

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Larbi Ben M'hidi - Oum El-Bouaghi



Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de :

Magistère en Ecologie

Option : Ecologie des écosystèmes aquatiques

Thème

**Qualité des eaux et des sédiments de la plaine alluviale d'oued Nil
(Wilaya de Jijel, NE Algérien)**

Par **AMIOUR SOUÂD**

Soutenu publiquement le / / devant le jury composé de :

Président : SAHEB Menouar (MCA, Université d'Oum El-Bouaghi)

Encadrant : DEBIECHE Taha-Hocine (MCA, Université de Jijel)

Examineurs : BOULAKHSSAIM Mouloud (MCA, Université d'Oum El Bouaghi)

MAYACHE Boualem (Professeur, Université de Jijel)

AVANT-PROPOS

Les travaux de recherches présentés dans ce mémoire de Magister ont été réalisés dans le cadre du projet de recherche CNEPRU, numéro F01720130004, domicilié à l'Université de Jijel, dont l'intitulé du projet est : étude de la qualité physico-chimique des eaux superficielles et souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil (wilaya de Jijel)

Ce travail de recherche est complémentaire aux travaux de thèse de doctorat en cours de :

- Monsieur MAHDID Souhil, université de Constantine, dont le thème est : Etude hydrogéologique et modélisation du système aquifère de la plaine alluviale d'oued Nil (wilaya de Jijel, NE algérien)
- et de Madame BENESSAM Sihem, Université de Jijel, dont le thème est : Etude physico-chimique des eaux de surface et souterraines de la plaine d'oued Nil (wilaya de Jijel, NE algérien)

La réalisation de la partie pratique de ce mémoire de Magister a été faite en collaboration entre :

- le laboratoire de Génie Géologique (LGG), Université de Jijel ;
- le laboratoire d'hydrochimie, ADE (Algérienne Des Eaux), wilaya de Jijel ;
- les laboratoires pédagogiques de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, université de Jijel ;
- les laboratoires pédagogiques de l'université d'Oum El-Bouaghi.

Le financement de ma formation (parties théorique et pratique) a été fait par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique de l'Algérie, par une bourse d'étude de 3 ans.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents,

A mon frère,

A mes sœurs,

A toute ma famille...

A mes chers enseignants...

A tout(e)s mes ami(e)s...

A toute personne qui a contribué à la réalisation de ce manuscrit

de près ou de loin...

AMJOUR SOUÂD

Remerciements

Au terme de ce travail, il m'est vraiment agréable de remercier toutes celles et ceux qui ont participé à sa réalisation.

*Ma profonde gratitude et mes respects s'adressent d'abord, à Monsieur **DEBIECHE Taha-Hocine**. Maître de Conférences à l'Université de Jijel, pour m'avoir encadré tout au long de cette recherche, qu'il soit vivement remercié.*

*Je tiens à remercier Monsieur **SAHEB Menouar**. Maître de Conférences à l'Université Larbi Ben M'hidi, d'Oum El-Bouaghi, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.*

*Monsieur **MAYACHE Boualem**. Professeur à l'Université de Jijel, je le remercie pour ses conseils, pour ses remarques et pour l'intérêt avec lequel il a suivi ce travail. Je le remercie également d'avoir accepté de participer à mon jury de mémoire.*

*Mes sincères remerciements vont également à Monsieur **BOULAKHSSAIM Mouloud**. Maître de Conférences à l'Université Larbi Ben M'hidi, d'Oum El-Bouaghi qui m'avoir honorée de juger ce travail de recherche.*

*Je remercie également Monsieur **DEROUICHE Malek**, Maître de Conférences B à l'Universités de Jijel, qui a suivi par intérêt ce travail. Je le remercie également pour son encouragement.*

*Mes remerciements s'adressent également à Monsieur **ATRI Rachid**. Chef de service du laboratoire d'analyses des eaux de la wilaya de Jijel ainsi qu'au personnel de l'ADE. Qui m'ont accueillie dans leur laboratoire pour la réalisation des analyses des eaux. Malgré leurs multiples responsabilités et leur temps précieux, ils n'ont pas hésité à m'aider tant sur le plan technique que moral.*

*Il est bon et juste d'évoquer l'appui moral ainsi que la sollicitude trouvée auprès de mes collègues, très particulièrement M^{lle} **CHINE Amel**, qu'elle soit vivement remerciée.*

*Je remercie **mes chers parents, mes Sœurs et mon Frère**, qui m'ont toujours épaulé durant toutes mes années d'études.*

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont apporté leur contribution à ce travail. Je leur exprime ici toute ma reconnaissance et ma gratitude.

Résumé

La plaine alluviale d'oued Nil est caractérisée par une abondance en eaux de surface et souterraines. Ces eaux sont utilisées pour l'alimentation en eau potable de plusieurs communes de la wilaya de Jijel et pour l'irrigation. Depuis l'année 2000, la région a connu une croissance démographique et économique importante qui s'est traduite par une forte exploitation des eaux souterraines, et l'augmentation des rejets dans les eaux de surface.

L'objectif principal de ce travail est d'étudier la qualité des eaux de surface et souterraines et des sédiments de la plaine alluviale de l'oued Nil. Cinq campagnes de prélèvements (eau et/ou sédiment) sur dix stations pour les eaux de surface (oued Nil et ses deux affluents « oued Boukaraa et oued Saayoud ») et sur cinq stations pour les eaux souterraines. Une analyse complète a été réalisée sur les échantillons d'eau (paramètres physico-chimiques, éléments majeurs, paramètres de pollution et les éléments traces métalliques (ETM)). Pour le compartiment sédimentaire, dix points de prélèvement ont été sélectionnés.

L'analyse physico-chimique a montré que la plupart des eaux de surface et souterraines des trois oueds présentent une bonne qualité par rapport aux descripteurs : T ; pH ; CE ; Cl⁻ ; SO₄²⁻ ; Ca⁺⁺ ; Mg⁺⁺, TH ; une contamination importante par les espèces azotées (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻) et le phosphate, liée aux rejets urbains ; et la présence d'une contamination métallique dans les eaux de surface (Cd, Pb, Cr et Cu). La physico-chimie des sédiments des différentes stations de prélèvements est marquée par un pH neutre à une faible alcalinité, et un pourcentage important en calcaire total au niveau d'oued Saayoud dont la provenance est liée sans doute à la présence des formations géologiques carbonatées à l'amont de l'oued. L'analyse des ETM dans les sédiments a montré l'absence d'une contamination métallique.

Mots clés : Oued Nil, Qualité des eaux, Eau de surface, Eaux souterraines, Sédiments, ETM, pollution.

ملخص

نوعية المياه والرواسب لسهل واد النيل (ولاية جيجل – شمال شرق الجزائر)

يتميز سهل واد النيل بوفرة المياه السطحية والجوفية، إذ تستخدم هذه المياه للشرب والري في عدة بلديات لولاية جيجل. منذ عام 2000 شهدت هذه المنطقة نمو كبير للسكان ونمو اقتصادي مما أدى إلى الاستغلال المكثف للمياه الجوفية و زيادة التصريف في المياه السطحية.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة نوعية المياه السطحية والجوفية والرواسب لسهل واد النيل. أجرينا عدة تحاليل فيزيوكيميائية. أخذت بعين الاعتبار خمسة عناصر (الكاديوم والكروم والنحاس والرصاص والزنك) لتحديد درجة التلوث المعدني. فيما يخص المياه السطحية وعينات الرواسب فقد تم أخذها من عشرة مواقع ، خمسة تقع في واد النيل و اثنان في واد بوقرعة و ثلاث مواقع في واد سعيود، أما بالنسبة للمياه الجوفية فقد تم اختيار خمسة مواقع. أجريت 5 خرجات ميدانية لأخذ عينات من المياه و الرواسب خلال عام 2013 و 2014.

تبين الدراسة أن هناك تلوث عضوي (مواد نيتروجينية) و معدني في بعض المياه السطحية و الجوفية. يترجم ذلك أن هذه المياه في بعض المناطق ذات نوعية رديئة في حين أنها ذات نوعية جيدة و مقبولة في المناطق المتبقية. فيما يخص الرواسب فإن التحاليل أظهرت أن تلوث هذه الأخيرة بالمعادن الثقيلة غير موجودة ولم تتعدى النسبة الطبيعية و بأن رواسب واد سعيود غنية بالحجر الجيري وهذا راجع إلى الطبيعة الجيولوجية الحجر الكلسي

يعود تلوث المياه الجوفية و السطحية لواد النيل إلى مختلف الأنشطة البشرية، الممارسات الزراعية كاستخدام الاسمدة و المبيدات الحشرية بالإضافة إلى ذلك نفايات المنزلية و مياه الصرف مما يؤدي إلى زيادة درجة التلوث.

الكلمات المفتاحية : واد النيل، التلوث، نوعية المياه، المياه السطحية، المياه الجوفية، الرواسب، المعادن، فيزيوكيميائية.

Abstract

Water and sediment quality of the Nil wadi alluvial plain (Wilaya of Jijel – North eastern of algeria)

The Nil wadi alluvial plain is characterized by an abundance of surface water and groundwater. These waters are used for drinking water supply and irrigation of several municipalities in Jijel. In the last few years, the region has experienced significant population and economic growth leading to exploitation of groundwater, and increased discharges into surface waters.

The purpose of this work is to study the quality of surface water, ground waters and the sediments of the Nile wadi.

A set of physico-chemical approaches have been performed for water and sediment compartments: physicochemical parameters, major minerals, pollution parameters and quantitative determination of five ETM (Cd, Cr, Cu, Pb and Zn). This research involved ten sampling sites for surface water (five located at Nil wadi, two on the Boukaraa wadi and three at Saayoud oued, collected four times) and five stations for groundwater. For the sediment compartment ten sampling sites were selected in strategic locations and sampled three times during the month of June 2013, January 2014 and April 2014.

The physico-chemical analysis has shown that most of the groundwater and surface water of the three rivers have good quality compared to the descriptors: T °; pH; EC; Cl^- , SO_4^{2-} ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} , TH, HNO_3^- and significant contamination in nitrogenous matter (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-), Physical chemistry of sediments from different sampling sites is marked by a neutral pH with low alkalinity, and a substantial percentage of total limestone at Saayoud wadi wich might be related to the geological nature of the riverbed of the Nil wadi watershed. Metal contamination of water and sediment is undetectable.

Contamination of surface and ground water is mainly due to human activities widespread on the banks of the various rivers. Agricultural use of fertilizers, pesticides, intensive farming, also, urban effluents (domestic waste and wastewater) may participate in the enrichment of water by nitrogenous matter.

Key words: Nil wadi, water quality, surface water, groundwater, Sediment, Trace metals, Physical Chemistry, pollution.

Table des matières

<i>Introduction</i>	1
---------------------------	---

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.1. Généralité sur les cours d'eau	3
1.2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux.....	3
1.3. Pollution des écosystèmes aquatiques.....	6
1.3.1. Eléments minéraux majeurs.....	7
1.3.2. Pollution organique.....	8
1.3.3. Pollution par les éléments traces métalliques (ETM)	
1.3.3.1. Définition des ETM.....	8
1.3.3.2. Source et toxicité des quelques ETM.....	9
1.3.3.3. Spéciation et biodisponibilité des ETM en milieux aquatiques.....	12
1.3.3.4. Les différentes formes des ETM en milieux aquatiques.....	13
1.3.3.5. Accumulation des ETM dans les sédiments.....	14
1.4. Conclusion.....	15

Chapitre 2 : Présentation de la zone d'étude

2.1. Situation géographique.....	16
2.2. Aspect géomorphologique.....	16
2.3. Réseau hydrographique.....	17
2.4. Aspects géologique et hydrogéologique.....	19
2.5. Socio-économie.....	25
2.6. Conclusion.....	26

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

3.1. Localisation des sites de prélèvement Eau / Sédiment	27
3.2. Calendriers des prélèvements.....	30

3.3. Prélèvement des échantillons d'eau	
3.3.1. Mode de prélèvement.....	31
3.3.2. Mesures in situ.....	32
3.3.3. Analyses aux laboratoires.....	32
3.4. Prélèvement des échantillons de sédiments	
3.4.1. Mode de prélèvement.....	34
3.4.2. Préparation des échantillons.....	34
3.4.3. Analyses des paramètres physico-chimiques.....	34
3.4.3.1. Potentiel hydrogène.....	35
3.4.3.2. Conductivité électrique.....	35
3.4.3.3. Calcaire total.....	35
3.4.4. Analyses des éléments traces métalliques	
3.4.4.1. Technique d'extraction des éléments traces métalliques.....	36
3.4.4.2. Principe de la spectrophotométrie d'absorption atomique.....	36
3.4.4.3. Dosage des éléments traces métalliques.....	36

Chapitre 4 : Résultats et discussion

4.1. Climatologie.....	37
4.2. Analyse des eaux	
4.2.1 Eaux de surface.....	39
4.2.2.1. Les paramètres physico-chimiques.....	39
4.2.2.2. Les éléments majeurs.....	45
4.2.2.3. Cycle d'azote et le phosphate.....	51
4.2.2.4. Eléments traces métalliques dans les eaux de surface.....	57
4.2.2. Eaux Souterraines.....	62
4.2.2.1. Les paramètres physico-chimiques.....	62
4.2.2.2. Les éléments majeurs.....	66
4.2.2.3. Les composés azotés et le phosphate.....	69
4.2.3. Analyses statistiques du compartiment eau.....	72

4.2.3.1. Analyse statistique 1 (eau de surface et souterraine).....	72
4.2.3.2. Analyse statistique 2 (eaux de surface) : Axes de projection 1 et 2.....	74
4.2.3.3. Analyse statistique 3 (eaux de surface) : Axes de projection 3 et 4.....	74
4.3. Analyse des sédiments	
4.3.1. Caractérisations physico-chimiques.....	77
4.3.2. Les éléments traces métalliques.....	80
4.3.3. Analyses statistiques du compartiment sédimentaire.....	86
4.4. Conclusion.....	87
<i>Conclusion générale</i>	88
<i>Références bibliographiques</i>	
<i>Annexs</i>	

Liste des figures

Figure 01 : Réactions entre les différentes formes des métaux (M) en milieu aqueux (Buffle, 1988 in Gilbin,2001).....	14
Figure 02 : Situation géographique de la plaine alluviale d'oued Nil (Maoui et Meddour 2013)...	16
Figure 03 : Carte d'altitude du bassin versant d'oued Nil (Sadoun, 2013).....	17
Figure 04 : Situation du bassin versant d'oued Nil par rapport aux grands bassins versants de l'Algérie (Bachkit 2005).....	18
Figure 05 : Réseau hydrographique du bassin versant d'oued Nil avec ses quatre sous bassin versant (Saayoud, Boukaraa, Nil et Tassift) et ses deux marécages (Rejla et El-Kannar) (Sadoun L., 2013).....	19
Figure 06 : Esquisse géologique de la région d'oued Nil (Jijel, NE Algérien). Prévenant de la carte géologique d'El-Milia N°29 (Ehrmann F., 1926) in Sadoun, 2013.....	21
Figure 07 : Coupe géologique représentative (Nord-Sud) (Lehtihet, 1983 in Sadoun 2013).....	22
Figure 08 : Coupe géologique représentative (Est - Ouest) (Lehtihet ,1983 in Sadoun 2013).....	22
Figure 09 : Carte de positionnement des coupes géologiques (Maoui et Meddour 2013).....	23
Figure 10 : Coupes lithologique à partir des logs stratigraphiques (Maoui et Meddour 2013).....	24
Figure 11 : Carte d'occupation de la plaine alluviale d'oued Nil(Guerraichi et Bouchekkouf)	25
Figure 12 : Localisation des stations de prélèvement (eau et sédiments).....	28
Figure 13 : Données climatologiques mensuelles de la période du suivi (juin 2013 à juin 2014)..	37
Figure14 : Variations spatio-temporelles des paramètres physiques (T°, pH, Eh, CE) de l'oued Nil.....	40
Figure 15 : Variations spatio-temporelles des paramètres physiques (T°, pH, Eh, CE) de l'oued Saayoud.....	41
Figure 16 : Variations spatio-temporelles des paramètres physiques (T°, pH, Eh, CE) de l'oued Boukaraa.....	42
Figure 17 : Variations spatio-temporelles des paramètres chimiques (Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , TH, HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁻²) de l'oued Nil.....	46

Figure 18 : Variations spatio-temporelles des paramètres chimiques (Ca^{++} , Mg^{++} , TH, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2}) de l'oued Saayoud.....	47
Figure 19 : Variations spatio-temporelles des paramètres chimiques (Ca^{++} , Mg^{++} , TH, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2}) de l'oued Boukaraa.....	48
Figure 20 : Variations spatio-temporelles d' O_2 , des composées azotés et phosphates de l'oued Nil.....	52
Figure 21 : Variations spatio-temporelles d' O_2 , des composées azotés et phosphates de l'oued Saayoud.....	53
Figure 22 : Variations spatio-temporelles d' O_2 , des composés azotés et phosphates de l'oued Boukaraa.....	54
Figure 23: Variations spatio-temporelles des teneurs en ETM (Cd, Pb, Cu, Cr, Zn) des eaux de surface de l'oued Nil.....	58
Figure 24 : Variations spatio-temporelles des teneurs en ETM (Cd, Pb, Cu, Cr, Zn) des eaux de surface de l'oued Saayoud.....	59
Figure 25: Variations spatio-temporelles des teneurs en ETM (Cd, Pb, Cu, Cr, Zn) des eaux de surface de l'oued Boukaraa.....	60
Figure 26: Variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil.....	65
Figure 27: Variations spatio-temporelles des éléments majeurs des eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil.....	68
Figure 28: Variations spatio-temporelles des composés azotés et le phosphate des eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil.....	71
Figure 29: ACP des caractéristiques physico-chimiques, éléments minéraux majeurs et des paramètres de pollution organique dans l'eau (axes de projection 1 et 2).....	73
Figure 30: ACP des caractéristiques physico-chimiques, éléments minéraux majeurs et des paramètres de pollution organique et les éléments traces métallique dans l'eau. (axes de projection 1 et 2).....	75
Figure 31: ACP des caractéristiques physico-chimiques, éléments minéraux majeurs et des paramètres de pollution organique et les éléments traces métallique dans l'eau. (axes de projection 3 et 4).....	76

Figure 32: Variations spatio-temporelles du pH des sédiments de l'oued Nil et ses affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.....	77
Figure 33: Variations spatio-temporelles de la CE des sédiments de l'oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.....	78
Figure 34: Variations spatio-temporelles des teneurs en Calcaire total des sédiments de l'oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.....	80
Figure 35: Variations spatio-temporelles des teneurs en Cadmium (ppm) des sédiments de l'oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.....	81
Figure 36: Variations spatio-temporelles des teneurs en Chrome (ppm) des sédiments de l'oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.....	82
Figure 37: Variations spatio-temporelles des teneurs en Cuivre (ppm) des sédiments de l'oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.....	83
Figure 38: Variations spatio-temporelles des teneurs en Plomb (ppm) des sédiments de l'oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.....	84
Figure 39: Variations spatio-temporelles des teneurs en Zinc (ppm) des sédiments de l'oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.....	85
Figure 40: ACP des caractéristiques physico-chimiques et teneurs des ETM dans les sédiments. (Axes de projection 1 et 2).....	86

Liste des tableaux

Tableau 01 : Points de prélèvement eau/sédiments et leurs localisations.....	27
Tableau 02: Calendriers des prélèvements des compartiments eaux et sédiments.....	30
Tableau 03: Calcul du Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite (1948).....	39
Tableau04: Teneurs métalliques naturelles dans les sédiments secs (AEAP, 1990) et niveaux de contamination (Ministère de l'environnement, 1993).....	81

Liste des photos

Photo 01 : Les rejets d'eaux usées urbaines.....	25
Photo 02 : L'agriculture dans la plaine alluviale d'oued Nil.....	26
Photos 03 : Quelques stations des eaux de surface et souterraines.....	29
Photo 04 : Préleveur manuel (eaux de surface).....	31
Photo 05 : Préleveur manuel (eaux souterraines).....	31
Photo 06 : La sonde électrique.....	32
Photo 07 : Multiparamètres 350i (a) et redox-mètre (b).....	32
Photo 08: Spectrophotomètre de marque <i>ODY SSEY</i>	33
Photo 09: Spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (<i>SHIDZUAA 6200 ATOMIC</i>).....	34

Introduction

La pollution des écosystèmes aquatiques est actuellement l'un des plus grands problèmes du siècle, auxquels s'attachent de nombreux pays dans le monde afin de le résoudre. En effet, l'eau est la ressource naturelle, à la fois la plus indispensable à toute vie et la plus menacée vu l'extension délimitée des unités industrielles le long des lacs et des fleuves.

Par ailleurs, l'apparition des concentrations massives des populations urbaines, ainsi que le développement des activités industrielles et agricoles modernes, ont eu pour conséquence d'une manière ou d'une autre de sérieux dommages et des déséquilibres de l'environnement aquatique de manière générale. Il convient donc d'être conscient de l'importance que revêt, pour notre pays, la gestion rationnelle de ses ressources hydrauliques et leur protection contre toutes les pollutions susceptibles de nuire à leur qualité. Parmi les agents chimiques, susceptibles d'être à l'origine de ces pollutions, figurent les substances toxiques, telles que les métaux lourds, et les composés azotés.

La contamination des milieux aquatiques par les métaux est une préoccupation environnementale majeure qui suscite un grand intérêt ces dernières années et préoccupe toutes les régions soucieuses de maintenir leur patrimoine hydrique à un haut degré de qualité. Les métaux sont naturellement présents à l'état de trace dans les eaux naturelles, mais avec l'avènement de l'ère industrielle, les activités humaines sont devenues une source importante d'émission des métaux les concentrant dans l'air, l'eau et les sols.

La répartition des métaux dans les sédiments détermine leurs comportements dans l'environnement. Les métaux issus des apports anthropiques ont un comportement différent des métaux présents naturellement, car apportés sous des formes chimiques réactives. Dès leur introduction dans les sédiments, ils vont s'associer avec différents constituants de ces derniers sous des formes chimiques variées. Cette répartition dépend des caractéristiques intrinsèques à l'élément et des caractéristiques du milieu (pH, potentiel d'oxydoréduction, CEC, température,...).

Dans les pays d'Afrique du nord, en particulier l'Algérie, l'eau est une denrée très rare qu'il faut économiser et préserver. Parmi les cours d'eau représentatifs de la région nord et de la wilaya de Jijel, se trouve l'oued Nil. Ce dernier est un écosystème aquatique très important compte tenu de son débit et de son impact économique sur la région de Jijel.

Le présent travail va porter sur la plaine alluviale d'oued Nil qui est caractérisée par une abondance en eaux de surface et souterraines. Ces eaux sont utilisées pour l'alimentation en eaux potable de plusieurs communes de la wilaya de Jijel et pour l'irrigation.

L'objectif du présent travail consiste :

- dans un premier temps de suivre et d'évaluer la qualité des eaux, à travers :
 - Les mesures in-situ des paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité électrique, oxygène dissous et redox) des eaux ;
 - L'analyse au laboratoire des éléments chimiques majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et TH), des éléments traces métalliques (Cd, Cr, Cu, Pb et Zn), des espèces azotées (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) et des phosphates (PO_4^{3-}).

- Dans un deuxième temps, apprécier la qualité des sédiments, à travers :
 - Les mesures de la conductivité électrique, du pH et du calcaire total des sédiments ;
 - Et le dosage de cinq ETM (Cd, Cr, Cu, Pb et Zn).

Ce manuscrit rassemble les résultats que nous avons obtenus lors de notre étude, est constitué de quatre chapitres :

- Chapitre 1 « Synthèse bibliographique » : présente un rappel sur les connaissances concernant les cours d'eaux, la qualité physico-chimique de ses eaux et ses sédiments et les effets de ces derniers sur le milieu aquatique.
- Chapitre 2 « Présentation de la zone d'étude » : est consacré à la présentation de la zone d'étude de point de vue : géographique, hydrologie, géologie, géomorphologie et socio-économie.
- Chapitre 3 « Matériel et Méthodes » : décrit l'échantillonnage, la préparation des échantillons, les méthodes analytiques et les techniques d'analyses utilisées.
- Chapitre 4 « Résultats et Discussion » : présentés les résultats obtenus de notre étude approfondie des compartiments eaux /sédiments.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.1. Généralité sur les eaux continentales

1.1.1. Eaux de surface

Une eau de surface est un milieu très dilué et complexe, contenant des matières minérales et organiques diverses en suspension ou en solution (Harrat, 2013). Les eaux de surfaces se répartissent en eaux circulantes (courantes) ou stockées (stagnantes). Elles se forment à partir, soit de l'émergence de nappes profondes en source, soit du rassemblement d'eau de ruissellement. Elles sont très sensibles à la pollution minérales et organiques du type nitrate et pesticide d'origine agricole (Cardot, 2013).

1.1.2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines représentent au total environ 97% des eaux douces continentales liquides. Leur origine est due à l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de sa porosité et de sa structure géologique. Elles se réunissent en nappes (Cardot, 2013). Ce sont les nappes alluviales d'accompagnement des cours d'eau et les nappes phréatiques, superficielles ou profondes (Grosclaude, 1999). La nappe libre est directement alimentée par les eaux de ruissellement. Très sensible à la pollution, elle est à l'origine des sources et des forages. Par opposition, la nappe captive est séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle n'est donc pas alimentée directement par le sol ; elle se situe à de grandes profondeurs et par conséquent est peu sensible aux pollutions (Cardot, 2013).

1.2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux

1.2.1. Température (T°)

La température est un facteur écologique de première importance qui a une grande influence sur les propriétés physico-chimiques des écosystèmes aquatiques (Ramade, 1993). Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes (W.H.O, 1987).

1.2.2. pH

Il indique l'acidité, neutralité et l'alcalinité d'une eau. Il est en fonction de l'activité des ions hydrogènes H^+ présents dans cette eau. Le potentiel d'hydrogène dépend de plusieurs facteurs tels que l'oxygène dissous, le gaz carbonique et le taux de la matière organique. Ainsi une chute de pH marque l'augmentation de la teneur en CO_2 , la diminution de la teneur en O_2 et l'accroissement de la teneur en matières organiques (Aït Boughrou, 2007).

Le pH est un des paramètres clés du comportement des métaux dans les systèmes aquatiques. Il influe sur la partition entre phases dissoute et particulaire et sur tous les paramètres qui en dépendent, c'est-à-dire la mobilité, la réactivité, la biodisponibilité, la bioaccumulation et la toxicité. De manière générale, l'augmentation du pH entraîne la formation de composés insolubles, et favorise la sorption des métaux. Au contraire, une diminution de pH entraîne la mise en solution des sels métalliques, la dissolution des phases de rétention (Devallois., 2009).

1.2.3. Redox (Eh)

Dans les systèmes aqueux, le potentiel redox affecte les états d'oxydation des éléments (H, C, N, O, S, Fe...). Dans une eau bien oxygénée, les conditions d'oxydation dominent. Quand les concentrations d'oxygène diminuent, le milieu devient plus réducteur ce qui se traduit par une réduction du potentiel redox (I.B.G.E, 2005).

1.2.4. Oxygène dissous (O₂)

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est liée à plusieurs facteurs, en particulier : la température, la pression atmosphérique et la salinité. L'oxygène dissous est aussi en fonction de l'origine de l'eau. L'oxygène est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'auto-épuration d'un cours d'eau (Makhoukhi et al., 2011) .

1.2.5. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique des eaux exprime la minéralisation globale, elle traduit la charge ionique de cette eau. Les pollutions domestiques et industrielles modifient souvent les teneurs naturelles de différents éléments, une modification de la conductivité permet ainsi de mettre en évidence ces pollutions. Elle est proportionnelle à la concentration des sels ionisables qui dépend elle-même, pour une part, de la température de l'eau. C'est un indice de l'abondance des ions dans l'eau.

1.2.6. Calcium (Ca⁺⁺)

Le calcium résulte de la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃) ou gypseuses (CaSO₄). La concentration en Ca²⁺ est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par les eaux. Le calcium dérive de l'attaque du CO₂ dissout par les roches calcaires ou de la dissolution sous forme de sulfate dans le gypse (Belghiti *et al.*, 2013).

1.2.7. Magnésium (Mg^{++})

Il provient de la dissolution des formations dolomitiques en présence du gaz carbonique (CO_2) et de la dissolution des roches magnésiennes.

1.2.8. Dureté totale (TH)

La dureté totale ou titre hydrotimétrique d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue: une dureté carbonatée à la teneur en qui correspond carbonates et bicarbonates de Ca^{2+} et Mg^{2+} et une dureté non carbonatée produite par les autres sels. Elle exprimée en degré français ($^{\circ}F$). Elle est liée au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium (Rodier et al 2009).

1.2.9. Bicarbonate (HCO_3^-)

Les bicarbonates résultent de la dissolution des formations carbonatées (Cipolins, calcaires) par des eaux chargées en gaz carbonique.

1.2.10. Chlorure (Cl^-)

Il provient de la dissolution des sels naturels par le lessivage des terrains salés, de l'utilisation des engrais chimiques, des rejets des eaux usées (industrielle ou domestique) et l'effet de la salinité marine.

1.2.11. Sulfates (SO_4^{-2})

La présence des sulfates dans l'eau peut être liée à la dissolution de gypse, au lessivage des terrains pyrifères ; ou à l'oxydation des sulfures ou encore d'origine anthropique en relation avec une pollution industrielle ou urbaine (Miserez, 1973).

1.2.12. Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau. Les nitrates constituent la forme azotée la plus dominante dans les cours d'eau et dans les nappes d'eau souterraine. Ils proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi l'ultime produit de la nitrification.

1.2.13. Nitrite (NO₂⁻)

Les nitrites constituent le plus souvent un stade intermédiaire, peu stable, entre les ions ammonium et les nitrates. On ne les rencontre que lorsqu'il existe un déséquilibre au niveau de l'oxygénation et l'activité de la flore bactérienne de l'écosystème. Les nitrites dans l'eau proviennent essentiellement soit d'une oxydation incomplète de ammonium, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit s'une réduction des nitrates sous influence d'une action dénitrifiante.

1.2.14. Azote ammoniacal (NH₄⁺)

L'azote ammoniacal constitue un des maillons du cycle complexe de l'azote dans son état primitif. C'est un gaz soluble dans l'eau. Il existe en faible proportion, inférieure à 0,1mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles. Il constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains. Dans les eaux superficielles, il provient de la matière organique azotée et des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère (Chapman et al, 1996 in Makhoukhi et al., 2011). La présence des ions ammonium dans les eaux, est souvent le signe d'une dégradation incomplète de la matière organique en relation avec le manque d'oxygène disponible. Il est l'indice d'une contamination par des rejets d'origine humaine ou industrielle.

1.2.15. Phosphates (PO₄⁻)

Le PO₄⁻ est l'un des nutriments importants, peut se trouver sous différentes formes oxydées. C'est un élément biogène indispensable à la croissance des algues. Les teneurs élevées de cet élément dans les eaux de surface peuvent entraîner leur eutrophisation. Les phosphates ont le plus souvent une origine urbaine (composants des détergents) ou agricole (lessivage d'engrais) ; ils sont comme les nitrates, un nutriment majeur des végétaux, qui peuvent, dans les milieux aquatiques, entraîner leur prolifération à partir de 0,2 mg/l. On considère généralement que les variations des concentrations des phosphates constituent l'élément limitant des phénomènes d'eutrophisation (RÉFEA, 2003 in Aït Boughrou., 2007).

1.3. Pollution des écosystèmes aquatiques

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparait en totalité ou une partie comme un sous produit de l'action humaine, au travers des effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède ou les possibilités récréatives du milieu (Ramade, 1998).

La pollution de l'eau est une dégradation de celle-ci par l'introduction de substances toxiques, qui nuisent directement à la chaîne alimentaire. Les rejets anthropiques dans l'eau concernent une grande quantité d'éléments indésirables, dont certains concernent une grande surface géographique (Touchart, 2003). C'est la présence anormale de substances, des microorganismes dans un compartiment de l'environnement (Aubertot et al, 2007).

Les eaux souterraines, enfouies dans le sol, sont habituellement à l'abri des sources de pollution. Puisque les caractéristiques de ces eaux varient très peu dans le temps (Desjardins, 1997). Les principaux polluants de l'eau souterraine sont des polluants chimiques et les polluants microbiologiques (Lallemand- Barrès et al., 1997). La contamination de ces eaux par des composés toxiques organiques même à faible concentration peut compromettre l'exploitation de la ressource pour l'alimentation en eau potable pour de très longues périodes (Boucheseiche *et al.*, 2002).

Globalement, trois principales causes de pollution peuvent être définies (Trifi, 2012) :

- La production d'énergie, est la source de pollution qui va de pair avec la civilisation industrielle moderne. En effet, que ce soit l'usage des combustibles fossiles, ou l'exploitation de l'énergie nucléaire, ou encore à l'élimination des déchets secondaires.
- Les activités industrielles, en particulier métallurgiques et chimiques sont la deuxième cause de pollution de l'eau et une fois encore tant au niveau de la production que de la consommation.
- L'agriculture moderne est devenue une cause essentielle de la pollution des eaux et des sols. En effet, l'usage d'engrais chimiques et de pesticides à fortes doses peut être clairement apparenté aux armes chimiques.

1.3.1. Eléments minéraux majeurs

Les éléments minéraux majeurs forment une vaste famille d'éléments inorganiques que l'on trouve dans l'écosystème aquatique et qui sont, des cations (Ca^{+2} ; Mg^{2+} , Na^+ et K^+) et des anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-).

D'après Rodier (2009), les eaux naturelle, qu'elles soient d'origine souterraine ou superficielle sont plus ou moins minéralisées par des sels naturels. Il est souvent très important de connaître précisément cette minéralisation en plus des indications données par les paramètres globaux. Par ailleurs, certains des cations et anions minéraux naturels présents dans les eaux sont considérés comme indésirables ou toxiques selon l'usage auquel l'eau est destinée (domestique, agricole, industriel, santé, tourisme, refroidissement...). Ces anions et cations sont généralement présents à des concentrations très variables.

1.3.2. Pollution organique

C'est la pollution la plus répandue sur le plan géographique (Touchart 2003). En effet, elle provient principalement de trois ensembles d'activités : industrielles (production d'énergie, métallurgie, industries chimiques,...), urbaines (transports, gestion et traitement des déchets), et agricoles (utilisation de produits phytosanitaires) (Barriuso *et al.*, 1996). Les rejets contenant des substances organiques sont à l'origine d'une consommation de l'oxygène présent dans le milieu récepteur.

L'azote organique contribue à la désoxygénation de l'eau. L'azote ammoniacal est gênant pour la fabrication d'eau potable et génère un poison, qui est l'ammoniac, dangereux pour les poissons. L'azote nitrique amène une surproduction d'algues avec des inconvénients écologiques et esthétiques très graves (Chaguer, 2013). Les nitrates et les phosphates utilisés comme engrais ; favorisent la prolifération des algues qui, en abaissant la teneur en oxygène des eaux courantes, compromettent la vie des poissons et des autres animaux aquatiques (Richard, 1996). La pollution par le phosphore des plans d'eau se manifeste par l'eutrophisation, phénomène dont les conséquences s'apparentent à une pollution organique (Vollenveider, 1968 et Barroin, 1988 *in* Riou *et al.*, 1997).

1.3.3. Pollution par les éléments traces métalliques (ETM)

1.3.3.1. Définition des ETM

Les éléments traces sont les éléments chimiques, constituants de la croûte terrestre. La notion d'éléments traces métalliques (ETM) est parfois utilisée, elle tend à remplacer celle de métaux lourds qui est un concept mal défini. Dans le droit européen, on trouve la définition suivante : « *par «**métal lourd**», on entend tout composé d'antimoine, d'arsenic, de cadmium, de chrome (VI), de cuivre, de plomb, de mercure, de nickel, de sélénium, de tellure, de thallium et d'étain ainsi que ces matériaux sous forme métallique, pour autant qu'ils soient classés comme substances dangereuses* » (Décision 2000/532/EC, 2000 *in* Potot, 2011).

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 » (par exemple le zinc), tandis que certains éléments toxiques ne sont pas des métaux (c'est le cas de l'arsenic qui est un métalloïde). Ce terme générique désigne donc indistinctement des métaux et métalloïdes réputés toxiques. Pour ces différentes raisons, l'appellation « éléments traces métalliques » ou par extension « éléments traces » est préférable à celle de métaux lourds (Burnol *et al.*, 2006).

A la différence de la plupart des contaminants organiques, les métaux lourds sont des constituants naturels. Ainsi, normalement ces éléments sont présents à de faibles teneurs dans les sols, les sédiments, les eaux de surface et les organismes vivants. Ces faibles concentrations en métaux lourds constituent le fond géochimique d'un certain environnement. Pour évaluer l'impact d'un métal lourd dans l'environnement, la seule présence n'est pas suffisante. Cet impact est potentiel si le métal donné se trouve à des niveaux des concentrations anormalement élevées par rapport au fond géochimique (Alloway et Ayres, 1997 in Salvarredy Aranguren, 2008).

Les métaux lourds ou les éléments traces métalliques s'accumulent subrepticement, pour finir par atteindre des seuils toxiques. Les problèmes associés à la contamination par les métaux lourds ont été tout d'abord mis en évidence dans les pays industriellement avancés en raison de leurs déversements industriels plus importants (Kurland et al, 1960, Nitta, 1972, Goldberg, 1979 in FAO, 2009).

Par définition, un métal est un élément chimique, le plus souvent issu d'un minerai, doté d'un état chimique particulier. Il possède des propriétés de conduction de chaleur et d'électricité, a des caractéristiques de dureté et de malléabilité (Herzi, 2013).

1.3.3.2. Source et toxicité des quelques ETM

A) 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 µg/g (Levesque, 1980 in Blinda, 2007). Le cadmium est un métal blanc, mou et malléable. Il ternit au contact de l'air (Callender, 2003 in Salvarredy Aranguren, 2008).

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). Il est généralement associé au zinc. Les principales sources dans l'environnement proviennent de la métallurgie du zinc ; des synthèses de produits organiques ; de la fabrication des ciments, des piles électriques et des peintures ; des produits des raffineries et de la galvanoplastie (Noppe, 1996). L'enrichissement en cadmium des sols et des systèmes aquatiques résulte de l'altération des matériaux de la croûte terrestre et des retombés atmosphériques (Martin et Simon, 2004).

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). 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). Il perturberait aussi l'intégrité des membranes cellulaires via la peroxydation des lipides (Lavoie, 2012). Le cadmium peut remplacer le zinc, lorsque celui-ci manque dans le milieu (Lee et Roberts, 1995 in Ross, 2008).

B) Le chrome

Le nom « chrome » vient du mot grec « chroma » qui signifie « couleur » et se rapporte aux nombreux composés colorés qui composent le chrome (Sueker, 2005).

Source : Le chrome est rencontré dans les roches magmatiques (Burnol et al., 2006). Les états trivalent (Cr^{+3}) et hexavalent (Cr^{+6}) sont les plus répandus dans la nature (Testud, 1993 in Blinda, 2007). Les minerais de chrome sont essentiellement utilisés par l'industrie métallurgique, l'industrie des pierres réfractaires et l'industrie chimique (Noppe, 1996).

Toxicité : Le chrome est très toxiques pour les organismes aquatiques, et pouvant entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique (Boucheseiche et al, 2002). Il est également indispensable à la vie, car il est utilisé comme cofacteur dans les réactions de l'insuline et stimule la synthèse de plusieurs enzymes (Bennouna, 1990 in Noppe, 1996). Le chrome trivalent (Cr^{+3}) n'est pas considéré comme un élément toxique, mais lorsqu'il est rejeté dans l'environnement, il s'oxyde facilement en chrome hexavalent (Cr^{+6}), qui présente des propriétés dangereuses pour l'homme et l'environnement (Boucheseiche et al, 2002).

C) Le cuivre

Le cuivre est un métal de couleur rougeâtre, il possède une haute conductivité thermique et électrique à température ambiante (Hurlbut et Klein, 1982. ; Mahan, 1987 in Salvarredy Aranguren, 2008).

Source : Il est extrait d'une grande variété de minerais d'une teneur de 0,7% à 2% (Billon et al., 2008). Le Cuivre entre dans la biosphère par voies naturelles (activité volcanique, feux de forêts, décomposition de la végétation et de l'érosion éolienne) et par voies anthropiques (activités minières, industrielles et agricoles, la production d'énergie et le transport) (Hedhli, 2010).

Toxicité : Cependant, à des 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).

D) Le plomb

Le plomb est l'un des métaux non ferreux dont la consommation mondiale annuelle est la plus élevée (Clerc, 2008). Les émissions de plomb ont été très significativement réduites pendant les dernières années, suite à la suppression du plomb dans les carburants automobiles (Gouzyi et Ducosi, 2008).

Source : Il est relâché dans l'environnement suivant divers processus naturels, mais depuis le développement d'industries telles que la métallurgie, la combustion des charbons, l'emploi des peintures et surtout l'utilisation de composés à base de plomb dans les carburants, les quantités de plomb émises dans le milieu naturel sont considérables (Noppe, 1996).

Toxicité : Dans l'organisme, les ions Pb^{2+} entrent en compétition avec Ca^{2+} dans la formation des os (saturnisme) et peuvent aussi bloquer plusieurs enzymes (Proulhac et Marrec, 2012). Le plomb entraîne une inhibition enzymatique de la biosynthèse de l'hème. De plus, il diminue la durée de vie des hématies, modifie le métabolisme du fer par diminution de sa capacité de fixation (Kayalto, 2009). Ainsi, le plomb retarde, voire inhibe, le développement embryonnaire de la moule et augmente le pourcentage de larves anormales (Melghit, 2011). Caroppo et al., 2006 in Ross. N., 2008 ont montré qu'il avait un impact négatif sur la croissance du picoplancton hétérotrophe.

E) Le zinc

Le zinc est un métal essentiel pour la croissance et le développement normal d'espèces animales et végétales. Il est essentiel à de nombreuses fonctions physiologiques. Il est impliqué dans le fonctionnement de plus de 300 enzymes intervenant dans les métabolismes fondamentaux tels que la synthèse et la dégradation de glucides, lipides, protéines et acides nucléiques. Le zinc peut alors jouer plusieurs rôles : structural, catalytique, régulateur ou mixte, c'est-à-dire un couplage de 2 rôles (Marcato, 2007).

Source : Naturellement présent dans les roches magmatiques, sédiments argileux et schistes de la croûte terrestre, principalement sous forme de blende (sulfure de zinc). Apports naturels par érosion, volcanisme, feux de forêts, aérosols marins. Toutes les formes de vie se sont adaptées au zinc dans leur milieu et l'ont même utilisé pour des processus métaboliques bien spécifiques (IZA, 2010). C'est un métal très commun des effluents industriels (Proulhac et Marrec, 2012).

Toxicité : Le zinc devient toxique et son accumulation peut engendrer de graves perturbations (Alloways, 1995 in Isaure, 2001). Selon Brémond et Vuichard, 1973, le zinc est considéré comme étant un élément toxique même si les huîtres possèdent la faculté de le concentrer. Chez les

végétaux et à forte concentration, l'ion Zn^{2+} provoque le rétrécissement du xylème et inhibe la photosynthèse.

1.3.3.3. Spéciation et biodisponibilité des ETM en milieux aquatiques

La spéciation et la biodisponibilité des métaux sont deux notions intéressantes à connaître pour la compréhension du processus de bioaccumulation, en effet l'eau contient en solution des combinaisons de tous les éléments chimiques (ions majeurs, matière organique, particules en suspension, etc.) qui sont en continuelle interactions, de ce fait le métal se trouve sous des formes physico-chimiques très diverses (Nakib, 2010).

D'un point de vue environnemental, la spéciation correspond à la distribution des espèces chimiques d'un élément dans un système. La spéciation englobe l'identification, la séparation et la détermination de toutes les formes physico-chimiques d'un élément dans l'échantillon qui réunies, forment la concentration totale de l'élément. La spéciation chimique a été utilisée dans différents contextes pour décrire : les analyses des espèces pour leur identification et leur quantification; les processus responsables de la distribution des espèces, la réactivité des espèces (Abderrazzak, 2012). La spéciation des métaux a un rôle capital sur leur biodisponibilité et leur toxicité (Ross, 2008).

La biodisponibilité ; c'est la propriété d'une espèce chimique ou d'un élément présent d'être plus ou moins absorbé par les organismes vivants. Cette propriété s'applique aussi bien aux éléments nutritifs (P, K) qu'aux oligo-éléments ou autres métaux potentiellement toxiques.

La biodisponibilité implique le franchissement d'une barrière biologique : parois cellulaires (racines ou stomates chez les végétaux supérieurs). Selon Baize, 1997 ; la biodisponibilité est le potentiel résultant de l'interaction de trois séries de facteurs :

- espèces chimiques présentes dans la solution du milieu (nature et concentration) ;
- espèce et variété de l'organisme vivant considéré (génome) ;
- propriétés physico-chimiques et microbiologiques du milieu.

D'après Goff et Bonnomet, 2004, Les éléments et composés chimiques inorganiques et organiques présents dans les milieux aqueux constituent des ligands capables de complexer les ions métalliques. C'est ce que l'on appelle complexation. Les phénomènes de complexation modifient la spéciation des métaux, c'est à dire qu'ils influent sur la répartition des différentes formes chimiques métalliques, mais agissent également sur l'assimilation par les organismes vivants.

Selon Newman et Jagoe, 1994, la biodisponibilité est définie comme la possibilité qu'un contaminant soit assimilé et/ou adsorbé sur un organisme vivant. Selon Campbell, 1995, un métal

est considéré comme biodisponible quand il est assimilé par un organisme et peut entraîner un effet sur celui-ci (INERIS, 2004).

1.3.3.4. Les différentes formes des ETM en milieux aquatiques

Dans l'environnement aquatique, les métaux se trouvent dans les fractions solubles, colloïdales et particulaires, principalement sous forme de cations métalliques. Ils sont souvent indispensables au métabolisme des êtres vivants (oligo-éléments) bien que parfois, certains d'entre eux peuvent être considérés comme toxiques lorsque leur concentration dépasse une valeur seuil. Notons que la toxicité d'un métal n'est pas uniquement liée à sa concentration mais également à sa valence et aux ligands avec lesquels il est associé (Billon et al, 2009).

Dans les systèmes aquatiques, les ETM se répartissent entre la phase dissoute et la phase particulaire. Dans la phase dissoute, les ETM peuvent être libres, c'est-à-dire non complexés par un ligand quelconque. Une part importante est néanmoins sous forme de complexes avec des ligands inorganiques et organiques. Enfin, une large part des ETM sera dans la phase particulaire, soit adsorbée sur des particules qui présentent une forte affinité pour les métaux soit incluse dans la structure cristalline de certains minéraux en suspension. La répartition d'un métal entre ces espèces, dissoutes libres ou complexées et particulaires constitue sa spéciation (Tessier et Turner, 1995).

Les réactions entre les différentes formes des métaux (M) en milieu aqueux sont présentées dans la figure ci-dessous :

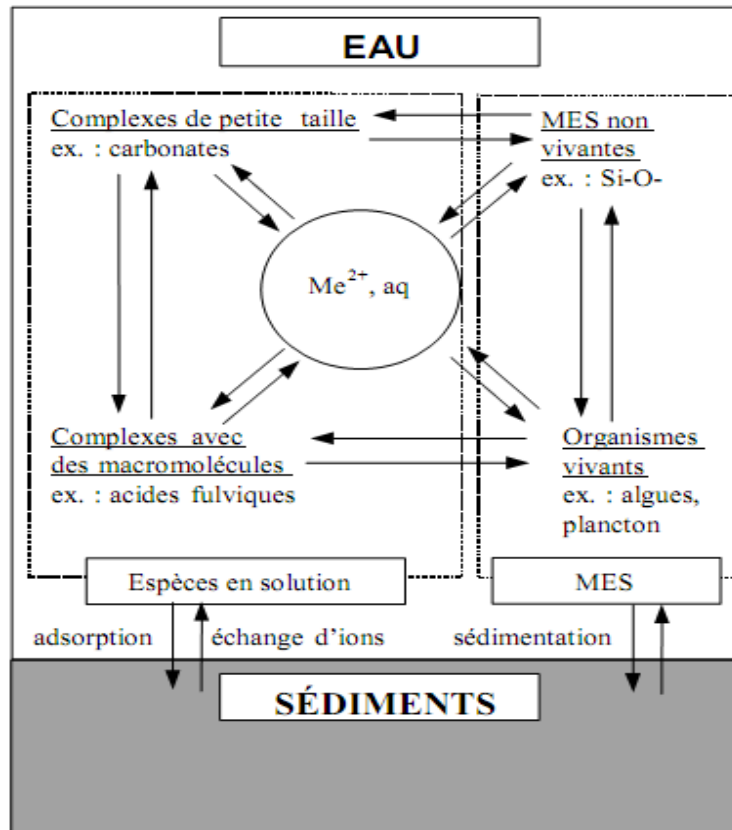


Figure 01 : Réactions entre les différentes formes des métaux (M) en milieu aqueux (Buffle, 1988 *in* Gilbin, 2001)

1.3.3.5. Accumulation des ETM dans les sédiments

Les sédiments plus que l'air ou l'eau, sont capables d'accumuler les polluants. Les sources sont principalement agricoles, industrielles, minières ou urbaines dispersés par voie atmosphérique ou apportés sous forme d'engrais, de résidus ou de déchets solides ou liquides, les polluants peuvent être immobilisés dans le sédiment ou bien transiter vers les nappes phréatiques, les eaux superficielles, les plantes, les animaux et les hommes. (Dali, 2005). Le sédiment, compartiment important de l'écosystème aquatique, sert d'habitat et de source de nourriture pour de nombreuses espèces écologiquement et économiquement importantes. Les dépôts sédimentaires constituent les réservoirs ultimes pour de nombreux composés chimiques (Chapman et al., 1998 *in* Benguedda, 2012).

La grande majorité des polluants recensés dans les sédiments sont peu solubles dans l'eau, et sont principalement localisés dans les matières en suspension (MES) et dans la partie fine du sédiment (fraction inférieure à 63 µm), en raison de leur grande surface spécifique (Isaure, 2001). Sans remise en suspension des sédiments, il peut être supposé que les contaminants présenteront un risque limité de pollution, en raison de leur faible mobilisation dans le milieu naturel. Cependant une fois que les sédiments sont extraits de leur environnement, dans le cadre d'un dragage puis d'un stockage en surface, les conditions physico-chimiques sont modifiées et peuvent favoriser

l'émission des polluants. De ce fait, les sédiments extraits peuvent être comparés à une source polluante (Segura et al, 2006 in Loustau Cazalet, 2012).

L'accumulation des métaux lourds dans les sédiments est un processus très important dans le cycle géochimique des micropolluants (Abdallaoui, 1998). Les métaux, une fois introduits dans les sédiments, se répartissent dans les différents compartiments. Plusieurs mécanismes gouvernent leur accumulation dans la phase particulaire des sédiments (Montuelle, 2003).

Les métaux lourds peuvent être classés en 5 catégories selon leurs mécanismes d'accumulation dans les sédiments. (i) adsorbés et échangeables, (ii) liés aux carbonates, (iii) liés aux phases réduites (Fe, Mn), (iv) liés à la matière organique, (v) détritiques (Salomans et Forstner, 1980 *in* Hedhli, 2010).

1.4. Conclusion

La pollution des eaux est devenue un phénomène universel qui menace gravement l'environnement et qui nécessite une lutte soutenue, car de nombreux produits agricoles et industriels sont de plus en plus responsables de l'apparition de cette forme de pollution, en présence de particules minérales et organiques, les métaux lourds migrent vers le fond et se déposent dans les sédiments, véritable réservoir de la pollution et qui deviennent sources potentielles de contamination.

Chapitre 2 : Présentation de la zone d'étude

2.1. Situation géographique

La plaine alluviale de l'oued Nil fait partie des plaines côtières de la région de Jijel. Elle est située au Nord-Est Algérien et à une distance de 370 Km à l'Est d'Alger, elle couvre une superficie de 58 km² et bordée au Nord par la mer Méditerranée (Boufekane A. et Saighi O. 2010). Cette plaine fait partie des zones humides de la wilaya de Jijel. 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 (Berkane.S. 2011).

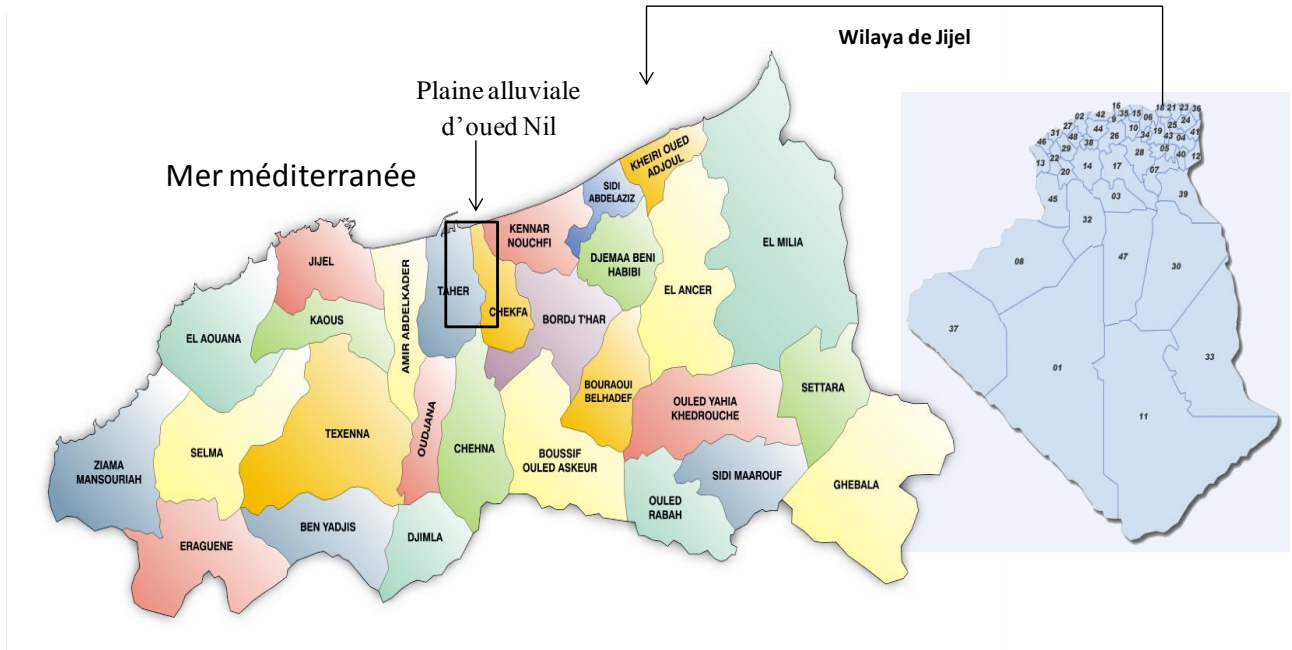


Figure 02 : Situation géographique de la plaine alluviale de l'oued Nil (Maoui et Meddour 2013)

2.2. Aspect géomorphologique

La plaine présente une faible pente, matérialisée par le sens de l'écoulement superficiel. Dans la partie sud, l'altitude de la plaine augmente et présente une succession des crêtes arrondies à caractères rocheux dépassant souvent les 100 m d'altitude. La plaine est étagée en différents niveaux de terrasses quaternaires caractérisés par de nombreux petits ravins, ces derniers avec les dépressions fermées ou marécages sont engorgés par les fortes précipitations (Bechkit.M.A. 2005).

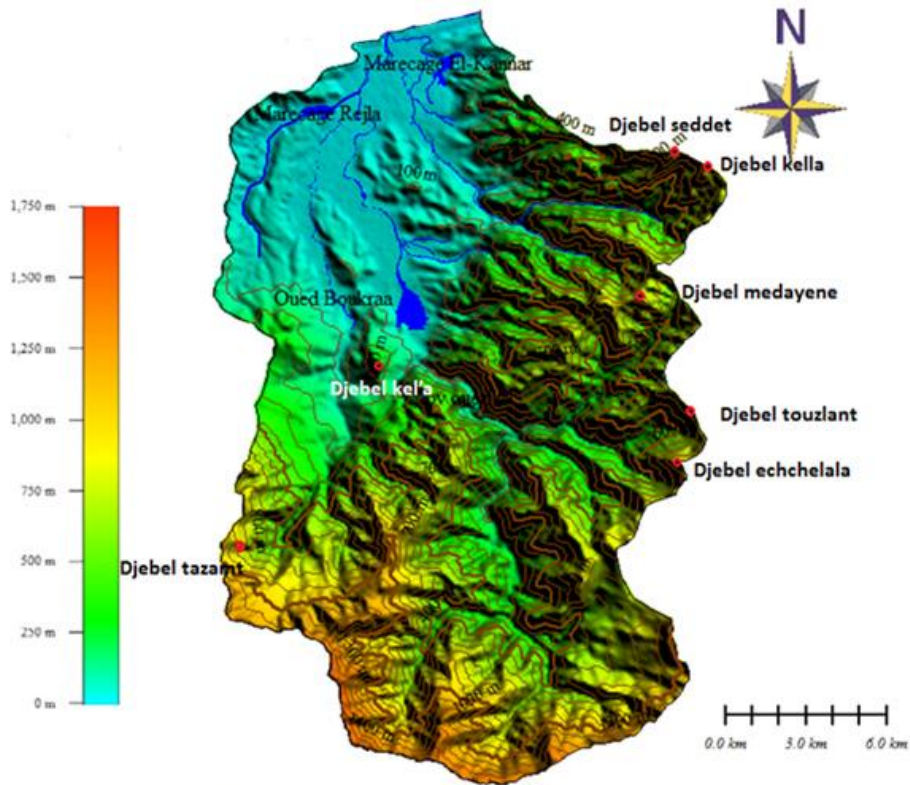
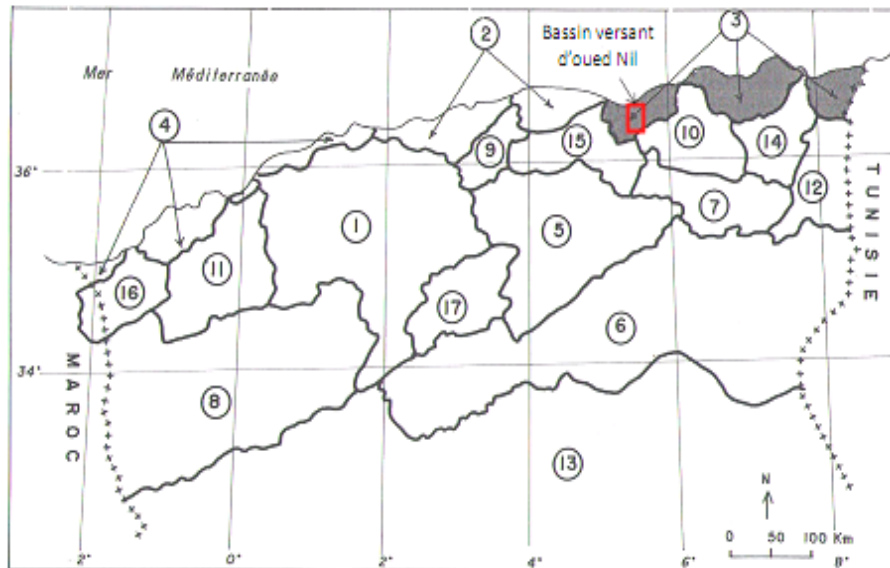


Figure 03 : Carte d'altitude du bassin versant d'oued Nil (Sadoun, 2013)

2.3. Réseau hydrographique

La plaine alluviale d'Oued El Nil appartient au bassin versant de l'oued El Nil et ce dernier appartient aux grands bassins versants Côtiers Constantinois numéro 3 (figure 04).



1-Chelif, 2-Cotier Algérois, 3-Cotiers Constantinois, 4-Cotiers Oranais, 5-Chott El Hodna,
 6- Chott Melrhir, 7-Hauts plateaux Constantinois, 8-Hauts plateaux Oranais, 9-Isser, 10-Kébir-Rhumel
 11-Macta, 12-Madjdah, 13-Sahara, 14-Seybouse, 15-Soummam, 16-Tafna, 17- Zahrez .

Figure 04: Situation du bassin versant d’Oued Nil par rapport aux grands bassins versants de l’Algérie (Bachkit, 2005)

Le bassin versant de l’oued Nil occupe une superficie de 268 km², subdivisée en quatre sous bassins versants respectivement : oued Nil, oued Saayoud, oued Boukraa et oued Tassifte. Ce bassin est drainé par l’oued Nil avec un débit annuel de 230 millions de mètres cubes à l’embouchure (Lehtihet A. 1983), il est considéré parmi les oueds les plus importants de la région de Jijel. Les lits de ces oueds ont une largeur de 10 à 35 m et une profondeur de 2 à 4 m.

Au niveau de la plaine on observe deux marécages :

- Le marécage d’El-Kannar (Ghedir Beni Hamza)
- Et le marécage de Rajela (Ghedir El-Merdj) situé dans la commune de Taher.

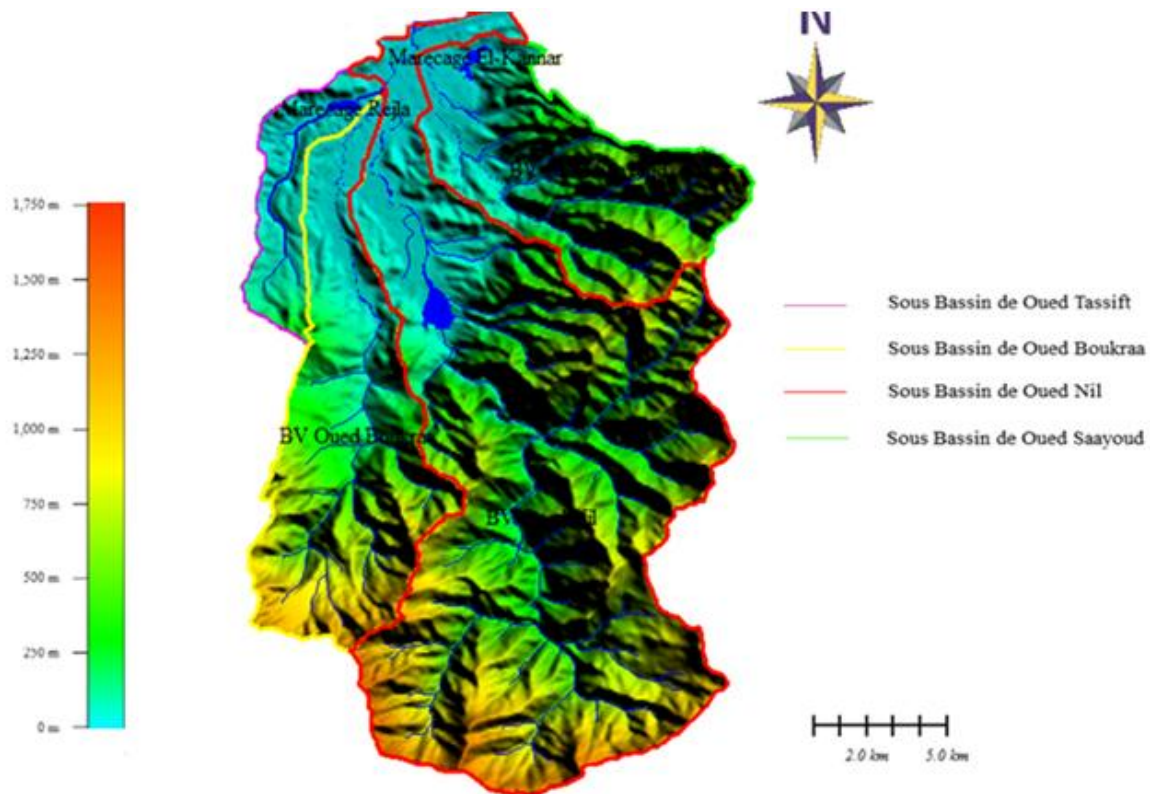


Figure 05 : Réseau hydrographique du bassin versant d’oued Nil avec ses quatre sous bassin versant (Saayoud, Boukraa, Nil et Tassift) et ses deux marécages (Rejla et El-Kannar) (Sadoun L., 2013)

2.4. Aspects géologique et hydrogéologique

La plaine d’oued Nil est constituée par le remplissage alluvionnaire d’une ancienne vallée creusée dans les marnes éocènes à l’Ouest (rive gauche d’oued Nil) et les terrains métamorphiques à l’Est (rive droite d’Oued Saayoud). Sur ces alluvions se déposent des formations dunaires plus au moins récentes comme celle de Bazoul et d’El-Kannar. Les connaissances géologiques sont tirées de l’esquisse géologique de la wilaya de Jijel (Prévenant de la carte géologique d’El-Milia N°29 (Ehrmann F., 1926)) in Bechkit, 2005.

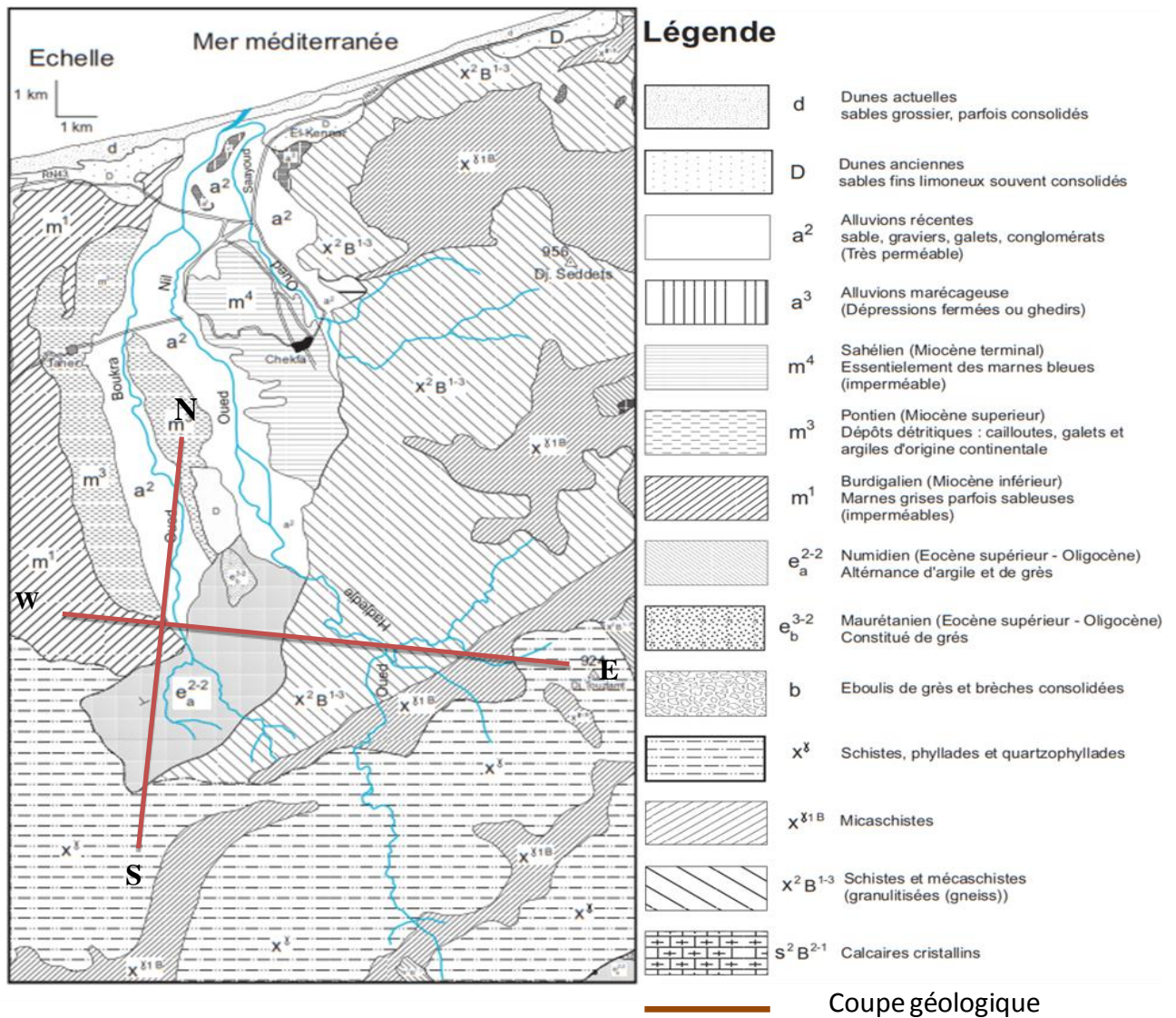
La géologie locale de la plaine alluviale (figure 06), de point de vue hydrogéologique est composée de deux types de formation :

A) Formations perméables

- **Les dunes** : on les rencontre au Nord de la plaine. Elles sont constituées essentiellement de sables fins (dunes récentes) et des sables fins limoneux (dunes anciennes), l'épaisseur varie de 20 à 25m ;
- **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) ;
- **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.

B) Formations imperméables

- **Formations du Miocène supérieur « le Sahélien »** : affleurent au centre de la plaine. Elles constituent essentiellement des marnes bleues de passage.
- **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.
- **Formations gréseuses du paléogène (Numidien et Mauritanien)** : ces formations affleurent au Sud de la plaine. L'épaisseur varie de 500 à 1000 m.



Les deux coupes géologiques réalisées à partir de la carte géologique sont présentées ci-dessous :

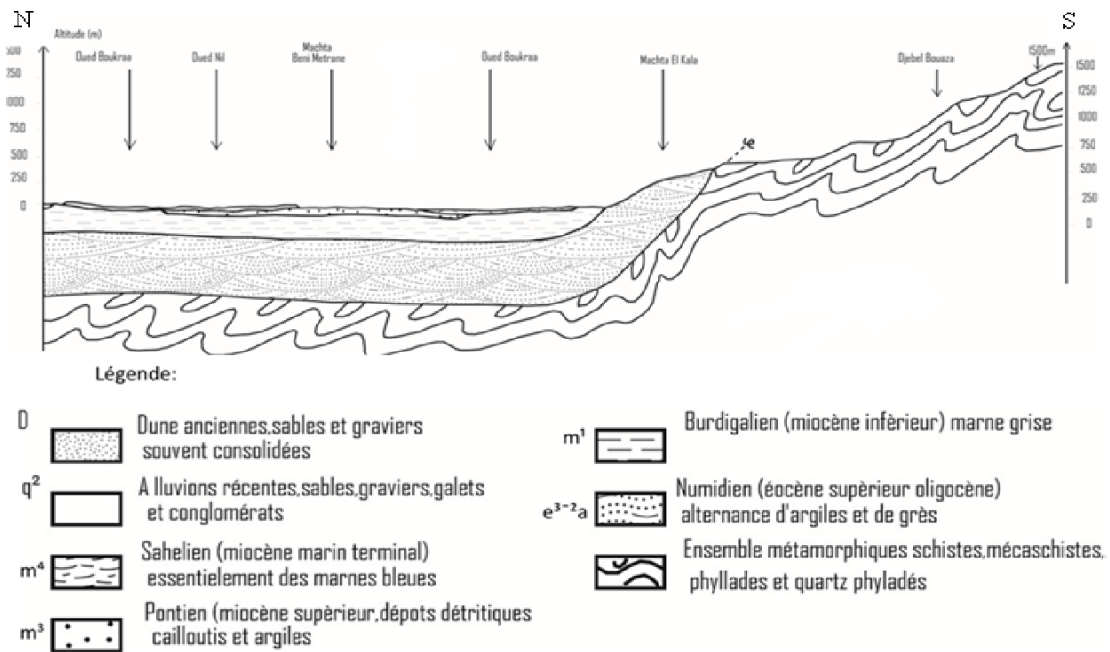


Figure 07 : Coupe géologique représentative (Nord-Sud) (Lehtihet, 1983 in Sadoun 2013)

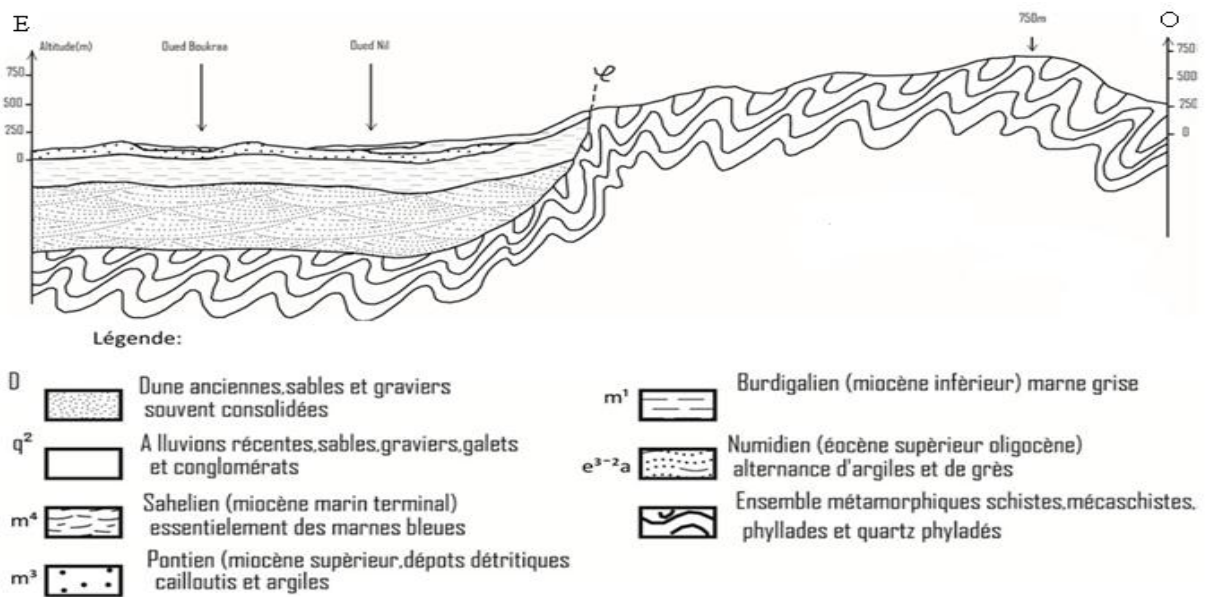


Figure 08 : Coupe géologique représentative (Est - Ouest) (Lehtihet, 1983 in Sadoun 2013)

Deux autres coupes géologiques ont été réalisées par Maoui et Meddour (2013), dans la plaine alluviale de l’oued Nil, à partir de la corrélation entre les logs stratigraphiques. La position des deux coupes est présentée dans la figure ci-dessous :

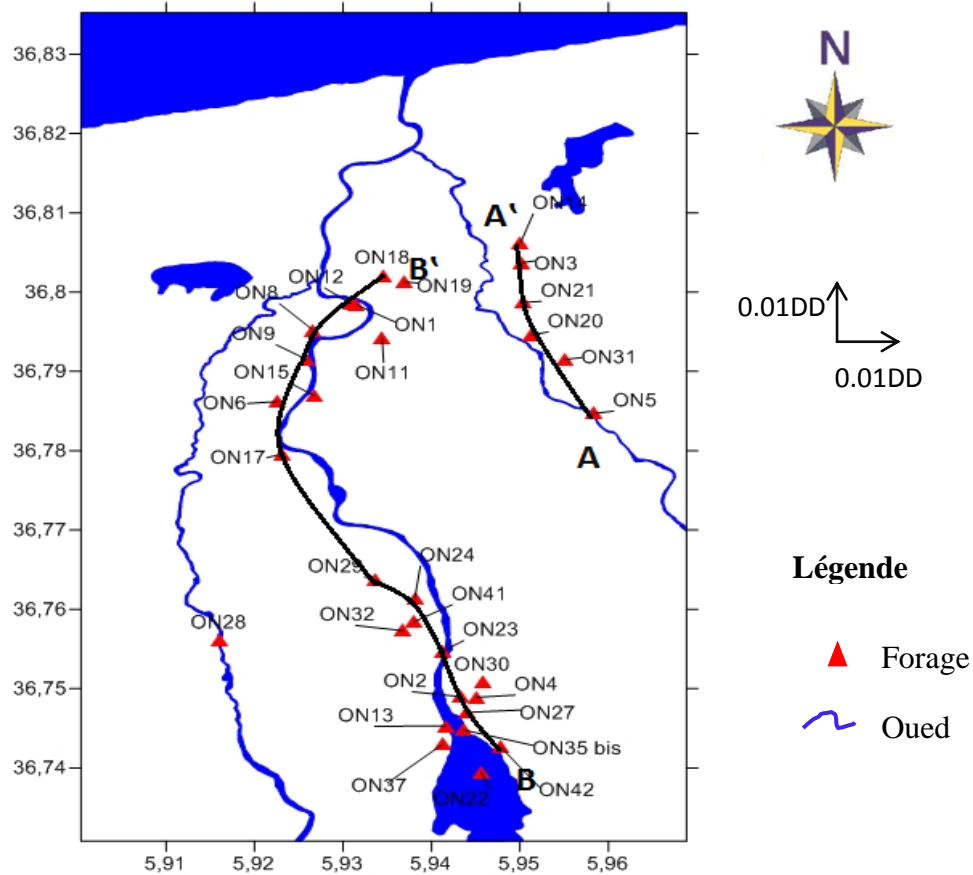


Figure 09: Carte de positionnement des coupes géologiques (Maoui et Meddour 2013)

Dans ces deux coupes, les formations géologiques ont été classées selon la perméabilité des terrains en trois classes :

- Les formations perméables : les graviers et les sables ;
- Les formations semi-perméables : mélange des formations perméables avec des formations imperméables (argile ou marnes).
- Les formations imperméables : les marnes grises

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante

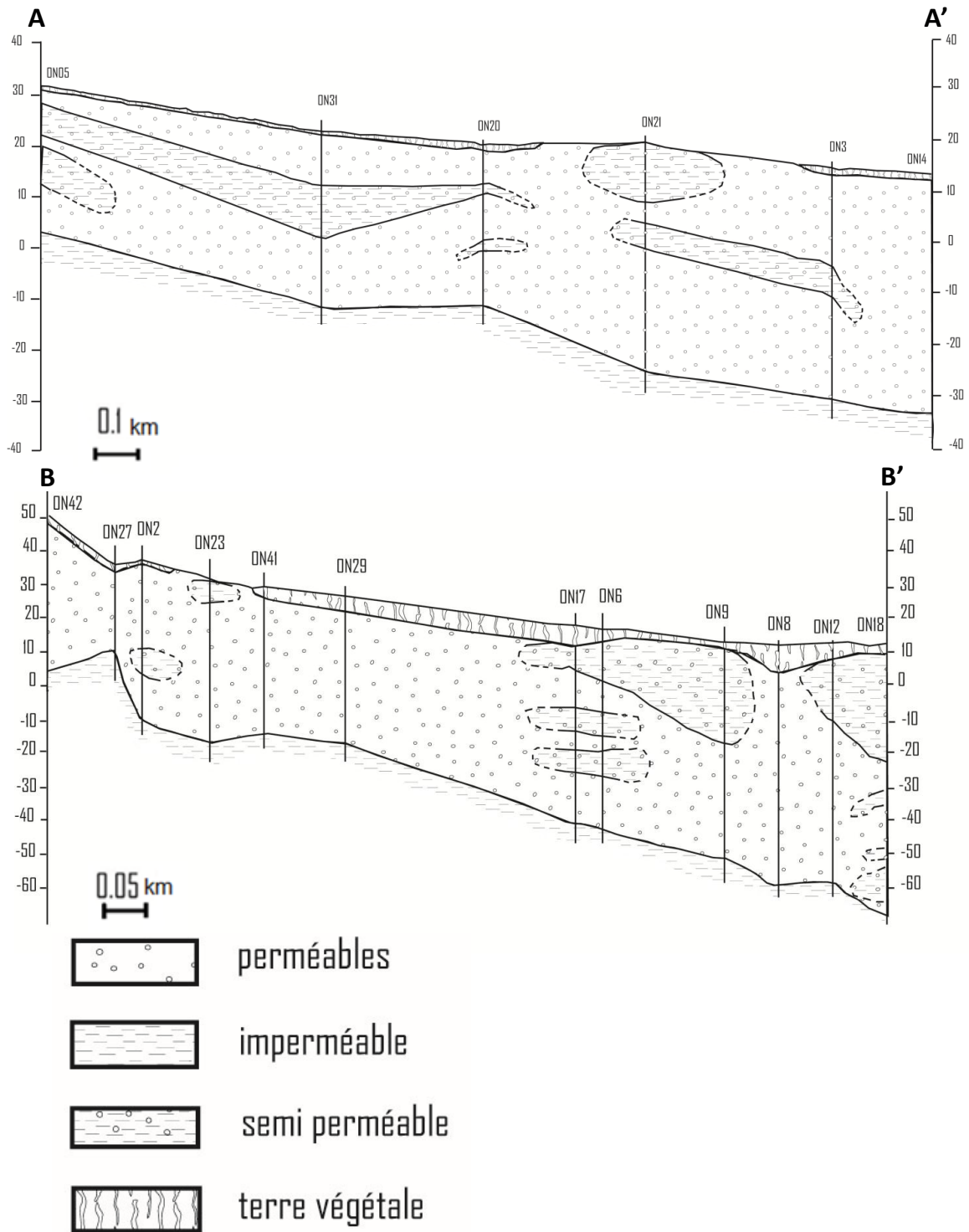


Figure 10 : Coupe lithologique à partir des logs stratigraphiques (Maoui et Meddour 2013)

Cette figure montre que la plaine d’oued Nil présente une seule nappe avec des passages (lentille) semi-perméables qui rendent la nappe localement captive.

2.5. Socio-économie

Le facteur socio-économique de la région d'étude est très important vu son impact sur la chimie des eaux. Les rejets urbains et industriels et l'utilisation des fertilisants dans l'agriculture produisent des modifications dans les concentrations des différents éléments dans l'eau (superficielle et souterraine).

2.5.1. Population

Les cartes topographiques montrent une répartition irrégulière des habitations, celles-ci sont liées aux conditions de vie, condensées et localisées au niveau de grandes villes (Taher, Chekfa, El-Kennar...) et dispersées sous forme de Mechtats.

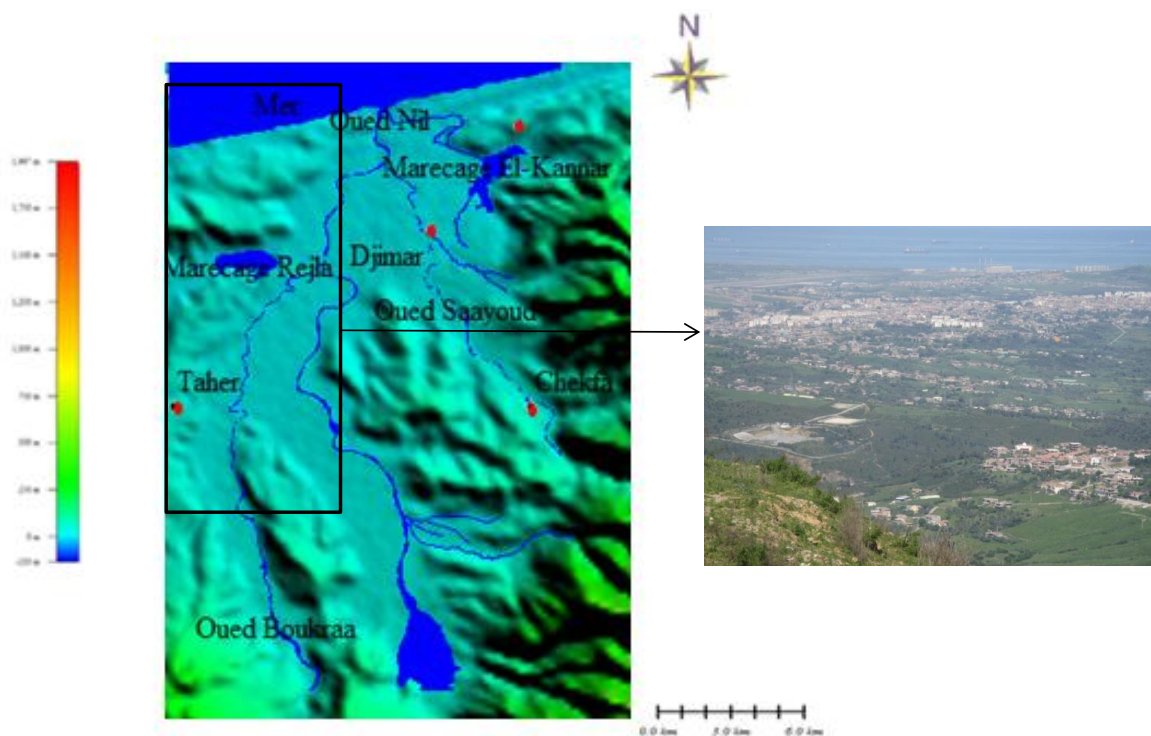


Figure 11. Carte d'occupation de la plaine alluviale d'oued Nil (Guerraichi et Bouchekkouf 2013)
Plusieurs rejets urbains sont jetés directement dans les oueds sans traitement préalable (photo 01)



Photo 01 : Les rejets d'eaux usées urbaines

2.5.2. Agriculture

La plaine alluviale d'oued Nil est caractérisée par l'agriculture des serres où les terres ne sont pas marécageuses. Les cultures pratiquées dans cette région sont dominées par les cultures maraichères. Afin d'atteindre la production nécessaire, il était important de développer des techniques de culture et l'usage de certains produits chimiques et organiques tel que les engrais et les pesticides qui augmentent sans doute les rendements, mais contribuent surtout par leur utilisation excessive à la pollution des sols, des sédiments et des cours d'eau où les concentrations en nitrates, phosphates et leurs dérivés.



Photo 02 : L'agriculture dans la plaine alluviale d'oued Nil

2.6. Conclusion

La zone étudiée fait partie des plaines côtières de la Wilaya de Jijel, occupant un endroit stratégique. La plaine alluviale de l'oued Nil présente une ressource importante en eau (souterraine et superficielle). Ces derniers sont soumis à des pressions démographiques et agricoles très importantes, ce qui peut influencer sur la quantité et la qualité de ces eaux.

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

1. Localisation des sites de prélèvement Eau / Sédiment

Pour le compartiment d'eau, quinze stations ont été choisies au niveau de la plaine selon une répartition et une fréquence différente d'un site à un autre :

- Les eaux de surface sont échantillonnées en dix stations positionnées au niveau des oueds : cinq dans l'oued Nil ; trois dans l'oued Saayoud et deux dans l'oued Boukaraa. La stratégie suivie pour choisir les prélèvements et de prendre l'état initial de l'eau à l'amont de chaque oued, l'état final de l'eau à l'aval de chaque oued, et des stations avant et après la confluence de l'oued avec un de ses affluents.
- Les eaux souterraines : cinq stations de prélèvement ont été choisies ; trois stations sur les puits et deux stations sur les forages.

Pour le compartiment de sédiment, dix stations ont été sélectionnées sur des lieux stratégiques : cinq stations sur l'oued Nil, trois stations sur l'oued Saayoud et deux dans l'oued Boukaraa.

Tableau 01: Points de prélèvement eau/sédiments et leurs localisations

Points de prélèvement			Type de prélèvement (eau / sédiment)	Localisation	
Type d'eau	Eaux de surface	Oued Boukaraa	OB2C	eau / sédiment	Amont de l'oued Boukaraa.
			OB4	eau / sédiment	Aval de l'oued Boukaraa.
		Oued Nil	ON2	eau / sédiment	Amont de l'oued Nil, située à proximité des champs cultivés.
			ON4	eau / sédiment	Avant la confluence de l'oued Nil avec oued Boukaraa.
			ON5C	eau / sédiment	Après la confluence de l'oued Boukaraa avec l'oued Nil.
			ON6C	eau / sédiment	Avant la confluence de oued Nil avec l'oued Saayoud.
			ON7C	eau / sédiment	Aval de l'oued Nil (juste avant son diversement dans la mer),
		Oued Saayoud	OS1C	eau / sédiment	Amont de l'oued Saayoud.
			OS3C	eau / sédiment	A l'intermédiaire de l'oued Saayoud.
			OS5	eau / sédiment	Aval de l'oued Saayoud (juste avant sa confluence avec l'oued Nil).
	Eaux souterraines	Puits	PB4	Eau	Aval de l'oued Boukaraa.
			PN3	Eau	Amont de l'oued Nil.
			PS1	Eau	Amont de l'oued Saayoud.
		Forages	FN9	Eau	Aval de l'oued Nil.
			FS1	Eau	A l'intermédiaire de l'oued Saayoud.

Remarque : sur les coupe le forage FN9 = ON18 et le forage FS1 = ON5 (notation de la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Jijel)

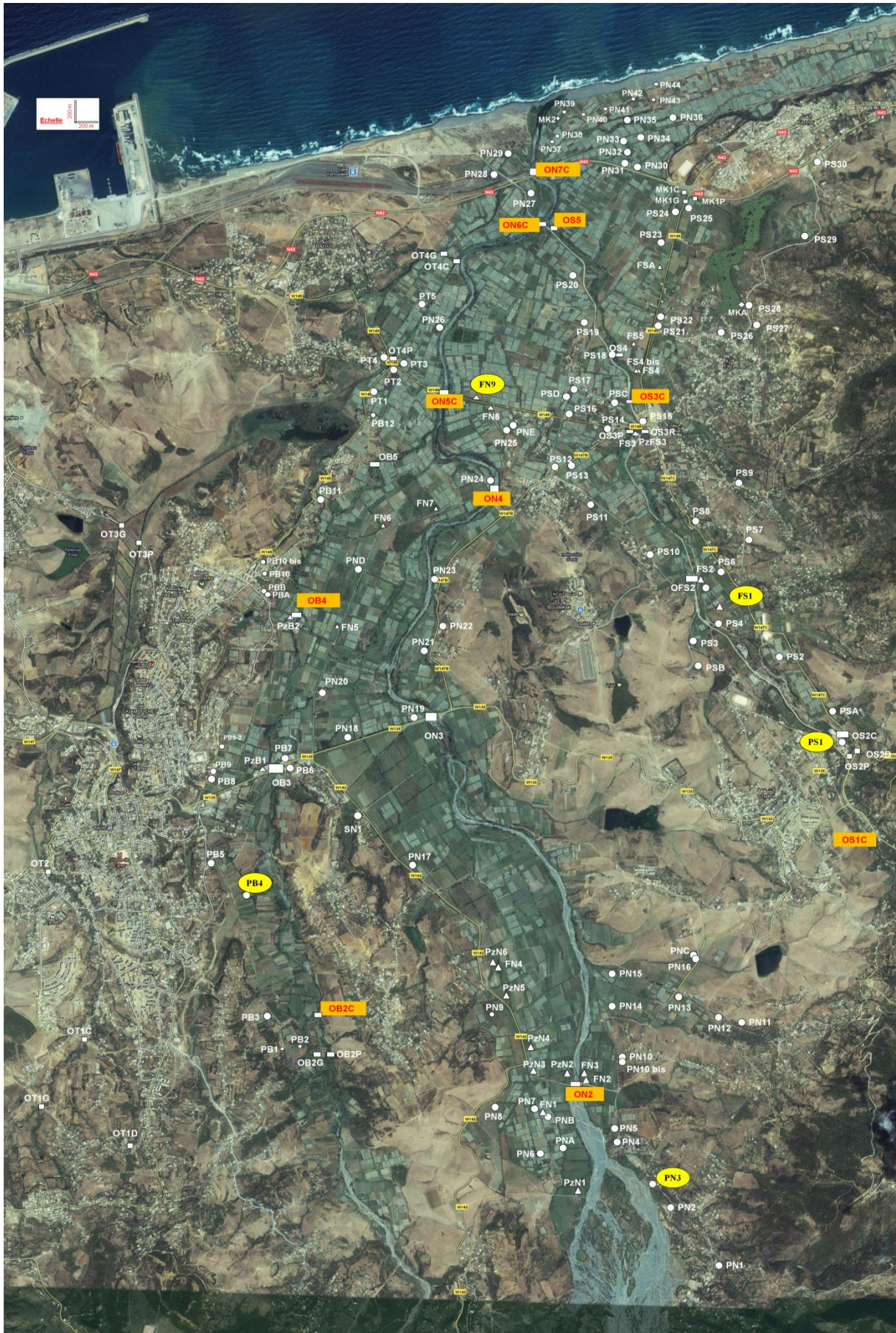


Figure 12: Localisation des stations de prélèvement (eaux et sédiments)



Puits PN3



Forage FS1



Station : ON2



Station : ON5C

Photos 03 : Quelques stations des eaux de surface et souterraines




3.2. Calendriers des prélèvements

Les prélèvements sont saisonniers durant la période de novembre 2013 à juin 2014 pour le compartiment eau (tableau 02), pour le compartiment sédiments, les prélèvements sont saisonniers (Eté 2013, Hiver 2014, Printemps 2014).

Tableau 02: Calendrier des prélèvements des compartiments eaux et sédiments

Campagne de prélèvement				29 Juin 2013	2 Novembre 2013	27-29 Janvier 2014	8-9 Avril 2014	21-28 Juin 2014
Type d'eau	Eaux de surface	Oued Boukaraa	OB2C					
			OB4					
		Oued Nil	ON2					
			ON4					
			ON5C					
			ON6C					
		Oued Saayoud	ON7C					
			OS1C					
			OS3C					
	Eaux souterraines	Puits	OS5					
			PB4					
			PN3					
		Forages	PS1					
			FN9					
			FS1					

Légende :

	Prélèvement des sédiments
	Prélèvement d'eau
	Prélèvement d'eau et des sédiments

3.3. Prélèvement des échantillons d'eau

3.3.1. Mode de prélèvement

Dans le cas d'un oued ; le prélèvement de l'eau doit se faire au milieu de l'oued en plein courant à une profondeur d'environ 50 cm ou à mi-profondeur si la hauteur de l'eau est inférieure à 50 cm (Rodier et Coll., 2005) ; Il est impératif de prélever loin des rives ou des bords ainsi que des obstacles naturels ou artificiels, en dehors des zones mortes et des remous, et en évitant la remise en suspension des dépôts. Rodier et al. (2009), L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.)

- ❖ Dans le cas des eaux de surface (les oueds): le prélèvement est réalisé à l'aide d'un sceau ; pour chaque station environ trois litres d'eau sont prélevés dans des flacons en polyéthylène qui doivent être lavés trois fois avec de l'eau à analyser, puis remplis complètement et bouchés tout en évitant la formation des bulles d'air. *Le bouchon sera placé de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport (Rodier J., et al. 2009).*

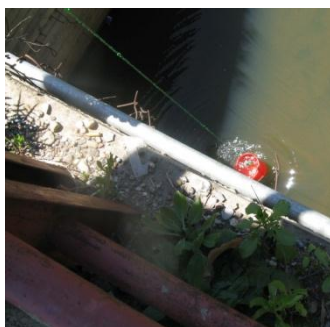


Photo 04 : Préleveur manuel (eaux de surface)

- ❖ Dans le cas des eaux souterraines (puits et forages), nous utilisons un préleveur de façon à prélever les eaux à une profondeur de 3 m au dessous du niveau d'eau, tout en évitant la remise en suspension des dépôts.



Photo 05 : Préleveur manuel (eaux souterraines)

3.3.2. Mesures in situ

3.3.2.1. Mesure du niveau piézométrique

Pour la mesure du niveau d'eau (statique et dynamique) des différents captages, nous avons utilisé une sonde électrique possédant un voyant qui s'allume une fois que le bec de la sonde est en contact avec la surface de l'eau.



Photo 06 : La sonde électrique

3.3.2.2. Les paramètres physico-chimiques

Cinq paramètres physico-chimiques (T, pH, Eh, conductivité, O₂) sont mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'une valise multiparamètre de terrain de marque *Multi 350i*. Le redox est faite à l'aide d'un redox-mètre portable.



a



b

Photo 07 : Multiparamètres 350i (a) et redox-mètre (b)

3.3.3. Analyses aux laboratoires

Toute la verrerie du laboratoire est lavée au détergeant liquide ensuite rincé par l'eau puis avec l'acide nitrique 5% suivi d'un rinçage à l'eau distillé et sécher à l'aide d'une étuve avant l'utilisation.

On a procédé à une analyse complète de tous les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^- , TH) et les éléments résultants des activités agricoles et les rejets urbains qui sont appelés les paramètres de la pollution (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-}). Trois méthodes d'analyses ont été utilisées :

- Méthode titrimétrique (HCO_3^-) ;
- Méthode colorimétrique pour les éléments (Ca^{2+} , Mg^{+2} , Cl^- , TH) ;
- Méthode de spectrophotométrie (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}). On signale que l'analyse spectrophotométrique a été faite en utilisant un spectrophotomètre de marque *ODYSSEY* aux laboratoires de l'ADE (wilaya de Jijel).



Photo 08: Spectrophotomètre de marque *ODYSSEY*

Une description détaillée des méthodes des mesures est présentée à l'annexe 2.

3.3.3.1 Eléments traces métalliques

3.3.3.1.1. Préparation des échantillons d'eau

La préparation et stockage de tout le matériel étant en contact avec les échantillons font l'objet d'une attention particulière (Tronczunski. J et al 2005). Les échantillons d'eaux utilisés pour la détermination des métaux lourds, sont acidifiés par l' HNO_3 ultra pur jusqu'à un pH inférieur à 2 et conservés à 4 °C avant analyse.

3.3.3.1.2. Dosage des éléments traces métalliques dans l'eau

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*.



Photo 09: Spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (*SHIDZUAA 6200 ATOMIC*)

3.4. Prélèvement des échantillons de sédiments

Les sédiments sont prélevés au niveau des mêmes stations d'échantillonnage des eaux de surface (les oueds). Les prélèvements sont réalisés au niveau de zones à sédimentation riches en matériaux fins sur lesquels se fixent les contaminants (Afri-Mehennaoui et al 2009) ; En sédimentologie les métaux se fixent préférentiellement sur la fraction fine inférieure à 63 μm .

3.4.1. Mode de prélèvement

Une pelle en inox a été utilisée. Nous prélevons les sédiments fins déposés en surface (profondeur ≤ 5 cm) sur les berges ou les rives où le courant est faible après le retrait des eaux. Les échantillons sont conservés dans des sacs en plastique. Lorsqu'une quantité suffisante de sédiment est prélevée, on mélange l'échantillon composite pendant 30 secondes pour l'homogénéiser (CCE, 2011).

3.4.2. Préparation des échantillons

Au laboratoire, les sédiments sont séchés à l'air libre pendant plusieurs jours puis transvasés dans des cristallisoirs, et séchés dans une étuve à 85°C pendant 48 heures, le conditionnement par séchage est préféré car il permet de conserver l'échantillon plusieurs années sans évolution notable de sa spéciation (Cornu et Clozel, 2000). Une fois séchés, les échantillons sont broyés puis tamisés selon leur destination :

- ✓ Les échantillons destinés aux analyses des paramètres physico-chimiques (pH, CE, Calcaire total), où les sédiments sont tamisés à 2 mm ;
- ✓ Les échantillons destinés au dosage des métaux lourds, où les sédiments sont tamisés à 63 μm .

3.4.3. Analyses des paramètres physico-chimiques

Plusieurs caractéristiques physico-chimiques des sols sont importantes pour expliquer et prévoir le comportement des polluants : la perméabilité, le pH et la conductivité (Rivière, 1998).

3.4.3.1. Potentiel hydrogène (pH)

La mesure du pH est faite le plus fréquemment dans une suspension aqueuse, le rapport de la masse du sédiment au volume d'eau varie suivant les méthodes ou suivant la texture du milieu. Le ratio le plus souvent rencontré est 1/2,5. Les valeurs du pH obtenues par cette méthode de mesure sont considérées comme les plus proches du pH du milieu considéré (Chaguer, 2013).

20g d'échantillon de sédiment secs tamisés à 2 mm est préparé dans un bêcher, on y ajoute 50 ml d'eau distillée (rapport 1/2.5), on agite à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 2 minutes. Ce qui permet de mettre en suspension la totalité de l'échantillon. La suspension obtenue est laissée au repos pendant 2 heures puis le pH est mesuré à l'aide d'un pH mètre.

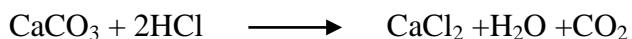
3.4.3.2. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{m}$ (I.B.G.E, 2005). Elle est l'expression de la charge dissoute et rend compte de la minéralisation des eaux par la quantité d'ions en solution (Gartet et al 2001).

Dans un bêcher, 50 ml d'eau distillée sont ajoutés à 10 g de sédiments secs tamisés à 2 mm (rapport 1/5). Après agitation pendant 30 minutes à l'aide d'un agitateur, et après un temps de repos d'environ 2 heures. La mesure de la conductivité électrique s'effectue sur le surnageant obtenu à l'aide de l'appareil multiparamètre 350i. Les lectures sont exprimées en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.4.3.3. Calcaire total (CT)

On décompose par un acide fort (acide chlorhydrique) le carbonate de calcium contenu dans l'échantillon de terre et on mesure le volume de gaz carbonique dégagé par la réaction à la température et à la pression atmosphérique :



Le volume de gaz carbonique dégagé lors de la réaction est mesuré à l'aide d'une burette à gaz (le calcimètre Bernard). Un poids connu de carbone de calcium pur pour analyse est traité de la même manière. En comparant les deux volumes, on détermine le taux de carbonate exprimé en carbonate de calcium dans l'échantillon de sol (Mathieu et Pieltain, 2003). Les résultats sont exprimés en mg/l de CT.

3.4.4. Analyses des éléments traces métalliques

3.4.4.1. Technique d'extraction des éléments traces métalliques

La méthode retenue est une digestion humide à l'eau régale (aqua regia), mélange d' HNO_3 et d' HCl , dans les proportions 1:3 (1V/3V). 10 ml d'un mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique concentrés sont ajoutés à 0.5 g de sédiment secs tamisés à 63 μm (Afri-Mehennaoui et al 2009). La digestion est effectuée à chaud dans un bain de sable.

Après refroidissement, le liquide obtenu est transféré par filtration, dans une fiole de 50 ml où le volume est complété à 50 ml avec de l'eau pure. Tous les extraits sont conservés à 4°C dans des flacons en polypropylène, rincés préalablement par de l'acide nitrique (5N) et l'eau déminéralisée, afin d'éviter les éventuelles contaminations.

3.4.4.2. Principe de la spectrophotométrie d'absorption atomique

Le dosage d'élément par SAA repose sur le principe qu'un atome soumis à un rayonnement d'énergie, peut passer d'un état fondamental à un état excité, caractérisé par des électrons à un niveau d'énergie plus élevé et instable : c'est le phénomène d'absorption. Le retour de l'atome à son état fondamental s'accompagne de l'émission d'un rayonnement photonique spécifique caractérisé par sa longueur d'onde. En pratique, l'absorbance peut être appréhendée par la variation de l'intensité lumineuse à travers la chambre d'atomisation de l'élément à doser (Nakib, 2010).

En mode émission de flamme, on n'utilise pas de source lumineuse. On s'intéresse au spectre d'émission des atomes à l'état excité qui retournent à l'état fondamental. Ainsi en procédant à une analyse spectrale par rotation du réseau du monochromateur, on repère les raies émises donc les éléments présents dans l'échantillon. L'émission de flamme peut être utilisée en analyse qualitative mais, pour cela, on lui préférera de loin l'émission atomique où l'excitation est réalisée au moyen de plasmas de gaz (Galez. P., 2011).

3.4.4.3. Dosage des éléments traces métalliques

Les éléments métalliques Cd, Pb, Cr, Zn ont été mesurés au spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme de type *SHIDZUAA 6200 ATOMIC* après mise en solution.

Chapitre 4 : Résultats et discussion

4.1 Climatologie

Les données climatologiques mensuelles (précipitations, température, évaporation et humidité relative), durant la période du suivi (juin 2013 à juin 2014), sont présentées dans la figure suivante :

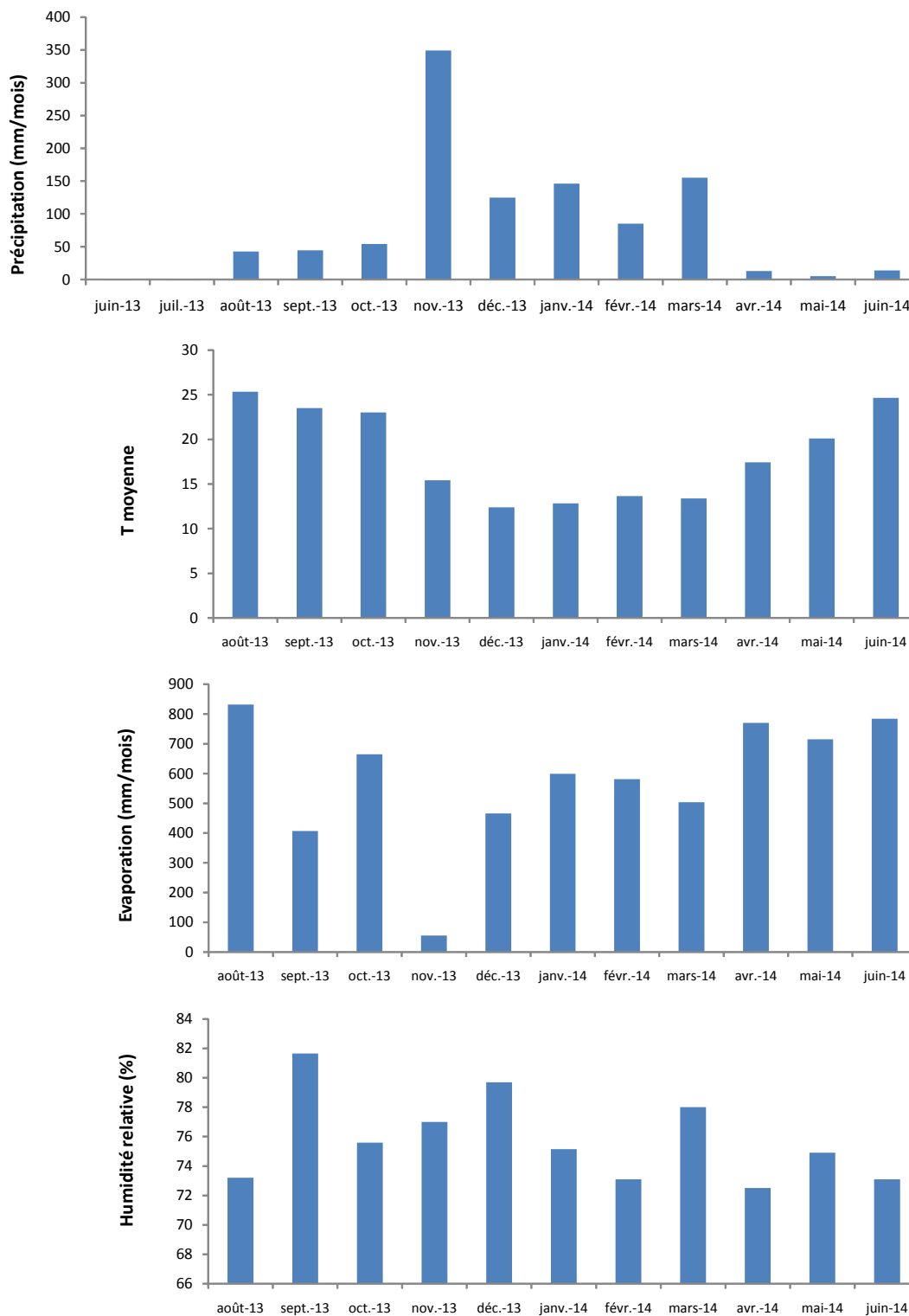


Figure 13 : Données climatologiques mensuelles de la période du suivi (juin 2013 à juin 2014)

Cette figure montre que :

- Les précipitations se répartirent en quatre périodes :
 - La première s'étend de juin à juillet 2013, elle est caractérisée par des précipitations négligeables (inférieur à 0.15 mm/mois) ;
 - La deuxième s'étend d'août à octobre 2013, elle est caractérisée par des faibles précipitations (42 à 53 mm/mois) ;
 - La troisième s'étend de novembre 2013 à mars 2014, elle est caractérisée par des fortes précipitations (85 à 350 mm/mois) ;
 - Et la quatrième s'étend d'avril 2014 à juin 2014, elle est caractérisée par des très faibles précipitations (5 à 14 mm/mois) ;
- La température et l'évaporation évoluent d'une manière générale inversement à la précipitation
- L'humidité relative varie entre 72% et 82%.

Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite (1948)

Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humide et semi-aride, et vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule a été appliquée. Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de 100 mm au maximum.

La méthode de Thornthwaite nous permet à partir des données de base (précipitation, température (T°C), le coefficient thermique mensuel (K) et l'indice thermique mensuel (i)) de calculer l'évapotranspiration potentielle selon la relation suivante :

$$ETP (mm) = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \cdot K \quad \text{Où } I = \sum i = \sum \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad \text{et } a = 0,016 I + 0,5$$

Le principe de calcul du bilan hydrologique de Thornthwaite est le suivant :

- si pour un mois $P \geq ETP$ on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste (P-ETR) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 m) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès (WS) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

- si $P < ETP$, la valeur de $ETR = P + RFU$, jusqu'à égalisation avec ETP . Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

Le calcul de ces paramètres est présenté dans le tableau 03 :

Tableau 03 : Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite (1948)

Mois	août-13	sept-13	oct-13	nov-13	déc-13	janv-14	févr-14	mars-14	avr-14	mai-14	juin-14	juil-14	Somme ou Moyenne
P (mm/mois)	42,9	44,5	54,2	349,1	124,8	146,2	85,1	155,1	13,1	5,1	13,9	0,2	1034,2
T°C	25,33	23,51	23,02	15,43	12,4	12,84	13,66	13,39	17,44	20,1	24,66	25,38	18,93
i	11,66	10,42	10,09	5,51	3,96	4,17	4,58	4,44	6,63	8,22	11,20	11,70	92,58
K	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	12,38
a	1,98												
ETP (mm)	117,54	101,39	97,25	44,02	28,55	30,59	34,58	33,24	56,11	74,33	111,46	118,00	847,06
ETPc (mm)	136,34	104,44	94,33	37,86	23,98	26,61	29,39	34,24	61,72	89,94	135,98	146,32	921,15
RFU (100 mm)	0	0	0	100	100	100	100	100	51,38	0	0	0	551,38
Da (mm)	93,44	59,94	40,13	0	0	0	0	0	0	33,46	97,56	146,12	470,65
Écoulement (mm)	0	0	0	211,24	100,82	119,59	55,71	120,86	0	0	0	0	608,22

Ce tableau montre que l'écoulement (Infiltration et ruissellement) se fait seulement pendant la période pluvieuse qui s'étend du mois de novembre 2013 à mars 2014 et que la période sec qui présente un déficit agricole s'étend d'avril à octobre.

4.2. Analyse des eaux

4.2.1. Eaux de surface

4.2.2.1. Les paramètres physico-chimiques

L'évolution temporelle (novembre 2013, janvier, avril et juin 2014) des paramètres physico-chimiques (T°C, pH, Eh et Conductivité électrique) des eaux dans les trois oueds (Nil, Boukraa et Saayoud) est présentée dans les trois figures (14, 15,16).

L'observation de ces courbes montre que d'une manière générale, la variation la plus importante de ces paramètres se fait à l'aval de l'oued Nil et d'oued Saayoud par l'augmentation de la conductivité surtout durant les mois de novembre 2013 et juin 2014 et la diminution d'Eh et du pH durant les mois de janvier et d'avril 2014. Ces modifications sont sûrement liées aux rejets urbains existants dans ces zones.

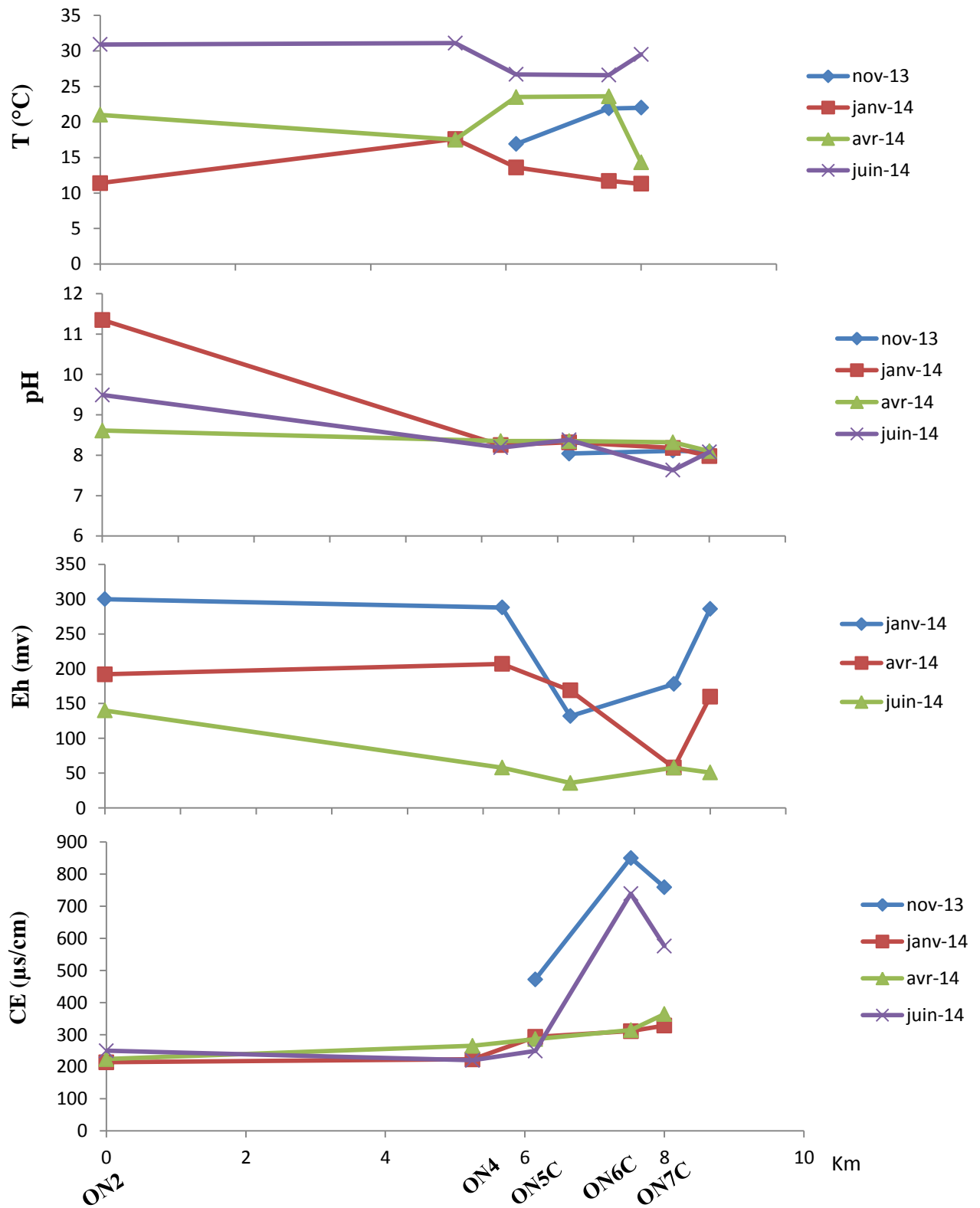


Figure 14: Variations spatio-temporelles des paramètres physiques (T°, pH, Eh, CE) de l’oued Nil.

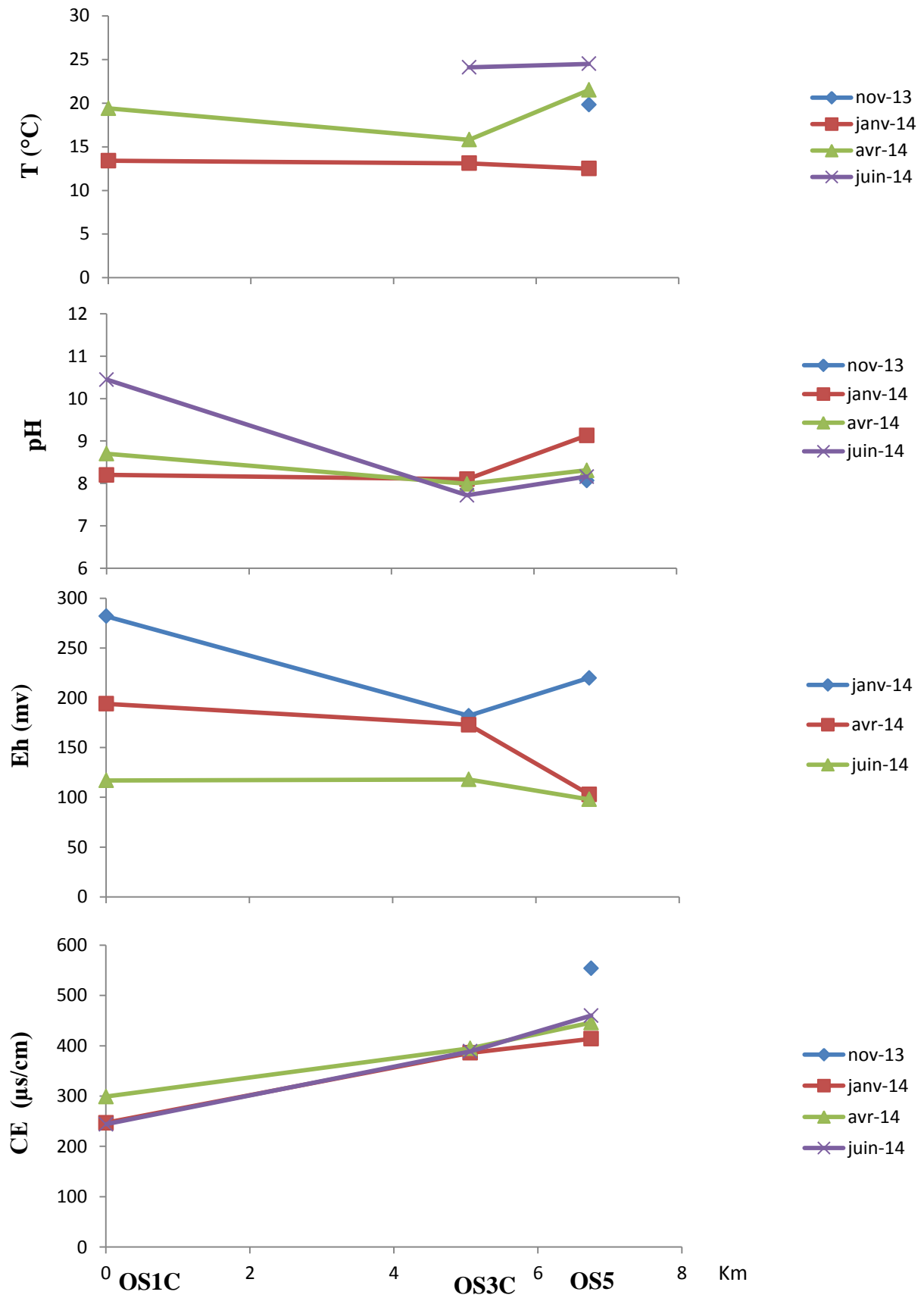


Figure 15: Variations spatio-temporelles des paramètres physiques (T° , pH, Eh, CE) de l'oued Saayoud.

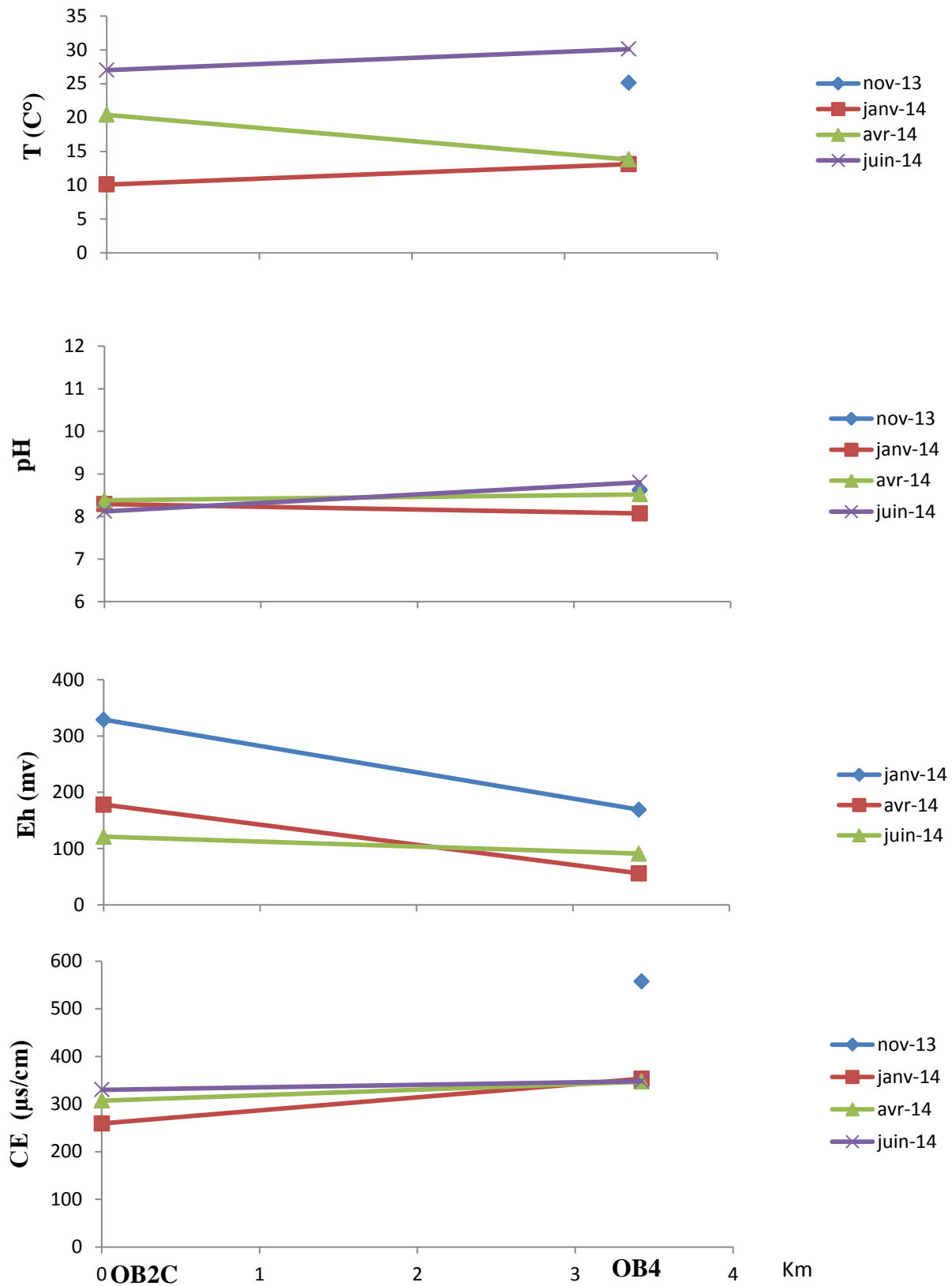


Figure 16: Variations spatio-temporelles des paramètres physiques (T°, pH, Eh, CE) de l'oued Boukaraa.

A) Température (T°)

Les trois figures montrent que l'évolution de la température de l'eau est assez similaire dans les différentes stations.

Au niveau d'oued Nil, l'eau se refroidit au mois de janvier et avril et se réchauffe au mois de novembre et juin. Les valeurs extrêmes révélées sont 31,1°C au mois de juin à la station ON4 et 11°C au mois de janvier aux stations ON2, ON6C, ON7C.

Pour les eaux d'oued Boukaraa, les valeurs extrêmes sont 10,1°C à la station OB2C au mois de janvier, et 31,1°C à la station OB4 au mois de juin. Le même cas pour les eaux d'Oued Saayoud, la valeur minimale est de 12,5°C enregistrée à la station OS5 au mois de janvier et la valeur maximale est de 24,5°C enregistrée à la même station au mois de juin.

Les températures mesurées dans les eaux des trois oueds dépassent la norme algérienne (25°C) dans la plupart des sites de prélèvements au mois de juin (période estivale) où la température atteint 31°C. Ces variations de température suivent celles du climat de la région (Figure 13). Donc la température de l'eau est saisonnière.

B) pH

Selon la figure 14, les valeurs du pH des eaux d'oued Nil ne montrent pas des variations notables, elles sont légèrement neutre à alcalin dans toutes les stations qui oscillent entre 7,63 à la station ON6C au mois de juin et 8,38 à la station ON5C au mois de juin. Ces valeurs ne dépassent pas la norme algérienne ($6,5 \leq \text{pH} \leq 9$) sauf dans la station ON2 où la valeur du pH est de 11,25 au mois de janvier et de 9,49 au mois de juin. Pour les eaux d'oued Boukaraa, la valeur la plus élevée 8,8 a été enregistrée au mois de juin à la station OB4, la valeur la plus faible 8,07 est observée au mois de janvier à la même station. Ces valeurs ne dépassent pas la norme. Au niveau d'oued Saayoud, les valeurs du pH fluctuent entre 7,72 à la station OS3C au mois de juin et 10,44 à la station OS1C au même mois.

La stabilité de la neutralité des eaux pourrait résulter d'un équilibre entre les fortes teneurs en dioxyde de carbone et les bicarbonates, stabilisées par l'effet tampon résultant de la forte minéralisation des eaux (Ait Boughrous. 2007). Dans les stations ON2 et OS1C, le pH des eaux est fortement alcalin, ceci peut être dû à des rejets ou à la nature géologique des terrains traversés.

C) Redox (Eh)

Au niveau d'oued Nil, Les valeurs observées révèlent que le Eh augmente, aussi bien en période de pluie (janvier) qu'en période sèche (juin) dans toutes les stations. En effet, le Eh varie entre 36 mv dans la station ON5C au mois de juin et 300 mv dans la station ON2 au mois de janvier.

Pour les eaux d'oued Boukaraa, la valeur la plus élevée est de 329 mv dans la station OB2C au mois de janvier et la valeur minimale est de 91mv dans la station OB4 au mois de juin. Au niveau des eaux d'oued Saayoud, les valeurs obtenues en période hivernale (janvier) sont supérieures à celles mesurées en période estivale (juin). Ces valeurs fluctuent entre 98mv dans la station OS5 au mois de juin et 282 mv à la station OS1C au mois de janvier.

La variation de redox au niveau des trois oueds est très liée à l'effet des pluies. Les valeurs sont élevées pendant la période hivernale et basse pendant la période estivale. Ceci s'explique par l'augmentation de l'oxygène au niveau de la plaine due au contact des eaux avec l'atmosphère et aux infiltrations des eaux des pluies (chargées en oxygène). On observe aussi que les valeurs d'Eh sont élevées dans la partie amont par rapport à la partie aval au niveau des trois oueds, ceci peut être lié aux rejets domestiques qui font diminuer l'oxygénation de l'eau en consommant l'oxygène.

D) Conductivité électrique (CE)

Les valeurs de la conductivité électrique obtenues dans les stations d'Oued Nil, oscillent entre 214 $\mu\text{S.cm/l}$ à la station ON2 au mois de janvier et 850 $\mu\text{S.cm/l}$ à la station ON6C au mois de novembre. Ces valeurs restent inférieures à la norme 2800 $\mu\text{S.cm/l}$.

Au niveau d'oued Boukaraa, la valeur maximale de la conductivité électrique est de 557 $\mu\text{S.cm/l}$ à la station OB4 au mois de novembre et la valeur minimale est de 269 $\mu\text{S.cm/l}$ à la station OB2C au mois de janvier.

Pour les eaux d'Oued Saayoud, les valeurs de la conductivité électrique varient entre 247 $\mu\text{S.cm/l}$ à la station OS1C au mois de janvier et 554 $\mu\text{S.cm/l}$ à la station OS5 au mois de novembre. Ces valeurs augmentent de l'amont vers l'aval et qui restent toujours inférieures à la norme (2800 $\mu\text{S.cm/l}$).

Les valeurs de la CE obtenues ne dépassent pas la norme algérienne (2800 $\mu\text{S.cm/l}$), On observe que les plus fortes valeurs sont surtout enregistrées en aval que l'amont des trois oueds, ceci s'explique par l'existence des éléments chimiques par des concentrations élevées en aval par rapport à l'amont. Ceci peut être expliqué par l'effet des rejets urbains dans la partie aval.

4.2.2.2. Les éléments majeurs

La minéralisation des eaux est liée principalement à la concentration des éléments majeurs. Lors de cette étude, on a étudié l'évolution spatio-temporelle du calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), bicarbonates (HCO_3^-), chlorure (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}) et le titre hydrotimétrique (TH). La représentation graphique de leur évolution est présentée dans les trois figures (17, 18, 19).

Dans oued Nil, l'ensemble des éléments majeurs augmentent dans la partie aval (ON5C, ON6C et ON7C), indiquant l'existence des apports d'eau riche en éléments chimiques. Cela peut s'expliquer seulement par les rejets urbains qui se jettent directement dans l'oued.

Pour l'oued Saayoud, on observe seulement une variation significative de la concentration à l'aval de l'oued (station OS3), elle est sûrement liée aux rejets urbains.

L'oued Boukaraa, présente des faibles variations des concentrations entre l'amont et l'aval, indiquant que l'effet des rejets est négligeable en comparant par rapport à l'oued Saayoud et l'oued Nil.

A) Calcium (Ca^{++})

Les valeurs du calcium sont variables d'une station à une autre et d'un lieu de prélèvement à l'autre. Les eaux d'oued Nil présentent une valeur maximale de calcium de 67,33 mg/l à la station ON7C au mois de novembre, une valeur minimale de 22,44 mg/l au mois de janvier à la station ON2.

Au niveau d'oued Boukaraa, les valeurs de calcium fluctuent entre 60,12 mg/l dans la station OB4 au mois de novembre et 22,44 mg/l dans la station ON2 au mois de janvier.

Pour les eaux d'oued Saayoud, la valeur maximale est de 78,55 mg/l à la station OS5 et la valeur minimale est 24,05 mg/l de à la station OS1C au même mois.

Les teneurs en calcium des eaux analysées de tous les points étudiés sont toutes inférieures à la concentration maximale admissible, 100 mg/l, (Rodier, 2009). Dans la partie amont, elles varient essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux) et dans la partie aval sont liées aux rejets. Les teneurs les plus faibles en calcium enregistrées aux mois d'avril et de janvier indiquent due au phénomène de dilution causée par les pluies d'hiver (tableau 03).

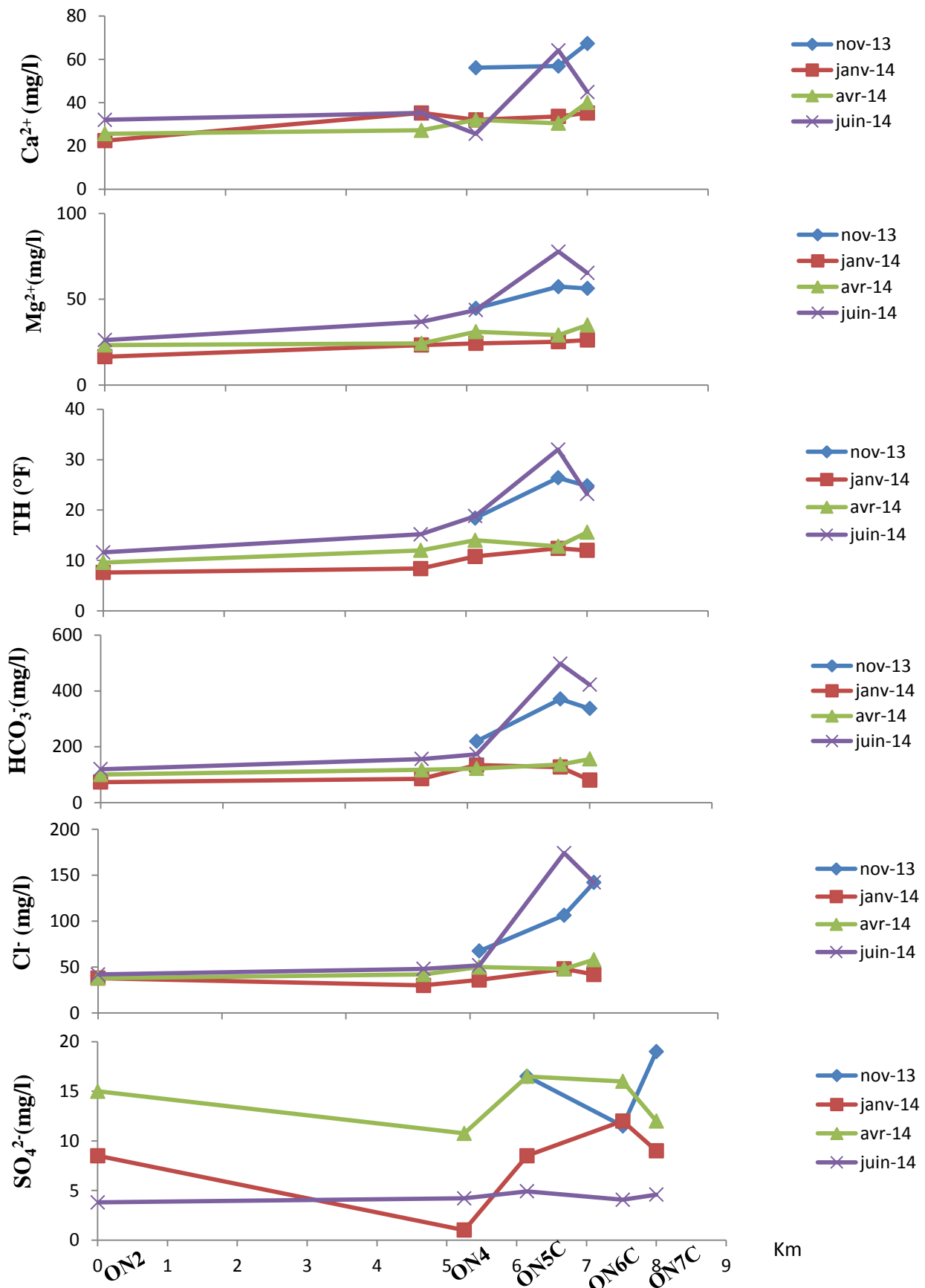


Figure 17: Variations spatio-temporelles des paramètres chimiques (Ca^{++} , Mg^{++} , TH, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) d'oued Nil.

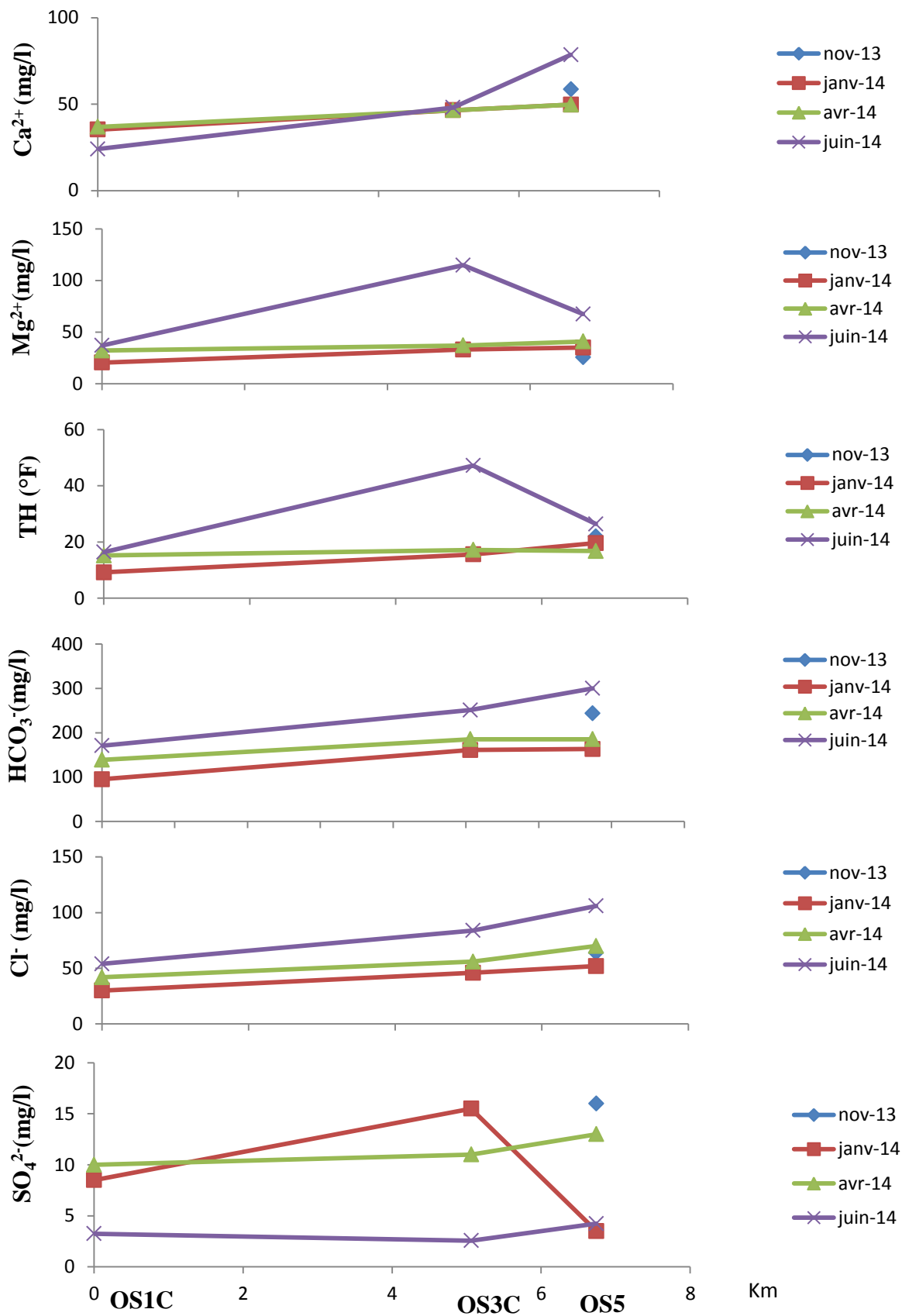


Figure 18 : Variations spatio-temporelles des paramètres chimiques (Ca^{++} , Mg^{++} , TH, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2}) de l'oued Saayoud.

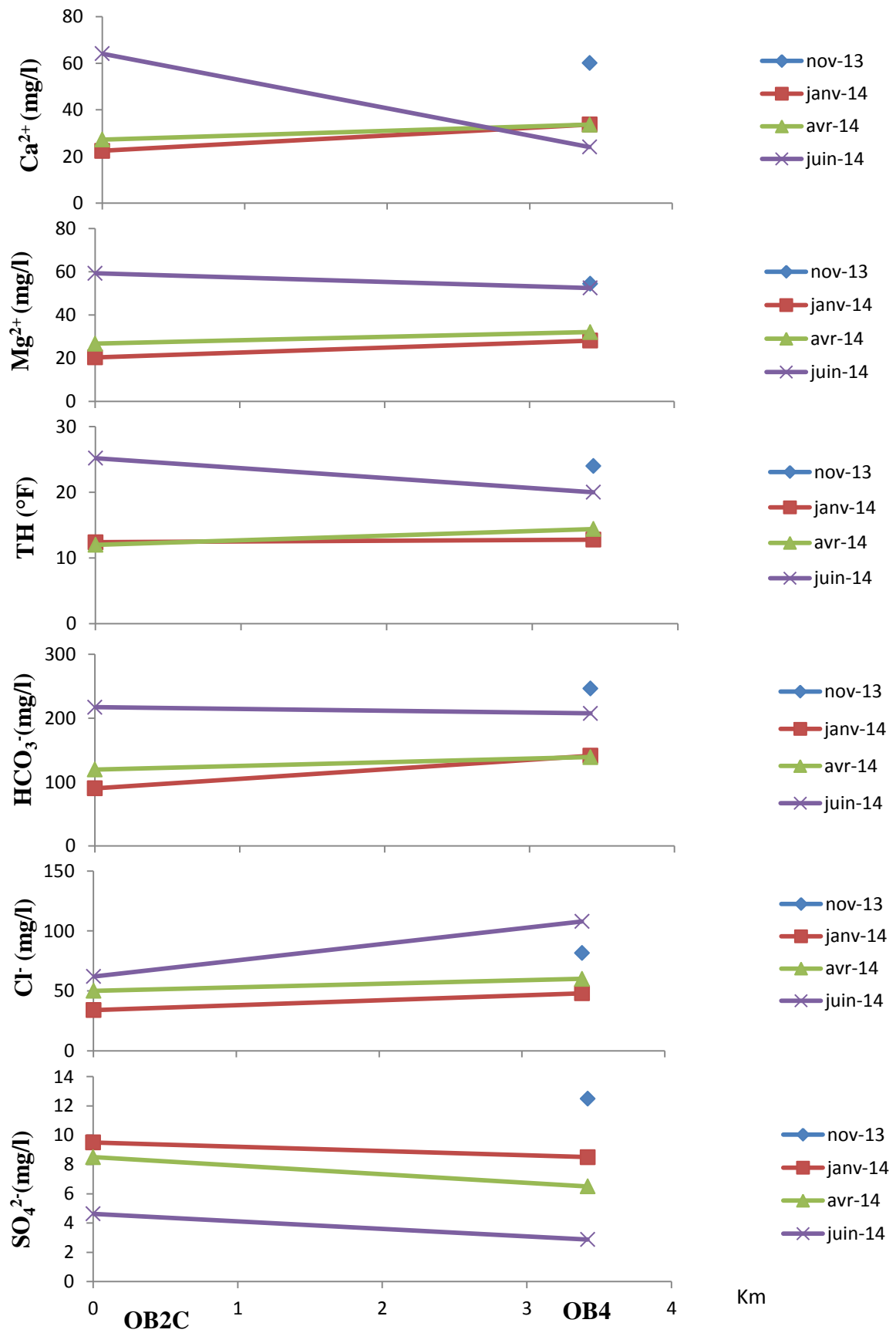


Figure 19: Variations spatio-temporelles des paramètres chimiques (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, TH, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄⁻²) de l'oued Boukaraa.

B) Magnésium (Mg^{++})

Au niveau d'oued Nil, les valeurs les plus élevées sont observées aux mois de novembre et juin et les plus faibles aux mois de janvier et avril. La valeur maximale est de 77,76mg/l enregistrée dans la station ON6C en période estivale, et la valeur minimale est de 16,52mg/l enregistrée en période hivernale dans la station ON2.

Au niveau des eaux d'oued Boukaraa, les valeurs extrêmes du magnésium 59,3mg/l et 20,41mg/l ont été relevées aux mois de juin et de janvier respectivement à la même station OB2C.

Pour les eaux d'Oued Saayoud, Les valeurs extrêmes du magnésium 20,41mg/l et 114,7mg/l ont été enregistrées aux mois de janvier et de juin aux stations OS1C et OS3C respectivement.

Les eaux analysées présentent une teneur élevée aux mois de juin et novembre qui peut être due à la fois aux divers rejets urbains et à la nature géologique des terrains traversés. Par contre La teneur faible enregistrée aux mois de janvier et avril qui peut être due au phénomène de dilution causé par les précipitations enregistrées durant ces mois ainsi que l'effet des eaux de ruissellement (tableau 03).

C) Dureté totale (TH)

Dans les eaux d'oued Nil, la valeur de la dureté totale la plus faible 7,6°F (degré français) a été enregistrée au mois de janvier à la station ON2, la valeur la plus élevée 32°F a été relevée au mois de juin à la station ON6C.

Pour les eaux d'oued Boukaraa, la valeur maximale est de 25,2°F dans la station OB2C au mois de juin et la valeur minimale est de 12°F au mois de janvier à la même station.

Au niveau d'oued Saayoud, Les teneurs de la dureté totale sont assez proches les unes des autres à l'exception dans la station OS3C qui montre une teneur légèrement élevée au mois de juin et atteint 47,2°F. Ces faibles valeurs sont dues également à la nature lithologique des terrains traversés.

D) Bicarbonate (HCO_3^-)

Les résultats obtenus montrent que les teneurs en bicarbonates au niveau d'oued Nil sont irrégulières et fortes. Elles se situent entre 73,2 mg/l à la station ON2 au mois de janvier et 497,46mg/l à la station ON6C au mois de juin.

Dans les eaux d'oued Boukaraa, la figure montre que les teneurs en bicarbonates fluctuent entre 90,28mg/l à la station OB2C au mois de janvier et 246,44mg/l à la station OB4 au mois de novembre.

Les eaux de l'oued Saayoud, présentent les valeurs extrêmes 300,12mg/l au mois de juin à la station OS5, 95,16 mg/l au niveau de la station OS1C au mois de janvier.

La concentration du bicarbonate au niveau des trois oueds est plus élevée aux mois de juin et novembre, ceci peut être s'expliquer par l'effet du lessivage des terrains et des rejets par les fortes pluies du mois de novembre et par l'effet de la concentration des rejet et l'absence des pluies durant le mois de juin (figure 13).

E) Chlorure (Cl⁻)

Les résultats des mesures que nous avons effectuées montrent que les valeurs de chlorure au niveau d'oued Nil fluctuent entre 174 mg/l à la station ON6C au mois de juin et 30 mg/l à la station ON4 au mois de janvier.

Au niveau d'oued Boukaraa, la valeur maximale en chlorure est de 108 mg/l à la station OB4 au mois de juin et la valeur minimale est de 34 mg/l à la station OB2C au mois de janvier.

Dans les eaux d'oued Saayoud, la teneur la plus élevée en chlorure est de 106 mg/l enregistrée à la station OS5 au mois de juin et la plus faible est de 30 mg/l enregistrée au mois de janvier à la station OS1C.

On peut dire que les teneurs en chlorure enregistrées dans les eaux de surface des trois oueds sont inférieures à la teneur suggérée par la norme algérienne (600 mg/l). Ce qui indique une absence de contamination par les chlorures. Ce résultat pourrait être attribué au lessivage des formations salifères des terrains traversés.

F) Sulfates (SO₄⁻²)

La figure montre que la variation spatio-temporelle en sulfates est très faible à nulle. Les résultats obtenus montrent que les teneurs en sulfates ne dépassent pas 19 mg/l au niveau d'oued Nil et 12,5 mg/l dans les eaux d'oued Boukaraa et de 16 mg/l pour les eaux d'oued Saayoud. Ces teneurs en sulfates restent très loin par rapport à la norme (400 mg/l) donc une absence de la contamination de ces eaux par les sulfates a été détectée. Un tel résultat est dû à la faible présence des formations géologiques riche en sulfate et aussi à l'effet de la dilution par les pluies.

4.2.2.3. Cycle d'azote, l'oxygène et le phosphate

Pour bien étudier l'évolution du cycle d'azote (nitrate, nitrite et ammonium) dans les eaux de surface, nous avons présenté son évolution en fonction de l'oxygène dissous et le phosphate, car l'oxygène intervient dans son transformation d'un espèce à un autre et le phosphate accompagne souvent l'ammonium dans le cas des rejets urbains. La représentation graphique de ces cinq paramètres est présentée dans les figures (20,21,22).

D'une manière générale, on observe que les teneurs en ammonium et le phosphate augmentent simultanément à l'aval de l'oued Nil (station ON6C et ON7C) et de l'oued Saayoud (OS3C et OS5) et s'accompagnent par une baisse des valeurs de l'oxygène. Cela peut être expliqué par l'effet des rejets urbains qui sont riches en ammonium et en phosphate et produisant une consommation de l'oxygène par les bactéries.

A) Oxygène dissous (O₂)

Au niveau d'Oued Nil, le pourcentage de saturation en oxygène est similaire au niveau des toutes les stations ON2 jusqu'à la station ON7C pendant les trois saisons. Il est de 25,8% (minimum) à la station ON6C au mois de novembre et de 43,3 % (maximum) à la station ON2 au mois de janvier. Au mois de juin, la valeur enregistrée dans la station ON2 est de 17%.

Le pourcentage de saturation est similaire au niveau des stations d'Oued Boukaraa et oued Saayoud. Les eaux des deux oueds présentent un pourcentage de saturation maximal de 43,4% au mois d'avril à la station OB2C, minimal de 31,4% enregistré au même mois à la station OS5. Au mois de juin, la valeur enregistrée dans la station OS1C est de 11,6%. Ces taux de saturation en oxygène dans la plupart des stations sont supérieurs à la norme algérienne (30%).

Dans notre étude, l'évolution saisonnière de l'oxygène dissous montre des concentrations plus élevées en période humide que celles en période sèche. Ceci est essentiellement dû à l'effet des pluies riches en oxygène, à la diminution de la température de l'eau, car une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène dissous qu'une eau chaude (Hébert et Légaré, 2000), et aux fortes vitesses des vents qui engendrent un brassage continu de la masse d'eau et par conséquent un enrichissement de la phase dissoute en oxygène dissous pendant la saison hivernale. Le débit important enregistré durant la période de pluie peut aussi augmenter l'échange de l'oxygène avec l'atmosphère et faciliter ainsi la circulation de l'air et par la suite influencer la concentration en oxygène dissous. Cependant, pendant la saison estivale (ON2, OS1C), le réchauffement de l'eau et le faible débit de l'oued provoquent une diminution de la dissolution de l'oxygène, aggravée par une augmentation de la consommation de l'oxygène par les organismes vivants dans l'oued

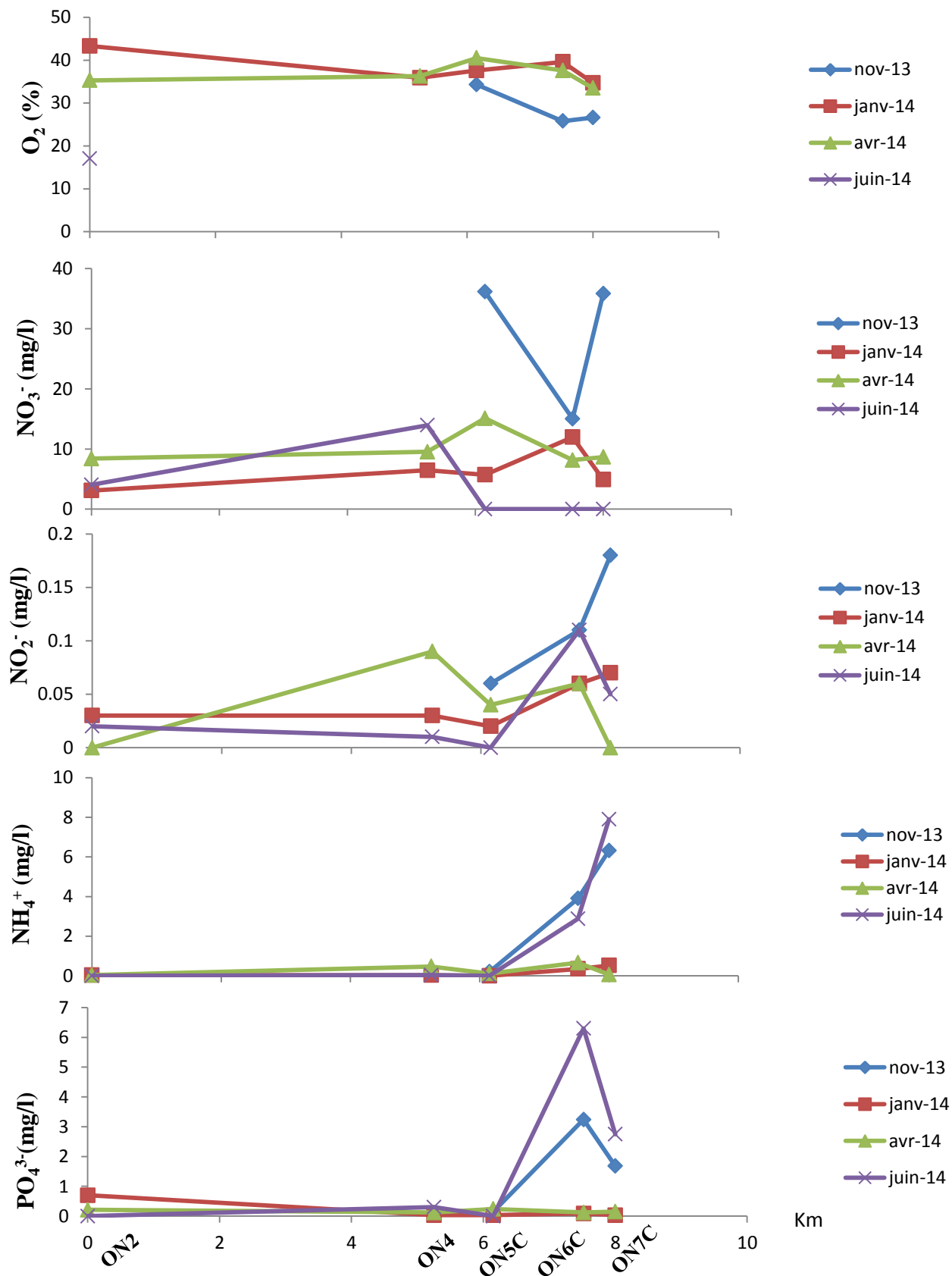


Figure 20: Variations spatio-temporelles d'O₂, des composés azotés et phosphates de l'oued Nil.

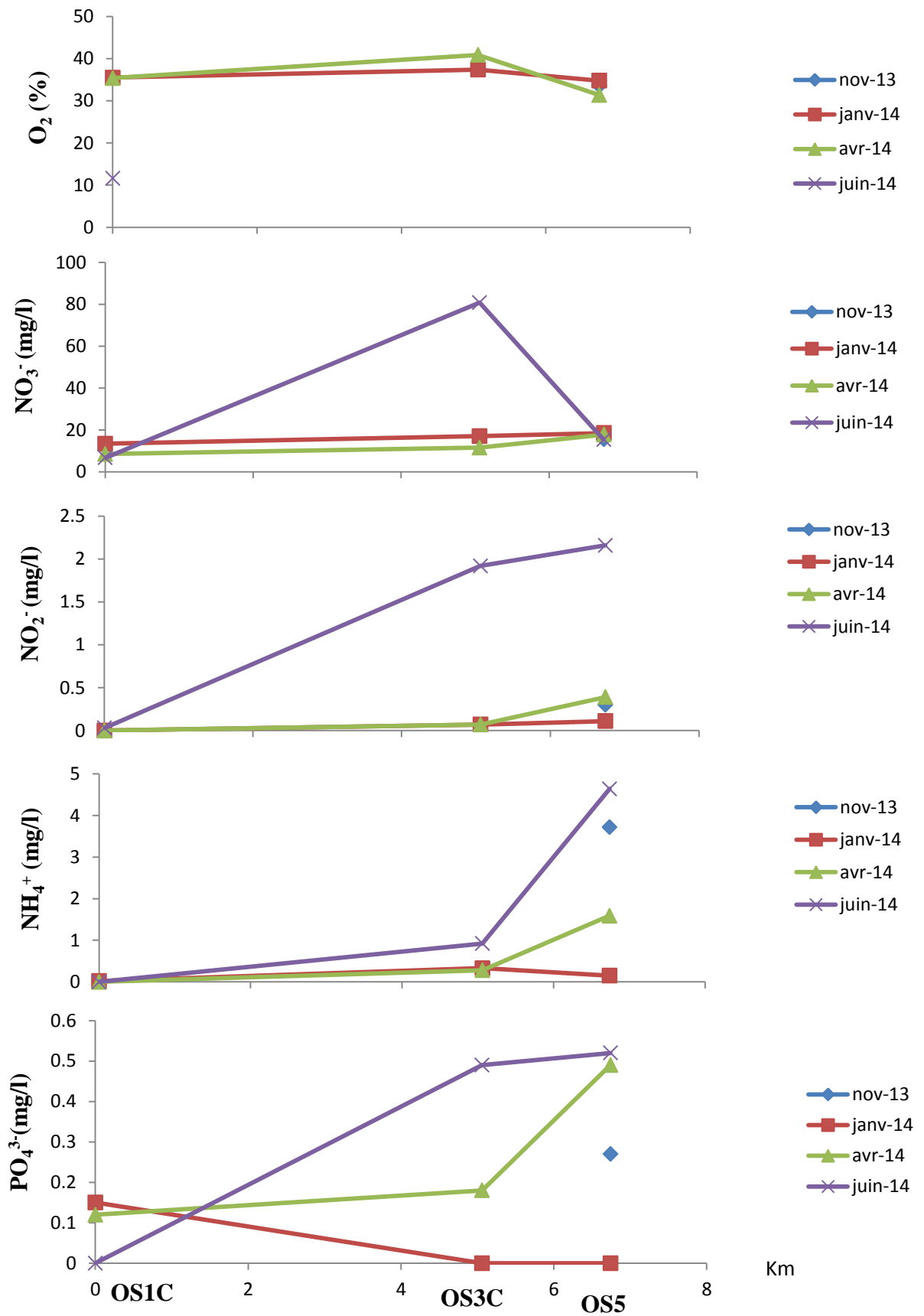


Figure 21: Variations spatio-temporelles d'O₂, des composés azotés et phosphates de l'oued Saayoud.

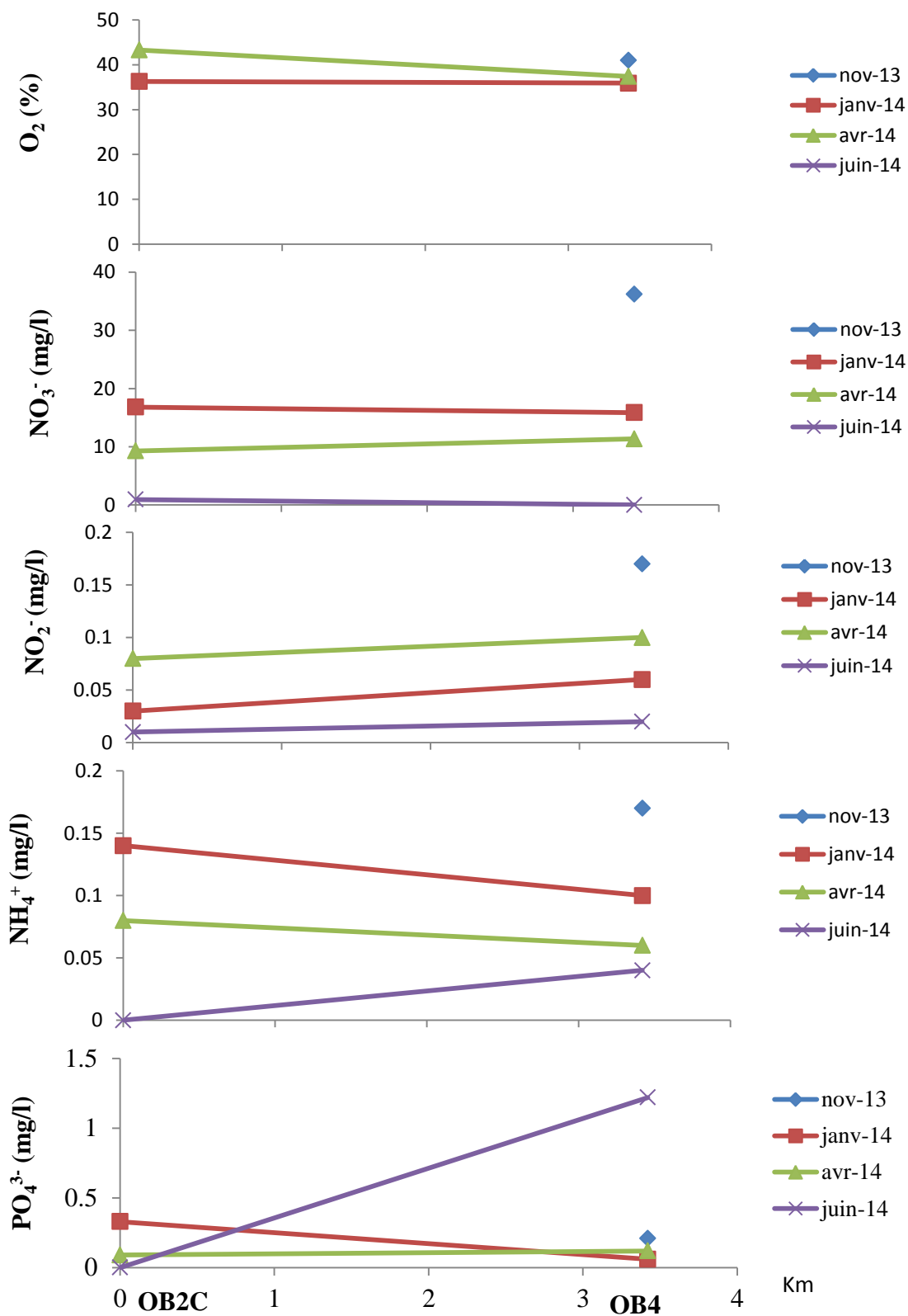


Figure 22: Variations spatio-temporelles d'O₂, des composés azotés et phosphates de l'oued Boukaraa.

B) Nitrates (NO_3^-)

Au niveau d'oued Nil, Les valeurs de nitrate obtenues présentent des variations moins fluctuantes à l'exception dans les stations ON5C et ON7C où un grand pic est enregistré au mois de novembre, qui atteint 36,14 mg/l à la station ON5C. Ces valeurs enregistrées dans toutes les stations ne dépassent pas la norme algérienne (50 mg/l).

La figure des teneurs en nitrates dans les eaux d'oued Boukaraa, montre une légère variation de ces teneurs qui oscillent entre 0 mg/l à la station OB4 au mois de juin et 36,22mg/l à la même station au mois de novembre.

Pour les eaux d'Oued Saayoud, la variation spatio-temporelle est remarquable. La valeur maximale de nitrate au niveau de cet oued est dépasse la norme qui atteint 80,85 mg/l à la station OS3C au mois de juin et la valeur minimale est de 6,69 mg/l à la station OS1C au même mois.

L'augmentation des teneurs en nitrates dans les eaux d'oued Nil et oued Boukaraa pendant le mois de novembre par rapport au mois de juin peut être due au lessivage des fertilisants utilisés dans les sols agricoles situés sur les bords des oueds . Ainsi, les eaux de pluies peuvent contenir des nitrates en provenance des oxydes d'azote et de l'ammoniac présents dans l'atmosphère. Cependant les valeurs faibles relevées pendant le mois de janvier et d'avril peut être s'expliquer par la présence de forte débit et par conséquent sur le degré de l'auto-épuration. Ainsi, on remarque une contamination importante en nitrate dans la station OS3C qui peut être due au lessivage des sols traités par les engrais azotés utilisés en agriculture.

On peut conclure que les teneurs en nitrates enregistrées dans les eaux de surface des trois oueds sont inférieures à la teneur suggérée par la norme algérienne (50 mg/l) sauf dans la station OS3C. Ce qui indique que ces eaux ne sont pas assujetties à un risque de pollution par les nitrates.

C) Nitrite (NO_2^-)

Les teneurs en nitrites montrent des variations importantes s'observant d'une station à l'autre et d'un prélèvement à l'autre (fig. 25). Dans l'oued Nil, la teneur la plus faible est de 0 mg/l relevée au mois d'avril à la station ON2 et au mois de juin à la station ON5C et la plus élevée est de 0,18 mg/l enregistrée au mois de novembre dans la station ON7C.

Pour les eaux d'oued Boukaraa, La station OB4 au mois de novembre présente la plus grande teneur en nitrites et la station OB2C présente la plus faible teneur au mois de juin. Ces teneurs ne dépassent pas 0,17mg/l.

Dans les eaux d'Oued Saayoud, la teneur la plus élevée en nitrites est de 2,16 mg/l enregistrée à la station OS5 au mois de juin et la plus faible est de 0 mg/l enregistrée aux mois de janvier et d'avril à la station OS1C.

Les teneurs les plus élevées sont observées au niveau des stations OS3C, OS5 qui dépassent la norme 0,1 mg/l, Elles sont soit à l'effet de l'oxydation de la forme ammonium ou à l'effet de réduction des nitrates.

D) Ammonium (NH_4^+)

Au niveau d'oued Nil, la figure montre que les teneurs varient entre 0 mg/l dans la station ON2 au mois de juin et la station ON5C au mois de janvier et juin et 7,9 mg/l à la station ON7C au mois de juin.

Pour les eaux d'oued Boukaraa, la station OB4 qui montre une teneur maximale de 0,17 mg/l au mois de novembre, les concentrations des NH_4^+ observées dans toutes les stations de cet oued pendant les quatre saisons sont nettement faibles qui ne dépassent pas la norme algérienne (4 mg/l).

Pour les eaux d'Oued Saayoud, Les valeurs d'ammonium trouvées dans les stations OS1C et OS3C sont nettement très inférieures à celles observé dans la station OS5. Ces valeurs fluctuent entres 0 mg/l dans la station OS1C au mois d'avril et juin et 4,64 mg/l dans la station OS5 au mois de juin.

Les résultats de notre étude confirment que les eaux d'oued Boukaraa et la plupart des stations d'oued Nil (ON2, ON4, ON5C) et d'oued Saayoud (OS1C, OS3C) ne contiennent pas une contamination par l'ammonium. A l'exception dans les stations situées en aval (ON6C, ON7C, OS5), les teneurs enregistrées aux mois de novembre et juin dépassent la norme algérienne fixée à 4 mg /l.

Les valeurs d'ammonium trouvées en période humide sont nettement très inférieures à celles de la période sèche notamment en aval de la zone d'étude, traduisant ainsi l'effet de la dilution et témoigne d'une bonne oxygénation des eaux entraînant ainsi l'oxydation de l'azote en période hivernale. Les teneurs relativement élevées enregistrées de la station ON7C et OS5 en période sèche (juin) traduisent l'effet des rejets urbains.

E) Phosphates (PO_4^-)

L'analyse des résultats montre que la concentration en phosphates dans les eaux de surface d'oued Nil varie entre 0 mg/l à la station ON2 et à la station ON5C au mois de juin et 6,3mg/l à la station ON6C au même mois. Au niveau des eaux d'oued Boukaraa, la variation spatio-temporelle

de phosphate est faible. La valeur la plus élevée est de 1,2 mg/l dans la station OB4 au mois de juin et le minimal est de 0 mg/l au même mois à la station OB2C.

Pour les eaux d'oued Saayoud, les valeurs de phosphates fluctuent entre 0 mg/l aux stations OS3C et OS5 au mois de janvier et OS1C au mois de juin et 0,52 mg/l dans la station OS5 au mois de juin.

Cependant au niveau du secteur aval (ON7C, ON6C, OB4, OS3C, OS5), les phosphates suivent une variation spatiale marquée relativement par une tendance à l'augmentation en période estivale (juin). Cette disponibilité des phosphates peut être expliquée par les rejets urbains des agglomérations avoisinantes. Ces concentrations restent inférieures à la norme algérienne fixée à 10 mg/l.

4.2.2.4. Eléments traces métalliques dans les eaux de surface

Les sources naturelles des ETM sont liées à l'érosion géologique donnent en général le bruit de fond naturel qui est perturbé par les apports liés aux activités anthropiques : effluents domestiques, effluents industriels, épandage agricoles, et apports atmosphériques (Mehennaoui *et al.* 2009).

Pour les eaux de surface, nous avons fait l'analyse de cinq éléments traces métalliques (cadmium (Cd), plomb (Pb), cuivre (Cu), chrome (Cr) et le zinc (Zn)). Les résultats obtenus sont présentés dans les trois figures (23,24,25) .

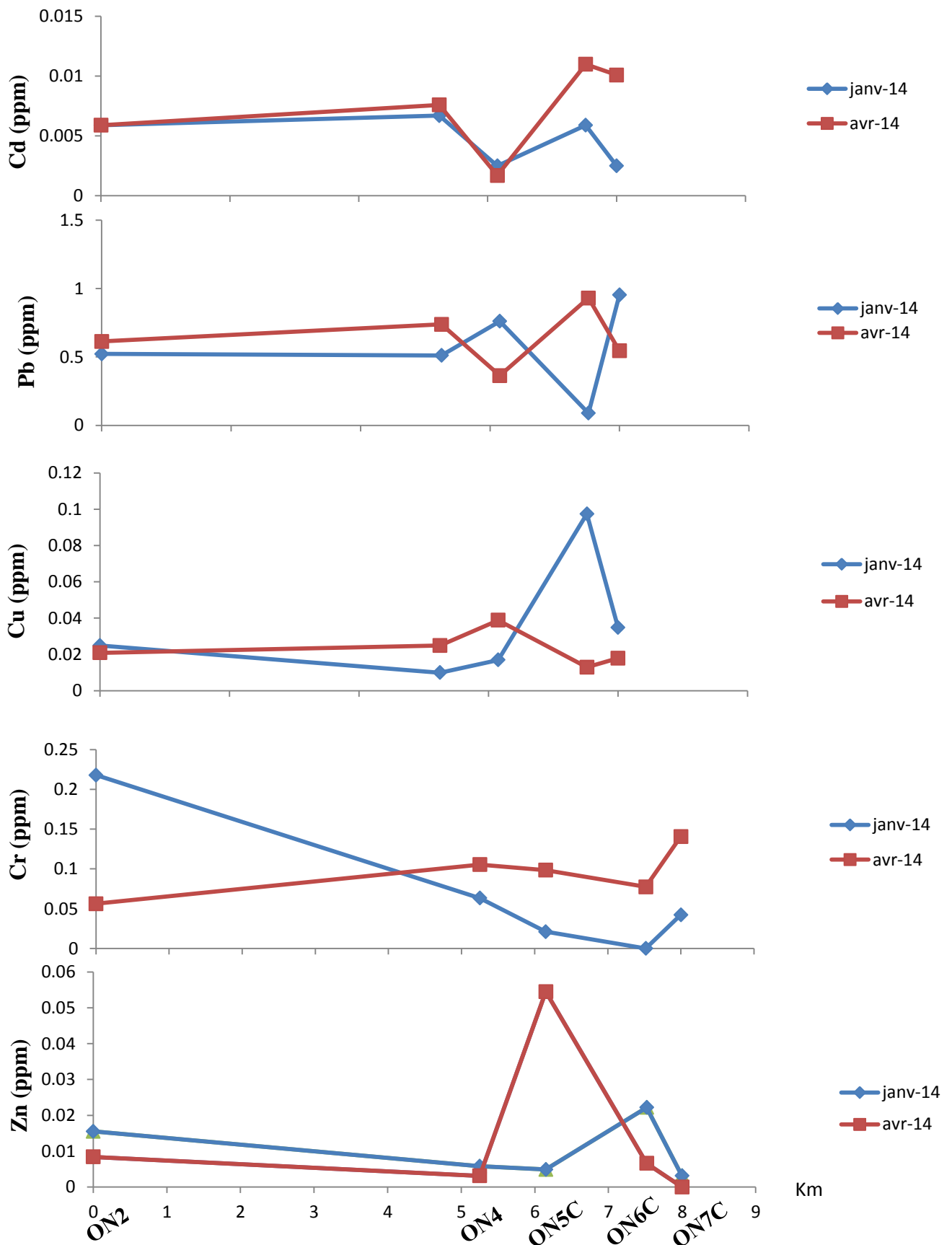


Figure 23: Variations spatio-temporelles des teneurs en ETM (Cd, Pb, Cu, Cr, Zn) des eaux de surface de l'oued Nil.

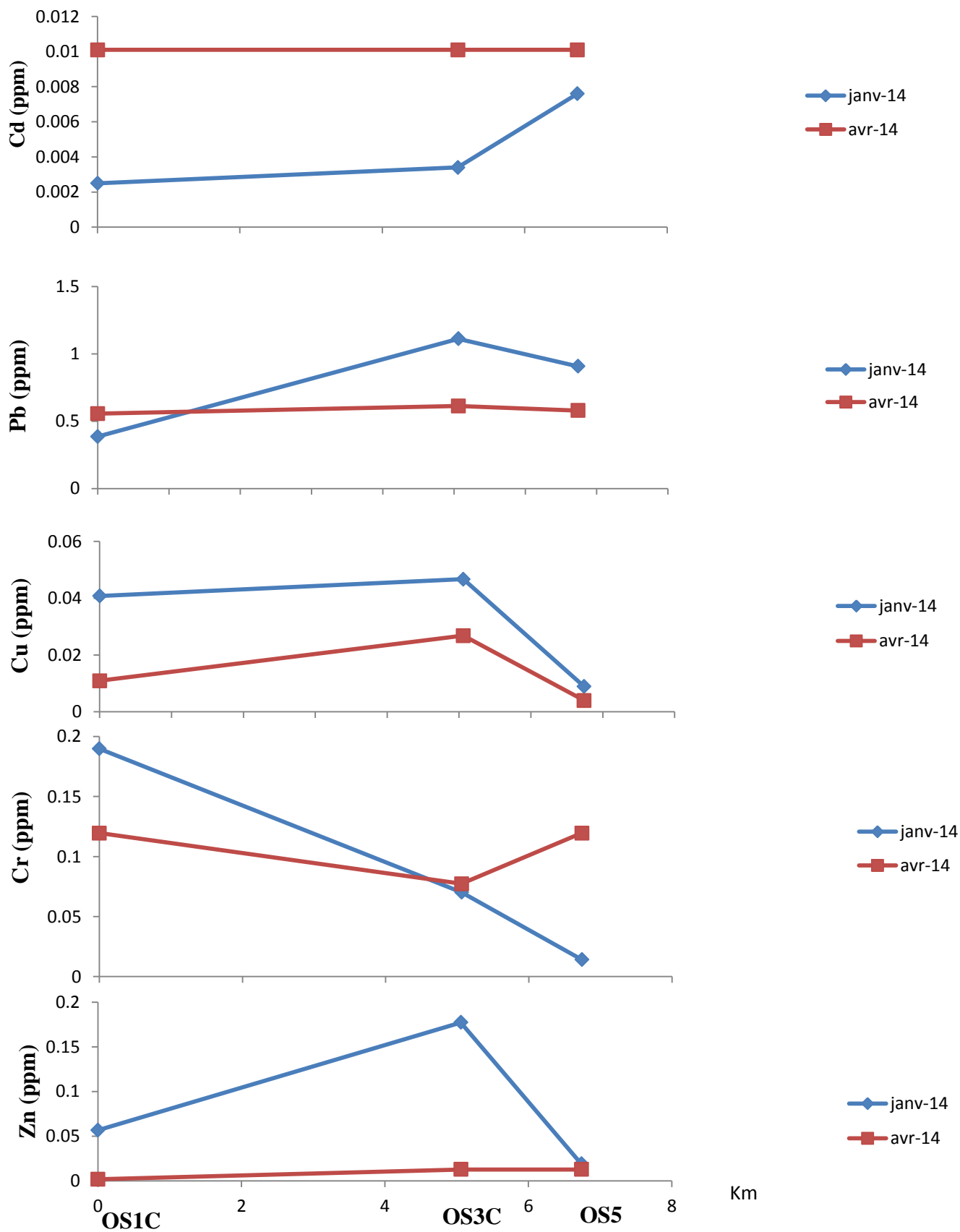


Figure 24 : Variations spatio-temporelles des teneurs en ETM (Cd, Pb, Cu, Cr, Zn) des eaux de surface de l'oued Saayoud

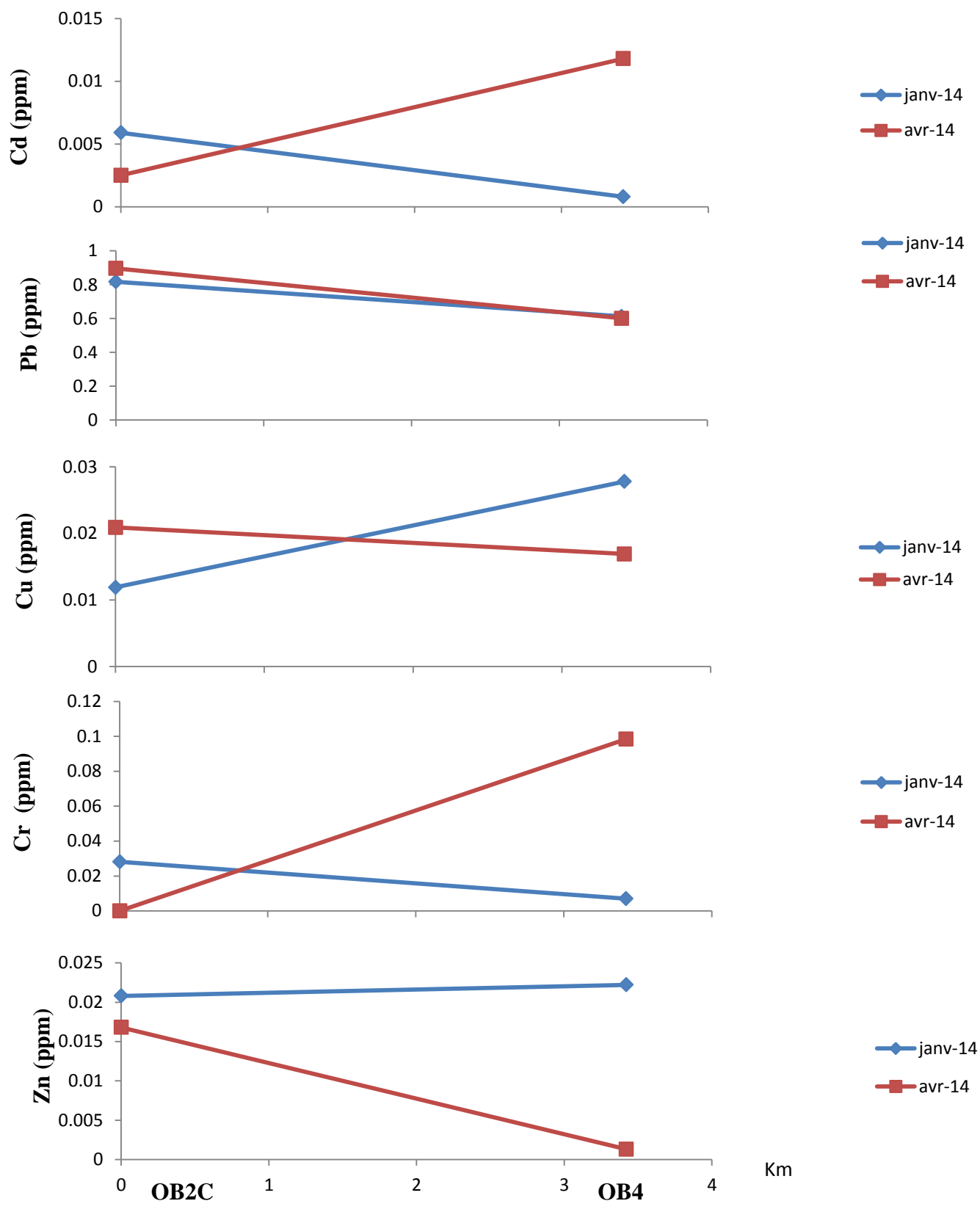


Figure 25 : Variations spatio-temporelles des teneurs en ETM (Cd, Pb, Cu, Cr, Zn) des eaux de surface de l'oued Boukaraa

A) Cadmium

Les teneurs obtenues en cadmium oscillent entre 0.001 et 0.01 ppm au niveau d'oued Nil et entre 0,002 et 0,01 ppm au niveau d'oued Saayoud et dans les eaux d'oued Boukaraa, la teneur maximale de Cd est de 0,01 ppm à la station OB4 au mois d'avril.

Les fortes teneurs en cadmium ont été obtenues au niveau des stations OB4, OS1C, OS3C, OS5, ON6C, ON7C qui dépassent la norme algérienne (0,005 ppm). La source de contamination par cet élément pourrait être anthropique (rejets) ainsi que le lessivage du sol fertilisé peut aussi constituer une source d'apport de cadmium.

B) Plomb

La contamination des eaux de surface par le plomb est généralisée pour toutes les stations étudiées, Les résultats d'analyse de plomb montrent que les teneurs oscillent entre 0,08 ppm et 0,95 ppm au niveau d'oued Nil et entre 0,38 ppm et 1,1 ppm dans les eaux d'oued Saayoud et entre 0,6 ppm et 0,8 ppm au niveau d'oued Boukaraa.

Toutes ces concentrations dépassent la norme algérienne (0,05 ppm), pouvant signifier que la source de pollution par le Plomb peut être liée directement au déversement des eaux usées urbaines (ON4). En plus de ces rejets d'eaux usées, nous soulignons que la décharge de déchets solides non contrôlée se situe au bord de l'oued Nil (ON6C). Ainsi le lessivage des terrains cultivés situés à proximité d'oued Nil et ses affluents peut également contribuer à la contamination par le Pb.

C) Cuivre

Les valeurs trouvées en cuivre sont dépassées la norme algérienne (0,002 ppm) au niveau de toutes les stations. Dans les eaux d'oued Nil, la forte teneur en cuivre (0,09 ppm) a été obtenue au niveau de la station (ON6C) au mois de janvier. Pour les eaux d'oued Saayoud, les teneurs de Cu oscillent entre 0,004 ppm à la station OS5 au mois d'avril et 0,04 ppm aux stations OS1C et OS3C au mois de janvier. Dans les eaux d'oued Boukaraa, les valeurs varient entre 0,01 ppm et 0,02 ppm.

L'important apport en cuivre est le résultat du déversement des eaux usées dans l'oued Nil qui reçoit des rejets domestiques à la station ON4, en plus des déchets solides incontrôlés au bord de l'oued ON6C. Donc la source de contamination par cet élément pourrait être anthropique. On note aussi que les eaux des oueds reçoivent des eaux d'irrigation des terrains agricoles riches en fertilisants. Les concentrations du Cu dans les eaux d'Oued Nil restent généralement fortes par rapport à celles trouvées dans les eaux d'Oued Saayoud et oued Boukaraa.

D) Chrome

Les concentrations du Cr relevées au niveau des eaux de l'oued Nil et ses affluents sont comprises entre 0 et 0,2 ppm. On note que ces concentrations non négligeables au niveau de toutes les stations qui restent inférieurs à la norme algérienne (0,1 ppm) donc une absence de contamination par le Cr sauf dans les stations (OS1C, ON2) où la concentration est atteinte 0,18 ppm et 0,2 ppm respectivement. On rappelle que ces stations, se situent dans une zone agricole. Elles reçoivent directement des eaux d'irrigation des terrains agricoles avoisinants riches en fertilisants. En effet, les fertilisants utilisés peuvent être responsables de cet apport.

E) Zinc

Les teneurs en ce métal oscillent entre 0 et 0,1 ppm. Les résultats ont montré que les faibles teneurs en zinc ont été enregistrées, pour toutes les stations, au niveau du bassin versant d'oued Nil. Les teneurs en ce métal sont inférieurs à la norme algérienne (5ppm). De ce fait, la contamination par le Zn est absente.

D'une manière générale, Les résultats du dosage des éléments traces métalliques (Cd, Cr, Cu, Pb et Zn) montrent une présence d'une contamination par Cd, Pb, Cu dans toutes les stations et par le Cr au niveau de deux stations (OS1C et ON2) dont les teneurs sont nettement supérieures à les normes algérienne traduisent un enrichissement lié aux activités anthropiques contrairement les teneurs en Zn, très faibles, sont proches du bruit de fond naturel (0,05 ppm selon Mehennaoui et al. 2009). Les concentrations en Zn sont non détectables pour tous les échantillons, prélevés dans toutes les stations pendant le mois de janvier et d'avril.

4.2.2. Eaux Souterraines

4.2.2.1. Les paramètres physico-chimiques

A) La Température (T°)

Les relevés thermiques effectués au niveau des captages d'eau (forages et puits) étudiés ont montré une faible variation thermique stationnaire et saisonnière : 18,8°C dans le forage FN9 en janvier et 22,1°C dans FS1 en avril. La température des eaux souterraines dans les puits fluctuent d'une station à l'autre et d'une saison à une autre. La température la plus basse 14°C a été enregistrée dans le puits PB4 en janvier. Tandis que la température la plus élevée 21,3°C a été enregistrée dans le puits PS1 en novembre. Elle ne dépasse pas les normes 25°C.

Les variations thermiques dans les eaux souterraines, sont très atténuées, le sol ne transmettant pas les variations saisonnières de température auxquelles il est soumis à la surface. Ainsi la température de l'eau des puits et des forages étudiés est relativement stable, elle dépend principalement de la situation géographique, du climat général, de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol et de la nature géologique des terrains.

B) pH

La figure 26, montre une faible variation stationnaire et saisonnière entre les valeurs du pH des puits et des forages. Le pH des eaux souterraines de la plaine d'oued Nil varie entre 6,71 et 8.15. L'ensemble de ces valeurs sont dans les normes ($6,5 \leq$ et ≤ 9), selon les normes Algériennes.

La stabilité de la neutralité d'eau des puits et des forages pourrait résulter d'un équilibre entre les fortes teneurs en dioxyde de carbone et les bicarbonates de calcium dissous. Nous pouvons dire que toutes les eaux souterraines présentent une bonne aptitude à la biologie et peuvent être utilisées pour la production d'eau potable vis à vis de ce paramètre.

C) Oxygène dissous (O₂)

La figure 26 montre que les taux de saturation en oxygène dissous sont très variables et irrégulières dans l'espace et dans le temps et qui reste inférieur à la norme algérienne (>70%). Le pourcentage de saturation est de 33% (maximum) à la station FN9 au mois de novembre, de 5,9 % (minimum) à la même station au mois de janvier, cette concentration peut être s'expliqué par la présence des formations géologiques imperméable (argile) qui couvre ces eaux et empêche son contact avec l'air. Cela produit des conditions réductrices. En conséquence, un moindre pourcentage de saturation a été remarqué.

Le taux de la saturation en oxygène est le plus souvent varient entre 15,3% dans le puits PB4 au mois d'avril et 26,6% dans le puits PS1 au mois de novembre. Au niveau de PN3 la faible teneur en oxygène est de 8,2% enregistrée au mois de juin. Un tel résultat est dû probablement aux fortes températures enregistrées durant cette saison.

D) Conductivité électrique (CE)

Les eaux souterraines analysées présentent des valeurs de conductivité généralement faibles à moyennes, ne dépassant pas la valeur guide fixée par les normes Algériennes ($2800 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Elles sont, généralement, comprises entre $280 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dans le puits PS1 au mois de juin, et $722 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dans le puits PB4 au mois d'avril, et entre $248 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dans le forage FN9 au mois de juin, et $531 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dans le forage FS1 au mois de janvier.

Les eaux souterraines de la plaine d'oued Nil sont faiblement chargées en sels dissous. La faible minéralisation de l'eau de ces eaux pourrait être due soit à l'absence d'une formation géologique saline locale limitée à l'endroit dans lequel les puits et les forages sont creusés à l'absence des apports d'eau contaminée provenant des activités humaines (agriculture, développement urbain, activités industrielles)

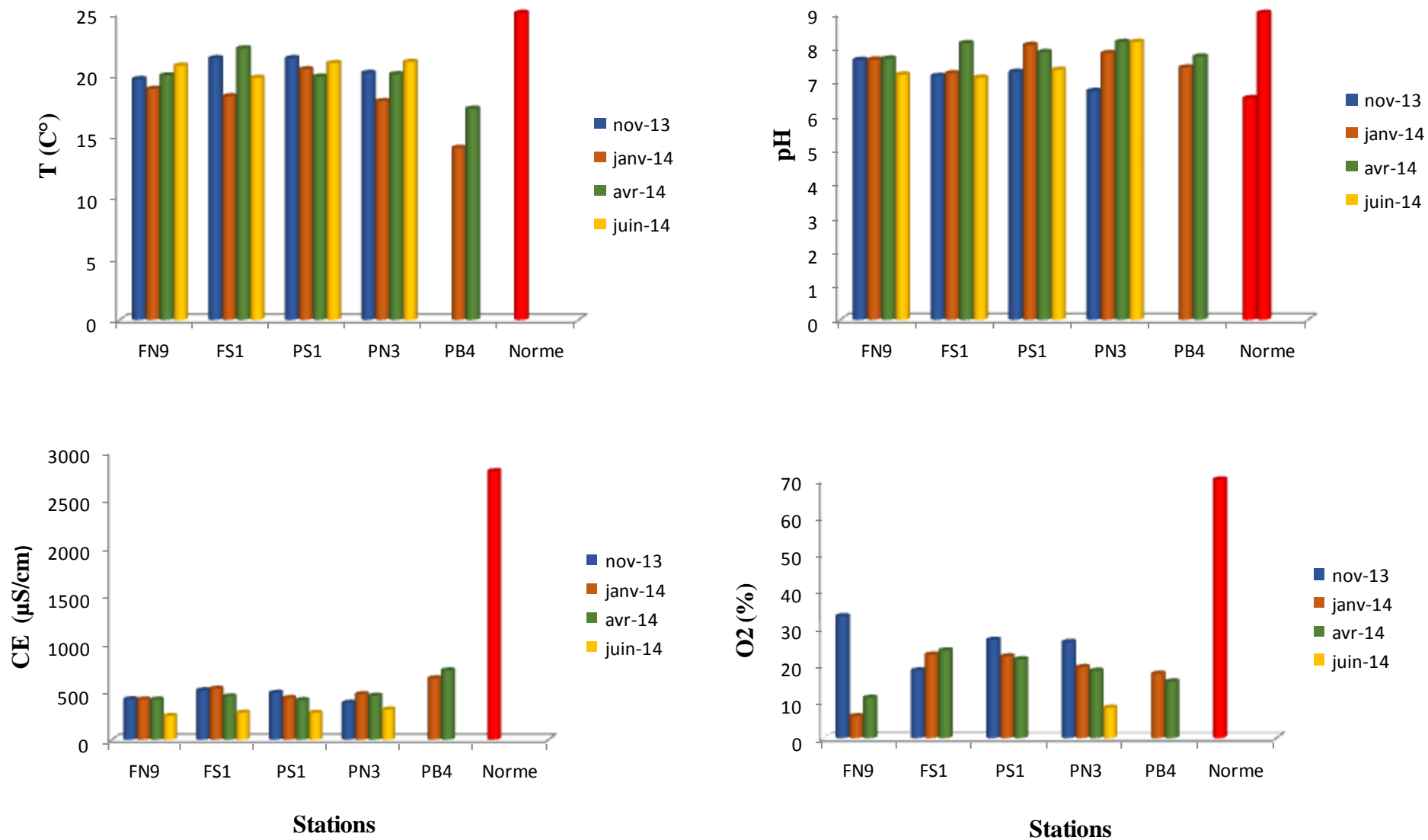


Figure 26 : Variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine alluviale d’oued Nil

4.2.2.2. Les éléments majeurs

A) Calcium (Ca^{2+})

La figure 27 montre que la teneur du calcium au niveau de la plupart des stations est moins variable au cours du temps. La plupart des eaux souterraines de la plaine présentent des concentrations inférieures à la norme de potabilité des eaux (75-200 mg/l), sauf au niveau de puits PB4 où la concentration du Ca^{2+} est de 72,14 mg/l au mois de janvier et 84,97 mg/l au mois d'avril. Cette faible concentration des ions Ca^{2+} des eaux souterraines de la plaine indique que ces eaux sont moins influencées par la dissolution des formations carbonatées et gypseuses.

B) Magnésium (Mg^{2+})

Les teneurs en Mg^{2+} sont variables d'une station à une autre et presque régulières dans le temps. Elles sont, dans tous les cas, inférieures à la norme (150 mg/l). Pour les forages, la teneur la plus élevée est de 50,54 mg/l au moins de novembre s'observe à la station PS1 et la teneur minimale est de 23,33 mg/l à la station FN9 enregistrée au mois de janvier. Les teneurs de Mg^{2+} dans l'ensemble des puits varient entre 28,18 mg/l à la station PN3 au mois de novembre et juin et 77,76 mg/l à la station PB4 au mois d'avril. Cette faible concentration peut être due à la nature géologique des terrains traversés ou au phénomène de dilution causé par l'effet des infiltrations d'eaux.

C) Dureté totale (TH)

La figure 27 montre que les valeurs de la dureté totale sont généralement faibles et ne dépassent pas la norme (50°F). La dureté totale des eaux souterraines de la plaine est moins variable dans l'espace et dans le temps. Pour les forages les teneurs oscillent entre 6°F et 20°F. Pour les puits, la valeur maximale est de 32,4°F à la station PB4 au mois d'avril et la valeur minimale est de 12,8°F à la station PN3 au moins de novembre. Cette faible concentration de la dureté totale des eaux souterraines de la plaine est liée généralement à la nature des roches sédimentaires traversées et elle est essentiellement due à la faible quantité du calcium et du magnésium et des constituants solubles des roches carbonatées en particulier des calcaires.

D) Bicarbonate (HCO_3^-)

Les résultats des mesures que nous avons effectuées montrent que les valeurs de bicarbonate au niveau des forages sont sensiblement identiques. La valeur maximale est de 241,56 mg/l à la station FS1 au mois de novembre et la valeur minimale est de 190,32 mg/l à la station FN9 au mois de janvier. Pour les puits, la valeur la plus élevée de bicarbonate est de 292,8 mg/l à la station PB4 enregistrée au mois d'avril et la valeur la plus faible est de 106 mg/l à la station PN3 au mois de janvier. La concentration du bicarbonate au niveau de la plupart des stations est dépassée la norme (200 mg/l) surtout dans le puits PB4. La présence des bicarbonates dans les eaux souterraines, est due principalement à la dissolution des formations carbonatées (calcaires, cipolin et les marnes).

E) Sulfates (SO_4^{-2})

Pour les eaux souterraines de la plaine, les teneurs en SO_4^{-2} sont largement faibles et assez similaires, allant de 2 mg/l dans le puits PS1 au mois de janvier à 16 mg/l dans les eaux du forage FN9 au mois d'avril. Ces teneurs sont très inférieures à la norme (200 – 400 mg/l).

Selon les normes Algériennes de la qualité des eaux destinées à la production d'eau potable qui exigent une valeur limite de 400 mg/l de sulfates, la majorité des puits et des forages prospectés répondent à cette valeur. Cette faible concentration indique une faible dissolution de formations gypseuses au niveau de la plaine.

F) Chlorure (Cl^-)

La figure 27 montre que les teneurs du chlorure présentent des valeurs inférieures aux normes de potabilité qui varient entre 200 et 500 mg/l. Ces teneurs de chlorures sont situées entre 100 mg/l dans le puits PN3 au mois d'avril et 46 mg/l dans le puits PS1 au mois de janvier. Au niveau des forages, la teneur maximale est de 67,45 mg/l dans le forage FS1 au mois de novembre et la teneur minimale est de 39,05 mg/l au mois de novembre. Selon les normes algériennes des eaux destinées à la production de l'eau potable, qui exigent un maximum de 500 mg/l, les eaux souterraines de la plaine sont inférieures à la norme dans lequel la salinité de l'eau ne dépasse pas la valeur impérative. Cette faible concentration pourrait être attribuée à la nature géologique des terrains traversés.

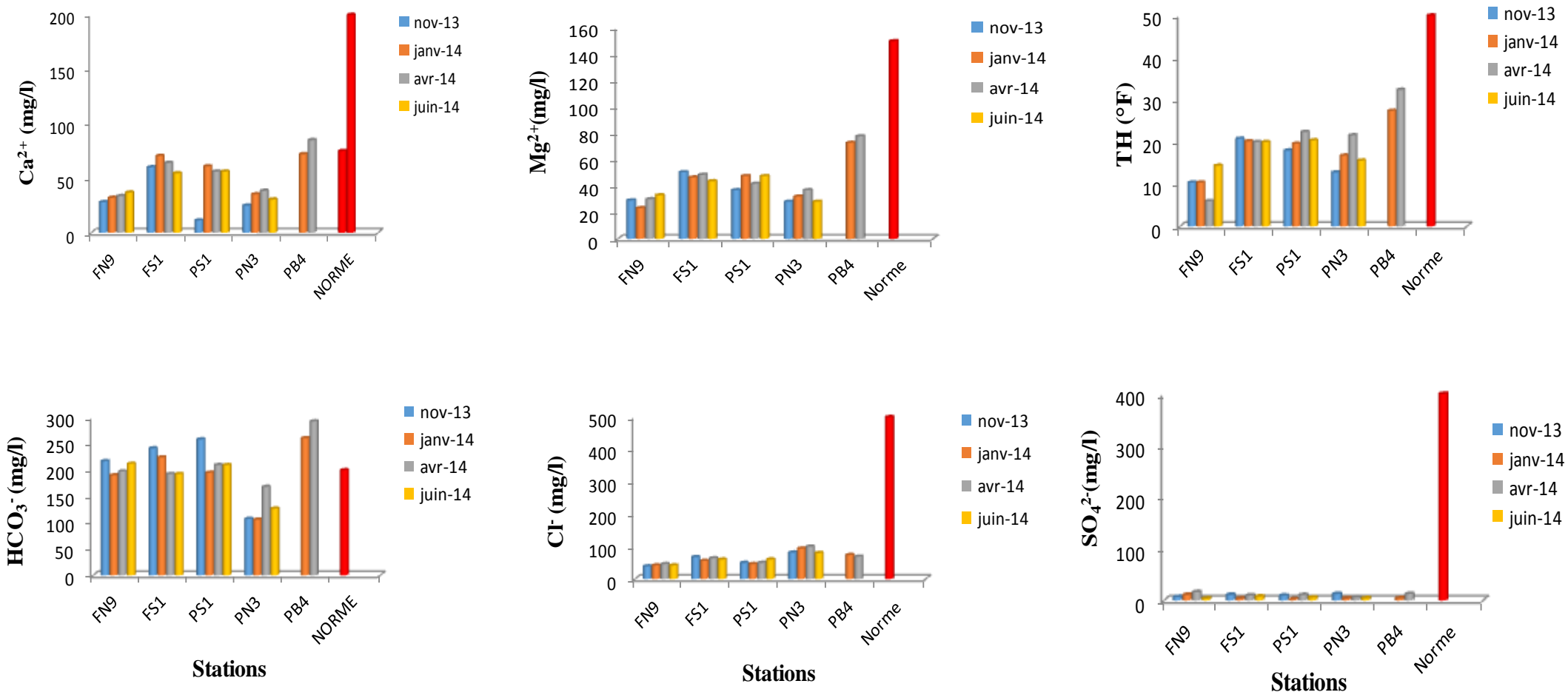


Figure 27: Variations spatio-temporelles des éléments majeurs des eaux souterraines de la plaine alluviale d'Oued Nil

4.2.2.3. Les composés azotés et le phosphate

A) Nitrates (NO_3^-)

L'histogramme des teneurs en nitrates montre une légère variation de ces teneurs dans le temps et dans l'espace. Pour les forages, la teneur minimale est de 0 mg/l dans la station FN9 au mois de janvier et juin et dans la station FS1 au mois de juin, la teneur maximale est de 37,5 mg/l dans le forage FS1 au mois de janvier. De ce fait, les eaux des forages étudiés ne sont pas assujetties à un risque de pollution par les nitrates.

Pour les puits, les teneurs oscillent entre 0 mg/l dans le puits PB4 au mois de janvier et 89,75 mg/l à la station PN3 au mois de janvier. Cette concentration en nitrate des eaux souterraines de la plaine restent inférieures à la valeur admissible par les normes algérienne (50 mg/l) sauf le puits PN3, dont la teneur en nitrate des eaux est supérieure à la norme avec 89,75mg/l. Cette importante contamination en nitrate PN3 peut être expliquée par l'utilisation excessive de fertilisants dans l'agriculture.

B) Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites peuvent être rencontrés dans les eaux, mais généralement à des doses faibles. Au niveau de forage FS1, les valeurs des nitrites sont de 0 mg/l aux 4 saisons et ne dépassent pas 0,03 mg/l dans le forage FN9. Pour les eaux des puits, la valeur enregistrée des nitrates présente une faible variation des teneurs qui oscillent entre 0 mg/l (la majorité des stations) et 0,02 mg/l. On peut dire que les puits et les forages de la plaine présentent des eaux ayant des teneurs nulles à très faibles en nitrites qui ne dépassent pas la valeur maximale admissible par les normes algériennes (0,1 mg/l).

C) Ammonium (NH_4^+)

L'ammonium est présent dans les puits avec des teneurs qui varient de 0 mg/l à la station PS1 au mois d'avril et juin et à la station PB4 au mois d'avril à 0,05 mg/l dans le puits PN3 au mois de juin. Au niveau de forage FS1, la teneur maximale est de 0,1 mg/l au mois de janvier et la teneur minimale est de 0 mg/l aux mois d'avril et juin. Nous remarquons que les concentrations de l'ammonium dans ces stations (PS1, PN3, PB4 et FS1) ne dépassent pas la norme algérienne (0,5 mg/l).

Par contre la station FN9 présente une contamination importante en ammonium pendant les 4 saisons, la teneur maximale est de 4,76 mg/l enregistrée au mois de juin et le minimal est

de 2,64 mg/l au mois de novembre. La présence de l'ammonium dans le forage FN9 est liée aux conditions réductrice qui caractérisant se forage, se qui produit la réduction des formes de nitrate, vers les nitrites puis vers la forme d'ammonium.

D) Phosphates (PO_4^{3-})

Selon la figure 28, nous remarquons que les concentrations des phosphates fluctuent de manière relativement importante d'une station à l'autre et d'une saison à une autre. Pour les forages, dans la station FS1, les teneurs des phosphates sont faibles qui oscillent entre 0 mg/l au mois de janvier et juin à 0,09 mg/l au mois d'avril. Par contre dans la station FN9, la teneur du phosphate dépasse la norme (0,5 mg/l) au mois de juin qui atteint 1,53 mg/l.

Les deux puits PN3 et PB4 présentent des teneurs très faibles (et non détectables) ou absent en phosphates, comprises entre 0 mg/l et 0,12 mg/l. Ces valeurs sont négligeables par comparaison avec celles observées dans le puits PS1 dans lequel, la teneur maximale est de 2,66 mg/l enregistrée au mois de janvier et le minimal est de 0,15 mg/l au mois d'avril. Cependant, nous signalons la présence d'une contamination par les phosphates au niveau de puits PS1 et le forage FN9. Une telle situation peut être attribuée au lessivage des terres cultivées enrichies en engrais phosphatés ou traités par certains pesticides.

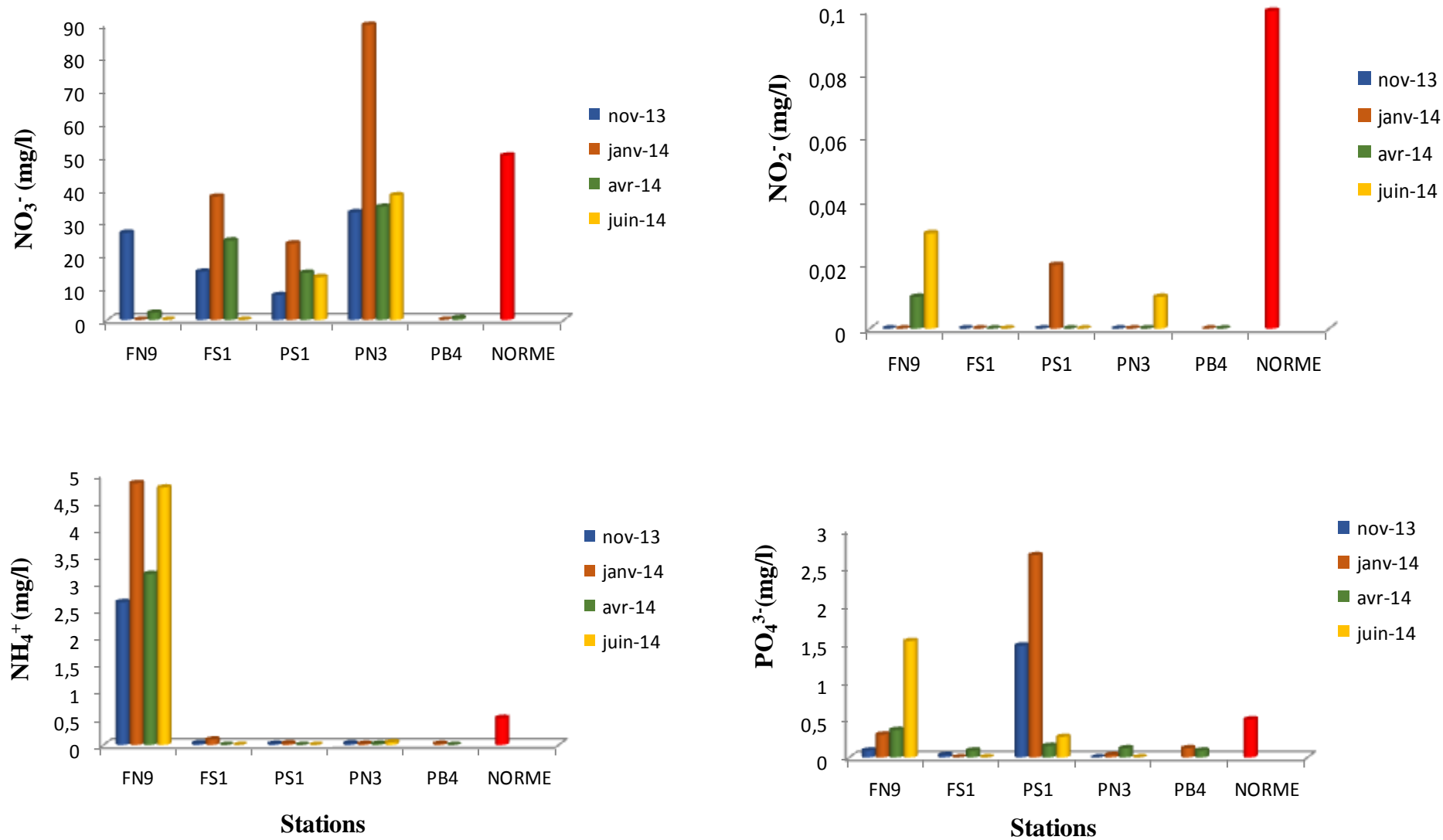


Figure 28: Variations spatio-temporelles des composés azotés et le phosphate des eaux souterraines de la plaine alluviale d'Oued Nil

4.2.3. Analyses statistiques du compartiment eau

L'analyse statistique a été mise en œuvre grâce au logiciel STATISTICA. Sur une série de 15 stations d'étude, il a été possible de disposer dans l'eau des caractéristiques de la qualité physico-chimique (T° , pH, CE, O_2 , Eh), des teneurs en éléments majeurs cations et anions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , TH) et des teneurs en paramètres de pollution organique (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}) et des teneurs des ETM (Cd, Pb, Cu, Cr, Zn).

Vu qu'on certaines échantillons ne possèdent pas l'analyse en éléments traces métalliques, Nous avons donc réalisé deux analyse en composantes principales :

- La première seulement pour les paramètres physico-chimiques, éléments majeurs et les éléments organiques (eaux souterraines et de surface), axes de projection 1 et 2.
- la deuxième pour tous les éléments chimiques (eaux de surface), axes de projection 1 et 2.
- la troisième pour tous les éléments chimiques (eaux de surface), axes de projection 3 et 4.

4.2.3.1. Analyse statistique 1 (eau de surface et souterraine)

Elle a été effectuée sur 30 individus et 15 variables. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous :

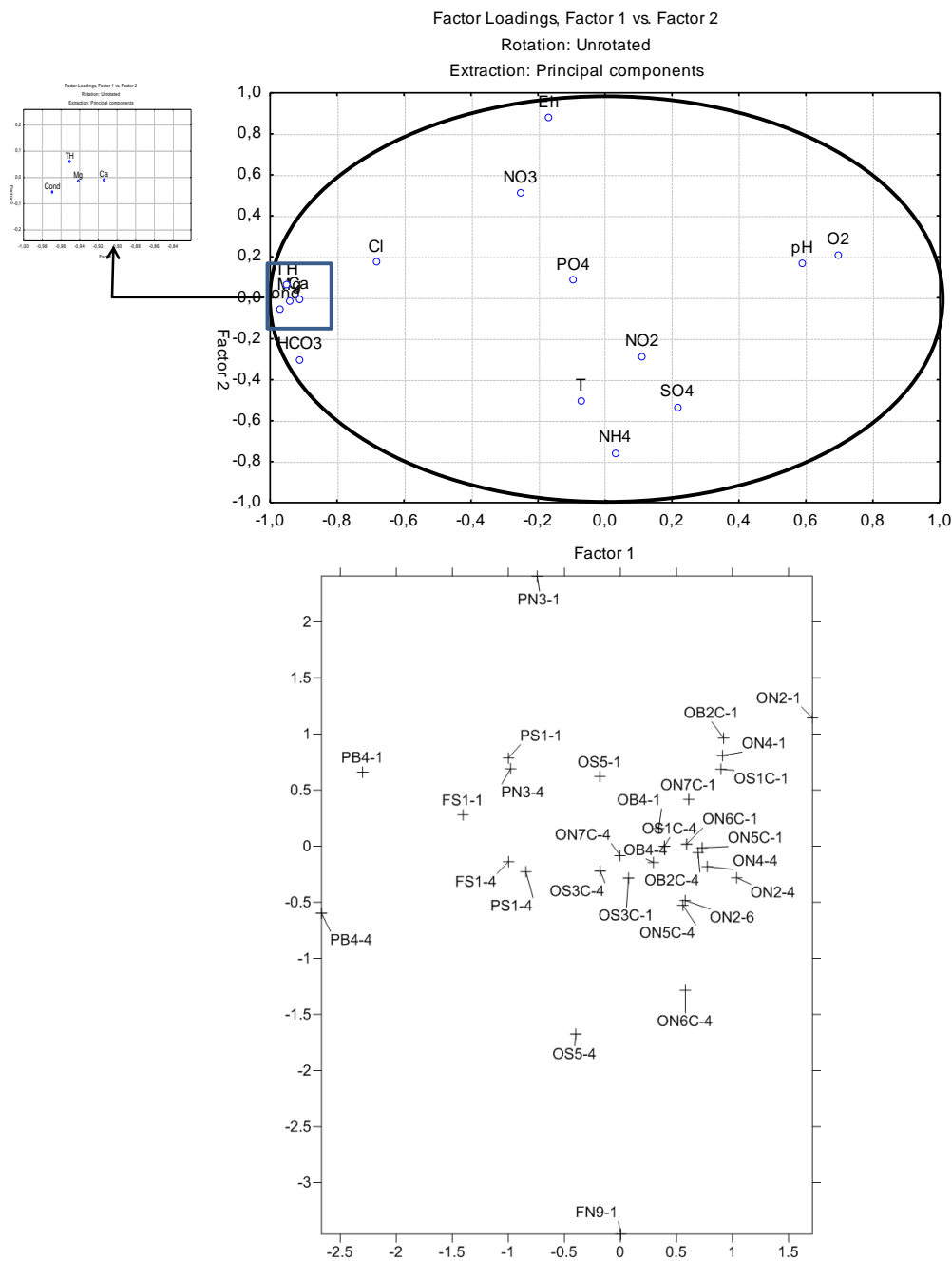
L'axe 1 présente 39% de la variance et l'axe 2 présente 16% de la variance, ce qui implique une variance totale de 55%.

- Le premier axe présente la minéralisation naturel par une relation proportionnelle entre la conductivité, Calcium ; magnésium, bicarbonates et la dureté total et qui sont inversement proportionnelle au pH et l'oxygène.

La projection des individus montre que la minéralisation est présentée essentiellement par les eaux souterraines et principalement par le puits PB4.

- Le deuxième axe présente le phénomène d'oxydo-réduction par une relation inverse entre le milieu réducteur présenté par l'ammonium et le milieu oxydant présenté par Eh et les nitrates.

La projection des individus montre que le milieu réducteur est présenté principalement par le forage FN9 (mois de janvier) et deux stations des eaux de surface (OS5 et ON6C durant le mois d'avril) et le milieu oxydant par le puits PN3 (mois de janvier).



Légende : OS5-1 OS5 : le nom de la station 1 : le mois (janvier)

Figure 29: ACP des caractéristiques physico-chimiques, éléments minéraux majeurs et des paramètres de pollution organique dans l'eau (axes de projection 1 et 2)

4.2.3.2. Analyse statistique 2 (eaux de surface) : Axes de projection 1 et 2

Elle a été effectuée sur 20 individus et 20 variables. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous :

- L'axe 1 présente 36% de la variance et l'axe 2 présente 14% de la variance, impliquant une variance de 50%.

L'axe 1 présente la minéralisation des éléments majeurs et les éléments organiques et qui sont inversement proportionnelle à l'oxygène et redox.

La projection des individus montre que cet axe est présenté par les stations OS3C, ON7C et OB4.

- L'axe 2 présente les éléments traces métalliques et organique présentée par une relation proportionnelle entre Cr, pH et PO₄.

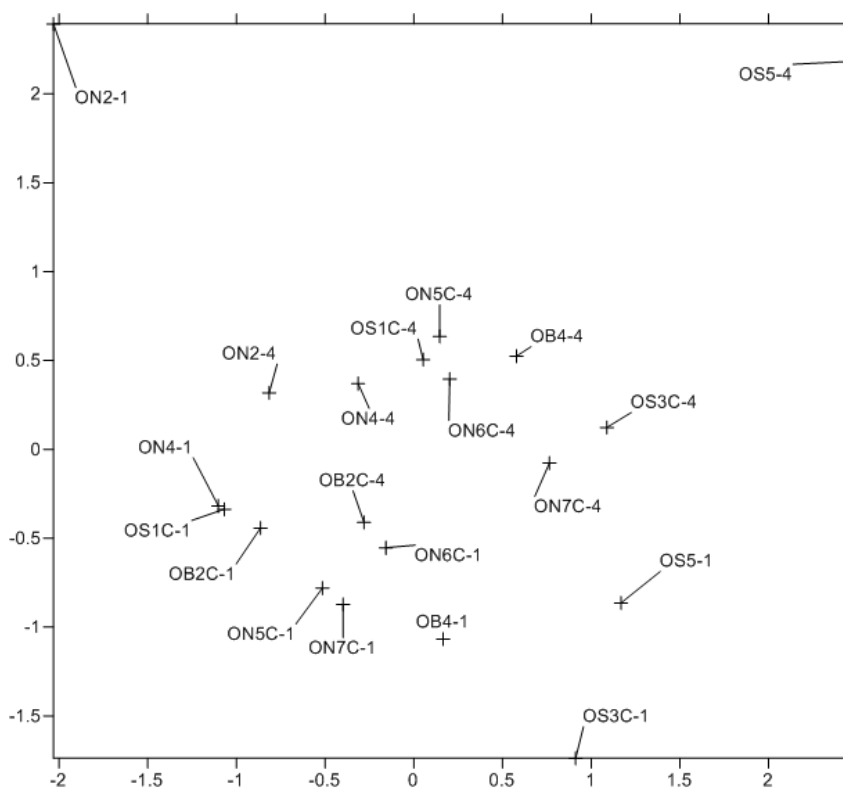
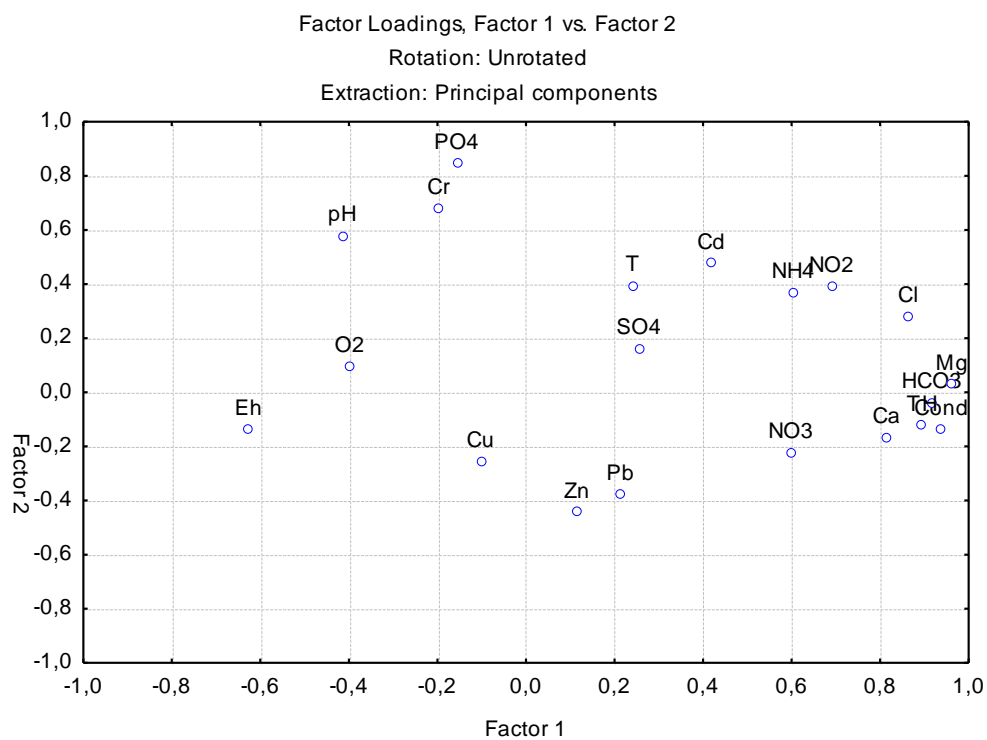
La projection des individus montre que cet axe est présenté principalement par les stations ON2 et OS4.

4.2.3.3. Analyse statistique 3 (eaux de surface) : Axes de projection 3 et 4

Cette projection présente une variance de 18.77% (9.77% pour l'axe 3 et 9% pour l'axe 4).

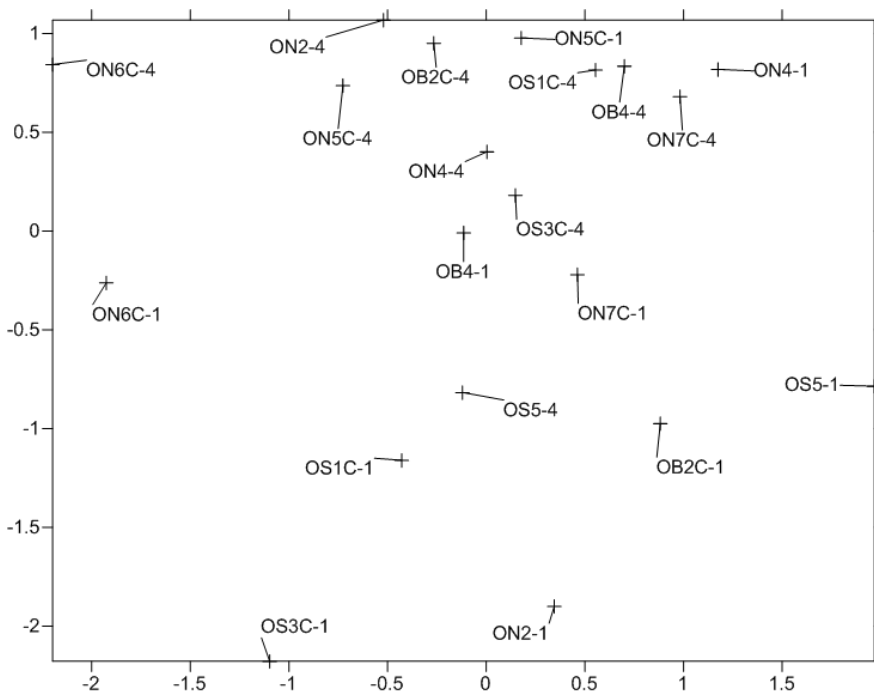
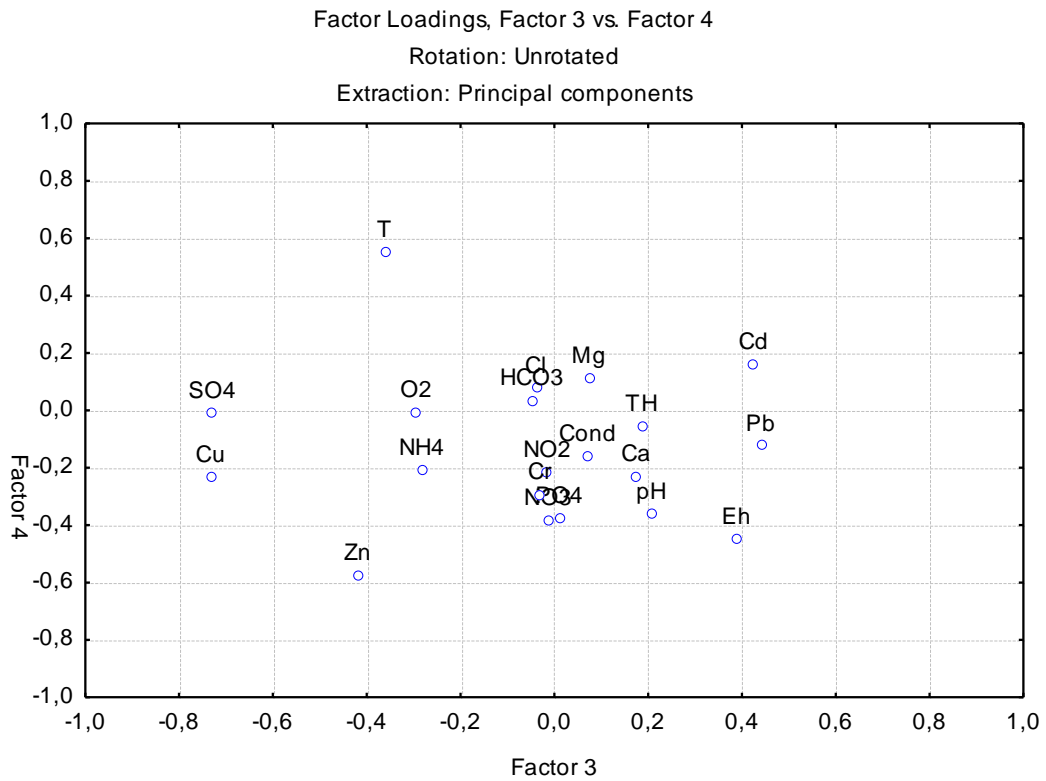
L'axe 3 présente la variation des éléments traces métalliques par deux ensembles inversement proportionnels : l'un présenté par Cd, Pb et Eh et le deuxième présenté par SO₄²⁻ et Cu.

Le premier ensemble est présenté par OS5, ON7C et OB2 et le deuxième ensemble est présenté par ON6C.



Légende : OS5-1 OS5 : le nom de la station 1 : le mois (janvier)

Figure 30: ACP des caractéristiques physico-chimiques, éléments minéraux majeurs et des paramètres de pollution organique et les éléments traces métallique dans l'eau. (axes de projection 1 et 2)



Légende : OS5-1 OS5 : le nom de la station 1 : le mois (janvier)

Figure 31: ACP des caractéristiques physico-chimiques, éléments minéraux majeurs et des paramètres de pollution organique et les éléments traces métallique dans l'eau. (axes de projection 3 et 4)

4.3. Analyse des sédiments

4.3.1. Caractérisations physico-chimiques

Il est admis généralement, que les paramètres physico-chimiques des sédiments sont l'un des principaux facteurs qui jouent un rôle important dans la rétention des métaux lourds par le compartiment sédiment. Ces paramètres gouvernent la distribution des éléments métalliques entre la phase dissoute et les phases solides.

A) pH

Le pH est un paramètre majeur dans les processus d'adsorption/désorption des éléments traces. Il contrôle la complexation des éléments traces ainsi que la solubilisation des oxydes, des minéraux carbonatés et silicatés (N'Guessan., 2008). Les variations spatio-temporelles du pH sont présentées dans la figure 32.

Les résultats des mesures que nous avons effectuées montrent que les pH des sédiments des trois oueds sont sensiblement identiques. Pour la campagne 1 (Juin 2013), le pH des sédiments des différentes stations des oueds oscille entre 7,29 et 8,92 et entre 7,85 et 8,71 pour les sédiments des mêmes oueds pour la campagne 2 (Janvier 2014), pour la 3^{ème} campagne ; la valeur la plus élevée du pH des sédiments de l'oued Nil et ses deux affluents est de 8,42 à la station (ON2) enregistrée au niveau d'Oued Nil et la valeur la plus faible est de 6,8 à la station (ON4) au niveau du même oued.

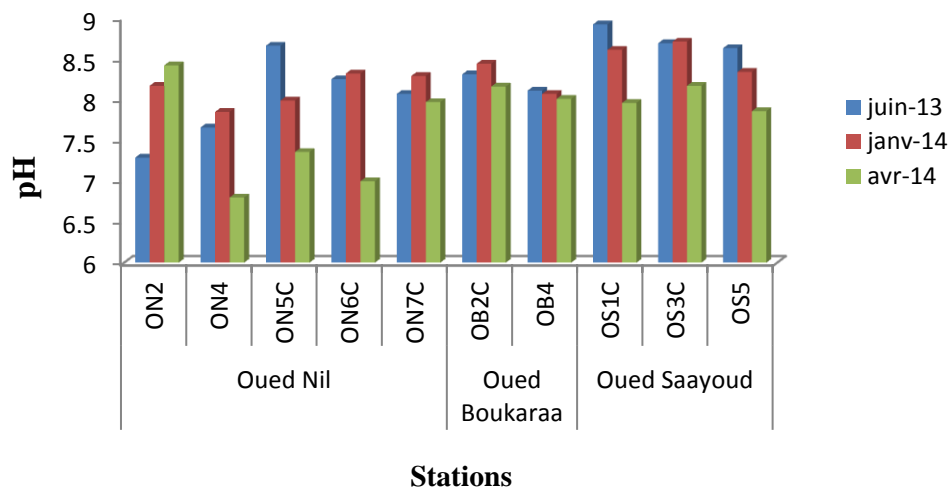


Figure 32: Variations spatio-temporelles du pH des sédiments de l'oued Nil et ses affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.

Les pH des sédiments du bassin versant d'oued Nil sont neutre à légèrement alcalins. Ce caractère neutre à basique reflète bien la nature des sédiments, dominée par les terrains

calcaires et marneux. Les fluctuations du pH ne dépassent pas l'unité au cours des trois campagnes de prélèvement pour la majorité des stations, ce qui rend du pouvoir tampon que présentent ces sédiments.

En effet un pH alcalin peut favoriser la rétention des métaux lourds par la formation de précipités. Les valeurs du pH des sédiments sont en perpétuelle relation avec le pH des eaux. En effet, dans les eaux naturelles non soumises aux rejets industriels et urbains, le pH des sédiments dépend de ces eaux, de la nature géologique du lit et du bassin versant dans la rivière (Brémond et Vuichard, 1973).

La figure ci-dessus montre que les valeurs du pH des sédiments des différentes stations de prélèvements reflètent une neutralité à une faible alcalinité ; dont la provenance est liée sans doute à la nature géologique du lit du bassin versant d'oued Nil.

B) Conductivité électrique (CE)

Les variations spatio-temporelles de la conductivité électrique des sédiments sont présentées dans la figure 33

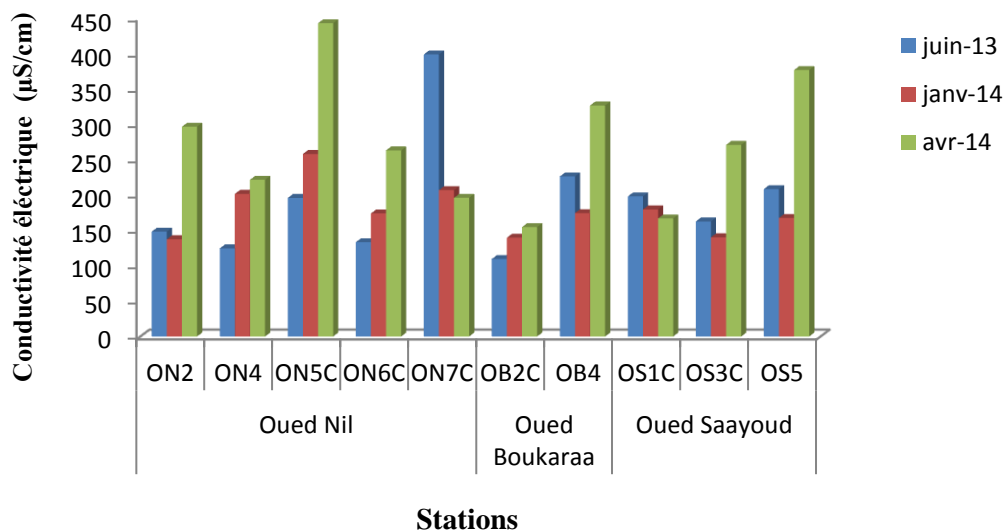


Figure 33: Variations spatio-temporelles de la CE des sédiments de l'oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.

La figure ci-dessus montre que les CE des sédiments de l'oued Nil sont supérieures à celles mesurées au niveau des autres oueds. La station (ON5C) semble celle où les sédiments présentent une conductivité électrique élevée, si on la compare avec les autres valeurs de CE des autres stations de prélèvement. La valeur la plus élevée de la conductivité électrique des sédiments de l'oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud est de 443 (µS/cm) à la station (ON5C) au mois d'avril (campagne 3), la valeur la plus faible est de

109,7 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à la station (OB2C) au mois de Juin (campagne 1). La campagne printanière est celle où la conductivité électrique présente des variations très importantes avec un pic enregistré au niveau des sédiments de la station (ON5C).

L'augmentation de la conductivité électrique pourrait être due au fait que les sédiments sont riches en ions monovalents et divalents qui proviendraient des divers rejets domestiques. La conductivité électrique étant basse, le sédiment contient donc peu d'espèces ioniques dissoutes.

Les valeurs de la CE enregistrée à nos stations sont faibles, pourraient s'expliquer par la nature argilo-marneuse du bassin versant et/ou l'absence des dépôts des sels. Ces valeurs indiquent une minéralisation faible à moyenne car elles sont toutes globalement inférieures à $450 \mu\text{S}/\text{cm}$ et n'atteignent pas les normes.

C) Calcaire total (CT)

Le calcaire total est une des composantes héritées de la dégradation de la roche-mère. Son absence totale a pour conséquence une acidification progressive.

Les taux de calcaire total enregistrés dans les sédiments d'oued Saayoud sont importants, ils varient entre 29,18 et 48,65%, ce sont des sols carbonatés. Pour les sédiments d'oued Nil ; ils varient entre 10 et 39% et pour les sédiments d'oued Boukaraa, ils varient entre 10,5 et 21,35%. On remarque que les pourcentages sont variables d'une station à une autre. Il y a de différence importante de teneur en calcaire entre les différentes saisons dans la plupart des sédiments des trois oueds.

Le taux le plus élevé en calcaire total (48,65%) a été enregistré au niveau de la station (OS1C) au mois de janvier, le taux le plus faible (10 %) est enregistré à la station (ON2) au mois de Juin. Nous remarquons que la teneur du calcaire total est plus élevée à la station (ON7C) que celle enregistrée aux autres stations au niveau d'oued Nil et que les valeurs du calcaire augmentent de l'amont vers l'aval.

Toutes les stations de prélèvements au niveau d'oued Saayoud se caractérisent par un taux important en calcaire total en période humide (janvier 2014) ce qui peut impliquer un très bon effet de dilution (tableau 02) et par conséquent une régression des teneurs en éléments traces métalliques et donc une diminution de leur toxicité. Ceci est dû essentiellement à la nature géologique du lit du bassin versant d'oued Nil. La présence et la distribution du calcaire dans les sols et les sédiments dépendent étroitement de la roche mère carbonatée qui existe à l'amont (cipolin et marnes) et des précipitations.

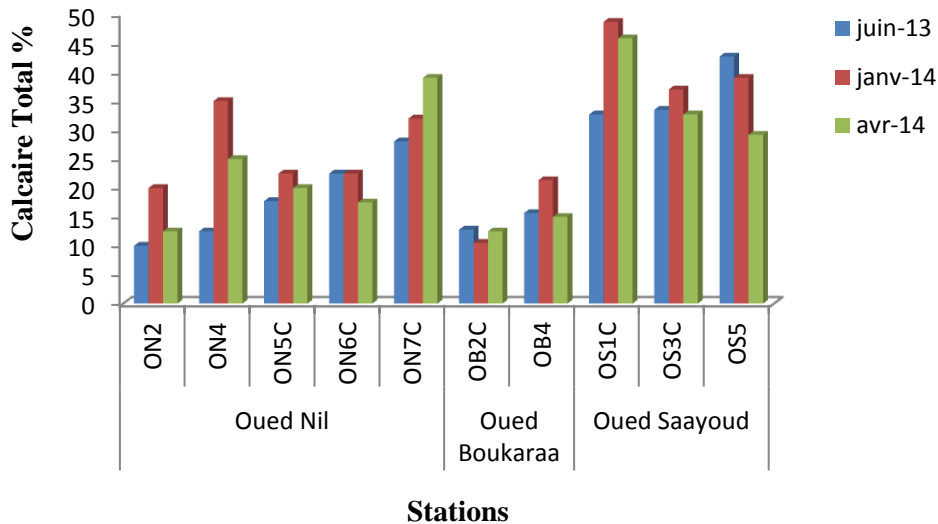


Figure 34: Variations spatio-temporelles des teneurs en calcaire total des sédiments de l’oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud

4.3.2. Les éléments traces métalliques

L’analyse des métaux lourds dans les sédiments permet d’apporter des renseignements intéressants sur la nature des apports en ces éléments et leur importance, ainsi qu’une évaluation de la pollution par ces métaux lourds du milieu étudié.

A) Cadmium

Parmi tous les métaux analysés, le cadmium s’est révélé le métal le moins abondant dans les sédiments de l’oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud. En effet, ses concentrations mesurées étaient toujours inférieures à 0,1 ppm avec un minimum absolu de 0 ppm relevé en période printanière à la station (ON2) et les fortes teneurs 0,1 ppm ont été obtenues au niveau de la station (ON7C) et (OB4).

Les concentrations du cadmium enregistrées au niveau d’oued Nil sont proches des valeurs trouvées dans les sédiments de l’oued Boukaraa et de l’oued Saayoud. Les teneurs moyennes obtenues en cadmium oscillent entre 0.02 et 0.06 ppm. La concentration moyenne du cadmium dans les sédiments du bassin versant d’oued Nil est assez régulière et ne montre pas de différences notables entre les stations.

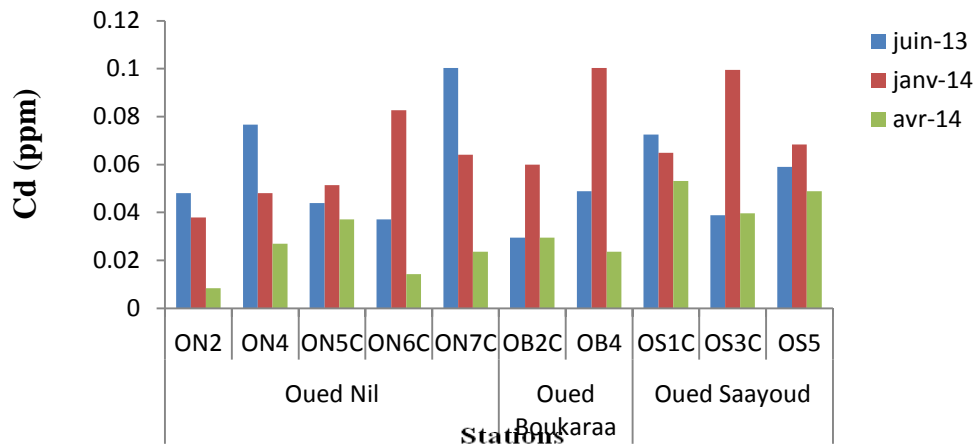


Figure 35: Variations spatio-temporelles des teneurs en Cadmium (ppm) des sédiments de l’oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.

Par ailleurs, bien que les plus faibles teneurs en cadmium aient été enregistrées, systématiquement au niveau de toutes les stations, la variation saisonnière et spatiale de ce métal peut être jugée non significative. En effet, l’amplitude de cette variation ne dépasse pas 0,08 ppm.

Ainsi, la comparaison de nos données obtenues par rapport à des valeurs dites de « références » reflète d’une situation normale pour l’AEAP (1990). En effet, toutes les teneurs sont inférieures à la valeur estimée naturelle (1 ppm) c’est-à-dire que la contamination par le cadmium au niveau d’Oued Nil et ses affluents est non susceptible a priori d’entraîner des nuisances.

Tableau 04: Teneurs métalliques naturelles (ppm) dans les sédiments secs (AEAP, 1990) et niveaux de contamination (Ministère de l’environnement, 1993).

Métaux	Valeurs naturelles	Niveau de contamination		
		N1	N2	N3
Cd	1	< 3	3 à 9	> 9
Cr	30	< 150	150 à 450	> 450
Cu	15	< 120	120 à 360	> 360
Pb	40	< 120	120 à 360	> 360
Zn	100	< 450	450	> 1350

N1 : contamination faible, non susceptible a priori d’entraîner des nuisances.

N2 : contamination probable : la surveillance du milieu et des effets doit être renforcée.

N3 : contamination certaine risquant de provoquer des nuisances plus ou moins graves.

B) Chrome

Dans les sédiments de l'oued Nil et ses affluents, les teneurs en chrome oscillent entre 0,09 et 1,32 ppm. La plus forte valeur a été enregistrée à la station (ON2). Cette valeur a été relevée en période printanière (avril, 2014).

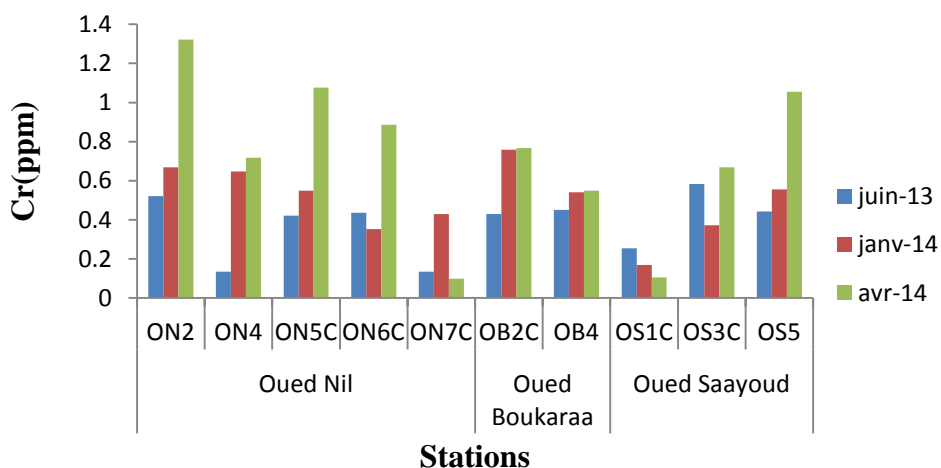


Figure 36: Variations spatio-temporelles des teneurs en Chrome (ppm) des sédiments de l'oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.

Nous pouvons dire que dans les sédiments analysés :

- Les teneurs en chrome ne dépassent pas 1,32 ppm de sédiment sec.
- Pour toutes les stations, les variations saisonnières des teneurs en chrome sont relativement négligeables.
- En effet, toutes les teneurs sont inférieures à la valeur estimée naturelle (30 ppm) c'est-à-dire qu'il n'y a de contamination par le chrome au niveau d'oued Nil et ses affluents.

C) Cuivre

Dans les sédiments du bassin versant d'oued Nil, le cuivre est présent à des teneurs variantes entre 0,3 et 2,8 ppm. La valeur maximale est de 2,8 ppm à la station (OB4) en période estivale. Les teneurs en cuivre relevées sont assez stables d'une station à une autre. Les plus faibles teneurs en cuivre ont été enregistrées au niveau de toutes les stations de l'oued Nil et ses affluents lors des trois campagnes de prélèvement et ne présentent pas de différences notables entre elles.

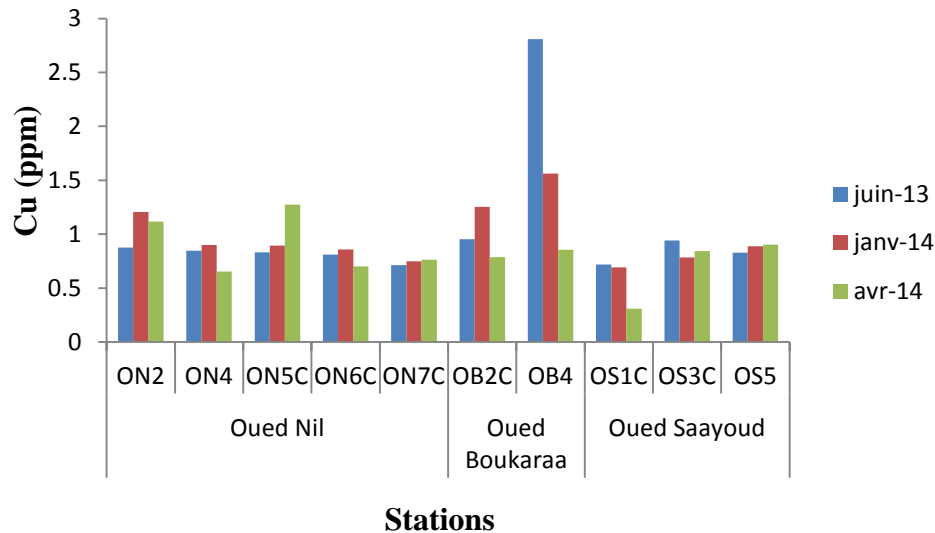


Figure 37: Variations spatio-temporelles des teneurs en Cuivre (ppm) des sédiments de l’oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.

La comparaison rapide de nos résultats obtenus par rapport aux valeurs de « références », nous permet de constater que les sédiments des différentes stations de prélèvement renferment des teneurs en cuivre qui sont inférieures à la valeur naturelle (15 ppm). De ce fait, la contamination par le cuivre est absente.

D) Plomb

Les résultats de l’analyse du plomb dans les sédiments d’oued Nil et ses affluents oued Boukaraa et oued Saayoud montrent que les teneurs oscillent entre 0,06 ppm et 1,29 ppm pour les trois campagnes de prélèvements, avec une moyenne variant de 0,33 ppm et 0,71 ppm.

La figure 38 illustre les variations spatio-temporelles des teneurs en Pb (ppm) à la station (OS5) où les teneurs enregistrées durant la période printanière ont été élevées par rapport à celles marquées durant la période hivernale et la période estivale, à l’exception quelques stations.

Les résultats ont montré que les faibles teneurs en plomb ont été enregistrées, pour toutes les campagnes effectuées, au niveau des sédiments du bassin versant d’oued Nil. Les teneurs en ce métal sont inférieures à la valeur naturelle (40 ppm) et ne présentent pas de variations significatives que ce soit dans l’espace ou dans le temps.

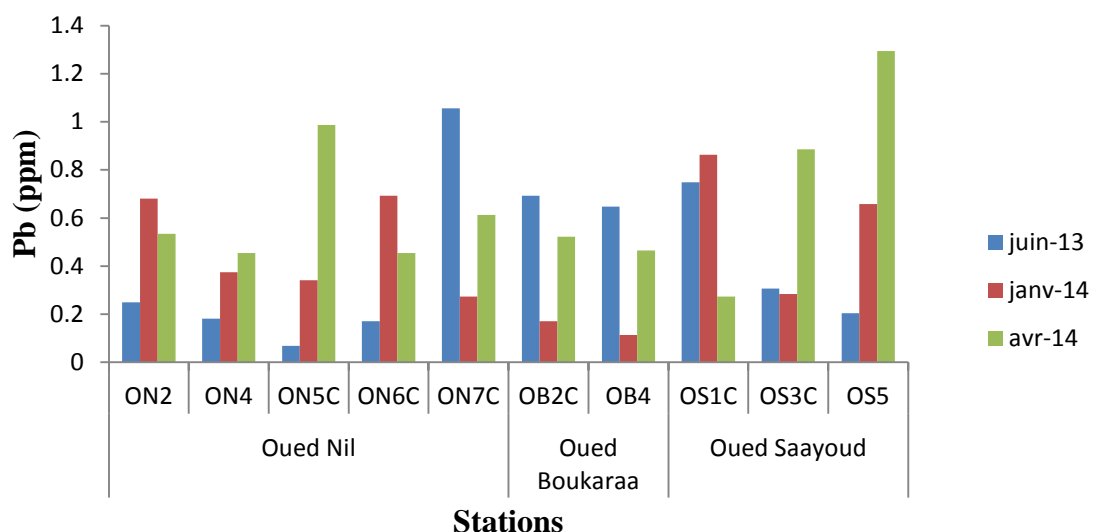


Figure 38: Variations spatio-temporelles des teneurs en Plomb (ppm) des sédiments de l’oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.

E) Zinc

Les concentrations du zinc relevées au niveau des sédiments de l’oued Nil et ses affluents sont comprises entre 3,37 et 69,4 ppm. Ces concentrations sont marquées par leur instabilité saisonnière et spatiale. Les sédiments de ces cours d’eau présentent une teneur moyenne en zinc de 39,27 ppm en période printanière, avec un maximum de 69,4ppm enregistré au mois d’avril à la station (OS3C), et un minimum de 3,37 ppm enregistré à la station (OS1C) au mois d’avril.

D’après la figure 39, nous observons que les sédiments des stations (ON2, ON4, OB2C, OS5) sont ceux qui renferment des variations régulières du teneur en Zn durant les trois campagnes par rapport aux sédiments des autres stations.

Les teneurs moyennes en zinc des sédiments de chaque station de l’oued Nil et ses affluents sont comprises entre 21,71ppm à la station (ON5C) et 55,9 ppm à la station (OS5). Ces valeurs moyennes en zinc restent inférieures à la valeur naturelle (100 ppm). De ce fait, la contamination par le zinc est absente.

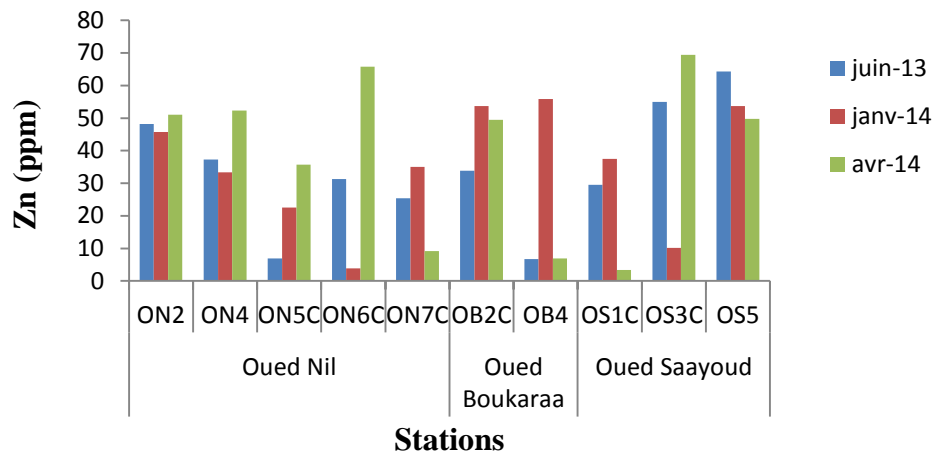
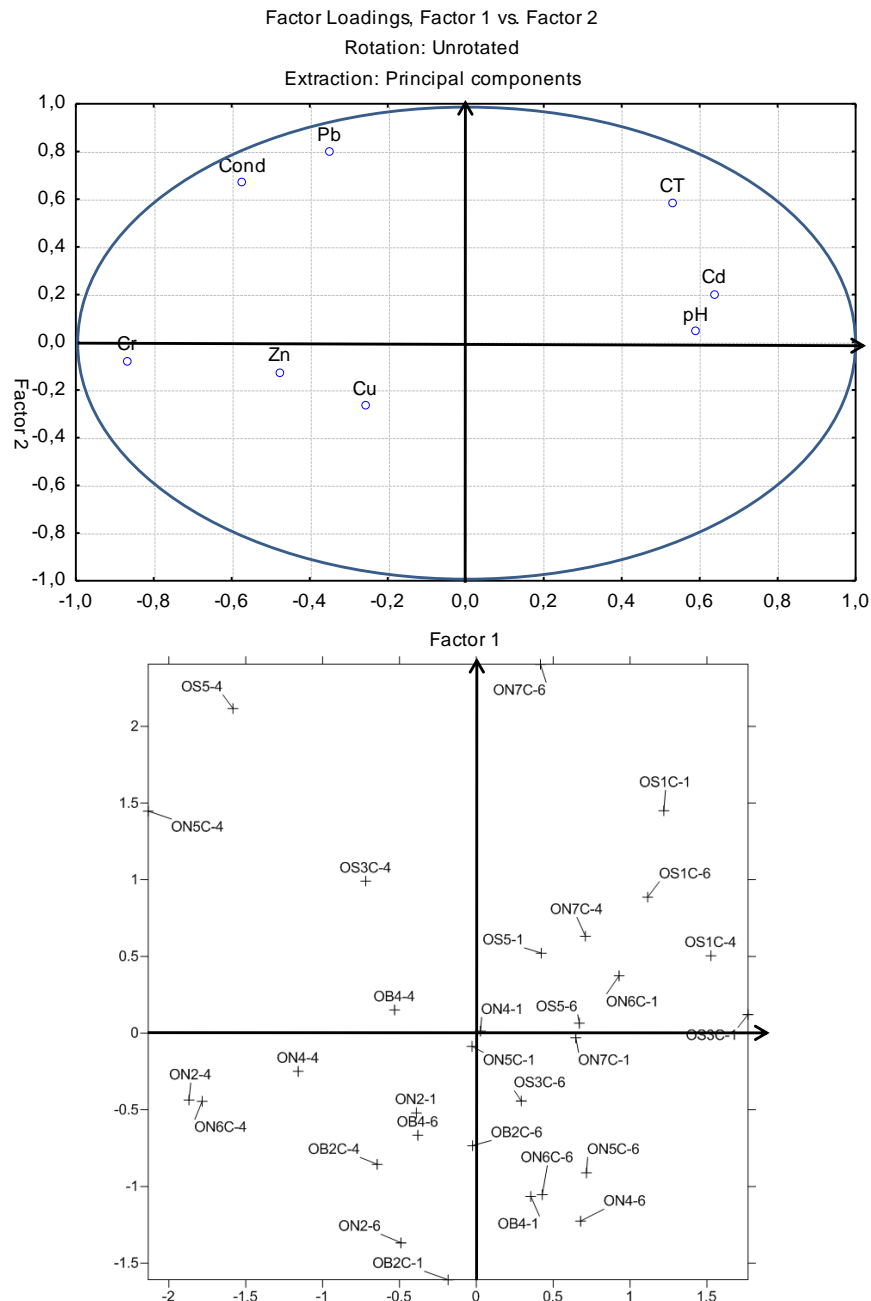


Figure 39 : Variations spatio-temporelles des teneurs en Zinc (ppm) des sédiments de l’oued Nil et ses deux affluents oued Boukaraa et oued Saayoud.

4.3.3. Analyses statistiques du compartiment sédimentaire

Pour déterminer les relations entre les paramètres physico-chimiques (pH, CE, CT) et ETM (Cd, Pb, Cr, Cu, Zn) dans les sédiments du bassin versant de l'oued Nil, nous avons effectué une analyse en composantes principales de toutes les données. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous :



Légende : ON7C-6 ON7C : nom de la station 6 : le mois (juillet)

Figure 40: ACP des caractéristiques physico-chimiques et teneurs des ETM dans les sédiments. (Axes de projection 1 et 2)

Le plan de projection (axes 1-2) résume 51,23 % de l'information.

La première composante contribuant pour 31,67% de la variance totale est corrélée positivement au pH, calcaire total et le Cd, et négativement au Cr. Cela implique que le Cd et le calcaire total évoluent dans le milieu basique et le Cr dans le milieu acide.

La projection des individus montre que le premier ensemble est bien présenté par les stations d'oued Saayoud (OS1 durant les trois mois de janvier, avril et juin et OS3C durant le mois de janvier) et le deuxième ensemble par les stations d'oued Nil (ON2, ON4 et ON6C) durant le mois d'avril.

La deuxième composante (19,56 % de l'inertie) présente une évolution proportionnelle entre la CE et le Pb. Présentée essentiellement par OS5 (avril), ON5C (avril) et ON7C (juin)

4.4. Conclusion

Les résultats de cette étude ainsi que ceux concernant la caractérisation des eaux et des sédiments prélevés dans le bassin versant de l'oued Nil, entre juin 2013 et juin 2014, ont montré des variations spatio-temporelles d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques. Au cours de ce chapitre, nous avons présenté les résultats de l'évaluation des teneurs en paramètres physiques, les éléments majeurs, composées azotés et les métaux lourds dans les eaux de surface, eaux souterraines et les sédiments déposés en divers stations de prélèvements.

L'analyse physico-chimique a montrée que la plupart des eaux de surface et souterraines des trois oueds présentent :

- une contamination importante en matières azotées (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-), et le phosphate
- la présence d'une contamination métalliques dans les eaux de surface (Cd, Pb, Cr et Cu)

L'analyse des sédiments est marquée par un pH neutre à une faible alcalinité, et un pourcentage important en calcaire total au niveau d'oued Saayoud. Cependant, il a été établi que, pour tous les ETM et pour toutes les campagnes de prélèvement effectuées, des faibles teneurs ont été enregistrées au niveau des sédiments dans toutes les stations.

Conclusion générale

Les résultats obtenus suite à cette recherche, nous ont permis de réaliser une évaluation de la qualité physico-chimique, du niveau de la pollution organique des eaux de surface et souterraines ainsi une évaluation de la contamination métallique de l'eau et des sédiments. Sur la base des résultats obtenus pour l'oued Nil et ses deux affluents (oued Saayoud et oued Boukaraa), nous pouvons conclure, à priori, ce qui suit :

L'analyse physico-chimique a montrée que la plupart des eaux de surface et souterraines des trois oueds présentent une température de l'eau saisonnière, un pH à tendance alcaline (ne dépasse pas 9 sauf dans les stations ON2, OS3C), une CE est généralement faible traduisant une minéralisation faible, une élévation du taux de saturation en oxygène dans les eaux de surface qui reflète un processus d'auto-épuration avancé, et un déficit en O₂ dans les eaux souterraines ; ainsi des éléments minéraux majeurs ; dont les teneurs en cations (Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺) et les anions (Cl⁻ et SO₄²⁻) , traduisent une salinité faible.

Les eaux de surface contiennent une contamination importantes par les composés azotés (NO₃⁻, NO₂⁻ et NH₄⁺) surtout dans la partie aval d'oued Nil (ON7C) et oued Saayoud (OS3C et OS5). Le dosage des ETM dissous dans ces eaux révèle leur présence d'où un enrichissement métallique des eaux de surface analysés, particulièrement en Cr, en Cd, en Cu et en Pb. Un tel enrichissement peut avoir comme cause de multiples actions anthropiques entre autres de nombreux rejets urbains et agricoles.

Les eaux souterraines représentent la ressource principale en eau potable. Leur qualité chimique naturelle dépend essentiellement de leur origine, de la nature des alluvions et des roches qui emmagasinent l'eau, ainsi que des conditions physico-chimiques caractéristiques du milieu. Quand à elles, les eaux souterraines d'Oued Nil dans les captages (FN9, PN3, PS1) on a observé une contamination par : 1) l'ammonium (FN9) lié aux conditions réductrice du milieu qui ont réduit la forme du nitrate en nitrite puis ammonium ; 2) nitrate (FN9, PN3, PS1) avec des faibles concentration ; Nitrates (PN3) par des valeurs qui dépassent 35 mg/L et qui peuvent atteindre des valeurs de l'ordre de 90 mg/L) ; et le phosphate (PS1 et FN9) avec une légère contamination.

La contamination des eaux de surface et souterraines, peut être principalement liée aux activités anthropiques largement répandues sur les rives des divers oueds. Les pratiques agricoles telles que l'utilisation des engrais, les produits phytosanitaires, l'élevage intensif, etc., semblent être la premières source de contamination des eaux par les matières azotées. En

outre, les effluents urbains (déchets domestiques et eaux usées) participent éventuellement à l'enrichissement des eaux en nutriments.

L'analyse physico-chimique des sédiments des eaux superficiels des dix stations de prélèvement, a montré que les valeurs du pH des sédiments reflètent une neutralité à une faible alcalinité ; le taux de CaCO_3 est légèrement élevé au niveau d'oued Saayoud dont la provenance est liée sans doute à la nature géologique du lit du bassin versant. Les concentrations des ETM (Cd, Pb, Cr, Cu et Zn) ne sont pas inquiétantes dans la mesure où elles ne dépassent pas les teneurs estimées naturelles et les teneurs à effet probable ; nous pouvons considérer les teneurs des sédiments de l'oued Nil, de ses affluents oued Boukara et oued Saayoud en ETM dosés comme faibles à absentes et ne pouvant pas conduire à un état de toxicité via la faune et la flore aquatiques.

Enfin dans le but de compléter cette étude sur la qualité physico-chimique, de la pollution organique et de la contamination métallique des compartiments eau et sédiments de l'oued Nil et de ses affluents, nous projetons continuer nos travaux de recherche sur les stations de prélèvement, où il serait important d'intensifier les analyses physico-chimiques et d'approfondir nos connaissances concernant l'effet des ETM sur la vie aquatique. Il est également intéressant de cerner ces ETM dans des espèces différentes aussi bien de la faune que de la flore aquatiques. Lesquelles constituent le support qui contrôle la pérennité et la survie des écosystèmes aquatiques. Il est également impératif de poursuivre les investigations dans ce domaine pour pouvoir prendre les mesures adéquates vis-à-vis de la pollution et de la contamination des écosystèmes aquatiques.

Références bibliographiques

- Abdallaoui A. 1998.** Contribution à l'étude du phosphore et des métaux lourds contenus dans les sédiments et de leur influence sur les phénomènes d'eutrophisation et de la pollution. Cas du bassin versant de l'oued Beht et de la retenue de barrage El Kansera. Thèse de doctorat. Université. Moulay Ismail. Maroc, 30-33 p, 41p.
- Abderrazzak B. A., 2012.** Etude de contamination et d'accumulation de quelques métaux lourds dans les céréales, des légumes et des sols agricoles irrigués par des eaux usées de la ville de Hammam Boughrara. Thèse de Doctorat en Chimie de l'Environnement. Université. Abou Bekr Belkaid. Tlemcen, 13p.
- AEAP., 1990.** Annuaire de la qualité des sédiments du Bassin Artois Picardie (1985-1990). Agence de l'Eau Artois Picardie, France.
- Afri- Mehennaoui F. Z., Sahli L. et Mehennaoui S., 2009.** Evaluation de la contamination par le cadmium, le plomb et le zinc de l'eau, des sédiments de l'oued Rhumel et son affluent le Boumerzoug, et leur transfert vers une plante semi-aquatique : *Rorippa nasturtium-aquaticum (l.)*, *Sciences & Technologie C – N°29* juin (2009), 45-55 pp.
- Afri-Mehennaoui F.Z., Salhi L., Zerief N., Mehennaoui S., 2009.** Niveau de contamination par les éléments traces métalliques (ETM), des sédiments des oueds Rhumel et Sakiet Roum, dans la zone industrielle et à Constantine. *Colloque international Environnement et transports dans des contextes différents, Ghardaïa, Algérie, 16-18 fév. 2009. Actes, ENP ed., Alger*, 181-187p.
- Aït Boughrous. A., 2007.** Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc : le Tafilalet et la région de Marrakech. Thèse de Doctorat d'état en Hydrobiologie Souterraine. Université. Cadi Ayyad. Marrakech, 5p, 46 -54 pp.
- Aubertot J.N. et al., 2007.** Pesticides, agriculture et environnement ; Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Paris, 25p.
- Aucouturier T. 2008.** Indicateurs biologiques et qualité du milieu aquatique dulçaquicole français. Thèse de doctorat Vétérinaire. Ecole nationale vétérinaire de Lyon. 23p.
- Baize D., 1997.** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols. *Ed INRA. France*, 408 p.

- Barriuso E., Calvet R., Schiavon M., Soulas G., 1996.** Les pesticides et les polluants organiques des sols, Transformations et dissipation. Etude et Gestion des Sols, 3,4. Paris, 281 p.
- Bechkit M.A.2005.** Etude hydrogéologique de la plaine d'oued Nil. Mémoire d'ingénieur d'état géologie. Université. Mentouri. Constantine, 9p, 11-17pp.
- Belghiti M. L., Chahlaoui A., Bengoumi D., El Moustaine R., 2013.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe palio-quaternaire dans la région de Meknès. Maroc. Journal, ISSN 1112-3680, n°14, 21-36pp.
- Belli N., Lahouel M., Chebab.S., Tekouk.M., Leghouchi.E. 2010.** Stress oxydant induit par la coexposition au plomb et au cadmium : deux contaminants des eaux souterraines de oued Nil (Jijel – Algérie). Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 23, n° 3, 2010. 289- 301p.
- Benedda Rahal. W., 2012.** Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien. Thèse de Doctorat en Ecologie et l'Environnement. Tlemcen, 7 p.
- Berkane S. 2011.** Contribution à l'étude hydrogéologique & hydrochimique de la plaine alluviale d'oued Nil. Wilaya de Jijel. Mémoire d'ingénieur d'état en géologie. Université. Mentouri. Constantine, 6p.
- Blinda M., 2007.** Pollution tellurique du littoral nord-ouest du Maroc entre Tanger et Tétouan: Caractérisation, Impact sur l'Environnement et Proposition de Solutions. Thèse de Doctorat en Géoenvironnement. Université. Mohammed V. Rabat, 99 p, 110-117 pp.
- Boucheseiche C., Cremille E., Pelte T., Pojer K., 2002.** Guide Technique N°7. Pollution toxique et Écotoxicologie. Bassin Rhône Méditerranée Corse. 15 p.
- Boufekane A., Saighi O. 2010.** Use of Gis to Characterize the Vulnerability to Pollution - Application to the Alluvial Aquifer of the Wadi Nil (Jijel, Northeast Algeria). International Network Environmental Management Conflicts, Santa Catarina – Brasil, 1(1), jan./jun. 2010, 267-274pp.
- Bravard J.P., Petit F. 2002.** Les cours d'eau, *Dynamique du système fluvial*. 2^{ème} Edition. Armand Colin. Paris, 5p, 222 p.

- Brémond R., Vuichard R., 1973.** Les paramètres de la qualité de l'eau. *Ed.* La documentation française. Paris, 173 p.
- Burnol. A., Duro. L., Grive. M., 2006.** Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines. Rapport d'études N° INERIS-DRC-06-66246/DESP-R01a. *INERIS*, 23p , 33-45 pp.
- Cardot. C., 2013.** Les traitements de l'eau. Procédés physico-chimiques et biologiques. Cours et problèmes résolus. Génie de l'environnement, 9p.
- Chaguer M., 2013.** Analyse et spéciation des métaux dans un oued en zone minière cas de l'oued Essouk. Thèse de Doctorat d'état en Chimie Analytique. Université. Mentouri. Constantine, 6-46 pp.
- Clerc. E., 2008.** Caractérisation sédimentologique et géochimique des sédiments du Rhône. Master recherche. Sciences de l'Environnement Industriel & Urbain (SEIU), 15 p.
- Cornu. S., Clozel. B., 2000.** Extractions séquentielles et spéciation des éléments trace métalliques dans les sols naturels. *Analyse critique, Etude et gestion des sols*, 7, N° 3, 179-189 pp.
- Dali. Y., 2005.** Contribution à l'étude des polluants métalliques dans les sédiments d'Oued Tafna (Ouest algérien). Thèse de doctorat d'état en chimie. Université de Tlemcen, 198 p.
- Debieche. T.H., 2002.** Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse. Thèse de doctorat en Hydrogéologie et Environnement. Université de Franche-Comte. 50p.
- Desjardins.R., 1997.** Le traitement des eaux. 2^{ème} Ed. Edition de l'école polytechnique de Montréal, 6 p.
- Devallois. V., 2009.** Transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydrosystèmes continentaux. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Environnement. Université. Provence. 1 p, 38p.
- Doelsch. E., 2004.** Eléments traces métalliques. Inventaire pour l'ILE, de la réunion (Sols, Déchets et végétaux). Chambre d'agriculture, 2p.

- El Blidis., Fekhaouim M., 2003.** Hydrologie et dynamique marégraphique de l'estuaire du Sebou (Gharb, Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, 2003, n°25, 57-65.
- FAO., 2009.** Projet de développement Hydro-agricole. Environnement Canada. Rapport 16/76, 89 p.
- Galez. P., 2011.** Mesures Physiques Annecy. Techniques spectroscopiques d'analyse / Absorption atomique & émission de flamme. – MPh2 SE3 ME3 – 2011.
- Gartet A., Gartet J., Garcia CC., 2001.** Hydrochimie des eaux, dissolution spécifique et salinité des cours d'eau dans le bassin de l'oued Lebène .Prérief Central, Maroc septentrional. 147p.
- Ghazali. D., Zaid.A., 2012.** Caractérisation physico-chimiques des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknes). N° 120106
- Gilbin. R., 2001.** Caractérisation de l'exposition des écosystèmes aquatiques à des produits phytosanitaires : spéciation, biodisponibilité et toxicité. Exemple du cuivre dans les eaux de ruissellement de parcelles viticoles (Roujan, Hérault, France). Thèse de Doctorat en biologie des populations et écologie. Université. Montpellier I, 17 p.
- Gouzyi. A., Ducosi. G., 2008.** La connaissance des éléments traces métalliques : Un défi pour la gestion de l'environnement N°75. http://rsde.ineris.fr/fiches_technico_eco1.php. INERIS.
- Grosclaude. G., 1999.** L'eau. Tome I. Milieu naturel et maîtrise. *Ed INRA*, 103p.
- Harrat. N., 2013.** Elimination de la matière organique naturelle dans une filière conventionnelle de potabilisation d'eaux de surface. Thèse de Doctorat d'état en Hydraulique. Université. Mohamed Khider. Biskra, 8 p.
- Hebert. S., Legre. S., 2000.** Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec, 5 p.
- Hedhli. M., 2010.** Phytorestauration des sédiments de la rivière Saint-Charles du port de Montréal contaminés aux métaux lourds et aux hydrocarbures aromatiques polycycliques. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en science de la terre. Université. Québec. Montréal, 8 p.

- Herzi. F., 2013.** Caractérisation chimique des exsudats du dinoflagellé marin toxique *Alexandrium catenella* et de la diatomée marine *Skeletonema costatum* et étude de la réponse protéomique d'*Alexandrium catenella* en conditions de stress métalliques. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques. Université. Toulon. France, 25 p.
- I.B.G.E, 2005.** Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement,.2005. L'eau à Bruxelles. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface, 1-2p.
- INERIS., 2004.** Devenir et comportement des métaux lourds dans l'eau : biodisponibilité et modèles BLMDRC-03-46822-FLg/JL-03.0693.
- Isaure. M.P., (2001).** Spéciation et transfert du zinc dans un dépôt de sédiment de curage contaminé : évolution le long du profil pédologique. Thèse de Doctorat. Université. Joseph Fourier. Grenoble I, 14 p.
- IZA 2010.** International Zinc Association. Le zinc un matériau durable. www.zinc.org.
- Kayalto .B., 2009.** Contribution à l'évaluation de la contamination par les métaux lourds, de trois espèces de poissons, des sédiments et des eaux du la Tchad. Mémoire d'Etudes Approfondies (DEA) en Sciences Alimentaires/Nutrition. Université. N'Gaoundéré, Cameroun, 14 p.
- Lallemand- Barrès. A., Roux. J.C., 1999.** Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. Manuels & Méthodes. *Ed BRGM*, 109 p.
- Lavoie. M., 2012.** Effets des métaux traces essentiels et du calcium sur l'accumulation et la toxicité du cadmium chez l'algue verte *Chlamydomonas Reinhardtii* : inclusion des interactions physiologiques algales dans le modèle du ligand biotique. Thèse de Doctorat en Sciences de l'eau. Institut national de la recherche scientifique. Université. Québec, 27 p.
- Le Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement, 2011.** Manuel des protocoles d'échantillonnage pour l'analyse de la qualité de l'eau au Canada, 104p.
- Lehtihet.A. 1983.** Etude hydrogéologique de la plaine alluviale d'oued Nil. Mémoire d'ingénieur d'état en hydrogéologie. Université Houari Boumediene, 12p.
- Loustau Cazalet. M., 2012.** Caractérisation physico-chimique d'un sédiment marin traité aux liants hydrauliques, Évaluation de la mobilité potentielle des polluants inorganiques.

- Thèse de doctorat en Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain. L'Institut National des Sciences Appliquées. Lyon, 37 p.
- Makhoukhi. M., Sbaa. M., Berraou. A., Van Clooster. M., 2011.** Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielle de l'oued Moulouya (Maroc Oriental). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, pp. 149-169.
- Maoui. K., Meddour. C., 2013.** Etude hydrogéophysique de la plaine alluviale d'Oued Nil. Mémoire de master 2 en géologie. Université de Jijel, 12p, 14p.
- Marcato. C. E., 2007.** Origine, devenir et impact du cuivre et du zinc des lisiers porcins, rôle de la digestion anaérobie. Thèse de Doctorat en Sciences Ecologiques Vétérinaires Agronomiques et Bioingénieries. Institut National Polytechnique de Toulouse, 16 p.
- Martin Garin. A., Simon. O., 2004.** Cadmium 109 et environnement. Service d'étude du comportement des radionucléides dans les écosystèmes. IRSN, 3 p.
- Mathieu C., Pieltain F., 2003.** Analyse chimique des sols. Méthodes choisies. Ed.TEC & DOC. Paris, 109 p.
- Melghit. M., 2011.** Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau / Sédiments de l'oued Rhumel, et des barrages Hammam Grouz et Beni Haroun. Thèse de Magister en Ecologie. Université. Mentouri Constantine, 15p.
- Miserez. J.J., 1973.** Géochimie des eaux du karst jurassien. Thèse doctorat, Université Neuchâtel, 299p.
- Montuelle. B., 2003.** Qualité et gestion des sédiments d'eau douce. Eléments physico-chimiques et biologique, 154 p.
- N'Guessan. Y. M., 2008.** Dynamique des éléments traces dans les eaux de surface des bassins versants agricoles de Gascogne. Thèse de Doctorat en Agrosystèmes, Ecosystèmes et Environnement. Université. Toulouse (INPT), 25- 33-42 pp.
- Nakib. L., 2010.** Mise au point d'une technique d'extraction des éléments traces métalliques dans les produits de la mer et leurs dosages par spectrophotométrie d'absorption atomique. Mémoire de magister en médecine vétérinaire. Université. Mentouri. Constantine, 7p, 22- 46pp.

- Ouzair. A., Iebkiri.A., Belghyti. D., Fadli. M., Rifi. E., Hbaiz. E., Ouïhman. E., Iebkiri. M., 2011.** Etude Typologique de la Contamination MétaIliques du Sédiments et Caractéristiques Physico-chimiques de l'Eau d'Oued Rdoum (Maroc) .Environnement. ScienceLib Editions Mersenne: Volume 3, N° 110403(2011) 2111-4706.
- Potot. C., 2011.** Etude hydrochimique du système aquifère de la basse vallée du Var Apport des éléments traces et des isotopes (Sr, Pb, $\delta^{18}\text{O}$, ^{226}Ra , ^{228}Ra). Thèse de Doctorat en chimie. Université. Nice Sophia Antipolis Sciences. Ecole Doctorale Sciences Fondamentales et Appliquées, 20 p.
- Ramade F., 1993.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Ed. Science International. Paris, 822 pp
- Ramade. F., 1998.** Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales. *Ed science*. International. Paris, 485p.
- Rodier J. et coll., 2005.** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaireS. Eau de mer. 8^{ème} Ed. *DUNOD*. Paris, 8 p.
- Rodier J., Legube B., Merlet N. et coll., 2009.** L'analyse de l'eau. 9^{ème} Ed. *DUNOD*. Paris, 3p, 1228, 1251pp.
- Rollet. A.J., 2007.** Etude et gestion de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage : le cas de la basse vallée de l'Ain. Thèse de Doctorat en Géographie et Aménagement. Université Jean Moulin Lyon 3, 11p.
- Richard. C., 1996.** Les eaux, les bactéries, les hommes et les animaux, 33 p.
- Riou. C., Bonhomme. R., Chassin. D., Neveu.A. Papy.F., 1997.** L'eau dans l'espace rural; production végétale et qualité de l'eau. *Ed. INRA* .Paris, 249 p.
- Rivière .J.L. 1998.** Evaluation du risque écologique des sols pollués. Ed.Tec & Doc .Paris, 53p.
- Ross. N., 2008.** Ecologie des communautés planctoniques méditerranéennes et «étude de métaux lourds (Cuivre, Plomb, Cadmium) dans différents compartiments de deux écosystèmes côtiers. Thèse de Doctorat en Biologie de l'environnement, des populations et écologie. Université. Sud Toulon Var. France, 24 p.

- Sadoun. L., 2013.** Etude hydrologique et hydrodynamique de la basse plane alluviale de l'oued el Nil (wilaya de Jijel). Mémoire de master 2 en Eau et Environnement. Université de Jijel, 10-13p, 32p,55p.
- Salvarredy Aranguren. M.M., 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 hydrochimique. Thèse de Doctorat en Sciences de la Terre et Environnement. Université. Toulouse III. Paul Sabatier, 9 p, 20-21 pp.
- Sueker, J.K., 2005.** Chromium. Environmental Forensics; Contaminant Specific Guide, 81 p.
- Tessier, A., Turner, D.R., 1995.** Metal speciation and bioavailability in aquatic systems. John Wiley & Sons, Chichester.
- Touchart. L., 2003.** Hydrologie. Mers, fleuves et lacs. *Compus Armand. Colin*, 87 p.
- Trifi B., 2012.** Traitement des polluants organiques persistants par décharges à barrières diélectriques (DBD) et par décharges glissantes (Glidarc).Thèse de Doctorat en Chimie. Paris, 5 p.
- Thorntwaite C. W. 1948.** An Approach toward a Rational Classification of Climate. Geographical Review, Vol. 38, No. 1, pp. 55-94.
- Tronczunski. J., Munschy. C., Héas Moisan.K., Guiot.N., Truquet. I. 2005.** Analyse des contaminants organiques (herbicides, PCB, OCP, HAP) dans les eaux estuariennes et marines côtières, 11p.
- W.H.O., 1987.** Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global Environment Monitoring system, WHO, UNEP.

Annexes

Annexe 1 : Normes de potabilité des eaux

Valeur maximale admissible selon les normes				
Caractéristiques	Symbole	Unités	Algériennes (Arrêté interministériel du 22 janvier 2006)	Européennes (Directive 98/83/CE du conseil du 3 novembre 1998)
Caractéristiques physico-chimiques				
pH	–	–	6,5 – 8,5	6,5 – 9,5
Conductivité à 20 °C	–	µs/cm	2800	2500
Chlorures	Cl	mg/l	200 – 500	250
Sulfates	SO ₄	mg/l	200 – 400	250
Magnésium	Mg	mg/l	150	50
Sodium	Na	mg/l	200	200
Potassium	K	mg/l	20	12
Aluminium total	Al	mg/l	0,2	0,2
Substances indésirables				
Nitrates	NO ₃	mg/l	50	50
Nitrites	NO ₂	mg/l	0,1	0,5
Ammonium	NH ₄	mg/l	0,5	0,5
Fer	Fe	mg/l	0,3	0,2
Manganèse	Mn	mg/l	0,5	0,05
Cuivre	Cu	mg/l	1,5	2
Zinc	Zn	mg/l	5	3
Argent	Ag	mg/l	0,05	0,01
Fluorures	F	mg/l	0,2 – 2	1,5
Azote	N	mg/l	1	1
Substances toxiques				
Arsenic	As	mg/l	0,05	0,01
Cadmium	Cd	mg/l	0,01	0,005
Cyanure	Cn	mg/l	0,05	0,05
Chrome	Cr	mg/l	0,05	0,05
Mercure	Hg	mg/l	0,001	0,001
Plomb	Pb	mg/l	0,055	0,01
Sélénium	Se	mg/l	0,01	0,01
Benzo (1,2,3-cd) pyrène	–	µg/l	0,01	0,01

Tableau : Comparaison des indicateurs de qualité des eaux de sources

Caractéristiques	Symbole	Algériennes (Arrêté interministériel du 22 janvier 2006)	Européennes (Directive 2003/40/CE de la commission du 16 mai 2003)	Codex (Codex Alimentarius : Normes Codex Stan 108-1981)
Substances toxiques et indésirables				
Antimoine	Sb	0,005	0,005	0,005
Arsenic	As	0,05	0,01	0,01
Baryum	Ba	1	1	0,7
Borates	BO ₃	5	PM	5
Cadmium	Cd	0,003	0,003	0,003
Chrome	Cr	0,05	0,05	0,05
Cuivre	Cu	1	1	1
Cyanure	Cn	0,07	0,07	0,07
Fluorure	F	5	5	1–2
Plomb	Pb	0,01	0,01	0,01
Manganèse	Mn	0,1	0,5	0,5
Mercure	Hg	0,001	0,001	0,001
Nickel	Ni	0,02	0,02	0,02
Nitrates	NO ₃	50	50	50
Nitrites	NO ₂	0,02	0,1	0,02
Sélénium	Se	0,05	0,01	0,01

Tableau : Comparaison des indicateurs de qualité des eaux minérales naturelles

Annexe 2 : Méthodes d'analyses chimiques

➤ HCO_3^-

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de pH = 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA) (NF T90-036).

➤ Ca^{2+} , Mg^{2+} et TH

Titration molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA) à pH 10. Le noir érichrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur (ISO 6058., 1984 (F)).

➤ NH_4^+

Mesure spectrométrique à environ 655nm du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium (ISO 7150/1., 1984 (F)).

➤ NO_2^-

Les nitrites réagissent avec le Sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N1 Naphtyléthylènediamine dichlorure donne naissance à une coloration rose mesurée à 543nm (ISO 6777).

➤ NO_3^-

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique (Rodier J. et al., 1978).

➤ PO_4^{3-}

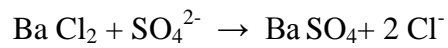
Formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. Réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 880 nm (NA 2364. 1994).

➤ Cl^-

Réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement .Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation (ISO 9297. NA 6917., 1984).

➤ SO_4^{2-}

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de Ba Cl_2 (Rodier J. et al., 2005).



Titre : Qualité des eaux et des sédiments de la plaine alluviale d'oued Nil
(Wilaya de Jijel, NE Algérien)

Nature du diplôme : Magistère en Ecologie

Option : Ecologie des écosystèmes aquatiques

Résumé :

La plaine alluviale d'oued Nil est caractérisée par une abondance en eaux de surface et souterraines. Ces eaux sont utilisées pour l'alimentation en eau potable de plusieurs communes de la wilaya de Jijel et pour l'irrigation. Depuis l'année 2000, la région a connu une croissance démographique et économique importante qui s'est traduite par une forte exploitation des eaux souterraines, et l'augmentation des rejets dans les eaux de surface.

L'objectif principal de ce travail est d'étudier la qualité des eaux superficielles et souterraines et la plaine alluviale de l'oued Nil. Cinq campagnes de prélèvements (eau et/ou sol) sur dix stations pour les eaux de surface (oued Nil et ses deux affluents (oued Boukaraa et oued Saayoud)) et sur cinq stations pour les eaux souterraines. Une analyse complète a été réalisée sur les échantillons d'eau (paramètres physico-chimiques, éléments majeurs, paramètres de pollution et les éléments traces métalliques (ETM)). Pour le compartiment sédimentaire, dix points de prélèvement ont été sélectionnés.

L'analyse physico-chimique a montré que la plupart des eaux souterraines et superficielles des trois oueds présentent une bonne qualité par rapport aux descripteurs : T ; pH ; CE ; Cl⁻ ; SO₄²⁻ ; Ca⁺⁺ ; Mg⁺⁺, TH ; une contamination importante par les espèces azotées (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻) et le phosphate, liée aux rejets urbains ; et la présence d'une contamination métallique dans les eaux de surface (Cd, Pb, Cr et Cu). La physico-chimie des sédiments des différentes stations de prélèvements est marquée par un pH neutre à une faible alcalinité, et un pourcentage important en calcaire total au niveau d'oued Saayoud dont la provenance est liée sans doute à la présence des formations géologiques carbonatées à l'amont de l'oued. L'analyse des ETM dans les sédiments a montré l'absence d'une contamination métallique.

Mots clés : Oued Nil, Qualité des eaux, Eau de surface, Eaux souterraines, Sédiments, ETM, pollution.

Jury :

Président : SAHEB Menouar (MCA, Université Larbi Ben M'hidi, Oum El-Bouaghi)

Encadrant : DEBIECHE Taha-Hocine (MCA, Université de Jijel)

Examineurs : MAYACHE Boualem (Professeur, Université de Jijel)
BOULAKHSSAIM Mouloud (MCA, Université Larbi BenMhidi, Oum El-Bouaghi)