans l'eau à analyser. La lecture est faite après stabilisation de la valeur.

III.2.1.2 Conductivité (CE)

La conductivité est mesurée à l'aide d'un conductimètre BASIC 30 CRISON, suivant la norme NF EN 27888, 1994.

Mode opératoire

On rince plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner, on fait la mesure dans un deuxième récipient, on note la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ après stabilisation de la valeur.

III.2.1.3 Turbidité (Tu)

On remplit une cuvette de mesure avec l'échantillon à analyser, on homogénéise bien et on essuie avec de papier adapté (papier Joseph). Après la vérification de l'absence de bulles d'air, on effectue rapidement la mesure. La valeur est obtenue directement en NTU à l'aide d'un turbidimètre de terrain 2000 NTU, suivant la norme NF EN ISO 7027, 2000.

III.2.1.4 Matières en suspension(MES)

Les matières en suspension sont déterminées par filtration sur papier plissé suivant la norme NF EN 872, 2005.

Mode opératoire

- On sèche dans l'étuve à 105°C du papier filtre jusqu'à masse constante, puis on le passe à 0,1 mg après passage au dessiccateur.
- On verse un volume V d'échantillon sur le filtre, on rince avec 10ml de l'eau distillée la fiole ayant contenue l'eau à analyser.
- On laisse essorer le filtre, on sèche dans l'étuve à 105°C. On laisse refroidir au dessiccateur puis on pèse 0,1 mg près jusqu'à masse constante.

La teneur de MES en mg/L est donnée par l'expression suivante:

$$MES = \frac{M_1 - M_0}{V} \times 100$$

M_0 : masse du papier filtre avant utilisation (mg)

M_1 : masse du papier filtre après utilisation (mg)

V : volume d'eau utilisé (mL)

III.2.2 Méthodes d'analyse chimique

La DCO, l'ion chlorure et les ions: ammonium, nitrite, nitrate, sulfate et phosphate sont effectuées respectivement par : DCO-métrie, méthode volumétrique et spectrophotométrie.

Le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium sont dosés par l'analyse à flux continu.

III.2.2.1 Dosage de la demande chimique en oxygène (DCO)

Pour déterminer la demande chimique en oxygène ; l'échantillon est chauffé deux heures avec un oxydant puissant, le dichromate de potassium.

Les composés organiques oxydables réduisent l'ion chrome (Cr^{6+}) en ion chrome Cr^{3+} vert. Le réactif de la DCO contient en plus du dichromate de Potassium, des sulfates d'argent et de mercure. Sulfate d'argent est un catalyseur et sulfate de mercure qu'est utilisé pour précipiter les ions chlorures. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium (sel de Mohr).

L'appareil utilisé dans ce travail est un DCO-mètre de marque: Spectroquant TR 320 MERCK.

Réactifs utilisés

- Acide sulfurique (H_2SO_4) à environ 4 mol/L
- Solution de sulfate d'argent à 10 g/L dans l'acide sulfurique
- Dichromate de potassium à 0,04 mol/L et contenant le sulfate de mercure (II)

Sulfate de mercure (II) 8 g

Acide sulfurique ($d = 1,83$) 10 mL

Dichromate de potassium $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1,1767 g

Eau distillée (quantité suffisante pour 100 mL)

On dissout 8g de sulfate de mercure (II) dans environ 80mL d'eau distillée. On ajoute avec précaution 10 mL d'acide sulfurique.

On laisse refroidir puis on ajoute 1,1767 g de dichromate de potassium (préalablement séché à 105 °C pendant 2 heures). On transvase la solution quantitativement dans une fiole jaugée de 100 mL et on complète au volume.

- Sulfate de fer (II) et d'ammonium ou sel de Mohr à 0,12 mol/L
 - Sulfate de fer (II) et d'ammonium $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4, 6\text{H}_2\text{O}$ 4,7 g
 - Acide sulfurique ($d = 1,84$) 2 mL
 - Eau distillée (quantité suffisante pour 100 mL)
- Hydrogénophthalate de potassium ($\text{KC}_8\text{H}_5\text{O}_4$) à 2,0824 mmol/L
- Ferroïne ($\text{C}_{36}\text{H}_{24}\text{FeN}_6\text{O}_4\text{S}$).

Mode opératoire

- On introduit dans un tube à fond plat de DCO-mètre 10 mL de l'échantillon à analyser.
- On ajoute 5 mL de dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ (qui contient 0,4g de $HgSO_4$).
- On ajoute lentement et avec précaution 15 mL d'acide sulfurique-sulfate d'argent en agitant soigneusement le tube et en refroidissant sous un courant d'eau froide de façon à éviter toute perte de substances organiques volatils.
- On porte à l'ébullition dans un bloc chauffant.
- On laisse refroidir et laver la paroi interne du réfrigérant à l'eau distillée en recueillant les eaux de lavage dans le tube.
- On complète à environ 75 mL de l'eau distillée et on laisse refroidir à température ambiante.
- On titre l'excès de $K_2Cr_2O_7$ par la solution de sel de Mohr en présence d'une à deux gouttes de ferroïne (virage rouge brique). Soit V_A le volume de sel de Mohr nécessaire pour le dosage de l'échantillon.
- On procède de la même manière en remplaçant l'échantillon par 10 ml d'eau distillée. Soit V_B le volume de sel de Mohr nécessaire pour le dosage à blanc.

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimé en mgO_2 /L , est donnée par la formule suivante :

$$DCO = 8000 \frac{(V_A - V_B) T}{V}$$

T : Titre de la solution de sel de Mohr exprimée en mol/L.

V : volume de prise d'essai en mL.

V_A : Volume de sel de Mohr nécessaire pour le dosage de l'échantillon

V_B : Volume de sel de Mohr nécessaire pour le dosage à blanc

III.2.2.2 Spectrométrie UV-Visible

La spectrométrie UV-Visible recouvre la gamme allant de 185 à 800 nm. Lorsqu'un faisceau lumineux de longueur d'onde donnée traverse une solution colorée, une fraction de la lumière incidente est absorbée en fonction de la concentration du composé coloré.

A une longueur d'onde λ donnée, la loi de BEER-LAMBERT établit une proportionnalité entre la concentration « C » d'une entité chimique en solution, sa nature chimique (caractérisée par son coefficient d'extinction molaire ϵ), son absorbance A et la longueur du trajet parcouru par la lumière dans la solution (l'épaisseur l de la solution traversée par le faisceau incident) [21].

$$A = \log \frac{I}{I_0} = \epsilon l C$$

A : Absorbance (ou densité optique) à une longueur d'onde λ .

I : intensité du faisceau lumineux incident.

I_0 : intensité du faisceau lumineux émergent.

ϵ : coefficient d'extinction moléculaire.

Au cours de notre étude, les paramètres chimiques déterminés au Spectrophotomètre de marque JASCO V-630 sont : l'ammonium, les nitrites, les nitrates, les sulfates et les phosphates.

a-Dosage de l'ion ammonium (NH_4^+)

Le réactif de Nessler réagit avec les ions NH_4^+ en présence de NaOH, il se forme un composé brun orangé.

Réactifs utilisés

- Solution de tartrate double de sodium et de potassium ($C_4H_4KNaO_6, 4H_2O$).

Tartrate double de sodium et de potassium (50 g)

Eau distillée chaude

Laisser refroidir et ajuster le volume à 100 mL

- Solution saturée de bichlorure de mercure

- Solution d'hydroxyde de sodium 9N

Hydroxyde de sodium (36 g)

Eau distillée (quantité suffisante pour 100 mL)

- Réactif de Nessler

Iodure de potassium (50 g)

Hydroxyde de sodium 9N (400 mL)

On fait dissoudre l'iodure de potassium dans 35 mL d'eau ; on ajoute la solution de $HgCl_2$ saturée jusqu'à formation d'un léger précipité rouge persistant, on introduit la solution de NaOH ensuite on ajuste le volume à 1 litre puis on laisse reposer et décanner.

Mode opératoire

On introduit dans une fiole 50 mL l'eau à analyser puis 2ml de la solution de tartrate double de Na et K, ensuite on ajoute 2 mL de réactif de Nessler. On agite pour qu'il soit bien mélangé et on laisse reposer pendant 10 mn.

On Fait passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde $\lambda = 420nm$.

b-Dosage des nitrites (NO_2^-)

L'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique, en présence d'ion ammonium et du phénol, forme avec les ions NO_2^- un complexe coloré jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites.

Réactifs utilisés

- Ammonium pure ($d = 0,925$)
- Réactif de Zambelli
 - Acide chlorhydrique (HCl) (260 mL)
 - Acide sulfanilique $C_6H_4K_2O_{12}Sb_2$ (5 g)
 - Phénol cristallisé (7,5 g)
 - Chlorure d'ammonium NH_4Cl (135 g)
 - Eau distillée (quantité suffisante pour 1000 mL)

On dissout l'acide chlorhydrique dans l'eau distillée, puis de l'acide sulfanilique et le phénol en chauffant légèrement au bain-marie. après la dissolution complète on ajoute le chlorure d'ammonium et on agite jusqu'à dissolution. On ajuste le volume après refroidissement.

Mode opératoire

On prélève 50 mL d'eau à analyse et on ajoute 2 mL de réactif de Zambelli, on agite et on laisse au repos 10 minutes. On ajoute ensuite 2 mL d'ammoniaque pure ; on effectue la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 435 nm et on tient compte de la valeur lue pour le témoin.

Pour une prise d'essai de 50 mL, la courbe donne directement la teneur en NO_2^- exprimée en milligrammes par litre d'eau.

c-Dosage des Nitrates (NO_3^-)

En présence de salicylate de sodium ($C_7H_5NaO_3$) et après traitement en milieu alcalin, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium coloré en jaune susceptible d'un dosage colorimétrique.

Réactifs utilisés

- Solution de salicylate de Na à 0,5% (à renouveler toutes les 24 heures)
- H₂SO₄ concentré (d= 1,84)
- Solution d'hydroxyde de sodium et de potassium

Hydroxyde de sodium (400 g)

Tartrate double de sodium et de potassium (60 g)

Eau distillée

On laisse refroidir et on complète à 1000 mL, puis on conserve dans un flacon en polyéthylène.

Mode opératoire

- On introduit 10 mL de l'eau à analyser dans une capsule.
- On alcalinise faiblement avec la solution de NaOH (2 à 3 gouttes).
- On ajoute 1 mL de la solution de salicylate de Na.
- On évapore à sec au bain-marie ou à l'étuve (75- 80°C).
- On laisse refroidir à la température ambiante.
- On replit le résidu par 2 mL de H₂ SO₄.
- On laisse reposer 10 mn.
- On joute 15 mL d'eau distillée puis 15 mL d'hydroxyde de Na et tartrate double de Na et de K qui développe la couleur jaune.
- On prépare de la même façon un témoin avec de 10 mL d'eau distillée.
- On effectue la lecture au spectrophotomètre à $\lambda = 420$ nm.

Pour une prise d'essai de 10 mL, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligramme par litre d'eau qu'on peut convertir en teneur en NO₃⁻ en multipliant par 4,43.

d-Dosage des orthophosphates (PO_4^{3-})

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage colorimétrique. Le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium.

Réactifs utilisés

- Solution de H_2SO_4 à 20%
- Solution de molybdate d'ammonium à 40 g/L
- Solution acide ascorbique (à préparer chaque jour)
 - Acide ascorbique (5 g)
 - Eau distillée (quantité suffisante pour 100 mL)
- Solution d'émétique
 - Tartrate double d'antimoine et de potassium (0,274 g)
 - Eau distillée (quantité suffisante pour 100 mL)
- **Réactif PO_4^{3-}**
 - Solution d'acide sulfurique (50 mL)
 - Solution d'émétique (5 mL)
 - Solution de molybdate d'ammonium (15 mL)
 - Eau distillée (quantité suffisante pour 100 mL)

Mode opératoire

On introduit 20 mL d'eau à analyser dans une fiole de 25 mL, on ajoute 1mL de l'acide ascorbique, on agite, puis on ajoute 4 mL de réactif, on mélange soigneusement. On attend 30 minutes et effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde $\lambda = 800 \text{ nm}$.

Pour une prise d'essai de 20 mL, la courbe donne directement le teneur en phosphore ; la teneur en PO_4^{3-} est égale à la valeur lue sur la courbe d'étalonnage multipliée par 3,06.

e-Dosage des sulfates (SO_4^{2-})

Réactifs utilisés

- Solution d'acide chlorhydrique (HCl) 1/10
- Solution de polyvinyl-pyrrolidone 25%
- Solution de chlorure de baryum stabilisée
 - Chlorure de baryum BaCl_2 (10 g)
 - Solution de polyvinyl-pyrrolidone (5 mL)
 - Eau distillée (quantité suffisante pour 100 mL)

Mode opératoire

- On introduit 39 mL d'eau à analyser dans une fiole de 100 mL.
- On ajoute 1ml du HCl et 5 mL de la solution de chlorure de baryum stabilisée.
- On prépare dans les mêmes conditions un témoin en remplaçant l'eau à analyser par l'eau distillée.
- On agite 2 ou 3 fois énergiquement.
- On laisse reposer 15 mn.
- On agite de nouveau et on fait la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde $\lambda = 650\text{nm}$.

Pour une prise d'essai de 39 mL, la courbe donne directement la teneur en sulfate exprimée en milligramme de SO_4^{2-} par litre d'eau.

III.2.2.3 Dosage volumétrique des chlorures

Les chlorures sont dosés par le nitrate d'argent en présence de bichromate de potassium.

Réactifs utilisés

- Acide nitrique pur
- Carbonate de calcium pur
- Solution de bichromate de potassium 10%
- Solution de nitrates d'argent (0,1 N)

Mode opératoire

- On introduit 10ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer.
- On ajoute 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur.
- On ajoute une pincée de carbonate de calcium puis 3 gouttes de la solution de bichromate de calcium.
- On verse la solution de nitrate d'argent (0,1N) au moyen d'une burette jusqu'à l'apparition d'une couleur rougeâtre persistante ; soit V le volume versé en ml.

Pour une prise d'essai de 10 mL : $V \times 100 \times 3,55$ donne la teneur en chlorure, exprimée en milligramme de Cl^- par litre d'eau

III.2.2.4 Analyse à Flux Continu (CFA)

L'Analyse à Flux Continu permet d'automatiser intégralement les techniques analytiques complexes comme : préparation et traitement d'échantillons, dilution et ajout de réactifs.

La technique CFA fonctionne de la manière suivante :

L'échantillon est placé dans un godet sur le passeur d'échantillon. Le préleveur aspire l'échantillon, l'eau ou une solution de rinçage de manière alternative.

Ensuite, une bulle d'air est insérée entre l'échantillon et la solution de rinçage ce qui évite le mélange des échantillons. Au cours de son trajet jusqu'à la cellule de mesure, les réactifs vont être introduit au fur et à mesure. La réaction se déroule sous des conditions constantes dans le circuit analytique et provoque une coloration qui peut être mesurée par spectrophotométrie. En effet, dans la cuve à circulation du

spectrophotomètre, on réalise une mesure continue de la densité optique à une longueur d'onde spécifique pour le paramètre mesuré. Un débullage avant la cuve de mesure est nécessaire et peut être réalisé de manière mécanique ou électronique afin de réduire la contamination inter échantillons.

L'Analyse à Flux Continu est une méthode comparative où les échantillons inconnus et les étalons sont analysés dans le même lot pour être mesurés dans les mêmes conditions.

La concentration de chaque échantillon est ensuite calculée par le logiciel à partir de la courbe d'étalonnage. Les courbes de mesures sont affichées en temps réel sur l'écran de l'ordinateur. Sur ces courbes, chaque échantillon est représenté par un pic et l'aire du pic est directement proportionnelle à la concentration du paramètre [83].

Marque : SKALAR « San plus »

Le protocole analytique pour chaque cation est effectué conformément aux instructions fournies avec l'appareil.

Les courbes d'étalonnage donnent directement la teneur en cations exprimée en milligrammes par litre d'eau.

a-Dosage de calcium (Ca^{2+})

L'échantillon est d'abord mélangé à l'hydroxyquinoline afin de masquer le magnésium. Après dialyse, le calcium est complexé avec le crésolphtaleine en milieu basique et passe dans un colorimètre à une longueur d'onde de 580 nm.

Réactifs utilisés

- solution 8-d'hydroxyquinoline ($\text{C}_9\text{H}_7\text{NO}$)

$\text{C}_9\text{H}_7\text{NO}$ (2,5g)

HCl 32 %(25 mL)

Brij 35 (30%) (3 mL)

Eau distillée (quantité suffisante pour 1000 mL)

- solution complexe crésolphtaléine (CPC)
 - 8-Hydroxyquinoline (C_9H_7NO) (2,5 g)
 - Crésolphtaléine (70 mg)
 - HCl (32%) (16,5 mL)
 - Brij35 (30%) (3 mL)
 - Eau distillée (quantité suffisante pour 1000 mL)
- Solution tampon
 - Diethylamine ($C_4H_{11}N$) (40 mL)
 - Cyanure de potassium (KCN) (0,5 g)
 - Eau distillée (quantité suffisante pour 1000 mL)

b-Dosage de Magnésium

L'échantillon est dilué dans une solution de NaCl et subit ensuite une dialyse en présence d'une solution tampon de Borax en même temps qu'une élévation de pH (10). L'ajout de bleu de xylydil forme avec le magnésium un complexe coloré rouge qui est mesuré à une longueur d'onde de 505 nm.

Réactifs utilisés

- Solution salée
 - Chlorure de sodium (NaCl) (50 g)
 - Eau distillée (quantité suffisante pour 1000 mL)
 - Brij35 (30%) (3 mL)
- Solution tampon pH 10
 - Tétraborate de disodium ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) (10 g)
 - NaOH (10%) (50 mL)
 - Brij35 (30%) (3 mL)
 - Eau distillée (quantité suffisante pour 1000 mL)
- Réactif de coloration
 - N,N-Diméthyl-formamide (C_3H_7NO) (300 mL)
 - Xylydil bleu ($C_{25}H_{20}N_3NaO_6S$) (300 mg)

Ethylene glycol tetraacetic acid EGTA ($C_{14}H_{24}N_2O_{10}$) (400 mg)

Eau distillée (quantité suffisante pour 1000 mL)

c-Dosage du Sodium/Potassium

L'échantillon est aspiré et la mesure est effectuée à une longueur d'onde de 580 nm pour le sodium et de 776 nm pour le potassium.

Réactifs utilisés

- Solution mère du lithium à 10 g/L en Li^+

Sulfate de lithium (Li_2SO_4) (92,17 g)

Eau distillée (quantité suffisante pour 1000 mL)

- Solution de lithium à 0,110 g/L en Li^+

Solution mère de lithium à 10 g/L en Li^+ (11 mL)

Brij 35 (30%) (1 mL)

Eau distillée (quantité suffisante pour 1000 mL)

Chapitre IV
Evaluation
des Paramètres
de Pollution

Dans cette partie, nous avons évalué quantitativement les caractéristiques physico-chimiques des eaux de pluie récupérées à des différentes dates de chacune des deux régions: Bab-Ezzouar et Tizi-Ouzou afin d'apprécier leur qualité.

IV.1 Résultats et discussion

L'analyse a porté sur l'évaluation des paramètres physico-chimique des eaux de pluie en terme de la concentration en MES, DCO, pH, conductivité et turbidité, les ions SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_3^- [84] ainsi que NO_2^- , PO_4^{3-} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+} .

Les résultats obtenus lors des campagnes d'analyse sont reportés dans le tableau IV.1 et illustrés par les figures de 4 à 16.

Les figures de 4 à 16:

a : représentent les caractéristiques physico-chimiques des eaux de pluie de la région de Bab-Ezzouar.

b : représentent les caractéristiques physico-chimiques des eaux de pluie de la région de Tizi-Ouzou

Il n'existe pas de norme de qualité des eaux de pluie mais il est d'usage de se référer aux normes utilisées pour l'eau potable [60].

Tableau IV.1:Composition moyenne des paramètres de pollution des eaux de pluie

Paramètres	Composition moyenne		Normes de potabilité [85]
	Bab-Ezzouar	Tizi-Ouzou	
pH	6,80	6,72	6,5-9
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	138,5 à 20°C	105,8 à 20 °C	1000 à 20°C
Turbidité (NTU)	53,1	5,6	0,5
MES (mg/L)	29,33	16,36	25
DCO (mg O ₂ /L)	-	11,2	30
NH ₄ ⁺ (mg /L)	0,199	0,153	0,1
NO ₃ ⁻ (mg/L)	6,631	1,803	50
NO ₂ ⁻ (mg/L)	1,237	0,240	0,05
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,117	0,045	0,4
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	14,099	7,154	250
Cl ⁻ (mg/L)	2,233	8,241	250
Na ⁺ (mg/L)	2,48	7,375	150
K ⁺ (mg/L)	-	0,75	12
Mg ²⁺ (mg/L)	traces	traces	50
Ca ²⁺ (mg/L)	12,22	10,08	200

IV.1.1 Potentiel hydrogène (pH)

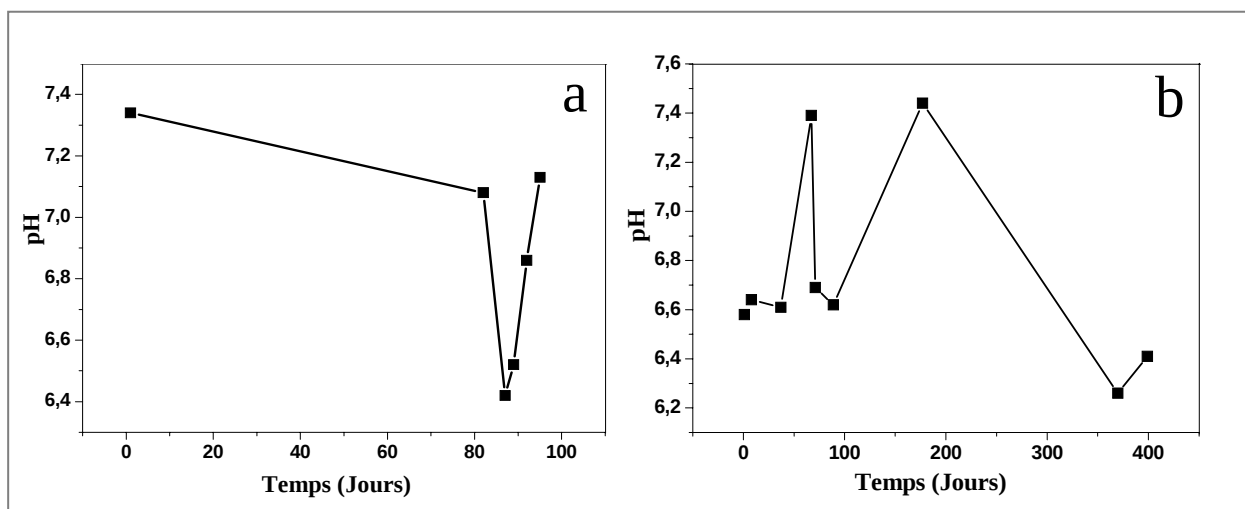


Figure 4 : Evaluation du pH en fonction du temps

Le pH varie entre 6,42 et 7,34 avec une moyenne de 6,8 pour les eaux de pluie de Bab-Ezzouar et varie entre 6,26 et 7,44 avec une moyenne de 6,72 pour les eaux de pluie de Tizi-Ouzou. Ces valeurs ne dépassent pas la norme de potabilité (6,5-9).

IV.1.2 Conductivité (CE)

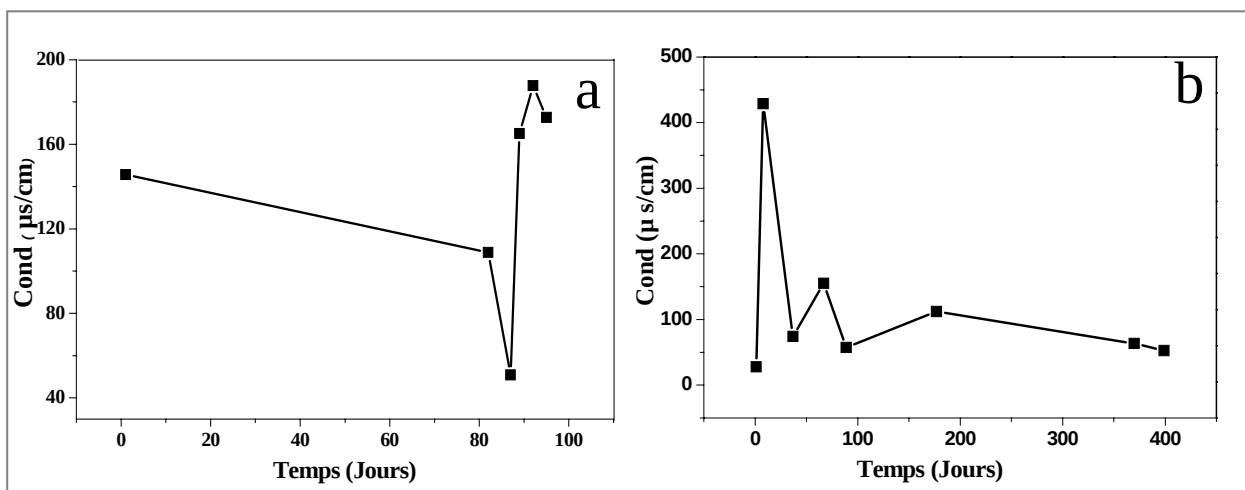


Figure 5: Evaluation de la conductivité en fonction du temps

La mesure de la conductivité permet d'évaluer approximativement la minéralisation globale de l'eau. La valeur moyenne est de 138,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les eaux de pluie de Bab-Ezzouar et de 105,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les eaux de pluie de Tizi-Ouzou. Ces valeurs ne dépassent pas la norme de potabilité. Elles indiquent la faible minéralisation de l'eau de pluie dans les deux régions.

IV.1.3 Turbidité (Tu)

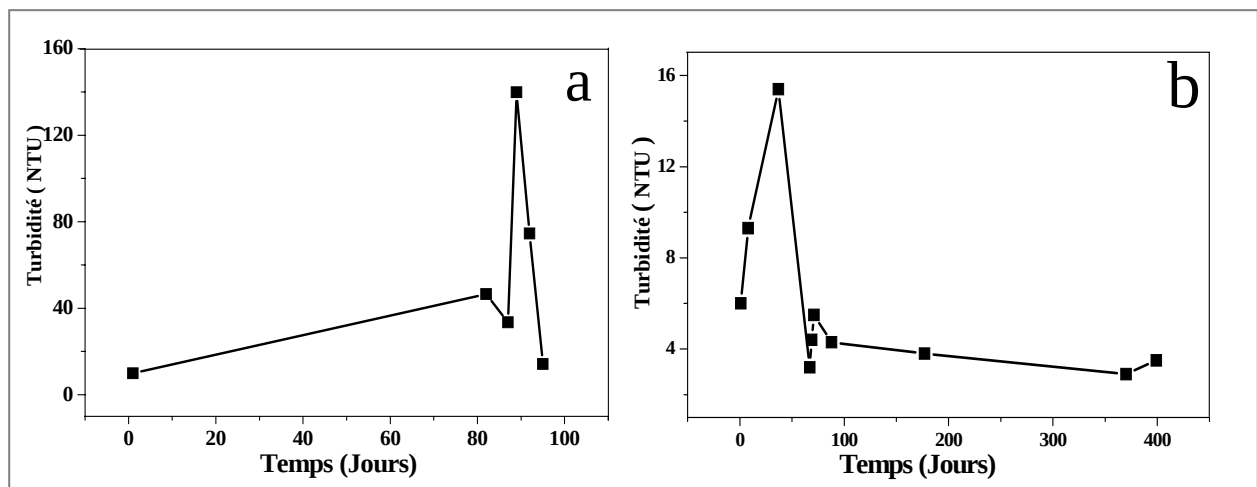


Figure 6: Evaluation de la turbidité en fonction du temps

La turbidité varie de 9,9 à 139,8 NTU avec une moyenne de 53,1 NTU pour l'eau de pluie de Bab-Ezzouar et de 2,9 à 15,4 NTU avec une moyenne de 5,6 NTU pour l'eau de pluie de Tizi-Ouzou. Ces valeurs qui dépassent la norme de potabilité (0,5 NTU) nous permettent de conclure que l'eau de pluie est trouble dans la région de Bab-Ezzouar et légèrement trouble dans la région de Tizi-Ouzou.

La turbidité est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argiles, grains de silice et des matières organiques transportées par les eaux de pluie.

Le tableau IV.2 montre une relation entre le degré de minéralisation et la conductivité selon la réglementation européenne.

Tableau IV.2: classes de turbidité usuelle [21] (NTU, Nephelometric Turbidity Unit).

Turbidité	Nature
NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

IV.1.4 Matières en suspension (MES)

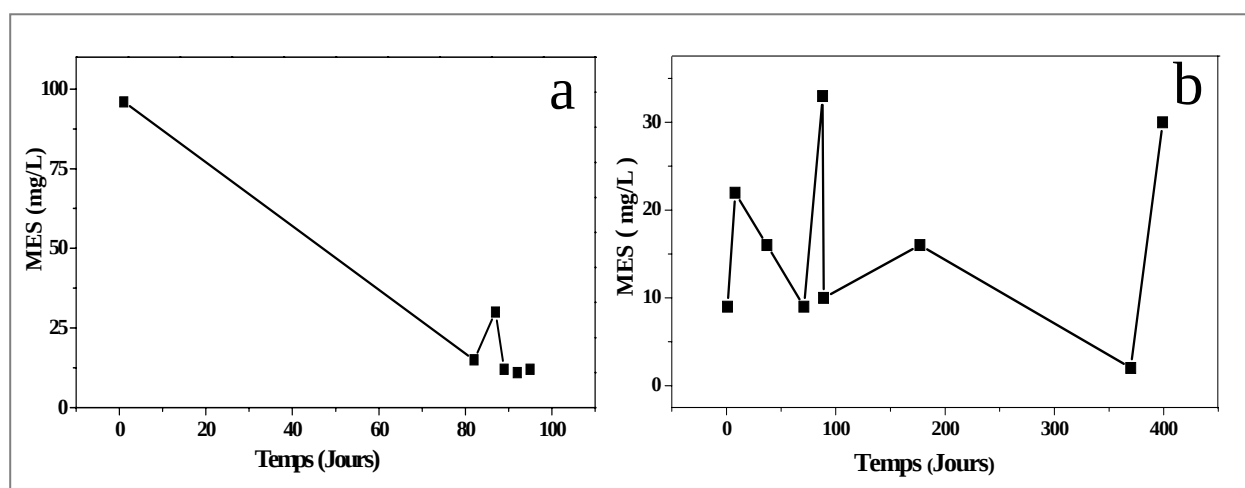


Figure 7 : Evaluation des MES en fonction du temps

La valeur moyenne de MES est de 29,33 mg/L qui dépasse la norme pour les eaux de pluie de Bab-Ezzouar et de 16,36 mg/L pour la région de Tizi-Ouzou, cette dernière ne dépasse pas la norme de potabilité qui est de 25 mg/L.

La poussière mobilisée par la pluie lors de sa chute est le polluant représentatif des matières en suspension.

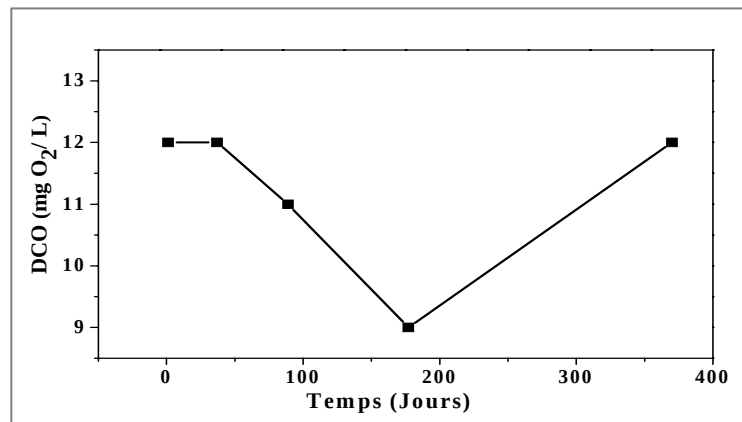
IV.1.5 Demande chimique en oxygène (DCO)

Figure 8 : Evaluation de la DCO en fonction du temps

Les valeurs de DCO des eaux de pluie de Tizi-Ouzou sont comprises entre 9 et 12 mg O₂/L avec une moyenne de 11,2 mg O₂/L et ne dépasse pas la norme potabilité qui est de 30 mg O₂/L.

Dans les zones soumises à de forts trafics routiers ou proches des industries, l'eau de pluie se charge en composés organiques, volatils et d'hydrocarbures. La décomposition de la matière organique va générer une demande en oxygène, ce qui explique les valeurs de DCO enregistrées.

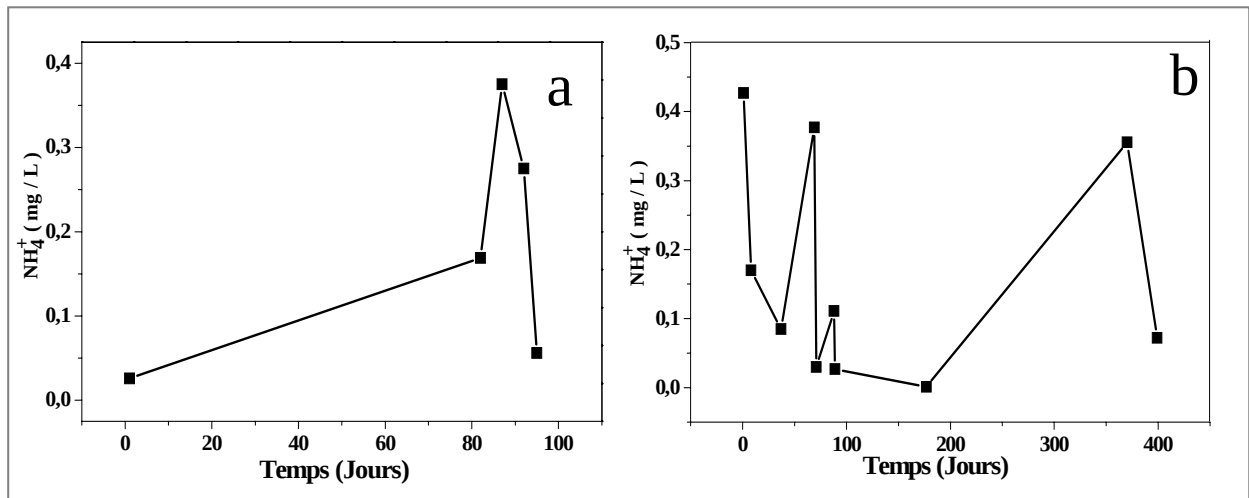
IV.1.6 Ion ammoniacal (NH_4^+)

Figure 9 : Evaluation de l'ion ammoniacal en fonction du temps

Les valeurs de l'ion ammonium enregistrées pour les eaux de pluie des deux régions Bab-Ezzouar et Tizi-Ouzou varient successivement de 0,026 à 0,375 mg/L avec une moyenne de 0,199 mg/L et de 0,001 à 0,427 mg/L avec une moyenne de 0,153 mg/L. Ces deux valeurs dépassent la norme de potabilité (0,1mg/L).

Au cours de sa chute, l'eau de pluie traverse l'atmosphère (des zones cultivées) et se charge de manière plus riche des pesticides (pesticides gazeux) [36] et en matières organiques azotées. L'ion NH_4^+ se produit alors par ammonification de cette dernière.

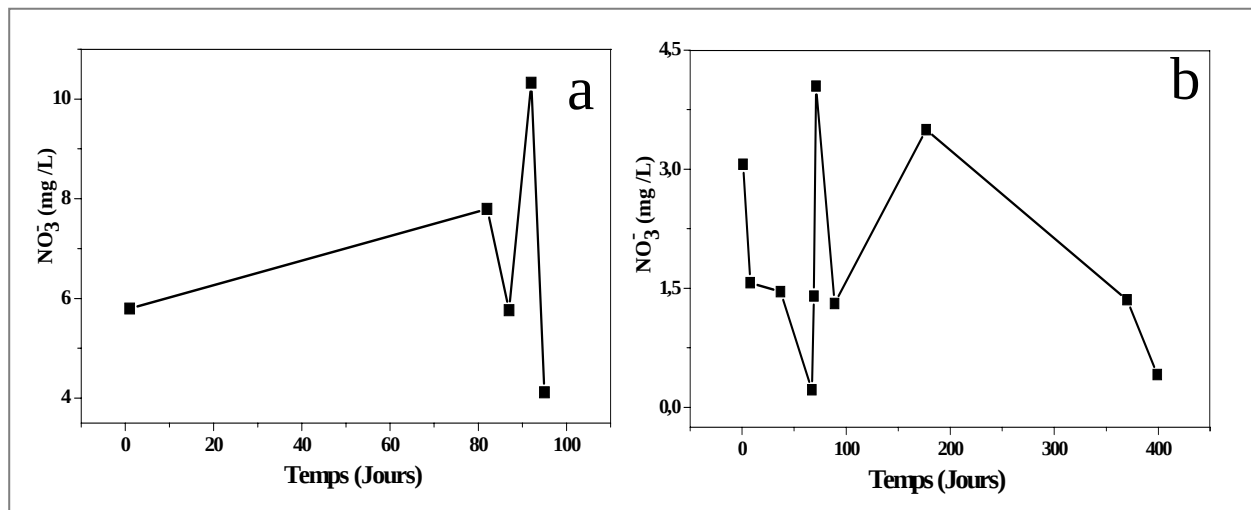
IV.1.7 Nitrates (NO_3^-)

Figure 10: Evaluation des nitrates en fonction du temps

Les nitrates varient de 4,116 à 10,328 mg/L avec une moyenne de 6,631mg/L. pour les eaux de pluie de Bab-Ezzouar, cette valeur ne dépasse pas la norme de potabilité qui est de 50 mg/L. Pour les eaux de pluie de Tizi-Ouzou la valeur ne dépasse pas aussi la norme de potabilité, elles varient de 0,223 à 4,049 mg/L avec une moyenne de 1,803 mg/L.

Les réactions chimiques sous l'effet du rayonnement solaire, entre les oxydes d'azote émis lors des combustions (chaudières, moteurs...), les composés organiques volatils et le monoxyde de carbone sont responsables de la formation des nitrates [86]

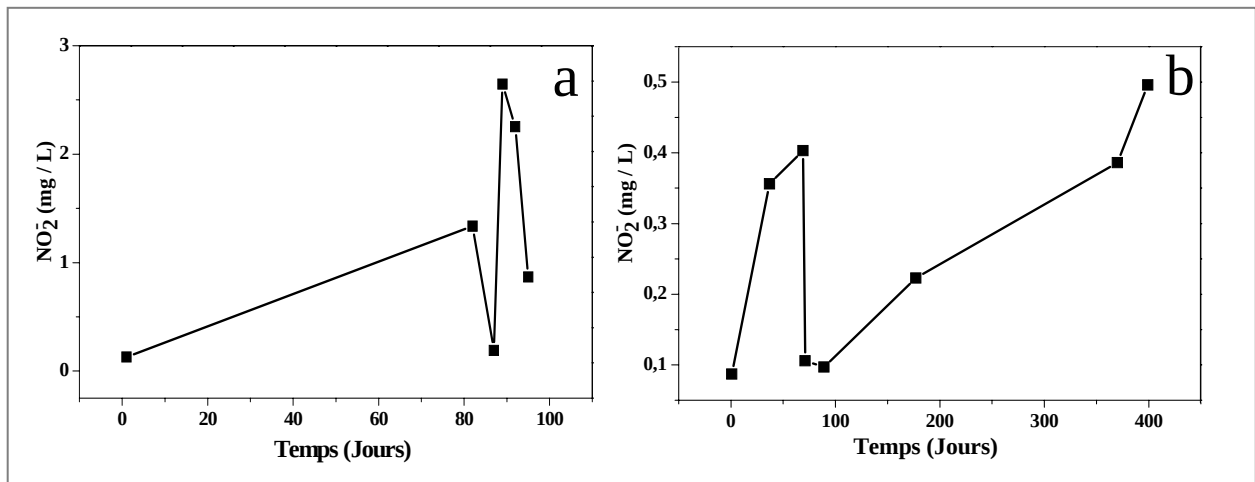
IV.1.8 Nitrites (NO_2^-)

Figure 11 : Evaluation des nitrites en fonction du temps

Les valeurs des nitrites enregistrées pour les eaux de pluie des deux régions Bab-Ezzouar et Tizi-Ouzou varient respectivement de 0,129 à 2,645 mg/L avec une moyenne de 1,237mg/L et de 0,087 à 0,496 mg/L avec une moyenne de 0,240 mg/L. Ces deux valeurs dépassent la norme de potabilité (0,05mg/L).

L'eau de pluie peut être contaminée lors de son passage dans l'atmosphère par les MES contenant des bactéries qui sont responsables de la nitrification des ions ammonium pour produire des ions nitrites.

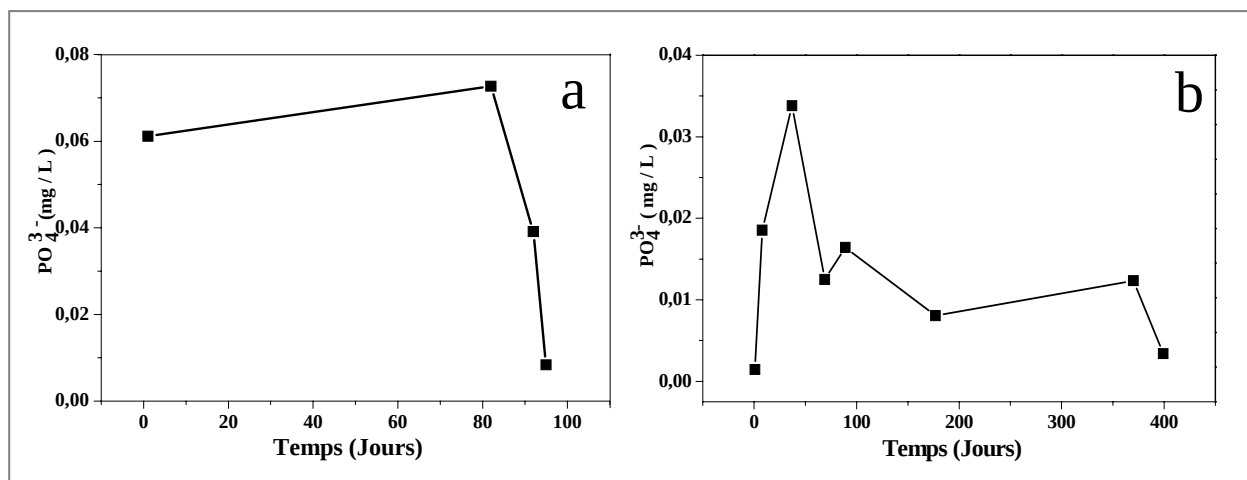
IV.1.9 Orthophosphates (PO_4^{3-})

Figure 12 : Evaluation des orthophosphates en fonction du temps

Les valeurs des orthophosphates varient de 0,026 à 0,222 mg/L avec une moyenne de 0,117 mg/L pour les eaux de pluie de Bab-Ezzouar, elles varient de 0,005 à 0,103 mg/L avec une moyenne de 0,045 mg/L pour les eaux de pluie de Tizi-Ouzou. Ces valeurs ne dépassent pas la norme de potabilité (0,4 mg/L).

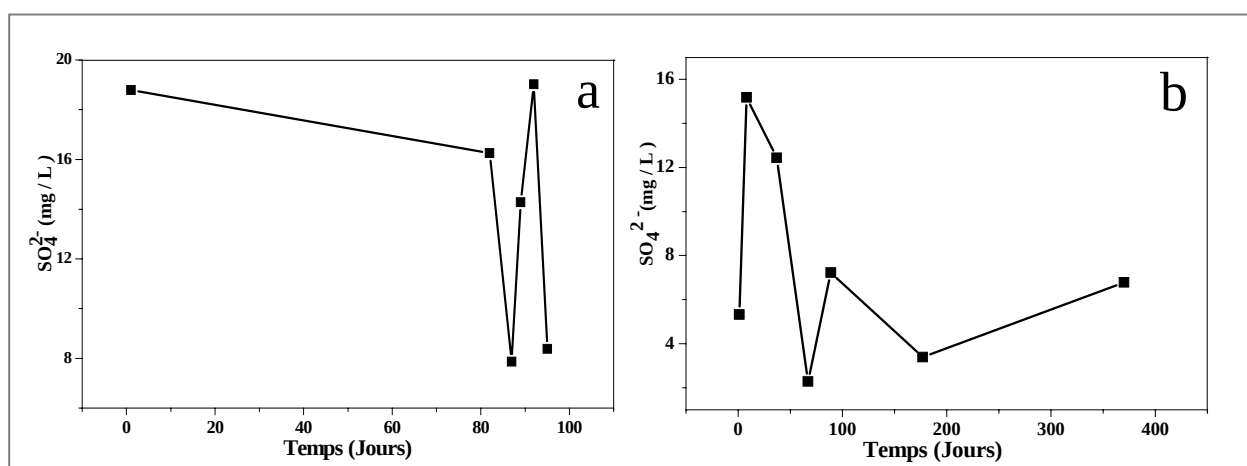
IV.1.10 Sulfates (SO_4^{2-})

Figure 13 : Evaluation des sulfates en fonction du temps

Les concentrations des ions sulfates varient de 7,864 à 19,025 mg/L avec une moyenne de 14,099 mg/L pour les eaux de pluie de Bab-Ezzouar, elles varient de 2,290 à 15,178 mg/L avec une moyenne de 7,154 mg/L pour les eaux de pluie de Tizi-Ouzou. Ces valeurs ne dépassent pas la norme de potabilité (250 mg/L). Elles sont d'origine atmosphérique notamment à travers les embruns marins provenant de la mer méditerranée.

IV.1.11 Chlorures (Cl⁻)

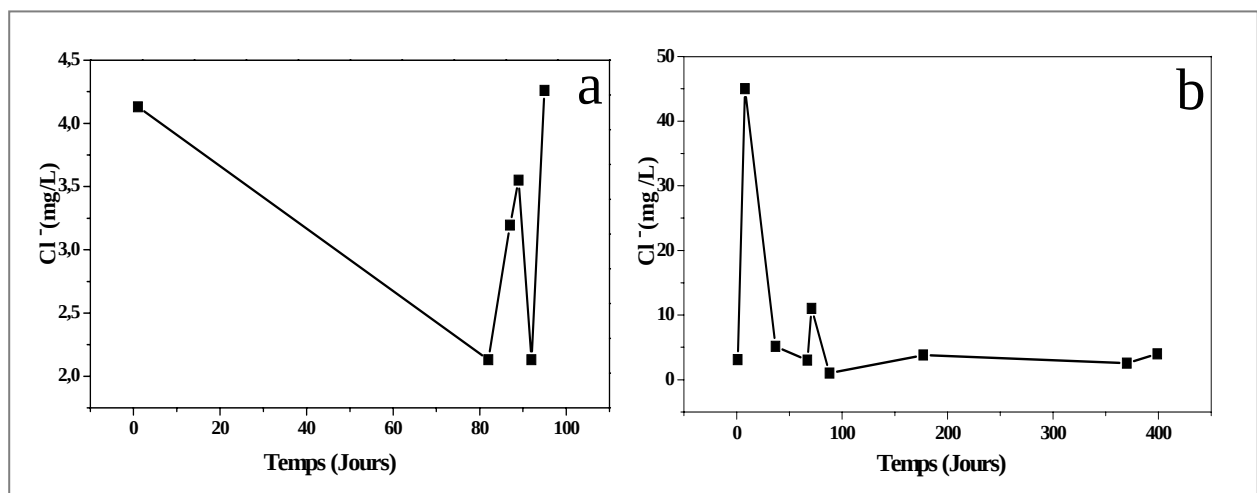


Figure 14 : Evaluation des chlorures en fonction du temps

Les chlorures varient de 2,13 à 4,26 mg/L avec une moyenne de 3,233 mg/L pour les eaux de pluie de Bab-Ezzouar, elles varient de 1 à 45 mg/L avec une moyenne de 8,241 mg/L pour les eaux de pluie de Tizi-Ouzou. Ces valeurs ne dépassent pas la norme de potabilité (250 mg/L). Elles sont apportées par les embruns maritimes [30].

IV.1.12 Alcalins et Alcalino-terreux

La mer est la source principale de la plupart de sels dissous dans les eaux de pluie, telle que des ions sodium, magnésium, calcium et potassium.

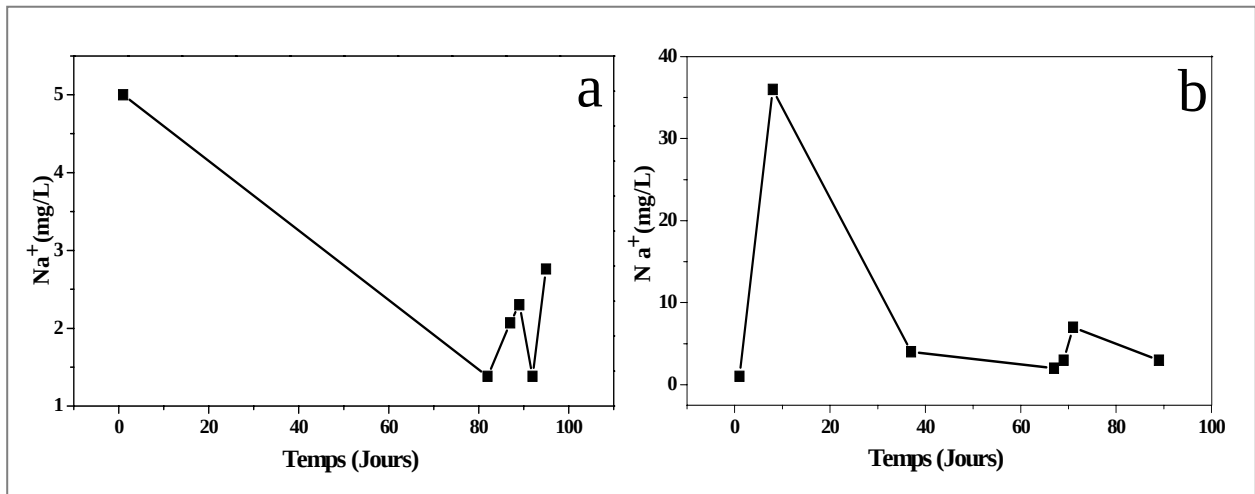
IV.1.12.1 Alcalins (Na^+)

Figure 15 : Evaluation de sodium en fonction du temps

Les valeurs de Na^+ des eaux de pluie de Tizi-Ouzou sont comprises entre 1 et 36 mg /L avec une moyenne de 7,375 mg /L et varient entre 1,38 et 5 mg/L avec une moyenne de 2,48 mg/L pour les eaux de pluie de Bab-Ezzouar. Ces valeurs ne dépassent pas la norme de potabilité qu'est de 150 mg/L.

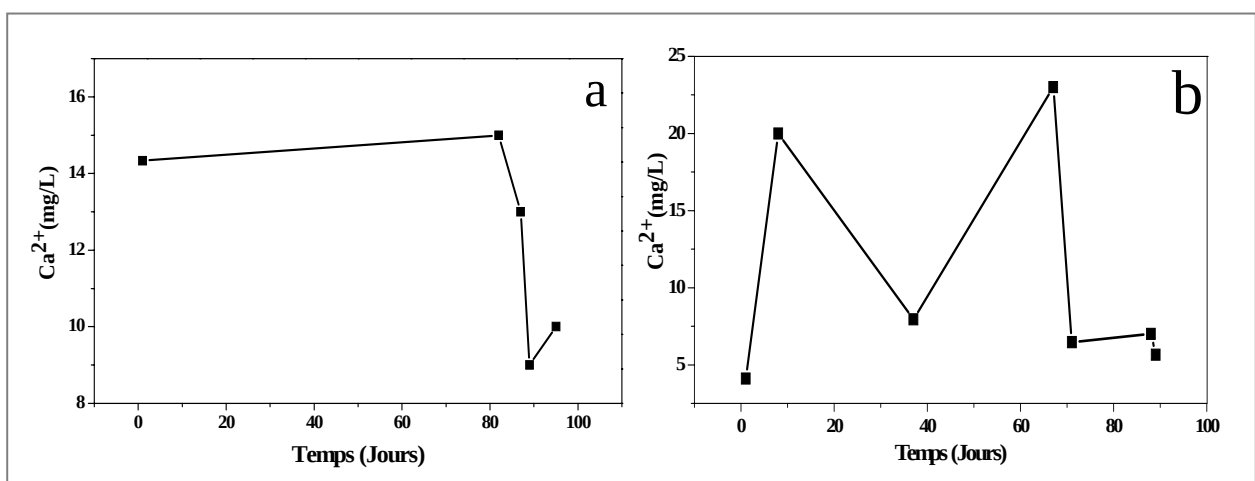
IV.1.12.2 Alcalino- terreux (Ca^{2+})

Figure 16 : Evaluation de calcium en fonction du temps

Les valeurs de Ca^{2+} des eaux de pluie de Tizi-Ouzou sont comprises entre 4,12 et 23 mg /L avec une moyenne de 10,08 mg /L, et varient entre 9 et 14,33 mg/L avec une moyenne de 12,22 mg/L pour les eaux de pluie de Bab-Ezzouar. Ces valeurs ne dépassent pas la norme de potabilité (200 mg/L).

Les valeurs de Mg^{2+} sont nulles pour les eaux de pluie des deux régions.

IV.2 Conclusion

Ce chapitre a présenté la composition physico-chimique moyenne des eaux de pluie de deux régions, Bab-Ezzouar et Tizi-Ouzou.

L'eau de pluie a été considérée comme une eau pure. Or les valeurs obtenues pour certains paramètres de pollution dépassent les normes de potabilité.

Les eaux de pluie amènent par conséquent une pollution par rejet direct dans les déversoirs d'orage ou par lessivage des stations d'épuration qui entraîne alors les boues activées vers le milieu naturel récepteur.

Au cours de la partie suivante, nous abordons le traitement proposé pour ces eaux.

Chapitre V
Traitement par
Filtres Plantés

Dans ce chapitre, nous avons suivi l'évolution des paramètres de pollution pour le traitement aérobie par filtres plantés.

V.1 Matériel et méthodes

V.1.1 Pilote expérimental

Le traitement est effectué sur un pilote expérimental constitué de deux bacs remplis de couches successives de gravier et de sable. Les deux bacs sont plantés de jeunes tiges de roseaux. L'alimentation du système se fait exclusivement par les eaux de pluie par un système de tuyauterie d'irrigation goutte à goutte qu'est posé sur la couche de sable. Les eaux sont filtrées à travers le substrat grossier composé de sable et de gravier qui, de même que les racines des plantes servent de support aux micro-organismes.

Les principaux mécanismes d'épuration s'appuient sur la combinaison de plusieurs processus en condition aérobie, qui se déroulent successivement sur deux étages de traitement.

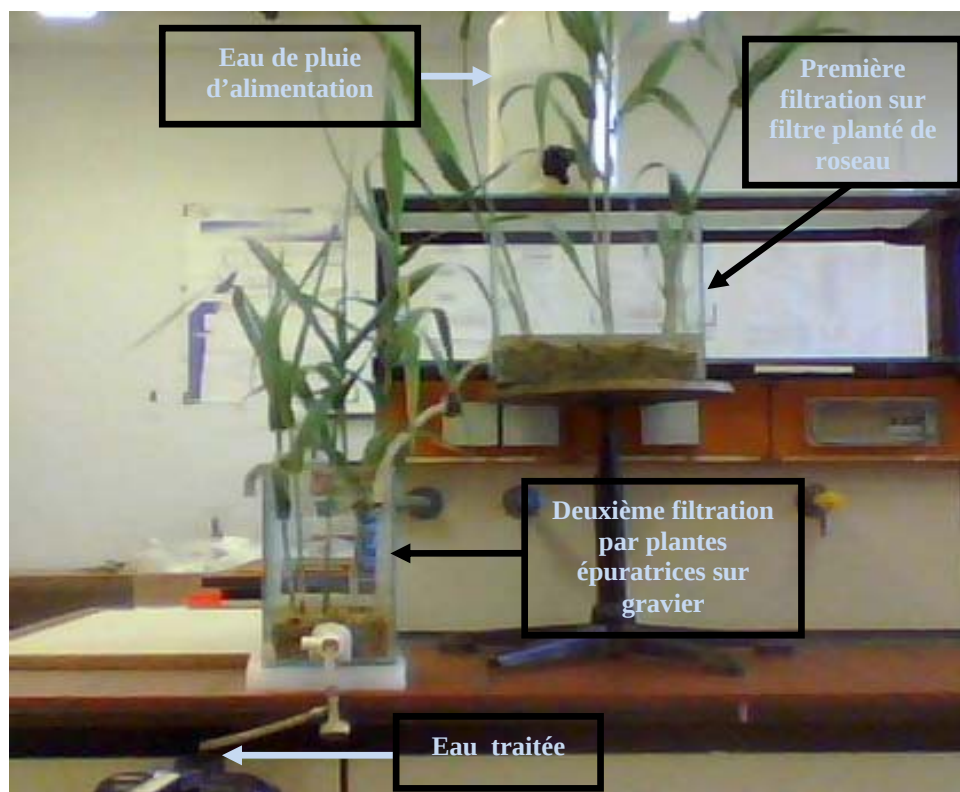


Figure 17: Dispositif expérimental

V.1.2 Plantation

Le roseau, pour sa résistance aux conditions rencontrées (longue période submergée du filtre, périodes sèches, fort taux de matières organiques), et la rapide croissance du chevelu de racines et rhizomes, est le plus souvent utilisé dans ce type de traitement [74].

V.2 Résultats et interprétation

Le suivi de l'efficacité du traitement a été effectué en procédant à un certain nombre d'analyses [87] tels que les ions : NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , la turbidité, la MES, la conductivité et le pH.

Les résultats obtenus sont illustrés par les figures allant de 18 à 29

Les figures de 18 à 29:

a: représentent l'élimination des paramètres physico-chimique des eaux de pluie de Bab-Ezzouar au cours de traitement.

b: représentent l'élimination des paramètres physico-chimique des eaux de pluie de Tizi-Ouzou au cours de traitement.

V.2.1 Potentiel hydrogène (pH)

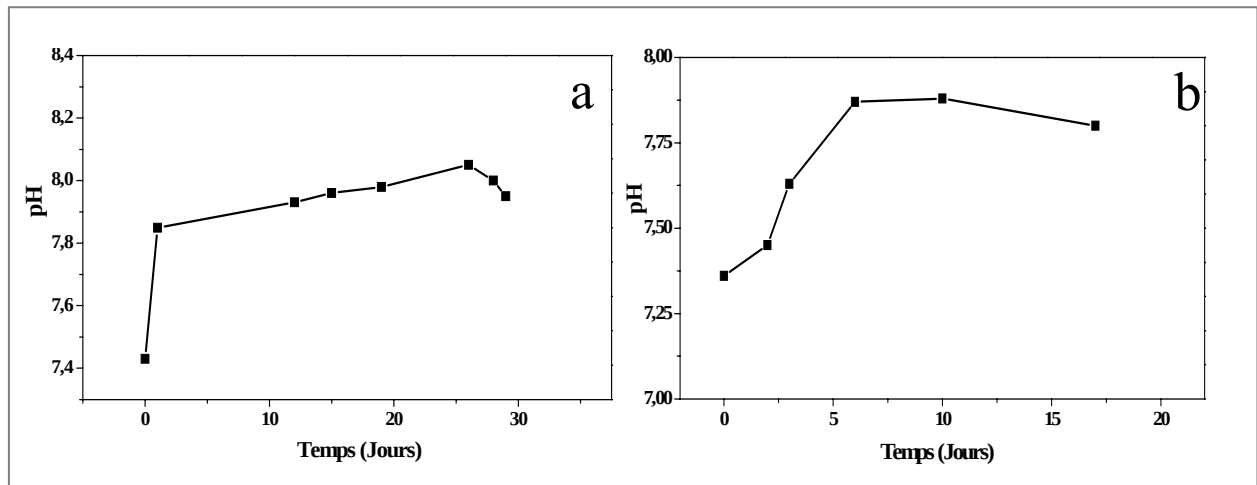


Figure 18: Evolution du pH en fonction du temps

On remarque une augmentation du pH dans les deux cas.

Finlayson et Chick (1983) ont obtenu le même résultat dans les filtres plantés de *Typha latifolia* [88].

Un des impacts les plus importants créé par les végétaux, est la modification du cycle de l'oxygène dissous. Les modifications du cycle du pH, lié à celui de l'oxygène, ceci influence directement la production d'ammoniac [89] et des ions hydroxydes par la réaction de dénitrification.

La réaction de dénitrification est sensible au pH avec une gamme 6,5 et 7,5 (le pH des eaux de pluie avant traitement est de 7,36 pour les eaux de pluie de Tizi-Ouzou et de 7,43 pour l'eau de pluie de Bab-Ezzouar) [30].

V.2.2 Conductivité (CE)

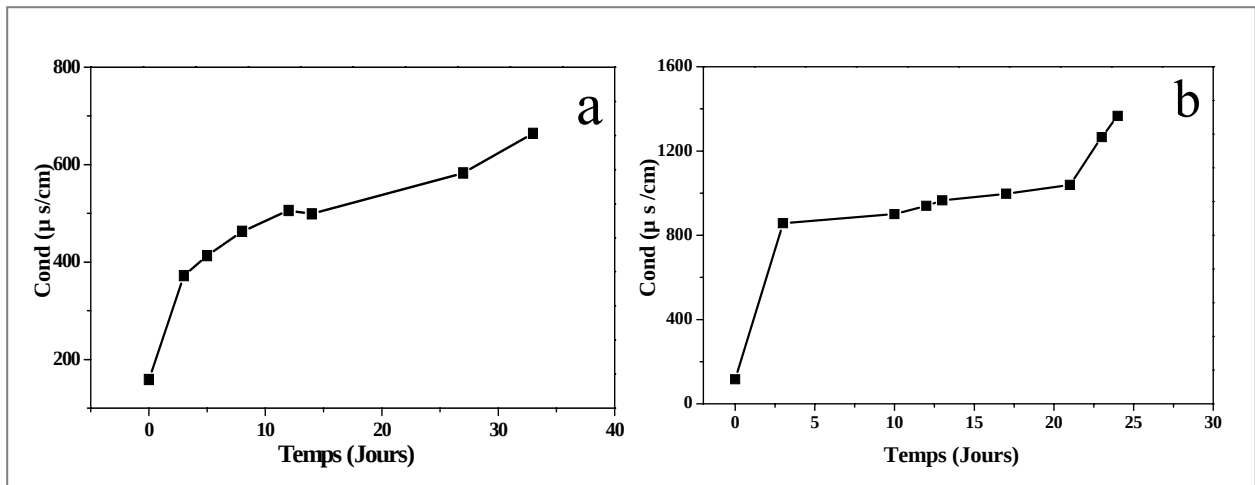


Figure 19: Evolution de la conductivité en fonction du temps

La conductivité des eaux de pluie traitées par le lit planté est constamment supérieure à celle des eaux de pluie brutes dans les deux cas. Cette augmentation est associée au phénomène d'évapotranspiration de la végétation.

Le développement important du système racinaire et rhizomateux de la plante entraîne l'augmentation de la conductivité [88].

Cette augmentation s'explique encore par l'augmentation de la concentration en ions sulfates.

V.2.3 Turbidité (Tu)

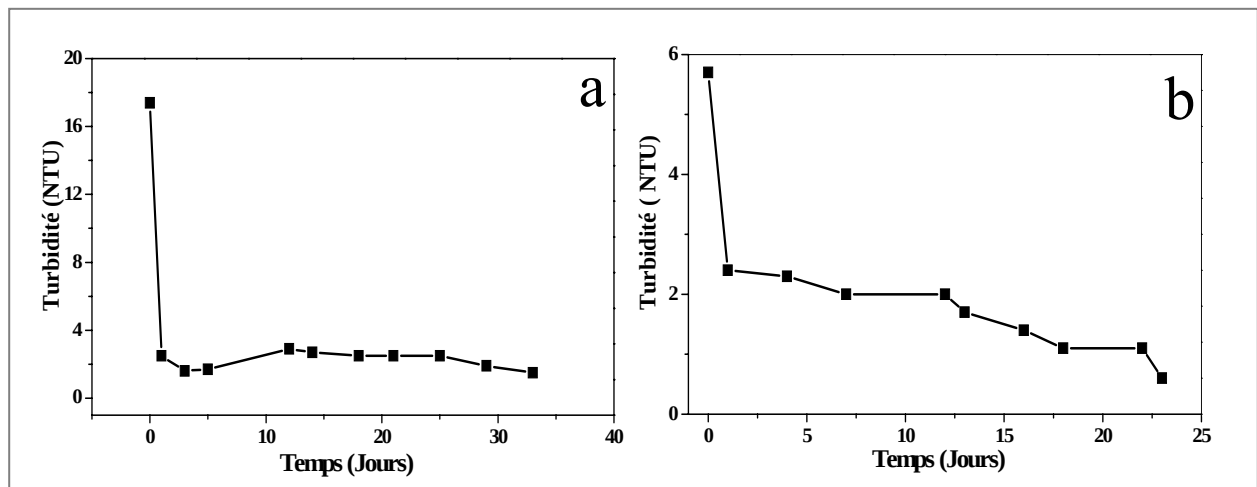


Figure 20: Evolution de la turbidité en fonction du temps

A partir de la figure précédente, on constate une diminution de la turbidité dans les deux cas; cette diminution est expliquée par la filtration à sable et l'élimination des matières en suspension.

V.2.4 Matières en suspension (MES)

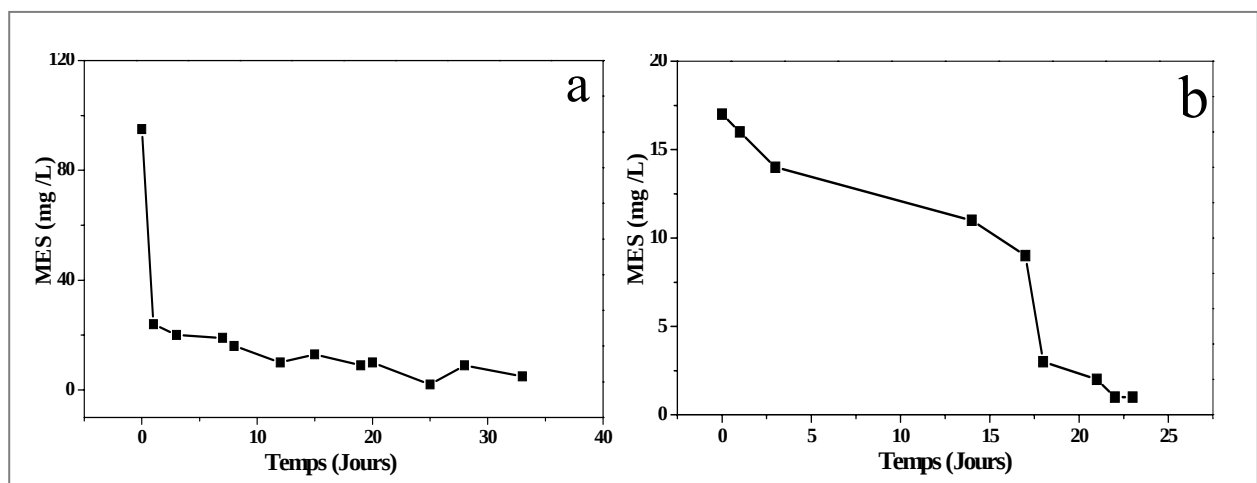


Figure 21: Evolution des MES en fonction du temps

On constate une amélioration significative des MES dans les systèmes irrigués des eaux de pluie des deux régions.

La diminution des MES pendant la période du traitement est expliquée par le dépôt de ces dernières dans le substrat sableux.

La surface du lit planté retient l'essentiel des matières en suspension. Celles-ci sont retenues par la couche du sable lorsque le diamètre des particules solides est supérieur au diamètre du sable. L'eau polluée qui s'infiltre dans le massif filtrant est dégradée ou transformée par les micro-organismes qui se développent au sein du milieu poreux.

C'est une technique de séparation et de fractionnement de substances. Elle sépare la phase liquide de la phase solide [9].

V.2.5 Ion ammoniacal (NH_4^+)

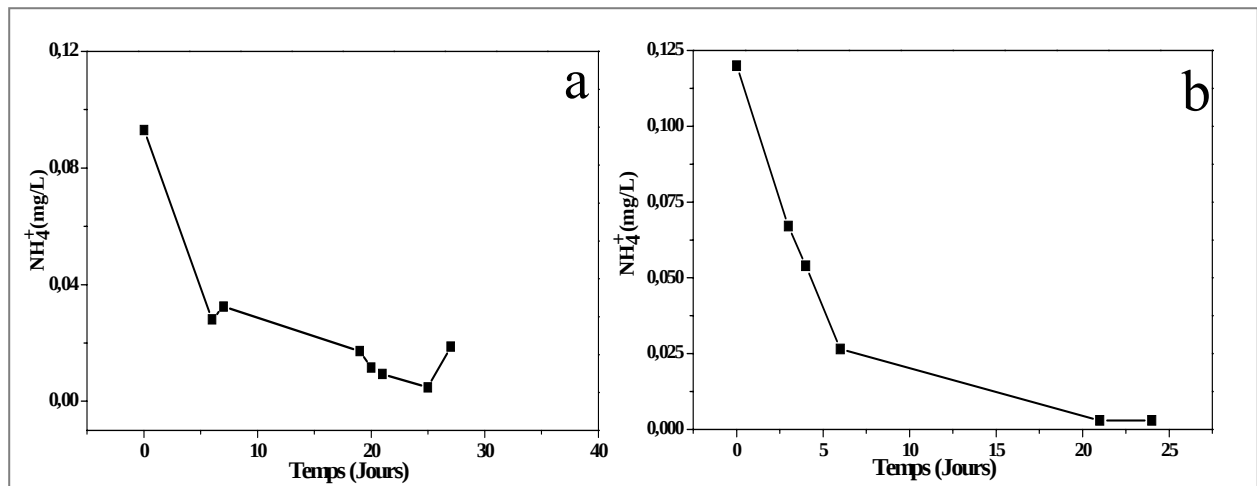
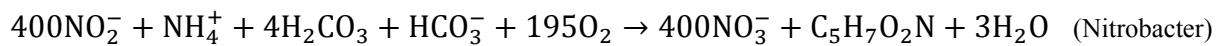
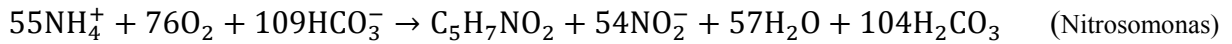


Figure 22 : Evolution de l'ion ammoniacal en fonction du temps

Les deux courbes montrent la diminution de la teneur en ions NH_4^+ des eaux de pluie des deux régions au cours de traitement.

En condition aérobie et un pH élevé, l'ion NH_4^+ subit la nitrification par les bactéries nitrifiantes *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*. Le processus de la nitrification traduit l'oxydation biologique de l'ammonium (NH_4^+) en nitrates (NO_3^-) par des micro-organismes adaptés [90]. Ce processus s'effectue en deux étapes où les ions nitrites sont formés comme ions intermédiaires [91].



L'azote nitrique peut être utilisé pour oxyder la matière organique si tout l'oxygène est absent ou déjà consommé, c'est la dénitrification [92].

Ce qui explique la diminution des ions NH_4^+ au cours de traitement.

V.2.6 Nitrates (NO_3^-)

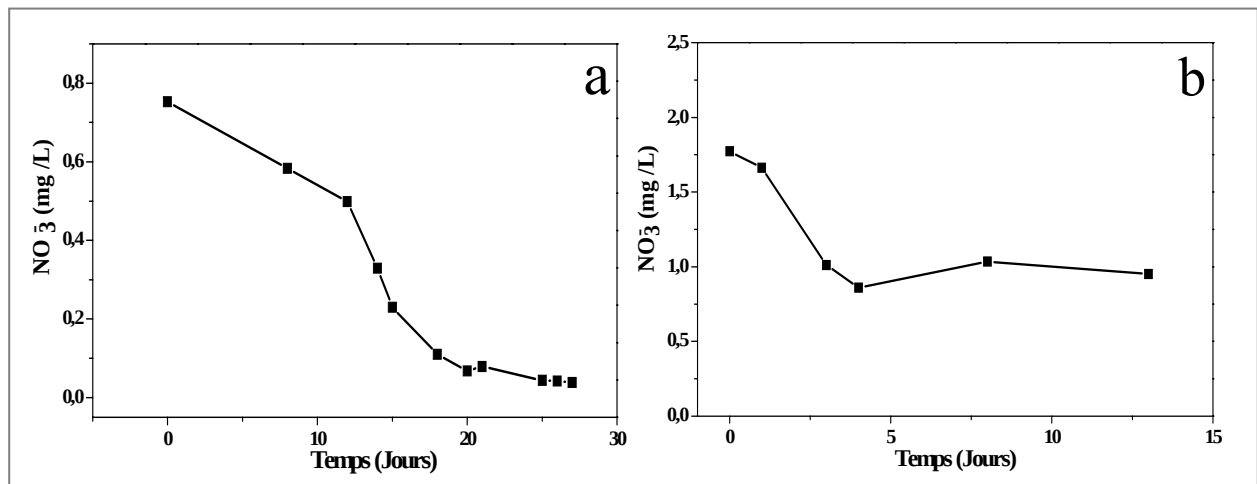


Figure 23: Evolution des nitrates en fonction du temps

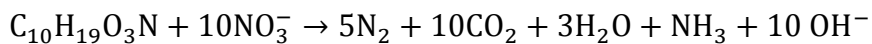
La concentration en nitrates enregistrée pour les eaux de pluie traitées par le filtre planté est inférieure à celle des eaux de pluie brute.

La concentration en nitrates, plus faible à la sortie du système, peut s'expliquer en partie par l'utilisation de ce nutriment, à la fois, pour la croissance des plantes et par les

processus bactériens de dénitrification en condition anoxique [93]. La litière des plantes produite peut favoriser cette dénitrification [88].

Puisque le pH de l'eau de pluie dans le filtre est élevé (7,43 pour Bab-Ezzouar et 7,36 pour Tizi-Ouzou), la dénitrification peut produire principalement N_2 [94].

D'après PAUL LESSARD, la dénitrification est donnée par l'équation suivante [42]:



V.2.7 Nitrites (NO_2^-)

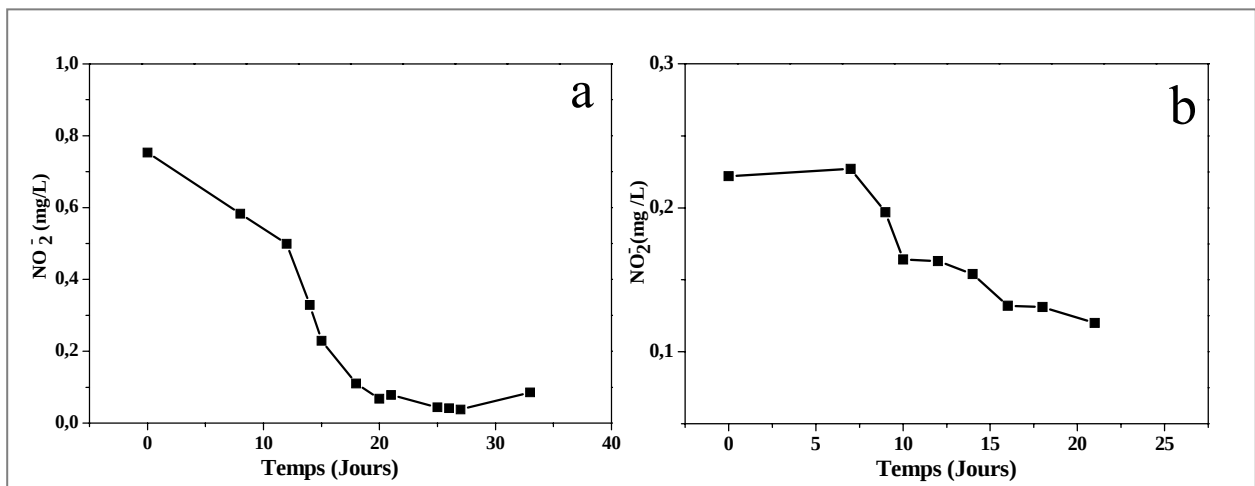
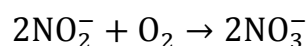


Figure 24 : Evolution des nitrites en fonction du temps

D'une façon générale, on a observé une diminution de la concentration en ions NO_2^- dans les deux filtres irrigués des eaux de pluie de Bab-Ezzouar et Tizi-Ouzou.

Une nitrification autotrophe aérobie, correspondant à l'oxydation des ions ammonium en ion nitrite ; les ions nitrites ensuite oxydés en ions nitrate par les micro-organismes Nitrobacter [95], donc la diminution des ions nitrites est due à l'oxydation des ions nitrites en ions nitrates selon l'équation suivante [76]:



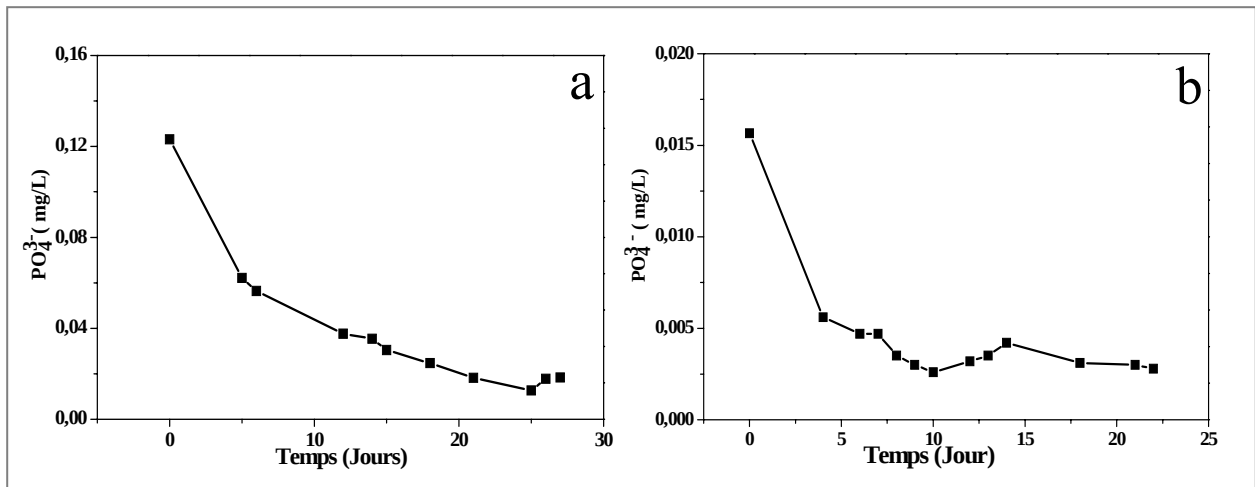
V.2.8 Orthophosphates (PO_4^{3-})

Figure 25 : Evolution des orthophosphates en fonction du temps

On remarque une élimination importante en ions phosphates. L'élimination du phosphore à long terme est généralement limitée par la capacité d'absorption du substrat y compris la litière. Il s'effectue également une adsorption du phosphore inorganique dissous par la plante aquatique [9]. L'ion PO_4^{3-} est retenu dans le gravier suite à des réactions de précipitation où il forme des composés peu solubles avec le calcium [96].

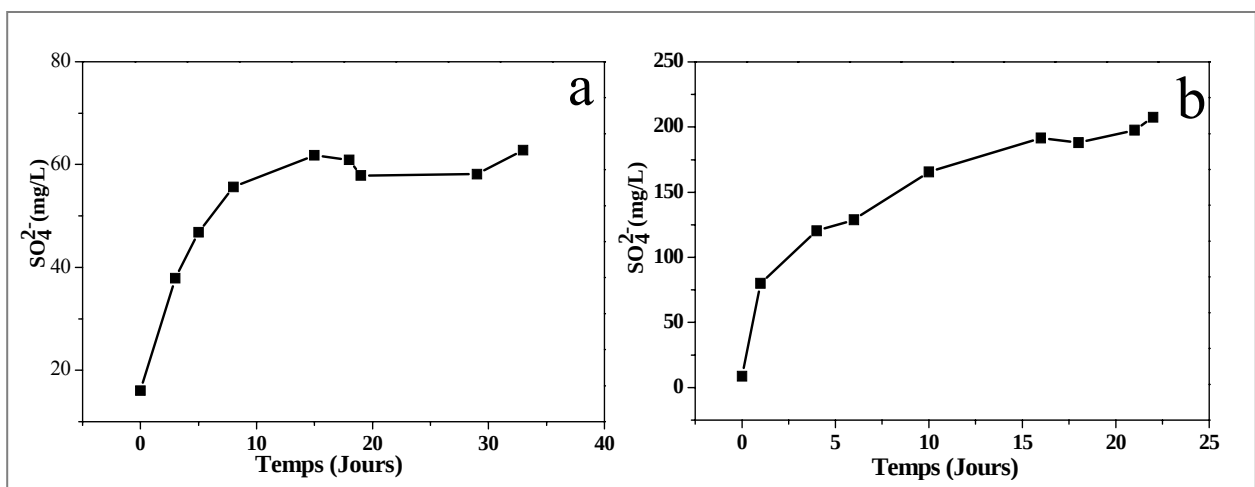
V.2.9 Sulfates (SO_4^{2-})

Figure 26 : Evolution des sulfates en fonction du temps

La concentration des sulfates pour les eaux de pluie traitées par le filtre planté est supérieure à celle des eaux de pluie non traitées. Cette augmentation est expliquée par la nature du sable utilisé. Ces teneurs expliquent l'augmentation de la conductivité mesurée dans les eaux de pluie traitées.

V.2.10 Chlorures (Cl⁻)

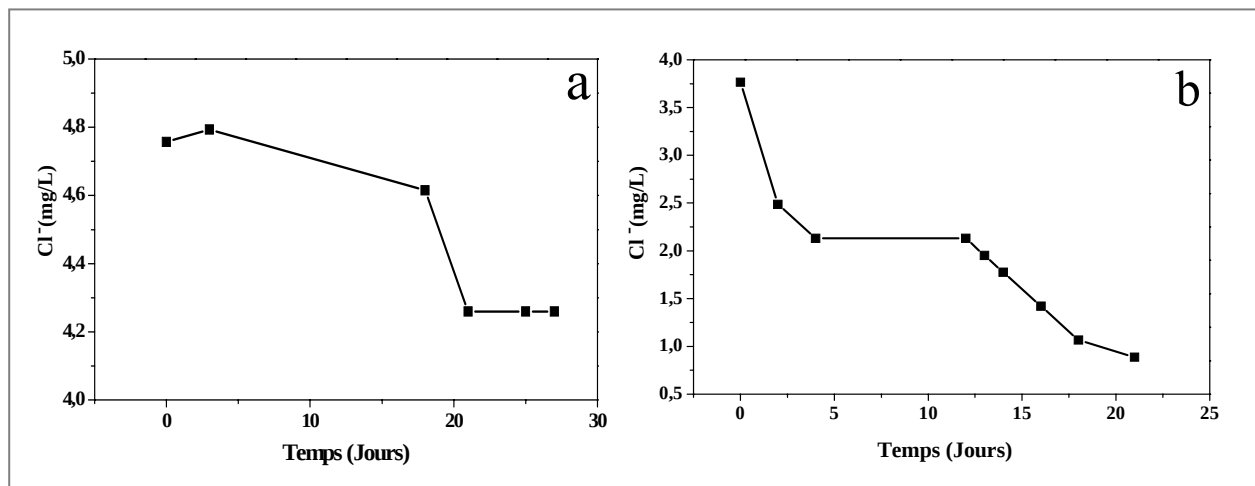


Figure 27 : Evolution des chlorures en fonction du temps

On remarque une diminution des chlorures dans les deux cas. Cette diminution résultante de l'assimilation de cet élément pour la croissance des plantes.

V.2.11 Alcalins et Alcalino-terreux

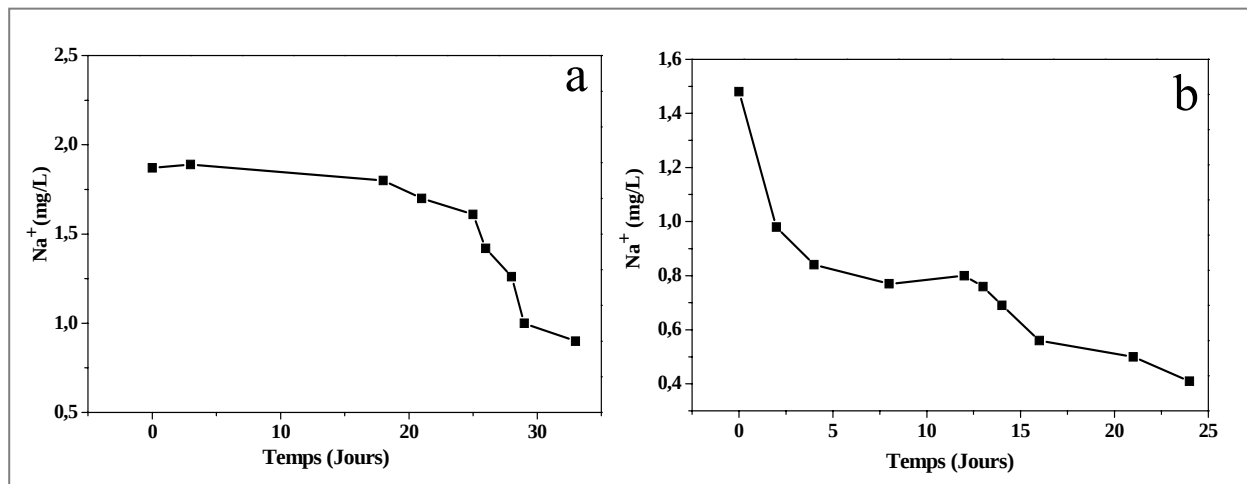
V.2.11.1 Alcalins (Na^+)

Figure 28 : Evolution de sodium en fonction du temps

Au cours de traitement des eaux de pluie des deux régions, la concentration en ions Na^+ diminue. Cette diminution résultante par l'utilisation de cet élément pour le développement des plantes.

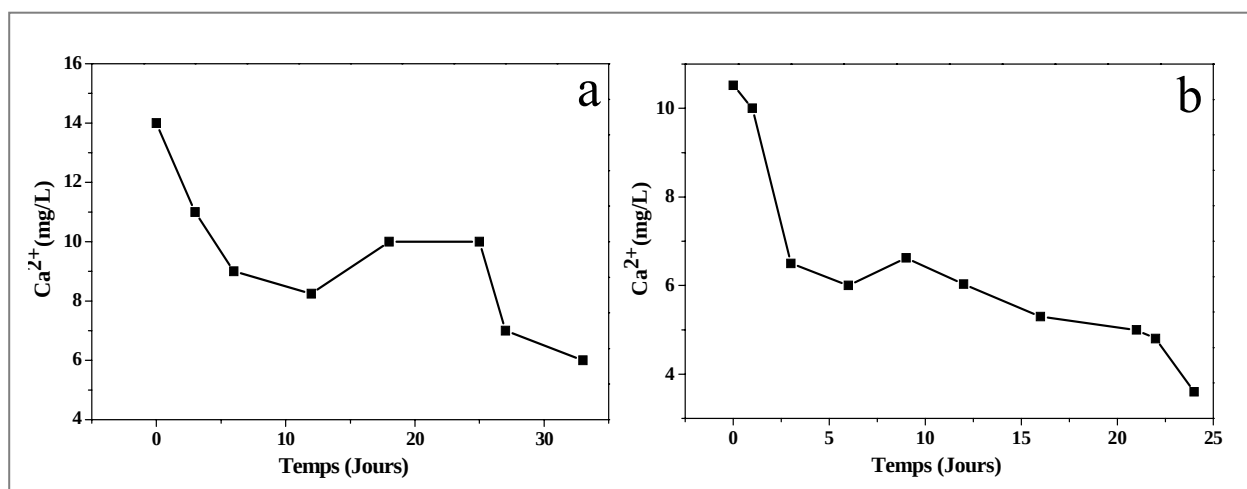
V.2.11.2 Alcalino- terreux (Ca^{2+})

Figure 29 : Evolution de calcium en fonction du temps

On remarque une diminution des teneurs en ions calcium. Cette diminution résultante de l'assimilation de cet élément par les plantes et sa complexation avec le phosphore.

Le développement racinaire accroît la surface de fixation pour le développement des micro-organismes et pour des réactions de précipitation [8].

V.3 Evolution des rendements d'élimination

Afin d'étudier l'efficacité de notre pilote nous avons calculé les rendements d'élimination de chaque paramètre au cours de la période de traitement.

Les rendements sont calculés à partir des différences de concentration avant et après traitement, selon la formule classique :

$$R = 100 \frac{C_a - C_b}{C_a}$$

R: rendement d'élimination en %.

C_a: concentration avant traitement en mg/L.

C_b: concentration après traitement en mg/L.

Les rendements d'élimination de la turbidité, la conductivité, les ions NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻, les alcalins et alcalino-terreux (Na⁺, Ca²⁺) et des ions Cl⁻, sont présentés dans les figures allant de 30 à 38.

Les courbes de 30 à 38 :

a : représentent les rendements d'élimination de la concentration des paramètres physico-chimiques des eaux de pluie de Bab-Ezzouar.

b : représentent les rendements d'élimination de la concentration des paramètres physico-chimiques des eaux de pluie de Tizi-Ouzou.

V.3.1 Turbidité (Tu)

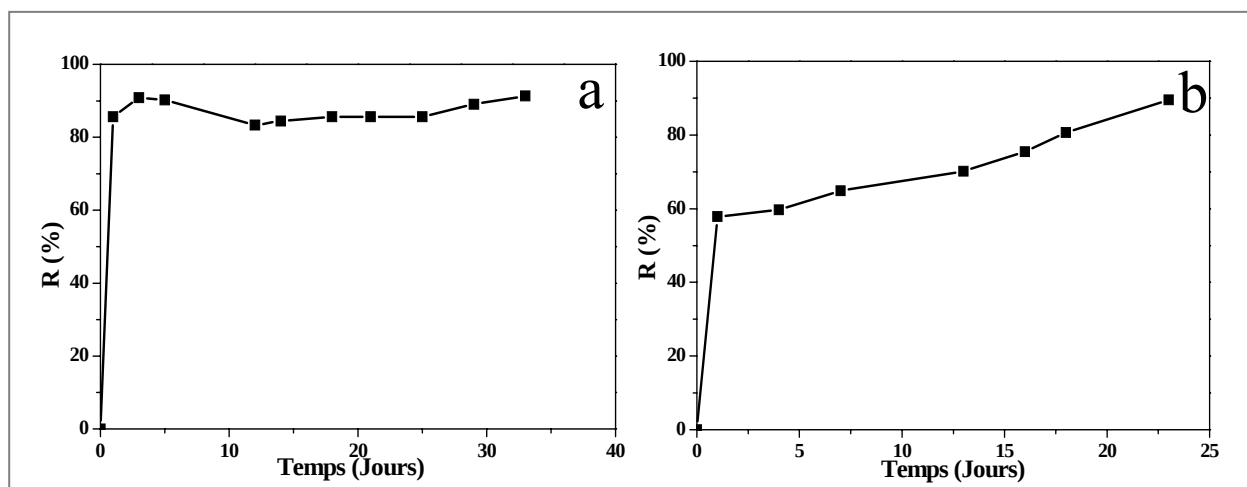


Figure 30: Taux d'élimination de la turbidité en fonction du temps

La présence de roseau dans le système favorise une nette amélioration de l'abattement de la charge organique des MES, ce qui favorise une élimination importante de la turbidité des eaux de pluie de Bab-Ezzouar et Tizi-Ouzou (les rendements d'éliminations sont respectivement de 79,26 et 62,28%).

V.3.2 Matières en suspension (MES)

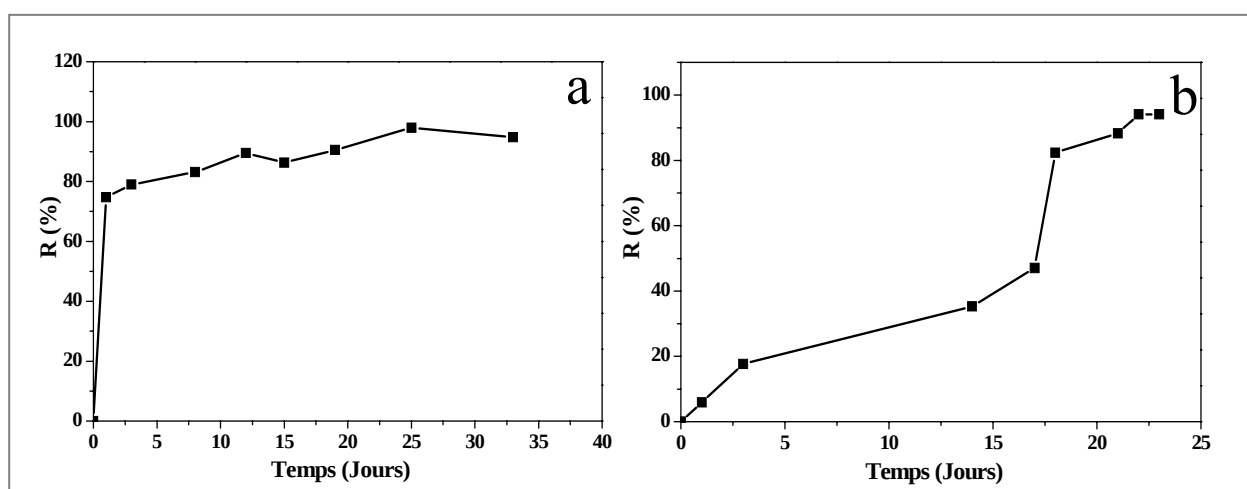


Figure 31: Taux d'élimination des MES en fonction du temps

Les matières en suspension des eaux de pluie de Bab-Ezzouar et Tizi Ouzou représentent respectivement un pourcentage d'élimination de 77,3 et 51,63%

V.3.3 Ion ammoniacal (NH_4^+)

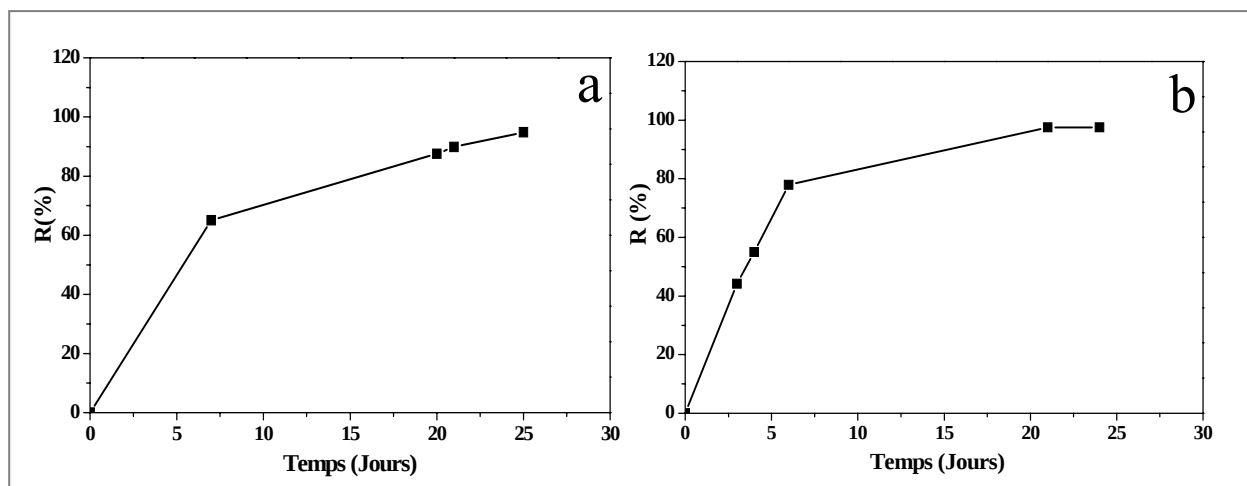


Figure 32 : Taux d'élimination des ions NH_4^+ en fonction du temps

Le rendement épuratoire de NH_4^+ dans les lits plantés sont 62,77 et 67,48% respectivement pour les eaux de pluie de Tizi-Ouzou et Bab-Ezzouar.

V.3.4 Nitrates (NO_3^-)

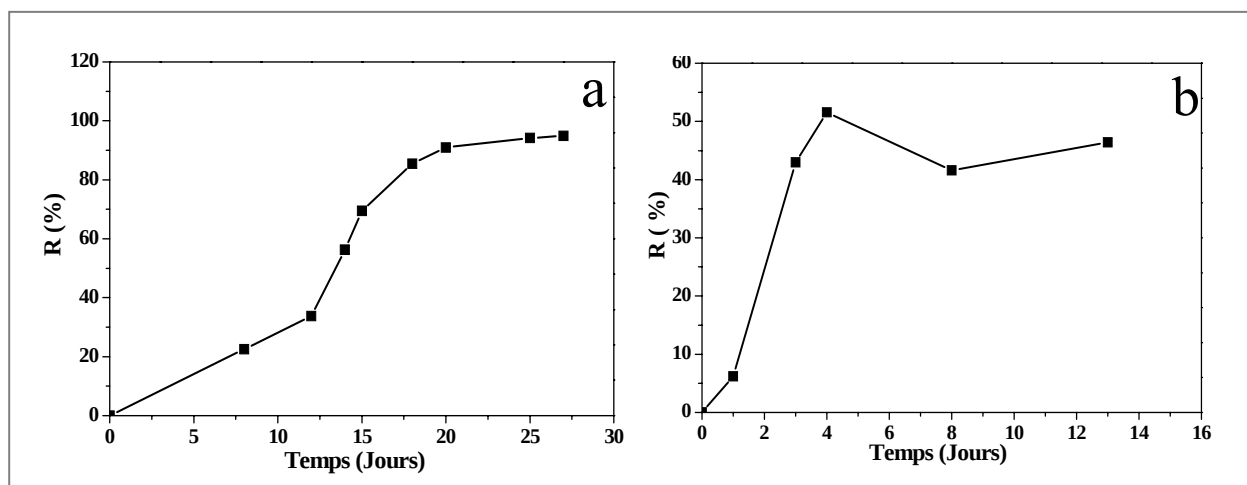


Figure 33: Taux d'élimination des ions NO_3^- en fonction du temps

Le taux enregistré pour l'élimination des ions NO_3^- par le roseau est plus important pour les eaux de pluie de Bab-Ezzouar (60,84%). Par ailleurs l'enlèvement des NO_3^- est faible pour les eaux de pluie de Tizi-Ouzou (31,45%).

V.3.6 Nitrites (NO_2^-)

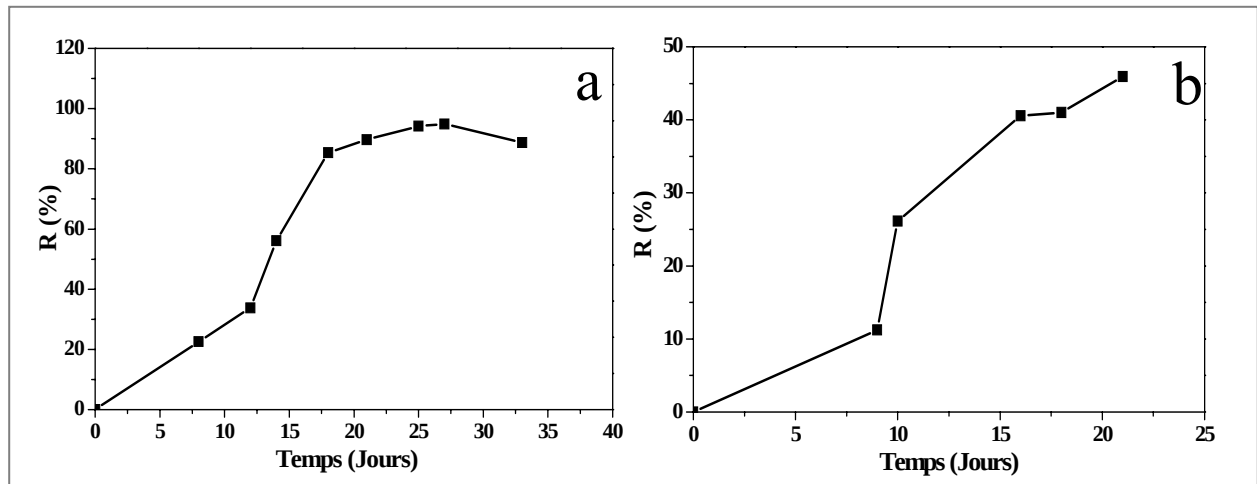
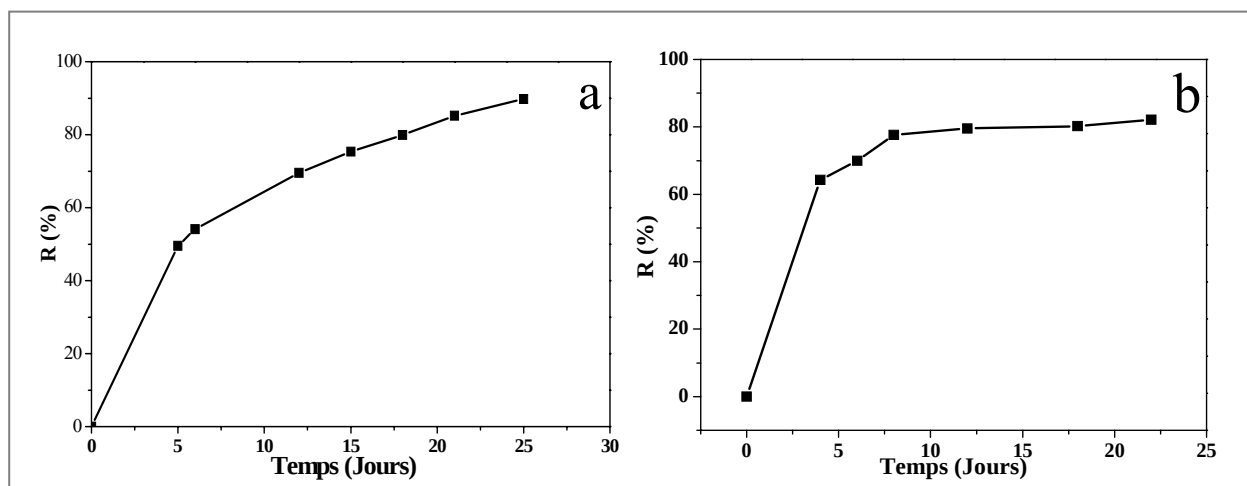


Figure 34: Taux d'élimination des ions NO_2^- en fonction du

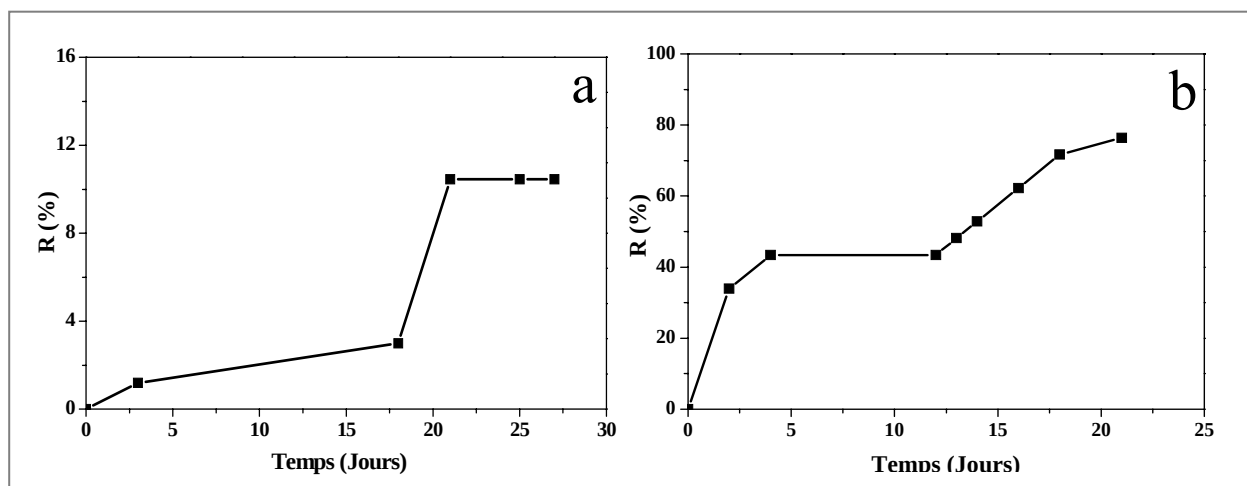
Pour l'enlèvement de NO_2^- , le lit alimenté par les eaux de pluie de Bab-Ezzouar permet une élimination de l'ordre de 62,82 %. Tandis que le lit alimenté par les eaux de pluie de Tizi-Ouzou présente un rendement de l'ordre de 20,65%.

La température élevée augmente l'activité des micro-organismes dégradeurs. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est amoindrie et sa consommation par les bactéries est accrue, par conséquent l'élimination est meilleure pendant les périodes chaudes. Une faible température abaisse fortement l'activité de certains micro-organismes, par conséquent l'élimination est limitée [8].

La température (au mois de Mai) lors de traitement des eaux de pluie de Bab-Ezzouar est plus élevée en comparant avec celle de mois de Février lors de traitement des eaux de pluie de Tizi-Ouzou, ce qui explique la différence des rendements d'élimination à la fois des ions nitrates et nitrites.

V.3.7 Orthophosphates (PO_4^{3-})Figure 35: Taux d'élimination des ions PO_4^{3-} en fonction du

La réduction des ions PO_4^{3-} est de l'ordre de 62,92 et 64,82% respectivement pour le filtre irrigué des eaux de pluie de Bab-Ezzouar et le filtre irrigué des eaux de pluie de Tizi-Ouzou.

V.3.8 Chlorures (Cl^-)Figure 36: Taux d'élimination des ions Cl^- en fonction du temps

Les rendements épuratoires des ions Cl^- dans les lits plantés sont de l'ordre de 5,92 et 48,01% respectivement pour les eaux de pluie de Bab-Ezzouar et les eaux de pluie de Tizi-Ouzou.

V.3.9 Alcalins et Alcalino-terreux

V.3.9.1 Sodium (Na^+)

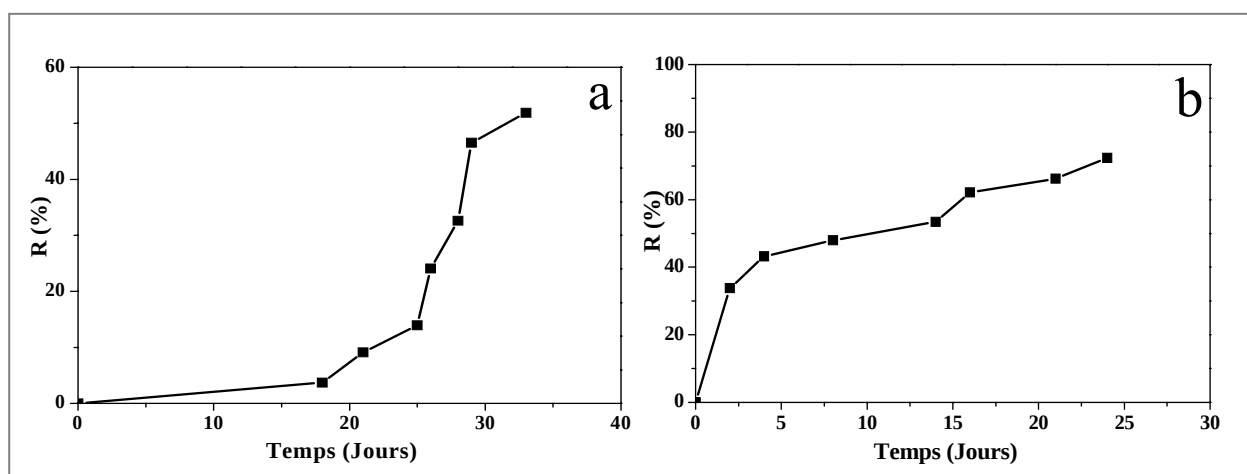


Figure 37: Taux d'élimination des ions Na^+ en fonction du temps

Les ions Na^+ des eaux de pluie de Tizi-Ouzou et Bab-Ezzouar représentent respectivement un pourcentage d'élimination de 47,38 et 22,73%.

V.3.9.2 Calcium (Ca^{2+})

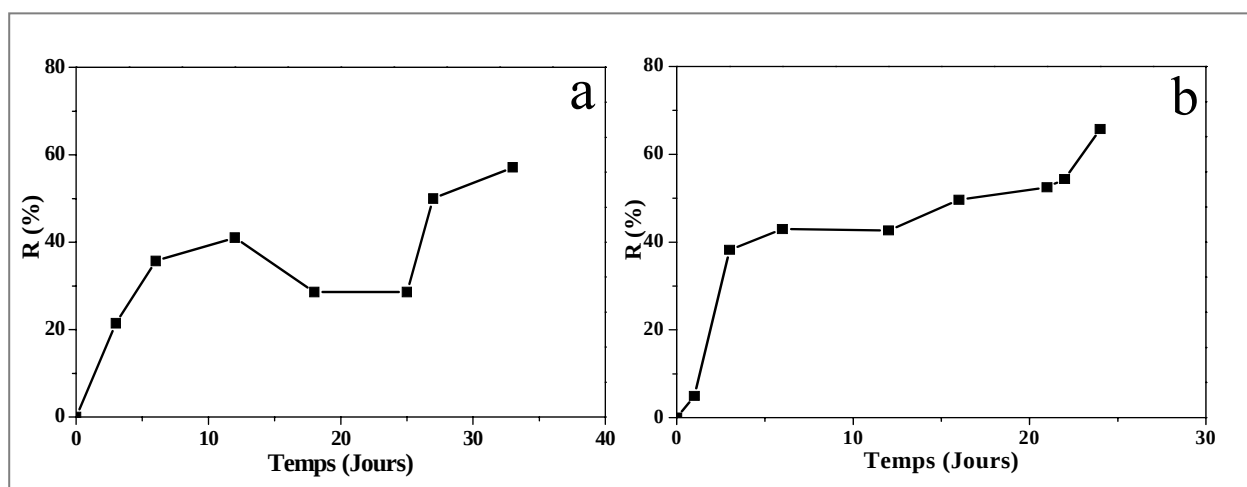


Figure 38: Taux d'élimination des ions Ca^{2+} en fonction du temps

On remarque une élimination non négligeable en ions calcium dans les deux cas. L'élimination des ions Ca^{2+} est de 38,12% pour les eaux de pluie de Bab-Ezzouar et de 39% pour les eaux de pluie de Tizi-Ouzou.

Les résultats des rendements obtenus durant le traitement sont regroupés dans le tableau V.

Tableau V: Rendement d'élimination des paramètres de pollution.

Rendement (%)	Eau de pluie de Bab-Ezzouar	Eau de pluie de Tizi-Ouzou
Turbidité	79,26	62,28
MES	77,31	51,63
NH_4^+	67,48	62,77
NO_3^-	60,84	31,45
NO_2^-	62,82	20,65
PO_4^{3-}	62,92	64,82
Cl^-	5,92	48,01
Na^+	22,73	47,38
Ca^{2+}	38,12	39

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Les eaux de pluie, récupérées après ruissellement, ne sont pas pures, les apports de polluants atmosphériques se présentent sous forme de particules fines qui retombent en période de temps sec et sous forme de retombées humides qui englobent la pollution contenue dans les pluies.

Notre travail a pour objectif d'étudier le degré de pollution des eaux de pluie ainsi que la faisabilité d'un traitement biologique aérobie par filtres plantés de roseaux (plantes aquatiques). Dans un premier temps, on a procédé à une caractérisation physico-chimique des paramètres de pollution, ensuite le traitement de l'eau de pluie récupérée au niveau de Bab-Ezzouar et Tizi-Ouzou est effectué sur filtres plantés de roseaux, cette étude également a pour but d'évaluer les capacités de traitement d'eau de pluie récupérée, sur filtre planté de roseaux.

Les résultats obtenus montrent que les eaux de pluie sont faiblement minéralisées, pauvres en matières organiques, mais aussi présentent des concentrations importantes en azote ammoniacal ainsi qu'en ions nitrites.

L'analyse des paramètres de pollution (la turbidité, les MES, le pH, la conductivité et les ions NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+) a montré que certains d'entre eux dépassaient les normes de potabilité admissibles, d'où la nécessité d'effectuer un traitement avant utilisation.

L'installation des plantes aquatiques dans un substrat entièrement minéral irrigué par les eaux de pluie permet d'obtenir leur épuration autour des rhizomes des plantes par les micro-organismes. Le substrat permet la rétention d'une partie des polluants par tamisage et les plantes contribuent à l'épuration des eaux par l'enlèvement des nutriments contenus dans les eaux et par l'apport d'oxygène au niveau des rhizomes où se trouvent les micro-organismes.

Au vu des différents résultats obtenus, cette technique de traitement peut être envisagée pour l'amélioration de la qualité des eaux de pluie récupérées après ruissellement sur les toits et utilisées comme source d'eau potable dans les régions où cette ressource peut être d'une grande importance.

Références
Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] A.Kettab. (2001); Les Ressources en Eau en Algérie:Stratégies, Enjeux et Vision, Desalination 136, 25-33.
- [2] T.Santo, Kurita. (1999); Handbook of Water Treatment, 2nd Edition, kurita, Japan.
- [3] C.Dubois. (1994); la maîtrise du ruissellement par temps de pluie dans le bassin de la Somme, Agence de l'Eau Artois Picardie, 61p.
- [4] P.S.M. Santos, M.Otero, E.B.H. Santos, and A.C. Duarte. (2011); Chemical composition of rainwater at a coastal town on the southwest of Europe: What changes in 20 years? 409, 3548-3553.
- [5] M.Benyahya, J.Bohatier, H.Laveran, J.Senaud, M.Ettayebi. (1998); Les Virus des Eaux Usées et leur Elimination au Cours des Traitements des Effluents Pollués, Année .Biol. 78, 95-105.
- [6] Metcalf and Eddy. (2007); Water Reuse Issues, Technologies and Applications, MC Graw Hill, New York.
- [7] V.Lazarova and F.Brissaud. (2005); Intérêt, Bénéfices et Contraintes de la Réutilisation des Eaux Usées En France, l'Eau, L'industrie, Les Nuisances - N° 299.
- [8] J.B. Poulet, A.Terfous, S.Dap et A. Ghenaim. (2004); Stations d'Epuration à Lits Filtrants, Plantes de Macrophytes, N°05 103-106.
- [9] J.Kouakou. (2008); Développement d'une Zone Humide Simulée Plantée avec Amaranthacea et Capri: Aridacea Pour le Traitement des Eaux Usées Domestiques, Technology Policy Studies Network (ATPS).
- [10] M.H.Hu, Y.S.Ao, X.E. Yang, T.Q. Li. (2008); Treating Eutrophic Water For Nutrient Reduction Using An Aquatic Macrophyte (Ipomoea Aquatica Forsskal) in a Deep flow Technique System, agricultural water management 95, 607–615.
- [11] M.Scholz, Jing Xu. (2002); Comparison of Constructed Reed Beds with Different filter Media and Macrophytes Treating Urban Stream Water Contaminated with Lead and Copper, Ecological Engineering 18, 385–390.
- [12] A.Białowiec, W.Janczukowicz, P.F. Randerson. (2011); Nitrogen Removal from Wastewater in Vertical flow Constructed Wetlands Containing LWA/Gravel Layers and Reed Vegetation, Ecological Engineering 37, 897–902.

- [13] Bensmina-Mimeche, N. Benameur et M. Debabeche. (2012) ; Le Filtre Planté de *Cyperus Laevigatus*, Mesure Prise pour le Traitement des Eaux Usées Domestiques dans une Zone Semi Aride-Ville de Biskra, Algérie, 2^{ème} Colloque International sur la Gestion et la Préservation des Ressources en Eau, Meknès.
- [14] A.Perrier et A.Tuzet. (2005); Le Cycle de l'Eau et les Activités au Sein de l'Espace Rural. Enjeux globaux, Solutions Locales et Régionales, C.R.Geoscience, 337, 39–56.
- [15] A.Alighardashi. (2007); Composés Pharmaceutiques et Eaux Usées Urbaines, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine.
- [16] A.Beaupoil, C.Le Borgne, A.M.Atto, C.Mucig, A.Roux. (2010); Risque Sanitaire Liés à La Réutilisation D'eau Traitées pour L'Aéroaspiration des Espaces Verts, EHESP Persan.
- [17] C.Boutin, A.Héduit and J.M.Helmer. (2009); Technologies d'Épuration en Vue D'une Réutilisation des Eaux Usées Traitées (REUT) Onema-Cemagref.
- [18] M. El Yamani. (2006); Qualité Des Eaux, Afsset.
- [19] W, Wesley Eckenfelder. (1973) ; L'eau dans L'industrie, Pollution, Traitement, Recherche de la Qualité, Entreprise Moderne d'Édition, Paris.
- [20] F.Bontoux. (1993); Introduction à l'Étude des Eaux Douces, Eaux Naturelles, Eaux Usées, 2^e Edition, CEBEDOC, 170 Pages, Diffusion Lavoisier.[21] Jean Rodier. (2009); L'Analyse de l'Eau, 9^e Edition, Dunod, Paris.
- [22] M.H.Hafedh, A. Added , A. Francés et R. Rodriguez. (2007); Validité de L'application des Méthodes de Vulnérabilité DRASTIC, SINTACS et SI à L'étude de la Pollution par les Nitrates dans la Nappe Phréatique De Metline–Ras Jebel–Raf Raf (Nord-Est Tunisien), C. R. Geoscience 339, 493–505.
- [23] K.M. Vigil, P.E. (2003); Clean Water an Introduction to Water Quality and Water Pollution Control, 2nd EDITION.
- [24] V.J.Inlezakis and S.G. Pouloupoulos. (2007); Adsorption, Ion Exchange and Catalysis Design of Operation and Environment Applications.
- [25] A.Jullien. (2002); Manuel Suisse des Denrées Alimentaires, Eau Potable, MSDA.
- [26] S.Baumont, J-P.Camard, A. Lefranc et A. Franconi. (2004); Réutilisation des Eaux Usées, Rapport ORS, 220p.
- [27] NG.Wun Jern. (2006); Industrial Wastewater Treatment, ICP, USA.

- [28] E.Koller. (2004); Traitement des Polluant Industrielles :Eau, Air, Déchet, Sol, Boues. 3^e Edition, Dunod, Paris
- [29] Paul G. Smith and John S. Scott. (2005); Dictionary of Water and Waste Management, 2nd Edition, Paul G. Smith, Great Britain.
- [30] N.F.Gray. (2005); Water Technology, 2nd Edition, Elsevier Science and Technology Books.
- [31] S.Aslen and A.S.Turkman. (2005); Combined Biological Removal of Nitrate and Pesticides Using Wheat Straw as Substrates Process Biochemistry, 40, 935-943.
- [32] Ph.Quevauviller, O.Thomas and A.Van Der Beken. (2002); Wastewater Quality Monitoring and Treatment, John Wiley and Sons, Ltd, England.
- [33] J-L. Bertrand-Krajewski. (2006); Les Polluants des Rejets Urbains de Temps de Pluie, Oshu307 Polluants des Rutp.
- [34] L-K.Wang, Y-T.Hung and H.Lo Howard. (2006); Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment, 2nd Edition, Marcel Dekker, Inc, New York.
- [35] D-L.Sparks. (2003); Environmental Soil Chemistry, 2nd Edition, Elsevier Science, USA.
- [36] C.Mucig. (2010); Au Vue des Risques Sanitaires, Quels Usage des Eaux De Pluie en France et aux Etats Unies, EHESP.
- [37] D.Blangis et B.Legube. (2007); Traitement des Eaux de Pluie par Photocatalyse Solaire, NOVATECH, 213-220.
- [38] C.Dematteo. (2005); Quels Outils pour Hiérarchiser les Actions en Matière d'Assainissement pour Reconquérir la Salubrité des Eaux de l'Erdre? ENSP. 101p.
- [39] Record. (2005); Topologie des Enjeux Environnementaux et Usage des Différentes Méthodes d'Evaluation Environnementales, Notamment dans Le Domaine des Déchets et des Installations Industrielles100p, N°03-101/1A.
- [40] E.Adler. (2005); Eléments sur l'Epuraton des Eaux Usées et la Gestion des Sous-Produits de l'Assainissement, ENTPE.
- [41] H. Keddal et J. Yao N'dri. (2007); Impacts de l'Intensification Agricole Sur la Qualité des Eaux de Surface et des Eaux Souterraines, Revue Hte N°138.
- [42] P.Lessard. (2003); Enlèvement de l'Azote des Eaux Usées par un Procédé à Culture Fixée Immersée. Geneviève Aubry, Québec.

- [43] C-E.Marcato. (2007) ; Origine, Devenir et Impact du Cuivre et du Zinc des Lisiers Porcins. Rôle de la Digestion Anaérobie, Thèse de Doctorat, École Doctorale : Sciences Ecologiques Vétérinaires Agronomiques et Bioingénieries.
- [44] P. Servais, T. Garcia Armisen , N.Espinel , M. Fouqueray et J. Marie Mouchel. (2004); La Contamination d'Origine Féciale des Eaux du Bassin de la Seine, *Journal of Microbiological Methods*, 58, 269–279.
- [45] I.Barnes and K-J. Rudzinski. (2006); *Environmental Simulation Chambers: Application to Atmospheric Chemical Processes*, Earth and Environmental Series–Vol. 62.
- [46] F-J. Agardy, N-L.Nemerow. (2005); *Environmental Solutions*, Elsevier Science and Technology Books.
- [47] R-M. Harrison. (2001); *Pollution: Causes, Effects and Control*, 4th Edition, The Royal Society of Chemistry.
- [48] A.A. Tandia, E.S. DIOP et C.B. Gaye. (1999); Pollution par Les Nitrates des Nappes Phréatiques sous Environnement Semi-Urbain Non Assaini: Exemple de La Nappe de Yeumbeul, Sénégal, *Journal of African Earth Sciences* Vol. 29, No. 4, Pp. 809-822.
- [49] Arrêté du 11 Janvier 2007. (2007); Limites et Références de Qualité des Eaux Brutes et des Eaux Destinées à La Consommation Humaine, Articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du Code de la Santé Publique.
- [50] Journal Officiel de la République Française. 20 Déce (2001); Eaux Destinées à la Consommation Humaine, a l'Exclusion des Eaux Minérales Naturelles, Décret N°06 2001-1120.
- [51] Jean Rodier. (1996); *L'analyse des Eaux*, 7^e Edition, Dunod, Paris.
- [52] Taylor and Franci. (2009); *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*, 2nd Edition.
- [53] Jean Rodier. (2005); *L'Analyse de l'Eau*, 8^e Edition, Dunod, Paris.
- [54] Nelson L. Nemerow, Franklin J. Agardy, Patrick Sullivan, and Joseph A. Salvato. (2009); *Water, Wastewater, Soil and Groundwater Treatment and Remediation*, 6th Edition, John Wiley and Sons, Inc, Canada.
- [55] I. Couture. (2006); *Principaux Critères pour Evaluer la Qualité de l'Eau en Micro-Irrigation*. CRAAQ.
- [56] M.Seneviratne. (2007); *A Practical Approach to Water Conservation for Commercial and Industrial Facilities* 1st Edition.

- [57] Groupe Scientifique sur l'Eau. (2003); Turbidité, Institut national de santé publique, Québec.
- [58] J. Lefrancois, C. Grimaldi, C. Gascuel-Odoux and N.Gilliet. (2000); Origins and Dynamics of Suspended Sediment in Small Agricultural Catchments. The Fourth Inter-Celtic Colloquium on the Hydrology and Management of Resources.
- [59] I.Sibille, Stabilité Biologique des Réseaux de Distribution d'Eau Potable. (1998); Année Biol 78, 117-161.
- [60] M. Gérard Miquel. (2003); La Qualité de L'eau et de l'Assainissement en France, Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Techno Logiques.
- [61] Uniform Plumbing Code .(2004); Water Quality and Systems- Aguide for Facility Manager, the Fairmont Press.
- [62] R-E. Weiner and R-A.Matthews. (2003); Environmental Engineering. 4th Edition. Butterworth-Heinemann, USA.
- [63] M. Moumouni Dj.Hamsatou. (2005); Les Eaux Usées Résiduares des Tanneries et des Teintureries : Caractéristiques Physico-chimiques, Biologiques et Impact sur les Eaux de Surface et Eaux Souterraines, Thèse de Doctorat.
- [64] M-O.Ratel. (2000); Elimination des Nitrates des Eaux Potables Document Technique Fndae Hors Série N°4, Office International de l'Eau SNIDE, 66/72329, G 7896, F5647.
- [65] J.M.Doriozi, J.P.Pelletiew and P.Benoi. (1998); Propriétés Physico-chimiques et Biodisponibilité Potentielle du Phosphore Particulaire Selon l'Origine des Sédiments dans un Bassin Versant du Lac Léman (France) War. Res. Vol. 32, No. 2, pp. 275-286.
- [66] R-M. Stapleton. (2004); Pollution A to Z, Macmillan Reference, USA.
- [67] A-H.Bannoud. (2001); Elimination de la Dureté et des Sulfates Contenus dans les Eaux par Nanofiltration Desalination 137, 133-139.
- [68] C.Chalon, D.Leroy, J-P.Thome and A.Goffart. (2006); Les Micropolluants dans les Eaux de Surface en Région Wallonne, Dossier Scientifique, Etat de L'environnement Wallon.
- [69] D-H.F Liu. (1999); Environmental Engineers' Handbook, Wastewater Treatment.
- [70] J.Jeffrey Peirce, P. Aarne Vesilind and Ruth F.Weiner. (1997); Environmental Pollution and Control, 4th Edition, ISBN: 0750698993.
- [71] P.Costaz, J.Miquel et M.Reinbold.(1983); Electroflottation Et Désinfection Simultanée d'Eaux Résiduares Urbaines, Water Res Vol 17, No 3 Pp 255 262 .

- [72] C.P.Leslie Grady, J-R.Glent T.Daigger and H-C.Lim.(1999); Biological Wastewater Treatment, 2nd Edition,. Marcel Dekker, Inc, New York.
- [73] Ch.Jouanno et J-L BORLOO. (2008-2009); «L'eau Propre » : Une Nouvelle Modalité d'Usage de l'Eau dans la Filière Agroalimentaire, Séminaire Politiques Publiques de l'Alimentation.
- [74] D.Xanthoulis. (2004); Systèmes d'Epuration de Petites Tailles. Présentation, asbl Epuvaleur.
- [75] O. Mokhtari, H. El Halouani et A. Lahrach. (2012) ; Etude de Plantation de Jatropha Curcas Valorisant les Eaux Usées de la Ville d'Oujda, 2^{ème} Colloque International sur la Gestion et la Préservation des Ressources en Eau, Meknès
- [76] H.-J. Rehm and G. Reed. (1999); Biotechnology, 2nd Edition, Wiley-Vch Verlag GmbH, Vol 1 la, Germany.
- [77] Yung-Tse Hung and Howard H. Lo, A.Awad and H.Salman. (2006); Potato Wastewater TreatmentTaylor and Francis Group, LLC.
- [78] Pedro J. J. Alvarez and Walter A. Illman. (2006); Bioremediation and Natural AttenuationJohn Wiley & Sons, Inc, Canada.
- [79] Economic and Social Commission for Western Asia. (2003); Wastewater Treatment Technologies, General Review, 03-0695, New York.
- [80] D-L. Russell. (2006); Practical Wastewater Treatment, John Wiley & Sons, Inc, Canada.
- [81] J-P.Canler. (2001); Performances des systèmes de traitement biologique aérobie des graisses, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Document technique FNDAE n° 24.
- [82] J-M.Moisselin, M.Schneider , C.Canellas et O.Mestre. Août(2002) ; Les Changements Climatiques en France au XX^e Siècle, La Météorologie - N° 38.
- [83] Journal of Analytical Chemistry, Translated from Zhurnal Analiticheskoi Khimii. (2000); Original Russian Text Copyright, Zolotov.Vol. 55, No. 7, pp. 677-678.
- [84] F.Benrejda et H.Ghoualem. (2011), Caractérisation Physico-chimique des Eaux de Pluie, 35^{ème} Anniversaire de la Création de l'USTHB.
- [85] F.Benrejda et H.Ghoualem. (2011); Caractérisation Physico-chimique des Eaux de pluie, Traitement et Réutilisation, 3rd Maghreb Conférence Tunisian on Desalination Association (CMTDE).

- [86] C. Elichegaray, S. Bouallal, A. Maitre, M. B. (2010); État et Evolution de la Pollution Atmosphérique, *Revue Française d'Allergologie* 50, 381–393.
- [87] F.Benrejda et H.Ghoualem. (2012), Analyse Physico-chimique des Eaux de Pluie, Traitement Par une Plante, 36^{ème} anniversaire de la Création de l'USTHB.
- [88] M.Abissy et Mand. 12/2(199); Utilisation des Plantes Aquatiques Enracinées pour le Traitement des Eaux Usées Urbaines: Cas de Roseau, *Revue des Science de l'Eau*, 285-315.
- [89] M.C.Peltre, A.Dutartre, J. barbe, J. Haury, S. Muller, M.Ollivier.(2002); Les Proliférations Végétales Aquatiques en France :Caractères Biologiques et Ecologiques des Principales Espèces et Milieux Propices, Impact sur les Ecosystèmes et Intérêt Pour le Contrôle des Croliférations, *Bull. fr. Pêche Piscic* 365/366 :259-280.
- [90] M.Ibnoussina, M-E.Haroui, A.Maslouhi. (2006); Expérimentation et Modélisation de la Lixiviation de l'azote Nitrique dans un Sol Sableux, *C. R. Geoscience* 338 787–794.
- [91] C.C.Lee and S.Dar Lin. (2007); *Handbook of Environmental Engineering Calculations*, 2nd Edition, McGraw-Hill Companies.
- [92] Projet Biomepur.(2002); Epuration Biologique Tertiaire d'Eaux Usées sur Filtre Végétal de Taillis à Très Courte Rotation, *Laboratoire Ecop – Grandes Cultures*.
- [93] S.Dandelot, R.Matheron, J.Le Petit, R.Verlaque et A.Cazaubon.(2005); Variations Temporelles des Paramètres Physicochimiques et Microbiologiques de Trois Ecosystèmes Aquatiques (Sud-Est de la France) Envahis par des *Ludwigia*, *C. R. Biologies* 328, 991–999.
- [94] J.Kern, Ch. Idler.(1999); Treatment of Domestic and Agricultural Wastewater by Reed Bed Systems, *Ecological Engineering* 12 ,13–25.
- [95] M.Casellas, C.Dagot, M.Baudou.15/4(2002); Stratégies d'Élimination de l'Azote d'Effluent Urbain Dans Un Réacteur Discontinue Séquentiel, *Rev.Sci.Eau*, 749-765.
- [96] N.D.O'Luanaigh, R.Goodhue, L.W.Gill. (2010); Nutrient Removal from On-Site Domestic Wastewater in Horizontal Subsurface flow Reed Beds in Ireland, *Ecological Engineering* 36, 1266-1276.

Annexe



Tableau A.1: La pluviométrie et la température moyenne mensuelle sur une période de 11 ans (1995-2005) pour la région de Bab-Ezzouar.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T.moy mensuelle (°C)	12	13,5	14,3	16,2	17,7	21,7	25,6	25,6	23,5	19,6	15,1	12,6
Précipitation mensuelle (mm)	48,1	48,9	99,1	33,1	25,9	4,8	1	22,8	12,5	143,2	117,4	93

Tableau A.2: La pluviométrie et la température moyennes mensuelle sur une période de 11 ans (2000-2010) pour la région de Tizi-Ouzou.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T.moy mensuelle (°C)	10	11	13,7	15,9	19,6	24,8	28,1	27,8	24,3	20,7	14,5	11,8
Précipitation mensuelle (mm)	124,7	59,6	77,1	81,5	59,8	6,9	2,9	6,9	43	64,5	120,7	130

Tableau B: Normes algériennes sur les eaux potables (Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire, Décret Exécutif N°11-125 du Rabie Ethani 1432 Correspondant au 23 Mars 2011 Relatif a la Qualité d'Eau de Consommation Humaine, N°18, Algerie).

Paramètres	Valeurs Limites
pH	6,5-9
Turbidité (NTU)	5
Conductivité à 20°C (µS/cm)	2800
Ammonium (mg/L)	0.5
Nitrates (mg/L)	50
Nitrites (mg/L)	0,2
Phosphore (mg/L)	5
Sodium (mg/L)	200
Sulfates (mg/L)	400
Calcium (mg/L)	200
Potassium (mg/L)	12
Chlorures (mg/L)	500
Cadmium (µg/L)	3
Cuivre (mg/L)	2
Plomb (µg/L)	10
Zinc (mg/L)	5

1 Plantes aquatiques

1.1 Roseau

Le roseau est une plante à rhizome horizontal et vertical qui pousse de façon spontanée dans le milieu naturel et forme des champs mono spécifiques. C'est une espèce très productive qui s'adapte facilement à diverses conditions du milieu [1].



Figures C.1 : Roseau

1.2 Laitue d'eau

Laitue d'eau sont des plantes aquatiques flottantes de petite taille qui se présentent sous forme de colonies de frondes très vertes de 2 à 6 mm de diamètre. Les colonies sont formées de 2, 3 ou 4 frondes réunies par des pédicelles, chaque fronde porte une fine racine pouvant atteindre 3 cm. Ce végétal colonise très facilement la surface des eaux douces et calmes au niveau des étangs.

Il se multiplie très rapidement et de manière végétative, les frondes mères donnant naissance à des frondes filles qui arrivées à maturité se détachent des frondes mères pour donner de nouvelles colonies [2].

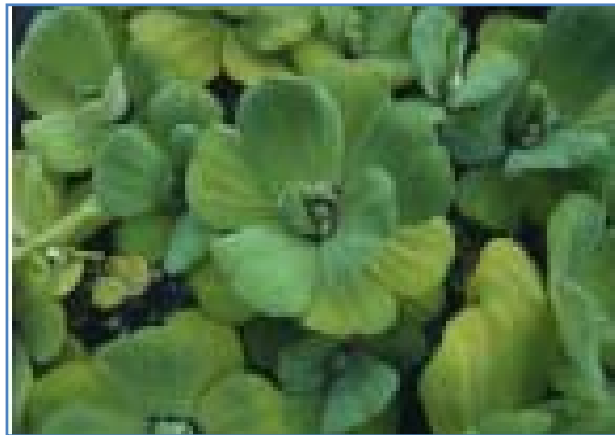


Figure C.2 : Laitue d'eau

[1] M.Abissyet Lmandi. (1999); Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines : Cas du Roseau, *Revue des Sciences de l'Eau*, 285-315.

[2] R. Dosnon Olette. (2009); *Phytoremédiation d'Eaux Contaminées par des Pesticides : Tolérance et Capacité d'Elimination par des Plantes Aquatiques*, Université de Reims Champagne-Ardenne.