

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université de Mohammed Seddik Benyahia - Jijel

*Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Terre et de
l'Univers*



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم علوم الأرض و الكون

Mémoire de fin d'études

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

Option : Hydrogéologie

Thème

**Contribution à l'étude de la contamination des eaux par les ETM et
les pesticides. Cas de la plaine alluviale d'oued Nil (Jijel, NE
Algérien)**

Membres de Jury

Président: Zahi Faouzi

Examineur: Rihia Djamel

Encadrant: **Debieche Taha-Hocine**

Présenté par:

Bouazize Samah

Djehinet Asma

Année Universitaire : 2019/2020

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....

Remerciements

Avant tous, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la force pour réaliser ce modeste travail dans les meilleures conditions.

Je tiens à remercier **Monsieur Debieche Taha-Hocine**, pour nous avoir encadrées pour qu'on puisse terminer cette étude, et je le remercie pour sa gentillesse, sa présence et sa patience, disponibles tout au long de la réalisation de ce travail. Aussi pour son aide, sa confiance et son soutien moral sans lui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour. je le remercie chaleureusement.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions. Nous tenons à remercier aussi le corps d'enseignants du département de Science de la Terre et l'Univers

Je remercie également : **la Direction des Services Agricoles (DSA)** de la wilaya de Jijel de nous avoir fourni les données sur les engrais chimiques et les pesticides **et l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (ANRH)** secteur de Jijel

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail, trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude.

Mme Bouazize .s et Mme Djehinet .a

Dédicace

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,

L'amour, le respect, la reconnaissance...

Aussi, c'est tout simplement que

Je dédie ce mémoire

À mes chers parents : Youcef, Aziza

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Rien au monde ne compense l'effort que je passe jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

À mes chères et adorables sœurs et frère

Nouzha, la prunelle de mes yeux, Amira, la douce, chahinez l'aimable, Sounia la généreuse Mohammed mon petit frère le beau avec un grand coeur que j'adore

En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protégez et vous garde.

Aman cher tante Soraya

Mon conseiller, et tante fidèle, qui m'a assisté dans les moments difficiles et m'a pris doucement par la main pour traverser ensemble des épreuves pénibles....

Je te suis très reconnaissante, et je ne te remercierai jamais assez pour ton amabilité, ta générosité, ton aide précieuse.

À mes chères tantes et Leurs épouse

Hayat, Djamila, salima, et mes chers cousins : Bouchra, Kenza, Imane, sidra

Et toute la famille Djehinet

Ils m'ont chaleureusement supporté et courages tout au long de mon parcours.

À mes amis de Toujours

Zineb, Samah, Ghouzlan, Manel,Ahlam,Nesrin,Imen,Hidaya ,Roumaissa,Nadia et tous les amis de promotion de l'hydrogéologie

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

Une spéciale dédicace à cette personne qui compte déjà énormément pour moi, ton soutien m'ont permis de réussir mes études master. Ce travail soit témoignage de ma reconnaissance et de mon amour sincère et fidèle. . . *À toi mon fiançais Abed Raouf*

Dédie par : Asma

Dédicace

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,

L'amour, le respect, la reconnaissance...

Aussi, c'est tout simplement que

Je dédie ce mémoire...

À mes chers parents : Rachid, Djida

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

À mes chères et adorables sœurs et frère

Wafa, Rania, Warda, Nesrin, Khadija et mon frère Abd-elmoumem, et leur enfants : Aya, Aridj, Farah, Ritadj, Sohaibe, Mehdi, Ihebe et spécifiquement le petit poussin Moatasim beallah. Ils sont présents et disponibles dans tous les moments de la vie par leur soutien moral. Je leur souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité

Et toute la famille Bouaziz

À mon cher tante et ma deuxième Maman : Alkamela

À mes amis de Toujours

Zwina, Asma, Imen, Manel, Ghozlan, Nadia, Mohammed, Hidaya et tous les amis de promotion de master, À tous ceux qui me sont chers.

Une dédicace spéciale du cœur à la personne qui était avec moi dans les bons et les mauvais moments en m'apportant un soutien psychologique et financier, mon cher *fiancé Said*, ce travail représente un lien d'amour et de gratitude envers vous

Dédie par : *Samah*

Résumé

La plaine alluviale d'oued Nil est caractérisée par une abondance en eaux de surface et souterraine. Elles sont utilisées pour l'alimentation en eaux potables et en irrigation. Ce présent travail de master consiste à évaluer l'impact des rejets et des pratiques agricoles (pesticides) sur la qualité physico-chimiques des eaux de cette plaine. Pour atteindre cet objectif, nous avons interprété les données d'un suivi mensuel (janvier, avril, juin 2014).

L'analyse des quantités d'engrais chimiques et des pesticides utilisées dans l'agriculture montre que les engrais utilisés sont essentiellement les Urées et NPK et les pesticides Fongicides, Insecticides et Herbicides. Les quantités les plus élevées sont observées à la commune de Taher, ce qui présente un risque de pollution important pour les eaux de surface et souterraine.

Les résultats obtenus du suivi montrent une pollution par les ETM des eaux de surface par le plomb, probablement liée aux rejets urbains et des eaux souterraines par le plomb, le chrome et le cadmium, liée probablement à une origine anthropique.

Mots-clés: Oued Nil, ETM, contamination, pesticides, eau de surface, eau souterraine.

Abstract

The alluvial plain of Nil is characterized by an abundance of surface and groundwater. These waters are used for drinking water supply and irrigation.

This current master's thesis consists in evaluating the impact of discharges and agricultural practices (pesticides) on the physicochemical quality of the waters of the Wadi Nile plain. To achieve this goal, we interpreted the data from a monthly follow-up (January, April, June 2014).

Analysis of the amounts of chemical fertilizers and pesticides used in agriculture shows that the fertilizers used are mainly Urea and NPK, and pesticides Fungicides, Insecticides and Herbicides. The highest quantities are observed in the municipality of Taher, which presents a significant risk of pollution for surface and groundwater.

The results obtained from the monitoring show pollution by the ETM of surface water by lead, probably linked to urban discharges and of groundwater by lead, chromium and cadmium, probably linked to a natural origin.

Keywords: Nil Wadi, ETM, pollution, pesticide, surface water, groundwaters.

ملخص

يتميز سهل واد النيل بوفرة المياه السطحية و الجوفية. تستخدم هذه المياه لإمدادات مياه الشرب والري. تتكون أطروحة الماستر الحالية من تقييم تأثير التصريفات والممارسات الزراعية (المبيدات) على الجودة الفيزيائية والكيميائية لمياه سهل وادي النيل , لتحقيق هذا الهدف فسرنا البيانات من متابعة شهرية (يناير ، أبريل ، يونيو 2014). يوضح تحليل كميات الأسمدة الكيماوية والمبيدات الحشرية المستخدمة في الزراعة أن الأسمدة المستخدمة بشكل أساسي هي اليوريا والنيتروجين والبوتاسيوم ومبيدات الفطريات ومبيدات الحشرات ومبيدات الأعشاب. لوحظت أعلى الكميات في بلدية طاهير ، مما يشكل خطراً كبيراً لتلوث المياه السطحية والجوفية.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها من الرصد تلوّثاً بمعادن المياه السطحية عن طريق الرصاص ، والذي من المحتمل أن يكون مرتبباً بالتصريفات الحضرية والمياه الجوفية بالرصاص والكروم والكاديوم ، وربما يرتبط بأصل طبيعي.

الكلمات المفتاحية: وادي النيل ، المعادن ، تلوث ، مبيدات ، مياه سطحية ، مياه جوفية.

Table de Matière

Remerciement
 Dédicace
 Résumé
 Liste des figures
 Liste des tableaux
 Introduction générale..... 01

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1 Introduction..... 03
 I.2 Définition de la pollution et de la contamination..... 03
 I.2.1 Différents types de polluants 03
 I.3 Eléments traces métalliques (ETM) 04
 I.3.1.Définition 05
 I.3. 2. Différents Types des ETM..... 05
 I.3.3. Origine des éléments traces métalliques 05
 I.3 .4. Transport des éléments traces métalliques..... 06
 I. 3.4. Caractéristique, origine et toxicité des ETM 06
 I.4. Pesticides..... 16
 I.4.1. Définition 16
 I.4.2. Principales familles de pesticides 16
 I.4.3. Classifications des pesticides selon la structure chimique..... 17
 I.4.4. Mode d’action des pesticides 19
 I.4.5 Devenir et transfert des pesticides dans l’environnement..... 20
 I.4.6 Facteurs influant l’adsorption 22

Chapitre II : Présentation de la zone d’étude

II.1. Introduction 25
 II.2 Situation géographique 25
 II.3 Aspect géomorphologique 25
 II.4 Contexte Géologique 27
 II.4.1 Géologie locale 27
 II.4.1.1 Formations sédimentaires 27
 II.4.1.2 Formations métamorphiques 28
 II.4.2 Contexte Hydrogéologique..... 30

II.4.2.1 Formations perméables.....	30
II.4.2.2 Formations imperméables.....	31
II.3 Conclusion	31

Chapitre III : Etude climatologique

III.1. Introduction	32
III.2 Climat et pluviométrie de la wilaya de Jijel.....	33
III.3 Caractéristiques climatiques de la zone d'étude	33
III.3.1 Précipitations.....	33
III.3.2 Température	35
III.3.3 Evaporation	37
III.3.4 Humidité relative.....	38
III.4 Bilan hydrique	40
III.4.1 Estimation de l'évapotranspiration	40
III.4.2 Détermination du ruissellement et de l'infiltration	42
III.5 Conclusion.....	43

Chapitre IV : Matériel et méthodes

IV.1. Introduction.....	44
IV.2. Contexte de travail	44
IV.3. Source des données	44
IV.4. Localisation des sites de prélèvement d'eau	44
IV.5. Choix du pas de temps de prélèvement.....	45
IV.6. Techniques de prélèvement.....	46
IV.7. Mesures in situ	46
IV.8. Analyse des éléments chimiques au laboratoire	46

Chapitre V : Résultats et discussion

V.1 Pesticides	47
V.1.1 Engrais chimiques et pesticides.....	47
V.1.1.a Quantités des engrais et pesticides utilisé dans le bassin versant d'oued Nil	47
V.1.1.b Quantités des engrais et pesticide utilisés dans la plaine alluviale d'oued Nil	49
V.1.2 Conclusion	51
V.2 Eaux de surface.....	52
V.2.1 Stations de prélèvements	52
V.2.2 Caractéristiques physico-chimiques et qualité des eaux d'oued Nil	52

V.2.3 Relation entre les caractéristiques physico-chimiques des eaux	54
V.2.3.a. Matrice de corrélation.....	54
V.2.3.b. Analyse en Composantes Principales (ACP)	56
V.2.3.c. Evolution spatio-temporelle des caractéristiques physico-chimiques	57
V.2.4 Conclusion.....	61
V.3 Eaux souterraines	61
V.3.1. Stations de prélèvements	61
V.3.2 Caractéristiques physico-chimiques et qualité des eaux d'oued Nil	62
V.3.3.c Evolution spatio-temporelle des caractéristiques physico-chimiques	63
V. 4 Conclusion.....	78
Conclusion générale	79

Liste des Figures

Chapitre I : Etude bibliographique

Fig.1 : Origine des éléments traces métalliques dans le sol (Hammadache.z et *al* ; 2016). 06

Fig. 2 : Diagramme Eh-pH pour un partie de système Fe-O-H les activités supposées des espèces dissoutes sont : $Fe=10^{-6}$ (Douglas.g ; 1988) 08

Fig. 3 : Diagramme pH- Eh pour une partie de système Cd-C-S-O-H.les activités Supposées des espèces dissoutes sont : $Cd=10^{-8}$, $S=10^{-3}$, $C=10^{-3}$ (Douglas.g ; 1988) 10

Fig.4 : Diagramme pH-Eh pour un partie de système Pb-S-C-O-H (Douglas.g ; 1988)les activités supposées des espèces dissoutes sont : $Pb=10^{-6,-8}$, $S=10^{-3}$, $C=10^{-3}$ (Douglas.g ; 1988) 12

Fig.5 : Diagramme pH-Eh pour un partie de système Zn-O-H-S-C. les activités supposées des espèces dissoutes sont : $Zn=10^{-6,-4}$, $S=10^{-3}$, $C=10^{-3}$ (Douglas.g ; 1988)..... 14

Fig.6 : Diagramme pH- Eh pour un partie de système Cu-C-S-O-H. Les activités supposées des espèces dissoutes sont : $Cu=10^{-6}$, $S=10^{-3}$, $C=10^{-1,-3}$ (Douglas.g ; 1988)..... 15

Fig.7: Mécanismes de transferts et de transformations des pesticides dans L'environnement 22

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Fig. 8 : Situation administrative de la plaine alluviale de l'oued Nil..... 25

Fig. 9: Carte d'altitude du bassin versant..... 26

Fig. 10 : Esquisse géologique de la région d'oued Nil..... 29

Fig. 11 : Coupe géologique de la région d'oued Nil..... 30

Fig. 12 : Log-stratigraphique des formations..... 31

Chapitre III : Etude climatologique

Fig. 13 : Position de la station climatologique de Taher-Achouat. 32

Fig. 14 : Carte pluviométrique de la willaya de Jijel. 33

Fig. 15: Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station Taher Achouat (1988-2015). 34

Fig.16 : Variation des précipitations moyennes annuelles à la Station Taher Achouat (1988-2015). 35

Fig.17 : Variation des températures moyennes mensuelles à la Station Taher Achouat

(1988-2015).	36
Fig.18 : Variation des températures moyennes annuelles à la Station Taher Achouat	
(1988-2015).	36
Fig.19: Variation d'évaporation moyenne mensuelle à la Station Taher Achouat	
(1991-2008).	37
Fig.20: Variation d'évaporation moyenne annuelle à la Station Taher Achouat	
(1991-2008).	37
Fig.21 : Variation d'humidité relative moyenne mensuelle à la Station Taher Achouat	
(1991-2008).	38
Fig. 22: Variation d'humidité relative moyenne annuelle à la Station Taher Achouat	
(1991-2008).	39
Fig. 23: Diagramme Ombro-thermique de la plaine d'Oued Nil (1988-2015).	39

Chapitre IV : Matériel et méthodes

Fig.24 : Localisation des stations de prélèvement.....	45
--	----

Chapitre V : Résultats et discussion

Fig.25 : Présentation administrative du BV d'oued Nil avec la position des communes...	47
Fig. 26 : Quantités des engrais et pesticides utilisés dans le BV	48
Fig.27 : Quantités des engrais et pesticides utilisés dans la plaine	50
Fig.28 : Situation des stations d'échantillonnage des eaux de surface d'oued Nil.....	52
Fig.29: Analyse en composante principale de la chimie des eaux d'oued Nil.....	56
Fig.30 : Evolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques.....	58
Fig.31: Evolution spatio-temporelle des éléments majeurs.....	59
Fig.32: Evolution spatio-temporelle des éléments traces métalliques.....	60
Fig.33: Situation des stations d'échantillonnage des eaux souterraines d'oued Nil.....	61
Fig.34: Evolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques.....	65
Fig.35: Evolution spatio-temporelle des éléments majeurs.....	66
Fig.36 : Evolution spatio-temporelle des éléments traces métalliques.....	67

Liste des tableaux

Chapitre I : Etude bibliographique

Tab.1 : Déférents types des polluants	03
Tab.2 : Principales familles de pesticides.....	16
Tab.3 : Différentes familles chimiques de pesticides.....	18

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tab.4 : Principales montagnes dans la zone d'étude.....	26
--	----

Chapitre III : Etude climatologique

Tab.5 : Caractéristiques géographiques de la station climatique d'Achouat.....	32
Tab.6 : Calcul de l'ETP suivant la formule de CW.Thornthwaite.....	41
Tab.7 : Bilan hydrologique pour une période de 27 ans.	42
Tab.8 : Calcul de l'infiltration.....	43

Chapitre IV : Matériel et méthode

Tab.9 : Calendrier des prélèvements des eaux de surface et souterraine.....	45
--	----

Chapitre V : Résultats et discussion

Tab.10 : Concentration et statistiques des paramètres physico-chimiques des eaux d'oued Nil.....	53
Tab.11 : Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques et des éléments majeurs (9 individus)	55
Tab.12 : Tableau Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques, des éléments majeurs et des ETM (6 individus)	55
Tab.13 : Concentration et statistiques des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines d'oued Nil.....	63



Introduction générale

Introduction générale

L'eau est la ressource naturelle la plus importante pour toutes les formes de vie et la plus menaçante étant donné l'expansion des unités industrielles et agricoles le long des rivières et des lacs. Les rejets non traités de ces unités ont conduit à la pollution des eaux et la destruction des écosystèmes et qui ont rendu une grande partie des ressources en eaux inexploitable.

Parmi les polluants les plus dangereux pour la santé humaine, on trouve les éléments traces métalliques et les pesticides. Ils ont fait l'objet de plusieurs travaux de recherche dont l'objectif est d'identifier leur origine, risque.

En Algérie, l'eau est une denrée très rare qu'il faut économiser et préserver. Malheureusement, dans plusieurs régions, les rejets non traités ont produit la détérioration de la qualité de plusieurs eaux de surface et souterraine. Afin de connaître la qualité actuelle des eaux d'oued Nil, ce présent travail a été mené, dans lequel, on essaiera d'étudier la pollution des eaux de surface et souterraine de la plaine alluviale d'oued Nil par les éléments traces métalliques et les pesticides. Pour atteindre ce but, nous avons réparti notre mémoire en cinq chapitres :

- Chapitre I « étude bibliographie » : il a pour objectif dans un premier temps à donner un rappel bibliographique sur les définitions et les différents types de pollution, puis un rappel plus détaillé (origine, mobilité et spéciation) de cinq éléments traces métalliques (fer, cadmium, plomb, zinc et cuivre) et des pesticides.
- Chapitre II « Présentation de la zone d'étude » : il a pour objectif de donner un aperçu général de la position de la zone d'étude de point de vue administrative, géomorphologique et géologique.
- Chapitre III « Etude climatologique » : il est consacré à la présentation de la zone d'étude de point de vue climatique et de quantifier les hauteurs d'eau des différents composants du bilan hydrologique (précipitations, évapotranspiration, ruissellement et infiltration).
- Chapitre IV « Matériel et méthodes » : l'intérêt de ce chapitre est de présenter la méthode que nous avons utilisé pour le choix des sites et de la période de prélèvement, les méthodes utilisées pour réaliser les analyses chimiques.
- Chapitre V « Résultats et discussion » : c'est le chapitre le plus important où nous représentons l'ensemble des résultats obtenus de cette étude. Au début nous présentons les caractéristiques physico-chimiques et la qualité des eaux superficielles et souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil, puis nous effectuons une analyse statistique (matrice de corrélation et analyse en

composantes principales (ACP)) sur les données chimiques afin de dégager les relations possibles entre les variables et les individus et de déterminer les origines possibles de ces éléments chimiques.

Enfin, on conclura notre mémoire par la conclusion générale, dans laquelle on présentera les résultats principaux obtenus de cette étude.



Chapitre I : Etude bibliographique

I.1 Introduction

La pollution des eaux est un phénomène qui augmente d'une manière exponentielle. Chaque jour des nouveaux rejets se joutent dans les cours d'eau et de nouvelle ressource en eau sera polluée et devenue un risque pour l'écosystème et pour l'être humain. Ce risque augmente en fonction de la nature du polluant. Dans cette partie bibliographique, nous allons présenter les différentes définitions et types de polluants ainsi qu'une présentation détaillée des risques, de la mobilité et de la spéciation des ETM et des pesticides.

I.2 Définition de la pollution et de la contamination

Les définitions des termes *pollution* et *contamination* sont nombreuses mais elles convergent toutes vers les notions présentées ci-dessous (in Noël Aubertot et al. 2005).

- Le terme *pollution* désigne « l'introduction directe ou indirecte, par suite de l'activité humaine, de substances ou de chaleur dans l'air, l'eau ou le sol, susceptible de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité des écosystèmes aquatiques ou des écosystèmes terrestres ». Selon cette définition, la présence de substances est considérée comme polluante si elle atteint un seuil pour lequel des dommages sont susceptibles de se produire.
- La *contamination* désigne « la présence anormale de substances, de micro-organismes, d'objets, ou d'êtres vivants ». Cette définition fait intervenir la notion de normalité de la présence de substances dans un milieu donné. En revanche, ce terme n'intègre pas la manifestation d'effets potentiels liés à cette présence.

I.2.1 Différents types des polluants

Les polluants étudiés ici concernant seulement les substances chimiques organiques (hydrocarbures, solvants, phytosanitaires...), organominéraux ou inorganiques (métaux lourds, nitrates, ...). Selon Lemièrre et al. (2008), les polluants peuvent être classés en plusieurs types et avoir des comportements différents et qui peuvent être classés comme dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1: Différent type des polluants (Lemièrre et al. 2008)

Produit	Type de polluant	Comportement
Métaux lourds et métalloïdes associés	V Cr Mn Co Ni Cu Zn Ag Cd SnHg Tl Pb Bi As Se Sb Te	Les métaux et métalloïdes lourds sont présents de façon naturelle dans les sols. Ils proviennent en grande partie de l'altération de la

		roche mère du sous-sol. Toutefois, les concentrations les plus importantes rencontrées dans les sols sont liées à l'activité humaine.
Anioniques et autres	Nitrates, Sulfates, Nitrites Fluorures - Chlorures – Cyanures	/
Composés organo-minéraux	Plomb organiques, composés organostanniques, organo-mercuriels, pigments « organiques » industriels	/
Hydrocarbures pétroliers ou huiles minérales type carburants, combustibles	essence, diesel, fuel, naphta, pétrole brut, base de la chimie de synthèse, solvants industriels, huiles de coupe	Le comportement environnemental et l'état physique dépendent du nombre de carbone et de la structure des molécules : gaz, liquides volatiles (BTEX, certains CAV), liquides peu volatils et visqueux, cires solides.
Produits organiques industriels	Bases de la chimie de synthèse, intermédiaires de production, produits finaux. Solvants industriels, dégraissants. Goudrons de houille et eaux résiduaires de lavage des gaz. Huiles chlorées de transformateurs.	Groupe de composés très hétérogène du point de vue comportement
Phytopsanitaires	Herbicides, insecticides, acaricides, raticides et fongicides	Principale source de pollution diffuse, d'origine agricole, dans l'environnement. Pollution ponctuelle au droit d'anciens sites de production et/ou de stockage. Anciennes décharges chimiques.
Autres	Tensioactifs	Tensioactifs en produits pur ou en adjuvants (exemple du tributylphosphate des huiles de coupe) PEP et SVOC en solides cristallisés à l'état Pur ou en huiles peu volatiles.

I.3 Eléments traces métalliques (ETM) :

Les ETM sont présents dans la nature avec des faibles concentrations et qui ne représentent pas de risque sur la santé humaine. Mais lorsqu'ils dépassent certaines concentrations, suite à des apports anthropiques ou naturels, deviendront dangereuses. Dans ce sous-chapitre, nous allons présenter les définitions, les types, les origines et les risques des ETM.

I.3.1. Définition :

Les éléments traces métalliques (ETM) sont les 80 éléments constituant de la croûte terrestre, dont la concentration est inférieure à 0,1% (Kebir, 2012).

Les éléments traces métalliques sont généralement définis comme des métaux lourds. Cependant, la classification en métaux lourds est souvent discutée car certains métaux toxiques ne sont pas particulièrement lourds, tandis que certains éléments toxiques ne sont pas des métaux. Ce terme générique désigne donc indistinctement des métaux et métalloïdes réputés toxiques. Pour ces différentes raisons, l'appellation « éléments traces métalliques » -ETM- ou par extension « éléments traces » est préférable à celle de métaux lourds (Burnol et al, 2006).

I.3.2. Types des ETM

En fonction de leurs effets physiologiques et toxiques, on peut distinguer deux types :

I.3.2.a ETM essentiels : ce sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (Loué, 1993). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe) (Kabata-Pendias et Pendias, 2001).

I.3.2.b ETM toxiques : Ils ont un effet toxique sur les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd) (Adriano, 1986, Fergusson, 1980 in Benhame, 2016).

I.3.3. Origine des ETM

Il existe deux origines principales :

I.3.3.a. Naturelle : Les ETM sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fonds géochimique (Bourrelie et Berthelin, 1998 in Hammadache et al., 2016).

Parmi les importantes sources naturelles, citons l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies de forêts. La contribution des volcans peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma (AFNOR, 1988 in Hammadache et al, 2016).

I.3.3.b. Anthropique : Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux

d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes. (Weiss et al, 1999 in Hammadache et al,2016).

Les sources anthropiques importantes proviennent de la combustion de combustibles fossiles, l'incinération des ordures ménagères et industrielles, les industries du ciment et les fonderies, l'entretien des routes, le chauffage et le trafic automobile (combustion du carburant), la corrosion des véhicules, l'abrasion des freins et pneumatiques et la dégradation des pots catalytiques ont conduit à une augmentation de leurs concentrations dans les compartiments environnementaux (air, eau, sol) (Lamprea,2009).

Parmi les différents éléments métalliques émis dans l'environnement lors des activités anthropiques, le zinc, le plomb, le chrome, le cadmium, le cuivre et le nickel sont les plus couramment mesurés dans les études environnementales en raison de la diversité des sources d'émission (Lamprea, 2009)

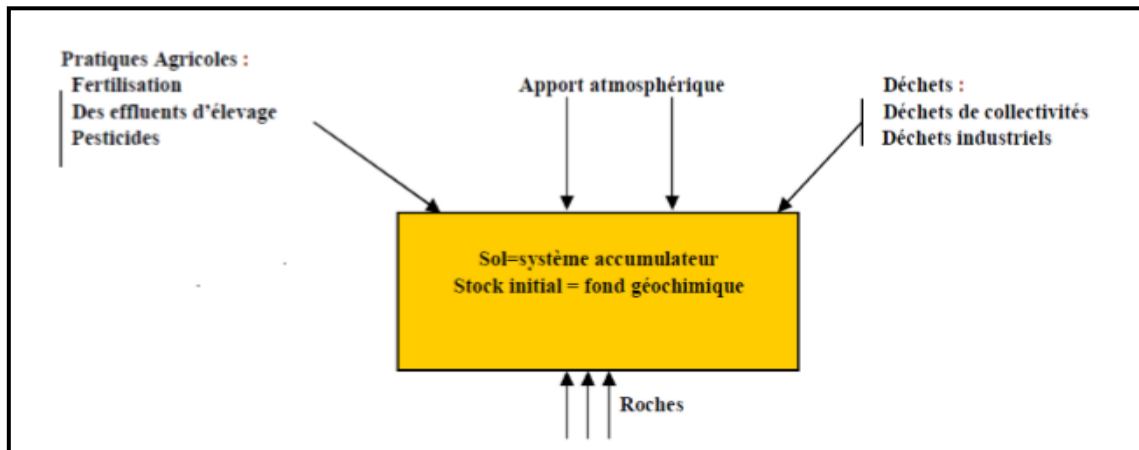


Figure 1 : Origine des éléments traces métalliques dans le sol (Hammadache et al., 2016).

I.3.4. Transport des ETM

Les ETM se libèrent de leur milieu, soit par des processus naturels (ex. altération) ou anthropiques (ex. exploitation minière). Ils peuvent être transportés par voie éolienne via des aérosols ou par voie aqueuse via l'eau. La concentration des ETM dans l'eau, les matières en suspension ou les sédiments de fond des cours d'eau est un paramètre important pour caractériser leurs impacts sur les organismes terrestres et aquatiques (Alloway et Ayres, 1997 in Salvarredy Aranguren, 2008).

I.3.4. Caractéristique, origine, toxicité et spéciation des ETM

Dans cette partie, nous développons seulement les caractéristiques de 5 ETM qui seront après utilisés dans l'étude de cas (plaine alluviale d'oued Nil).

I.3.4.a. Le Fer

Le fer est un élément chimique, de symbole Fe et de numéro atomique 26. Il est l'isotope le plus stable de tous les éléments chimiques, car il possède l'énergie de liaison par nucléon la plus élevée (Mahan, 1987 *in* Salvarredy Aranguren, 2008).

✓ **La source :**

Le fer peut être entraîné dans les eaux par diverses voies dont principalement la dissolution superficielle des roches, le lessivage des terrains miniers, les rejets industriels qui se jettent directement dans les eaux ou bien dans l'atmosphère et les particules émises retombant à la surface de la terre avec les pluies (Belabed, 2010).

✓ **La toxicité :**

Le fer est un oligo-élément indispensable à la vie et, de ce fait, il est indispensable dans le régime alimentaire de l'homme et des mammifères; néanmoins sa présence à de trop fortes concentrations dans l'eau, si elle ne présente pas de problèmes de toxicité entraîne divers inconvénients : goût et odeur désagréable et plus particulièrement dans les systèmes de distribution d'eau, des dépôts dans les canalisations favorisant le développement de bactéries filamenteuses dont la présence peut être gênante dans certaines eaux à usage industriel ; dans bien des cas un prétraitement de l'eau devra être appliqué afin d'éliminer le fer (Belabed,2010).

✓ **La spéciation :**

Le passage de la forme Fe^{2+} à la forme Fe^{3+} s'accroît dans le cas d'une augmentation de pH ou d'une élévation de la pression d'oxygène dans le sol. En dehors du véhicule organique c'est donc l'acidité et le manque d'aération qui peuvent faciliter le transfert de ce métal dans le sol (Duthil, 1973 *in* Khellaf et Mechakkef, 2015)

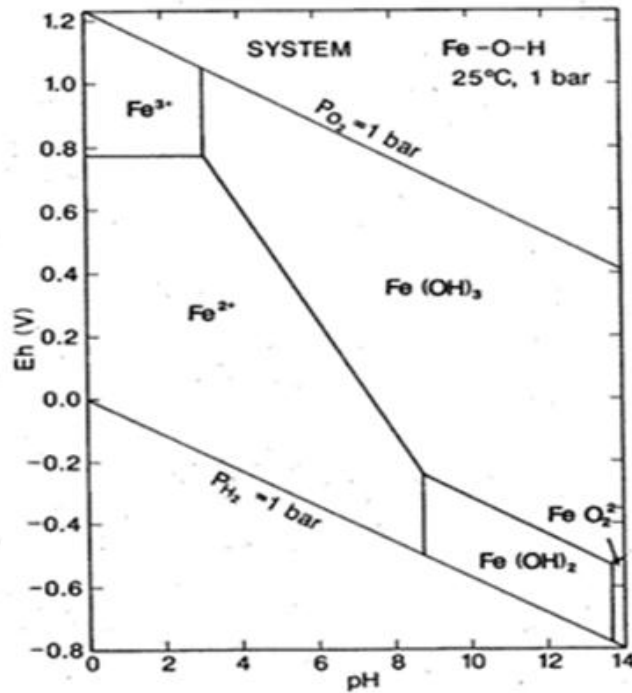


Figure 2: Diagramme Eh-pH pour une partie de système Fe-O-H. Les activités supposées des espèces dissoutes sont : $Fe=10^{-6}$ (Douglas, 1988).

I.3.4.b. Le cadmium :

Dans la nature, le cadmium est l'un des rares éléments de la biosphère. Sa concentration moyenne dans la croûte terrestre est de l'ordre de 0,15 $\mu\text{g/g}$ (Levesque, 1980 *in* Amiour, 2014). Il ternit au contact de l'air (Callender, 2003 *in* Salvarredy Aranguren, 2008).

Le cadmium est un élément chimique de symbole Cd et de numéro atomique 48 ayant des propriétés physiques proches de celles du Zn (Sarkar et al, 2002 *in* El Idrissi, 2009). On rencontre en général le Cd à l'état de sulfure et il est souvent présent comme impureté dans le minerai de Zn appelé sphalérite (Lymburner, 1974 *in* El Idrissi, 2009).

✓ **La source :**

Le cadmium serait présent dans toutes les roches, mais de façon prépondérante dans les roches sédimentaires et plus particulièrement dans celles riches en carbone, sulfures et phosphates (Baize, 1997 *in* Amiour, 2014).

Le cadmium est également présent dans des minerais de plomb et de cuivre, ainsi que dans des phosphates naturels (Hurlbut et Klein, 1982). Dans les eaux naturelles l'ion Cd^{2+} prédomine au-dessous de pH 8, CdCO_3 est prédominant entre les pH de 8 à 10 unités (Hem, 1972 *in* Salvarredy Aranguren, 2008).

Les principales sources d'exposition au cadmium de la population générale sont :

- la nourriture : le Cd est présent de façon importante dans certains aliments comme les fruits de mer, les abats, certaines céréales (riz, blé, etc.), les champignons et les légumes et, dans une moindre mesure, dans le poisson, les fruits et la viande (F.A.O/W.H.O)
- l'eau : l'apport de cadmium dans l'eau de boisson est en général inférieur à 0,1 µg/l (F.A.O/W.H.O)

✓ **La toxicité :**

Le cadmium peut en particulier occuper des sites actifs du zinc dans les enzymes et perturber les mécanismes qui en dépendent. Il est donc toxique, cumulatif (Noppe, 1996 *in* Amiour, 2014). Cependant, le cadmium présente des risques pour le consommateur humain même à de faibles concentrations, il tend à s'accumuler dans le cortex rénal sur de très longues périodes et à provoquer des dysfonctionnements urinaires chez les personnes âgées (Proulhac et Marrec, 2012 *in* Amiour, 2014). Il perturberait aussi l'intégrité des membranes cellulaires via la peroxydation des lipides (Lavoie, 2012 *in* Amiour, 2014).

L'exposition chronique au Cd est associée au développement de fibrose, de pneumonie, du cancer du poumon et d'emphysème pulmonaire chez l'humain (Bonnel, 1955 ; Leduc et al, 1993 ; Chambers et al, 1994 ; Fernandez et al, 1996 *in* El Idrissi, 2009). L'emphysème est souvent accompagné de troubles rénaux incluant l'excrétion de protéines à faible poids moléculaire dans l'urine (Friberg et al, 1974 *in* El Idrissi, 2009). L'inhalation de chlorure de Cd cause le cancer du poumon chez le rat (Takenaka et al, 1993 *in* El Idrissi, 2009). Les cancers observés, surtout en milieu professionnel, touchent le tractus respiratoire (poumons, nasopharynx) et éventuellement la prostate et le rein (Beton et al, 1996 *in* El Idrissi, 2009). Étant un cancérigène reconnu chez l'homme, le Cd est considéré comme l'un des métaux les plus préoccupants pour la santé humaine.

✓ **La spéciation :**

Dans les eaux souterraines, selon la composition de l'eau il peut aussi précipiter en tant que carbonate de cadmium (CdCO_3) ou d'hydroxyde de cadmium (formule chimique CdOH_2).

Comme pour tous les métaux cationiques, le comportement du cadmium dans le sol est fortement contrôlé par le pH. Dans les conditions acides, la solubilité du cadmium augmente et une légère adsorption de ce métal par des colloïdes du sol, des hydroxydes ou de la matière organique peut se produire. A des pH supérieurs à 6, le cadmium est adsorbé par la phase solide ou précipite et les concentrations en solution du cadmium sont fortement diminuées.

L'hydrolyse du cadmium commence à des pH élevés. La concentration de cet élément dans un milieu aqueux est limitée par différentes phases solides stables en fonction du pH, du potentiel redox et de la composition de l'eau.

Dans des conditions oxydantes, la phase solide prédominante la plus stable est: l'otavite ($\text{CdCO}_3(\text{s})$) à des pH neutres ; une phase mixte de sulfate/hydroxyde à des pH plus alcalins ; un hydroxyde à des pH plus élevés.

Dans des conditions réductrices, $\text{CdS}(\text{s})$ est la phase la plus stable contrôlant la solubilité de ce métal. La formation de cette phase solide dans des conditions réductrices est néanmoins limitée par la présence de bactéries sulfato-réductrices. Si la réduction de sulfates en sulfures ne se produit pas, la concentration en cadmium correspond alors à la concentration en Cd^{2+} libre pour des pH neutres et est limitée par la phase solide hydroxyde à des pH alcalins.

Le cadmium forme des complexes solubles avec les chlorures (Cl^-) ce qui accroît sa mobilité. En effet, la solubilité des carbonates de cadmium augmente quand la concentration en chlorures augmente. (Burnol *et al.*, 2006)

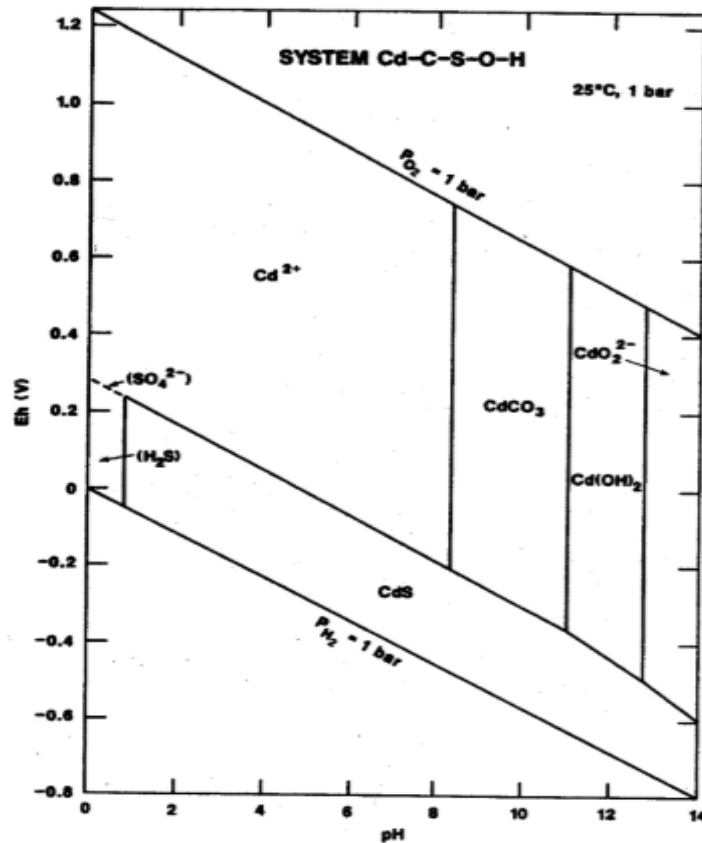


Figure 3:Diagramme pH- Eh pour un partie de système Cd-C-S-O-H.

les activités supposées des espèces dissoutes sont : $\text{Cd}=10^{-8}$, $\text{S}=10^{-3}$, $\text{C}=10^{-3}$ (Douglas, 1988).

I.3.4.c. Le Plomb (Pb)

Le plomb est un élément chimique de la famille des cristallogènes, de symbole Pb et de numéro atomique 82. Il possède 4 isotopes (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb et ^{208}Pb).

Le plomb existe sous forme métallique, inorganique, et organique. Il prend une forme inorganique lorsqu'il est associé à certains composés pour former des sels de plomb (chlorure, nitrate, oxyde, phosphate et sulfate). Le plomb organique se présente sous forme de plomb tétra méthyle et tétra éthyle ; ces deux composés étaient utilisés pour augmenter l'indice d'octane dans l'essence (Storelli et *al.*, 2010 *in* Chahid, 2016)

✓ **La source :**

Les apports naturels de plomb dans l'environnement ne représentent qu'environ 4% des émissions totales et se font essentiellement sous forme inorganique (FAO ,2014 ; ANSES, 2015 *in* Chahid, 2016). Les émissions de cet élément sont donc notamment liées à des activités anthropiques, l'industrie minière, la métallurgie et la sidérurgie représentant environ 80% des émissions de Pb dans l'environnement (ANSES, 2015 ; EFSA, 2010 *in* Chahid, 2016)).

✓ **La toxicité :**

Le Pb constitue par ailleurs un poison du système nerveux et peut provoquer des dommages irréversibles dans le développement de l'enfant (Roeckx, 1986 *in* El Idrissi, 2009). Les conséquences sont surtout marquées au cours de deux périodes critiques : la petite enfance car l'absorption de Pb est beaucoup plus importante qu'à l'âge adulte, et la vieillesse, car le Pb fixé dans les os est alors relargué dans le sang. Chez l'enfant, le Pb est à l'origine du saturnisme, maladie qui provoque des troubles de comportement avec un retard de développement mental et physique (Chanel et *al.*, 1999 *in* El Idrissi, 2009).

L'exposition des animaux à des sels de Pb est capable d'induire le cancer (Azar et al., 1973; Kobayashi et Okamoto, 1974; Poirier et al., 1984; Koller et al., 1986; Mikalsen, 1990; Waalkes et *al.*, 1995 *in* El Idrissi, 2009).

✓ **La spéciation :**

Le Pb introduit dans le sol ne subit que peu de transformation et migre relativement peu à travers les différents horizons. Etant peu mobile, il reste généralement fixé à la partie supérieure du sol. Il n'est pas entraîné en profondeur par le lessivage, il en résulte un gradient de concentration selon la profondeur. Le Pb serait le micropolluant métallique le moins mobile dans le sol. Ainsi dans la gamme de pH de 5 à 9 et à concentration totale identique le Pb serait 100 fois moins mobile que le Cd.

Le plomb soluble ajouté au sol réagit avec des argiles, phosphates, sulfates, carbonates, hydroxydes et la matière organique, si bien que la concentration du plomb en phase aqueuse est fortement diminuée. Pour des pH supérieurs à 6, le plomb est soit adsorbé à la surface des argiles soit sous forme de carbonate de plomb.

Le plomb existe sous deux états de valence : +2 et +4. A cause de son caractère basique, cet élément ne s'hydrolyse qu'à des pH neutres ou alcalins.

La chimie aqueuse de ce métal est principalement contrôlée par les espèces carbonatées et hydrolysées.

Les phases solides thermodynamiquement les plus stables dans des conditions oxydantes sont les carbonates pour des pH proches de la neutralité et des hydroxydes dans des conditions plus alcalines. Dans des conditions réductrices, les concentrations en plomb présente dans les eaux souterraines sont limitées par la solubilité de la phase solide hydroxyde, ou, dans certains cas, du plomb métallique, qui présente une stabilité élevée dans des conditions réductrices. (Burnolet *al.*,2006)

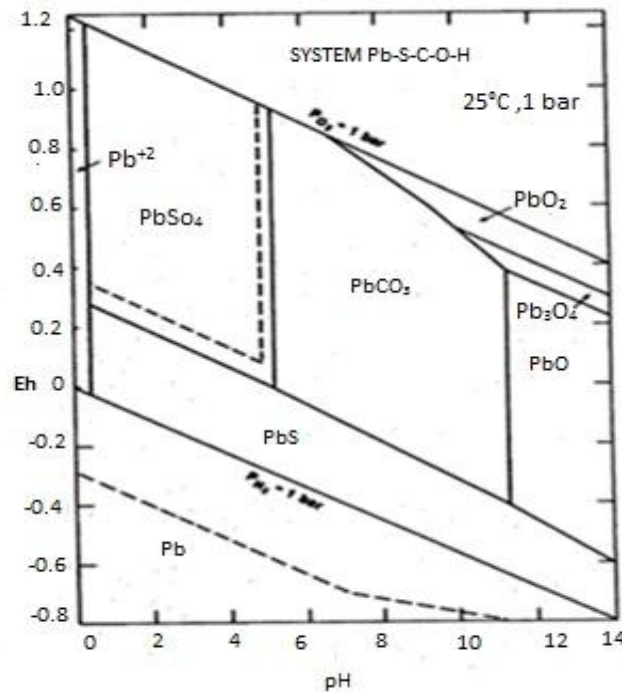


Figure 4: Diagramme pH-Eh pour un partie de système Pb-S-C-O-H.

Les activités supposées des espèces dissoutes sont : $Pb=10^{-6}$, $S=10^{-3}$, $C=10^{-3}$. (Douglas ,1988).

I.3.4.d. Le zinc :

Le zinc est un élément naturellement présent dans l'écorce terrestre principalement sous forme de sulfure, dans les roches magmatiques, les sédiments argileux et les schistes (Oursale,2013).

Le zinc est un métal, de symbole Zn et de numéro atomique 30, moyennement réactif, qui se combine avec l'oxygène de l'air pour former une couche d'oxyde blanc imperméable. Les teneurs en Zn dans les sols non contaminés sont généralement les plus élevées de tous les ETM.

✓ **La source :**

Les émissions dans l'environnement peuvent avoir une origine naturelle (érosion, volcanisme, feux de forêts), mais les principaux apports sont anthropiques (sources minières et industrielles, épandages agricoles, sources urbaines, peintures anti-fouling, ...) (Oursale, 2013).

Les sources naturelles de zinc dans l'environnement sont l'altération de roches (56%), le volcanisme (22%) et la végétation (Lantzy et Mc Kenzie, 1979 ; Phelan et al, 1982 ; Horowitz, 1985). Cependant, Nriagu (1991;1996) in Salvarredy Aranguren (2008) a calculé que ces sources naturelles ne représentent qu'environ 7% des émissions totales de cet élément dans l'environnement, étant donné que la production et le traitement de minerai et les activités industrielles représenteraient 75% et 18% respectivement, des émissions du Zn dans le milieu naturel.

✓ **La toxicité :**

Principaux effets d'un excès du zinc dans l'organisme s'expliquent par les interférences de cet élément avec les métabolismes du cuivre et du fer principalement d'où des signes d'anémie (Underwood, 1977 cité par Cassereau, 2001).

Par ailleurs le zinc peut avoir des effets protecteurs vis-à-vis d'autres métaux. Ainsi le zinc protègerait des effets du cadmium en stimulant la synthèse de métallothionéines. De même, le zinc limite les effets inhibiteurs du plomb sur l'alanine déshydrogénase des hématies (Benhamed, 2016).

✓ **La spéciation :**

Le zinc est facilement adsorbé par les minéraux argileux, les carbonates ou hydroxydes. La précipitation n'est pas un mécanisme majeur de rétention de Zn dans les sols à cause de la solubilité élevée des composés de Zn. En tant que métal cationique, l'adsorption de Zn augmente avec le pH. Le zinc s'hydrolyse à $\text{pH} > 7,7$ et les espèces hydrolysées sont fortement adsorbées sur les surfaces du sol. Cependant, le zinc peut également former des complexes avec les ligands organiques et inorganiques ce qui diminue les réactions d'adsorption.

En milieu aqueux, le zinc existe seulement à l'état d'oxydation divalent Zn(II). Du fait de son caractère basique, l'hydrolyse de Zn^{2+} en milieu acide ou proche de la neutralité est faible voire inexistante. Dans des conditions oxydantes, acides et proches de la neutralité la solubilité du zinc peut être contrôlée par le carbonate. L'hydroxyde solide peut précipiter à des $\text{pH} > 8$ et donc être prépondérant dans des milieux basiques. (Burnolet *al.*, 2006).

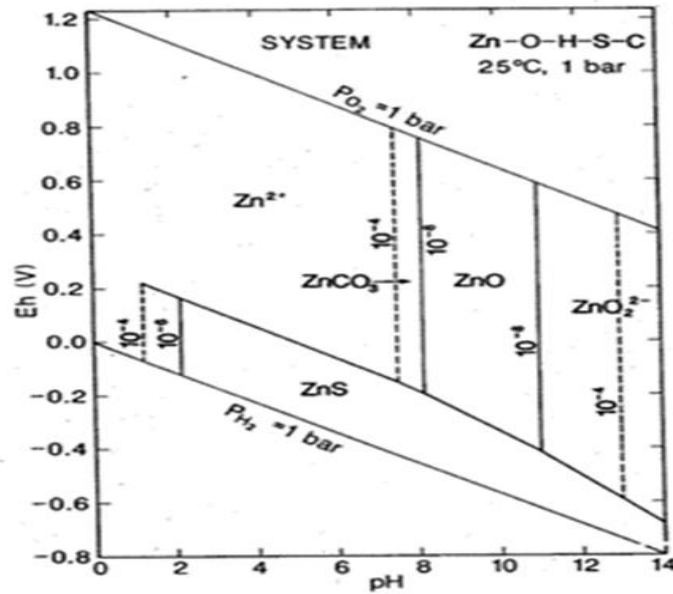


Figure 5:Diagramme pH-Eh pour un partie de système Zn-O-H-S-C

les activités supposées des espèces dissoutes sont : $Zn=10^{-6}$, $S=10^{-3}$, $C=10^{-3}$ (Douglas, 1988).

I.3.4.e. Le cuivre :

Le cuivre est l'un des métaux les plus employés à cause de ses propriétés physiques et de sa conductibilité électrique et thermique. Le cuivre est un élément chimique métallique de symbole Cu et de nombre atomique 29. Le cuivre est un élément chalcophile qui se trouve associé à des sulfures, avec le plomb, le cadmium et le zinc. Il est habituellement présent en petites quantités dans des minerais de zinc. La composition moyenne de la croûte terrestre en cuivre serait comprise entre 45 et 70 mg/kg (Burnol et *al.*, 2006)

✓ La source :

Le cuivre est présent dans l'environnement de manière ubiquiste. Sa concentration dans l'écorce terrestre est estimée à environ 70 mg/kg. Le transport par le vent des poussières de sol, les éruptions volcaniques, les décompositions végétales, les feux de forêts et les aérosols marins constituent les principales sources naturelles d'exposition. Les principales sources anthropiques sont l'industrie du cuivre et des métaux en général, l'industrie du bois, l'incinération des ordures ménagères, la combustion du charbon, d'huile et d'essence et la fabrication de fertilisants (phosphate) (Benhamed, 2016).

✓ La toxicité :

Les concentrations excessives, le cuivre agit sur la réaction primaire de la photosynthèse, et affecte l'assimilation du carbone inorganique par la plante. Le cuivre inhibe la photosynthèse, mais aussi la division cellulaire (Gilbin, 2001). L'une des conséquences négative du cuivre est la diminution de l'incorporation des acides aminés par les bactéries (Ross, 2008).

✓ **La spéciation :**

Le cuivre est retenu dans les sols par des mécanismes d'échanges et d'adsorption. Aux concentrations retrouvées dans les sols naturels, les précipités de cuivre sont instables.

Cavallaro et McBride (1978), ont suggéré qu'une phase minérale argileuse pouvait servir de stock au Cu dans des sols non calcaires. Dans des sols calcaires, l'adsorption spécifique du cuivre sur des surfaces de CaCO_3 peut contrôler les concentrations en cuivre en solution (Cavallaro et McBride, 1978 ; Dudley *et al.*, 1988, 1991).

Le cuivre est adsorbé de manière importante par les sols, plus que les autres métaux. La spéciation a un rôle important dans la biodisponibilité du cuivre. En ce qui concerne la spéciation aqueuse, les degrés d'oxydation +1 et +2 peuvent exister, selon les conditions et la composition de l'eau souterraine. Dans des environnements oxydants, la disponibilité du cuivre est donnée par la solubilité de la phase carbonatée ou des phases (hydr)oxyde, selon le pH de l'eau souterraine. Dans des conditions légèrement réductrices pour lesquelles des sulfures peuvent être présents, Cu_0 ou Cu_2S (très peu solubles) se formeront facilement. La formation de la phase solide sulfure dans des conditions réductrices est limitée par la présence de bactéries sulfato-réductrices, qui peuvent réduire les sulfates présents dans les eaux (faibles cinétiques de réduction en l'absence de ces micro-organismes). (Burnol *et al.*, 2006).

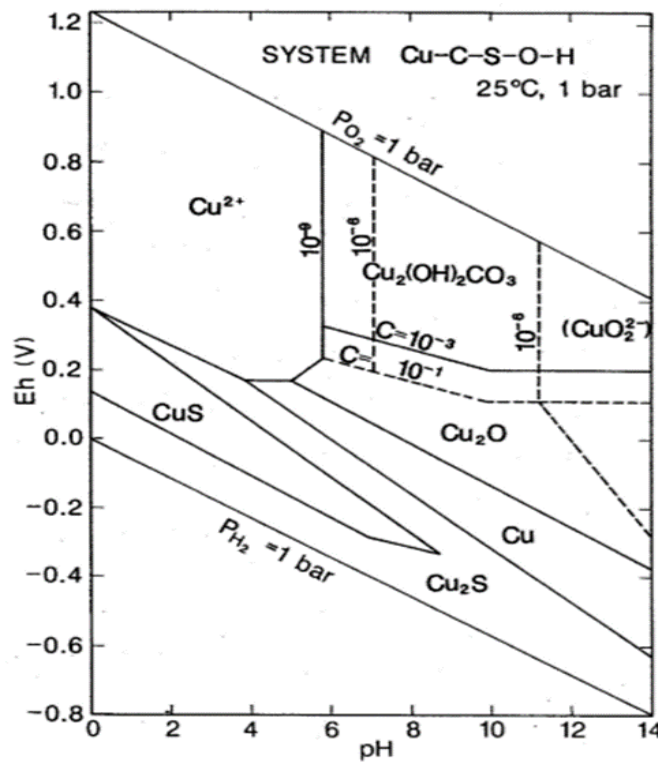


Figure 6: le diagramme pH- Eh pour un partie de système Cu-C-S-O-H.

Les activités supposées des espèces dissoutes sont : $\text{Cu}=10^{-6}$, $\text{S}=10^{-3}$, $\text{C}=10^{-1,3}$. (Douglas, 1988).

I.4. Pesticides

Les pesticides ou produits phytosanitaires, sont des substances chimiques utilisées pour la croissance, la protection et la conservation des végétaux. Ils sont souvent utilisés dans la culture dont le but est de stimuler le produit qualité et augmenter les rendements des cultures. Le devenir environnemental de ces composés et leurs effets sur les différents écosystèmes sont fortement dépendants de leurs interactions avec l’environnement naturel. En raison de leur utilisation intensive, tant dans les domaines agricoles, les pesticides se dispersent dans l’atmosphère et dans les eaux (souterraine et surface) et se migrent dans les aliments. Les pesticides posent un grand problème de santé pour la population, car elle est susceptible d’être exposé à leurs effets. Ci-dessous nous allons présenter la définition, les principales familles, la classification, mode d’action, le transfert et l’effet sur l’environnement des pesticides.

I.4.1. Définition

Les *pesticides* comprennent toutes les substances (molécules) ou produits (formulations) qui sont utilisées pour éliminent les organismes nuisibles. Les pesticides sont majoritairement utilisés pour l’usage agricole. La substance ou le micro-organisme qui détruit les organismes nuisibles de s’installer sur les végétaux (Merhi, 2008).

Un pesticide est désigné par son nom commun, par son nom chimique ou par son nom commercial. Le nom commun fait référence à l’ingrédient actif. Le nom chimique désigne le nom de la structure chimique de l’ingrédient actif et le nom commercial est le nom donné par le fabricant (Mairif, 2015)

I.4.2. Principales familles de pesticides

Il existe principalement trois grandes familles de produits phytosanitaires selon la nature des cibles visées : les insecticides, les herbicides et les fongicides (Merhi, 2008)

Tableau 2 : Principales familles de pesticides

Les insecticides	Les herbicides	Les fongicides
La plus grand famille des pesticides, présenter une activité insecticide. Les produits sont actifs sur l’insecte soit par ingestion et absorption digestive, soit	Les herbicides sont appelés parfois désherbants, notamment en horticulture. Ils sont utilisés pour la destruction de toutes les espèces végétales jugées	Les fongicides sont des composés actifs sur les champignons. Ce sont des substances ayant la capacité d’éliminer et réduit le développement des

par contact et absorption au niveau de la cuticule, soit par inhalation (Bouvier, 2005).	indésirables comme les adventices des cultures et les mauvaises herbes (Naili, 2014).	champignons parasites des végétaux (Bouvier, 2005).
--	---	---

I.4.3. Classifications des pesticides selon la structure chimique

La classification des pesticides tient en compte la nature chimique de la substance active majoritaire qui compose les produits phytosanitaires. Les familles chimiques sont : les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates et les pyréthynoides (El Mrabet, 2008).

a. Les organochlorés

Les pesticides organochlorés (POC) sont des composés organiques, obtenus par la chloration de différents hydrocarbures insaturés. Les POC se caractérisent par une faible solubilité dans l'eau, mais une solubilité élevée dans les solvants organiques, très résistant à la dégradation biologique, chimique photolytique (Juc, 2008).

Les organochlorés présentent souvent une toxicité aiguë pour de nombreux animaux et végétaux autres que les insectes ciblés comme pour le phytoplancton. À des doses non létales, les organochlorés, perturbent le système nerveux, l'appareil hépatique, la régulation hormonale et la reproduction de nombreux animaux, y compris l'homme. À long terme, la plupart de ces molécules se sont révélées être mutagènes, tératogènes et cancérigènes. Les organochlorés à une demi-vie, de l'ordre de 10 ans ou plus (Errami, 2012).

b. Les organophosphorés

Les pesticides organophosphorés (OPs) sont des pesticides de seconde génération dérivés des structures de gaz neurotoxiques (Laurent, 2008).

Ils sont des esters obtenus en faisant réagir divers alcools avec l'acide orthophosphorique ou l'acide thiophosphorique. Ils ont remplacé les organochlorés car ils présentent une plus faible rémanence (de l'ordre de 48 heures dans l'eau) et une meilleure sélectivité vis-à-vis des insectes. Peu solubles dans l'eau, ils ne sont pas stockés dans les organismes car ils sont facilement biodégradables. Ils agissent par inhibition de l'acétylcholinestérase, de façon irréversible, au niveau des terminaisons nerveuses (Errami, 2012).

c. Les carbamates

Les carbamates sont des insecticides à large spectre utilisés couramment depuis leur mise au point dans les années cinquante. Ce sont des esters de l'acide carbamique généralement non hydrosolubles ; cependant certaines molécules (Aldicarbe et Carbofuran) sont aliphatiques, ce qui leur confère un caractère hydrosoluble plus marqué (Hachoumi, 2013).

d. Les pyréthinoïdes

Les pesticides pyréthinoïdes sont des insecticides largement utilisés. Ils sont des molécules qui se retrouvent, à température ambiante et sous forme pure, souvent en substances cireuses, mais pouvant être aussi sous diverses formes allant du liquide au solide. Les valeurs de solubilité dans l'eau sont très faibles rendant plusieurs pyréthinoïdes insolubles dans un milieu aqueux, mais dans un solvant organique sont toutefois excellentes. Les applications se réalisent par aérosols ; une diffusion dans l'air est possible mais restreinte due à leur faible volatilité après sédimentation. Ces substances sont peu mobiles et ont tendance à se lier au sol et aux sédiments organiques.

Les pyréthinoïdes sont des composés synthétiques organiques ayant un degré élevé de solubilité dans les lipides. Ces pesticides se retrouvent donc dans les milieux aquatiques sous forme complexée aux particules). Les molécules sont dégradées rapidement par photolyse et oxydation. Leur demi-vie dans l'environnement se situe entre 2 et 97 jours (Ratelle, 2015).

Tableau 3 : Différentes familles chimiques de pesticides (El Mrabet, 2007 ; Laurent, 2008; in Gagaoua et Ouali, 2012)

Famille chimique formule chimique	Exemple de molécules et application	Mode d'action /effets
Organochlorés $R-Cl$	Procymidone (fongicide) Fruits, légumes Lindane (insecticide) céréales	Non persistants, peu sélectifs, inhibiteurs de l'AchE, toxique.
Organophosphorés $\begin{array}{c} O \\ \\ R_3O - P - OR_1 \\ \\ OR_2 \end{array}$	Dichlorvos (insecticide) Choux, Pois	Interfèrent avec la fonction de neurotransmetteur de l'acide gammaaminobutyrique (GABA). Persistants, bioaccumulables: susceptibilité d'être perturbateurs endocriniens et cancérigènes.
Carbamates $\begin{array}{c} X \\ \\ R_1 \diagdown N - C - X - R_3 \\ / \\ R_2 \end{array}$	Chloroprothame (herbicide) Pommes de terre Aldicarde (insecticide) Asperge	Insecticides a large spectre. Toxicité par carbamylation de l'Acetylcholinesterase (AchE)
Pyrethrynoïdes $\begin{array}{c} CH_3 \quad H \quad O-R_2 \\ \quad \quad \\ CH_3 - C - C - C = O \\ \quad \\ R_1 - C - H \end{array}$	Deltaméthrine (insecticide) Betteraves, tomates	Analogues d'un insecticide naturel, le pyréthre. Pesticides sélectifs, toxicité pour les espèces aquatiques.

I.4.4. Le mode d'action des pesticides

En fonction du mode d'action du pesticide considéré sur l'organisme indésirable visé, les produits phytopharmaceutiques, ont été classés en trois classes :

a. Les fongicides

Pour fonctionner, toute cellule animale ou végétale a besoin :

- D'énergie, grâce au processus respiratoire fournissant de l'ATP.
- D'échanges avec le milieu extracellulaire : la perméabilité membranaire permet de réguler les entrées et sorties d'eau et de substances nutritives à travers la membrane cellulaire.
- De se diviser : le phénomène de division cellulaire (mitose et méiose) permet la croissance et la reproduction de l'organisme.

Tout atteinte à l'un de ces trois phénomènes vitaux va donc provoquer des perturbations dans la cellule, se traduisant par l'arrêt provisoire du fonctionnement de la cellule fongique (produit fongistatique) ou bien par la mort du champignon (produit fongicide). Ainsi il existe des fongicides affectant le processus respiratoire, des fongicides affectant la biosynthèse de chitine, des mélanines, des stérols, des acides nucléiques, et enfin des fongicides agissant sur les microtubules (Batsch, 2011)

b. Les insecticides

Il intervient en élimination ou empêchant la reproduction des insectes. Différents types existent comme : les neurotoxiques, les régulateurs de croissance, ceux-ci agissent sur la respiration cellulaire (Bouguerra et *al*, 2010)

c. Les herbicides

Les herbicides se distinguent par leur voie de pénétration et leur mode d'action dans les végétaux (Amirat et Meniker, 2014).

- **herbicides à pénétration racinaire** : appliqués sur le sol, ils pénètrent par les organes souterraines des végétaux (racines, plantules). Ce sont les traitements herbicides de prélevé, effectués avant la levée de la plante considérée.
 - Action sur la photosynthèse.
 - Action sur la division cellulaire.
 - Action sur l'élongation cellulaire.

- **herbicides à pénétration foliaire** : applique sur le feuillage, ils pénètrent par les organes aériens des végétaux (feuilles, tiges). Les traitements herbicides effectués après la levée de plante considérée.
 - Action sur la photosynthèse.
 - Action sur les membranes cellulaires.
 - Action sur la division cellulaire.
 - Action sur l'élongation cellulaire.
 - Action sur la biosynthèse.
- **Herbicides de contact** : herbicides qui agissent après pénétration plus ou moins profonde dans les tissus, sans aucune migration d'un organe à un autre de la plante traitée.
- **Herbicides systémiques** : herbicides capables d'agir après pénétration et migration d'un organe à un autre de la plante traitée.

I.4.5 Devenir et transfert des pesticides dans l'environnement

Lors d'un traitement, plus de 90% des quantités utilisées n'atteignent pas le ravageur visé. Alors il est nécessaire de connaître le devenir des pesticides dans l'environnement et l'estimation de leurs risques sur l'environnement et les êtres vivants (Gagaoua et Ouali, 2012).

a. Transfert vers le sol

Le transfert vers le sol est fait lors du traitement (les pertes peuvent atteindre 10 à 70%) ou bien par les particules transférées par le vent à partir des champs traités. La contamination du sol est due aux processus d'adsorption et de la sorption. En effet, ils dépendent de la pluviométrie, de la matière organique et de la texture du sol...etc. (Gagaoua et al., 2012).

b. Transfert vers l'air

Il n'y a aucune réglementation concernant la concentration des pesticides dans l'air. Mais ces derniers ont été détectés dans plusieurs régions au niveau international. La perte des pesticides par pulvérisation peut atteindre 30 à 50% vers l'air. Deux phénomènes interviennent à la présence de phytosanitaire dans l'air (Gagaoua et al., 2012) :

- La dérive (lors de l'épandage) : ce phénomène se déroule au moment de l'épandage, en utilisant des rampes de pulvérisation et les traitements par avions.
- L'évaporation (après le traitement) : Elle est très importante pendant les quatre premières heures après l'épandage.

Le transfert des pesticides dans l'air dépend de la nature du produit et de sa dimension. Il semble important d'éviter les gouttes de taille inférieure à 100 μ m car elles n'atteindront probablement pas leur cible (Charbonnel, 2003 in Gagaoua et al, 2012)

La température élevée, un climat sec et un temps venteux augmentent le taux de volatilisation (Anonyme, 2006). Il est plus élevé dans les sols labourés et érodés sous l'effet du vent.

c. Transfert vers les eaux

L'eau est l'une des sources importantes et indispensables destinées, soit pour une consommation directe, pour l'irrigation des cultures ou bien pour l'alimentation des bétails et au domaine industriel. L'agriculture est l'un des facteurs importants qui contribuent à la contamination et à la pollution de cette source, particulièrement après l'application des pesticides (Gagaoua et *al.*, 2012).

- *Les eaux superficielles*

La contamination des eaux de surface par les pesticides peut être directe au cours d'une pulvérisation au-dessus d'un cours d'eau, d'une rivière...etc. ou par ruissellement ou par le vent (dépôt des particules transportées en raison de la diminution de la vitesse du vent) ou lors d'une précipitation.

- *Les eaux souterraines*

Les nappes phréatiques et les aquifères peuvent être affectées par les produits phytosanitaires par le phénomène de lessivage.

Plusieurs facteurs agissent sur le lessivage et la contamination des eaux souterraines :

- Une faible teneur en matière organique, alors une faible absorption et une forte sorption.
- La texture grossière et leur effet sur l'infiltration.
- La pluviométrie et humidité du sol.
- Couverture végétale réduite.

d. Transfert vers les êtres vivants

Les êtres vivants peuvent être touchés soit par exposition directe durant l'application (inhalation), par contact direct avec les contaminants (eau, sols, végétation...), par absorption des molécules à partir de milieu de culture (les végétaux) ou indirectement par consommation des eaux et des aliments contaminés (animale, végétale) (Gagaoua et *al.*, 2012).

Les différents mécanismes de transferts et de transformations des pesticides dans l'environnement peuvent être résumés par la figure ci-dessous :

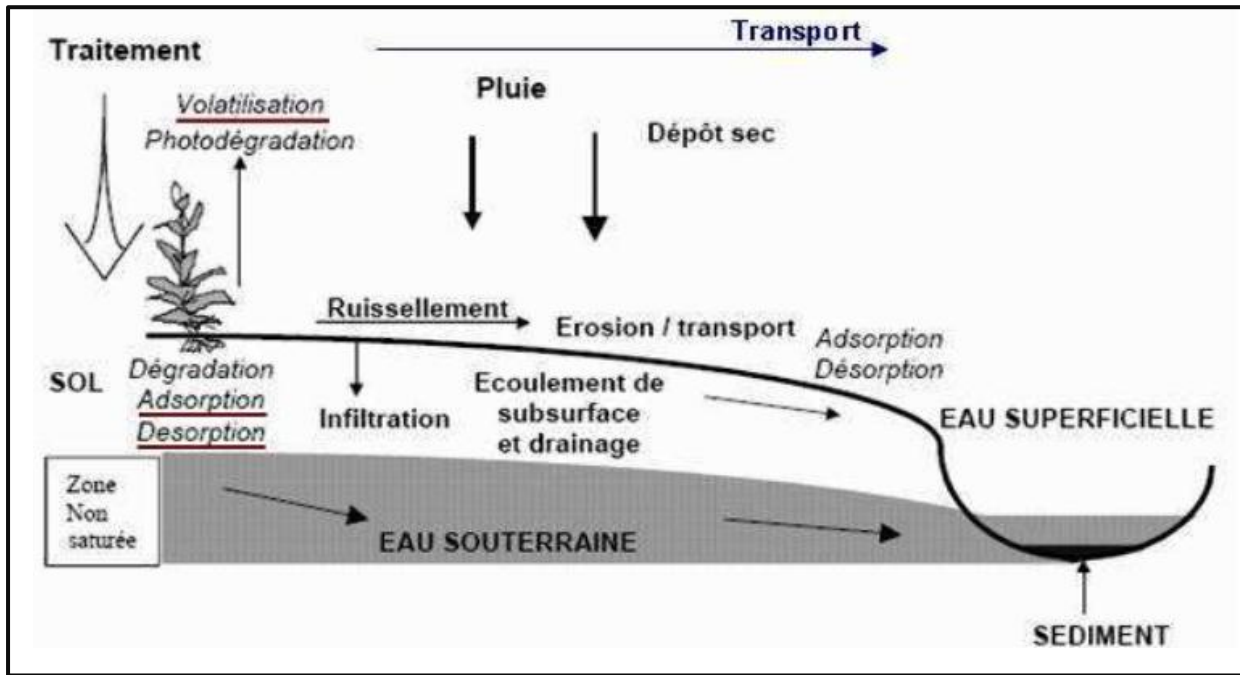


Figure 7: Mécanismes de transferts et de transformations des pesticides dans l’environnement (Hachoumi, 2013)

I.4.6. Facteurs influant l’adsorption

Les différentes interactions sol/pesticide sont contrôlées par les propriétés à la fois de la molécule et du milieu poreux (composition de la Matière Organique (MO) et chimie de la solution) (Ertel et *al.*, 2004 in Guimont, 2005) ainsi que par les conditions ambiantes (température et humidité) (Yaron, 1989 in Guimont, 2005).

a. Caractéristiques physico-chimiques du sol

Les constituants du sol qui contrôlent l’adsorption sont majoritairement la matière organique du sol et les minéraux argileux. On attribue la réactivité de la fraction organique du sol majoritairement aux substances humiques, les groupements fonctionnels impliqués étant généralement des groupements carboxyliques, aminés et hydroxylés. Dans le cas de la fraction minérale, constituée de minéraux argileux cristallins, d’oxydes et hydroxydes (de fer et d’aluminium principalement) cristallins et amorphes, les surfaces réactives sont attribuées à leurs groupements oxygénés et/ou hydroxylés, plus ou moins chargés (Bailey et White, 1970 in Guimont, 2005)).

b. Matière organique du sol

Plusieurs études suggèrent que les polluants organiques présentent une plus grande affinité pour les surfaces organiques que pour les surfaces minérales (Senesi, 1993). Le contenu et la nature de la MO du sol jouent par conséquent un rôle majeur dans le devenir des pesticides

dans le sol. Pour les sols à haute teneur en MO (> 5%), l'adsorption des pesticides est mise en relation avec le contenu en MO totale, la nature de la MO ayant dans ce cas peu d'influence (Bailey et White, 1970). La MO totale d'un sol inclue une fraction insoluble majoritaire (fraction solide) et une fraction soluble minoritaire. La présence de matières organiques solubles influencerait l'adsorption des pesticides hydrophobes (Madhun et al., 1986a). Pour les sols de faible contenu en MO, l'adsorption des pesticides est mise en relation avec la fraction minérale, prédominée par la fraction argileuse, et la nature de la MO. Une augmentation du contenu en argile a pour effet d'abaisser la mobilité du pesticide ; la nature de l'argile et l'identité des cations majeurs de la solution du sol deviennent alors des facteurs importants (Spark et Swift, 2002 *in* Guimont, 2005)).

c. Effet du pH du sol

Le pH de la solution du sol peut influencer directement ou indirectement les mécanismes de sorption. Un changement de pH peut ainsi altérer la charge nette des pesticides ionisables et/ou des composants du sol, modifiant directement les interactions de sorption. Frissel et Bolt (1962) ont montré que l'adsorption sur des argiles, d'herbicides de structures moléculaires très différentes, augmentait quand le pH baissait. Ainsi, un pH élevé associé à la présence de cations monovalents (Na^+ , K^+) et une conductivité ionique faible entraînent une dispersion des argiles et des substances humiques (augmentation de MO dissoute) les rendant plus accessibles aux interactions avec les pesticides (de Jonge, 1999 *in* Guimont, 2005)).

d. Caractère physico-chimique de la molécule

Les propriétés moléculaires de l'adsorbat revêtent une grande importance dans les réactions d'adsorption, au même titre que les propriétés de l'adsorbant. D'après Bailey et White (1970), les propriétés qui déterminent majoritairement le rôle de l'adsorbat dans les processus d'adsorption et de désorption des molécules organiques par les colloïdes de sol sont :

- la structure moléculaire du pesticide. Elle est déterminée par la nature des groupements fonctionnels et des groupes de substitution de la molécule, leurs positions respectives les uns par rapport aux autres dans la molécule, ainsi que la présence de doubles-liaisons. La structure du pesticide détermine indirectement son potentiel d'ionisation.
- le pKa (constante d'acidité) de la molécule. Il exprime le caractère acide ou basique du pesticide c'est-à-dire qu'il détermine son état d'ionisation à un pH donné. Le pKa donne également une indication de l'importance de l'adsorption de la molécule ainsi que sa facilité à être désorbée à partir des systèmes colloïdaux.
- la solubilité du composé dans l'eau. C'est une caractéristique dominante dans les interactions des sols avec certaines familles de composés. Ainsi, les s-triazines et les urées

substituées présentent une relation directe entre solubilités dans l'eau et adsorbable sur les argiles. En général, les pesticides très solubles non-ioniques ont de faibles coefficients d'adsorption pour les sols, alors que le contraire est observé dans le cas des composants non-ioniques de faible solubilité (Yaron, 1989).

- la taille moléculaire de l'adsorbat. Elle a un effet sur l'amplitude de l'adsorption et sur le pouvoir des composés organiques à être adsorbés notamment sur les surfaces internes des minéraux argileux fortement chargés (type vermiculite). Ainsi, un ion "large" couvrant plus d'un site d'échange électrostatique entraînerait une baisse de la capacité d'adsorption du minéral. (Guimont, 2005)

e. Facteurs de l'environnement

L'environnement d'un sol est déterminé par des facteurs externes dont les plus influents sur le phénomène de sorption sont la teneur en eau et la température. La teneur en eau du sol affecte le processus d'adsorption en modifiant l'accessibilité des sites d'adsorption et les propriétés de surface de l'adsorbant. Ainsi, les molécules d'eau attirées par les surfaces argileuses (via les cations échangeables) fournissent des sites de sorption aux molécules pesticides. On assiste simultanément à une acidification des surfaces argileuses (Yaron et al., 1996). L'hydratation de la MO du sol en relation avec l'adsorption de pesticide, bien qu'ayant été moins étudiée, influencerait également l'accessibilité des pesticides aux sites de sorption en modifiant la forme moléculaire des substances humiques. De ce fait certains pesticides pourraient pénétrer dans les substances humiques gorgées d'eau et se retrouver piégés aboutissant à une rétention forte voire irréversible. Enfin, on constate des phénomènes de compétition pour les sites d'adsorption entre les pesticides non-ioniques et les molécules d'eau (Yaron, 1989).

Les processus d'adsorption sont exothermiques (dégagement de chaleur). Par conséquent, des changements dans la température du sol peuvent avoir un effet direct sur la distribution de phase des pesticides. En général, une augmentation de température conduit à une décroissance de l'adsorption. Cependant, des exceptions ont montré que les températures élevées pouvaient affecter la solubilité du produit et par suite entraîner des phénomènes d'adsorption (Bailey et White, 1970). La relation adsorption/température reflète donc non seulement une contribution en énergie au processus d'adsorption mais aussi un changement de solubilité de l'adsorbat (Mills et Biggar, 1969 ; Yaron et Saltzman, 1978 *in* Guimont, 2005))

Conclusion

Les pesticides et les éléments traces métalliques sont des espèces chimiques à risque lorsque leurs concentrations dépassent un certain seuil. Leur mobilité et spéciation dépendent de plusieurs facteurs et principalement le pH, l'oxygène, la température, la teneur en eaux et la nature chimique du sol.



Chapitre 2 : Présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction

Ce chapitre a pour but de faire une présentation de la zone d'étude de point de vue administrative, géographique, géomorphologique et géologique. Ce dernier point est le plus important, car il nous permettra de bien connaître les formations géologiques susceptibles de former des aquifères.

II.2. Situation géographique

La plaine alluviale de l'oued Nil fait partie des plaines côtières de la région de Jijel. Elle se situe au Nord-Est Algérien à une distance de 370 Km à l'Est d'Alger et à une distance de 20 Km au Nord Est de Jijel. Elle couvre une superficie de 58 km². Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranéenne, au Sud par les reliefs de la petite Kabylie, à l'Est par les communes de Chekfa et El-Kennar et à l'Ouest par la commune de Taher.

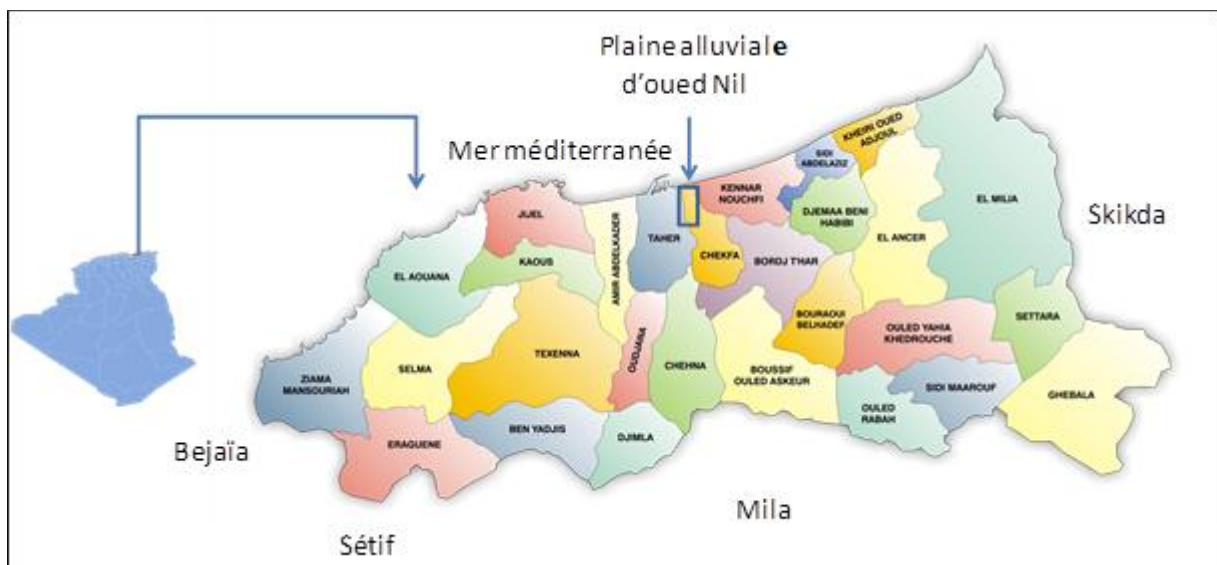


Figure 8 : Situation administrative de la plaine alluviale de l'oued Nil

II.3. Aspect géomorphologique

La plaine alluviale d'oued Nil est limitée de sa partie Est et Sud par une chaîne montagneuse où leur altitude atteignait 956 m (Dj. Seddet), la partie Ouest par la colline de Taher et la partie Nord par la mer méditerranéenne. La plaine dans sa partie Nord est unique et en se dirigeant vers le sud elle se sépare par 2 collines (Chekfa et Benimetrane) ce qui donne 3 sous plaines, la première est la nappe alluviale d'oued Sayoud (affluent d'oued Nil), la deuxième est la nappe alluviale d'oued Nil (partie sud) et la nappe alluviale d'oued Boukraa (affluent d'oued Nil).

La plaine présente une faible pente, où les altitudes varient entre 0 m (partie nord) et 40 m (partie sud). Deux dépressions fermées existent au niveau de la plaine et forment deux marécages (El-Kenar et Rejla) (figure 9).

Tableau 4 : Principales montagnes dans la zone d'étude

Nom des montagnes	Altitude en (m)
El Medayene	791 m
Touzlant	921 m
Djebel El Kel'A	311 m
Seddet	956 m
Echla'la	843 m
Tazamt	851 m

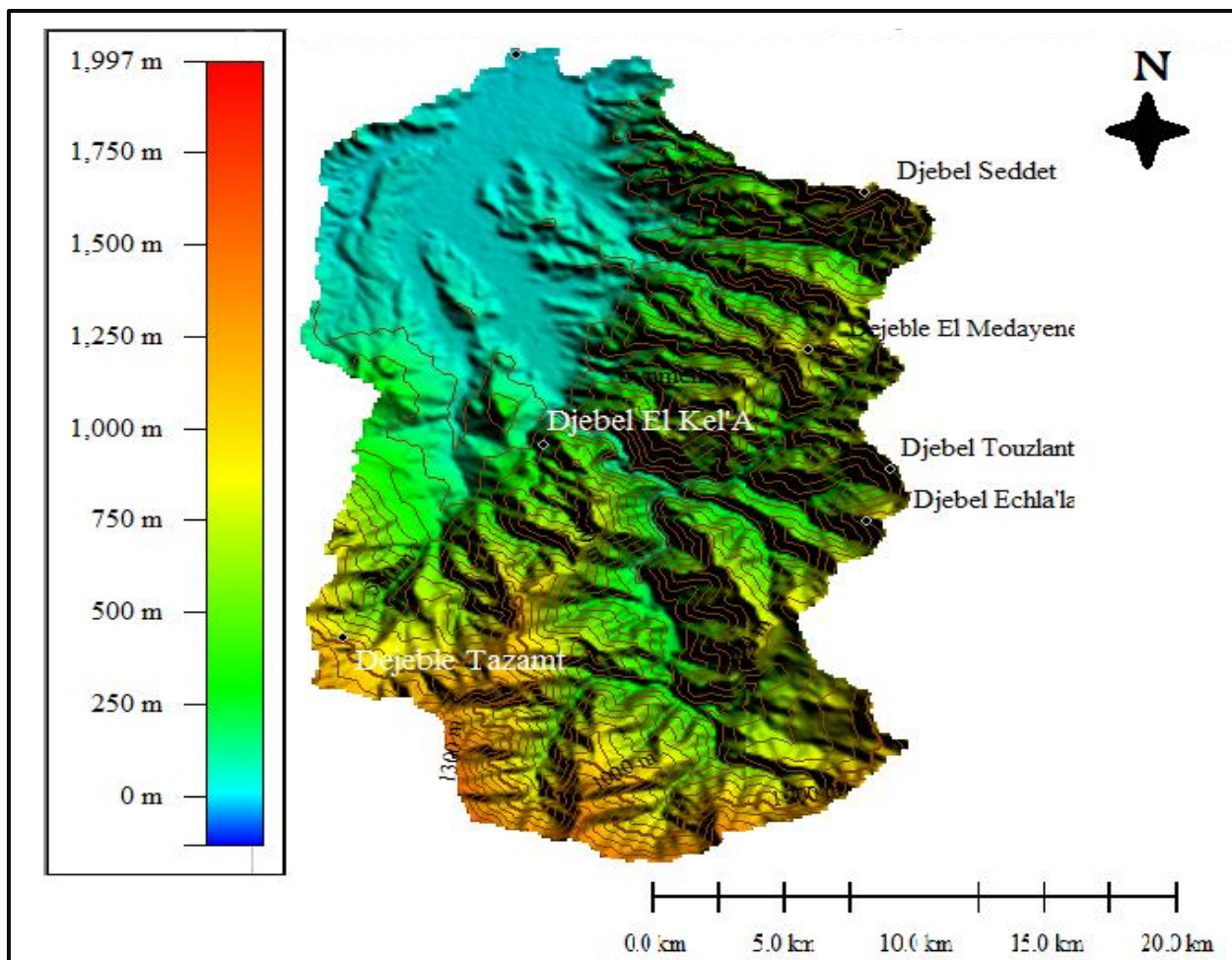


Figure 9 : Carte des altitudes du bassin versant

II.4. Contexte Géologique

L'étude géologique est un outil fondamental pour l'étude hydrogéologique. Elle permet de définir les formations et les structures susceptibles de constituer des réservoirs, et d'estimer leurs importances et capacités.

II.4.1. Géologie locale

La plaine alluviale d'oued Nil est caractérisée par des formations sédimentaires d'âge Quaternaire au Néogène (mécène) et entourée par des formations métamorphiques qui composent la chaîne montagneuse.

II.4.1.1. Formations sédimentaires

Elles apparaissent essentiellement dans la plaine d'oued Nil, constituées de formations alluviales du Quaternaire et de Tertiaire

A. Quaternaire

Il est composé des terrains anciens constitués par des graviers et des galets et parfois cimentés et formés des conglomérats et les sédiments déposés au cours de cette période. Ils sont du plus récent au plus ancien :

A.1. Alluvions quaternaires : elles affleurent à l'ouest de la plaine. Ce sont des terrasses anciennes des vallées généralement aquifères, constituées d'éléments grossiers (graviers, galets et conglomérats) qui sont très perméables avec une épaisseur variant de 30 à 50 m.

A.2. Alluvions marécageuses : elles affleurent au Nord de la plaine. On les trouve dans les dépressions fermées ou ghédirs constitués essentiellement d'éléments argilo-limoneux parfois sableux peu perméables. L'épaisseur varie de 20 à 25 m.

A.3. Alluvions récentes : sont constituées d'éléments grossiers : graviers, conglomérats et galets très perméables. On les rencontre le long des oueds principaux, leur épaisseur est inférieure à 10 m

A.4. Dunes anciennes : elles sont constituées de sables fins limoneux souvent consolidés. On les rencontre au Nord de la plaine avec une épaisseur de l'ordre de 25 m. Ces formations sont potentiellement aquifères.

A.5. Dunes actuelles : constituées essentiellement de sables fins souvent consolidés. On les rencontre à la bordure de la mer d'une épaisseur de 20 à 25 m

B. Tertiaire

Les terrains du Tertiaire correspondent aux formations sédimentaires les plus récentes déposées dans la plaine d'oued Nil. Elle est constituée essentiellement des formations gréseuses, argileuses et marneuses.

B.1. Paléogène

Des formations gréseuses affleurent au Sud de la plaine. L'épaisseur varie de 500 à 1000 m. Ce sont surtout le :

- **Mauritanien (Eocène supérieur - Oligocène)** : constitué essentiellement de grés.
- **Numidien (Eocène supérieur – Oligocène – Miocène inf.)** : c'est une formation de flysch comportant des alternances de grés avec une prédominance d'argiles, des marnes à la base et des grés au sommet.

B.2. Néogène

L'aquifère est constitué de formations alluviales du Néogène représentées essentiellement par des marnes, galets et argiles, contenant parfois des intercalations des nodules calcaires :

B.1. Miocène inférieur (Burdigalien) : Affleure dans la partie Ouest de la plaine. Constitué essentiellement par des marnes grises parfois sableuses ou jaunâtres par oxydation, le facies très constant avec des intercalations des niveaux détritiques et de gros nodules calcaires jaunâtres. L'épaisseur varie de 200 à 300 m.

B.2. Miocène moyen (Pontien) : Il apparaît à l'affleurement dans le coté Est et Ouest de l'oued Boukraa. Il est composé de dépôts détritiques, cailloutis et argiles d'origine continentale. De bonne perméabilité et d'une épaisseur de 20 à 25 m.

B.3. Miocène supérieur marin (Sahélien) : Affleure au centre de la plaine et à l'Est de l'Oued principal, il est constitué essentiellement par des marnes bleues.

II.4.1.2. Formations métamorphiques

Elles constituent le socle Kabyle, d'âge paléozoïque avec :

- Schiste phyllade** : Argileux micacés ou satinés de teintes très variées, traversés de filons de Quartz laiteux s'intercalant de couches détritiques.
- Calcaires métamorphiques (Cipolins)** : De couleur blanc, gris ou bleuâtre, parfois micacé et pyriteux s'intercalant en bandes irrégulières ou en amas dans les schistes et les micaschistes.

C. **Micaschistes et schistes micacés** : Ces formations sont riches en micas noirs et blancs.

D. **Schistes granulitisés et gneiss** : ce sont des gneiss schisteux résultant de l'injection des granulites dans les micaschistes, parfois fortement kaolinites.

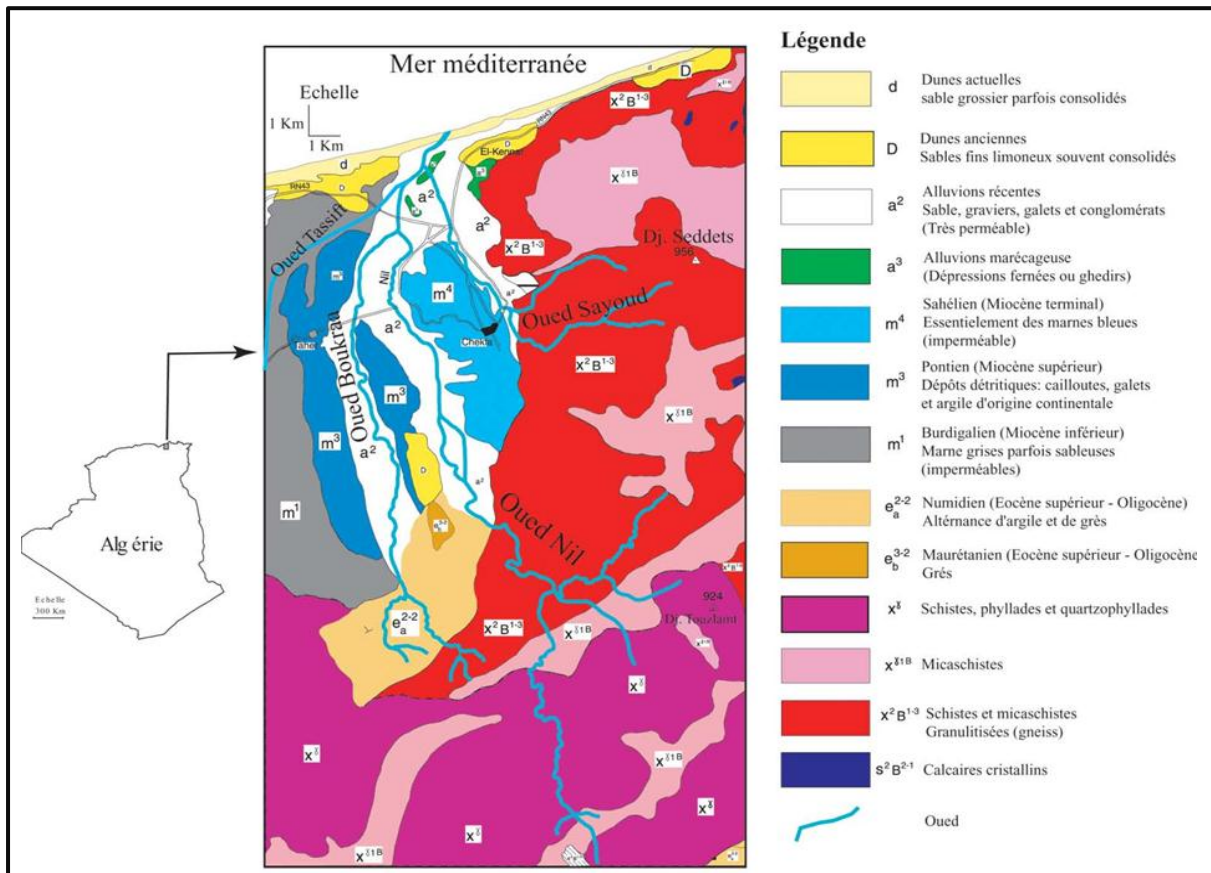


Figure10 : Esquisse géologique de la région d'oued Nil (extrait de la carte géologique d'El-MiliaN°29, Ehrmann F. 1926) (*in* Mahdid, 2013)

La coupe géologique qui illustre la superposition de différentes formations géologiques est présentée dans la figure 11.

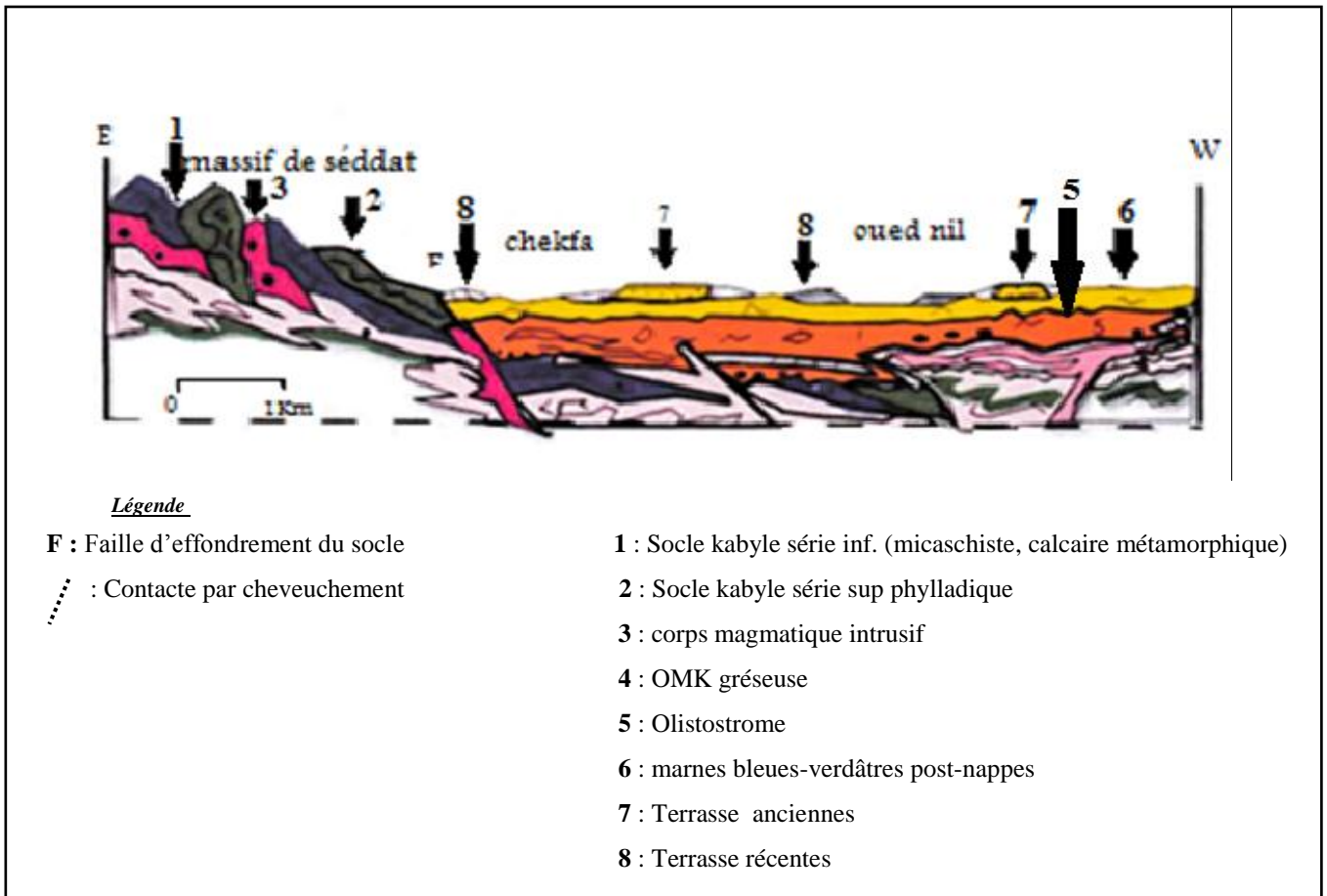


Figure 11 : Coupe géologique (Kardoud, 2016)

II.4.2. Contexte Hydrogéologique

De point de vue hydrogéologique, la plaine alluviale d'oued Nil est composée par des formations perméables et imperméables :

II.4.2.1. Formations perméables

- A. Les dunes :** on les rencontre au Nord de la plaine. Elles sont constituées essentiellement par de sables fins (dunes récentes) et des sables fins limoneux (dunes anciennes). Leur épaisseur varie entre 20 et 25 m ;
- B. Alluvions du Quaternaire :** elles sont constituées d'éléments grossiers : graviers, conglomérat et galets (alluvions récentes) et d'éléments argilo-limoneux parfois sableux, peu perméable (alluvions marécageuses) ;
- C. Formation du Miocène moyen :** elles apparaissent à l'affleurement dans le côté Est et Ouest de l'oued Boukaraa. Elles sont composées de dépôts détritiques, cailloux et argiles d'origine continentale, de bonne perméabilité. L'épaisseur varie de 20 à 25 m.

II.4.2.2. Formations imperméables

- A. Formations du Miocène supérieur « le Sahélien »** : affleurent au centre de la plaine. Elles constituent essentiellement des marnes bleues de passage.
- B. Formations du Miocène inférieurs « le Burdigalien »** : affleurent dans la partie Ouest de la plaine, constituées essentiellement des marnes grises parfois sableuses. L'épaisseur varie de 200 à 300 m.
- C. Formations gréseuses du paléogène (Numidien et Mauritanien)** : ces formations affleurent au Sud de la plaine. L'épaisseur varie de 500 à 1000 m.

Le log-hydro-stratigraphique des formations géologiques qui constituent la plaine est présenté dans le tableau ci-dessous :

Figure 12 : Log hydro-stratigraphique des formations géologiques

ERE	Système	Sous système	Etage	Not	Lithologie	Description	Epaisseur (m)	Affleurement	Perméabilité
Quaternaire				d		Sables fins parfois consolidés	20 à 25	Au bordures de la mer	Peu perméable
				D		Sables fins Limoneux souvent consolidés	20 à 25	Nord de la plaine	Peu perméable
				a ²		Alluvions récentes: Sables, Gravier, Conglomérat, Galets	2 à 10	Le long des Oueds principaux au Nord	Perméable
				a ³		Alluvions marécageuses	20 à 25	Nord de la plaine	Peu perméable
				q		Alluvions Quaternaire : élément grossier Gravier, Conglomérat, Galets	30 à 50	Ouest de la plaine	Perméable
Tertiaire	Néogène	Miocène	Sahélien	m ⁴		Marnes bleues		Est de la plaine	Imperméable
			Pontien	m ³		Dépôts détritiques Cailloutis, Galets et Argile continentale	30 à 50	Le long de l'Oued principal	Peu perméable
			Burdigalien	m ¹		Marnes grise parfois sableuses	200 à 300	Ouest de la plaine	Imperméable
	Paléogène	Eocène Supérieur Oligocène	Aquitainien	ea ¹⁻²		Numidien: alternance d'Argile et Grès	500 à 1000	Sud- Est de la plaine	Imperméable
				eb ¹⁻²		Mauritanien essentiellement de Grès		Sud- Est de la plaine	Semi-perméable à imperméable
Terrain métamorphique						Micaschiste phyllades et Quartz phyllades		Est de la plaine	Semi-perméable à imperméable

II.3. Conclusion

L'étude géomorphologique de la plaine nous a permis de montrer que la plaine d'oued Nil est d'une topographie à faible pente

Les études géologiques et hydrogéologiques ont mis en évidence les formations susceptibles de former un bon aquifère. Les recouvrements alluviaux, de miocène et quaternaire, apparaissent comme étant les meilleures formations aquifères et constituent le réservoir principal par une épaisseur variante de 30 à 70 m. Le substratum (imperméable) est composé des formations marneuses de Sahélien.



Chapitre 3 : Climatologie

III.1. Introduction

Du fait de sa situation géographique et de son grand territoire, l'Algérie se trouve partagée en trois zones climatiques distinctes, la première avec un climat méditerranéen au Nord, dont la zone d'étude en fait partie, la seconde semi-aride vers l'intérieur du pays dans les hauts plateaux et enfin la troisième avec un climat aride, caractéristique du grand Sahara.

L'étude du climat est importante, elle repose sur l'interprétation des données des paramètres climatiques mesurés durant une période bien définie, permettant ainsi d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique qui influent d'une façon directe et à long terme sur le comportement des nappes aquifères.

Dans ce chapitre climatologique, les données climatologiques utilisées appartiennent à la station la plus proche de la plaine (Figure13), qui est la station de Taher- Achouat sise à l'aéroport de Taher, dont les caractéristiques géographiques sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau5 : Caractéristiques géographiques de la station climatologique d'Achouat (Taher).

Station	Z (m)	X (°)	Y (°)
Achouat	4 m	5.878102°	36.794226°

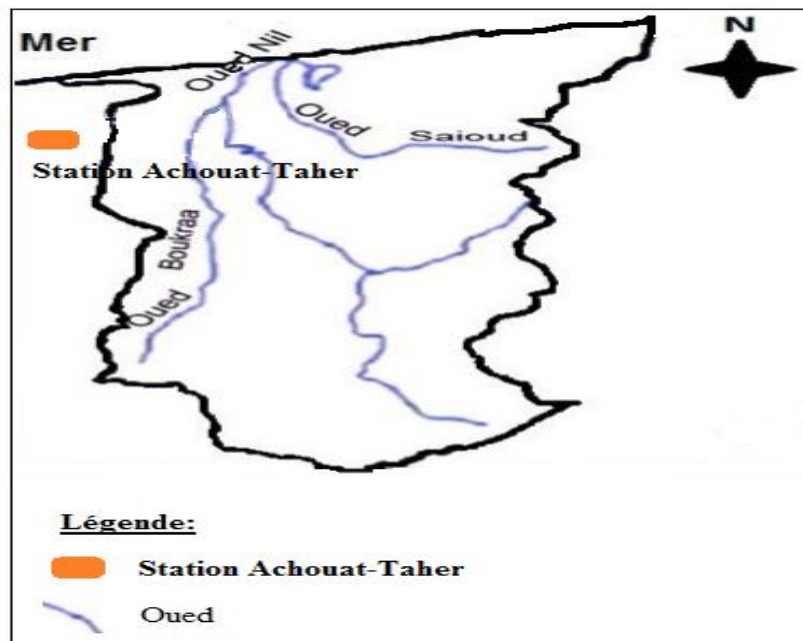


Figure13 : Position de la station climatologique d'Achouat (Taher)

Parmi les paramètres climatiques étudiés, la pluviométrie, la température de l'air et d'autres facteurs secondaires tels que l'humidité et l'évaporation.

III.2 Climat et pluviométrie de la wilaya de Jijel

Le climat de la wilaya de Jijel est de type méditerranéen. Il est caractérisé par :

- Une période froide à humide qui s'étend du mois de novembre jusqu'au mois d'avril. Elle est caractérisée par une forte précipitation avec des températures faibles qui peuvent atteindre jusqu'à 9°C au mois de Janvier ;
- Une période chaude et sèche qui s'étend du mois de mai jusqu'au mois d'octobre. Elle est caractérisée par de faibles précipitations avec une élévation dans les températures.

La pluviométrie de la wilaya est caractérisée par des valeurs croissantes avec l'altitude. Elle est élevée sur les monts de Texenna avec plus de 1200 mm/an, alors qu'au niveau des plaines les valeurs variant de 900 à 1000 mm/an (Berkane, 2011).

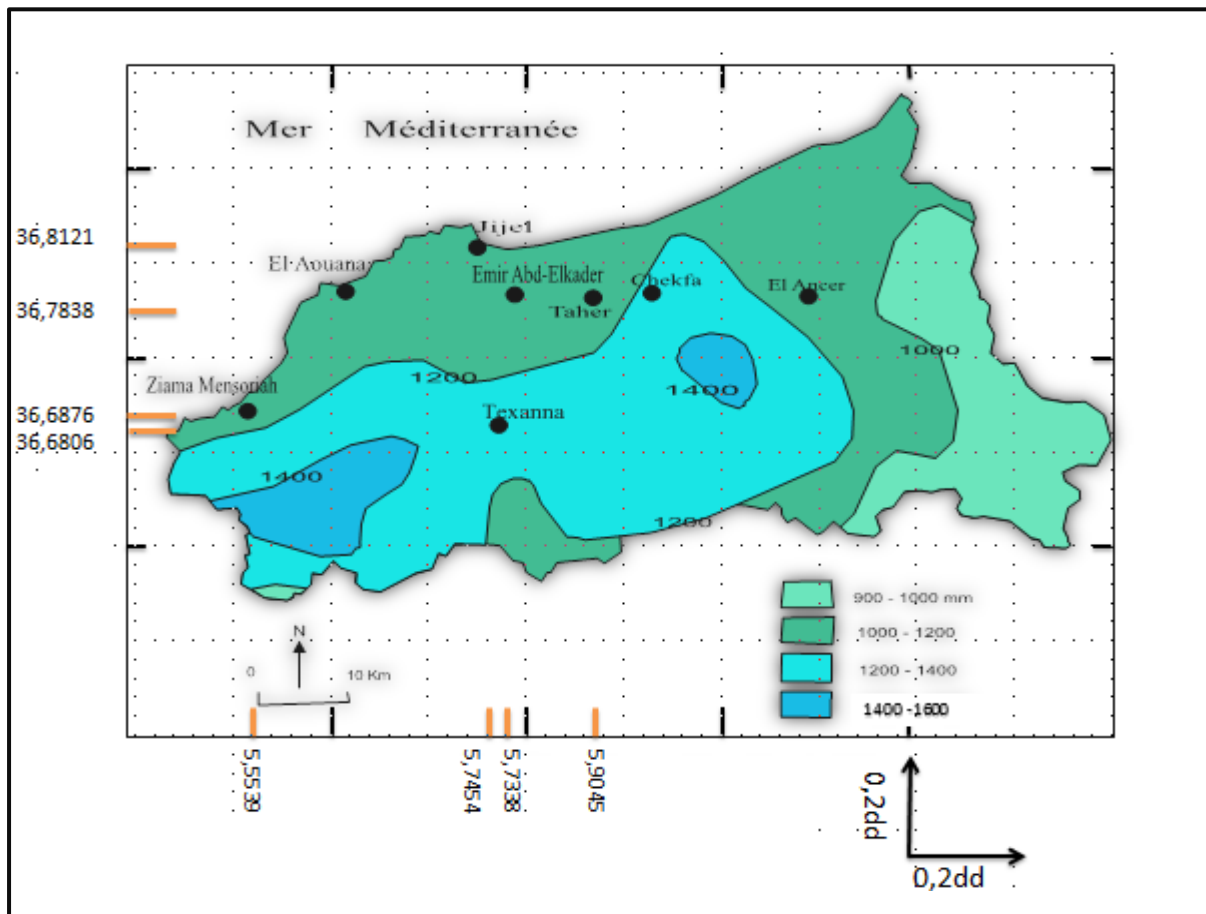


Figure 14 : Carte de la pluviométrie de la wilaya de Jijel (ANRH, 1993)

III.3 Caractéristiques climatiques de la zone d'étude

L'étude de ces caractéristiques a été faite sur la station la plus proche de la zone d'étude (station d'Achouat - Taher).

III.3.1. Précipitations

On appelle hauteur de précipitations, la hauteur en mm du volume total des précipitations exprimées en eau, par unité de la surface collectrice et pour des durées variables (jour, mois,

saisons ou années). Les précipitations sont un facteur fondamental pour caractériser le climat d'une région.

A)-Variation des précipitations moyennes mensuelles

L'analyse de la courbe des variations des moyennes mensuelles des précipitations, mesurées pour la station de Taher sur la période de 27 ans (1988-2015) montre que le mois de décembre est le plus pluvieux, avec 192 mm, alors que le mois de juillet est le plus sec, avec 3 mm.

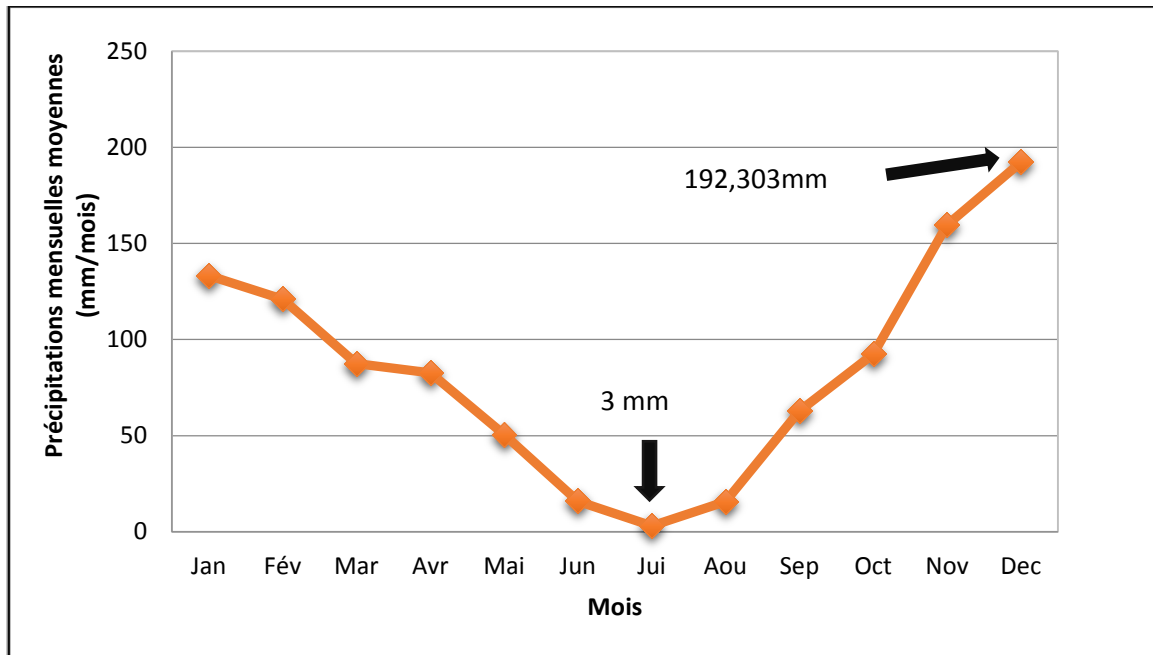


Figure15: Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station Achouat Taher (1988-2015).

B)- Variation des précipitations moyennes annuelles

La variation des précipitations moyennes annuelles, mesurées à la station d'Achouet-Taher sur la période de 27 ans (1988-2015), est présentée dans la figure 16.

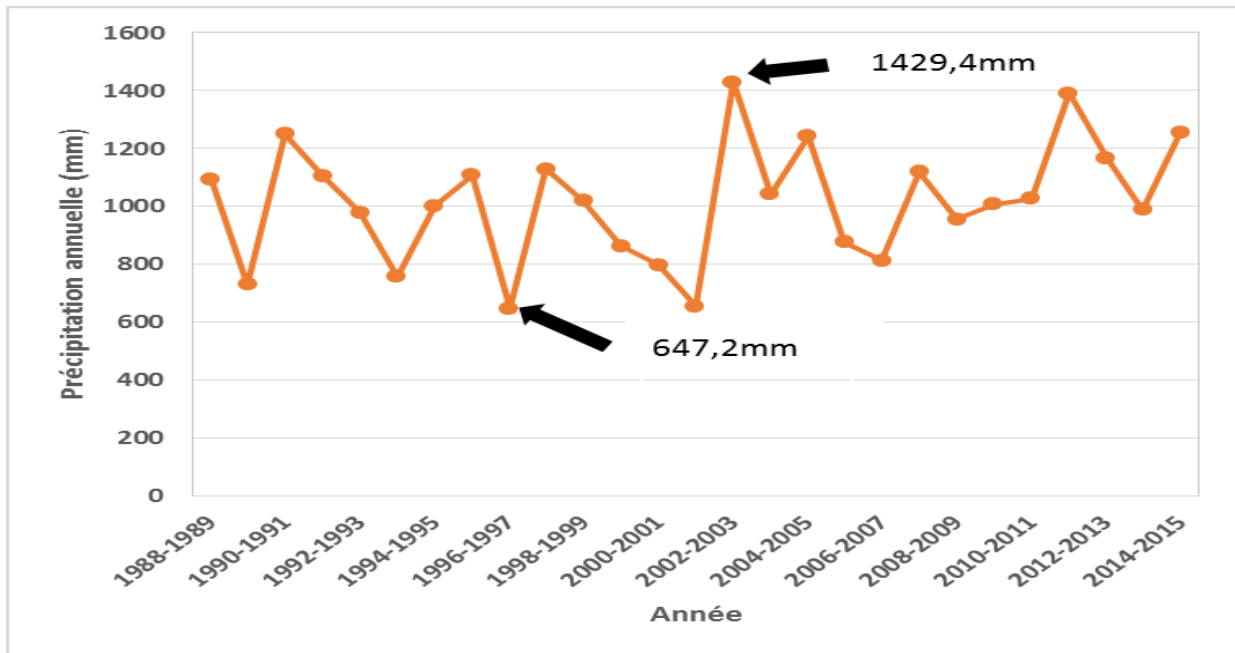


Figure 16 : Variation des précipitations moyennes annuelles à la Station Achouat-Taher (1988-2015).

L'analyse de la courbe montre que l'année 2002-2003 est la plus arrosée avec 1429.4 mm et l'année de 1996-1997 est la plus sèche avec 647.2 mm.

III.3.2 La 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, et aussi influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux

Ce paramètre est un facteur très important dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui entre dans l'estimation du bilan hydrologique.

A)-Variations de la température moyenne mensuelle

La représentation graphique des températures moyennes mensuelles, mesurées pour la station de Taher sur la période de 27 ans (1988-2015), est présentée dans la figure 17.

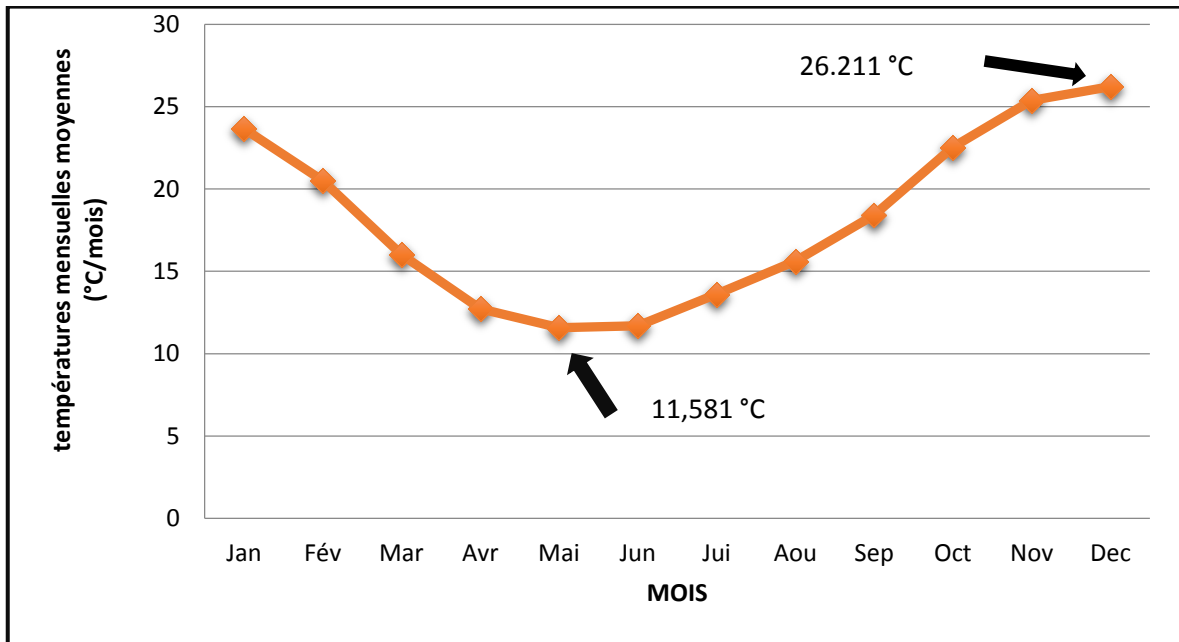


Figure 17 : Variation des températures moyennes mensuelles à la Station Achouat Taher (1988-2015).

La figure 17 montre que les valeurs les plus élevées sont observées pendant le mois d'août (26.21°C) alors que la température la plus basse est celle du mois de janvier (11.58°C).

B)-Variation des températures moyennes annuelles

La variation de la température à l'échelle annuelle, sur une période de 27 ans (1988-2015) est présentée dans la figure 18. L'année la plus chaude est l'année 2014-2015 avec une moyenne de 19.35°C, et l'année la plus froide est l'année 1991-1992, avec une moyenne de 16.06°C.

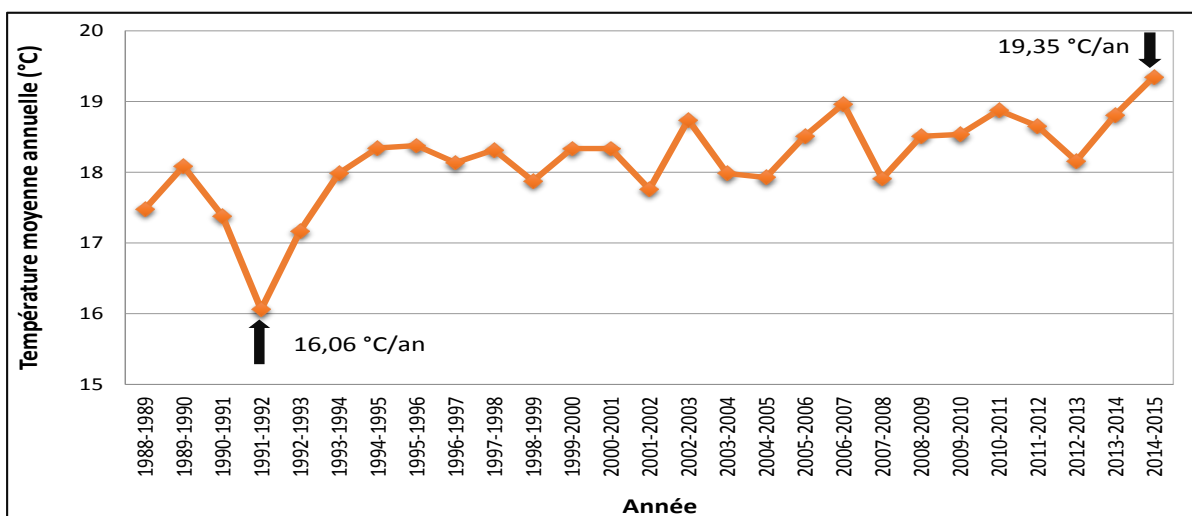


Figure 18 : Variation des températures moyennes annuelles à la Station Achouat Taher (1988-2015).

III.3.3. L'évaporation

L'évaporation est un processus physique de transformation d'un liquide en gaz. Elle est la source de la création des masses nuageuses et constitue de ce fait, une phase essentielle du cycle de l'eau (Berkane, 2011).

A)-Variation d'évaporations moyennes mensuelles

La variation d'évaporations moyennes mensuelles durant une période de 17 ans (1991-2008) est présentée dans la figure ci-dessous :

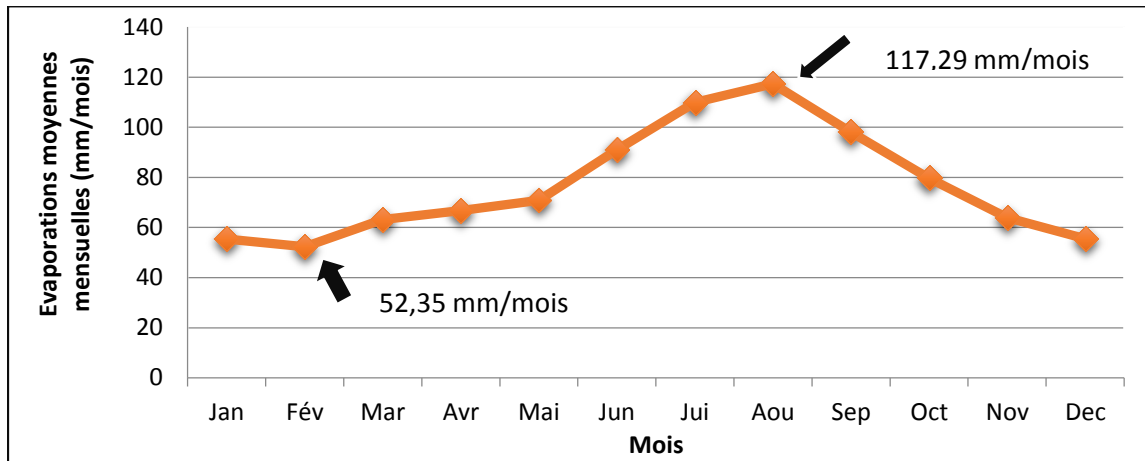


Figure 19: Variation d'évaporation moyenne mensuelle à la Station Achouat Taher (1991-2008).

La figure 19 montre que l'évaporation moyenne mensuelle la plus basse est celle du mois de février (52.35 mm) alors que l'évaporation la plus élevée est celle du mois d'août (117.29 mm).

B)-Variations d'évaporations moyennes annuelles :

La variation d'évaporation moyenne annuelle pour une période de 17 ans (1991-2008) est présentée dans la figure 20.

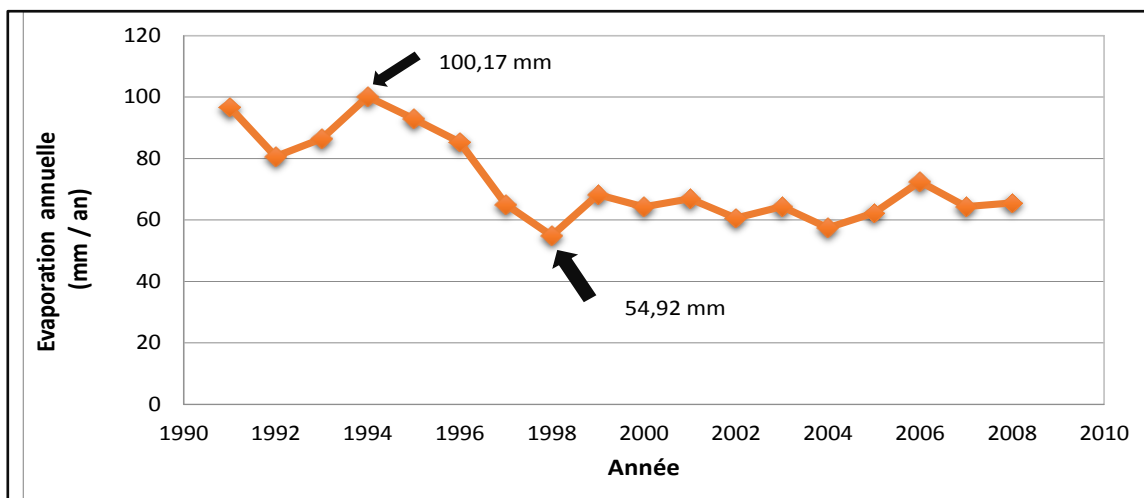


Figure20 : Variation d'évaporation moyenne annuelle à la Station Achouat Taher (1991-2008).

La figure 20 montre que l'évaporation moyenne annuelle maximale est observée durant l'année 1994 avec une moyenne d'évaporation de (100.17 mm), alors que la valeur minimale est atteinte durant l'année 1998 avec 54.92 mm.

III.3.4. L'humidité relative

C'est la quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans une particule d'air. Il arrive à un moment donné qu'une particule d'air soit saturée en vapeur d'eau mais pas tout le temps, l'humidité relative est donc la quantité d'eau présente dans une particule d'air sur la quantité d'eau que peut contenir la particule d'air.

A) Variation d'humidité relative moyenne mensuelle

La courbe des variations moyennes mensuelles d'humidité relative pour une période de 17 ans (1991-2008) est présentée dans la figure 21.

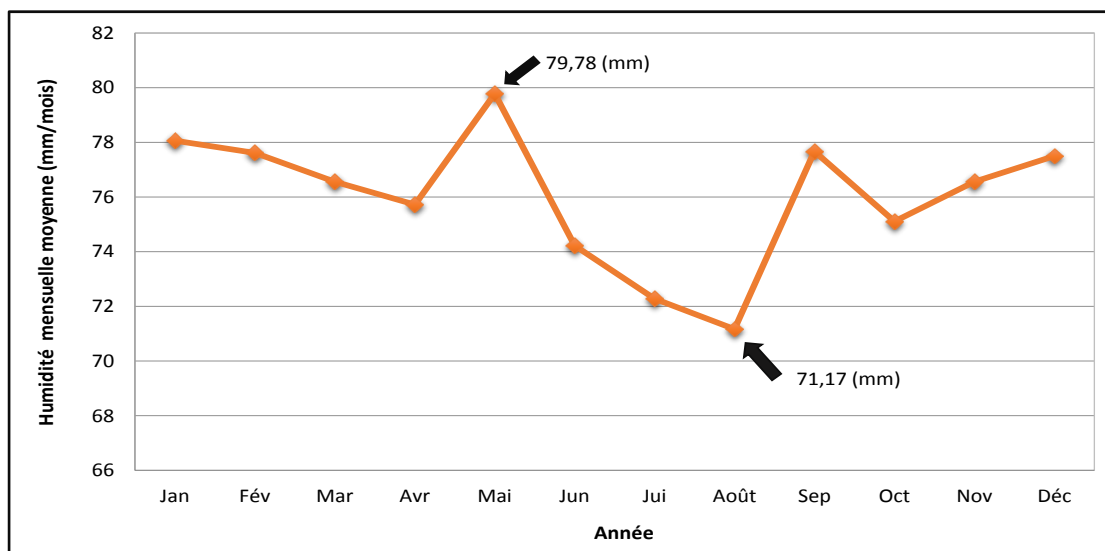


Figure 21: La variation d'humidité relative moyenne mensuelle à la Station Achouat Taher (1991-2008).

Cette figure montre que le mois de mai est le plus humide avec une moyenne d'humidité de 79.78 mm, alors que le mois d'août est le moins humide avec 71.17 mm.

B) Variation d'humidité relative moyenne annuelle

La variation de l'humidité relative moyenne, sur une période de 17 ans (1991-2008), est présentée dans la figure 22.

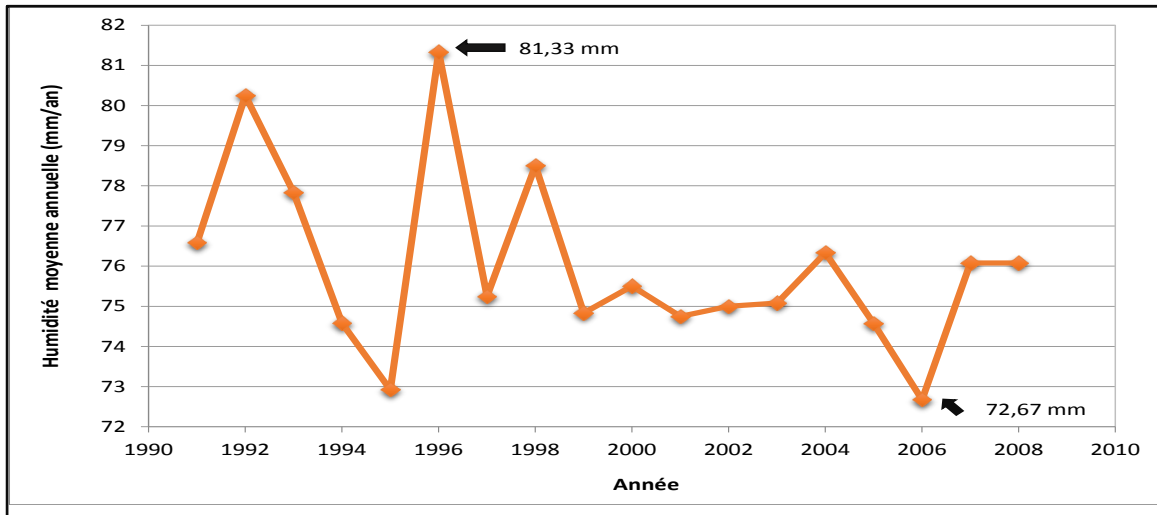


Figure 22: Variation d’humidité relative moyenne annuelle à la Station Achouat Taher (1991-2008)

Cette figure montre que l’humidité relative moyenne, de la zone d’étude, varie entre 72 % et 82%.

➤ **Relation (précipitations– température)**

Pour établir cette relation, on a utilisé le diagramme Ombro-thermique. Il est basé sur la méthode de Gaussen et Bagnoulis. Les températures sont reportées à l’échelle double des précipitations. Cela permet de déterminer la période sèche durant laquelle la moyenne mensuelle des précipitations du mois est inférieure ou égale au double de la température ($P < 2T$).

Grâce à ce diagramme, on peut distinguer deux saisons : l'une humide qui s'étend du mois de septembre jusqu'à mi-mai, tandis que l'autre sèche, s'étendant de la mi-mai à la fin du mois d'aout.

Nous notons que la saison sèche nous indique un déficit de précipitation, par contre la saison humide présente un excédent.

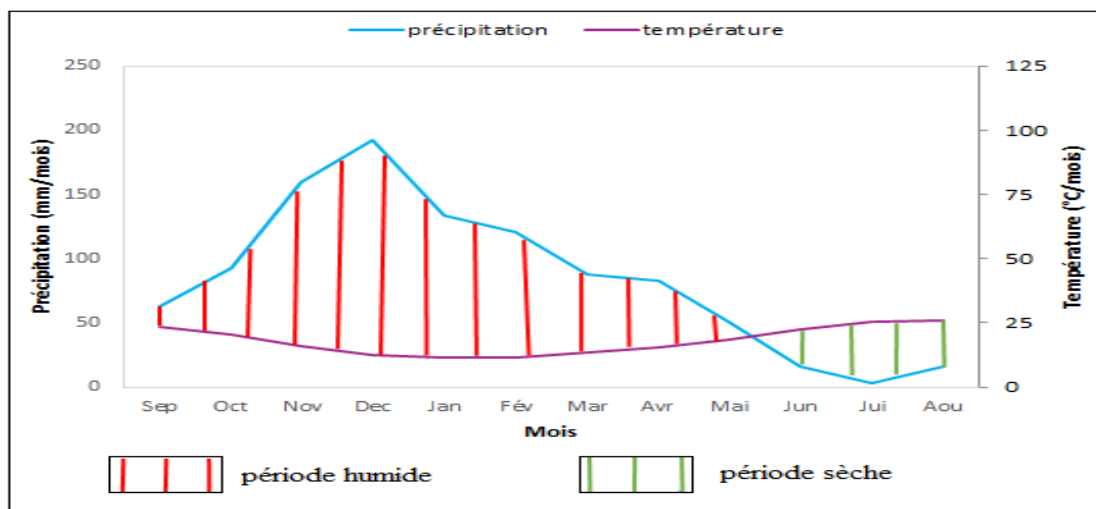


Figure 23: Diagramme Ombro-thermique de la plaine d’Oued Nil (1988-2015).

III.4 Bilan hydrique :

Le cycle de l'eau peut être analysé en fonction de trois éléments : Précipitations, écoulement (ruissellement + infiltration) et évaporation. Dans le cycle hydrologique, on estime les quantités d'eau entrante et sortante d'un système défini dans l'espace et dans le temps par l'équation de suivante :

$$P = ETR + R + I + W_a$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle (liquide et solide) en mm ;

ETR : évapotranspiration réelle en mm ;

R : ruissellement en mm ;

I : infiltration en mm ;

W_a: variation des réserves en mm, qui peut considérer comme négligeable.

III.4.Estimation de l'évapotranspiration

Elle a pour but de quantifier les pertes en eau par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. Ces pertes peuvent représenter l'évapotranspiration des eaux de surface et du sous-sol et/ou la transpiration des végétaux. Il existe des formules d'approximation qui traduisent le phénomène sous forme analytique, parmi lesquelles la formule de Thornthwaite (1948).

III.4.1.Calcul de l'évapotranspiration potentiel (ETP)

L'évapotranspiration potentielle (ETP) correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques. L'évapotranspiration potentielle selon **C.W. Thornthwaite** tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle. La formule de l'ETP est comme suit :

$$ETP = 16 [10T/I]^a$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentiel non corrigé.

T : Température moyenne mensuelle en (°C).

I : Indice thermique annuel : $I = \sum_{i=1}^{12} i$.

i : indice thermique mensuel déterminé par l'expression : $i = (T/5)^{1.514}$.

a : exposant climatique calculé par la formule : $a = 1.6 \left(\frac{I}{100} \right) + 0.5$.

L'évapotranspiration corrigée est donnée par la relation suivante :

$$ETP_{corr} = 16 \left[\frac{10T}{I} \right]^a . K$$

Avec :

K : coefficient de correction qui dépend du temps et de la latitude ;

Les résultats de calcul de l'ETP par la méthode **C.W. Thornthwaite** sont présentés dans le tableau ci-après (tableau 6) :

Tableau 6 : Calcul de l'ETP suivant la formule de CW. Thornthwaite.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Année
P (mm)	62,85	92,49	159,6	192,3	133,3	121	87,52	82,72	50,49	15,78	2,99	15,72	1016,76
T(°C)	23,67	20,5	16,01	12,73	11,58	11,7	13,62	15,81	18,42	22,54	25,37	26,21	18,18
I	10,52	8,46	5,82	4,11	3,56	3,62	4,55	5,71	7,2	9,77	11,69	12,28	87,29
ETP (mm)	105,40	80,33	50,34	32,64	27,29	27,83	37,09	49,16	65,62	96,11	120,2	127,82	68,31
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
ETP _c (mm)	108,6	77,92	43,29	27,41	23,74	23,65	38,2	54,07	79,4	117,3	149	148,27	890,85

III.4.2. Evapotranspiration réelle (ETR) ou déficit d'écoulement (De):

L'ETR ou déficit d'écoulement (De) c'est la quantité d'eau évaporée par le sol et la végétation et les surfaces d'eau libre. D'après **Thornthwaite**, le bilan hydrique est établi à l'échelle mensuelle et basé sur les données connues des précipitations P et de l'évapotranspiration potentielle E.T.P, pour déterminer les variations des paramètres suivants :

- L'évapotranspiration réelle (ETR) ;
- La réserve en eau facilement utilisable (RFU) ;
- Le déficit agricole(Da) ; (Da = ETP-(P+RFU)) ;
- L'excédent (water surplus « Wa »).

Le principe de calcul est basé sur les cas suivants:

- Si $P > ETP$ ---> $ETP=ETR$, la quantité (P-ETP) aliment la RFU jusqu'au maximum.

- Si $P < ETP$ ---> $ETR=P$ + toute une partie de la RFU jusqu'à égaliser la valeur de l'ETP.
- Si malgré l'apport de la RFU, L'ETR est toujours inférieure à l'ETP ($ETP < ETR$), il existe un Déficit agricole $Da = ETP - ETR$.
- ➤ Si $P = ETR$ les précipitations sont justes suffisantes pour alimenter le sol. Il n'y aura pas alimentation de la RFU.

Le calcul du bilan commence par le mois de septembre où on considère que le RFU est nul pour notre cas on prend la RFU maximum égal à 100 mm.

Tableau 7: Le bilan hydrologique pour une période de 27 ans (1986-2015).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Année
P (mm)	62,85	92,49	159,6	192,3	133,25	121,04	87,52	82,72	50,49	15,78	2,99	15,72	1016,7
ETP _C (mm)	108,58	77,92	43,29	27,41	23,74	23,65	38,2	54,07	79,4	117,3	149	148,3	890,8
ETR (mm)	62,85	77,92	43,29	27,41	23,74	23,65	38,2	54,07	79,4	86,87	2,99	15,72	536,1
RFU (mm)	0	14,57	100	100	100	100	100	100	71,09	0	0	0	
Da (mm)	45,73	0	0	0	0	0	0	0	0	30,38	146	132,6	354,7
Exd (mm)	0	0	30,84	164,89	109,51	97,39	49,32	28,65	0	0	0	0	480,6

Le bilan hydrologique pour une période de 27 ans (1988 – 2015) à la station d'Achouat fait ressortir que :

- Les précipitations deviennent supérieures à l'évapotranspiration potentielle (E.T.P) du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril.
- l'ETR atteint son maximum au mois de Juin avec une valeur de 86.87 mm.
- Le RFU est à son maximum de 100 mm du mois de Novembre jusqu'à la fin d'Avril, où on totalise un excédent de 480.6 mm avec un pic au mois de Décembre 164.89 mm.
- Par ailleurs, la RFU commence à diminuer au début du mois de Mai, pour s'épuiser et devenir nulle du mois de Juin jusqu'au mois de Septembre avec un déficit agricole de d'ordre de 354.7mm.

III.4.2 Détermination du ruissellement et de l'infiltration

✓ Ruissellement

Ce paramètre joue un rôle important sur le plan hydrologique et il difficile à évaluer à cause du manque d'une station de jaugeage dans la zone étudiée. Le ruissellement superficiel est estimé à partir de la formule de

RAUMONTCHOK (cas des précipitations annuelles supérieures à 600 mm)

$$R=P^3/3 \longrightarrow R=1016.7^3/3 =350.313\text{mm.}$$

✓ **Infiltration :**

L'infiltration peut être déduite de l'expression du bilan hydrologique exprimant l'égalité entre les apports liquides, et les pertes évaluées sur une grande période.

$$P = ETR + R + I + W$$

W : désigne la variation des réserves d'eau en mm, considérée comme négligeable.

Avec : $I = P - (ETR + R)$

Tableau 8: Calcul de l'infiltration

Paramètre	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)
Station de Taher-Achouat (1988-2015)	1016,7	350.31	536,1	124.28

III.5 Conclusion :

Les données climatologiques permettent d'attribuer à la région étudiée un climat tempéré du genre méditerranéen intermédiaire, caractérisé par des précipitations moyennes annuelles importantes de l'ordre de 1016.76 mm, alors que la moyenne annuelle de la température est de l'ordre de 18.16°C pour la période (1988-2015) à la station d'Achouat.

Le bilan hydrique de la zone d'étude montre que l'évapotranspiration réelle moyenne évaluée par Thorntwaite est de l'ordre de 536.1 mm/an ; le déficit agricole est de l'ordre de 354.7 mm/an (34.88 % des précipitations moyennes annuelles) ; le ruissellement de l'ordre de 350.13 mm/an (34.43 % des précipitations moyennes annuelles) et l'infiltration de l'ordre de 124.28 mm/an (12.22 % des précipitations moyenne annuelles).



Chapitre 4 : Matériel et méthodes

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons les différentes sources des données utilisées dans la réalisation de ce mémoire ainsi que les méthodes de prélèvement, de conservation des échantillons et d'analyse des éléments chimiques.

IV.2. Contexte de travail

Au début de ce mémoire, l'objectif était d'étudier la pollution des eaux de la plaine alluviale d'oued Nil par les ETM et les pesticides avec la réalisation de la partie pratique. Mais vu l'apparition de la pandémie du coronavirus au mois de février en Algérie et l'adoption de l'état du confinement partiel (fermeture de l'université...) pour empêcher propagation de cette pandémie, cela nous a empêché à réaliser la partie pratique de ce mémoire. Pour cela nous sommes orientées à la réinterprétation des analyses déjà réalisées sur la plaine alluviale d'oued Nil.

IV.3. Source des données

Selon notre recherche bibliographique, nous avons trouvé deux mémoires de magister qui coïncident avec notre thème de mémoire de Master. Il s'agit des mémoires ci-dessous :

- AMIOUR Souad(2014), dont le titre est « Qualité des eaux et des sédiments de la plaine alluviale d'oued Nil (Wilaya de Jijel, NE Algérien) »
- CHINE Amal (2015), dont le titre est « Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux de surfaces et souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil (Wilaya de Jijel, Nord-Est Algérien) »

Dans ce mémoire, nous avons fait une synthèse de ces deux mémoires de magister, en se basant sur leur choix des stations de prélèvement, des méthodes de conservation des échantillons et des techniques d'analyse.

IV.4. Localisation des sites de prélèvement d'eau

Les sites choisis pour surveiller la qualité des eaux de surfaces et souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil sont présentés comme suit :

- **Les eaux de surface** : trois stations de prélèvement ont été choisies (figure 24) : la première en amont (Station ON1) pour connaître l'état initial des eaux avant qu'elles entrent dans la plaine, la deuxième après la confluence de l'oued Nil avec l'oued Boukraa (ON2) pour

connaître son effet sur la qualité des eaux de l’oued et la troisième station en aval et après la confluence de oued Nil avec oued Saayoud (ON3), dont l’objectif est de connaître l’effet d’oued Saayoud sur la qualité des eaux de l’oued et connaître la qualité finale des eaux de l’oued Nil avant son déversement dans la mer ;

- **Les eaux souterraines** : seulement deux forages ont été choisis pour connaître la qualité des eaux souterraines : l’un (FN1) se situe dans la partie amont de la nappe et l’autre (FN2) se trouve dans la partie aval.

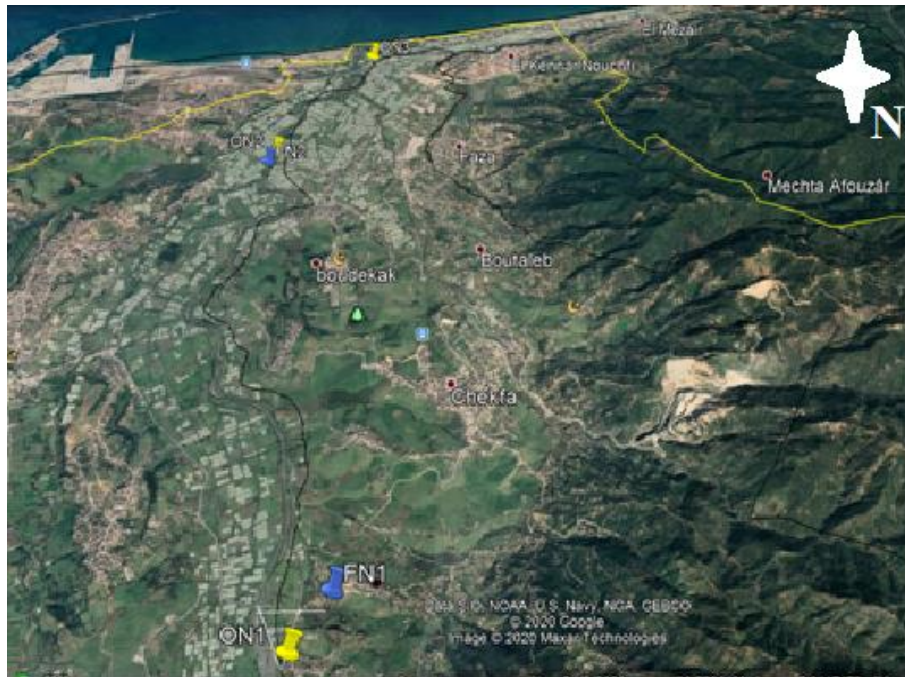


Figure 24: Localisation des stations de prélèvement

IV.5. Choix du pas de temps de prélèvement :

Trois prélèvements d’eau ont été réalisés durant la période de janvier à juin 2014 avec deux pas temps variable : le premier est de trois mois (janvier, avril, Juin) et le deuxième de deux mois (avril – juin). Le calendrier des prélèvements des eaux de surface et souterraine est présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 9 : Calendrier des prélèvements des eaux de surface et souterrain

Campagne de prélèvement			Janvier 2014	Avril 2014	Juin 2014	
Type d'eau	Eaux surface de	ON1				Amont
		ON2				Centre
		ON3				Aval
	Eaux souterraines	FN1				Amont
		FN2				Aval

IV.6. Techniques de prélèvement

Pour chaque type d'eau, un mode de prélèvement a été adopté :

- **Eaux de surface** : le prélèvement de l'eau a été fait au milieu de l'oued en plein courant, et loin des bords et des obstacles naturels ou artificiels. Les prélèvements des échantillons d'eau ont été faits dans des flacons en polyéthylène. Le remplissage des bouteilles a été fait à ras bord puis le bouchon vissé afin d'éviter tout échange gazeux avec l'atmosphère, Les échantillons d'eau ont été directement acheminés au laboratoire.
- **Eaux souterraines** : le prélèvement d'eau a été effectué à l'aide d'une pompe refoulant, par aspiration depuis la surface. On laisse l'eau couler pendant deux à cinq minutes, puis on réalise le prélèvement

IV.7. Mesures in situ

Cinq paramètres physico-chimiques (T, pH, O₂ dissous, redox et CE), ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide de multi-paramètre WTW 305i. Le pH-mètre (Mettler Toledo) a été utilisé pour mesurer in situ le potentiel redox.

IV.8. Analyse des éléments chimiques au laboratoire

Les éléments chimiques majeurs (Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ et TH) ont été analysés, en utilisant trois méthodes d'analyses:

- Méthode titrimétrique (Ca²⁺, TH, Cl⁻ et HCO₃⁻) ;
- Méthode spectrophotométrique (SO₄²⁻).

Les éléments traces métallique (Cd, Pb, Cr, Zn) ont été déterminés par la méthode spectrophotométrique d'absorption atomique

IV.9. Conclusion

Les prélèvements, la conservation et les analyses chimiques des échantillons ont été faits dans les normes, ce qui implique une représentativité des résultats. La méthode titrimétrique est moins précise que la méthode d'absorption atomique mais elle est représentative, vu les fortes concentrations des éléments majeurs par rapport aux ETM.



Chapitre 5 : Résultats et discussion

V.1 Pesticides

V.1.1 Engrais chimiques et pesticides

La wilaya de Jijel est caractérisée par une pluviométrie importante et une topographie favorable pour le développement de secteur agricole. Le coté Nord-Est de la wilaya représenté la zone agricole la plus importante, vue la faible pente et l'existence de plusieurs plaines alluviales. La plaine alluviale d'oued Nil est la plus importante et la plus utilisée pour l'agriculture. Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents engrais et pesticides utilisés dans l'agriculture dans le bassin versant d'oued Nil, selon les données de la direction des services agricoles (DSA)

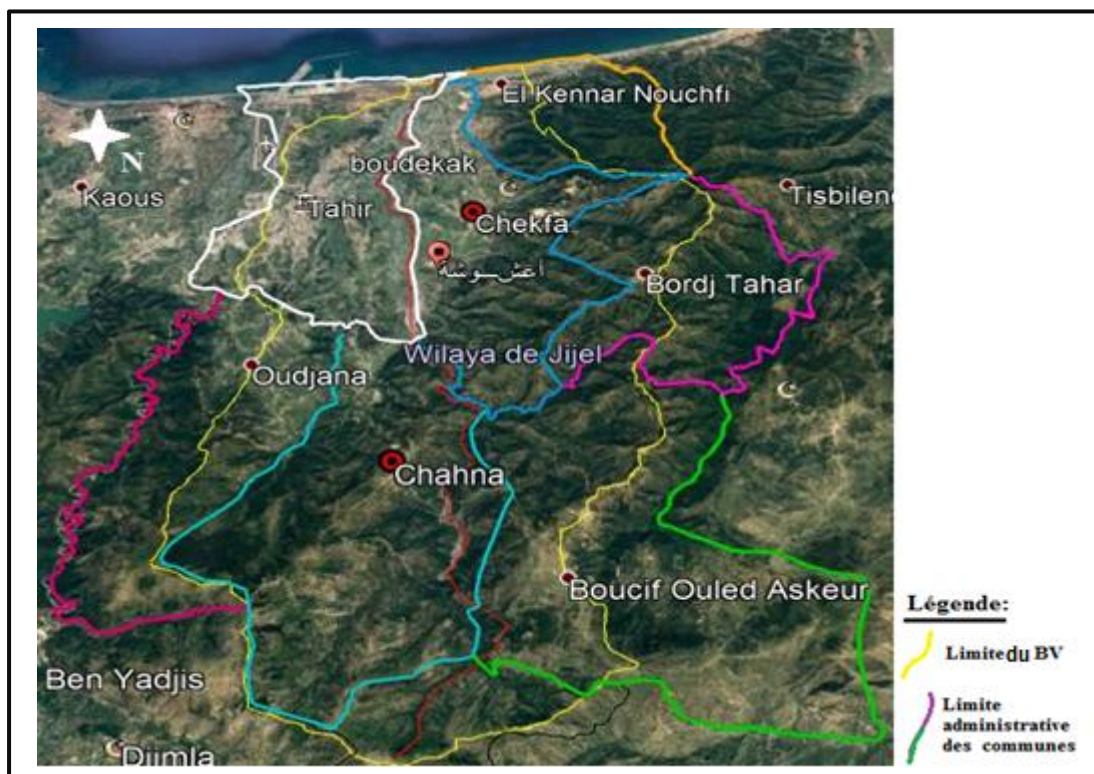


Figure 25 : Présentation administrative du BV d'oued Nil avec la position des communes

V.1.1.a Quantités des engrais et pesticides utilisé dans le bassin versant d'oued Nil

Pour estimer les quantités des engrais chimiques et des pesticides utilisés dans le bassin versant d'oued Nil, nous avons fait la somme des quantités utilisées par chaque commune (selon la Direction des Services Agricoles (DSA) de la wilaya de Jijel) composante du bassin versant multiplier par le pourcentage de la superficie de la commune réellement présente sur le bassin versant par rapport à la surface globale de la commune.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 26.

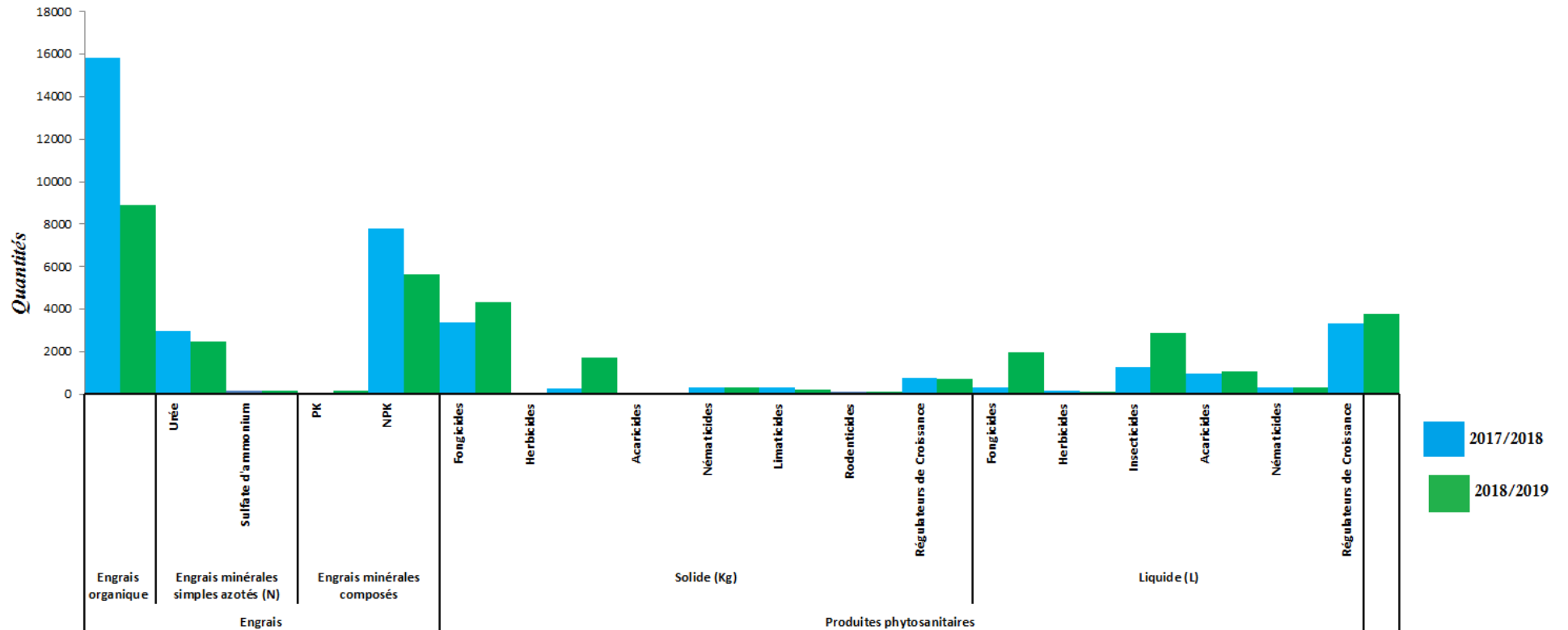


Figure 26 : Quantités des engrais et pesticide utilisé dans le BV année 2017/2018 ; 2018/2019

La figure 26 montre que l'utilisation annuelle, dans le BV d'oued Nil, est plus importante pour les engrais que les produits sanitaires.

Les engrais les plus utilisés sont les engrais organiques (15817.92 Qr), puis les engrais minéraux composés NPK (7813.24Qr), puis les urée (2983.89Qr). Les autres engrais (Sulfate d'ammonium et PK) sont utilisés par des faibles quantités (< 200Qr).

Les produit phytosanitaires les plus utilisés sont les forgicides (4334.22Qr), puis les régulateurs de croissance (3761.71L), puis les Insecticides(2873.79L). Les autres produits phytosanitaires (Herbicides, Acaricides, Nématicides , Limaticides , Rodenticides) présentent des faibles quantités (< 500Qr ou < 300L).

La comparaison des quantités d'engrais chimique et des produits sanitaires entre l'année civile 2017/2018 et 2018/2019, montre que les quantités les plus utilisées sont pour l'année 2017/2018 pour les engrais chimiques de type organique et NPK et et pour l'année 2018/2019 pour les Fongicides, Insecticides, Régulateurs de Croissance.

V.1.1.b Quantités des engrais et pesticide utilisés dans la plaine alluviale d'oued Nil

Pour estimer les quantités des engrais chimiques et des pesticides utilisés dans le plaine alluviale d'oued Nil, nous avons fait la somme des quantités utilisées par chaque commune (selon la Direction des Services Agricoles (DSA) de la wilaya de Jijel) composante de la plaine multiplier par le pourcentage de la superficie de la commune réellement présente sur la plaine par rapport à la surface globale de la commune.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 27.

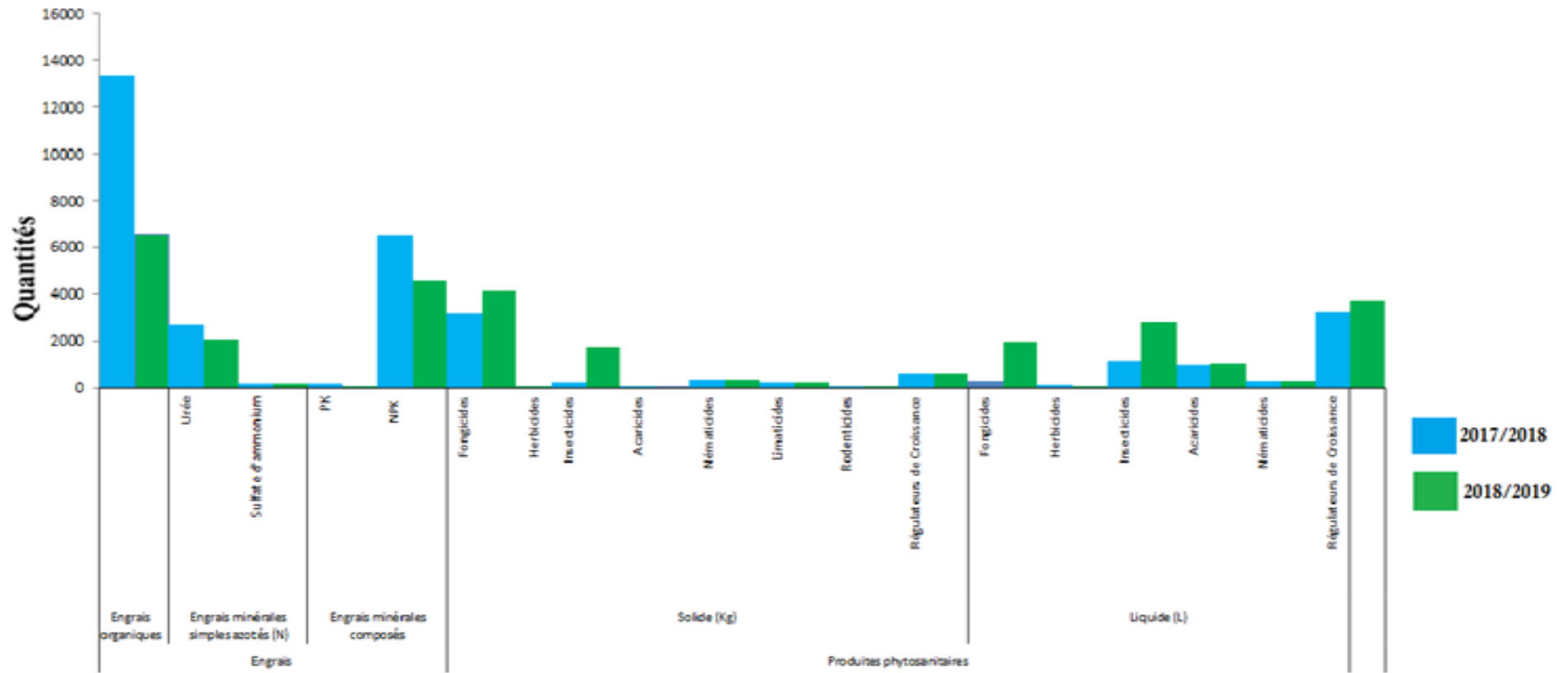


Figure 27: Quantités des engrais chimiques et des pesticides utilisés dans la plaine alluviale d’oued Nil durant deux années (2017/2018 et 2018 /2019)

La figure 27 montre que l'utilisation annuelle, dans la plaine alluviale d'oued Nil, est plus importante pour les engrais que les produits sanitaires.

Les engrais les plus utilisés sont les engrais organiques (13380.27Qr), puis les engrais minéraux composés (6541.16Qr), puis les urée (2666.49Qr). Les autres engrais (Sulfate d'ammonium et PK) présentent des faibles quantités (< 200Qr).

Les produits phytosanitaires les plus utilisés sont les fongicides (4140.2Qr), puis les régulateurs de croissance (3700L), puis les Insecticides(2787.85L). Les autres produits phytosanitaires (Herbicides, Acaricides, Nématicides, Limaticides, Rodenticides) présentent des faibles quantités (< 500Qr ou < 200L).

La comparaison des quantités d'engrais chimique et des produits sanitaires entre l'année civile 2017/2018 et 2018/2019, montre que les quantités les plus utilisées sont pour l'année 2017/2018 pour les engrais chimiques de type organique et NPK et pour l'année 2018/2019 pour les Fongicides, Insecticides, Régulateurs de Croissance.

V.1.2 Conclusion

Cette étude montre que les quantités d'engrais chimiques et des produits sanitaires utilisées au niveau du bassin versant et de la plaine alluviale d'oued Nil sont importantes et peuvent présenter un risque sur la qualité des eaux de surface et les eaux souterraines de la plaine.

V.2. Chimie des eaux de surface

Dans la plaine alluviale d'oued Nil, les eaux de surface sont présentées essentiellement par les eaux des oueds, des marécages et des retenues collinaires. Dans ce mémoire, nous avons étudié seulement les eaux d'oued Nil.

V.2.1 Stations de prélèvements

Les stations choisies pour le prélèvement des eaux d'oued Nil sont présentées dans la figure ci-dessous :

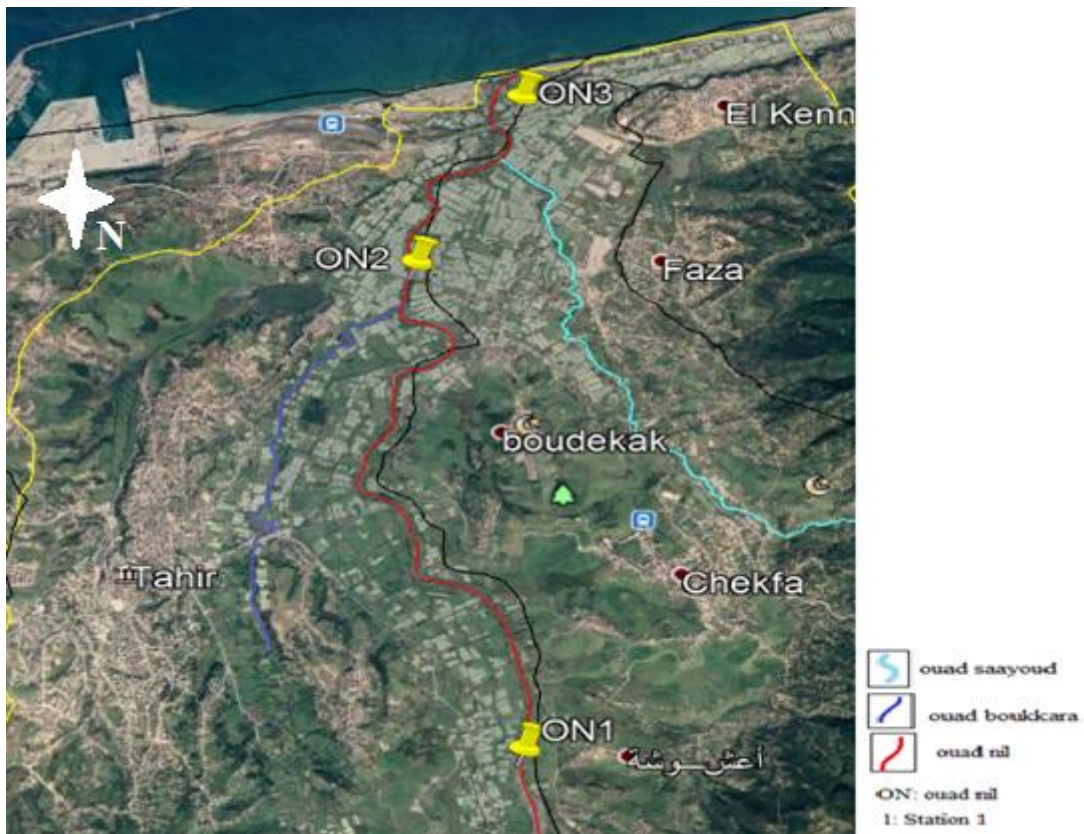


Figure 28: Situation des stations d'échantillonnage des eaux d'oued Nil

V.2.2 Caractéristiques physico-chimiques et qualité des eaux d'oued Nil

Les résultats d'analyses physico-chimiques des eaux d'oued Nil sont présentés dans le tableau 10.

Tableau10 : Concentration et statistiques des paramètres physico-chimiques des eaux d'oued Nil

Paramètre	Station de prélèvement	Mesures et concentrations									Norme			
		Mois			Statistique descriptive					Eau superficielle	Eau d'irrigation			
		Janvier	Avril	Juin	Min	Max	Moyenne	Ecart type	Coef de variation					
Paramètres physico-chimiques	T (°C)	ON1	11	22,5	31	10	31	21,5	20,22	10,03	2,289	11,32%	25°C	
		ON2	15	23	27			21,66		6,11				
		ON3	10	13,5	29			17,5		10,11				
	pH	ON1	11,3	8,8	9,5	8	11,3	9,86	8,81	1,289	0,547	6,21%	6,5 ≤ pH ≤ 9	6,5 ≤ pH ≤ 8,5
		ON2	8	8,5	8,5			8,33		0,288				
		ON3	8	8,7	8			8,23		0,404				
	CE (µs/cm)	ON1	200	214	250	200	600	221,33	298,2	25,794	71,902	24,11%	2800	3000
		ON2	300	280	220			260		52,91				
		ON3	320	320	600			413,33		161,65				
	O ₂ dissous (%)	ON1	43	36	17	0	43	31,33	26,88	14,57	4,096	15,24%	30%	
		ON2	40	38	0			26		22,53				
		ON3	35	35	0			23,33		20,207				
Éléments majeurs	Ca ²⁺ (mg/L)	ON1	19	26	30	19	40	25	28,33	5,56	6,3836	22,53%		400
		ON2	30	29	20			26,33		5,5				
		ON3	28	33	40			33,66		6,02				
	Mg ²⁺ (mg/L)	ON1	15	20	25	15	70	20	31,11	5	17,22	55,35%		60
		ON2	20	25	47			30,66		14,36				
		ON3	26	32	70			42,66		23,86				
	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	ON1	50	60	150	40	400	86,66	141,1	55,07	108,91	77,18%		610
		ON2	150	100	170			140		36,05				
		ON3	40	150	400			196,66		184,48				
	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	ON1	9	15	4	4	15	9,33	3,955	5,507	3,95	99,87%	400	960
		ON2	9	17,5	5			7		2,82				
		ON3	10	13	5			9,33		4,041				
Cl ⁻ (mg/L)	ON1	45	30	40	30	150	38,33	51,11	7,63	37,56	73,49%	600	1080	
	ON2	35	34	50			39,66		8,96					
	ON3	40	36	150			75,33		64,69					
Éléments Traces Métalliques	Pb (mg/L)	ON1	0,4	0,6		0,3	1	0,5	0,6	0,14	0,244	40,67%	50 µg/l	5
		ON2	0,7	0,3				0,5		0,28				
		ON3	1	0,6				0,8		0,28				
	Cd (mg/L)	ON1	0,006	0,006		0,003	0,01	0,006	0,005	0	0,0029	58,00%	5 µg/l	0,01
		ON2	0,003	0,002				0,0025		0,0007				
		ON3	0,003	0,01				0,0065		0,004				
	Cr (mg/L)	ON1	0,22	0,05		0,02	0,22	0,135	0,096	0,12	0,0765	79,69%	100 µg/l	0,1
		ON2	0,02	0,1				0,06		0,05				
		ON3	0,04	0,15				0,095		0,07				
	Zn (mg/L)	ON1	0,017	0,01		0	0,055	0,0135	0,014	0,0049	0,021	150,00%	5 µg/l	2
		ON2	0,002	0,055				0,0285		0,0374				
		ON3	0,001	0				0,0005		0,0007				
Cu (mg/L)	ON1	0,025	0,02		0,01	0,036	0,0225	0,021	0,003	0,008	38,10%	2 µg/l	0,2	
	ON2	0,019	0,01				0,0145		0,006					
	ON3	0,036	0,02				0,028		0,011					

Ce tableau montre des eaux :

- Peu minéralisées (CE varie entre 200 et 600 micros/cm). Elle est due à la minéralisation naturelle et les rejets urbains chargés en éléments nutritifs,
- alcalines (pH varie entre 8 et 11.3) liée à la présence des formations calcaires ;
- et pauvre en oxygène (varie entre 0 et 43%).

Les éléments chimiques les plus dominant sont successivement :

- les bicarbonates (varie de 40 à 400 mg/L avec une moyenne de 141 mg/L) qui augmentent aux périodes des basses eaux (mois de juin) grâce à l'évaporation ;

- Les chlorures (varie de 30 à 150 mg/L avec une moyenne de 51 mg/L) qui varient d'une station à l'autre et d'un mois à un autre. Cela est liée aux conditions climatiques, les terrains traversées et les rejets urbaines
- Le magnésium (varie de 15 à 70 mg/L avec une moyenne de 31 mg/L),
- Le calcium (varie de 19 à 40 mg/L avec une moyenne de 28 mg/L)
- Et enfin les sulfates (varie de 4 à 15 mg/L avec une moyenne de 4 mg/L).

Les éléments traces métalliques présentent des faibles concentrations (< 0.25 mg/L) à l'exception du plomb qui présente des concentrations entre 0.3 et 1 mg/L et avec une moyenne de 0.6 mg/L. La pollution dans les eaux d'oued Nil par les ETM est liée aux rejets urbains et agricoles (utilisation des pesticides).

La variation des concentrations des paramètres physico-chimiques et des éléments chimiques durant ces trois mois (janvier, avril et juin 2014) est marquée par une variation importante des concentrations du zinc (CV = 150%), du sulfates (CV = 100%) et du chrome (CV = 80%) et des faibles variations pour le pH (CV = 6.2 %), la température (CV = 11.3 %) et l'oxygène dissous (CV = 15.2 %).

De point de vue qualité, les eaux d'oued Nil présentent souvent des concentrations inférieures aux normes des eaux de surface et d'irrigation, mais temporairement on peut avoir des concentrations qui dépassent les normes : température (Station ON1 durant le mois de juin (31°C)), pH (station ON1 durant les mois de janvier (11.3) et juin (9.5)), oxygène (station ON2 et ON3 durant le mois de juin), le magnésium (station ON3 durant le mois de juin) et le chrome (station ON1 durant le mois de janvier et la station ON3 durant le mois d'avril)

V.2.3 Relation entre les caractéristiques physico-chimiques des eaux

Pour étudier les relations linéaires possibles entre les différents paramètres physico-chimiques et les éléments chimiques des eaux d'oued Nil, nous avons utilisé deux méthodes statistiques : la matrice des corrélations et l'analyse en composantes principales (ACP)

V.2.3.a. Matrice de corrélation

Vu le faible nombre des analyses des ETM (6 individus), nous avons réalisé deux matrices, la première sans ETM (9 individus) et la deuxième avec les ETM (6 individus). L'analyse statistique de ces données n'est pas statistiquement très significative, vu le faible nombre des individus, mais nous l'avons utilisé à titre indicatif.

L'ensemble des corrélations possibles entre les paramètres physico-chimiques et les éléments majeurs sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11 : Matrice de corrélation des paramètres physico-chimique et des éléments majeurs (9 individus)

	T	pH	CE	O ₂	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
T	1,00								
pH	-0,18	1,00							
CE	0,24	-0,50	1,00						
O ₂	-0,76	0,29	-0,47	1,00					
Ca ²⁺	0,27	-0,57	0,85	-0,25	1,00				
Mg ²⁺	0,54	-0,45	0,80	-0,86	0,54	1,00			
HCO ₃ ⁻	0,58	-0,38	0,85	-0,75	0,70	0,90	1,00		
SO ₄ ²⁻	-0,38	-0,07	-0,27	0,71	-0,05	-0,48	-0,51	1,00	
Cl ⁻	0,42	-0,23	0,89	-0,67	0,60	0,88	0,89	-0,48	1,00

Cette matrice de corrélation montre que la conductivité des eaux de l'oued (CE) a des corrélations principalement avec le calcium (R=0.85), le magnésium (R=0.80), les bicarbonates (R=0.85) et les chlorures (R=0.89), indiquant probablement une origine carbonatée (cipolin) de la minéralisation des eaux. On constate aussi une relation inverse (R = -0.76) entre la température et l'oxygène.

La matrice des corrélations qui intègre les ETM est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau12 : Tableau Matrice de corrélation des paramètres physico-chimique, des éléments majeurs et des ETM (6 individus)

	T	pH	CE	O ₂	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Pb	Cd	Cr	Zn	Cu
T	1,00													
pH	-0,25	1,00												
CE	-0,27	-0,76	1,00											
O ₂	-0,16	0,70	-0,56	1,00										
Ca ²⁺	0,18	-0,84	0,85	-0,69	1,00									
Mg ²⁺	-0,02	-0,59	0,80	-0,80	0,84	1,00								
HCO ₃ ⁻	0,12	-0,39	0,52	-0,06	0,72	0,44	1,00							
SO ₄ ²⁻	0,86	-0,25	-0,05	-0,42	0,31	0,36	0,07	1,00						
Cl ⁻	-0,82	0,64	-0,11	0,53	-0,57	-0,28	-0,36	-0,68	1,00					
Pb	-0,52	-0,54	0,52	-0,51	0,29	0,26	-0,15	-0,50	0,05	1,00				
Cd	-0,21	0,33	-0,08	-0,21	0,10	0,32	0,24	-0,03	0,04	-0,08	1,00			
Cr	-0,28	0,87	-0,42	0,46	-0,49	-0,13	-0,11	-0,07	0,62	-0,60	0,53	1,00		
Zn	0,62	0,13	-0,23	0,24	-0,14	-0,09	-0,10	0,68	-0,13	-0,75	-0,46	0,20	1,00	
Cu	-0,78	0,05	0,13	-0,17	-0,26	-0,04	-0,56	-0,68	0,55	0,79	0,04	-0,08	-0,66	1,00

Ce tableau montre une relation proportionnelle ($R = 0.87$) du ph et du chrome, indiquant la mobilité du chrome dans les eaux alcalines et une relation inversement proportionnelle ($R = -0.84$) avec le ph et le calcium, indiquant l'effet des eaux acides dans la dissolution de la calcite. On constate aussi que le plomb présente une relation inverse ($R = -0.75$) avec le zinc et une relation proportionnelle ($R = 0.79$) avec le cuivre, ce qui indique deux origines différentes, l'un pour le plomb et le cuivre et l'autre pour le zinc.

V.2.3.b. Analyse en Composantes Principales (ACP)

Cette analyse, nous a permis de voir les relations possibles entre les variables, les individus et entre eux. La projection des variables et des individus sur les deux premiers facteurs F1 et F2 montre que le pourcentage de variation de chacun est respectivement 38% et 30% et ensemble ils présenteront une variance de 68%. Les résultats obtenus de cette analyse sont présentés dans la figure ci-dessous.

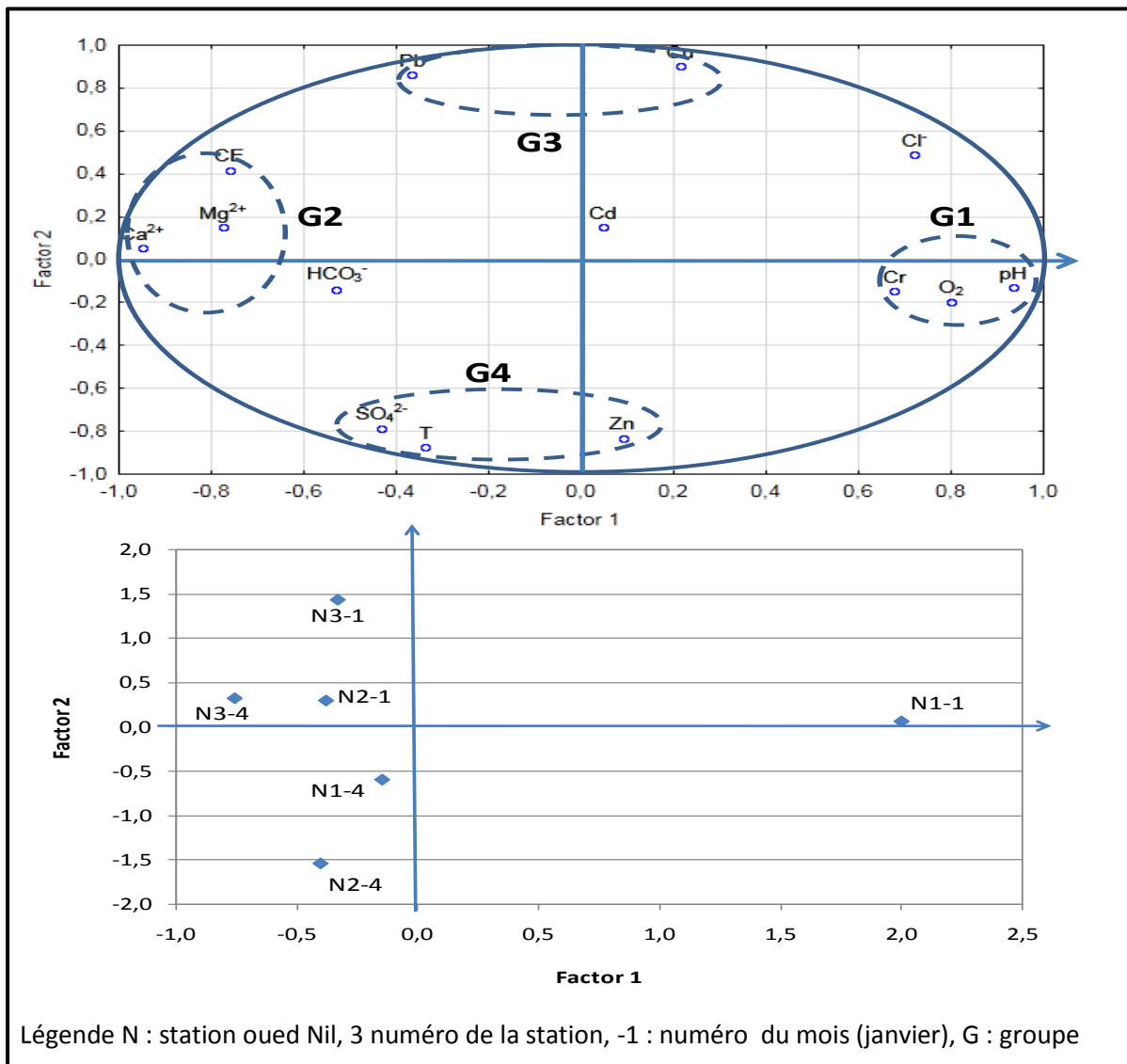


Figure 29 : Analyse en composante principale de la chimie des eaux d'oued Nil

Cette analyse montre l'existence de 4 groupes de relation :

- Deux groupes sur le facteur 1 présentés par une relation proportionnelle entre les éléments chimiques du groupe 1 (Cr, O₂ et pH) et du groupe 2 (CE, Ca²⁺ et Mg²⁺) et une relation inverse entre les deux groupes. Le groupe 1 est présenté principalement par l'individu N1-1 (station ON1, mois de Janvier) et le deuxième groupe par trois individus (N1-4, N2-1 et N3-4). Ce facteur présente principalement la minéralisation naturelle
- Deux autres groupes sur le facteur 2, ils présentent des relations proportionnelles des variables du groupe 3 (Pb et Cu) et du groupe 4 (SO₄²⁻, T et Zn) et une relation inversement proportionnelle entre les deux groupes. Le groupe 3 est présenté par l'individu N3-1 et le groupe 4 par l'individu N2-4. Ce facteur présente principalement le facteur des ETM.

V.2.3.c. Evolution spatio-temporelle des caractéristiques physico-chimiques

Afin d'étudier l'évolution spatiale des caractéristiques physico-chimiques de l'oued Nil ainsi que son évolution temporelle durant les trois mois du suivi (janvier, avril et juin 2014), trois représentations graphiques ont été présentées : la première pour les paramètres physico-chimiques (figure 30), la deuxième pour les éléments majeurs (figure 31) et la troisième pour les éléments traces métalliques (figure 32).

Ces trois figures montrent que de l'amont à l'aval, on observe une augmentation des valeurs de la CE, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, et Cl⁻ et une diminution des valeurs du pH et O₂. Cela indiquera probablement des apports anthropiques riches en ces quatre éléments chimiques, pauvre en oxygène et moins alcalins. L'évolution spatiale des ETM ne présente pas une évolution claire, cela revient probablement à leur origine instable.

Pour l'évolution temporelle (janvier, avril et juin 2014), on observe une tendance de l'augmentation des valeurs de la température, du calcium, du magnésium, des bicarbonates et des chlorures et une diminution des valeurs de l'oxygène dissous. Cela peut être expliqué par l'effet des rejets entropiques.

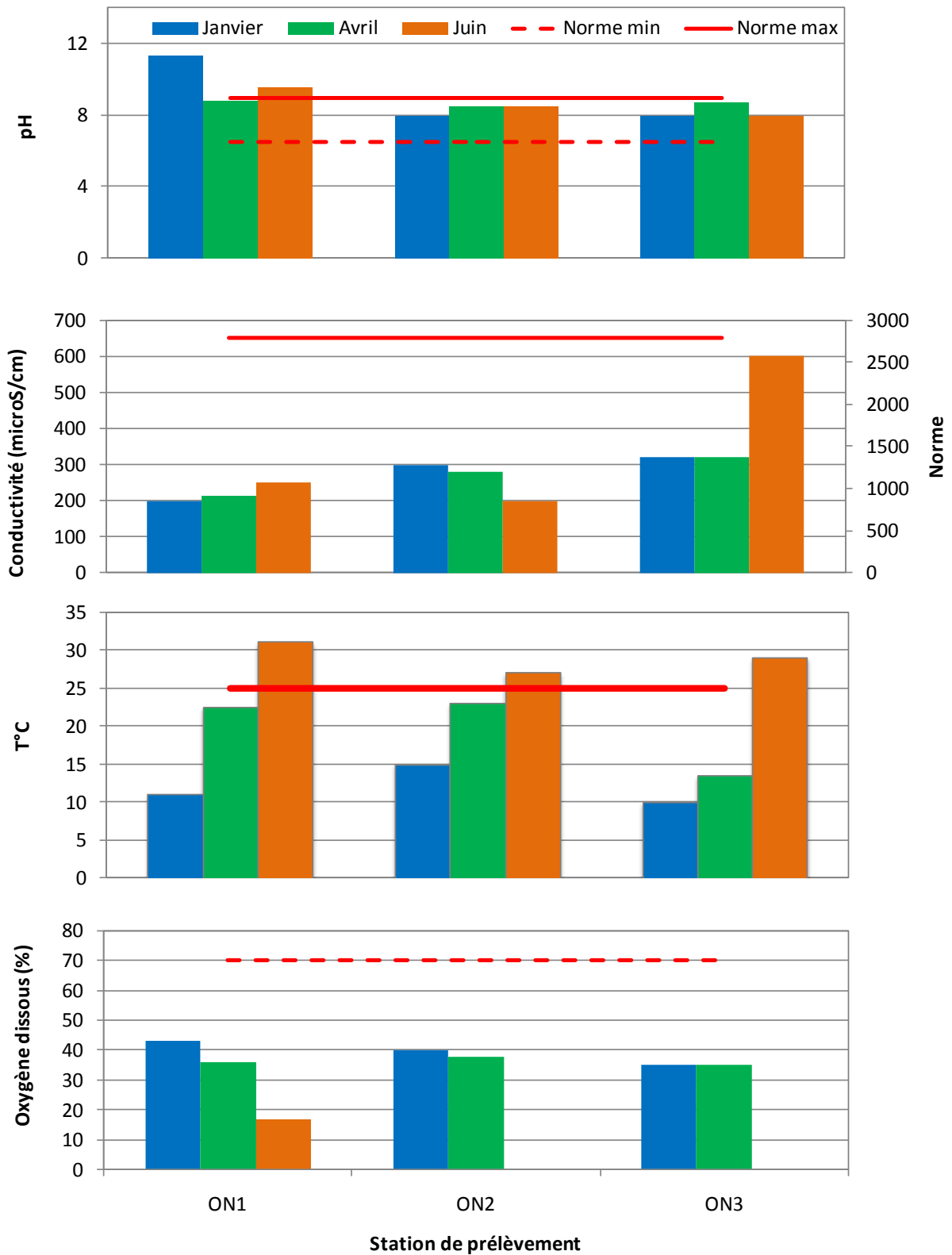


Figure 30: Evolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques

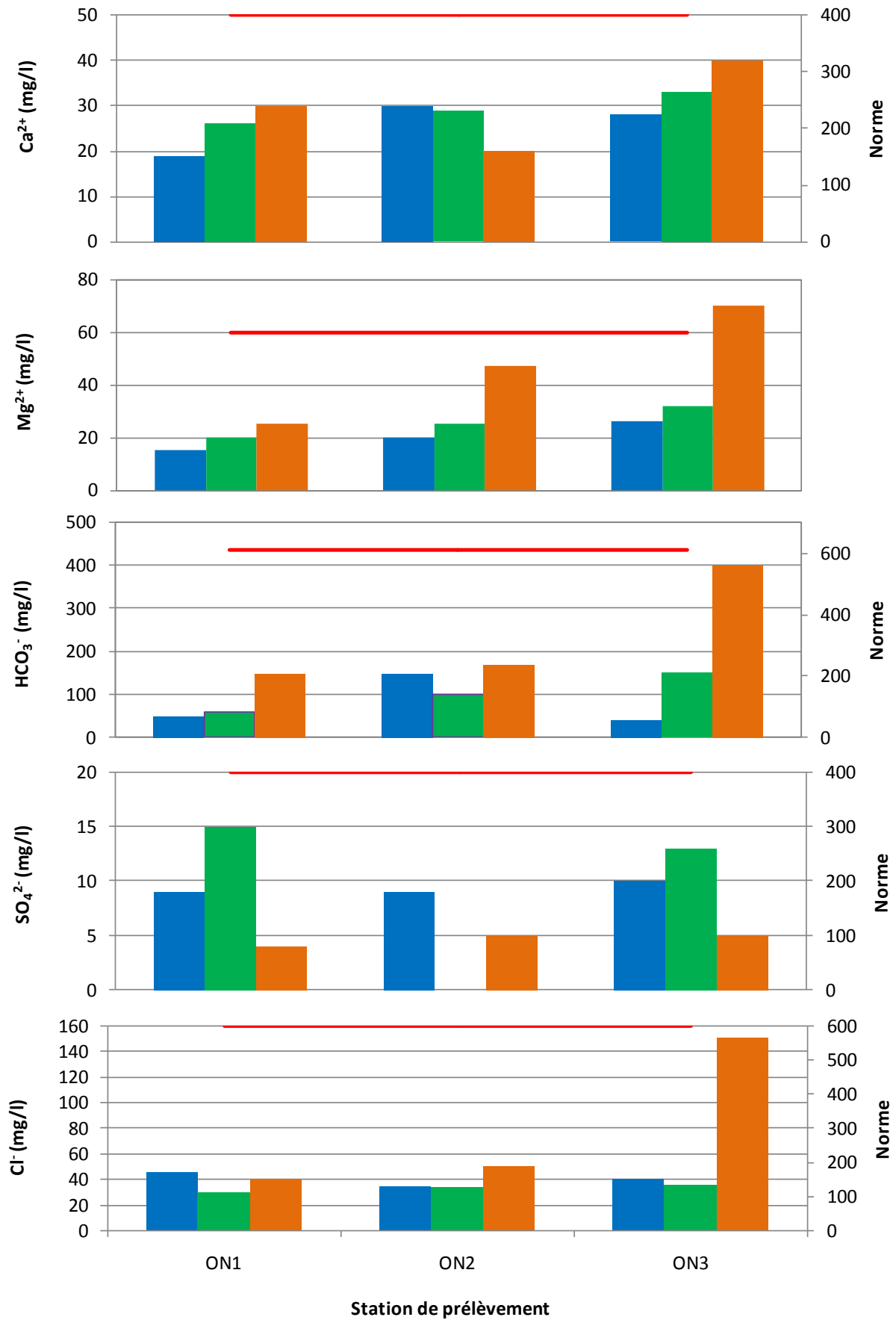


Figure31 : Evolution spatio-temporelle des éléments majeurs

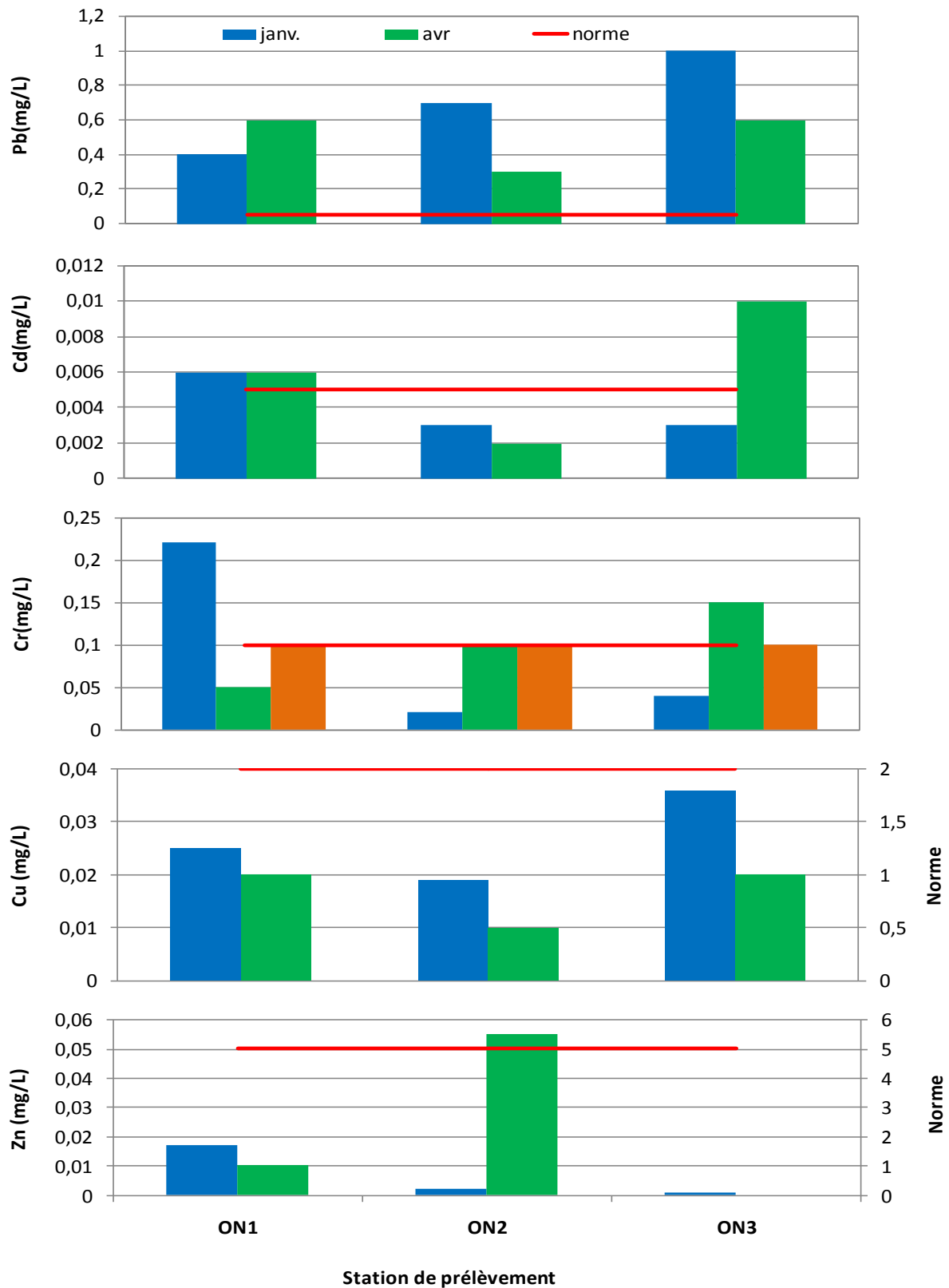


Figure 32 : Evolution spatio-temporelle des éléments traces métalliques

V.2.4 Conclusion

L'étude physico-chimique des eaux de surface, nous a permis de montrer les caractéristiques physico-chimiques des eaux de l'oued Nil et leur évolution spatio-temporelle. Deux types de pollution ont été détectés pour les ETM : une pollution forte et permanente par les Pb et une pollution temporelle par le Cd, Cr et Zn. Cette pollution par les ETM présente un risque dans le cas où ces eaux sont utilisées pour l'AEP et dans le cas où ces eaux s'infiltrent vers la nappe.

V.3 Chimie des eaux souterraines

Les eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil sont exploitées par des puits et des forages. Les eaux de puits sont souvent utilisées pour l'irrigation et les eaux du forage pour l'alimentation en eaux potables. Dans ce chapitre, nous allons se concentrer sur les eaux destinées à l'AEP.

V.3.1. Stations de prélèvement

Selon notre recherche bibliographique, nous avons pu obtenir les données de seulement deux forages, l'un en amont et l'autre en aval (figure 33).



Figure 33 : Situation des stations d'échantillonnage des eaux souterraines d'oued Nil

V.3.2. Caractéristiques physico-chimiques et qualité des eaux souterraines d'oued Nil

L'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines montre :

- Des faibles valeurs de la conductivité (varie entre 350 $\mu\text{s/cm}$ et 600 $\mu\text{s/cm}$) avec une augmentation de l'amont à l'aval.
- Un pH légèrement acide à alcalin (varie entre 6 et 8,2). Cette variation est liée à la nature géologique des terrains traversés.
- Des faibles valeurs de l'oxygène dissous (varie entre 5 et 20%).

Pour les éléments majeurs, on observe :

- Des faibles teneurs en calcium et magnésium, liées à la nature géologique de terrain (la dissolution des formations carbonatées) .
- Des faibles teneurs en sulfates (varie entre 2 mg/l et 14 mg/l) avec une moyenne 8,8 mg/l et un écart type de 4,85 mg/l. La présence des sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses.
- Des valeurs moyennes en chlorures (varie entre 40 et 100 mg/l)
- Des valeurs plus élevées en bicarbonates (varie entre 110 -230 mg/l) avec une moyenne de 176 mg/l et un écart type de 56,83 mg/l. La présence des teneurs en bicarbonates est liée à la dissolution des formations carbonatées.

Pour l'évolution des éléments traces métalliques, on observe :

- La présence du plomb dans les eaux souterraines avec des teneurs élevées qui varient entre 0,5 mg/l et 0,8 mg/l avec une moyenne de 0,65 et l'écart type 0,14 indiquent une origine naturelle du plomb à l'amont à laquelle s'ajoute une origine anthropique dans les zones urbaines
- Des teneurs élevées de cadmium (varient entre 0,005 mg/l et 0,02 mg/ avec une moyenne de 0,0115 et un écart type 0,006),
- Des concentrations en Chrome qui varient entre 0,02 et 0,2 mg/l ;
- Des teneurs inférieures à 2 (mg/l) en cuivre (avec un la valeur minimal 0 mg/l et la valeur maximale 0,03 mg/l)

La différence dans les concentrations des paramètres physico-chimiques et chimiques des éléments pendant ces trois mois (janvier, avril et juin 2014) se caractérise par une variation importante des concentrations du cuivre (CV = 127%), du chrome (CV= 89%), du magnésium (81%), et des faibles variations pour la Conductivité électrique (CV = 25%), du plomb (CV=22%), de la température (CV=13%) et du ph (CV = 7%).

De point de vue qualité, les eaux souterraines d'oued Nil présente souvent des concentrations inférieures aux normes des eaux potables mais temporairement on peut avoir des concentrations qui dépassent les normes en bicarbonate au forage F2 durant le mois de janvier (220 mg/l) et d'avril (230 mg/l), en plomb et en Cadmium dans les deux stations et durant les mois de janvier et d'avril), et en Chrome dans les deux stations (F1 et F2) durant le mois d'avril (0,15 et 0,2 mg/l).

Tableau 13 : Concentration et statistiques des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines d'oued Nil

Paramètre	Station de prélèvement	Mesure et concentration									Norme		
		Mois			Statistique								
		janv.	avril	Jun	min	max	moyenne		Ecart type	Coef de variation			
Paramètre Physico-chimiques	T (C°)	F1	17	23		17	23	20	20.7	4.24	2.8	13%	Eau potable
		F2	19.5	20	24	19.5	19.5	21.17		2.46			
	pH	F1	7.4	8.2		7.4	7.4	7.8	7.28	0.56	0.55	7%	
		F2	7	7	6.8	6.8	6.8	6.93		0.11			
	CE (µs/cm)	F1	350	360		350	350	355	412	7.071	107.09	25%	
		F2	400	600	350	350	350	450		132.28			
O ₂ dissous	F1	20	18		18	18	19	13.25	1.41	6.99	52%		
	F2	5	10		5	5	7.5		3.53				
Eléments majeur	Ca ²⁺ (mg/l)	F1	30	35		30	30	32.5	36.6	3.53	7.19	19%	
		F2	42	46	30	30	30	39.33		8.32			
	Mg ²⁺ (mg/l)	F1	10	1		1	1	5.5	16.2	6.36	13.19	81%	
		F2	32	28	10	10	10	23.33		11.71			
	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	F1	110	120		110	110	115	176	7.07	56.83	32%	
		F2	220	230	200	200	200	216.67		15.27			
	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	F1	7.5	14		7.5	7.5	10.75	8.8	4.60	4.85		
		F2	7.5	13	2	2	2	7.5		5.5			
	Cl ⁻ (mg/l)	F1	40	42		40	40	41	70.4	1.41	27.76		
		F2	80	100	90	80	80	90		10			
Les éléments traces métalliques	Pb (mg/l)	F1	0.75	0.8		0.75	0.75	0.775	0.65	0.035	0.14	22%	
		F2	0.55	0.5		0.5	0.5	0.525		0.035			
	Cd (mg/l)	F1	0.009	0.02		0.009	0.009	0.0145	0.0115	0.007	0.006	55%	
		F2	0.005	0.012		0.005	0.005	0.0085		0.004			
	Cr (mg/l)	F1	0.03	0.15		0.03	0.03	0.09	0.1	0.08	0.089	89%	
		F2	0.02	0.2		0.02	0.02	0.11		0.12			
Cu (mg/l)	F1	0.015	0		0	0.015	0.0075	0.01125	0.01	0.014	127%		
	F2	0.03	0		0	0.03	0.015		0.02				

V.3.3. Evolution spatio-temporelle des caractéristiques physico-chimiques

Les résultats du suivi mensuel (janvier, avril et juin 2014), de la chimie des eaux de l'oued Nil sont présentés par les figures 35, 36 et 37. La première (figure 35) pour les paramètres physico-chimiques, la deuxième (figure 36) pour les éléments majeurs et la troisième (figure 37) pour les éléments traces métalliques.

Ces trois figures montrent qu'il y a des variations de l'amont à l'aval avec une augmentation des valeurs de T, CE, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, et une diminution des valeurs du pH et O₂. Cela indiquera que le milieu devient moins oxygéné et cela peut être expliqué par

l'existence des formations argileuses dans la partie aval qui diminue l'arrivée de l'oxygène dans cette partie de la nappe.

Pour l'évolution temporelle (janvier, avril et juin 2014), l'observation de la tendance des paramètres montre des importantes fluctuations temporelles de la température et des teneurs en magnésium et en calcium. Cela peut être expliqué par l'effet de l'évaporation

L'évolution temporelle des ETM présente une évolution liée à l'utilisation des engrais et des pesticides issus de l'agriculture

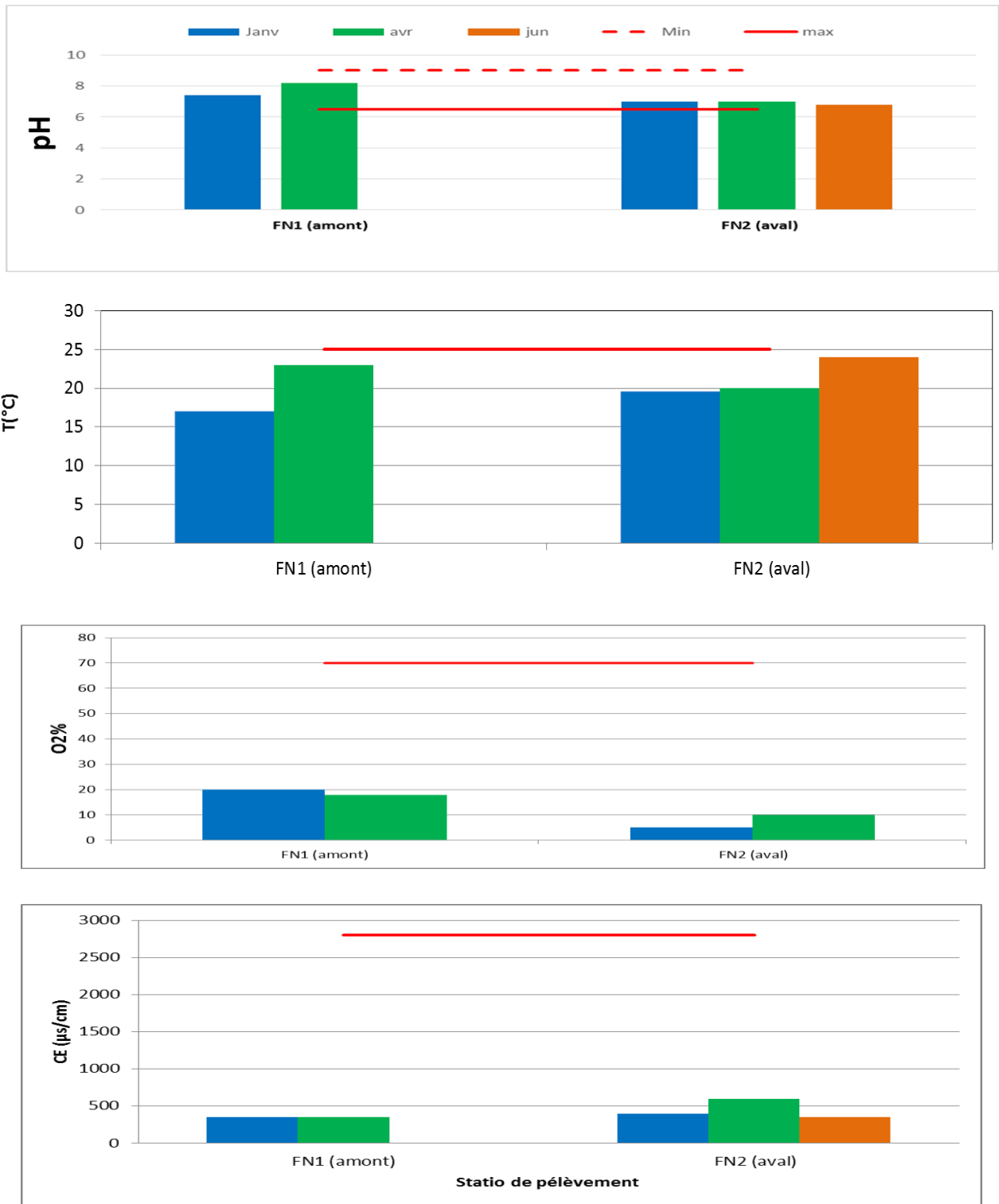


Figure34 : Evolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimique

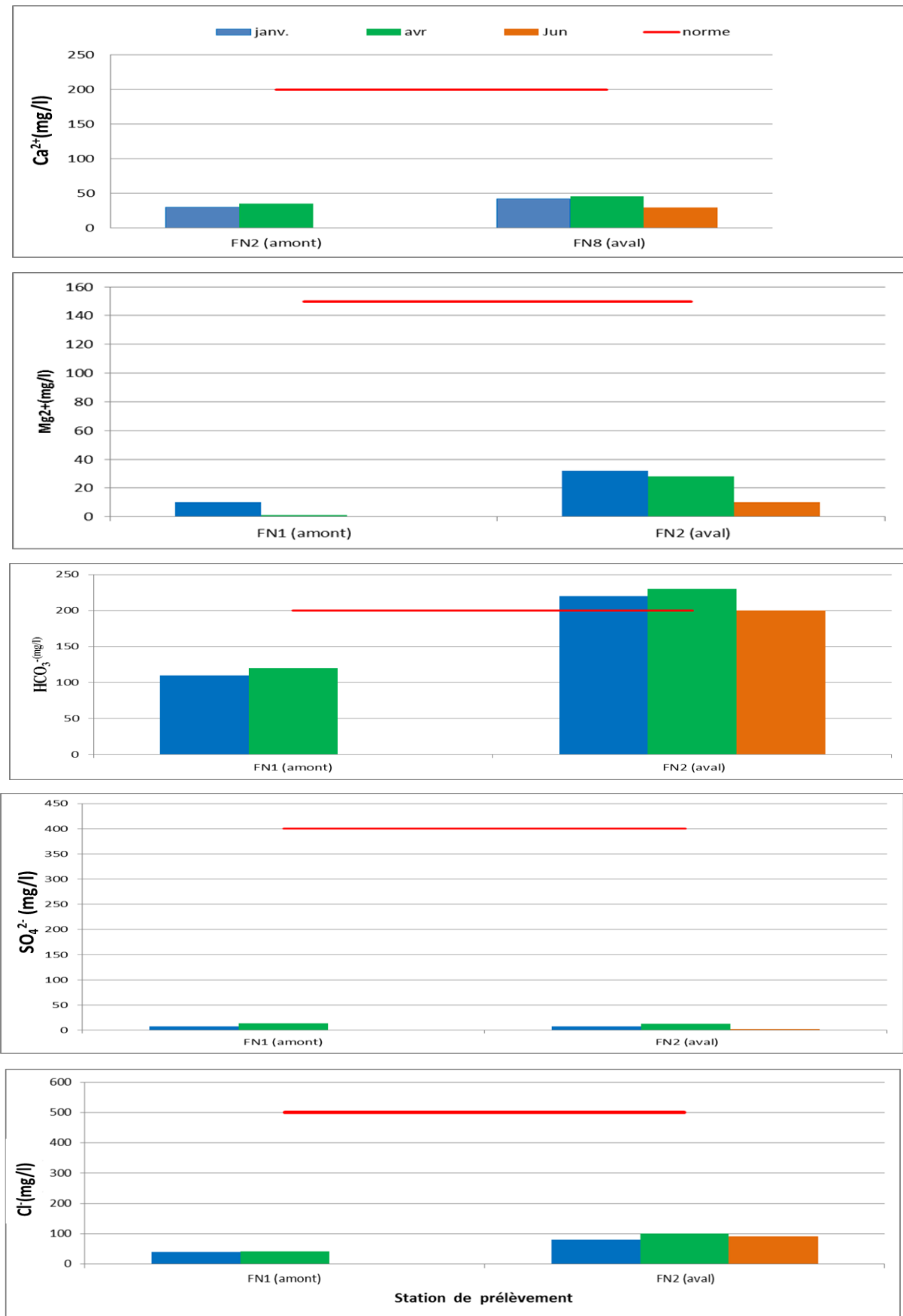


Figure35 : Evolution spatio-temporelle des éléments majeurs

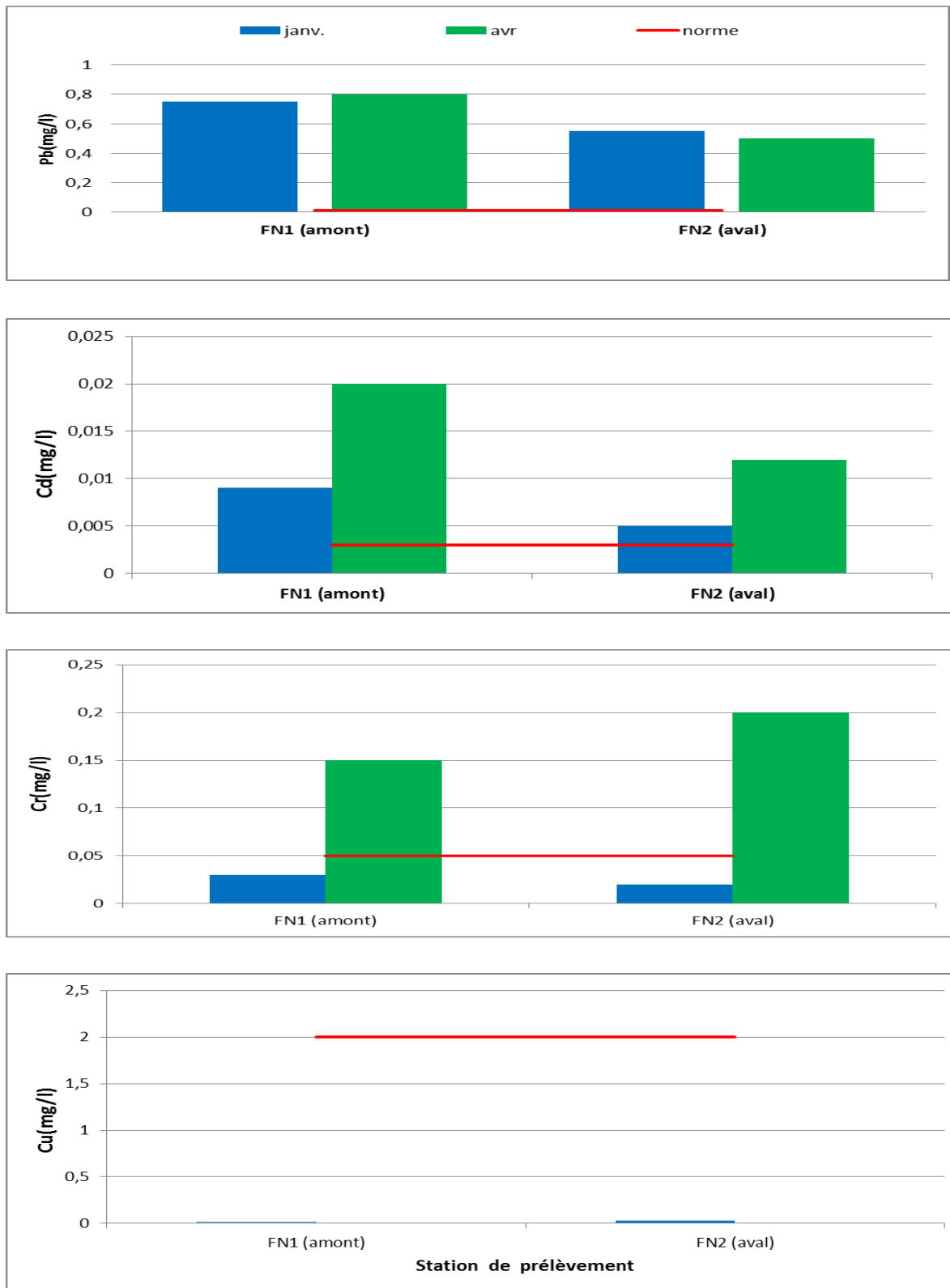


Figure36 : Evolution spatio-temporelle des éléments traces métalliques

V. 4. Conclusion

Les résultats d'analyse des eaux souterraines montrent d'une manière générale que les eaux de la nappe présentent des concentrations en éléments majeurs inférieures aux normes et des valeurs élevées en plomb, en chrome et en cadmium, qui dépassent les normes, et qui peuvent poser un problème sur la santé humaine. Une autre étude complémentaire à cette étude est nécessaire pour connaître la répartition spatiale des concentrations sur l'ensemble de la plaine ainsi que son évolution temporelle.



Conclusion générale

Conclusion générale

Les résultats obtenus de ce travail de recherche, nous ont permis de donner une estimation des quantités d'engrais et de pesticides utilisés dans l'agriculture ainsi que la qualité des eaux de surface et de la nappe alluviale de point de vue physico-chimique et ETM.

La recherche bibliographique réalisée sur ce sujet, nous a permis de monter les caractéristiques, la classification, la mobilité et la spéciation des éléments traces métalliques et des pesticides ainsi que leur effet sur la santé humaine.

L'étude du contexte géologique de la zone d'étude, nous a donné un aperçu la composition des différentes formations géologiques qui se trouvent dans la zone d'étude. L'interprétation des données hydro-climatologiques, nous a permis de montrer que la région d'étude est soumise à un climat tempéré du genre méditerranéen intermédiaire avec une température moyenne annuelle de 18.16 C° et des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 1016.76 mm durant la période 1988-2015.

Les résultats de l'étude hydrochimique des eaux superficielles et souterraines montre que :

- les eaux de surfaces possèdent des bonnes caractéristiques physico-chimiques mais elles présentent une contamination par le plomb, le chrome et le cadmium qui peuvent poser un problème sur la santé humaine.
- les eaux souterraines présentent aussi une bonne qualité physico-chimique, mais elles présentent une contamination par le plomb.

D'après les données des engrais chimiques et des pesticides utilisées dans la plaine alluviale d'oued Nil, on constate que les engrais utilisés sont des engrais organiques, Urée, NPK et les pesticides utilisés sont Fongicides, Rodenticides, Insecticides, Limaticides, Herbicides, Acaricides.

Pour protéger les eaux de surface et souterraines contre la pollution anthropique, je recommande les décideurs administratifs de :

- Sensibiliser les industriels et les agriculteurs sur le risque des rejets sur la qualité des eaux ;
- Informer les agriculteurs sur les quantités, les périodes et les méthodes les plus appropriées pour utiliser les engrais chimiques et les pesticides dans l'agriculture ;

- Construire des stations de traitements des rejets urbains afin de traiter préalablement les rejets et éviter les risques de pollution des eaux ;
- Faire un contrôle permanent de la qualité des eaux de surface et souterraines.



Références bibliographiques

- **Amiour Souad, 2014**, Qualité des eaux et des sédiments de la plaine alluviale d'oued Nil (Wilaya de Jijel, NE Algérien), Magistère en Ecologie Université Larbi Ben M'hidi - Oum El-Bouaghi, Chapitre 1 P 8-11,14, 16, 42-60
- **Amirat Amel et Meniker Soumia, 2014**, Isolement et caractéristiques morphologique de souches d'actinomycètes capable de tolérer et utiliser l'herbicide Apyrose comme seule source de carbone et d'énergie ,université constantine-1 ,P. 08
- **Aubertot, J-N et al, 2005**, Pesticides, agriculture et environnement Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux, Expertise scientifique collective INRA – Cemagref, chap.3 P. 5
- **Batsch Dorothée, 2011**, L'impact des pesticides sur la santé humaine, Université Henri Poincare – Nancy 1, P.21
- **Belabed Bourhane – Eddine ,2010**,La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba « Sources de contamination des écosystèmes aquatiques » , Docteur en Sciences de la Mer , Université Badji Mokhtar -Annaba-,chap 1 ,P 5 et 8-10.
- **Benhamed Imene, 2015**, Contribution à l'évaluation de la pollution métallique chez un crustacé du littoral de Tlemcen, Diplôme de MASTER En Science des aliments , Université de TLEMCEM, Chapitre 1 P 10,17, 18,20.
- Bougerra Abla, Boulassel Lamia, Geussab Alima,2010, Toxicité des pesticides, Diplôme de MASTER En Biochimie, Université de Mohammed Seddik Benyahia – Jijel, Chapitre 1 P17
- **Burnol.A et Duro.L, 2006** , Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines, INERIS,Chapitre 1 P 23,29 36,37,45,46,51,52.
- **Chahid Adil , 2016**, Quantification des éléments traces métalliques (cadmium, plomb et mercure total) de certains produits de la pêche débarqués dans la zone Essaouira-Dakhla : Evaluation des risques sanitaires, diplôme de doctorat National Spécialité Chimie appliquée ,Université IBN ZOHR, Chapitre 1 P 12, 13,16.

- **Chine Amal, 2015**, Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux de surface et souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil (Wilaya de Jijel, Nord-Est Algérien), Magister en Ecologie et environnement Université Mohammed-Seddik Ben Yahia – Jijel, P. 96-118
- **Douglas G.Brookins,1988**, Eh-ph Diagrams For Geochemistry, University of New Mexico,P 43,55,57,61,75.
- **El Mrabet Khadija ,2008**, développement d'une méthode d'analyse des résidus de pesticides par dilution isotopique associée à la chromatographie en phase liquide couplée à la spectromètre de masse en tandem dans les matrices céréalière après extraction en solvant chaud pressurise, université PIERRE et MARIE CURIE , p.19
- **Elisabeth Laurent, 2008**, Matériaux mésomorphes a empreinte moléculaire pour le développement d'un capteur de pesticides, Doctorat de l'université de Toulouse, P .17
- **El Idrissi Loubna, 2009**,cytotoxicitédu cadmium, du plomb et du mercure et caractérisation du transport membranaire de cadmium dans les cellules alvéolaires (A549) et bronchiolaire, (H441),mémoire de la MAÎTRISE en BIOLOGIE, Université du QUÉBEC À MONTRÉA, Chapitre 1 P 5 et Chapitre2 P 11,13.
- **Errami Mohamed, 2012**, Devenir atmosphérique de bupirimate et transfert de ses métabolites (les diazines) dans l'atmosphère, sa dissipation dans les fruits de tomate et sa dégradation électrochimique, DOCTEUR de l'Université Ibn Zohr & Université de Reims Champagne Ardenne, P. 07
- **Gagaoua Yasmina et Ouali Farida, 2012**, Suivi de la variabilité de l'utilisation des pesticides dans le bassin versant de la Soummam, Université A. Mira de Bejaïa, P. 07, 10 et 14
- **Ghislaine Bouvier, 2005**, Contribution à l'évaluation de l'exposition de la population francilienne aux pesticides, Doctorat de l'université Rene Descates - PARIS 5, p. 18, 23
-
- **HachomiImane, 2013**, Analyse et dosage des résidus de carbamates dans la pomme par HPLC, Université Hassani II Mohammedia – Casablanca, P. 16, 18
- **Hammadache Zineb ; Gurrache Samah et Saib Samia, 2016**,Evaluation du transfert des métaux lourds dans le système sol-plante (Phragmites austrlis) dans le bassin versant d'oued NIL

la région de Jijel, diplôme de Master en BIOLOG, Université M'hamed Bougara des Boumer, Chapitre 1 P 3 -5.

- **Kebire Tahar ,2012**, Etude de contamination ,d'accumulation et de mobilité de quelques métaux lourds dans des légumes , des fruits et des sol agricole situés par d'une décharge industrielle de l'usine al zinc de la ville de ghazaouet ,diplôme de doctorat en SCIENCES, Université ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM, chap 1 P 11.
- **Khellaf Zeyneb et Mechakkef Besma ,2015** , La mobilité des Métaux lourds dans les eaux et les sédiments d'Oued Nil (Wilaya de JIJEL, NE Algérien) , diplôme de Master Académique en Géologie Option du Eau et Environnement, Université Mohamed Seddik Ben Yahia – Jijel, chap 5 P45 ,46.
- **Lamprea Maldonado Diana Katherine , 2009**, Caractérisation et origine des métaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportés par les retombées atmosphériques et les eaux de ruissellement dans les bassins versants séparatifs péri-urbains, Thèse de Doctorat de Génie civil, École Centrale de Nantes ,Chapitre 1 P 6.
- **Lemière B., Seguin J.J., Le Guern C., Guyonnet D., Baranger Ph., Saada A., avec la collaboration de Darmendrail D., Conil P., Bodéan F., Fauconnier D., Hubé D., Colombano S. (2008)**, Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes ,Document du BRGM 300 ,p16-17.
- **Liliana Juc, 2007**, étude des risques liés à l'utilisation des pesticides organochlorés et impact sur l'environnement et la santé humaine, Doctorat de l'environnement et la santé humaine, Doctorat de l'université Claude Bernard - LYON 1, P. 9
- **Mahdid et al., 2013**, Fonctionnement hydrologique du bassin versant de l'oued Nil (Wilaya de Jijel, Nord-Est algérien), article a Université de Jijel
- **Mairif Samah, 2015**, Contribution à l'étude de l'effet toxique des pesticides à usage domestique utilisé en Algérie, Doctorat de université 8 MAI 1945-GUELMA, P.05
- **Merhi Maysaloun, 2008**, Etude de l'impact de l'exposition à des mélanges de pesticides à faibles doses : caractérisation des effets sur des lignées cellulaires humaines et sur le système hématopoïétique murin, Doctorat de l'université de Toulouse, p. 3, 4.

- **Oursel Benjamin, 2013**, Transferts et dynamique des contaminants métalliques en zone côtière. Impact d'une grande agglomération méditerranéenne, diplôme de doctorat spécialité de Chimie de l'Environnement, Université de TOULON, Chapitre 1 P 32.
- **Ratelle Mylène, 2015**, Étude de la cinétique des pesticides pyréthrinoïdes en conditions contrôlées et en milieu de travail dans un objectif de biosurveillance, Université de Montréal, P. 04 ,05
- **Sadoun Loubna, 2013** , Etude hydrologique et hydrogéologique de la basse plane alluviale de oued Nil (wilaya de Jijel), Mémoire de Master2 Option Eau et Environnement, Université Mohamed Seddik Benyahia – Jijel, p 36.
- **Salvarredy Aranguren Matías Miguel, 2008**, Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydro chimique, thèse de doctorat, Université Toulouse III - Paul Sabatier ,Chapitre 1 P 9 et 11,14 et 20, 23,24.
- **Thomas Bur, 2008** ,impact anthropique sur les éléments trace métallique dans les sols agricoles de midi-pyrenees ,implications en terme de limites et de charges critiques, diplôme de doctorat spécialité Hydrogéochimie, université de TOULOUSE ,Chapitre 1 P10, 12,13.
- **Tissoukai Hanane et Ouatmani Meriem, 2012**, Dosage de quelques métaux lourds dans les régions de haute vulnérabilité du golfe de Béjaia, Diplôme de Master II en Environnement et santé publique, Partie 1 P3.



Annexes

Tableau de données la température de la station Achouat-Taher

	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
1988	12,90	10,70	12,60	15,00	18,10	21,50	24,70	25,90	21,50	20,70	15,80	11,10
1989	10,30	11,80	13,80	14,90	17,30	21,10	25,20	26,20	23,50	19,70	16,40	15,30
1990	11,50	13,20	13,90	14,30	18,30	22,10	24,50	24,30	25,40	20,90	15,70	10,70
1991	10,50	10,60	14,40	13,50	15,20	21,20	24,70	25,80	24,60	19,60	14,10	11,20
1992	9,80	11,00	12,30	14,30	7,50	20,40	23,00	24,90	23,70	18,50	15,10	12,20
1993	9,60	10,70	12,10	14,60	18,70	21,60	23,80	25,40	22,50	19,80	14,50	12,10
1994	11,90	12,20	13,60	13,90	19,20	22,00	25,50	28,60	24,90	20,50	16,90	12,60
1995	11,80	13,40	13,10	14,10	19,20	22,40	25,10	26,10	22,80	20,40	16,80	15,00
1996	14,40	11,50	13,80	15,70	18,10	21,70	24,70	25,60	21,50	17,80	16,10	14,30
1997	13,50	12,20	12,90	15,40	19,80	23,90	24,40	25,80	24,00	20,30	16,50	13,70
1998	12,50	12,30	13,50	15,80	18,20	22,90	24,70	25,40	23,70	17,80	14,40	11,40
1999	11,60	10,40	13,60	15,00	20,40	23,30	25,10	27,80	24,80	22,90	14,70	12,20
2000	9,50	11,90	13,60	16,30	19,70	21,90	25,90	26,60	23,50	19,40	15,40	13,40
2001	12,50	11,20	17,00	15,20	18,00	23,40	24,90	26,10	22,90	22,60	15,10	10,70
2002	10,70	11,70	14,00	15,10	18,40	22,40	24,50	25,00	22,80	19,50	16,70	13,90
2003	11,60	11,00	13,70	16,00	18,40	25,30	27,70	28,30	24,00	21,10	16,10	12,00
2004	11,40	12,30	13,60	14,90	17,20	21,70	24,80	26,70	24,10	22,00	14,00	12,80
2005	9,00	9,20	13,00	16,00	19,80	23,50	26,20	25,50	23,70	21,00	15,70	11,80
2006	10,90	11,30	14,20	17,80	20,80	23,40	26,10	25,40	23,40	22,10	17,90	13,60
2007	12,30	13,90	13,20	16,70	19,80	22,80	25,10	26,80	23,50	20,00	14,90	12,30
2008	12,40	13,10	9,00	16,60	18,90	22,30	25,90	26,00	24,20	20,30	15,00	11,90
2009	11,90	11,60	13,20	15,20	20,80	23,60	27,40	27,00	23,40	20,10	16,50	14,70
2010	12,50	13,90	14,40	16,40	18,00	21,50	25,50	25,50	23,30	20,10	19,80	13,20
2011	11,90	11,80	14,40	17,20	19,60	22,50	26,40	26,30	24,40	20,50	17,00	13,10
2012	11,50	8,70	13,90	16,30	19,20	24,90	26,40	27,90	23,10	21,10	17,10	13,00
2013	11,90	10,50	15,20	16,40	18,10	20,90	25,20	25,40	23,70	22,80	15,40	12,50
2014	13,30	13,60	13,40	17,10	18,90	23,20	25,50	26,30	26,20	22,20	18,80	13,10
2015	12,00	11,00	15,00	17,00	20,00	22,90	27,00	27,00	25,00	21,00	16,00	12,90

Tableau de donn e de la précipitation a station Achouat-Taher :

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Ao�u	Sep	Oct	Nov	Dec
1988	85,00	128,00	70,40	65,60	42,20	18,40	0,00	0,00	134,10	2,30	184,60	284,60
1989	112,60	92,00	67,20	178,40	9,30	8,50	9,20	8,80	52,20	26,70	148,50	124,00
1990	120,10	0,00	54,10	87,20	74,10	8,50	6,20	29,40	0,90	107,40	251,20	411,20
1991	115,40	139,60	126,20	42,20	50,50	3,30	0,00	3,10	40,50	220,60	98,10	67,50
1992	122,90	56,00	201,40	165,50	98,30	26,10	9,50	0,20	11,50	121,90	60,30	319,30
1993	107,90	113,70	66,70	103,70	66,50	7,50	0,00	0,00	32,70	84,30	126,10	158,00
1994	107,10	141,90	0,00	92,40	14,50	0,00	0,30	0,50	93,30	122,90	5,00	371,60
1995	173,30	37,40	104,10	56,50	5,60	20,60	1,70	9,50	58,50	72,30	96,10	94,60
1996	102,10	313,10	122,40	128,80	60,90	45,10	3,20	10,70	45,10	129,70	110,00	128,10
1997	58,00	12,90	12,20	82,20	28,60	27,20	5,80	7,40	110,70	196,50	188,10	121,40
1998	42,30	142,90	67,50	106,10	130,10	3,80	0,00	20,40	94,30	51,50	339,30	151,80
1999	163,20	97,00	62,10	42,70	5,90	4,00	1,60	5,60	27,00	23,90	250,80	247,70
2000	108,60	42,40	17,00	33,20	95,30	13,50	1,40	2,70	25,70	89,80	117,80	84,60
2001	247,70	110,90	14,20	50,70	50,30	3,70	0,00	2,50	38,80	1,10	125,20	142,40
2002	71,80	66,30	37,60	49,70	15,30	4,40	16,20	86,20	49,50	103,00	182,00	407,30
2003	333,10	115,00	30,70	130,00	70,90	0,80	7,10	0,00	128,40	76,00	82,00	220,50
2004	137,20	83,30	75,20	96,60	81,20	56,40	1,30	4,30	75,80	34,80	267,10	158,80
2005	262,10	212,60	85,50	121,80	4,80	0,00	1,20	18,40	56,40	21,40	134,50	171,60
2006	178,20	165,50	54,90	24,10	32,70	2,80	0,00	34,80	45,30	37,90	39,60	215,40
2007	12,30	74,50	268,50	70,60	14,40	26,40	3,30	4,80	70,80	142,90	291,40	211,30
2008	34,30	27,40	172,10	18,80	144,70	3,70	0,00	1,30	86,70	30,80	109,80	145,90
2009	207,90	85,90	78,20	183,80	14,40	0,30	0,50	10,80	172,30	68,10	154,90	139,60
2010	121,40	60,20	105,40	52,50	81,00	49,50	2,10	1,40	53,00	218,50	195,90	110,30
2011	78,60	143,50	89,80	69,70	33,40	27,00	8,10	0,00	14,70	247,10	134,50	160,00
2012	64,90	368,50	95,90	189,40	3,10	0,60	0,40	110,90	105,60	162,80	82,60	81,40
2013	210,30	211,60	81,20	41,90	144,60	0,60	1,60	42,90	48,50	54,20	349,90	125,20
2014	133,70	85,10	154,00	13,10	7,10	13,90	0,20	4,10	24,90	49,00	182,90	338,10
2015	170,95	268,98	119,00	2,00	25,75	68,00	0,00	3,87	89,00	131,75	148,00	9,70

Tableau de l'évaporation a station Achouat-Taher :

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1991/199	122	90	64	64	65	64	99	89	89	104	147	164
1992/	128	91	58	68	44	61	56	76	60	105	93	128
1993/	115	99	62	56	48	65	78	81	92	96	125	120
1994	142	78	73	47	75	83	53	83	96	136	157	179
1995	109	81	96	75	87	64	81	74	106	85	123	134
1996	100	79	74	66	88	72	72	71	69	83	133	117
1997	76	64	54	52	63	31	50	61	64	88	87	91
1998	72	51	40	42	49	31	53	52	41	79	75	74
1999	87	101	48	44	33	36	55	52	75	79	100	109
2000	75	65	55	63	33	44	46	78	46	55	105	106
2001	64	84	48	37	49	41	78	54	55	107	89	97
2002	77	68	83	51	38	40	53	48	70	56	64	79
2003	72	61	51	48	48	42	51	45	44	93	110	107
2004	81	80	28	45	39	47	46	48	53	58	75	89
2005	89	58	54	41	43	41	40	52	55	76	102	96
2006	87	79	74	49	56	40	70	66	57	101	97	93
2007	78	62	57	48	37	37	43	46	82	77	88	117
2008	93	62	68	47	46	51	49	59	50	70	98	94

Tableau de l'Humidité Relative a station Achouat-Taher :

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1991/	76	79	80	78	77	77	77	77	77	77	73	71
1992/	76	79	82	78	83	85	82	81	84	78	81	74
1993	78	76	80	83	81	77	76	77	76	77	76	77
1994	70	79	77	80	83	77	81	68	76	70	69	65
1995	72	73	69	75	75	70	75	77	72	76	72	69
1996	114	77	74	74	72	75	76	76	119	77	69	73
1997	74	76	77	75	72	83	77	74	77	73	74	71
1998	88	77	80	79	78	82	75	76	82	75	74	76
1999	74	67	80	81	81	79	75	75	73	73	70	70
2000	77	74	77	72	80	77	78	71	81	81	69	69
2001	77	71	77	78	77	77	73	77	79	67	73	71
2002	74	73	71	76	78	77	75	76	73	76	75	76
2003	79	76	75	80	78	75	75	79	80	69	68	67
2004	73	69	82	77	80	78	79	76	78	78	75	71
2005	71	77	74	77	80	77	79	76	76	73	69	68
2006	70	73	70	77	73	76	73	74	79	66	70	71
2007	75	80	76	77	80	81	74	80	72	75	73	70
2008	80	76	77	78	77	74	78	73	82	75	71	72

Analyse des éléments chimiques au laboratoire

Six éléments chimiques (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et TH) ont été analysés, ils utilisent trois méthodes d'analyses:

- Méthode Titrimétrique (Ca^{2+} , TH, Cl^- et HCO_3^-);
- Méthode Spectrophotométrique (SO_4^{2-}).

- **Méthode titrimétrique (volumétrique)**

Les paramètres qui ont été quantifiés par la méthode volumétrique sont:

- **Calcium (Ca^{2+})**

Les ions de calcium titrent avec une aqueuse solution EDTA (l'éthylène diammine tetracétique) à un pH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le murexide, qui forme un complexe de rose foncé avec du calcium. Lors du titrage, on verse alors progressivement dans la prise d'essai une solution d'EDTA (l'éthylène diammine tetracétique) à l'aide d'une burette graduée jusqu'au virage (changement de couleur) de l'indicateur du violet-rose au bleu (réagit avec les ions du calcium,).

- **Dureté totale (TH)**

Dans le cas présent, on met à profit la particularité de deux ions (calcium et magnésium) qui se complexent avec une espèce chimique (EDTA). L'EDTA est relativement un complexe chimique édifice qui a la propriété de piéger les ions du Ca^{2+} et Mg^{2+} qui sont présents dans une solution aqueuse).

- **Chlorures (Cl^-)**

La réaction des ions chlorure avec l'ion d'argent produit la précipitation de chlorure d'argent (insoluble). L'abondance des ions d'argent, après l'épuisement des chlorures, permet la production d'argent chromate, avec une couleur brun-rouge. Pendant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9,5.

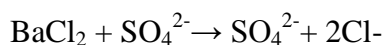
- **L'alcalinité (HCO_3^-)**

Elle est déterminée par la neutralisation des ions HCO_3^- à l'aide d'un acide minéral (H_2SO_4) dilué (1/50). La baisse du pH de la solution (≤ 8.3) à un pH = 4,5 indique la concentration des bicarbonates. Les concentrations sont calculées selon la formule suivante : $C(\text{HCO}_3^-) = V(\text{versé } \text{H}_2\text{SO}_4) * 24.4$.

- **Méthode spectrophotométrie d'absorption moléculaire**

- **Sulfates (SO_4^{2-})**

Ils ont été dosés en précipitant les sulfates de baryum (BaSO_4) en appliquant une solution de chlorure de baryum (BaCl_2). L'équation de la réaction de précipitation est:



- **Eléments traces métalliques**

Avant l'analyse de ces éléments, les échantillons ont été filtrés à l'aide des membranes de filtration ayant une porosité de 0,45 μm puis acidifier par l'acide nitrique jusqu'à un $\text{pH} \leq 2$. Les teneurs des métaux lourds Cd, Pb, Cr, Zn sont déterminées dans l'eau par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme de type SHIDZUAA 6200 ATOMIC.

Engrais (Qx = 100 Kg) 2018/2019										Produites phytosanitaires (2018/2019)																				
Engrais organiques	Engrais minérales simples azotés (N)				Engrais minérales simples phosphatés (P)			Engrais potassiques (K)		Engrais minérales composés				Solide (Kg)						Liquide (L)										
	Urée	Sulfate d'ammonium 26%	Sulfate d'ammonium 21%	Azofert N21%	Autres	TSP	SSP	Autres	Potasse K2O	Autres	NP	NK	PK	NPK	Fongicides	Herbicides	Insecticides	Acaricides	Nématocides	Limacides	Croissances des	Autres 1	Fongicides	Herbicides	Insecticides	Acaricides	Nématocides	Limacides	Croissances des	Autres 1
	83												165	25										18	6					
	75												211	30										15	3					
690	73												1164	439,5				15	1						117	25				
5400	585		150									170	2400	1020		167				30	85	600		350	60	182	810	280		3700
5600	190											22	1227	141		10				65	60	250		40	50	164	32	50		162
585	850												1358	350										52	24,5					
670	1862												1358	3605	100	2085	95	420	240					2140		3347	300			

Résumé

La plaine alluviale est caractérisée par une abondance en eaux de surface et souterraine. Ces eaux sont utilisées pour l'alimentation en eaux potables et en irrigation.

Ce présent travail de master consiste à évaluer l'impact des rejets et des pratiques agricoles (pesticides) sur la qualité physico-chimiques des eaux de la plaine d'oued Nil. Pour atteindre cet objectif, nous avons interpréter les données d'un suivi mensuel (janvier, avril, juin 2014).

L'analyse des quantités d'engrais chimiques et des pesticides utilisée dans l'agriculture montre que les engrais utilisés sont essentiellement les Urée et NPK ,et les pesticides Fongicides, Insecticides et Herbicide. Les quantités les plus élevées sont observées à la commune de Taher, ce qui présente un risque de pollution important pour les eaux de surface et souterraine.

Les résultats obtenus du suivi montrent une pollution par les ETM des eaux de surface parle plomb, probablement liée aux rejets urbains et des eaux souterraines par le plomb, le chrome et le cadmium, liée probablement à une origine naturelle.

Mots-clés: Oued Nil, ETM, pollution, pesticide, eau de surface, eau souterraine.

Abstract

The alluvial plain is characterized by an abundance of surface and groundwater. These waters are used for drinking water supply and irrigation.

This current master's thesis consists in evaluating the impact of discharges and agricultural practices (pesticides) on the physicochemical quality of the waters of the Wadi Nile plain. To achieve this goal, we interpreted the data from a monthly follow-up (January, April, June 2014).

Analysis of the amounts of chemical fertilizers and pesticides used in agriculture shows that the fertilizers used are mainly Urea and NPK, and pesticides Fungicides, Insecticides and Herbicides. The highest quantities are observed in the municipality of Taher, which presents a significant risk of pollution for surface and groundwater.

The results obtained from the monitoring show pollution by the ETM of surface water by lead, probably linked to urban discharges and of groundwater by lead, chromium and cadmium, probably linked to a natural origin.

Keywords: Wadi Nil, ETM, pollution, pesticide, surface water, groundwaters.

ملخص

يتميز السهل بوفرة المياه السطحية والجوفية. تستخدم هذه المياه لإمدادات مياه الشرب والري تتكون أطروحة الماستر الحالية من تقييم تأثير التصريفات والممارسات الزراعية (مبيدات الآفات) على الجودة الفيزيائية والكيميائية لمياه سهل وادي النيل. لتحقيق هذا الهدف فسرنا نتائج المتابعة الشهرية (يناير ، أبريل ، يونيو 2014)

يوضح تحليل كميات الأسمدة الكيماوية والمبيدات الحشرية المستخدمة في الزراعة أن الأسمدة المستخدمة بشكل أساسي هي اليوريا والنيتروجين والبوتاسيوم ومبيدات الفطريات ومبيدات الحشرات ومبيدات الأعشاب. لوحظت أعلى الكميات في بلدية طاهير ، مما يشكل خطراً كبيراً على تلوث المياه السطحية والجوفية

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها من رصد تلوّثاً بمعادن المياه السطحية بالرصاص ، والذي من المحتمل أن يكون مرتبطاً بالتصريفات الحضرية والمياه الجوفية بالرصاص والكروم والكاديوم ، وربما يرتبط بأصل طبيعي

الكلمات المفتاحية: وادي النيل ، المعادن ، تلوث ، مبيدات ، مياه سطحية ، مياه جوفية.