

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mohammed-Seddik Ben Yahia - Jijel
Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département des sciences de l'environnement et
des sciences agronomiques

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم علوم المحيط والعلوم الفلاحية

Mémoire présenté par :

Amal CHINE

Pour l'obtention du diplôme de

Magister

Filière : Ecologie et environnement

Option : Biodiversité et pathologie des écosystèmes

Thème

**Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux de surface et
souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil (Wilaya de Jijel, Nord-Est Algérien)**

Soutenu publiquement le 17 / 09 / 2015

devant le jury composé de :

Président :	KHELILI Smail	Professeur	Université de Jijel
Rapporteur :	DEBIECHE Taha-Hocine	MCA	Université de Jijel
Examineurs :	LEGHOUCHI Essaid	Professeur	Université de Jijel
	MAYACHE Boualem	Professeur	Université de Jijel

Année universitaire : 2014/2015

Numéro d'ordre :

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 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 ;
- le laboratoire d'hygiène de la commune de Taher (wilaya de Jijel).

Remerciements

Nous remercions dieu qui nous a donné la force, la volonté, la patience et le courage pour accomplir ce travail.

Au terme de ce travail, il m'est vraiment agréable de remercier tous ceux et celles 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 encadrée tout au long de cette recherche, qu'il soit vivement remercié.

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.

Je remercie les membres de jury : professeur KHELILI Smail (président de jury) et le professeur LAGHOUCHE Essaid (examineur), d'avoir accepté de juger ce travail de recherche.

Je saurais remercier avec ma gratitude, Monsieur MAHDID Souhil, Monsieur DEROUICHE Malek, Madame ROUIBAH Ikram, Madame BENESSAM Souad, Maîtres Assistants à l'Universités de Jijel, d'avoir suivi ce travail avec intérêt et pour leurs encouragements.

Des remerciements particuliers reviennent aux personnels de laboratoire d'ADE notamment Monsieur ATRIH Rachid chef de service de ce laboratoire. Je remercie les personnels de laboratoire d'Hygiène de Taher dans lequel une partie de ce mémoire a été réalisé. Je remercie les personnels de laboratoire pédagogique de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, université de Jijel qui m'ont aidé pour réaliser le dosage par spectroscopie d'absorption atomique.

Il est bon et juste d'évoquer l'appui moral de mes collègues, très particulièrement M^{lle} AMIOUR Souad, M^{lle} CHOUIAL Dalila, Mme ABAD Mariem, Mme BENESSAM Sihem qu'elles soient vivement remerciées.

Je remercie mes chers parents, mon frère et mes sœurs, qui m'ont toujours épaulé pendant 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

Les activités anthropiques constituent un problème environnemental énorme d'ordre mondial, lorsque ses rejets sont déversés dans les cours d'eau sans traitement préalable. Dans ce travail de recherche, nous étudions la qualité des eaux superficielles et souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil (Wilaya de Jijel, Nord-Est Algérien), vis-à-vis les rejets et les activités agricoles. Pour atteindre cet objectif, un suivi saisonnier, de novembre 2013 à juin 2014, a été réalisé sur vingt-quatre stations (puits, forages et oueds) et une campagne de prélèvement sur douze sources durant le mois de juin 2014. Les paramètres physico-chimiques de l'eau (T, pH, CE, O₂, Eh, TDS et Salinité) ont été mesurés in-situ, les éléments majeurs (TH, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻), les indicateurs de la pollution urbaine et agricole (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻), les métaux lourds (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Fe²⁺) et les bactéries (streptocoques fécaux, coliformes fécaux, *Escherichia coli*) ont été analysés au laboratoire.

Les résultats obtenus montrent que certaines stations des eaux de surface et des eaux souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil sont de qualité assez dégradée et subissent une pollution importante en matières azotées ainsi phosphatées et en métaux lourds (Pb, Cd, Cr, Fe²⁺). L'origine de cette pollution est liée principalement aux rejets urbains, déficience d'assainissement, l'utilisation intensive des engrais chimiques et les conditions réductrices des eaux des nappes captives. L'analyse bactériologique nous a permis de constater que certaines sources sont chargées en bactéries fécales.

Mots clés : Oued Nil, pollution, eau de surface, eau souterraine, azote, métaux lourds, bactérie.

Abstract

The human activities are a huge environmental problem of world, when several discharges without treatment discharge into waterways. In this work, we studied the quality of surface and groundwater in the alluvial plain of wadi Nil (Jijel, Algerian Northeast), vis-à-vis the urban discharge and agricultural activities in the region. For this, one seasonal monitoring, during the period from November 2013 to June 2014, for twenty-four sampling stations (wells, boreholes and wadi) and a sampling campaign on twelve springs during the month of June 2014. The physical chemistry parameters of water (T, pH, EC, O₂, Eh, TDS and salinity) were measured in situ, the major elements (TH, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻), indicators of urban and agricultural pollution (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻), heavy metals (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Fe²⁺) and bacteria (fecal streptococci, fecal coliforms, *Escherichia coli*) were analyzed in laboratory.

The results show that some stations of surface waters and groundwater of wadi Nil plain are degraded by significant pollution of nitrogenous so phosphoric materials and heavy metals (Pb, Cd, Cr, Fe²⁺). The origin of this pollution mainly related to urban waste, sanitation deficiency, the intensive use of chemical fertilizers and reducing conditions of water confined groundwater. The bacteriological analysis, we found that some sources are loaded into fecal bacteria.

Key Words: Oued Nil, pollution, water surface, groundwater, nitrogen, heavy metals, bacteria.

الملخص

إن الأنشطة البشرية تُكوّن مشكلة بيئية عالمية كبرى، فالعديد من المخلفات تصب في المجاري المائية دون معالجة مسبقة. خلال هذا البحث أجرينا دراسة نوعية للمياه السطحية والجوفية لسّهل الرسوبي لواد النيل (ولاية جيجل، شمال شرق الجزائر)، أخذنا بعين الاعتبار المخلفات والأنشطة الزراعية. فقمنا بمتابعة موسمية لأربعة وعشرين محطة لأخذ عينات (الآبار والأودية) وذلك خلال فترة ممتدة من شهر نوفمبر 2013 إلى غاية شهر جوان 2014 بالإضافة إلى اثني عشر ينبوع أثناء جوان 2014. المعايير الفيزيوكيميائية للمياه تشمل موضوع بحث قياسات موضعية (درجة الحرارة، درجة الحموضة، الناقلية الكهربائية، الأكسجين، شدة الأكسدة والإرجاع، المجموع الإجمالي للمواد الصلبة الذائبة و درجة الملوحة)، كما أن التحاليل المخبرية تتضمن العناصر المعدنية (صلابة المياه، الكالسيوم، المغنيسيوم، ثاني كربونات، كبريتات، كلوريد)، مؤشرات التلوث الحضري والزراعي (الأمونيوم، النتريت، النتريت، الفوسفات)، المعادن الثقيلة (الرصاص، الكاديوم، الكروم، النحاس، الزنك، الحديد) والبكتيريا (العقيدات البرازية، بكتيريا القولون البرازية، الإشريشية القولونية).

النتائج المتحصل عليها تبين أن المياه السطحية والمياه الجوفية في بعض محطات السّهل الرسوبي لواد النيل ذات جودة رديئة وتخضع لتلوث مثير للاهتمام بالمواد الأزوتية كذلك الفوسفاتية والمعادن الثقيلة (الرصاص، الكاديوم، الكروم، الحديد). وهذا التلوث مرتبط أصلا بالنافايات الحضرية، قصور (أو شقوق) في قنوات الصرف، الاستخدام المكثف للأسمدة وتراجع مستوى المياه الجوفية. التحليل البكتريولوجي يسمح لنا بتبيان أن بعض الينابيع تحتوي على البكتيريا البرازية.

كلمات مفتاحية: واد النيل، التلوث، المياه السطحية، المياه الجوفية، النيتروجين، المعادن الثقيلة، البكتيريا.

Table de matière

Introduction générale	01
------------------------------------	----

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Introduction.....	03
I.2. Pollution des milieux aquatiques	03
I.2.1. Milieux aquatiques.....	03
I.2.1.1. Eaux courantes (milieux lotiques).....	03
I.2.1.2. Eaux stagnantes (milieux lentiques)	03
I.2.2. Eaux usées.....	03
I.2.2.1. Eaux usées domestiques	03
I.2.2.2. Eaux usées industrielles	04
I.2.2.3. Eaux usées pluviales.....	04
I.2.3. Pollution de l'eau	04
I.2.3.1. Définition	04
I.2.3.2. Pollution des eaux des lacs et des réservoirs.....	04
I.2.3.3. Pollution des eaux souterraines	05
I.2.4. Impact de la pollution aquatique sur la santé.....	05
I.2.5. Techniques de désinfection de l'eau	05
I.3. Généralités sur les indicateurs surveillances de la qualité d'eau	06
I.3.1. Paramètres physiques.....	06
I.3.1.1. Conductivité électrique	06
I.3.1.2. Oxygène dissous.....	06
I.3.1.3. Potentiel d'hydrogène	06
I.3.1.4. Potentiel redox.....	07
I.3.1.5. Température	07
I.3.2. Paramètres chimiques	07
I.3.2.1. Minéralisation globale.....	07
I.3.2.1.1. Calcium et Magnésium.....	08
I.3.2.1.2. Chlorure	08
I.3.2.1.3. Dureté totale	08
I.3.2.1.4. Sulfate.....	09
I.3.2.2. Paramètres de pollutions	09
I.3.2.2.1. Ammonium.....	09

I.3.2.2.2. Nitrite.....	09
I.3.2.2.3. Nitrate	10
I.3.2.2.4. Phosphate.....	10
I.3.2.3. métaux lourds	10
I.3.2.3.1. Définition.....	10
I.3.2.3.2. Origine	11
I.3.2.3.3. Les éléments traces métalliques étudiés	11
I.4. Généralités bactériologiques.....	14
I.4.1. Bactéries.....	14
I.4.1.1. Caractéristiques morphologiques des bactéries.....	14
I.4.1.2. Composition chimique	15
I.4.1.3. Mobilité cellulaire	15
I.4.1.4. Conditions du développement microbien.....	15
I.4.2. La flore de l'eau	16
I.4.3. Origine de la pollution fécale.....	16
I.4.4. Critères pris en compte dans le choix des flores indicatrices	16
I.4.5. Les bactéries indicatrices d'une pollution fécale	16
I.5. Conclusion	18

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1. Localisation de la zone d'étude.....	19
II.2. Réseau hydrographique	19
II.3. Géomorphologie et relief.....	21
II.4. Géologie de la zone d'étude	22
II.5. Etude litho-stratigraphique	22
II.6. Etude climatologique de la zone d'étude	24
II.7. Bilan hydrique	27
II.8. Socio-économie	29
II.9. Flore.....	31
II.10. Conclusion.....	31

Chapitre III : Matériel et méthodes

III.1. Introduction.....	32
III.2. Choix des points d'eau.....	32
III.3. Choix du pas de temps de prélèvement.....	36
III.4. Techniques de prélèvement.....	36
III.5. Mesures in situ.....	39
III.6. Mesures piézométriques.....	39
III.7. Conservation des échantillons au laboratoire.....	40
III.8. Analyse des éléments chimiques au laboratoire.....	40
III.8.1. Préparations de la verrerie et de l'échantillon.....	40
III.8.2. Analyse des éléments chimiques.....	40
III.8.2.1. Méthode volumétrie.....	40
III.8.2.2. Méthode spectrophotométrie d'absorption moléculaire.....	41
III.8.2.3. Méthode spectrométrie d'absorption atomique.....	43
III.9. Etude bactériologique.....	44
III.9.1. Prélèvement d'échantillons d'eau pour les examens bactériologiques.....	44
III.9.2. Analyse bactériologique au laboratoire.....	45
III.10. Méthodes d'analyses statistiques des données.....	45
III.11. Logiciels.....	46
III.12. Conclusion.....	46

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction.....	47
IV.2. Etude statistique globale de la chimie des eaux de surface et souterraines.....	47
IV.2.1. Matrice de corrélation.....	47
IV.2.2. Moyenne et écart type.....	49
IV.2.3. Analyse en Composantes Principales.....	49
IV.3. Etude statistique de la chimie des eaux de surface.....	52
IV.3.1. Etude statistique complète.....	52
IV.3.2. Etude statistique partielle.....	53
IV.4. Evolution spatiotemporelle de la chimie des eaux superficielles.....	57
IV.4.1. Paramètres physiques.....	57
IV.4.2. Eléments majeurs.....	65
IV.4.3. Cycle d'azote et le phosphate.....	72
IV.4.4. Métaux lourds.....	78

IV.5. Etude statistique de la chimie des eaux souterraines	85
IV.5.1. Etude statistique complète	85
IV.5.2. Etude statistique partielle	88
IV.6. Evolution spatiotemporelle de la chimie des eaux souterraines	91
IV.6.1. Paramètres physiques	91
IV.6.2. Eléments majeurs	99
IV.6.3. Cycle d'azote et phosphate	106
IV.6.4. Métaux lourds	114
IV.7. Evolution spatiale des indicateurs bactériologiques des eaux de sources	121
IV.7.1. Coliformes fécaux	121
IV.7.2. Escherichia Coli	121
IV.7.3. Streptocoques fécaux	121
IV.7.4. L'influence de traitement sur la présence des bactéries fécales dans les sources.....	122
IV.7.5. Discussion	123
IV.8. Conclusion	123
Conclusion générale	124

Références bibliographiques

Annexes.

Liste des figures

Figure 01 : Bactérie et sa structure générale	14
Figure 02 : Morphologie des organismes procaryotes	15
Figure 03 : Localisation de la zone d'étude	19
Figure 04 : Réseau hydrographique du bassin versant d'oued Nil avec ses quatre sous bassins versants (Saayoud, Boukraa, Nil et Tassift) et ses deux marécages (Rejla et El-Kannar	20
Figure 05 : Carte d'altitude du bassin versant d'oued Nil	21
Figure 06 : Esquisse géologique de la région d'Oued El Nil (Prevenant de la carte géologique d'El-Milia N°29, F. Ehrmann, 1926)	23
Figure 07 : Coupe lithologique à partir des logs stratigraphiques (Maoui et Meddour 2013).....	24
Figure 08 : Diagramme ombro-thermique (1988 - 2014)	25
Figure 09 : Vitesse du vent moyenne mensuelle (2011 – 2014).....	26
Figure 10 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative (1990 - 2014)	26
Figure 11 : Représentation graphique du bilan hydrique (septembre - 2013 à août - 2014)	28
Figure 12 : Les agglomérations principales de la plaine alluviale de l'oued Nil.....	29
Figure 13 : Stations de prélèvement pour les eaux de surface et souterraines.....	34
Figure 14 : Stations de prélèvement pour les sources.....	35
Figure 15 : Calendrier des campagnes de prélèvement pour les eaux de surface et souterraines (superficielles et profondes).....	36
Figure 16 : Prélèvements d'eau à partir d'oued Boukraa (station OB2C).....	37
Figure 17 : Prélèvements d'eau à partir de pont de marécage	37
Figure 18 : Prélèvements d'eau à partir du puits PN22	38
Figure 19 : Prélèvement d'eau à partir du forage (station FS2).....	38
Figure 20 : Multi-paramètres (WTW 305i) et pH-mètre (Mettler Toledo)	39
Figure 21 : Sonde lumineuse de marque SEBA KLL (100 m)	39
Figure 22 : Faisceau optique dans les cuves de colorimètres	41
Figure 23 : Spectromètre d'absorption moléculaire de type Odissey	42
Figure 24 : Principe de spectrophotomètre d'absorption atomique à la flamme SHIMADZU AA-6200.....	44
Figure 25 : Valeurs propres des variables des eaux de surface et souterraines	49
Figure 26 : Projection des variables et des individus sur l'axe 1 et l'axe 2 des eaux de surface et souterraines	51
Figure 27 : Projection des variables et des individus sur les axes 1 et 2 des eaux de surface	56
Figure 28 : Evolution spatiotemporelle des valeurs des paramètres physiques d'oued Boukraa.....	62

Figure 29 : Evolution spatiotemporelle des valeurs des paramètres physiques d'oued Nil.....	63
Figure 30 : Evolution spatiotemporelle des valeurs des paramètres physiques d'oued Saayoud.....	64
Figure 31 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en éléments majeurs d'oued Boukraa	69
Figure 32 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en éléments majeurs d'oued Nil.....	70
Figure 33 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en éléments majeurs d'oued Saayoud	75
Figure 34 : Evolution spatiotemporelle des formes d'azote et du phosphate d'oued Boukraa....	76
Figure 35 : Evolution spatiotemporelle des formes d'azote et du phosphate d'oued Nil.....	77
Figure 36 : Evolution spatiotemporelle des formes d'azote et du phosphate d'oued Saayoud ...	78
Figure 37 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en métaux lourds des eaux de surface	81
Figure 38 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en Fer ferreux d'oued Boukraa.....	82
Figure 39 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en Fer ferreux d'oued Nil.....	83
Figure 40 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en Fer ferreux d'oued Saayoud	84
Figure 41 : Projection des variables et des individus complète sur les axes 1 et 2 des eaux souterraines	87
Figure 42 : Projection des variables et des individus partielle sur l'axe 1 et l'axe 2 des eaux souterraines	90
Figure 43 : Localisation des puits et des forages de la plaine alluviale d'oued Nil.....	95
Figure 44 : Evolution spatiotemporelle des valeurs des paramètres physiques des puits.....	96
Figure 45 : Evolution spatiotemporelle des valeurs des paramètres physiques des forages.....	97
Figure 46 : Evolution spatiotemporelle des valeurs des paramètres physiques des sources	98
Figure 47 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en éléments majeurs des puits.....	103
Figure 48 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en éléments majeurs des forages.....	104
Figure 49 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en éléments majeurs des sources.....	105
Figure 50 : Evolution spatiotemporelle des formes d'azote et du phosphate des puits	111
Figure 51 : Evolution spatiotemporelle des formes d'azote et du phosphate des forages	112
Figure 52 : Evolution spatiale des formes d'azote et du phosphate des sources	113
Figure 53 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en métaux lourds des eaux de puits et forages.....	117
Figure 54 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en Fer ferreux des puits	118
Figure 55 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en Fer ferreux des forages.....	119
Figure 56 : Evolution spatiale des teneurs en Fer ferreux des sources (24/06/ 2014)	120
Figure 57 : Evolution spatiale de Coliformes fécaux, Escherichia coli et Streptocoques fécaux des sources (24/06 2014).....	122

Liste des tableaux

Tableau 01 : Caractéristiques du pH des eaux naturelles	7
Tableau 02 : Indicateurs de qualité des eaux	8
Tableau 03 : La température et la précipitation moyenne mensuelle (1988 – 2014)	25
Tableau 04 : Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite	27
Tableau 05 : Localisation des sources	33
Tableau 06 : Matrice de corrélation des variables des eaux de surface et souterraines.....	47
Tableau 07 : Moyenne et écart type des variables des eaux de surface et souterraines	48
Tableau 08 : Corrélation des variables aux axes des eaux de surface et souterraines	50
Tableau 09 : Matrice de corrélation complète des variables des eaux de surface	52
Tableau 10 : Matrice de corrélation partielle des variables des eaux de surface.....	53
Tableau 11 : Valeurs propres partielle des variables et des axes de l'ACP des eaux de surface	54
Tableau 12 : Statistique de la variation des valeurs de la température des eaux superficielles.....	57
Tableau 13 : Statistique de la variation des valeurs de pH des eaux superficielles.....	58
Tableau 14 : Statistique de la variation des valeurs de la conductivité des eaux superficielles..	58
Tableau 15 : Statistique de la variation des valeurs de TDS des eaux superficielles	59
Tableau 16 : Statistique de la variation des valeurs de la salinité des eaux superficielles	60
Tableau 17 : Statistique de la variation des valeurs de l'oxygène dissous des eaux superficielles.....	60
Tableau 18 : Statistique de la variation des valeurs du potentiel d'oxydoréduction des eaux superficielles.....	61
Tableau 19 : Statistique de la variation des teneurs de la dureté des eaux superficielles.....	65
Tableau 20 : Statistique de la variation des teneurs en calcium des eaux superficielles	65
Tableau 21 : Statistique de la variation des teneurs en magnésium des eaux superficielles	66
Tableau 22 : Statistique de la variation des teneurs en bicarbonates des eaux superficielles	66
Tableau 23 : Statistique de la variation des teneurs en sulfates des eaux superficielles	67
Tableau 24 : Statistique de la variation des teneurs en chlorures des eaux superficielles.....	67
Tableau 25 : Statistique de la variation des teneurs en ammonium des eaux superficielles	72
Tableau 26 : Statistique de la variation des concentrations du nitrite des eaux superficielles	73
Tableau 27 : Statistique de la variation des concentrations des nitrates des eaux superficielles.....	73
Tableau 28 : Statistique de la variation des teneurs en phosphate des eaux superficielles	74

Tableau 29 : Statistique de la variation des teneurs en métaux lourds (Cd, Pb, Cu, Cr, Zn) des eaux superficielles.....	78
Tableau 30 : Statistique de la variation de la concentration du fer ferreux des eaux superficielles.....	80
Tableau 31 : Matrice de la corrélation complète des variables des eaux souterraines	85
Tableau 32 : Moyenne et écart type complète des variables des eaux souterraines	86
Tableau 33 : Valeurs propres complète des variables et des individus des axes de l'ACP des eaux souterraines.....	86
Tableau 34 : Matrice de corrélation partielle des variables des eaux souterraines.....	88
Tableau 35 : Moyenne et écart type partielle des variables des eaux souterraines.....	89
Tableau 36 : Valeurs propres partielle des variables des axes de l'ACP des eaux souterraines.....	
Tableau 37 : Statistique de la variation des valeurs de la température des eaux souterraines.....	91
Tableau 38 : Statistique de la variation des valeurs du pH des eaux souterraines.....	91
Tableau 39 : Statistique de la variation des valeurs de la CE des eaux souterraines.....	92
Tableau 40 : Statistique de la variation des valeurs du TDS des eaux souterraines	93
Tableau 41 : Statistique de la variation des valeurs de la salinité des eaux souterraines	93
Tableau 42 : Statistique de la variation des valeurs de l'oxygène dissous des eaux souterraines.....	94
Tableau 43 : Statistique de la variation des valeurs du Eh des eaux souterraines.....	94
Tableau 44 : Statistique de la variation des teneurs de la dureté des eaux souterraines.....	99
Tableau 45 : Statistique de la variation des teneurs en calcium des eaux souterraines	99
Tableau 46 : Statistique de la variation des teneurs en magnésium des eaux souterraines	100
Tableau 47 : Statistique de la variation des teneurs en bicarbonate des eaux souterraines	100
Tableau 48 : Statistique de la variation des teneurs en sulfate des eaux souterraines	101
Tableau 49 : Statistique de la variation des teneurs en chlorure des eaux souterraines	101
Tableau 50 : Statistique de la variation des teneurs en ammonium des eaux souterraines	106
Tableau 51 : Statistique de la variation des teneurs en nitrite des eaux souterraines	107
Tableau 52 : Statistique de la variation des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines	108
Tableau 53 : Statistique de la variation des teneurs en phosphate des eaux souterraines	109
Tableau 54 : Statistique de la variation des teneurs en métaux lourds des eaux souterraines.....	114
Tableau 55 : Statistique de la variation des teneurs en fer ferreux des eaux souterraines.....	115
Tableau 56 : Variation des teneurs en Coliformes fécaux des sources avant et après le traitement.....	122

Liste des abréviations

°C :	Degré Celsius
°F :	Degré français
ACP :	Analyse composante principale
ADE :	Algérienne des eaux
ADN :	Acide désoxyribonucléique
AFO :	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
AQUAREF	laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques
CE :	Conductivité électrique
Co :	Cobalt
DDT :	Dichlorodiphényltrichloroéthane
FN2 :	Forage deux dans la nappe Nil
FN8 :	Forage huit dans la nappe Nil
FS2 :	Forage deux dans la nappe Saayoud
FS3 :	Forage trois dans la nappe Saayoud
Hg :	mercure
ISO :	International Organization for Standardization
JORA :	Journal Officiel de la République Algérienne
Mn :	manganèse
Mo :	Molybdène
NPP :	Nombre le Plus Probable
OB1C :	Oued Boukraa confluence station une
OB2C :	Oued Boukraa confluence station deux
OB4 :	Oued Boukraa station quatre
ON1C :	Oued Nil confluence station une
ON3 :	Oued Nil station trois
ON4 :	Oued Nil station quatre
ON5C :	Oued Nil confluence station cinq
ON6C :	Oued Nil confluence station six
ON7C :	Oued Nil confluence station sept
OS1C :	Oued Saayoud confluence station une
OS2C :	Oued Saayoud confluence station deux
OS2D :	Oued Saayoud rive droite station deux
OS2P :	Oued Saayoud principal station deux

OS3P :	Oued Saayoud principal station trois
OS4 :	Oued Saayoud station quatre
OS5C :	Oued Saayoud confluence station cinq
P :	Probabilité
PB10bis :	Puits dix dans la nappe Boukraa
PCB :	Polychlorobiphényles
pH :	Potentiel hydrogène
PN19 :	Puits dix-neuf dans la nappe Nil
PN22 :	Puits vingt-deux dans la nappe Nil
Se :	Sélénium
TDS :	Solide dissous total
V :	vanadium
$\mu\text{S.cm}^{-1}$:	Micro-siemens

Introduction générale

L'eau conditionne tous les aspects de la vie humaine (nourriture, agriculture, industrie, loisir...), c'est le moteur de notre vie et de notre développement. Les besoins en eau augmentent sans cesse à cause de la croissance démographique, agricole et industrielle. Donc, la problématique de l'eau est indissociable du développement durable dans la mesure où l'eau doit permettre de répondre aux besoins des générations actuelles et futures.

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 eaux potable de plusieurs communes de la wilaya de Jijel et pour l'irrigation. Cette plaine est aussi reconnue par ses zones agricoles qui couvrent la majorité de sa surface totale et par l'extension de ses zones urbaines.

La zone d'étude est à vocation essentiellement agricole, mais menacée par le problème du fait de sa démographie croissante et du développement continu du secteur industriel. Les rejets liquides d'origines domestiques, agricoles sont déversés directement dans les eaux superficielles sans traitement préalable qui traversent la plaine du sud vers le nord. Ce dernier, transformé en un égout à l'aire ouvert à l'aval des oueds étudiés (Boukraa, Nil et Saayoud) et peut être disparaître en s'infiltrant dans le sol. En période de hautes eaux et à l'occasion des rares crues, ce cours d'eau peut s'étaler vers le nord. Le long de son passage, les agriculteurs riverains de cette plaine l'utilisent pour l'irrigation de ses cultures.

L'objectif de cette étude consiste à :

- Déterminer la qualité physico-chimique et bactériologique actuelle des eaux (surface et souterraine) de la plaine alluviale de l'oued Nil (Jijel) ;
- Suivre l'évolution spatio-temporelle de la chimie des eaux ;
- Déterminer l'effet des rejets et des engrais chimiques sur la qualité des eaux ;
- Donner des recommandations pour préserver cette ressource en eau.

Pour présenter ce travail de recherche, nous avons divisés ce mémoire en quatre chapitres principaux :

- chapitre 1 (Synthèse bibliographique) : il présente notre recherche bibliographique sur les milieux aquatique, la pollution des eaux (définition, classification, impact et dépollution) et les caractéristiques (origine, norme, classification) de chaque paramètre physico-chimique, élément trace métallique et bactérie analysés ;
- chapitre 2 (Cadre général de la zone d'étude) : consacré à la présentation de la zone d'étude de point de vue géographique, hydrographique, géologique, climatologique et socio-économique ;

- chapitre 3 (Matériel et méthodes) : montre la stratégie de prélèvement, les méthodes d'échantillonnage et de conservation des échantillons, les équipements et les méthodes scientifiques utilisées pour faire les analyses chimiques et bactériologiques ;
- chapitre 4 (Résultats et discussions) : c'est le chapitre le plus important du mémoire, dans lequel nous présentons nos résultats à travers des études statistiques (élémentaire et ACP), l'évolution spatiotemporelle (courbes et graphes), l'interprétation des résultats des paramètres physico-chimique et bactériologiques et les processus responsable de chaque variation.

Chapitre I :
Synthèse bibliographique

I.1. Introduction

L'eau est un élément fondamental de la vie, recouvrant 72% de la surface de la terre. Elle représente le constituant inorganique le plus abondant dans la matière vivante. La qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques, mais également par son usage. Sa pollution peut être d'origine naturelle ou anthropique

I.2. Pollution des milieux aquatiques

Pour bien traiter ce paragraphe, nous allons présenter les milieux aquatiques, les eaux usées, la pollution des eaux et les techniques de dépollutions.

I.2.1. Milieux aquatiques**I.2.1.1. Eaux courantes (milieux lotiques)**

Elles regroupent toutes les eaux « en mouvement » : sources, torrents, ruisseaux, rivières, fleuves, constituant un vaste réseau hydrographique qui mène à la mer. Ce sont des milieux ouverts présentant des échanges constants avec les systèmes qu'ils traversent (**Genin, 2003**). Elles possèdent le pouvoir autoépuration du fait renouvellement permanent de l'eau par l'amont, une eau courante n'as pas de mémoire (**Grosclaude, 1999**). La pollution des cours d'eau s'est amplifiée au fil du temps (**Chagner, 2013**).

I.2.1.2. Eaux stagnantes (milieux lentiques)

Elles caractérisent par un courant de vitesse nulle, correspondent essentiellement aux lacs, étangs, mares et flaques. Elles se différencient par la superficie, mais surtout par la permanence de l'eau, la profondeur, l'ensoleillement et le réchauffement du fond (**Genin, 2003**). Une eau stagne favorise la sédimentation des particules en suspension et limite l'oxygénation des eaux profondes (**Grosclaude, 1999**).

I.2.2. Eaux usées

Elles sont toutes les eaux souillées, chargées de différents éléments issus de plusieurs sources. Le déversement des eaux usées constitue une grande source de pollution aquatique. On distingue trois catégories des eaux usées :

I.2.2.1. Eaux usées domestiques

Elles proviennent des habitations et en générale véhiculées par un réseau d'assainissement. Elles comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de lessive, de cuisine...) et les eaux vannes (urines et matières fécales). Ces eaux sont de forte teneur en matières minérales, en matières organiques et en divers germes fécaux (**Daffri, 2008**).

Elles sont collectées et acheminées en urbaine pour les traiter avant leur rejet final. Elles constituent un effluent brut dont la composition varie suivant la taille de la communauté urbaine d'origine, les habitudes alimentaires ainsi d'hygiène des individus et le lieu géographique étudié (**Meot, 1990**).

I.2.2.2. Eaux usées industrielles

Elles sont les rejets des procédés industriels qui utilisent de l'eau dans la composition, la fabrication et le nettoyage d'un produit. Elles sont caractérisées par une très grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau en l'industrie. Elles peuvent contenir des matières organiques (industries agroalimentaires et abattoirs), hydrocarbure (raffineries), produits chimiques parfois toxiques (industries chimiques, pharmaceutiques et tanneries) et matières radioactives (centrale nucléaire, centre de recherche et hôpitaux) (**Genin, 2003**).

I.2.2.3. Eaux usées pluviales

Elles proviennent de l'écoulement de la pluie sur les routes et autres surfaces pavées. Les eaux de pluie ne sont pas exemptes de pollutions : au contact de l'air, elles se chargent d'impuretés (fumées industrielles, résidus de pesticides...), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus, métaux lourds...). Les eaux pluviales peuvent être collectées en même temps que les eaux usées domestiques ou bien séparément (réseau unitaire ou séparatif) [1].

I.2.3. Pollution de l'eau

I.2.3.1. Définition

Par la pollution de l'eau, on entend un état qualitatif d'impureté ou de manque de propreté des eaux hydrologiques d'une certaine région, comme un bassin versant. Cet état résulte d'un évènement ou processus qui réduit l'utilité des eaux du globe, spécialement en ce qui concerne la santé de l'être humain et les effets sur l'environnement (**Stellman, 2000**).

I.2.3.2. Pollution des eaux des lacs et des réservoirs

Les lacs et les réservoirs assurent le stockage de l'eau apportée par le bassin versant. Ils revêtent donc une importance spéciale pour la rétention de certains composants, en particuliers les nutriments qui favorisent l'eutrophisation (**Stellman, 2000**). C'est précisément un apport excessif en nitrates et phosphates qui entraînent un déséquilibre de l'écosystème dû à un excès de nutriments et de matières organiques biodégradables qui se traduit par une croissance énorme des algues. Leur décomposition met en œuvre des bactéries consomment de l'oxygène et génèrent des substances toxiques. La prolifération de ces algues en surface empêche la pénétration de la lumière et les eaux profondes sont désoxygénées. Les espèces animales et les bactéries aérobies meurent. Seules

survient les bactéries anaérobies qui se multiplient provoquant des fermentations qui libèrent des gaz nauséabonds (**Bettati, 2012**). Le seul moyen efficace pour supprimer l'eutrophisation des lacs consiste à réduire la présence des éléments nutritifs. Il est possible de développer et d'implanter des races de poissons herbivores (**Hertig, 2006**).

I.2.3.3. Pollution des eaux souterraines

L'eau souterraine est l'eau qui existe dans les pores, les fissures des roches et dans les sédiments sous la terre. Elle est naturellement alimentée par la surface, grâce aux précipitations, aux cours d'eau et aux infiltrations d'eaux provenant des rivières. C'est un réservoir naturel à long terme.

Les bassins hydrogéologiques souterrains ont des formes et des limites parfois très différentes de celles des bassins topographiques de surface. L'eau souterraine est courante, non stagnante et naturellement filtrée (**Lallemand-Barrès et Roux, 1999 ; Collin, 2004**). Alors que le cheminement des écoulements souterrains est dicté par la pente la plus marquée en tous points de bassin et de la porosité du sol (**Anctil, 2008**).

Pour la contamination des eaux souterraines, le risque est essentiellement lié au régime pluviométrique, à l'épaisseur de la zone non saturée, aux interactions nappes-rivières et la vitesse des écoulements à travers le sol et sous-sol. Généralement, le couple rétention-dégradation détermine la mobilité de substances nocives (**Aubertot et al, 2007**).

I.2.4. Impact de la pollution aquatique sur la santé

L'insalubrité de l'eau de boisson, le manque d'installations d'assainissement et la carence en hygiène sont les causes principales de maladies entériques comme la diarrhée, l'hépatite, le choléra, les infections intestinales. La prévalence des maladies à vecteurs, comme la malaria et l'encéphalite aussi associées à l'eau. Les polluants de l'eau ont d'autres effets spécifiques sur les organismes vivants. Qu'ils soient liés à un endommagement de l'ADN (génétoxicité), au développement du cancer comme avec le DDT et les PCB, à la neurotoxicité ou aux perturbations endocriniennes qui empêchent la reproduction, la plupart des effets des contaminants de l'eau sont majeurs et chroniques (**Gautier et Fellous, 2008**). Les maladies à transmission hydrique sont nombreuses, transmises par l'eau, peuvent être graves à mortelles (**Bonnefoy et al., 2002**).

I.2.5. Techniques de désinfection de l'eau

Toute eau de boisson fournie à la population, avant d'être distribuée, doit subir un traitement qui devra lui être appliqué afin d'exclure tout risque de pollution ou de contamination. Les méthodes de traitement des eaux s'effectuent par voie physique (l'ébullition, rayons ultraviolets, ultrafiltration) ou chimique (elle consiste à injecter un désinfectant afin assurer en permanence une eau exempte).

Pour la désinfection physico-chimique : il convient de respecter un temps de contact et une dose d'application adaptée afin d'assurer l'efficacité de l'action du composé (**Juery, 2002**). Selon les moyens disponibles et par rapport au coût des installations, la chloration reste le procédé le moins coûteux et le plus efficace et utilisable.

I.3. Généralités sur les indicateurs surveillances de la qualité d'eau

I.3.1. Paramètres physiques

La température, conductivité, alcalinité et pH sont des facteurs physico-chimiques susceptibles d'intervenir dans la répartition des organismes et ont une grande influence sur l'activité biologique d'un cours d'eau (**Gaujous, 1995 et Anglier, 2000**).

I.3.1.1. Conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique (**Villers et al., 2005**). La mesure de conductivité de l'eau permet d'apprécier sa minéralisation. Plus l'eau est riche en sels minéraux, plus la conductivité est élevée. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électroniquement. La conductivité est également en fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente.

I.3.1.2. Oxygène dissous

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est en fonction de la pression atmosphérique (donc de l'altitude), de la température et de la minéralisation de l'eau : la saturation en O₂ diminue lorsque la température et l'altitude augmentent.

L'oxygène dissous joue un rôle essentiel dans l'épuration naturelle de l'eau par le processus de biodégradation, aussi dans la survie de la flore et de la faune aquatique (**Defrancechi, 1996 ; Collin, 2004**). Il est issu dans l'eau à deux sources : photosynthèse des organismes végétaux et le contact avec l'atmosphère (**Touchart, 2003**). Globalement, plus la concentration en oxygène dissous proche de la saturation, plus l'aptitude de la rivière à absorber la pollution est grande (**Villers et al., 2005**).

I.3.1.3. Potentiel d'hydrogène

Le pH est une mesure de l'acidité et de l'alcalinité d'une eau c'est-à-dire de la concentration d'ion d'hydrogène (H⁺). Les pH faibles augmentent notamment le risque de présence des métaux sous forme ionique plus toxique. Tandis que les pH élevés accroissent les concentrations en ammoniac toxique pour les poissons (**Villers et al, 2005**).

Il dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé. Le pH d'une eau naturelle est en fonction des concentrations en CO₂ dissous et en hydrogénocarbonates.

Tableau 01 : Caractéristiques du pH des eaux naturelles [2].

pH < 5	- Acidité forte ; - Présences d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles.
pH = 7	pH neutre ;
7 < pH < 8	Neutralité approchée, majorité des eaux de surface ;
5,5 < pH < 8	Eaux souterraines ;
pH > 8	Alcalinité, évaporation intensive.

I.3.1.4. Potentiel redox

C'est une capacité relative d'une espèce chimique (atome, ion ou molécule) de donner ou d'accepter des électrons d'une autre espèce chimique. Le potentiel redox est exprimé en volt. (**Ramade, 2000**). Ce paramètre permet de prévoir l'état des ions chimiques dans l'eau et la direction des réactions chimiques (oxydation ou réduction).

I.3.1.5. Température

La température de l'eau varie de plusieurs degrés pendant les saisons, ainsi est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle réagit à la majorité des réactions physiques, chimiques et biologiques (**Chapman et Kimstach, 1996**). Toute variation brusque de ce paramètre entraîne une perturbation dans l'équilibre de l'écosystème aquatique (**Derwich et al., 2010**).

Il est important de connaître la température de l'eau avec précision lorsque les processus de dissolutions et déséquilibres entre les sels minéraux contenus dans une eau sont fortement influencés par la température à laquelle s'effectuent ces réactions (**Collin, 2004**).

Dans les eaux naturelles et au-dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de microorganismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de la turbidité et une variation de la couleur (**Rodier, 1996**).

I.3.2. Paramètres chimiques

I.3.2.1. Minéralisation globale

Les éléments majeurs dont les teneurs sont dans la majeure partie des cas supérieurs au mg/l et ont origine de la roche réservoir (**Hartemann et Moll, 1992**). Ils donnent à l'eau sa carte

d'identité et sa qualité gustative encore, les sels dissous et les électrolytes, dissociés sous forme d'ions, reflètent la nature géologique des terrains traversés (Anglier, 2000 ; Collin, 2004).

I.3.2.1.1. Calcium et Magnésium

Le calcium et le magnésium sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et largement représentés dans la plupart des eaux.

L'altération des roches cristallines libère ces éléments, mais en quantité moindre que certaines roches sédimentaires carbonatées, dont les principales sont la calcite (CaCO_3), la dolomie $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, la magnésite (MgCO_3), le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), l'apatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$) ou la fluorine (CaF_2). Notons également les grès et roches détritiques au ciment carbonaté [2].

Le calcium possède des effets bénéfiques, pendant que peut bloquer l'absorption des métaux lourds, accroître la masse osseuse et prévenir certains types de cancer. Mais, La carence en calcium peut entraîner certains troubles neurologiques.

Le magnésium intervient comme activateur de certains systèmes enzymatiques de la synthèse protéique et lipidique. Un déficit en Mg^{2+} entraîne des troubles neuromusculaires de type spasmophilie et des manifestations cardiaques.

Tableau 02 : Indicateurs de qualité des eaux [2].

$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ $\text{Ca}^{2+} / \text{Na}^{2+} = 18$	Marque de l'eau de mer (intrusion saline) ;
$\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+} > 2$	Présence de gypse (CaSO_4) ou de calcite (CaCO_3) ;
$\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+} = 1$	Présence de dolomie (CaMgCO_3) ;
$\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+} < 2$	Marque de l'eau de mer (intrusion saline ou échange de bases) ;
$\text{K}^+ / \text{Na}^{2+} = 1$	Terrain cristallin.

I.3.2.1.2. Chlorure

Dans la nature, le chlorure se trouve sous forme de NaCl , KCl et CaCl_2 . La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution des roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. Le rôle des roches cristallines dans la minéralisation en chlorures est faible. L'apport par les précipitations est d'autant plus important que la distance à la mer est faible [2]. A fortes concentrations (supérieur à 200 mg/l) sont toxiques pour les plantes, en particulier pour les algues (Liechti, 2010).

I.3.2.1.3. Dureté totale

La dureté de l'eau, ou titre hydrotimétrique (TH), est un indicateur de la minéralisation de l'eau, qui correspond à la teneur de l'eau en calcium et en magnésium (Davezac et al., 2008).

Les eaux les plus dures sont généralement les plus fortes teneuses en calcium et magnésium, elles ne forment pas de mousse avec le savon et entraînent une consommation excessive de ce dernier. Certains désinfectants, antibiotiques (tétracycline) seront moins actifs en présence d'une eau dure (**Martineau, 1997**).

On fait couramment baisser la dureté des eaux de distribution par l'utilisation d'échangeurs d'ions appelés résines et formant un ion géant (**Defrancechi, 1996**).

I.3.2.1.4. Sulfates

La présence des sulfates dans des eaux naturelles invoque la présence de gypse ou de pyrite. Le sulfate résulte également de l'activité de certaines bactéries (chlorothiobactéries, rhodothiobactéries, etc.). Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré (H_2S) toxique en sulfate (**Belghiti, 2013**).

Les sulfates minéraux sont absents de l'alimentation mais peuvent être contenus en grande quantité dans l'eau de boisson. L'absorption intestinale est très réduite, se faisant sous forme exclusivement de sulfite (**Hartemann et Moll, 1992**).

I.3.2.2. Paramètres de pollutions

I.3.2.2.1. Ammonium

L'ammonium (NH_4^+) dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. Lorsque le pH augmente, on retrouve l'ammoniac un gaz soluble dans l'eau et toxique pour la vie aquatique.

La présence d'ammonium, en particulier dans les eaux de surface, peut être considérée comme un indicateur de pollution. Cependant, il constitue un élément gênant, car il interfère avec la chloration pour former des chloramines modifiant l'odeur et le goût de l'eau (goût de chlore), et il est aussi un aliment pour certaines bactéries qui peuvent ainsi proliférer dans les réseaux de distribution.

I.3.2.2.2. Nitrite

Les nitrites sont des sels de l'acide nitreux, ils se forment lorsque le phénomène de la dénitrification est réduit du nitrate en ion nitrite (NO_2^-) sous l'action de bactéries telles *Pseudomonas denitrificans* (**Ramade, 2000**). Ils proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques.

Ils constituent une étape importante dans la mobilisation des composés azotés. L'ion nitrite est très instable, très réactif et peut se transformer en d'autres composés (**Leyral, 2007**). La présence de nitrite d'origine naturelle est très rare. Dans les eaux de surface, leur teneur est en général inférieur à 1 mg/l (**Rejesk, 2001**).

Ils peuvent se combiner avec certaines amines ou amides et donnée naissance à des composés «*N-nitroso*» nitrosamines ou nitrosamides, dont l'action cancérigène (**Vilaginès, 2010**).

I.3.2.2.3. Nitrate

Les nitrates (NO_3^-) sont très solubles dans l'eau ; ces ions stables, peu réactifs, ils migrent donc aisément dans la nappe phréatique lorsque les niveaux excèdent les besoins de la végétation (**Leyral, 2007**).

Les plantes assimilent l'azote sous forme minérale, soit nitrate soit ammonium. Leurs concentrations naturelles du nitrate ne dépassent pas 3 mg/l dans les eaux superficielles et quelque mg/l dans les eaux souterraines (**Rejesk, 2001**). L'utilisation de fertilisants synthétiques et de fumiers, associée aux cultures et à l'élevage intensifs, favorise l'apparition de nitrates dans l'eau.

Les installations septiques déficientes, de même que la décomposition de la matière végétale et animale, peuvent aussi être une source de nitrates dans l'eau (**Levallois et Phaneuf, 1994**).

Il est donc important de mettre en œuvre une lutte contre la présence de ces nitrates dans l'eau notamment de consommation.

I.3.2.2.4. Phosphate

Les phosphates (PO_4^{3-}) sont de sels de l'acide phosphorique composant des engrais phosphatés, fait partie des éléments majeurs nécessaires à la croissance végétale. L'excès de phosphates nuit les eaux naturelles (**Grosclaude, 1999**).

Les phosphates interviennent dans la composition de nombreux détergents. Ils doivent être dégradés hydrolysés par les bactéries en orthophosphates pour être assimilables par les autres organismes aquatiques (**Villers et al, 2005**).

I.3.2.3. Les métaux lourds

I.3.2.3.1. Définition

Les métaux lourds sont des métaux dont la masse volumique est supérieure à 5 g.cm^{-3} . Alors, l'arsenic et sélénium ne sont pas des métaux mais des métalloïdes et inclus aussi dans cette appellation. Dans le domaine des sciences de l'environnement, on utilise couramment la notion d'éléments traces métalliques (ETM) (**Gilles, 2012**).

Pour l'environnement aquatique, les métaux se trouvent dans les fractions solubles, colloïdales et particulaires, principalement sous forme de cations métalliques.

D'autre point biologique, on distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques : métaux essentiels et métaux toxiques.

- les métaux essentiels sont souvent indispensables au métabolisme des êtres vivants à des concentrations de l'état de trace. Parfois, certains peuvent devenir toxiques lorsque leurs

teneurs dépassent une valeur seuil. C'est le cas des oligo-éléments tels que : Cu, Zn, Ni, Cr, Co, Fe, Mn, Mo, Se, Sn, V.

- métaux toxiques ont un caractère polluant avec des effets défavorables pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule C'est le cas du Pb, Cd et Hg (**Kadouche, 2013**).

La toxicité d'un métal n'est pas uniquement liée à sa concentration mais également à sa valence aux ligands avec lesquels il est associé.

I.3.2.3.2. Origine des métaux lourds

a. Origine naturelle

Les principales sources naturelles de ces éléments métalliques pour le milieu aquatique sont les émissions volcaniques, les incendies de forêts, la diffusion des aérosols naturels à partir du sol et de l'eau. L'érosion de l'écorce terrestre est susceptible d'enrichir les cours d'eau en éléments métalliques.

b. Origine anthropique

Les activités humaines sont responsables de plusieurs polluants métalliques rejetés dans l'environnement de diverses sources :

- Les apports industriels (dominés principalement par les rejets des industries métallurgiques, l'extraction de minerai, la combustion de combustibles fossiles et la production de ciment, de fumées industrielles d'entreprises métallurgiques) ;
- Les apports agricoles (notamment par les fertilisants, les pesticides, les boues de stations d'épuration) ;
- Les apports domestiques (par lixiviation des déchets stockés en décharge, l'intermédiaire des produits chimiques et matériels que nous utilisons quotidiennement pour nos besoins).

I.3.2.3.3. Les métaux lourds étudiés

Dans ce paragraphe, nous présentons notre recherche bibliographique seulement pour les métaux dosés dans notre étude.

a. Cadmium

C'est un métal blanc argent (légèrement bleuté), très malléable et ductile mais, se rencontre à l'état de traces dans la plupart des sols et presque toujours associé avec des minerais de zinc ou de plomb (**Bur, 2008 ; Savary, 2010**). Le cadmium serait présent dans toutes les roches, mais de façon prépondérante dans les roches sédimentaires et plus abondant dans les sédiments riches en sulfures et phosphates (**Baize, 1997**).

En revanche, le cadmium dans l'eau, n'a ni goût, ni odeur, ni couleur, et ne peut être détecté que par une analyse chimique. Ce métal n'est pas naturellement présent dans les eaux, se trouve à l'état d'ion échangeables et dialysables. Selon la composition de l'eau il peut aussi précipiter en tant que carbonate de cadmium (CdCO_3) ou d'hydroxyde de cadmium, cependant dans des conditions acides, la solubilité du cadmium augmente et une légère adsorption (**Hartemann et Moll, 1992 ; Burnol et al., 2006**). Il fait l'objet d'un important usage dans les industries électriques, électroniques et comme stabilisateur de matière plastique (**Ramade, 1998**).

Le cadmium peut provoquer des troubles cardiovasculaires, mais leur exposition à long terme entraînant une atteinte rénale jusqu'à une évolution de l'insuffisance rénale grave. Il est un cancérigène reconnu chez l'homme.

b. Cuivre

C'est un élément le plus essentiel pour les plantes et les animaux. Il intervient dans nombreuses fonctions physiologiques : croissance du fœtus et du nouveau-né, synthèse de l'hémoglobine, développement des tissus de connexion en particulier dans le système cardiovasculaire et dans les os, ainsi que dans les processus inflammatoires (**Marcato, 2007**).

Le cuivre provoque l'altération des branchies de poissons et retarde leur ponte, il rentre dans la composition des pigments respiratoires des mollusques et provoque le verdissement des huîtres (**Gaujous, 1995**). Il cause aussi l'anémie hémolytique, brûlure épigastrique, nausée, vomissement, diarrhée et des malformations neurologiques.

c. Chrome

Le nom « chrome » vient du mot grec « chroma » qui signifie « couleur » et se rapporte aux nombreux composés colorés qui composent le chrome. Ce dernier entre dans la composition d'aciers inoxydables, d'aciers spéciaux et d'alliages. Il améliore la dureté des métaux et leur résistance à la corrosion (**Amiard, 2011**).

Le chrome se trouve rarement naturellement sous sa forme élémentaire. Les roches ultrabasiques (dunites, serpentinites, péridotites) sont les plus riches en chrome, où cet élément provient principalement de la chromite ($\text{FeCr}_2\text{O}_4(\text{s})$) et partiellement de la crocoïte (PbCrO_4) (**Burnol et al., 2006**).

L'ingestion massive de sels de chrome est rare et capable de provoquer des inflammations graves du système gastro-intestinal suivies par des nécroses du foie et des reins (**Léonard, 1990**). Les dérivés du Cr^{3+} sont des agents cancérigènes reconnus chez l'homme, pouvant être à l'origine de cancers broncho-pulmonaires et des cavités nasales (**Viala et Botta, 2007**).

d. Fer

Le fer est le métal le plus utilisé sous diverses formes dans une multitude d'applications d'usage courant. Les eaux étant au contact de l'air, il ne devrait y avoir de Fe^{2+} et leurs présences indiquent l'absence d'équilibre (**Michard, 2002**).

La présence de fer dans l'eau au-delà de 0,3 mg/L peut être gênante car elle confère à l'eau une couleur jaune à orangée, provoque des dépôts d'hydroxyde ferrique, donne un goût métallique désagréable et tache le linge (**Martineau, 1997**).

d. Plomb

Le plomb est un métal mou, bleuâtre à gris-argent et un toxique cumulatif (**Viala et Botta, 2007**). La présence de plomb dans l'eau potable est rarement d'origine naturelle et ne donne aucun goût à l'eau et notamment liée à l'action anthropique.

Le plomb est issu d'un minerai, la galène. Son utilisation est directement liée à la métallurgie. La révolution industrielle a entraîné de nouvelles utilisations massives et une augmentation exponentielle depuis siècle tout en transformant radicalement. L'utilisation dominante était liée aux carburants automobiles (**Bettati, 2012**).

Après la pénétration du plomb dans l'organisme peut se retrouver dans le sang, le foie, les poumons, les reins, la rate, la moelle épinière et finalement dans les os. La sensibilité des femmes enceintes au plomb est élevée et suspectée d'avoir des effets tératogènes. Impact sur la fertilité pour des concentrations de 0.4 à 0.5 mg/l (**Dedrancehi, 1996 ; Douard et Lebental, 2013**). Il a une action spécifique sur la synthèse de l'hème et peut affecter le métabolisme des neurotransmetteurs (**Léonard, 1990**). Les composés minéraux de Pb agissent encore sur le système nerveux, provoquant des retards du développement psychique chez les enfants exposés au Pb (**Degobert, 1992**).

e. Zinc

Le zinc est un métal ductile, de couleur bleu-gris. Il réagit avec les bases, les acides et ternit au contact de l'air. Il est rencontré en association avec le plomb, le cuivre, l'or et l'argent et présenté sous forme de sphalérite (ZnS), smithsonite (carbonate), calamine (silicate), et franklinite (zinc, manganèse, oxyde de fer) (**Burnol et al., 2006**).

Il se trouve dans l'eau sous diverses formes : ion hydraté, zinc complexé par les ligands organiques, adsorbé sur la matière solide, oxydes de zinc. Le zinc semble être un élément très facilement assimilable par de nombreuses espèces végétales (Juste et al., 1995).

Le zinc est utilisé dans de nombreuses applications en particulier dans les industries mécaniques, pour la réalisation d'alliages variés. La production mondiale s'élève à 10 millions tonnes par an. Les principales causes de pollutions par le zinc tiennent dans les retombées atmosphériques, en particulier de la métallurgie non ferreuse, ainsi que dans l'usage des engrais phosphatés et les épandages de lisiers provenant de l'élevage industriels (Ramade, 2011).

I.4. Généralités bactériologiques

Il existe un grand nombre de microorganismes pathogènes susceptibles de se retrouver dans les eaux et la majorité de ces microorganismes proviennent de déjections humaines ou animales. L'analyser d'une eau pour tous les pathogènes connus est un procédé compliqué et coûteux.

I.4.1. Bactéries

Une bactérie est un être simple, unicellulaire et procaryote. Elle possède de l'ADN, des ribosomes, une membrane cytoplasmique, un plasmide, de façon inconstante une capsule, un flagelle (mobilité), et une paroi qui est spécifique des bactéries. Elle conditionne leur forme ainsi que la réponse au traitement antibiotique. Toutefois, il existe des bactéries dépourvues de paroi (Cambau, 2013) (figure 01).

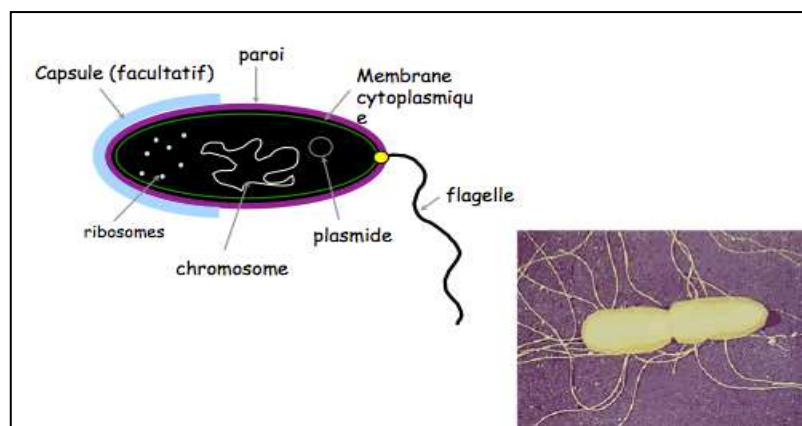


Figure 01 : Bactérie et sa structure générale (Cambau, 2013).

I.4.1.1. Caractéristiques morphologiques des bactéries

a. Forme

La cellule bactérienne diffère de formes dont les plus courantes sont le coque (sphère), le bacille (bâtonnet) et la forme intermédiaire ou coccobacille. On trouve aussi le vibron (bâtonnet incurvé « en virgule »), le spirille (bâtonnet spiralé) et des formes diverses (massues, filaments, etc.).

Il existe des espèces relativement polymorphes. Les groupements de plusieurs individus peuvent aussi caractériser une espèce : couples (diplocoques), chaîne (streptocoques ou streptobacilles), amas caractériser une espèce : couples (diplocoques), chaîne (streptocoques ou streptobacilles), amas anarchiques ou ordonnés (tétrades) (**Guiraud, 1998**) (figure 02).

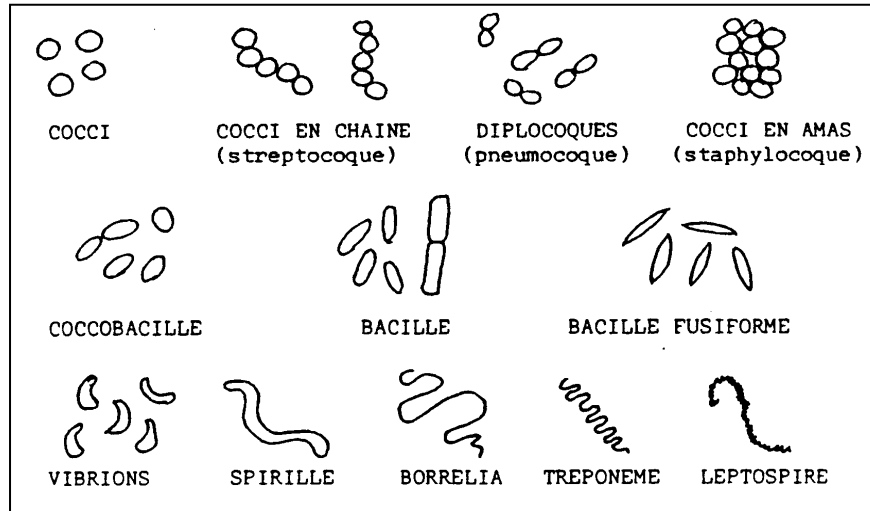


Figure 02 : Morphologie des organismes procaryotes [3].

b. Taille

Les bactéries les plus petites ont une taille d'environ 0,2 µm (Chlamydia) et les plus longues certains Spirochètes peuvent atteindre 250 µm de long. En moyenne la taille se situe entre 1 et 10 µm.

I.4.1.2. Composition chimique

Les cellules bactériennes contiennent en moyenne 80% d'eau. Le reste est composé de quantités variables, selon l'espèce et les conditions de culture, de protéines (30 à 50%), d'acides nucléiques de 15%, de matières minérales (10 à 13%), de lipides et glucides (**Guiraud, 1998**).

I.4.1.3. Mobilité cellulaire

La mobilité peut être passive, due aux mouvements du milieu ou active liée à la présence d'un appareil locomoteur (système ciliaire composé d'un ou plusieurs cils ou flagelles). Elle est un facteur qui favorise les contaminations parfois le pouvoir pathogène (**Guiraud, 1998**).

I.4.1.4. Conditions du développement microbien

a. Conditions nutritives

Pour qu'un microorganisme vive ou se développe, il doit trouver dans le milieu les éléments nécessaires à ses synthèses comme (C, O, H et N) en quantité importante, (P et S) en quantité plus faible et enfin les oligoéléments (Ca, Co, Cu, K, Mg, Mn, Na, Fe, Zn, etc.). L'hydrogène et

l'oxygène supplémentaire, l'azote, le phosphore et le soufre peuvent être tirés de molécules organiques ou minérales variées (**Dupin et al., 1992**).

b. Conditions physicochimiques

Les bactéries se développent dans des milieux de culture dont le pH est en générale entre 6.5 et 7.5, au contraire, d'autres bactéries préfèrent des milieux très acides ou basiques (**Delarras, 2014**). La température augmente l'activité métabolique et la synthèse de molécules biocides ou encore favorise certaines réactions chimiques.

I.4.2. La flore de l'eau

En absence de toute pollution d'origine animale, les bactéries présentes dans l'eau proviennent du sol, des végétaux bordant le cours d'eau, et des plantes aquatiques. La flore de l'eau est donc toujours abondante et très diversifiée : coque à Gram⁺ mais aussi bacilles à Gram⁻ (**Leyral et Vierling, 2007**).

I.4.3. Origine de la pollution fécale

La contamination par des matières fécales humaines ou animales représente la principale source des pathogènes dans l'eau potable. Elle issue de plusieurs origines comme :

- Fosses septiques et rejets d'eaux usées mal traités ;
- Lessivage de fumiers animaux ;
- Eaux de ruissellement ;
- Animaux domestiques ou sauvages.

I.4.4. Critères pris en compte dans le choix des flores indicatrices

- *La sensibilité de détection* qui est d'autant plus grande que le germe recherché représente une fraction plus importante de la population contaminant : ces microorganismes doivent apparaitre en plus grande quantité que les pathogènes ;
- *La résistance des microorganismes indices* qui est définie par leur durée de survie dans le milieu extérieur et qui doit être supérieur à celle des germes pathogènes ;
- *La spécificité à l'égard de la source de contamination* c'est le cas des coliformes thermotolérants, en plus particulièrement *E. coli* (**Bonnefoy et al, 2002**).

I.4.5. Les bactéries indicatrices d'une pollution fécale

Les flores indicatrices de contamination fécale sont présentées par les microorganismes vivant normalement dans l'intestin de l'homme et des animaux, subdivisées en trois groupes :

- Les coliformes et coliformes thermotolérants, en particulier *E. coli*, ainsi que les entérobactéries dans leurs ensembles ;

- Les streptocoques fécaux ;
- Les Clostridium sulfitoréducteurs.

I.4.5.1. Coliforme totaux

Les bacilles sont des Gram-, on sporulés, oxydase-, aérobies ou anaérobies facultatifs, capables de se multiplier de sels biliaires ou d'autre agents de surface ayant des propriétés équivalentes et capable de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 48 h à une température de 35 - 37°C (**Bourgeois et al, 1996**).

Les espèces incluses dans les CT ne sont pas spécifiques de la flore intestinale des animaux à sang chaud. En effet, certaines espèces sont d'origine tellurique ou aquatique et sont capables de se développer dans l'environnement aquatique (**Tallon et al., 2005**).

I.4.5.2. Coliformes fécaux

Les coliformes thermo-tolérants sont un sous-groupe des coliformes totaux et sont capables de survivre et de croître à 44°C. La détection d'un seul coliforme fécal/100 ml entraîne un avis immédiat de faire bouillir l'eau. En période estivale, en particulier lorsque la température de l'eau dépasse 15°C, des proliférations de bactéries sont parfois observées de manière récurrente dans certains réseaux de distribution (**Chevalier, 2003**).

I.4.5.3. Escherichia coli

Les *E. coli* sont des coliformes thermotolérant et des bacilles à coloration de Gram négatif, capables de produire de l'indole dans l'eau peptone contenant du tryptophane. Ces bactéries sont des hôtes normaux de notre intestin et de celui des animaux à sang chaud et sa présence dans l'eau potable signifie de l'existence d'une contamination fécale récente pouvant contenir des micro-organismes pathogènes, comme des bactéries, des virus ou des parasites. Toute fois certaines souches d'*Escherichia coli* peuvent être à l'origine de pathologies extra-intestinales (méningites infections urinaires). Ces bactéries même être considérées comme des agents zoonotiques (pathologie chez les animaux comme œdème en porc) (**Dromgny, 2012**).

I.4.5.4. Les streptocoques fécaux

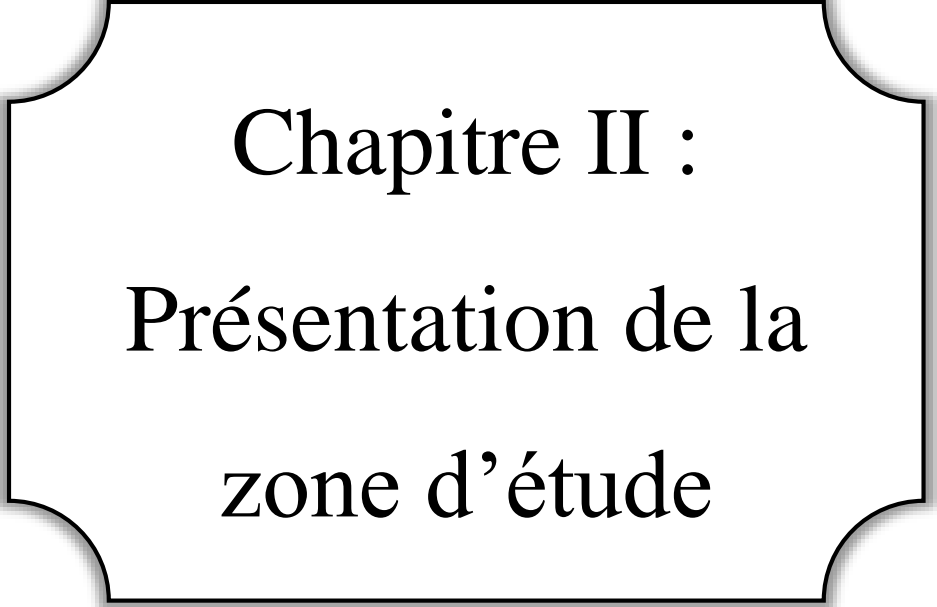
Ce sont des cocci Gram+, en chaînettes, catalase négative et possédant l'antigène de groupe D. Ces germes sont associés aux coliformes fécaux, ils sont considérés comme un bon indicateur de pollution, aussi utilisés comme indicateurs d'efficacité de traitement, car ils sont nettement plus résistants que les coliformes et autres entérobactéries pathogènes (**Leyral et Vierling, 2002**). Les streptocoques fécaux sont en grande partie d'origine humaine et peuvent être responsable de septicémies et d'endocardites (**Delarras et al., 2010**).

I.4.5.5. Clostridium sulfito-réducteurs

Les clostridium sulfito-réducteurs sont des germes capables de sporuler et de se maintenir longtemps dans l'eau. Ils sont donc les témoins d'une pollution ancienne. Plus difficilement tués que les coliformes par les désinfectants (**Larpen, 1988**). Elles se développent en conditions anaérobies et forment des colonies dénombrables typiques dans un milieu au sulfite de fer (**Dromgny, 2012**).

I.5. Conclusion

La pollution chimique des eaux naturelles constitue une menace tant pour le milieu aquatique, avec des effets tels qu'une toxicité aiguë et chronique pour les organismes aquatiques, l'accumulation des polluants dans les écosystèmes, la disparition d'habitats et la perte de biodiversité, que pour la santé humaine. La pollution anthropique perturbe l'équilibre naturel par l'addition des déchets issus de diverses sources.



Chapitre II :
Présentation de la
zone d'étude

II.1. Localisation de la zone d'étude

La plaine alluviale d'oued Nil fait partie des plaines côtières de la wilaya de Jijel (Nord-Est algérien). Elle s'éloigne du chef-lieu de la wilaya par une distance de 15 Km (calculée sur Google Earth) et couvre une superficie de 58 km². Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par les reliefs de la petite Kabylie, à l'Est par la commune de Chekfa et El-Kannar et à l'Ouest par la commune de Taher (figure 03).

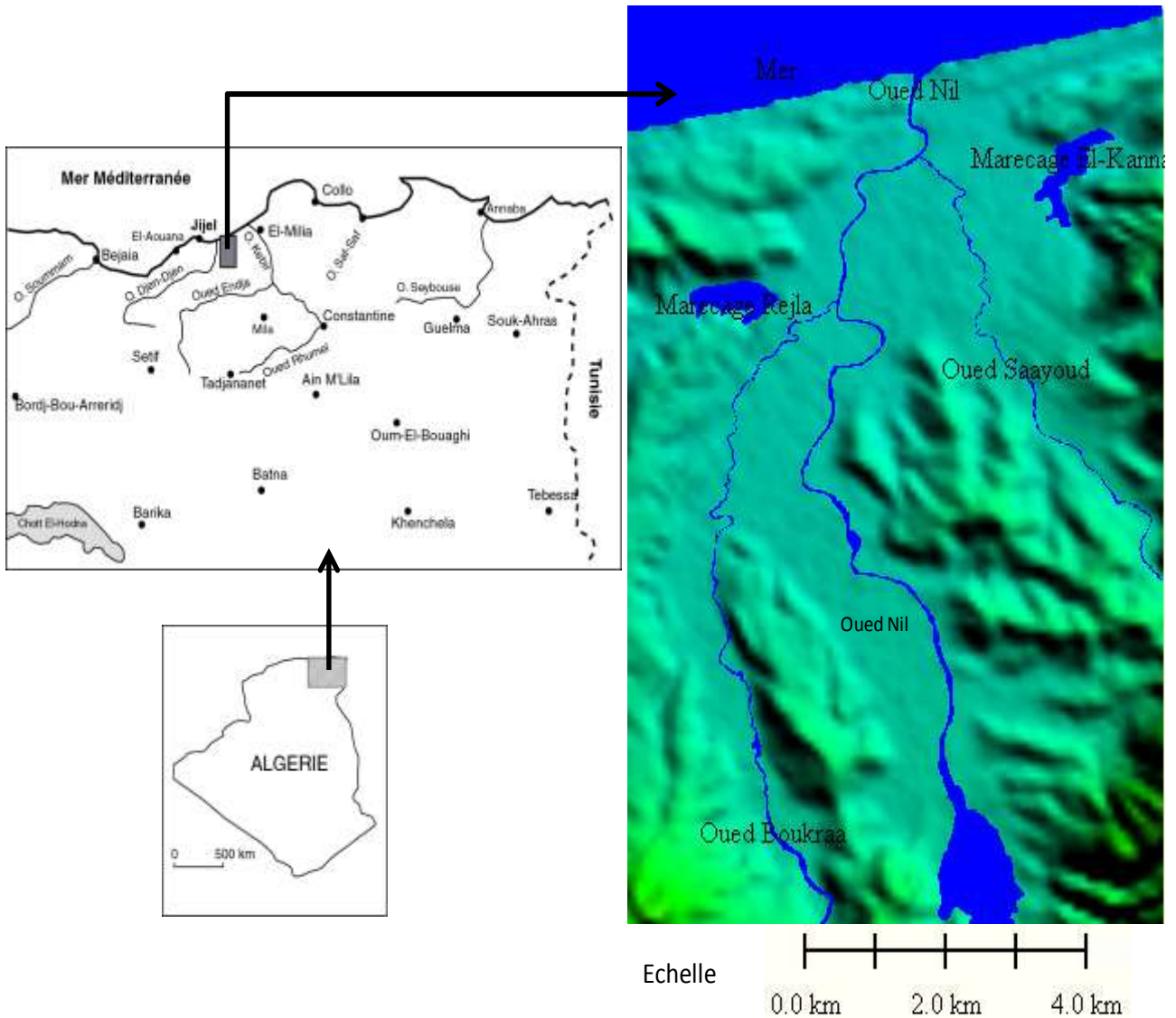


Figure 03 : Localisation de la zone d'étude.

II.2. Réseau hydrographique

Le secteur d'étude fait partie d'une unité hydrologique qui appartient au bassin versant d'oued Nil (303,24 Km²), son réseau hydrographique est orienté Sud-Nord (figure 04) et son débit annuel est de 230 millions de mètres cubes à l'embouchure (Lehtihet, 1983).

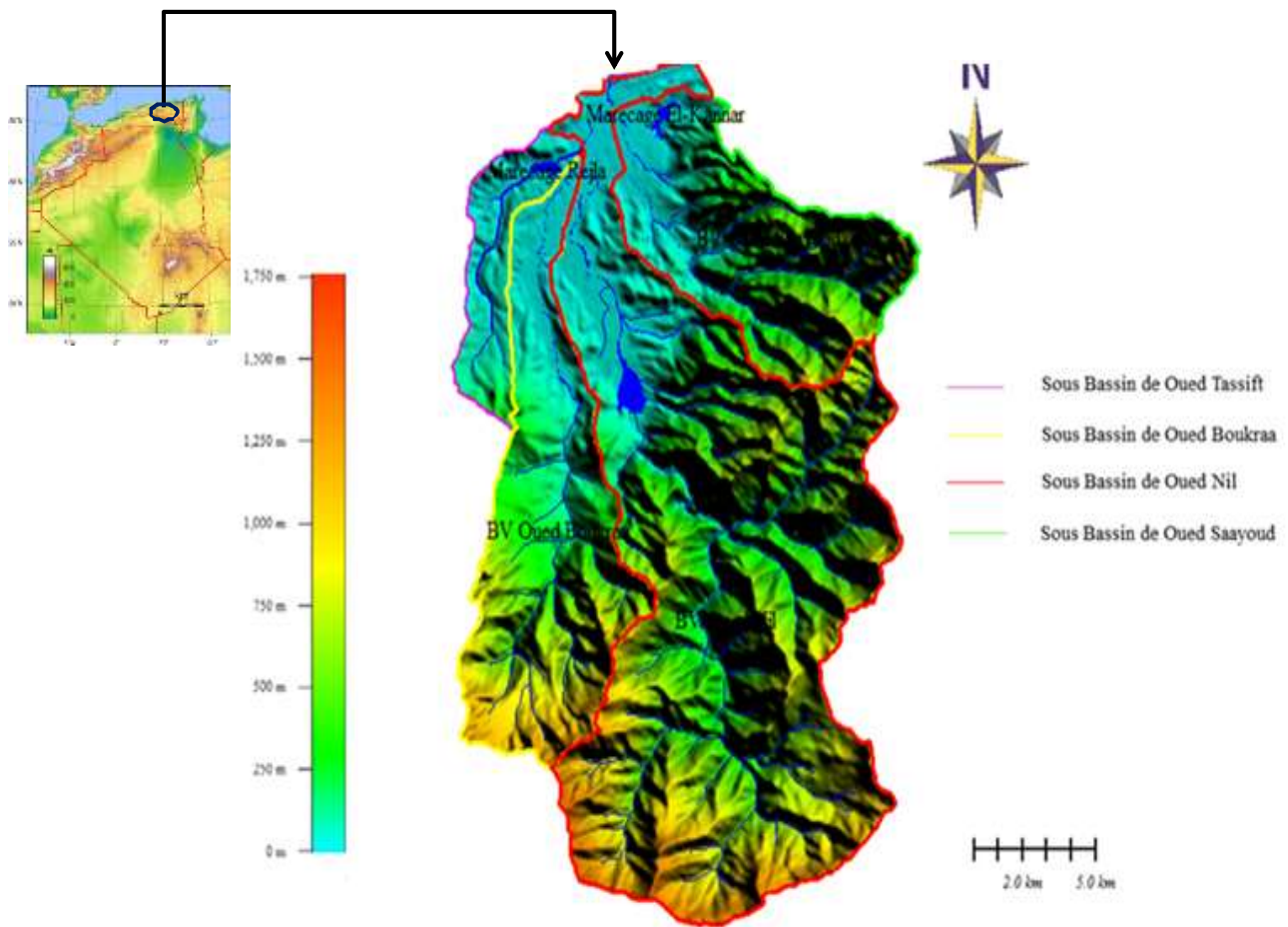


Figure 04 : Réseau hydrographique du bassin versant d'oued Nil avec ses quatre sous bassins versants (Saayoud, Boukraa, Nil et Tassift) et ses deux marécages (Rejla et El-Kannar) (Sadoun, 2013).

Le réseau hydrographique d'oued Nil est très dense et favorable à la réalisation d'ouvrages hydrauliques. Il est présenté principalement par l'oued Nil et ses trois affluents (oued Boukraa, oued Saayoud et oued Tassift). Le lit de ces oueds a une largeur de 10 à 35 m et une profondeur de 0.5 à 2 m. Il est considéré comme une grande charge potentielle superficielle destinée à l'irrigation et l'élevage. Il est principalement présenté par ses quatre sous bassin versant :

- Sous bassin versant d'oued Nil (175,5 Km²) ;
- Sous bassin versant d'oued Boukraa (61 Km²) ;
- Sous bassin versant d'oued Saayoud (50,5 Km²) ;
- Et sous bassin versant d'oued Tassift (15,5 Km²).

Vu les dépressions présentes au niveau de la plaine, deux marécages sont observés :

- Le marécage d'El-Kannar (Ghedir Beni Hamza) situé dans la commune d'El-Kannar et qui s'étend sur une superficie de 0,349 Km² ;

- Et le marécage d'Radjela (Ghedir El-Merdj) localisé dans la commune de Taher et qui s'étend sur une superficie de 0,324 Km² (Maoui et Meddour, 2013).

II.3. Géomorphologie et relief

La plaine d'oued Nil présente une assez faible pente de 3 à 25% d'altitude, qui s'élève doucement de la mer vers la chaîne montagneuse. La classe d'altitude inférieure à 250 m (figure 05) est la plus répandue, et représente globalement la surface de la plaine. Elle correspond aux basses altitudes, favorables à la pratique de toutes les cultures. Le relief du bassin versant est assez fort (1490 m) et constitue un facteur limitant pour les pratiques agricoles et favorise le processus de l'érosion.

Ces montagnes présentent une zone d'alimentation importante ce qui assure la présence de l'eau durant toute l'année.

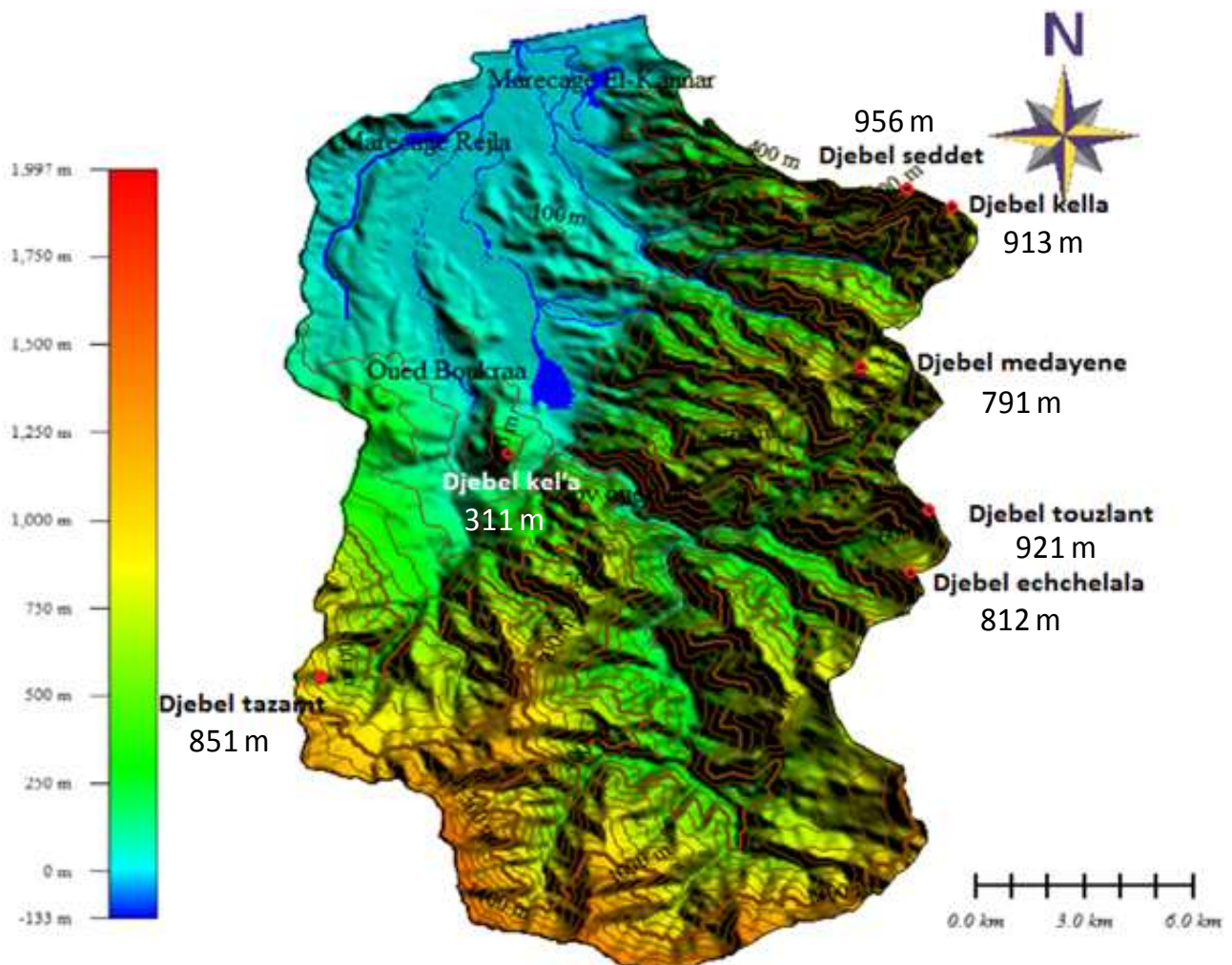


Figure 05 : Carte d'altitude du bassin versant d'oued Nil (Sadoun, 2013 modifiée).

II.4. Géologie de la zone d'étude

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 (**Lehtihet, 1983**) (Figure 06).

II.5. Etude litho-stratigraphique**II.5.1. Terrains sédimentaires** (figure 06)**a. Quaternaire**

- **Alluvions Quaternaire** : éléments grossiers, graviers, galets, conglomérats très perméables se sont des terrasses anciennes des vallées généralement aquifères.
- **Alluvions marécageuse** : elles affleurent au Nord de la plaine. On les trouve dans les dépressions fermées ou ghedirs constituées essentiellement des éléments argilo-limoneux parfois sableux.
- **Alluvions récentes** sont constituées d'éléments grossiers, graviers, conglomérats, galets très perméables. On les rencontre le long des oueds principaux (Nil, Boukraa et Saayoud).
- **Dunes anciennes** sont constituées de sable fin limoneux souvent consolidés. On les rencontre au nord de la plaine (région d'EL Kennar).
- **Dunes actuelles** sont constituées de sable fin parfois consolidé. On les rencontre aux bordures de la mer.

b. Tertiaire

- **Maurétanien** est constitué essentiellement de grès.
- **Numidien** est une formation de flyschs comportant des alternances de grès, d'argile avec une prédominance des argiles, des marnes à la base et des grès au sommet.
- **Néogène**
 - **Miocène inférieur Burdigalien** : sont des marnes grises parfois sableuse ou jaunâtre par oxydation avec intercalations de niveaux détritiques et de gros nodules calcaires jaunâtres.
 - **Miocène supérieur ou Pontien** : dépôt détritique galets et argile continentale.
 - **Miocène marin (sahélien)** : sont des marnes bleues imperméables on les rencontre dans la région deChekfa.

II.5.2. Terrains métamorphiques constituent le socle Kabyle paléozoïque avec :

- **Schisto-phyllade** : argileux micacés ou satinés de teinte très variée, traversés de filonnets de Quartz laiteux s'intercalant de couches détritiques.

- **Calcaires (Cipolins) :** de couleur blanche, grise ou bleuâtre, parfois micacés et pyriteux s'intercalant en bandes irrégulières ou en amas dans les schistes et les micaschistes.
- **Micaschistes et schistes micacés :** à micas noirs et blancs.
- **Schistes granulitisés et gneiss :** ce sont des gneiss schisteux résultants de l'injection de granulites dans les micaschistes, parfois fortement kaolinisés.

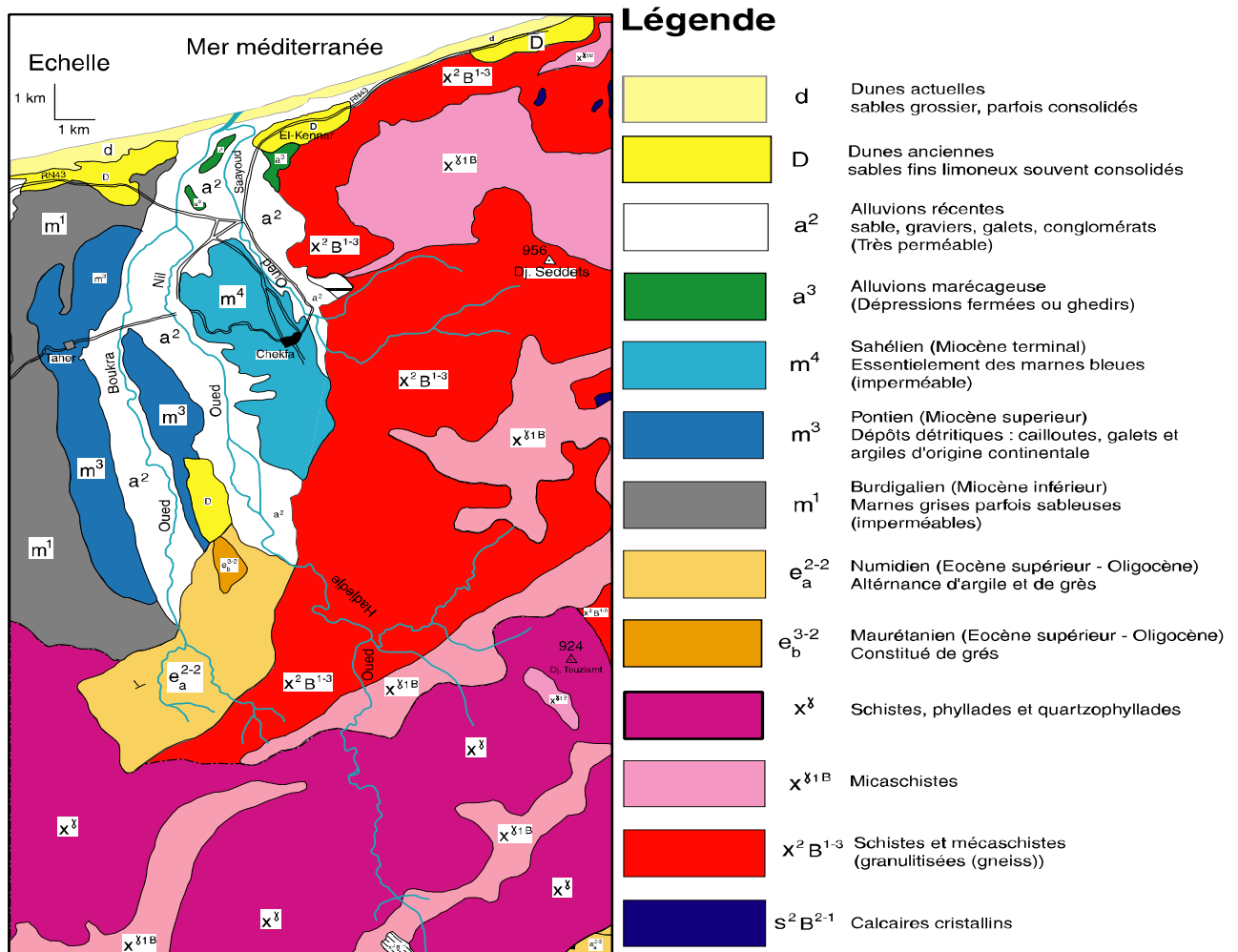


Figure 06 : Esquisse géologique de la région d'Oued El Nil (Prevenant de la carte géologique d'El-Milia N°29, F. Ehrmann, 1926).

Deux coupes géologiques ont été réalisées au niveau de la plaine selon trois classes de formations géologiques (figure 07) :

- 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 :

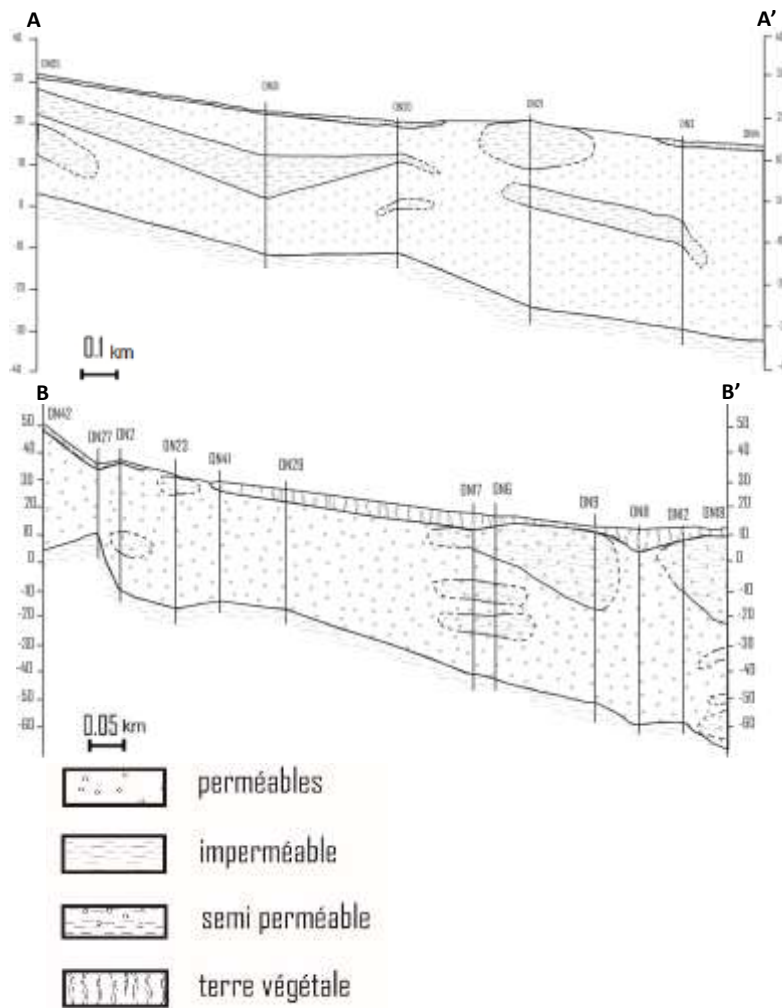


Figure 07 : Coupe lithologique à partir des logs stratigraphiques (Maoui et Meddour 2013).

Ces deux coupes montrent que la plaine d’oued Nil présente une seule nappe avec des passages (lentille) semi-perméables qui rendent la nappe localement captive.

II.6. Etude Climatologique de la zone d’étude

Dans cette étude hydro-climatique, nous avons utilisés les données climatologiques de la station la plus proche de la plaine, qui correspond à la station météo d’Achouat (Taher).

II.6.1. Température

Les températures de la zone côtière connaissent un adoucissement grâce à la présence d’une végétation abondante et la proximité de la mer. La température moyenne annuelle est de 18,13°C (moyenne calculée sur la période de 1988 – 2014). Les températures agréables allongent la saison balnéaire de juin à septembre avec la moyenne maximale correspond au mois d’août de 26,2°C et les températures les plus basses sont observées pendant la période d’hiver avec une moyenne minimale en janvier de 11,61°C (figure 08) et tableau 04.

Ces caractéristiques de la température du point de vue hydro-chimique, nous indiquons que les valeurs élevées de la température vont provoquer une évaporation de l'eau et en même temps une augmentation de la concentration des éléments chimiques dans la nappe.

II.6.2. Précipitation

Les pluies se manifestent essentiellement en automne, en hiver et en printemps avec un cumul pluviométrique moyen de 1007.2 mm/an. Les précipitations y sont abondantes aux mois de décembre, janvier et février avec une moyenne de 146,03 mm/mois tandis que un pic au mois de décembre, et sont quasiment nulles durant la saison d'été avec une valeur minimale enregistrée au mois de juillet de 3 mm/mois (figure 08) et tableau 04.

La précipitation provoque une dilution de la concentration des éléments chimiques dans les eaux de surface et de la nappe, parfois elle considère comme un transporteur de différents polluants.

Tableau 03 : La température et la précipitation moyenne mensuelle (1988 – 2014).

Mois	Jan	Feb	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec
P(mm)	130	115,8	85,7	85	51,1	13,9	2,99	15,6	62,8	92,5	159,5	192,3
T(°C)	11,6	11,7	13,53	15,54	18,35	22,49	25,29	26,17	23,68	20,5	16,01	12,73

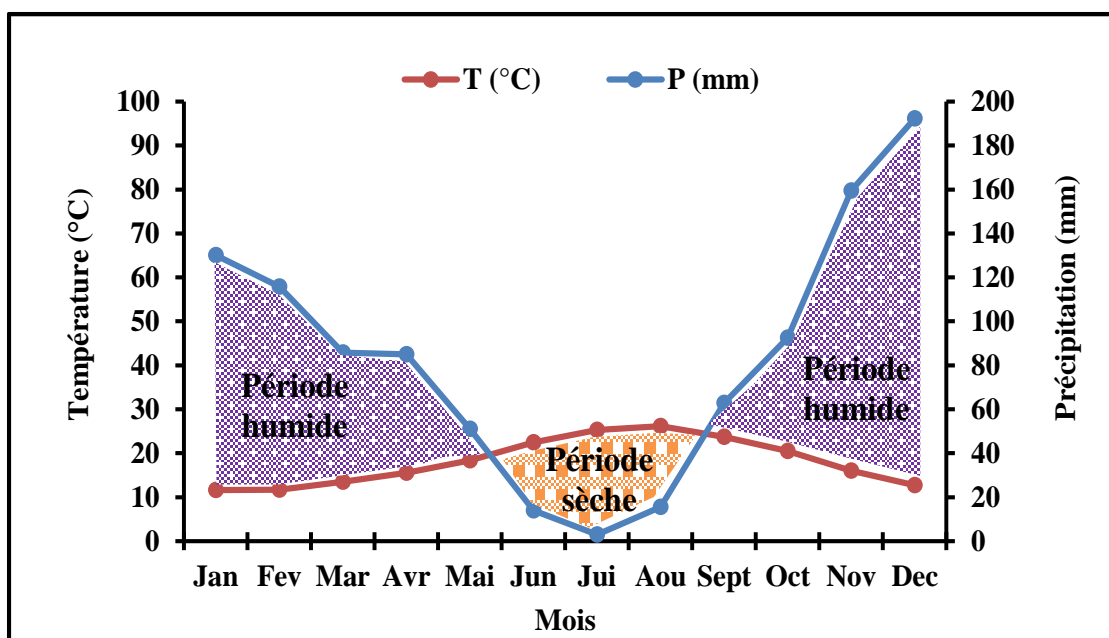


Figure 08 : Diagramme ombrothermique de Gaussen (1988 - 2014).

II.6.3. Vent

Le vent est un facteur climatique, créé par différence de pression atmosphérique due aux variabilités de température de l'air. Il joue un rôle important dans la transmission des polluants atmosphériques à l'échelle parfois globale. En outre, il agit indirectement en modifiant la température et le taux d'humidité.

La zone d'étude est exposée aux vents dominants de Nord et Nord-Ouest qui sont répartis essentiellement pendant la saison estivale. Les vents sont généralement calmes d'une vitesse moyenne mensuelle annuelle de 2.47 s/m. La vitesse la plus élevée est observée en février de 3.35 s/m par contre la plus basse enregistrée en octobre de 1.9 s/m (figure 09).

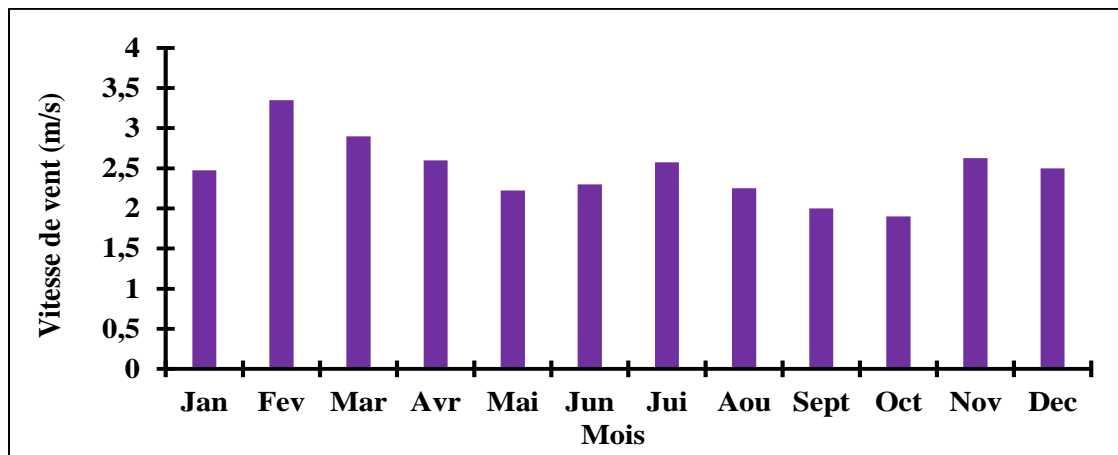


Figure 09 : Vitesse du vent moyenne mensuelle (2011 – 2014).

II.6.4. Humidité relative

C'est la quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans une particule d'air. Les valeurs sont relativement homogènes, quoique les variations soient très petites entre les différentes valeurs, nous notons un maximum au mois de janvier 78,03% et un minimum au mois d'août 71,83 % avec une humidité moyenne annuelle est de 75,7 % (figure 10). Dans l'atmosphère, l'humidité est présente en permanence et diminue la consommation d'eau des arbres en ralentissant ses transpirations.

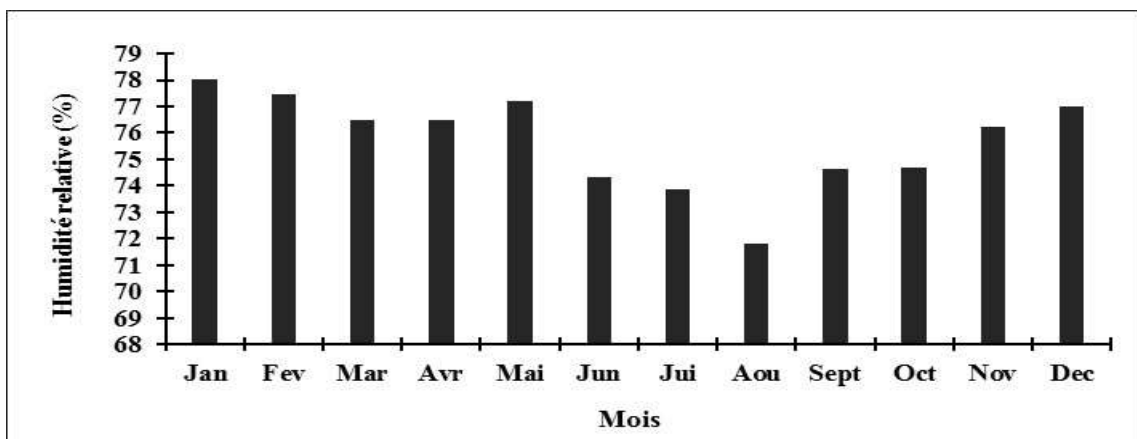


Figure 10 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative (1990 - 2014).

II.7. Bilan hydrologique

L'équation du bilan hydrique est présentée comme suivant :

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

P : précipitations [mm].

ETR : évapotranspiration réelle [mm].

I : infiltration [mm].

R : ruissellement [mm].

W : variation des réserves qui peut être considéré comme négligeable [mm].

II.7.1. Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite (1948)

Cette méthode est utilisée pour les climats subhumides et semi-arides, 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. Les calculs de ces paramètres sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 04 : Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite.

Mois	sept-13	oct-13	nov-13	déc-13	janv-14	févr-14	mars-14	avr-14	mai-14	juin-14	juil-14	Aout-14	Σ ou Moy
P (mm/mois)	48,5	54,2	349,9	125,2	133,7	85,1	154	13,1	7,1	13,9	0,2	4,1	989
T (°C)	23,7	22,8	15,4	12,5	13,3	13,6	13,4	17,1	18,9	23,2	25,5	26,3	18,8
i	10,55	9,95	5,49	4,00	4,40	4,55	4,45	6,43	7,49	10,21	11,78	12,35	91,65
a	1,97												
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
ETPc (mm)	106,74	93,15	38,18	24,74	28,95	29,55	34,78	60,00	80,35	121,24	148,40	147,52	913,61
P-ETP	-58,24	-38,95	311,72	100,46	104,75	55,55	119,22	-46,90	-73,25	-107,34	-148,20	-143,42	75,39
ETR (mm)	48,50	54,20	38,18	24,74	28,95	29,55	34,78	60,00	60,20	13,90	0,20	4,10	397,31
RFU (100 mm)	0	0	100	100	100	100	100	53,10	0	0	0	0	/
Da (mm/mois)	58,24	38,95	0	0	0	0	0	0	20,15	107,34	148,20	143,42	516,30
Ecoulement (mm/mois)	0	0	211,72	100,46	104,75	55,55	119,22	0	0	0	0	0	591,69

Afin d'éclairer les résultats obtenus, une représentation graphique des données a été faite en figure 11.

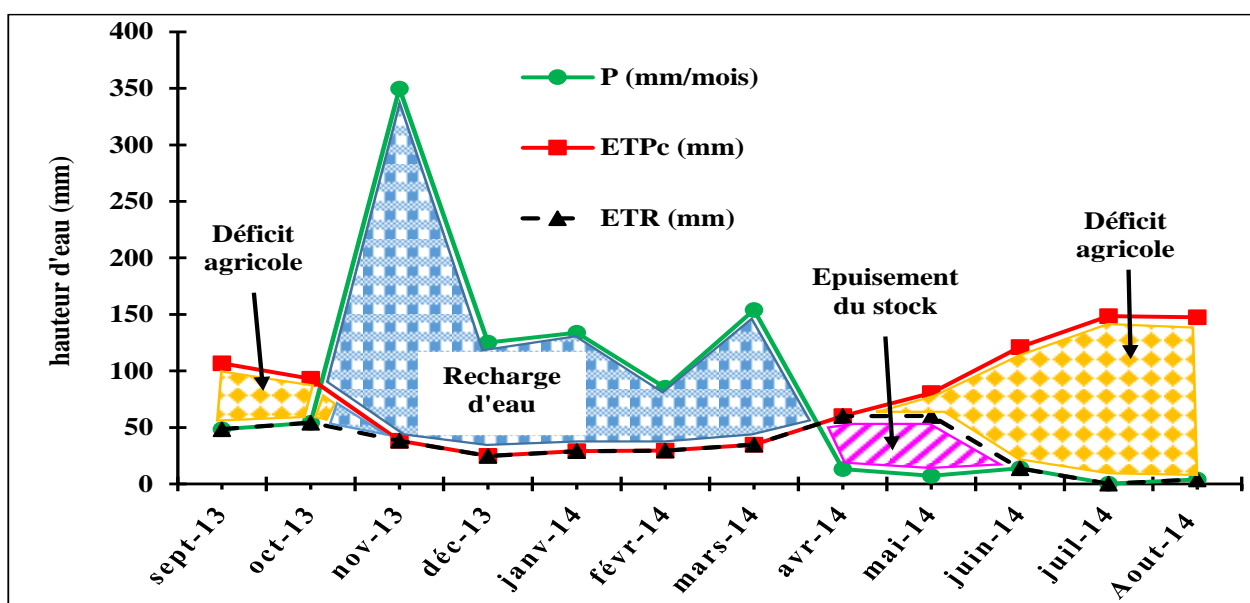


Figure 11 : Représentation graphique du bilan hydrique (septembre - 2013 à août - 2014).

Ce graphe montre que l'évapotranspiration maximum a été observée pendant les mois de juillet et d'août pour des valeurs de 148,4 et 147,52 mm, ce qui produit un déficit agricole et nécessite une irrigation pour les zones agricoles. Par contre, pendant les mois de novembre, décembre, janvier, février et mars, on observe une recharge de la nappe avec une valeur de 55,55 à 211,72 mm.mois⁻¹. Lorsque la recharge dépasse la RFU, le surplus d'eau va partir soit sous forme d'infiltration vers la nappe, soit sous forme du ruissellement.

II.8. Etude socio-économique

Le facteur socio-économique de la zone d'étude est très important et peut être expliqué certaines caractéristiques des comportements humains ou des institutions. Une pression humaine a engendrée une urbanisation élevée s'accompagne par une activité agricole essentielle dans la plaine.

II.8.1. Population

La carte satellitaire de la plaine montre 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 etc.) et dispersées sous forme de Mechtats. L'étude statistique du nombre des habitants dans les communes, selon la Direction de la Programmation et du Suivi Budjétaire, pour l'année 2013 est présentée dans la figure ci-dessous :

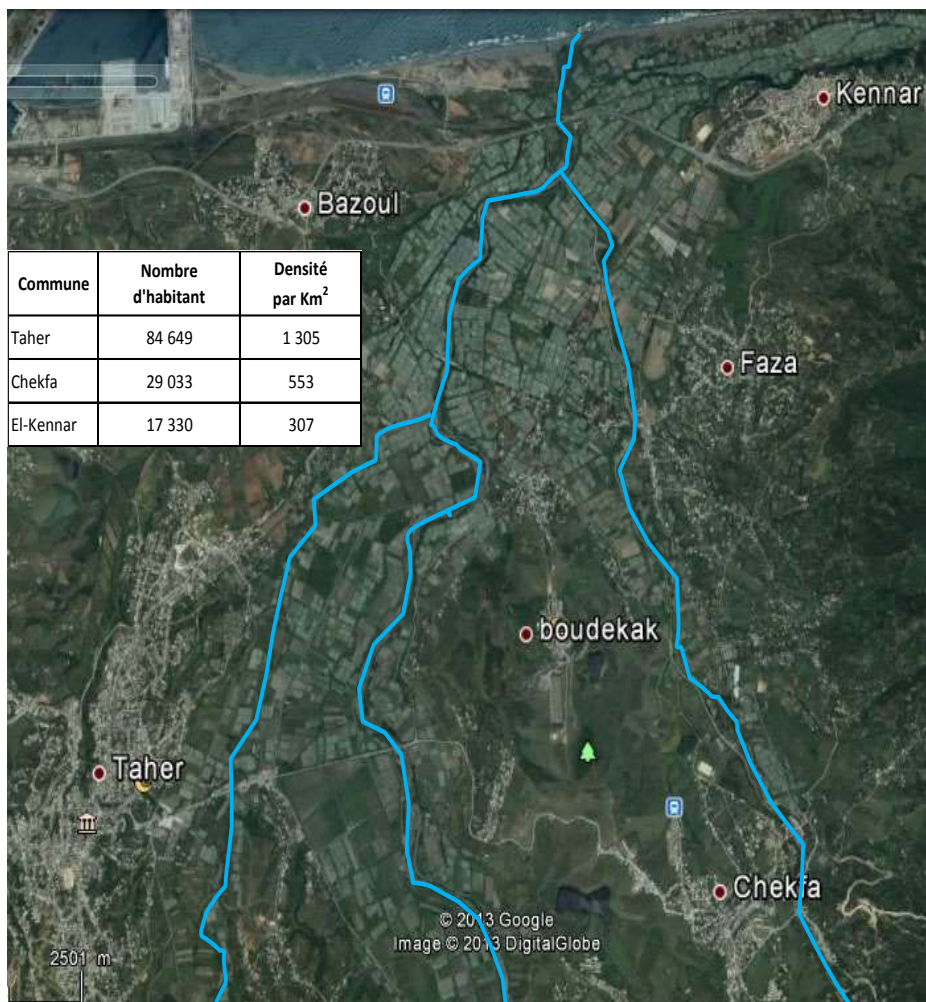


Figure 12 : Les agglomérations principales de la plaine alluviale de l'oued Nil.

Cette figure montre des populations importantes (photo 1), ce qui produit des rejets urbains importants et décharge sauvage (photo 2).



Photo 1 : Ville de Taher (image prise de Google Earth).



Photo 02 : Les rejets d'eaux usées urbaines et décharge sauvage.

II.8.2. Agriculture

L'agriculture est le premier secteur économique de la plaine alluviale d'oued Nil et couvre quasiment la superficie totale de la plaine (figure 11 et photo 3). On rencontre généralement la culture des légumes (oignons, chou-fleur, poivres, tomates, carottes, pommes de terre, courgettes, artichauts, betteraves, haricots etc.) qu'ils sont des cultures maraîchères.



Photo 03 : L'agriculture dans la plaine alluviale d'oued Nil.

II.9. Flore

La flore terrestre est essentiellement diversifiée de l'amont vers l'aval mais, les parties alluvionnaires de l'aval sont en général dénudées et servent à l'agriculture des serres. La flore est composée d'un couvert végétal assez dense à base d'arbres avec arbrisseaux. L'humidité du climat et la proximité de la mer méditerranéenne influencent de manière importante sur la typologie des espèces rencontrées. Les espèces trouvées sont essentiellement les suivantes : rétama, tamarix, lentisque, figuier, Calycotome, myrte, ciste, ronce, etc. La flore est très largement dominée par le chêne liège qui couvre les terrains en amont sur les massifs et sur les piémonts, ainsi que l'olivier reconnue comme étant des espèces xérophiles.

Mais, l'état actuel des forêts, principalement les forêts de chêne liège est, menacée. Ceci résulte de la conjonction de plusieurs facteurs naturels et socioéconomiques :

- Le changement climatique et la baisse du régime pluviométrique ;
- Les incendies ;
- Le surpâturage,
- L'absence des plans d'aménagement forestiers.

II.10. Conclusion

La plaine alluviale d'oued Nil est située dans la wilaya de Jijel, elle est caractérisée par un climat humide, une population humaine accrue, des terres agricoles fertiles, une biodiversité végétative intéressante et un patrimoine hydraulique abondant. Elle est constituée par une formation géologique sédimentaire avec des alluvions récentes et anciennes favorables à l'implantation des puits et des forages. De point de vue socio-économique, la plaine est occupée par plusieurs villes et zones agricoles, cela peut produire un danger sur la qualité des eaux, si ces derniers jettent leurs rejets directement dans la nature.

Chapitre III :

Matériels et méthodes

III.1. Introduction

Le choix de la répartition spatiale des points d'eau à analyser, le pas temps des campagnes d'échantillonnage, le mode de prélèvement d'eau, la conservation des échantillons et l'analyse (physico-chimique et bactérienne) des eaux représentent des étapes très délicates. La simple erreur dans une étape peut produire des erreurs dans les résultats et même donner des valeurs complètement erronées. Pour cela une attention particulière a été donnée aux matériel et méthodes d'analyse.

III.2. Choix des points d'eau

Pour faire une bonne étude de l'impact des rejets sur les eaux de la plaine alluviale de l'oued Nil, nous avons choisis les deux types d'eau existants dans la plaine : les eaux de surface (oueds) et les eaux souterraines.

Les eaux de surface : sont présentées dans la plaine par trois oueds principaux (Boukraa, Nil et Saayoud). Pour le choix des points d'eau de prélèvement, nous avons adoptés la stratégie suivante :

- L'état naturel des eaux des trois oueds : des stations ont été choisies à l'amont de l'oued, où agglomération ou les activités urbaines ou industrielles sont nulles ;
- La confluence des oueds : trois stations ont été choisies pour chaque confluence, deux avant la confluence (une pour l'oued principale et l'autre pour l'affluent) et une après la confluence ;
- Les zones urbaines et les rejets : une station avant la zone urbaine ou le rejet et l'autre après.

Au total seize stations de prélèvement ont été choisies sur les trois oueds (figure 13).

Les eaux souterraines : nous avons distingués trois types d'eau : a) les eaux souterraines superficielles, présentées par les puits, b) les eaux souterraines profondes, présentées par les forages et c) les eaux de sources.

- a) Les eaux souterraines superficielles : quatre puits ont été choisis : le premier (PFS2) pour caractériser la nappe alluviale de l'oued Saayoud, le deuxième (PB10 bis) pour caractériser la nappe alluviale de l'oued Boukraa, le troisième (PN22) pour caractériser la nappe alluviale de l'oued Nil et le quatrième (PN19) pour étudier la relation oued-nappe.
- b) Les eaux souterraines profondes : quatre forages ont été choisis : deux (FS2 et FS3) dans la nappe de Saayoud et deux dans la nappe du Nil (l'un (FN2) pour caractériser la partie amont de la nappe et l'autre (FN8) pour caractériser la partie aval de la nappe).

- c) Les Sources : douze sources ont été choisies pour cette étude, elles sont toutes destinées à la consommation humaine. La localisation géographique de ces sources est présentée dans le tableau 05 et la figure 14.

Tableau 05 : Localisation des sources.

Nom	Localité
Belkehel	Ouled Fadel
El Moubia	
Adjéri	Boualeyek
El Bellout	
El Battoire	Battoire
Ben Tahar	
Berdia	Tleta
Bachelot	Bachelot
Drader	Drader
Mazer	Bazol
Taghmert	Taghmert
M'zehda	El Adjarda



OB1C

ON1C

Figure 13 : Stations de prélèvement pour les eaux de surface et souterraines.



Figure 14 : Stations de prélèvement pour les sources.

III.3. Choix du pas de temps de prélèvement

Vu l'évolution temporelle des eaux durant l'année en fonction des précipitations, évaporations etc. un suivi saisonnier des paramètres physico-chimiques a été adopté pour cette étude durant l'année hydrologique 2013/2014 et selon le calendrier suivant :



Figure 15 : Calendrier des campagnes de prélèvement pour les eaux de surface et souterraines (superficielles et profondes).

Pour les sources, une seule campagne de prélèvement a été réalisée le 24 juin 2014.

III.4. Techniques de prélèvement

Pour chaque station, deux bouteilles en polyéthylène (1.5 L) ont été prélevées. Le protocole utilisé pour faire le prélèvement est résumé comme suit :

- Etiquetage des bouteilles (nom et date) par marqueur permanent et par étiquette afin d'éviter le mélange des échantillons.
- Trois rinçage des bouteilles, avant le prélèvement, par les eaux de la station (oued, puits, forage, ou source) afin d'éliminer toute trace éventuelle d'une contamination.
- La fermeture des bouteilles : le bouchon de chaque bouteille est placé soigneusement pour empêcher la présence des bulles d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport.
- La conservation in-situ des échantillons a été faite en plaçant les échantillons dans une glacière portative et à l'abri du soleil (**Herbert et légaré, 2000 ; Le Pimpec et al, 2002**).

Les techniques utilisées pour faire les prélèvements sont différents d'une eau à une autre, on peut les divisées en quatre types :

a) **Eaux de surface à faible débit** : les bouteilles sont remplies directement du milieu de l'oued avec le sens contraire du courant, à une profondeur supérieure à 15 cm de la surface et sans toucher le fond d'oued afin d'éviter de mettre en suspension des particules de sédiments du lit de l'oued (Herbert et légaré, 2000) ; (figure 16).



Figure 16 : Prélèvements d'eau à partir d'oued Boukraa (station OB2C).

b) **Eaux de surface à forte débit** : On échantillonne l'eau à partir d'un pont par l'intermédiaire d'un récipient (seau) attaché à une corde. Le prélèvement se fait au milieu de l'oued et sans laisser la corde se frotter avec le pont (Herbert et légaré, 2000) ; (figure 17).



Figure 17 : Prélèvements d'eau à partir du pont du canal du marécage d'El-Kennar.

c) **Eaux souterraines superficielle (puits) :** en absence d'une pompe d'eau, les prélèvements ont été fait à l'aide d'un préleveur manuel (figure 18), à une profondeur de 2 m au-dessous de la surface de l'eau et sans arriver au fond du puits, cela nous permet de prélever des eaux moins influencées par l'air et la phase du puits (AQUAREF, 2011) ; (figure 18).

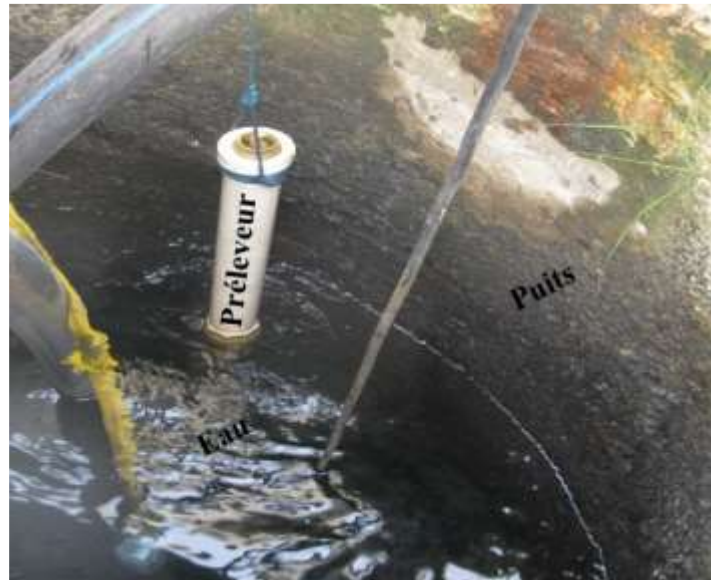


Figure 18 : Prélèvements d'eau à partir du puits PN22.

d) Eaux souterraines profondes (forages)

L'ensemble des forages d'alimentation en eaux potable sont occupés par des pompes. Les prélèvements se font directement à partir des vannes des tuyaux des distributions : on laisse l'eau couler pendant deux à cinq minutes, puis on réalise le prélèvement (AQUAREF, 2011) ; (figure 19).



Figure 19 : Prélèvement d'eau à partir du forage (station FS2).

III.5. Mesures *in situ*

Six paramètres physico-chimiques (T, pH, O₂ dissous, TDS, CE et salinité) ont été mesurés *in situ*, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide de multi-paramètre WTW 305i. Le pH-mètre (Mettler Toledo) a été utilisé pour mesurer *in situ* le potentiel rédox (figure 20).



Figure 20 : Multi-paramètres (WTW 305i) et pH-mètre (Mettler Toledo).

III.6. Mesures piézométriques

Sur le terrain, nous avons aussi mesuré la profondeur du niveau de l'eau par rapport à la surface du sol à l'aide d'une sonde piézométrique lumineuse de marque SEBA KLL (figure 21). Ensuite le niveau d'eau est recalculé par rapport à la référence 0 (niveau de la mer) selon la formule suivante :

$$\text{Niveau piézométrique} = \text{altitude} - (\text{profondeur d'eau} - \text{la margelle}).$$



Figure 21 : Sonde lumineuse de marque SEBA KLL (100 m).

III.7. Conservation des échantillons au laboratoire

Les deux bouteilles échantillonnées sont conservées au frais et à l'abri de la lumière. Pour l'analyse des cations, une bouteille de 500 ml d'eau a été acidifiée ($\text{pH} \leq 2$) afin d'éviter la complexation de ces derniers. Cette acidification est capable de stabiliser les métaux lourds et les cations pendant 1 mois (**Rodier, 2009**).

III.8. Analyse des éléments chimiques au laboratoire**III.8.1. Préparations de la verrerie et de l'échantillon**

La verrerie utilisée pour le dosage a été nettoyée par l'acide HCl (0.1N), puis rincée par l'eau de robinet, ensuite avec l'eau distillée (**Berne, 2003**). La verrerie sera après séchée dans une étuve à une température de 120°C pendant une heure.

Les échantillons, avant de faire le dosage, sont filtrés à l'aide d'un papier filtre graphique en doubles anneaux (qualitatif 102).

III.8.2. Analyse des éléments chimiques

Nous avons utilisées trois méthodes d'analyses pour déterminer la concentration des différents éléments chimiques de l'eau.

III.8.2.1. Méthode volumétrie (Titrimétrie)

La titrimétrie permet de déterminer la concentration d'un composé dans une solution donnée à partir de la mesure de la quantité d'un réactif qui réagit avec lui quantitativement. Soit le titrage de composé A en solution à la concentration inconnue C_A . Des volumes croissants et connue V_B d'une solution du réactif B de concentration connue C_B sont ajoutés progressivement à un volume exactement mesuré V_A de la solution A. V_{BF} (F: Final) volume versé de B lorsque A vient juste disparaître et la relation est déterminée au-dessous :

$$C_A = \frac{C_B \times V_{BF}}{V_A} \quad (\text{Burgot, 2011}).$$

Les paramètres qui ont été évalués par la méthode volumétrique sont présentés comme suit :

III.8.2.1.1. Détermination du calcium (Ca^{2+})

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un pH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le murexide, qui forme un complexe rose foncé avec le calcium. Lors du titrage, l'EDTA réagit avec les ions du calcium, l'indicateur vire alors de la couleur rose foncé à la couleur violet (**ISO 6058, 1984**).

III.8.2.1.2. Détermination de la Dureté totale (TH)

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type chélate par le sel disodique de l'acide éthylènediamine tétracétique à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. Lors du titrage avec l'EDTA, la solution vire au bleu. Cette méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium (Rodier et al., 2009 ; ISO 6059, 1984).

III.8.2.1.3. Détermination des chlorures (Cl⁻)

La réaction des ions du chlorure avec des ions d'argent donne un précipité du chlorure d'argent (insoluble). L'excès d'ions argent, après l'épuisement des chlorures donne la formation du chromate d'argent, de couleur 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).

III.8.2.1.4. Détermination de l'alcalinité (HCO₃⁻)

Elle est déterminée par la neutralisation des ions HCO₃⁻ à l'aide d'un acide minérale (H₂SO₄) dilué (1/50). La baisse du pH de la solution (≤ 8.3) à un pH = 4,5 indique la concentration des bicarbonates selon la formule suivante : $C(\text{HCO}_3^-) = V(\text{versé } \text{H}_2\text{SO}_4) * 24.4$.

III.8.2.2. Méthode spectrophotométrie d'absorption moléculaire

La méthode spectrométrique est une méthode simple basée sur les réactions colorées (Rejesk, 2001). L'intensité de la coloration étant proportionnelle à la concentration du composé analysé (Ramade, 1998). Un spectromètre est composé de quatre éléments principaux : une source, une cellule, un élément de dispersion et un détecteur (Hollas, 1998).

Cette méthode encore dénommée colorimétrie fondée sur le principe d'absorption de la lumière monochromatique traversant une solution absorbante de concentration C contenue dans une cuve d'épaisseur l. Une partie de ce rayonnement sera absorbée A par l'échantillon et une partie sera transmise T. Pour l'analyse mono-composante on utilise directement la loi de Beer-Lambert : $A = \log(I_0 / I) = \epsilon c l$ (Ramade, 1998 ; Ducauze, 2014) ; (figure 22).

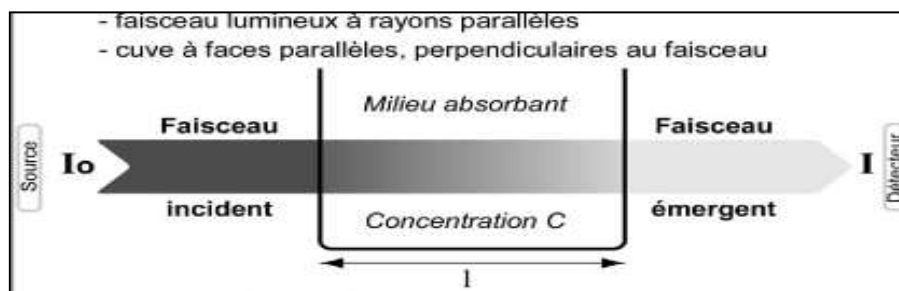


Figure 22 : Faisceau optique dans les cuves de colorimètres (Aminot et Kérrouel, 2007).

Six paramètres chimiques (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} et Fe^{2+}) ont été mesurés *au laboratoire*, à partir d'un spectromètre d'absorption moléculaire de type *Odissey* (figure 23).



Figure 23 : Spectromètre d'absorption moléculaire de type Odissey.

III.8.2.2.1. Détermination de l'ammonium (NH_4^+)

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

III.8.2.2.2. Détermination du nitrite (NO_2^-)

Les nitrites réagissent avec le Sulfanilamide en présence orthophosphorique pour former un composé diazoïque, qui forme un complexe de coloration rose avec dichlorhydrate de N (naphtyl-1) diamino-1,2 éthane et mesuré à 543 nm (ISO 6777. NA 1657, 1984). Compte tenu de la vitesse d'oxydation des nitrites, il convient d'effectuer le dosage le plus rapidement possible après le prélèvement, l'idéal étant d'opérer sur place (Rejesk, 2001).

III.8.2.2.3. Détermination du nitrate (NO_3^-)

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitro-salicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique, ils sont dosées à 415 nm (Rodier et al., 1978).

III.8.2.2.4. Détermination du phosphore (PO_4^{3-})

Formation en milieu acide d'un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate 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 la valeur maximale d'absorption plus importante à 880 nm (NA 2364, 1994 ; ISO 6878/1, 1998).

III.8.2.2.5. Détermination des sulfates (SO₄²⁻)

Les sulfates (SO₄²⁻) peuvent être dosés en les précipitant sous forme de sulfate de baryum (BaSO₄) par addition d'une solution de chlorure de baryum (BaCl₂). Le mesurage photométrique du complexe blanc opaque se fait à une longueur d'onde de 420 nm. L'équation significative de la réaction de précipitation est :



III.8.2.2.6. Détermination du Fer (Fe²⁺)

L'addition d'une solution de phénantroline 1,10 à une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe rouge-orange à une longueur d'onde de 510 nm.

Pour le dosage du fer total et du fer total dissous, du chlorhydrate d'hydroxylamine est ajouté pour réduire le Fe³⁺ en Fe²⁺ (ISO 6332, 1988).

III.8.2.3. Méthode spectrométrie d'absorption atomique (SAA)

Le principe de la SAA est basé sur la propriété d'absorption d'un rayonnement lumineux par un élément en fonction de sa concentration dans la solution à analyser. Les atomes d'un élément donnés sont capables d'absorber l'énergie apportée par des photons dont la fréquence est caractéristique de l'élément à doser qui est préalablement dissocié de ses composés chimiques et porté à l'état non excité et non ionisé dit «état fondamentale » cette dissociation thermique est obtenue par la combustion de l'échantillon dans une flamme ou dans un four en graphite (Audry, 2003). En *émission de flamme*, on mesure l'intensité des radiations émises par la fraction des atomes passée à l'état excité par simple effet thermique.

Instrumentation de base en absorption atomique, le faisceau lumineux issu de la source traverse la flamme dans laquelle l'élément se trouve porté à l'état atomique, avant d'être focalisé sur la fente d'entrée d'un monochromateur qui sélectionne un intervalle très étroit de longueurs d'onde. Le trajet optique se termine sur la fenêtre d'entrée du détecteur (Rouessac et al., 2004).

La SAA à la flamme de modèle SHIMADZUAA-6200 a été utilisée pour le dosage des ETM dans la partie expérimentale de ce mémoire (figure 24).

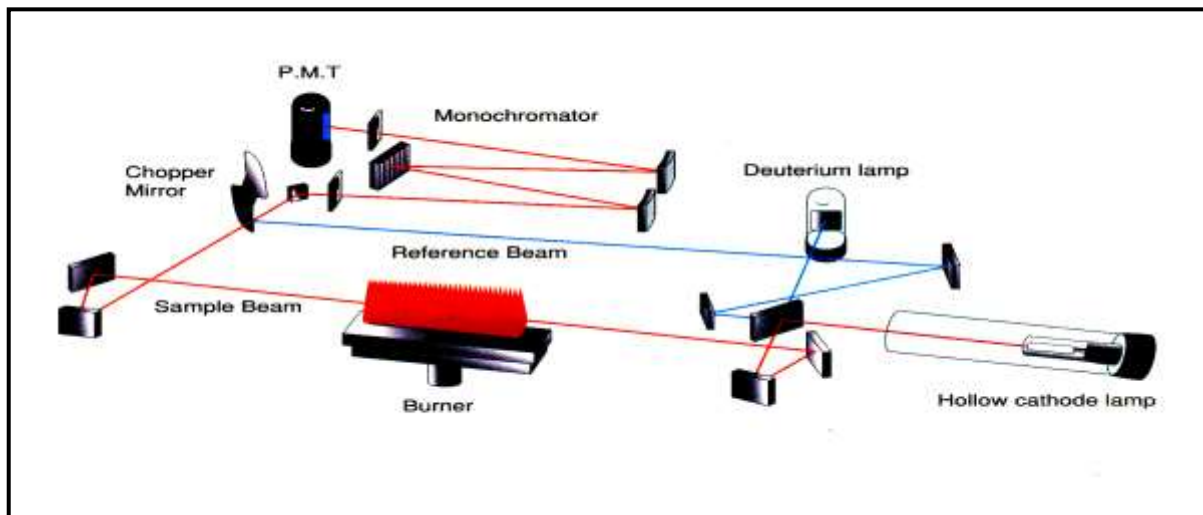


Figure 24 : Principe de spectrophotomètre d'absorption atomique à la flamme SHIMADZU AA-6200.

III.8.2.3.1. Dosage des éléments traces métalliques

Les échantillons sont filtrés à l'aide des membranes de filtration ayant une porosité de 0,45 μm puis acidifier par l'acide nitrique de 65 % à $\text{pH} \leq 2$.

III.9. Etude bactériologique

Cette étude a été effectuée sur les eaux de sources utilisées pour l'alimentation en eau potable. Les bactéries analysées sont les germes indicateurs de la contamination fécale, tel que les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux D et E. Coli.

Les analyses ont été réalisées au laboratoire d'hygiène de la commune de Taher et le laboratoire ADE de la wilaya de Jijel.

III.9.1. Prélèvement d'échantillons d'eau pour les examens bactériologiques

Le prélèvement des échantillons est l'une des étapes les plus importantes pour l'évaluation de la qualité de l'eau. L'échantillonnage a été effectué d'une manière systématique, avec prudence et avec une technique précise afin d'éviter toutes les sources possibles de contamination :

- Avant le prélèvement, on lave les mains avec de l'eau et du savon ;
- Puis on fait un flambage de la flamme de l'ouverture d'écoulement réalisait durant 1 ou 2 minutes à l'aide d'une allumette. Après, il suivait de 5 minutes d'attente pour que l'eau qui s'écoule refroidisse l'ouverture de sortie avant le prélèvement ;
- L'échantillon prélevait dans un flacon en verre brun, d'une capacité de 1 L, stérilisait au préalable dans un autoclave à 121°C durant 15 minutes ;
- Le flacon fermait soigneusement après la procédure de prélèvement d'eau ;
- Puis on stocke l'échantillon dans une glacière portative à 4 °C ;

- Le temps entre la collecte et l'examen de l'échantillon n'excède pas 24 heures (**Brasilia, 2013**).

III.9.2. Analyse bactériologique au laboratoire

L'analyse bactériologique a pour le but de révéler la présence des bactéries qui modifient l'aptitude d'une eau. Elle consiste sur la recherche et la numération des germes d'origine fécale. Cette analyse n'est pas seulement qualitative mais aussi quantitative. Elle est faite par une méthode de dénombrement sur milieu liquide (le Nombre le Plus Probable NPP)

Le principe de cette technique consiste à l'ensemencement dans un milieu liquide toute croissance microbienne indique la présence d'au moins un germe. Le développement peut être apprécié visuellement, par turbidimètre, par virage d'un colorant. Elle ne permet pas de déterminer un nombre exact de microorganismes mais un nombre probable (**Guiraud et Rosec, 2004**).

Le résultat du dénombrement est obtenu à l'aide de la table NPP qui tient compte de tubes positifs observés dans trois séries consécutives (**Larpen, 1997**). Les protocoles d'analyse hydrobactériologique sont présentés à l'annexe I.

Les avantages des dénombrements sur milieux liquides sont :

- La possibilité d'étudier des caractères difficiles ou impossibles à déterminer sur le milieu solide, par exemple la production de gaz au moyen d'une cloche ;
- La facilité des détections présomption/confirmation par dénombrement avec une phase de revivification ;
- Dénombrement sur le milieu liquide peu sélectif favorable à la multiplication des microorganismes en mauvais état physiologique (**Guiraud et Rosec, 2004**).

Les inconvénients des dénombrements sur milieux liquides sont :

- La difficulté de mettre en évidence, dans un milieu liquide une bactérie très minoritaire par rapport à d'autres ;
- L'impossibilité d'isoler une bactérie de son milieu ;
- La lourdeur des manipulations, particulièrement si des séries de 5 tubes sont utilisées (**Rodier, 2009**).

III.10. Méthodes d'analyses statistiques des données

Dans cette étude, le traitement des données sont effectués à l'aide de logiciel Statistica version 7. Nous avons appliqués trois tests intéressants illustrés au-dessous :

- Le test d'ANOVA a été utilisé pour la comparaison des moyennes géométriques des concentrations des éléments étudiés.

- Le test de Student s'applique dans les cas où un caractère quantitatif est mesuré sur deux groupes différents (la comparaison deux moyennes).
- L'analyse en composantes principales (ACP) permet d'interpréter visuellement les corrélations entre les variables et les individus.

Le niveau de signification pour considérer un résultat statistiquement significatif est $p < 0,05$.

III.11. Logiciels

Pour l'analyse et l'interprétation des données, nous avons utilisé les logiciels suivants ; Surfer 7, Global Mapper, Google Earth, Excel et Statistica.

III.12. Conclusion

Les échantillons d'eau sont prélevés saisonnièrement, de novembre 2013 à juin 2014, pour les oueds, les puits et les forages et seulement une campagne (juin 2014) pour les sources. Pour chaque prélèvement des mesures in-situ (température, conductivité électrique, oxygène dissous, potentiel redox, TDS, salinité et pH) ont été effectués. La conservation des échantillons est faite à 4°C dans une glacière portative (in-situ) et à l'abri de la lumière dans le laboratoire. Les méthodes d'analyses chimiques sont celles préconisées par les normes ISO et par Rodier (2009) et les analyses bactériennes par la méthode NPP.

Chapitre IV :
Résultats et discussion

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter nos résultats sous forme des tableaux et des graphes, faire l'interprétation des données et répondre aux questions suivantes :

- Quelle est la qualité physicochimique et biologique des eaux (surface et souterraine) de la plaine alluviale d'oued Nil ?
- Quel est l'impact des activités anthropiques sur la qualité de l'eau de cette plaine ?
- Quel est le degré de pollution des eaux de la plaine ?

Pour répondre à ces questions, nous allons tout d'abord faire une étude statistique, puis présenter l'évolution spatio-temporelle des différents paramètres physico-chimiques, des éléments chimiques et des bactéries.

IV.2. Etude statistique globale de la chimie des eaux de surface et souterraines

Cette étude a pour but de montrer les relations qui existent entre les variables et les individus. Au début, nous avons voulu faire cette étude sur l'ensemble des variables analysées (paramètres physico-chimique, éléments chimiques, cycle d'azote, métaux lourds et bactéries) et des individus (oued, forage, puits et sources). Mais vu le manque des analyses (métaux lourds et bactérie) pour un grand nombre d'individus, nous avons limités notre étude seulement sur 16 variables (T, pH, CE, TDS, Salinité, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , TH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+}) et 86 individus qui présentent une analyse complète pour ces variables.

Nous commencerons par une étude statistique élémentaire (matrice de corrélation, moyenne et écart-type) puis on réalisera une analyse en composantes principales (valeurs propres et projection des variables et des individus sur les axes).

IV.2.1. Matrice de corrélation

Le coefficient de corrélation (R) est l'indicateur de la qualité de la relation entre deux variables et il est en grand relation avec le nombre des individus (n). Sa valeur est calculée par la relation suivante :

$$R^2 = \frac{2}{\sqrt{n-3}} \quad (\text{Mangin, 1975})$$

Pour notre étude $n = 86$, le calcul de R a donné la valeur de 0.47. Cela signifié que tous les coefficients de corrélation supérieurs à 0.47 sont significatifs. Dans la matrice de corrélation (tableau 06), nous avons présentés en couleur verte tous les coefficients de corrélations supérieurs à 0.7 indiquant une bonne corrélation et en couleur bleu les coefficients de corrélations entre 0.5 et 0.7 indiquent une relation moyenne.

Tableau 06 : Matrice de corrélation des variables des eaux de surface et souterraines.

	T	pH	CE	TDS	Sal	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺
T	1.00	-0.01	0.14	0.14	0.14	0.25	0.12	0.06	0.23	0.25	0.30	-0.14	0.35	0.08	0.47	0.09
pH	-0.01	1.00	-0.44	-0.45	-0.39	0.03	0.05	-0.65	0.02	-0.54	0.27	-0.23	-0.04	0.10	-0.04	-0.02
CE	0.14	-0.44	1.00	0.99	0.95	0.28	0.02	0.41	0.25	0.83	0.27	0.41	0.61	0.41	0.39	0.11
TDS	0.14	-0.45	0.99	1.00	0.95	0.26	0.01	0.43	0.23	0.87	0.24	0.41	0.60	0.38	0.40	0.09
Sal	0.14	-0.39	0.95	0.95	1.00	0.23	-0.02	0.40	0.22	0.84	0.26	0.35	0.58	0.35	0.40	0.10
NH ₄ ⁺	0.25	0.03	0.28	0.26	0.23	1.00	0.32	-0.17	0.41	0.09	0.61	-0.01	0.41	0.37	0.30	0.46
NO ₂ ⁻	0.12	0.05	0.02	0.01	-0.02	0.32	1.00	-0.07	0.02	0.00	0.25	-0.12	0.28	0.41	0.02	0.19
NO ₃ ⁻	0.06	-0.65	0.41	0.43	0.40	-0.17	-0.07	1.00	-0.10	0.57	-0.41	0.25	-0.04	-0.21	0.03	-0.05
PO ₄ ³⁻	0.23	0.02	0.25	0.23	0.22	0.41	0.02	-0.10	1.00	0.11	0.48	-0.11	0.39	0.26	0.29	0.41
Cl ⁻	0.25	-0.54	0.83	0.87	0.84	0.09	0.00	0.57	0.11	1.00	-0.04	0.25	0.38	0.05	0.46	0.07
HCO ₃ ⁻	0.30	0.27	0.27	0.24	0.26	0.61	0.25	-0.41	0.48	-0.04	1.00	-0.03	0.67	0.67	0.32	0.37
SO ₄ ²⁻	-0.14	-0.23	0.41	0.41	0.35	-0.01	-0.12	0.25	-0.11	0.25	-0.03	1.00	0.12	0.14	-0.06	-0.09
TH	0.35	-0.04	0.61	0.60	0.58	0.41	0.28	-0.04	0.39	0.38	0.67	0.12	1.00	0.79	0.53	0.30
Ca ²⁺	0.08	0.10	0.41	0.38	0.35	0.37	0.41	-0.21	0.26	0.05	0.67	0.14	0.79	1.00	0.06	0.26
Mg ²⁺	0.47	-0.04	0.39	0.40	0.40	0.30	0.02	0.03	0.29	0.46	0.32	-0.06	0.53	0.06	1.00	0.24
Fe ²⁺	0.09	-0.02	0.11	0.09	0.10	0.46	0.19	-0.05	0.41	0.07	0.37	-0.09	0.30	0.26	0.24	1.00

Cette relation mis en évidence :

- des bonnes corrélations entre : 1) la conductivité électrique (CE), TDS, salinité et les chlorures ; 2) le titre hydrométrique et le calcium (Ca²⁺).
- des relations moyennes entre : 1) chlorures, le pH et NO₃⁻ ; 2) bicarbonates et l'ammonium ; 3) TH, TDS, Salinité et bicarbonates ; 4) calcium et bicarbonates ; 5) Magnésium et TH.

Ces corrélations indiquent que :

- la salinité des eaux est en relation avec les chlorures, les bicarbonates et le titre hydrométrique (Ca²⁺ + Mg²⁺)
- la relation chlorures, pH et nitrates, indique les chlorures peuvent avoir une autre origine anthropique que celui de la halite (origine naturelle).
- La relation combinée des bicarbonates avec l'ammonium et la calcite, indique deux origine différentes : une naturelle présentée par les calcaire et une autre anthropique peut être liée aux rejets urbains.

IV.2.2. Moyenne et écart type

Ces deux paramètres statistiques nous permettent d'avoir la valeur moyenne (centrale) à travers la moyenne et la dispersion des points à travers l'écart type. Les résultats obtenus pour chaque variable sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 07 : Moyenne et écart type des variables des eaux de surface et souterraines.

Variable	T	pH	CE	TDS	Sal	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺
Moyenne	20.03	7.81	425.34	428.90	0.12	0.57	0.08	27.39	0.41	87.33	160.32	9.45	16.24	38.02	15.36	0.06
Ecart type	4.40	1.18	199.95	205.77	0.12	1.40	0.32	33.67	1.14	71.63	92.11	5.41	5.34	16.16	9.61	0.10

Ces valeurs montrent des valeurs élevées de l'ammonium et qui dépassent les normes de potabilité (0.5 mg/l) et une grande dispersion des valeurs des nitrates, chlorures et bicarbonates.

IV.2.3. Analyse en Composantes Principales (ACP)

Cette analyse permet de déterminer la relation entre les variables et les individus. Pour atteindre cet objectif, on commencera d'abord par la présentation des valeurs propres puis la projection des variables et des individus.

a. Valeurs propres

La variance des valeurs propres indique l'importance des axes et son explication pour les variables. Cette figure ci-dessous montre 5 axes qui présentent des variances supérieures à 1 et seulement les axes 1 et 2 qui présentent les variances les plus importantes (34 et 21 %).

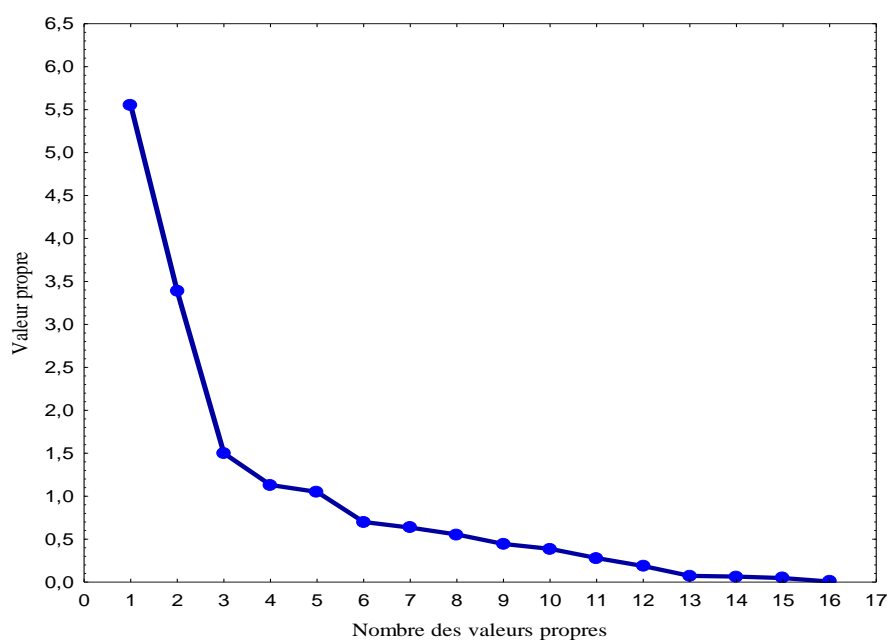


Figure 24 : Valeurs propres des variables des eaux de surface et souterraines.

Les variables expliquées par ces 5 axes sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 08 : Corrélation des variables aux axes des eaux de surface et souterraines.

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
T	0.34	0.23	0.59	-0.15	-0.41
pH	-0.37	0.61	-0.10	-0.43	-0.04
CE	0.92	-0.28	-0.14	-0.09	0.04
TDS	0.92	-0.31	-0.12	-0.09	0.03
Sal	0.89	-0.29	-0.10	-0.13	0.04
NH ₄ ⁺	0.47	0.54	0.07	0.28	0.15
NO ₂ ⁻	0.17	0.38	-0.18	0.56	-0.58
NO ₃ ⁻	0.31	-0.73	0.16	0.35	-0.07
PO ₄ ³⁻	0.42	0.42	0.28	0.04	0.48
Cl ⁻	0.77	-0.50	0.20	0.01	-0.09
HCO ₃ ⁻	0.50	0.75	-0.12	-0.13	0.06
SO ₄ ²⁻	0.31	-0.37	-0.51	-0.13	0.19
TH	0.80	0.39	-0.12	-0.13	-0.17
Ca ²⁺	0.54	0.51	-0.53	0.03	-0.16
Mg ²⁺	0.56	0.16	0.55	-0.28	-0.10
Fe ²⁺	0.32	0.42	0.19	0.50	0.42
Expl.Var	5.56	3.39	1.50	1.13	1.05
Var %	34.72	21.16	9.38	7.07	6.56

Ce tableau montre que la majorité des corrélations sont expliquées par les axes 1 et 2 (ils seront discutés dans le paragraphe suivant) et seules deux corrélations sont présentées par les axes 3 et 4 :

- la première concerne une relation inverse entre la température et le magnésium, indiquant peut être des rejets anthropiques ;
- et la deuxième concerne une relation proportionnelle entre les nitrites et le fer bivalent, indiquant le milieu réducteur.

b. Projection sur les axes 1 et 2

L'axe 1 (34%) et l'axe 2 (21%) présentent 55 de la variance.

L'axe 1 présente la salinité par une corrélation proportionnelle entre la salinité, la conductivité électrique, le TDS et les chlorures.

L'axe 2 est présenté par deux relation : a) une relation inversement proportionnelle entre le pH et les nitrates est présentée essentiellement par les sources ; b) une relation proportionnelle entre les bicarbonates, l'ammonium et le calcium, elle est présentée par les stations de l'aval de l'oued, surement liée aux rejets urbains ; (figure 26).

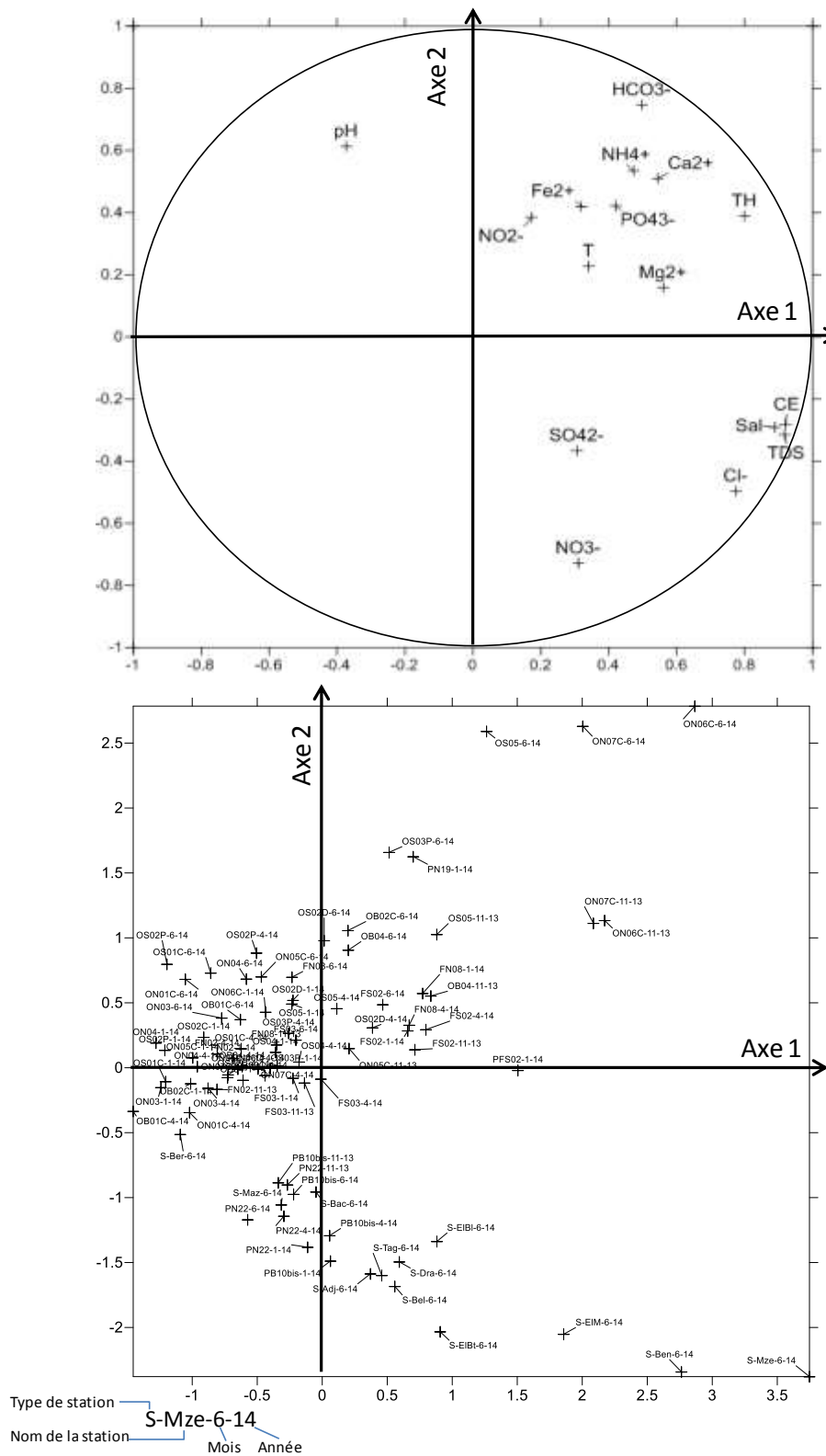


Figure 26 : Projection des variables et des individus sur l'axe 1 et l'axe 2 des eaux de surface et souterraines.

IV.3. Etude statistique de la chimie des eaux de surface

Cette étude a été réalisée seulement sur les individus des eaux de surface, dont l'objectif c'est de tirer des relations entre les variables de ces eaux.

Deux analyses statistiques ont été réalisées : la première concerne toutes les variables et la deuxième correspond seulement les paramètres physico-chimiques et les éléments majeurs.

IV.3.1. Etude statistique complète

Cette étude a été réalisée sur 14 individus et 23 variables (T, pH, O₂, CE, TDS, Sal, Eh, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, TH, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Cd, Pb, Cu, Zn, Cr). Seulement la matrice de corrélation a été réalisée, vu le nombre des individus est faible. On ne peut pas réaliser une Analyse en Composantes Principales sur un nombre faible des individus.

a. Matrice de corrélation

Le coefficient de corrélation calculé selon la formule de Mangin (1975), indique une valeur de R = 0.78. Cette valeur est élevée vu le faible nombre des individus (14).

Nous avons choisi deux classes : l'une pour les valeurs supérieures à 0.77, indiquent une bonne corrélation (couleur verte) ; et l'autre pour les valeurs de 0.6 à 0.77 indiquent une relation acceptable (couleur orange). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 09 : Matrice de corrélation complète des variables des eaux de surface.

Variable	T	pH	O ₂	CE	TDS	Sal	Eh	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	Cd	Pb	Cu	Zn	Cr
T	1.00	0.33	-0.20	-0.05	-0.05	-0.14	-0.44	0.25	0.16	0.05	0.46	0.30	0.42	0.57	0.30	-0.03	0.41	-0.47	0.02	-0.11	-0.18	0.26	0.49
pH	0.33	1.00	-0.82	-0.21	-0.22	-0.33	-0.18	-0.25	-0.08	-0.06	-0.28	0.17	0.47	-0.49	0.51	-0.12	0.84	-0.22	0.34	-0.03	-0.24	-0.08	0.33
O ₂	-0.20	-0.82	1.00	0.20	0.21	0.32	0.13	0.01	-0.06	0.21	0.14	-0.25	-0.35	0.52	-0.31	0.19	-0.61	0.25	-0.37	0.00	0.29	0.27	-0.39
CE	-0.05	-0.21	0.20	1.00	1.00	0.70	-0.10	0.56	0.69	0.64	0.51	0.65	0.60	0.11	0.66	0.94	0.11	0.01	0.22	0.29	-0.21	0.00	-0.25
TDS	-0.05	-0.22	0.21	1.00	1.00	0.71	-0.10	0.57	0.70	0.63	0.51	0.64	0.58	0.11	0.65	0.94	0.10	0.01	0.21	0.29	-0.20	0.00	-0.25
Sal	-0.14	-0.33	0.32	0.70	0.71	1.00	0.04	0.33	0.29	0.26	0.18	0.36	0.27	0.22	0.39	0.62	0.00	0.19	-0.11	-0.01	0.23	0.43	-0.22
Eh	-0.44	-0.18	0.13	-0.10	-0.10	0.04	1.00	-0.22	-0.28	-0.09	-0.37	-0.48	-0.50	-0.12	-0.12	0.03	-0.14	0.24	-0.35	0.37	0.14	-0.07	-0.31
NH ₄ ⁺	0.25	-0.25	0.01	0.56	0.57	0.33	-0.22	1.00	0.89	0.35	0.77	0.53	0.24	0.29	0.16	0.48	-0.18	0.06	0.13	-0.18	0.02	-0.02	0.13
NO ₂ ⁻	0.16	-0.08	-0.06	0.69	0.70	0.29	-0.28	0.89	1.00	0.59	0.77	0.70	0.43	0.05	0.37	0.61	0.00	-0.02	0.35	-0.07	-0.18	-0.22	0.10
NO ₃ ⁻	0.05	-0.06	0.21	0.64	0.63	0.26	-0.09	0.35	0.59	1.00	0.49	0.55	0.43	0.02	0.51	0.60	0.18	0.05	0.28	-0.03	-0.11	-0.05	-0.15
PO ₄ ³⁻	0.46	-0.28	0.14	0.51	0.51	0.18	-0.37	0.77	0.77	0.49	1.00	0.68	0.38	0.49	0.25	0.48	-0.17	-0.15	0.36	-0.13	-0.11	-0.10	0.36
Cl ⁻	0.30	0.17	-0.25	0.65	0.64	0.36	-0.48	0.53	0.70	0.55	0.68	1.00	0.69	0.10	0.65	0.53	0.40	-0.19	0.73	0.05	-0.28	-0.29	0.19
HCO ₃ ⁻	0.42	0.47	-0.35	0.60	0.58	0.27	-0.50	0.24	0.43	0.43	0.38	0.69	1.00	0.03	0.82	0.60	0.63	-0.18	0.38	0.05	-0.27	0.06	0.08
SO ₄ ²⁻	0.57	-0.49	0.52	0.11	0.11	0.22	-0.12	0.29	0.05	0.02	0.49	0.10	0.03	1.00	-0.10	0.08	-0.18	0.01	-0.27	-0.05	0.24	0.28	-0.07
TH	0.30	0.51	-0.31	0.66	0.65	0.39	-0.12	0.16	0.37	0.51	0.25	0.65	0.82	-0.10	1.00	0.73	0.72	-0.20	0.45	0.27	-0.30	0.05	0.12
Ca ²⁺	-0.03	-0.12	0.19	0.94	0.94	0.62	0.03	0.48	0.61	0.60	0.48	0.53	0.60	0.08	0.73	1.00	0.12	0.05	0.21	0.29	-0.15	0.07	-0.15
Mg ²⁺	0.41	0.84	-0.61	0.11	0.10	0.00	-0.14	-0.18	0.00	0.18	-0.17	0.40	0.63	-0.18	0.72	0.12	1.00	-0.20	0.32	0.19	-0.25	-0.08	0.01
Fe ²⁺	-0.47	-0.22	0.25	0.01	0.01	0.19	0.24	0.06	-0.02	0.05	-0.15	-0.19	-0.18	0.01	-0.20	0.05	-0.20	1.00	-0.13	-0.46	0.86	0.04	-0.51
Cd	0.02	0.34	-0.37	0.22	0.21	-0.11	-0.35	0.13	0.35	0.28	0.36	0.73	0.38	-0.27	0.45	0.21	0.32	-0.13	1.00	0.07	-0.31	-0.57	0.33
Pb	-0.11	-0.03	0.00	0.29	0.29	-0.01	0.37	-0.18	-0.07	-0.03	-0.13	0.05	0.05	-0.05	0.27	0.29	0.19	-0.46	0.07	1.00	-0.70	-0.45	-0.29
Cu	-0.18	-0.24	0.29	-0.21	-0.20	0.23	0.14	0.02	-0.18	-0.11	-0.11	-0.28	-0.27	0.24	-0.30	-0.15	-0.25	0.86	-0.31	-0.70	1.00	0.40	-0.20
Zn	0.26	-0.08	0.27	0.00	0.00	0.43	-0.07	-0.02	-0.22	-0.05	-0.10	-0.29	0.06	0.28	0.05	0.07	-0.08	0.04	-0.57	-0.45	0.40	1.00	0.18
Cr	0.49	0.33	-0.39	-0.25	-0.25	-0.22	-0.31	0.13	0.10	-0.15	0.36	0.19	0.08	-0.07	0.12	-0.15	0.01	-0.51	0.33	-0.29	-0.20	0.18	1.00

Cette matrice de corrélation fait apparaître des bonnes corrélations :

- une relation proportionnelle entre 1) la salinité, la conductivité électrique et le TDS ; 2) les nitrites, ammonium et le phosphate, indiquant l'origine des rejets urbains ; 3) titre hydrotimétrique et les bicarbonates, indiquant une origine carbonatée des Ca^{2+} et Mg^{2+} ; et 4) entre le cuivre et le fer, indiquant une origine commune.
- Une relation inversement proportionnelle entre le pH et l'oxygène dissous.

IV.3.2. Etude statistique partielle

Cette étude a été réalisée seulement sur les paramètres physico-chimiques sans les métaux lourds, cela est dont l'objectif d'augmenter le nombre des individus qui possèdent une analyse complète et de réaliser l'analyse en composantes principales. Elle concerne 33 individus et 15 variables.

a. Matrice de corrélation

Le coefficient de corrélation calculé selon la formule de Mangin (1975), indique une valeur de $R = 0.6$; (tableau 10).

Tableau 10 : Matrice de corrélation partielle des variables des eaux de surface.

Variable	T	pH	O ₂	CE	Eh	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺
T	1.00	0.42	-0.36	-0.05	-0.45	0.08	0.02	-0.33	0.00	0.15	0.29	0.16	-0.08	0.14	-0.45
pH	0.42	1.00	-0.67	-0.02	-0.14	-0.28	-0.19	-0.23	-0.02	0.08	0.14	-0.47	0.04	0.23	-0.18
O ₂	-0.36	-0.67	1.00	0.07	0.26	0.01	0.01	0.24	0.26	-0.16	-0.05	0.34	0.12	-0.27	0.22
CE	-0.05	-0.02	0.07	1.00	-0.23	0.40	0.41	0.12	0.19	0.83	0.43	0.23	0.89	0.39	-0.04
Eh	-0.45	-0.14	0.26	-0.23	1.00	-0.28	-0.30	0.11	0.15	-0.48	-0.25	-0.27	-0.05	-0.29	0.23
NH ₄ ⁺	0.08	-0.28	0.01	0.40	-0.28	1.00	0.87	0.22	0.42	0.42	0.05	0.29	0.29	0.08	0.07
NO ₂ ⁻	0.02	-0.19	0.01	0.41	-0.30	0.87	1.00	0.44	0.36	0.48	0.05	0.07	0.32	0.12	0.02
NO ₃ ⁻	-0.33	-0.23	0.24	0.12	0.11	0.22	0.44	1.00	0.22	0.08	-0.10	0.05	0.08	0.03	0.16
PO ₄ ³⁻	0.00	-0.02	0.26	0.19	0.15	0.42	0.36	0.22	1.00	0.17	0.10	0.02	0.16	0.02	-0.07
Cl ⁻	0.15	0.08	-0.16	0.83	-0.48	0.42	0.48	0.08	0.17	1.00	0.42	0.19	0.62	0.55	-0.15
HCO ₃ ⁻	0.29	0.14	-0.05	0.43	-0.25	0.05	0.05	-0.10	0.10	0.42	1.00	0.02	0.40	0.18	-0.16
SO ₄ ²⁻	0.16	-0.47	0.34	0.23	-0.27	0.29	0.07	0.05	0.02	0.19	0.02	1.00	0.09	0.23	-0.05
Ca ²⁺	-0.08	0.04	0.12	0.89	-0.05	0.29	0.32	0.08	0.16	0.62	0.40	0.09	1.00	0.12	0.02
Mg ²⁺	0.14	0.23	-0.27	0.39	-0.29	0.08	0.12	0.03	0.02	0.55	0.18	0.23	0.12	1.00	-0.14
Fe ²⁺	-0.45	-0.18	0.22	-0.04	0.23	0.07	0.02	0.16	-0.07	-0.15	-0.16	-0.05	0.02	-0.14	1.00

Cette matrice mis en évidence une relation inversement proportionnelle entre le pH et l’oxygène dissous ; une relation proportionnelle entre les nitrites et l’ammonium ; et une relation proportionnelle entre la conductivité électrique, le chlorure et le calcium.

b. Analyse en Composantes Principales (ACP)

La présentation des variances des axes de l’analyse en composantes principales dans le tableau 11 montre que l’axe 1 et l’axe 2 sont les plus représentatifs avec une variance globale de 45.81% de la variance totale.

Tableau 11 : Valeurs propres partielle des variables et des axes de l’ACP des eaux de surface.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
T	-0.20	0.68	-0.44	0.02	0.32
pH	0.03	0.77	0.32	-0.38	0.03
O ₂	0.03	-0.75	-0.04	0.43	0.29
CE	-0.87	-0.07	0.39	0.21	-0.03
Eh	0.49	-0.42	0.45	-0.09	0.24
NH ₄ ⁺	-0.67	-0.33	-0.38	-0.36	0.02
NO ₂ ⁻	-0.69	-0.32	-0.25	-0.51	-0.06
NO ₃ ⁻	-0.20	-0.54	0.02	-0.34	-0.19
PO ₄ ³⁻	-0.33	-0.31	-0.02	-0.36	0.60
Cl ⁻	-0.89	0.16	0.15	0.06	-0.15
HCO ₃ ⁻	-0.47	0.30	0.26	0.27	0.35
SO ₄ ²⁻	-0.33	-0.23	-0.53	0.60	-0.09
Ca ²⁺	-0.70	-0.11	0.53	0.18	0.13
Mg ²⁺	-0.48	0.33	0.02	0.10	-0.42
Fe ²⁺	0.15	-0.48	0.28	-0.07	-0.42
Expl.Var	3.98	2.89	1.60	1.49	1.17
Variance %	26.52	19.29	10.67	9.96	7.83

La projection des variables et des individus sur les axes 1 et 2 (figure 27), montre que :

- l'axe 1 présente la minéralisation des eaux par une relation proportionnelle entre la conductivité électrique, les chlorures, les nitrites et l'ammonium. Les individus représentés par cet axe sont les stations de l'oued Saayoud (OS2, OS3P, OS4 et OS5).
- L'axe 2 présente une relation proportionnelle entre le pH et la température qui sont inversement proportionnelles à l'oxygène dissous. Il est présenté par les stations de l'amont des oueds (Boukraa, Saayoud et Nil)

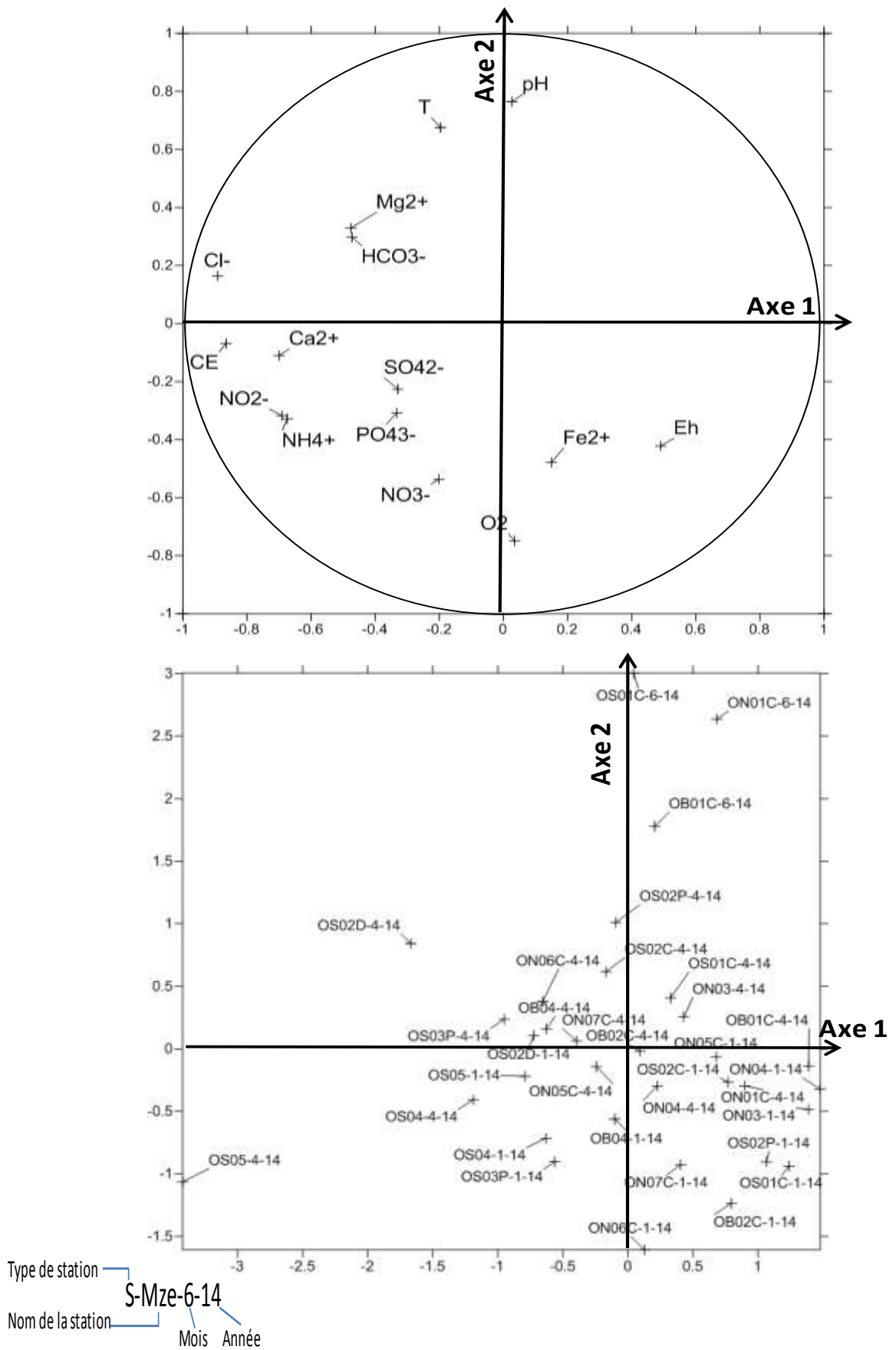


Figure 27 : Projection des variables et des individus sur les axes 1 et 2 des eaux de surface.

IV.4. Evolution spatiotemporelle de la chimie des eaux superficielles

L'évolution spatio-temporelle de la chimie des eaux superficielles a été étudiée en fonction des courbes qui présentent dans l'axe des Y l'élément chimique et dans l'axe des X la distance (km), le 0 est la première station à l'amont de l'oued (ON1C pour l'oued Nil, OB1C pour l'oued Boukraa et OS1C pour l'oued Saayoud), elles présentent l'état naturel des eaux de l'oued sans effet de la pollution anthropique.

IV.4.1. Paramètres physiques

L'évolution spatiotemporelle des paramètres mesurés in situ (T, pH, CE, TDS, Sal, O₂, Eh) des eaux de l'oued Nil et ses deux affluents (Boukraa et Saayoud) est présentée dans les figures 28, 29 et 30.

IV.4.1.1. Température (T)

Les valeurs minimales, moyennes, écart type et maximales de la température des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 12 : Statistique de la variation des valeurs de la température des eaux superficielles.

Oued	T (°C)							
	Norme algérienne des eaux superficielles : 25°C							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Boukraa	10,1	OB2C	nov-13	19,32	7,2	30,1	OB4	juin-14
Nil	11,3	ON7C	janv-14	20,8	5,99	31,1	ON4	
Saayoud	12,5	OS5		18,96	4,68	25,9	OS2D	

La température des eaux d'oued Nil et ses affluents oueds Boukraa et Saayoud présente une fluctuation temporelle significative [$F=1760.85$; $p=0$] (elle baisse en période de recharge d'eau par contre elle s'élève en période déficience hydrique). Les valeurs de la température des eaux superficielles sont inférieures à la norme algérienne des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations de 25 °C (JORA, 2011) sauf au mois de juin particulièrement aux niveaux OB2C, OB4, OS2D, OS2P et toutes les stations d'oued Nil. Cette augmentation thermique dépend principalement aux variations climatiques (l'absence de précipitation) et le contact direct avec l'atmosphère.

A l'aval de l'oued Nil, on observe que la température présente des variations au niveau de chaque station, cela revient au fait de la confluence des affluents avec l'oued Nil et aux rejets urbains qui se jettent souvent à l'aval.

IV.4.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales du pH des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 13 : Statistique de la variation des valeurs de pH des eaux superficielles.

Oued	pH							
	Norme algérienne des eaux superficielles : $6,5 \leq \text{pH} \leq 9$							
	Norme des eaux d'irrigation : $6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
Valeur	Station	Mois	Valeur			Station	Mois	
Boukraa	8,07	OB4	janv-14	8,52	0,5	9,65	OB1C	juin-14
Nil	7,63	ON6C	juin-14	8,27	0,58	10,6	ON1C	
Saayoud	7,54	OS3P		8,85	1	11,48	OS2P	

Le pH des trois oueds est fortement alcalin et d'une fluctuation temporelle significative [$F=4557.18$; $p=0$] (il s'élève durant les périodes secs et diminue pendant la période pluvieuse). Les valeurs de pH dépassent la norme algérienne des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable de la population (6.5 à 9 ; **JORA, 2011**) et la norme des eaux d'irrigation (6.5 à 8.5 ; **FAO, 1990**) en OB1C, ON1C, OS1C, OS2C, OS2D et OS2P durant le mois de juin. Cela est dû de la nature géologique des terrains traversés (marne et calcaire). Elles diminuent de l'amont vers l'aval, surement liées aux rejets urbains.

IV.4.1.3. Conductivité électrique(CE)

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de la conductivité des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 14 : Statistique de la variation des valeurs de la conductivité des eaux superficielles.

Oued	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)							
	Norme algérienne des eaux superficielles : $2800 \mu\text{s}/\text{cm}$							
	Norme des eaux d'irrigation : $0 - 3000 \mu\text{s}/\text{cm}$							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
Valeur	Station	Mois	Valeur			Station	Mois	
Boukraa	203	OB1C	avr-14	334,33	96,71	557	OB4	nov-13
Nil	207	ON3	juin-14	371,65	199,22	850	ON6C	
Saayoud	196,4	OS2P		362,73	95,26	554	OS5	

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux superficielles fluctuent significativement d'une saison à l'autre [$F=522.76$; $p=0$] et augmentent progressivement de l'amont vers l'aval. Elles sont conformes avec la norme algérienne des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations de $2800 \mu\text{s}/\text{cm}$, (**JORA, 2011**) et la norme des eaux d'irrigation

de 0 à 3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (FAO, 1990) à cause de la nature géochimique des roches des terrains traversés qui sont faiblement dissociable.

L'augmentation de la conductivité se fait :

- pendant la période des basses eaux (novembre), où les précipitations sont faibles et l'évaporation est importante, cela produit l'augmentation de la concentration des éléments chimiques et la conductivité électrique ;
- de l'amont vers l'aval, cela peut être expliqué par l'effet des rejets urbains, chargés en éléments nutritifs (azote et phosphate) qui augmentent la minéralisation des eaux et la conductivité.

IV.4.1.4. TDS

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de TDS (solides dissous totaux) des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 15 : Statistique de la variation des valeurs de TDS des eaux superficielles.

Oued	TDS (mg/l)							
	Norme des eaux d'irrigation : 0 - 2000 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
Valeur	Station	Mois	Valeur			Station	Mois	
Boukraa	203	OB1C	avr-14	334,55	96,69	557	OB4	nov-13
Nil	211	ON3	janv-14	371,25	196,7	849	ON6C	
Saayoud	202	OS2P	juin-14	362,66	95,28	554	OS5	

Ce tableau montre que les valeurs de TDS sont proche pour les eaux d'oued Boukraa et les eaux d'oued Saayoud et des valeurs élevées pour les eaux d'oued Nil. Ces valeurs ont une fluctuation temporelle significative [F=537.02 ; p=0] et s'élèvent progressivement de l'amont vers l'aval, sûrement liée aux rejets urbains dans la partie aval.

Les valeurs du TDS sont conformes avec la norme des eaux d'irrigation de 0 à 2000 mg/l (FAO, 1990).

IV.4.1.5. Salinité (Sal)

Les valeurs minimales, moyennes, écart type et maximales de la salinité des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 16 : Statistique de la variation des valeurs de la salinité des eaux superficielles.

Oued	Salalinté (mg/l)							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Boukraa	0	OB1C	avr-14	0,088	0,06	0,2	OB4	nov-13
		OB2C	janv-14					
Nil	0	Plusieurs stations et mois		0,085	0,12	0,4	ON6C	
Saayoud	0	OS1C	janv-14	0,09	0,05	0,2	OS2C	janv-14
		OS2P	juin-14				OS2D	avr-14

Les valeurs de la salinité confirment les valeurs de TDS et de la conductivité électrique par des valeurs proche pour les eaux d'oued Boukraa et les eaux d'oued Saayoud et élevées par rapport aux eaux d'oued Nil. Elles ont une fluctuation temporelle significative [F=80.82 ; p=0]. Elles augmentent de l'amont vers l'aval.

IV.4.1.6. Oxygène dissous (O₂)

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de l'oxygène dissous des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 17 : Statistique de la variation des valeurs de l'oxygène dissous des eaux superficielles.

Oued	O ₂ (%)							
	Norme algérienne des eaux superficielles : 30%							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
Valeur	Station	Mois	Valeur			Station	Mois	
Boukraa	16,4	OB1C	juin-14	34,91	8,75	43,3	OB2C	avr-14
Nil	19,2	ON1C		34,24	5,88	40,5	ON5C	
Saayoud	11,6	OS1C		34,61	6,53	40,6	OS2C	janv-14

Le taux d'oxygène dissous des trois oueds étudiés a une fluctuation temporelle significative [F=2178.85 ; p=0] et légèrement supérieure à la norme algérienne de saturation des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations de 30% (JORA, 2011) sauf dans les stations OB1C, ON1C et OS1C durant le mois de juin, cette diminution est liée à la température atmosphérique et l'altitude élevées. Dans la partie aval (ON5C, ON6C et ON7C), la baisse de l'oxygène est due aux rejets urbains (les eaux ménagères (eaux de toilettes, de lessive, de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales)) pendant que la dégradation de la matière organique libère CO₂ par les bactéries et fait baisser O₂.

IV.4.1.7. Potentiel d'oxydoréduction (Eh)

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales du potentiel d'oxydoréduction des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 18 : Statistique de la variation des valeurs du potentiel d'oxydoréduction des eaux superficielles.

Oued	Eh (mv)							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Boukraa	56	OB4	avr-14	164,5	83	329	OB2C	janv-14
Nil	36	ON5C	juin-14	149,35	81,3	288	ON4	
Saayoud	18	OS3P		171,05	66,77	282	OS1C	

Le potentiel d'oxydoréduction des eaux de surface est connu une variation temporelle intéressante [$F=149.35$; $p=0$] à cause du contact direct permanent avec l'air qui provoque une oxygénation des eaux.

Les valeurs de potentiel redox sont généralement faibles au niveau aval des eaux de l'oued Nil et ses deux affluents (Boukraa et Saayoud), cela est lié aux rejets organiques (urbains) qui font diminuer l'oxygénation de l'eau et de potentiel redox.

IV.4.1.8. Comparaison entre l'évolution des paramètres physico-chimiques

La comparaison entre les différents paramètres montre que la CE, TDS et la salinité présentent la même évolution. L'oxygène dissous et le Eh présentent des évolutions différentes : proportionnelle dans la période des hautes eaux et inversement proportionnelle pendant la période des basses eaux, cela peut revenir à l'effet des rejets qui perturbe la relation entre eux. On observe aussi que les variations les plus importantes de ces paramètres se fait au niveau de : 1) l'aval de l'oued Nil, vu l'effet des rejets et la confluence des affluents avec l'oued principale (Nil) ; et 2) aux stations OS2C et OS2D, liée à la confluence de l'oued Saayoud avec son affluent l'oued Dridra.

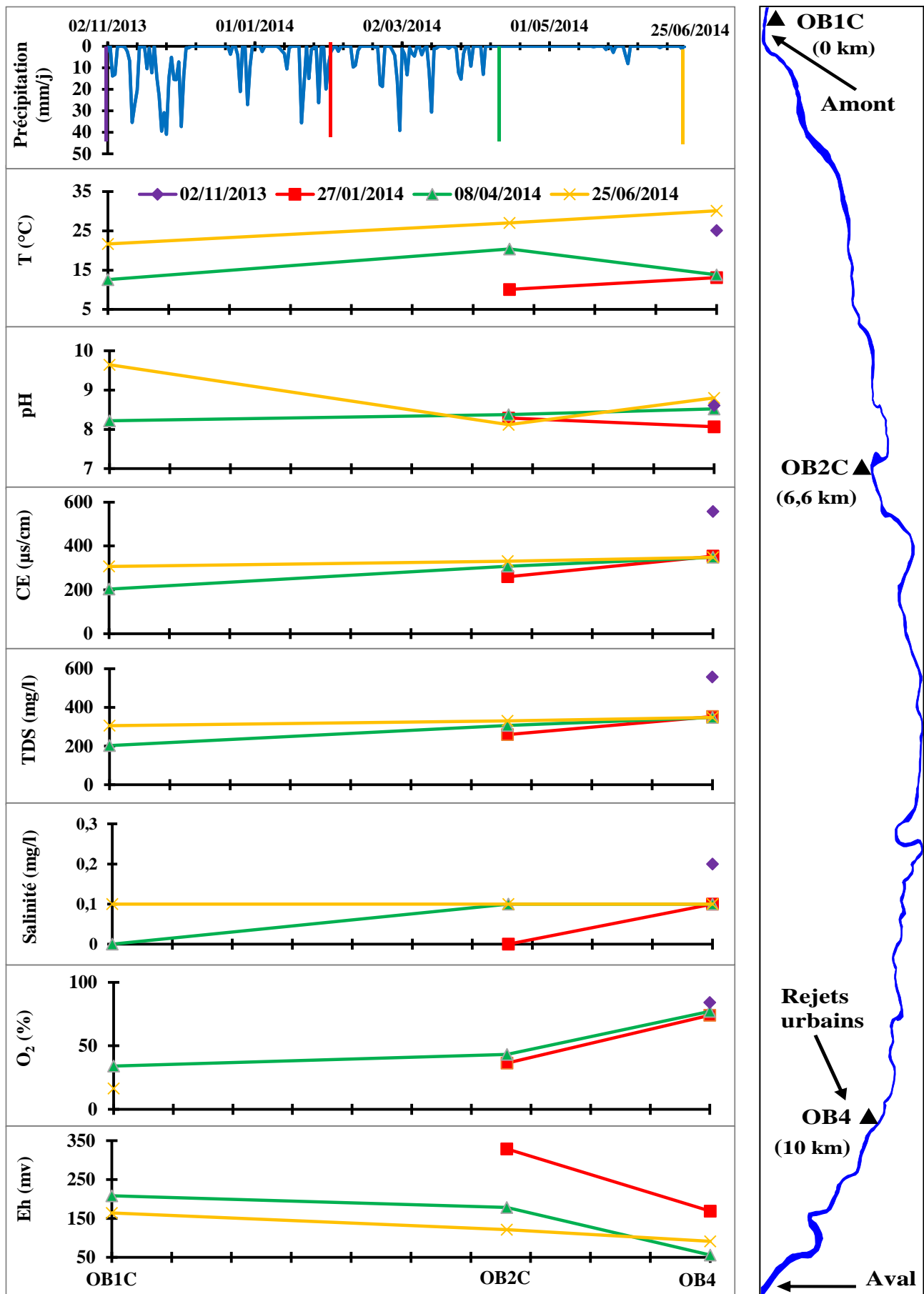


Figure 28 : Evolution spatiotemporelle des valeurs des paramètres physiques d'oued Boukraa.

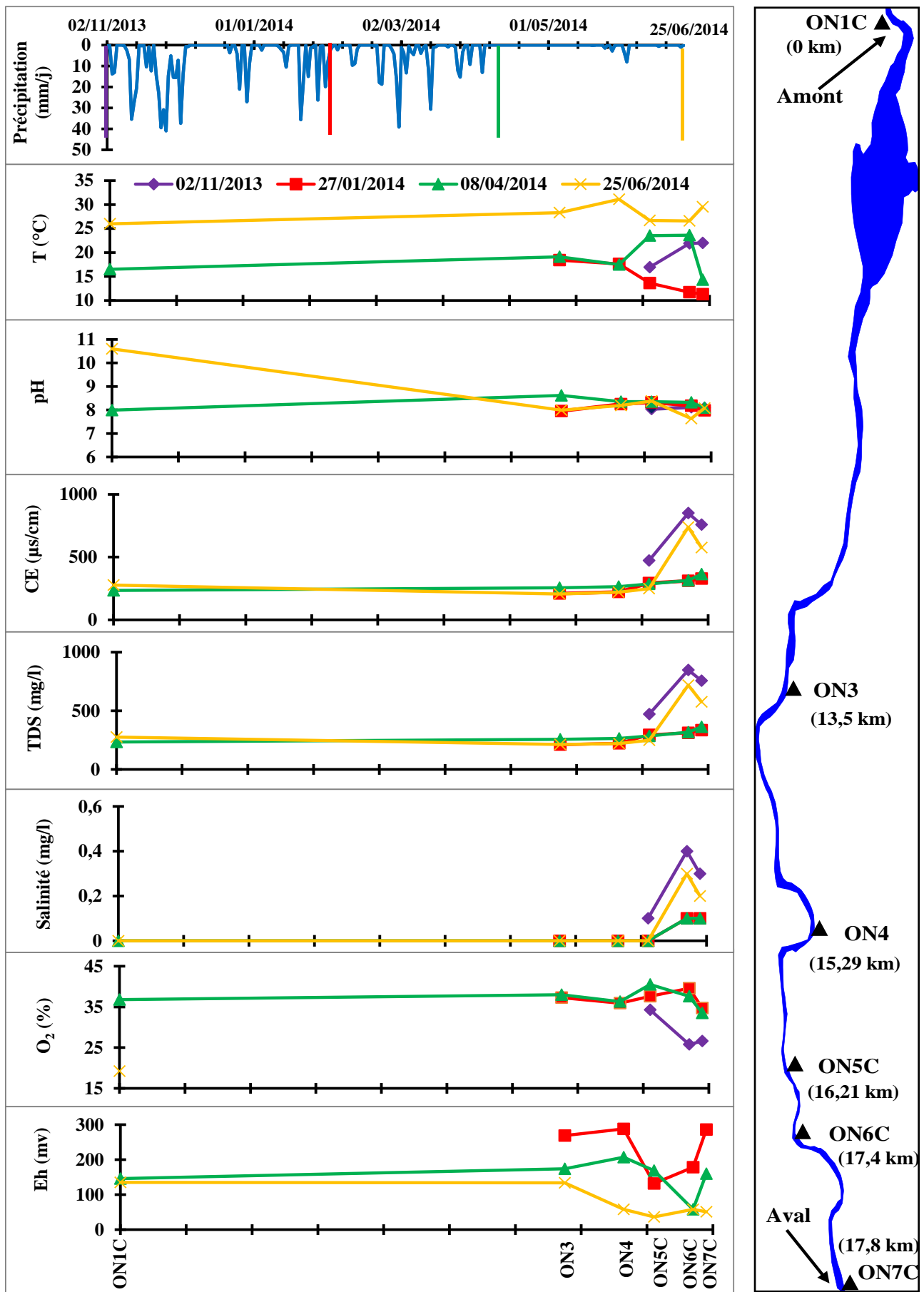


Figure 29 : Evolution spatiotemporelle des valeurs des paramètres physiques d'oued Nil.

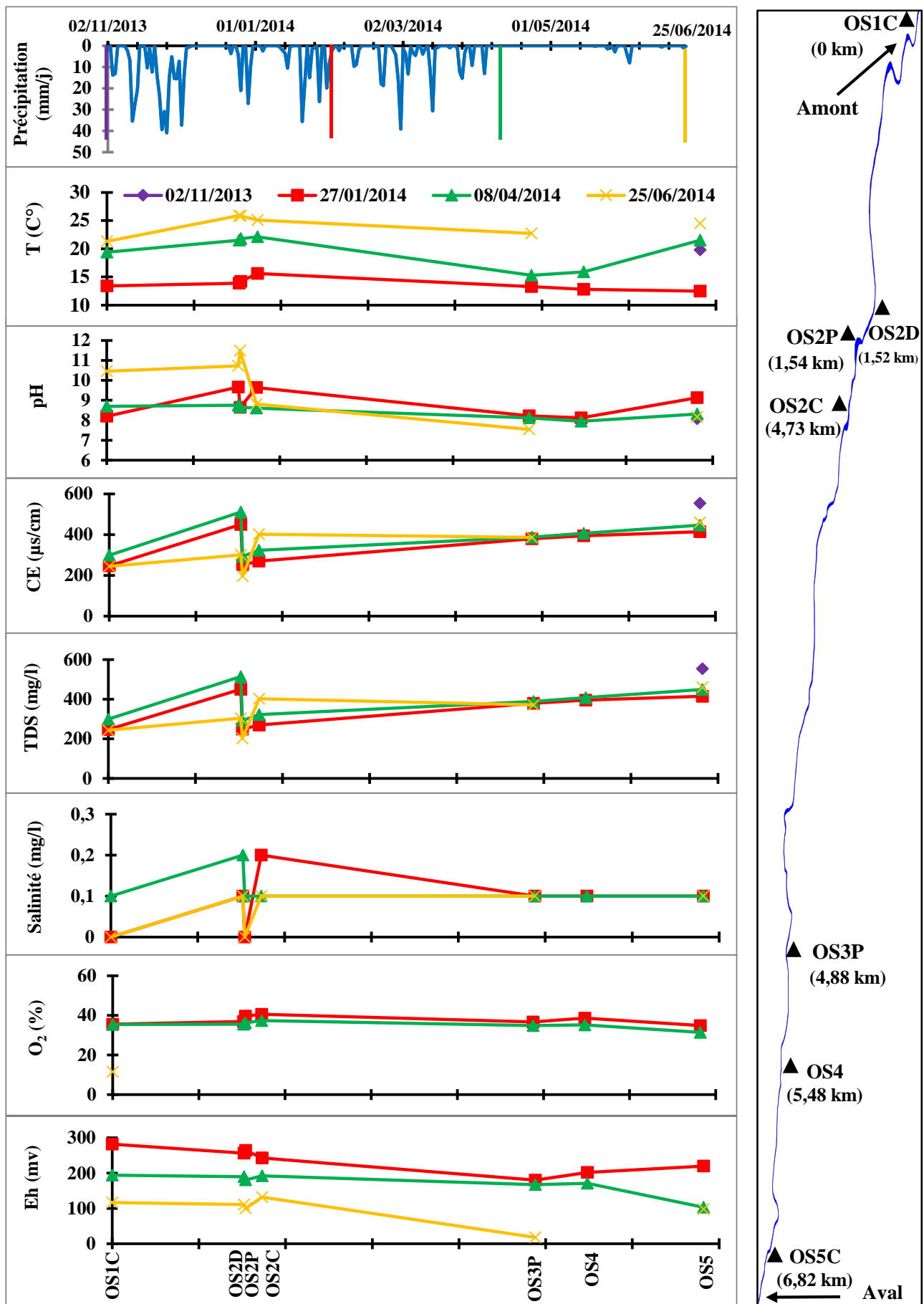


Figure 30 : Evolution spatiotemporelle des valeurs des paramètres physiques d'oued Saayoud.

IV.4.2. Eléments majeurs

La minéralisation des eaux naturelles dépend principalement à la concentration des éléments majeurs. L'évolution spatiotemporelle de ces éléments (la dureté (TH), calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), bicarbonates (HCO_3^-), chlorure (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-})) est présentée au niveau des trois figures (31, 32 et 33).

IV.4.2.1. Dureté

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de la dureté des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 19 : Statistique de la variation des teneurs de la dureté des eaux superficielles.

Oued	TH (°F)							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Boukraa	8	OB1C	avr-14	16,53	5,95	25,2	OB2C	juin-14
Nil	7,6	ON3	janv-14	15,72	6,38	32	ON6C	
Saayoud	9,2	OS2C		16,42	4,4	26,4	OS5	

Les teneurs de la dureté des oueds présentent la somme des teneurs en calcium et en magnésium. Elles augmentent de l'amont vers l'aval. La fluctuation saisonnière de ces teneurs est significative [$F=727.57$; $p=0$], elle baisse pendant la période de la recharge d'eau sous l'effet de la dilution (pluie) et augmente pendant la période estivale sous l'effet de l'évaporation.

IV.4.2.2. Calcium

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales du calcium des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 20 : Statistique de la variation des teneurs en calcium des eaux superficielles.

Oued	Ca^{2+} (mg/l)							
	Norme des eaux d'irrigation : 0 - 400 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
Valeur	Station	Mois	Valeur			Station	Mois	
Boukraa	16,03	OB1C	avr-14	34,11	16,81	64,13	OB2C	juin-14
Nil	16,03	ON3	janv-14	37,95	13,52	67,33	ON7C	nov-13
Saayoud	20,84	OS2D	juin-14	43,52	14,93	78,55	OS5	juin-14

Les teneurs en calcium des trois oueds varient d'une manière significative [$F=409.73$; $p=0$] :

- d'une saison à l'autre : elles augmentent pendant la période d'été, vu l'effet de l'évaporation et les faibles pluies et diminuent pendant la période pluvieuse (hiver) ;
- de l'amont vers l'aval, elles augmentent, cela est lié aux rejets urbains.

Les teneurs en calcium des eaux superficielles répondent à la norme des eaux d'irrigation (0 à 400 mg/l ; **FAO, 1990**).

L'origine du calcium, de point de vue naturelle, est liée à l'altération des roches calcaires (CaCO_3), dolomites $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ métamorphisés (cipolin) et le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) présent dans les formations marneuse du Miocène de la plaine.

IV.4.2.3. Magnésium

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de magnésium des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 21 : Statistique de la variation des teneurs en magnésium des eaux superficielles.

Oued	Mg^{2+} (mg/l)							
	Norme des eaux d'irrigation : 0 - 60 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Boukraa	5,83	OB1C	avr- 14	15,65	9,52	37,9	OB4	juin- 14
Nil	1,94	ON4	janv- 14	14	10,21	38,88	ON6C	
Saayoud	1	OS1C		14,63	13,01	66,1	OS2D	
		OS2P						

Les concentrations du magnésium des eaux superficielles sont souvent très faibles et respectent la norme des eaux d'irrigation (0 à 60 mg/l ; **FAO, 1990**) sauf au niveau OS2D. Leur origine de point de vue géologique est liée à la dissolution des roches dolomitique $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ métamorphisée. Les concentrations du magnésium augmentent de l'amont vers l'aval et varient significativement d'une saison à l'autre [F=95.23 ; p=0]. Ces concentrations s'élèvent pendant la période à déficit hydrique (estivale), vu l'effet de l'évaporation, les faibles précipitations et diminuent pendant la période pluvieuse (hivernale).

IV.4.2.4. Bicarbonate

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales des bicarbonates des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 22 : Statistique de la variation des teneurs en bicarbonates des eaux superficielles.

Oued	HCO_3^- (mg/l)							
	Norme des eaux d'irrigation : 0 - 610 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Boukraa	68,32	OB2C	avr- 14	150,16	57	246,44	OB4	nov- 13
Nil	80,52	ON7C	janv- 14	185,8	120,98	497,46	ON6C	juin- 14
Saayoud	95,16	OS1C		184,7	81,07	448,96	OS2P	

Les teneurs en bicarbonates de l’oued Nil et ses deux affluents (Boukraa et Saayoud) sont élevées et d’une forte variabilité saisonnière [F=269.77 ; p=0] (elles augmentent pendant la période d’été, sous l’effet de l’évaporation, les faibles pluies et diminuent durant la période recharge d’eau). Elles s’élèvent de l’amont ver l’aval cela est dues de l’effet des rejets urbains. Elles répondent à la norme des eaux d’irrigation (0 - 610 mg/l ; **FAO, 1990**). Les ions hydrogénocarbonates proviennent essentiellement de la dissolution des roches carbonatées, calcaires et dolomites métamorphisés.

IV.4.2.5. Sulfate

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales des sulfates des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 23 : Statistique de la variation des teneurs en sulfates des eaux superficielles.

Oued	SO ₄ ²⁻ (mg/l)							
	Norme algérienne des eaux superficielles : 400 mg/l							
	Norme des eaux d'irrigation : 0 - 960 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Boukraa	2,88	OB4	juin-14	9,95	3,15	12,5	OB4	nov-13
Nil	1	ON4	janv-14	10,3	5,98	19,5	ON3	avr-14
Saayoud	0	OS2C		8,03	5,46	17,5	OS2C	

Les concentrations des sulfates dans les eaux des trois oueds sont très faibles à absentes et d’une forte variabilité saisonnière [F=54.34 ; p=0], leurs origines sont liées à la nature géologique des terrains traversés par la dissolution des sels évaporites (gypse CaSO₄ 2H₂O, anhydrite CaSO₄, etc.). Ces concentrations sont élevées de l’amont à l’aval et ne dépassent pas la norme algérienne des eaux superficielles destinées à l’alimentation en eau potable des populations (400 mg/l ; **JORA, 2011**) et la norme des eaux d’irrigation (0 - 960 mg/l ; **FAO, 1990**).

IV.4.2.6. Chlorure

Les valeurs minimales, moyennes, écart types, normes et maximales de chlorure des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 24 : Statistique de la variation des teneurs en chlorures des eaux superficielles.

Oued	Cl ⁻ (mg/l)							
	Norme algérienne des eaux superficielles : 600 mg/l							
	Norme des eaux d'irrigation : 0 - 1080 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
Valeur	Station	Mois	Valeur			Station	Mois	
Boukraa	34	OB2C	janv-14	59,96	22,67	108	OB4	juin-14
Nil	30	ON3		63,3	42,42	174	ON6C	
		ON4	avr-14					
Saayoud	30	OS1C	janv-14	58,09	18,85	106	OS5	

Les teneurs en chlorure des trois oueds sont faibles et ne dépassent pas la norme algérienne des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations (600 mg/l ; **JORA, 2011**) également la norme des eaux d'irrigation (0 - 1080 mg/l ; **FAO, 1990**). Elles sont dues à la dissolution de l'halite (NaCl) présente dans les formations géologique de la plaine. Ces teneurs augmentent de l'amont vers l'aval, ce qui peut expliquer par l'effet des rejets urbains et ont une variabilité saisonnière significative [$F=268.05$; $p=0$] (sous l'effet des précipitations, les concentrations du chlorure baissent par contre elles s'élèvent pendant la période estivale à cause de l'influence de l'évaporation).

IV.4.2.7. Comparaison entre l'évolution des éléments chimiques

Les fluctuations les plus importantes des éléments chimiques sont observées :

- à l'aval de l'oued Nil, surement liées aux rejets et la confluence des affluents avec l'oued Nil ;
- et à la station OS2C, qui se situe après la confluence de l'oued Saayoud avec l'oued Dridra.

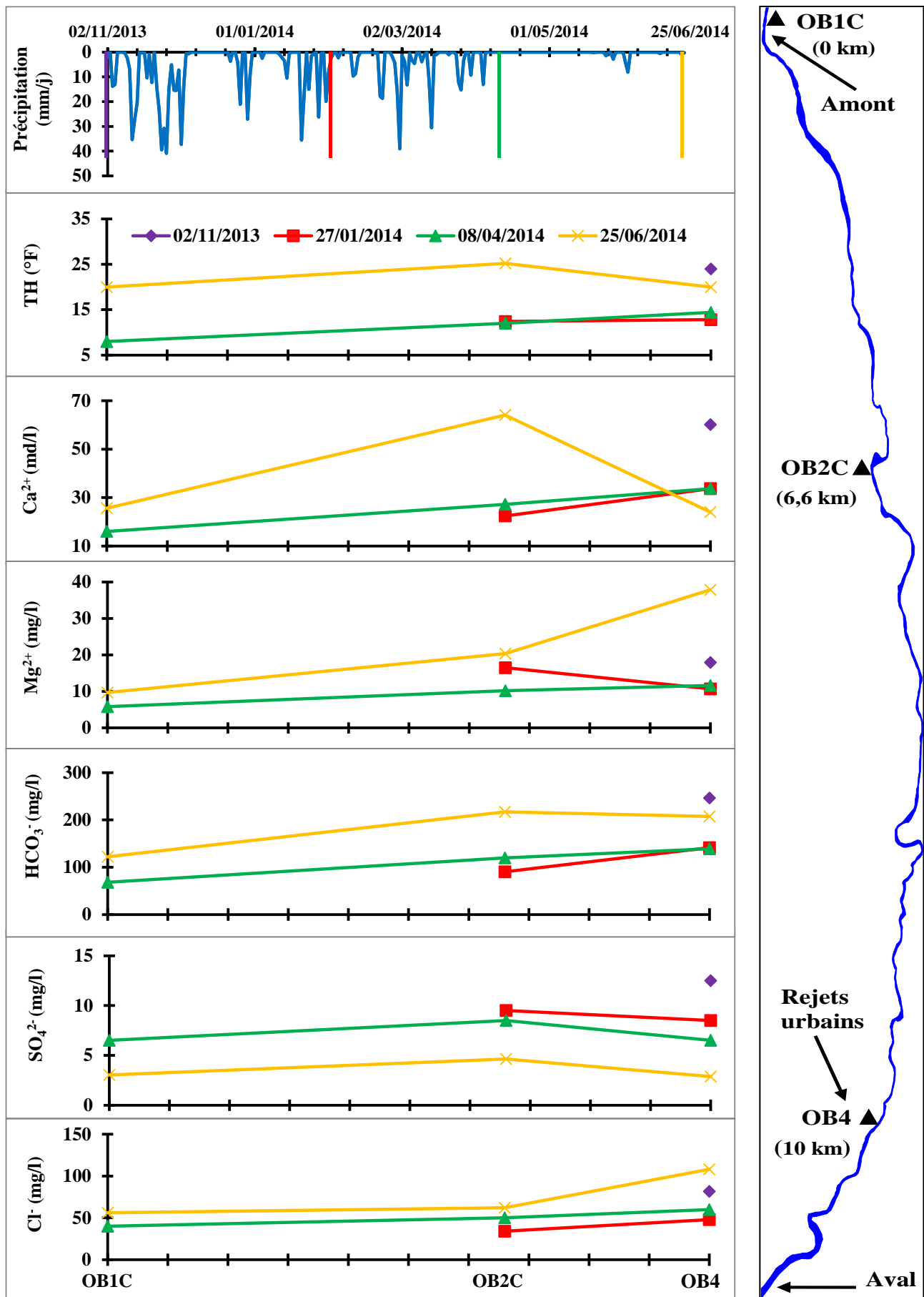


Figure 31 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en éléments majeurs d'oued Boukraa.

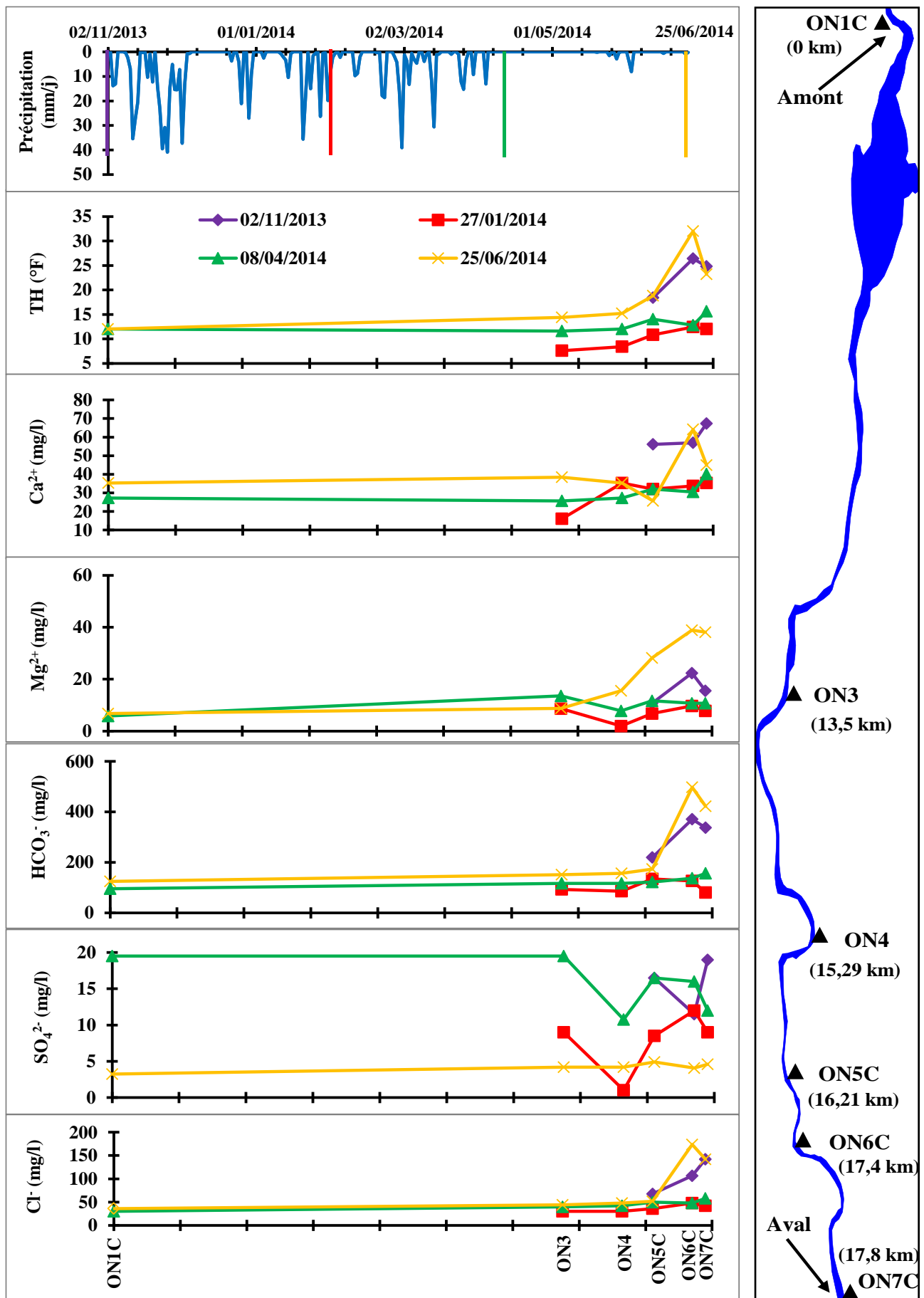


Figure 32 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en éléments majeurs d'oud Nil.

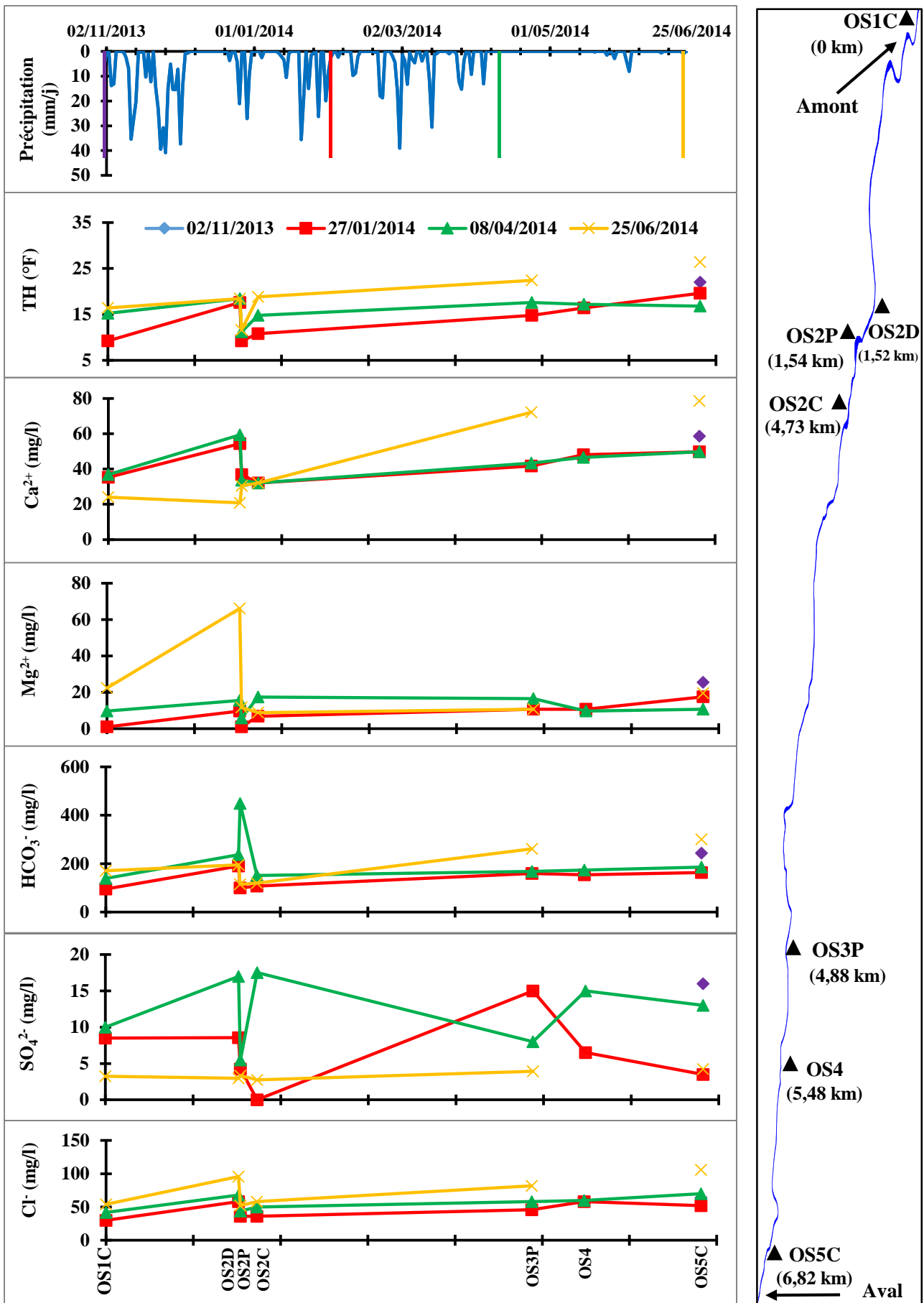


Figure 33 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en éléments majeurs d'oued Saayoud.

IV.4.3. Cycle d'azote 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, le potentiel redox et le phosphate. La représentation graphique de ces sept paramètres est présentée dans les figures 34, 35, 36.

IV.4.3.1. Ammonium

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales d'ammonium des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 25 : Statistique de la variation des teneurs en ammonium des eaux superficielles.

Oued	NH ₄ ⁺ (mg/l)							
	Norme algérienne des eaux superficielles : 4 mg/l							
	Norme des eaux d'irrigation : 0 - 6,4 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Boukraa	0	OB2C	juin-14	0,08	0,052	0,17	OB4	Novembre
Nil	0	ON1C		janv-14	1,18	2,28	7,9	ON7C
		ON5C						
Saayoud	0	OS1C	avr-14	0,6	1,26	4,64	OS5	
		OS2C	juin-14					
		OS2P						

Les concentrations en ammonium des trois oueds ayant une fluctuation saisonnière significative [F=20.63 ; p=0] (elles baissent en période pluvieuse et s'élèvent en période sèche notamment au niveau de l'aval d'oued Nil et d'oued Saayoud). Elles sont les plus souvent faibles à nulles et ne dépassent pas la norme algérienne des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations de 4 mg/l (JORA, 2011), sauf en ON7C (novembre, juin) et OS5 (juin). Cette pollution est due aux rejets urbains, riches en matières organiques qui provoquent une consommation de l'oxygène par les bactéries et une diminution de potentiel redox. Le pic 7.9 mg/l (ON7C ; juin) est supérieur à la norme des eaux d'irrigation (0 – 6.4 mg/l ; FAO, 1990) lorsque cette station est la confluence de plusieurs polluants.

IV.4.3.2. Nitrite

Les concentrations des nitrites des eaux de surface sont faibles à absentes et fluctuent significativement en fonction des saisons [F=5.02 ; p=0.02]. L'absence du nitrite en eaux de surface est liée à l'oxydation de cette forme en nitrate (condition de l'oxygénation) ou la réduction de nitrite en ammonium (condition anoxique) ou l'absence de pollution par cet élément.

La station OS5 durant le mois de juin (période de déficit hydrique) enregistre un pic de 2.16 mg/l en nitrite. Cela peut être expliqué par l'existence des rejets urbains dans cette station et le lessivage des décharges sauvages (lixiviats).

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales des nitrites des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 26 : Statistique de la variation des concentrations du nitrite des eaux superficielles.

Oued	NO ₂ ⁻ (mg/l)							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Boukraa	0,01	OB1C	avr-14	0,055	0,053	0,17	OB4	nov-13
Nil	0	ON3		0,48	0,47	0,18	ON7C	
		ON5C	juin-14					
Saayoud	0	OS1C	janv-14	0,26	0,61	2,16	OS5	juin-14
		OS2D	avr-14					
		OS2P	avr-14					

IV.4.3.3. Nitrate

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales des nitrates des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 27 : Statistique de la variation des concentrations des nitrates des eaux superficielles.

Oued	NO ₃ ⁻ (mg/l)							
	Norme algérienne des eaux superficielles : 50 mg/l							
	Norme des eaux d'irrigation : 0 - 44,3 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Boukraa	0	OB4	juin-14	12,3	10,68	36,22	OB4	nov-13
Nil	0	ON5C		11,23	10,28	36,14	ON5C	
		ON6C						
		ON7C						
Saayoud	0,62	OS2D		10,98	5,92	21,4	OS3P	juin-14

Les teneurs en nitrates des trois oueds sont d'une variabilité temporelle significative [F=185.47 ; p=0] et répondent à la norme algérienne des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations de 50 mg/l (JORA, 2011) et à la norme des eaux d'irrigation (0 – 44.3 mg/l ; FAO, 1990). Cependant, nous avons enregistrés une légère contamination (21.4 – 36.22 mg/l) due de lessivage des sols fertilisés et les rejets urbains.

IV.4.3.4. Phosphate

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de phosphate des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 28 : Statistique de la variation des teneurs en phosphate des eaux superficielles.

Oued	PO ₄ ³⁻ (mg/l)							
	Norme des eaux d'irrigation : 0 - 6,12 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Boukraa	0	OB2C	Juin	0,23	0,38	1,22	OB4	Juin
Nil	0	ON5C	Juin	0,77	1,6	6,3	ON6C	
		ON1C	Avril					
Saayoud	0	OS1C	Juin	0,16	0,16	0,52	OS5	
		OS2C						
		OS2D						
		OS2P						
		OS5	Janvier					

D'une manière générale, les teneurs du phosphate évoluent proportionnellement au teneur d'ammonium, elles augmentent à l'aval de l'oued Nil (ON6C et ON7C) et de l'oued Saayoud (OS5) et s'accompagnent par une baisse des valeurs de l'oxygène dissous et de potentielle redox. Cela peut être expliqué par l'effet des rejets urbains qui sont riches en ammonium et en phosphate. Cependant, la minéralisation de la matière organique engendre une consommation de l'oxygène par les bactéries et une diminution de potentiel redox. Nous avons observés un pic de 6.3 mg/l au niveau de ON6C pendant le mois de juin qui dépasse la norme des eaux d'irrigation (0 – 6.12 mg/l ; **FAO, 1990**) à cause de lessivage de la décharge sauvage (lixiviat). Les teneurs du phosphate ont une variabilité temporelle significative [F=10.92 ; p=0].

IV.4.3.5. Comparaison entre l'évolution des paramètres du cycle d'azote et le phosphate

L'évolution de ces paramètres montre que l'ammonium, nitrite et le phosphate augmentent à l'aval de l'oued Nil, sous l'effet des rejets, et s'accompagnent par une baisse de l'oxygène dissous et de redox.

Le nitrate évolue inversement aux autres paramètres, il diminue à l'aval de l'oued Nil, cela peut être lié à l'effet des conditions réductrices de l'eau qui font transformer le nitrate en nitrite puis en ammonium ou/et à l'effet de la dilution par l'effet de la confluence des affluents avec l'oued Nil.

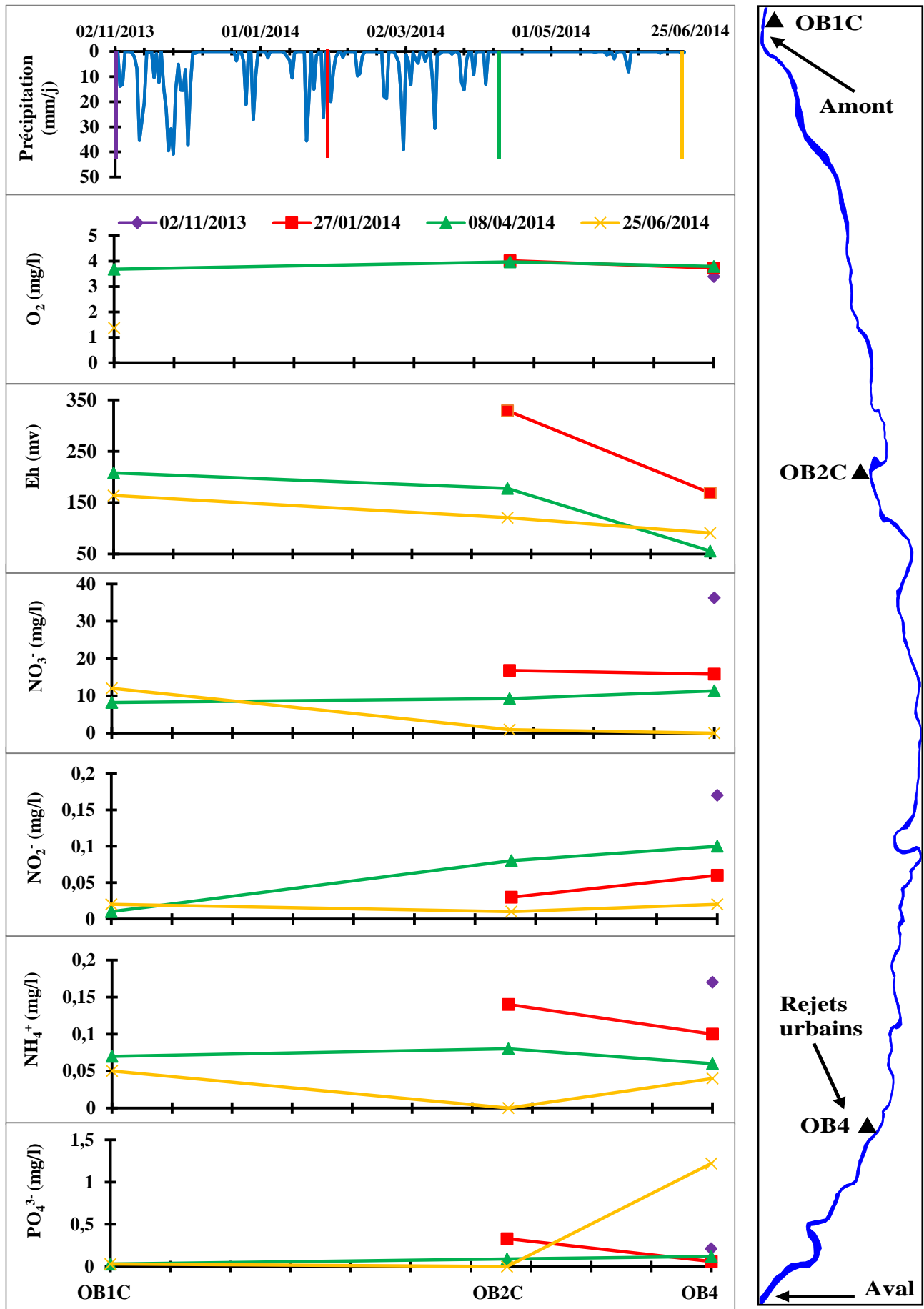


Figure 34 : Evolution spatiotemporelle des formes d'azote et du phosphate d'oued Boukraa.

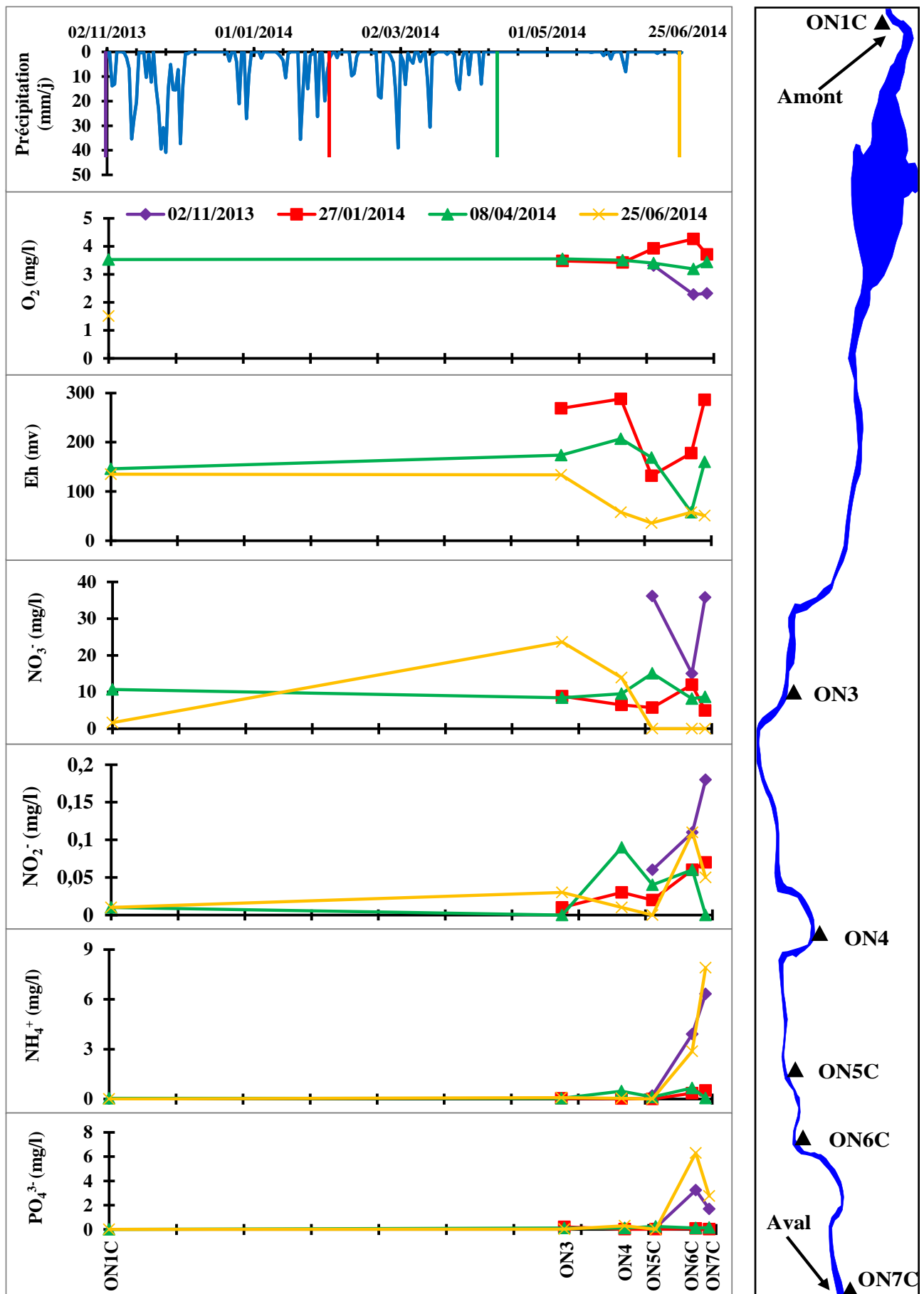


Figure 35 : Evolution spatiotemporelle des formes d'azote et du phosphate d'oued Nil.

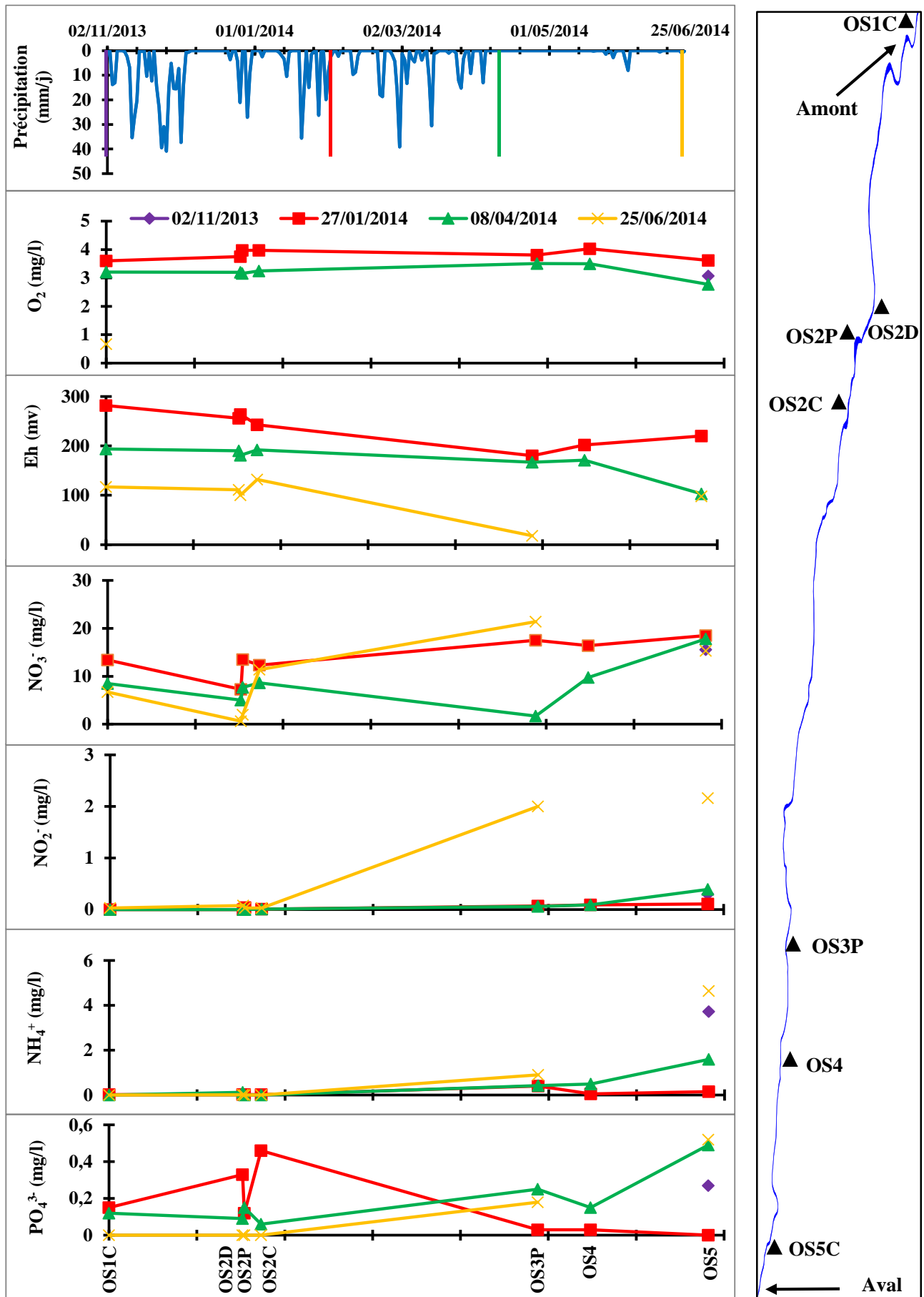


Figure 36 : Evolution spatiotemporelle des formes d'azote et du phosphate d'oued Saayoud.

IV.4.4. Métaux lourds

Six métaux lourds ont été dosés pour les eaux de surface (oueds Boukraa, Nil et Saayoud) : cinq (cadmium total (Cd), plomb total (Pb), cuivre total (Cu), chrome total (Cr), zinc total (Zn)) pour les campagnes du 2/11/2013, 27/1/2014 et 8/4/2014 et un (fer ferreux (Fe²⁺)) pour les trois campagnes et la campagne du 25/6/2014. Les résultats obtenus sont présentés dans les quatre figures 37, 38, 39 et 40.

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales des métaux lourds des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 29 : Statistique de la variation des teneurs en métaux lourds (Cd, Pb, Cu, Cr, Zn) des eaux superficielles.

Oued	Métaux lourds (mg/l)									
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Norme algérienne (mg/l)	Norme d'irrigation (mg/l)	Maximum		
	Valeur	Station	Mois					Valeur	Station	Mois
Plomb	0,0887	ON6C	janv-14	0,64	0,23	0,05	5	0,9535	ON7C	janv-14
Cadmium	0,0008	OB4		0,005	0,003	0,005	0,01	0,0118	OB4	avr-14
Chrome	0	ON6C		0,066	0,056	0,1	0,1	0,1898	OS1C	janv-14
		OS2C								
Cuivre	0,0089	OS5		0,028	0,02	2	0,2	0,0974	ON6C	
Zinc	0	OS1C	avr-14	0,013	0,017	5	2	0,0567	OS1C	

IV.4.4.1. Plomb

Les teneurs en plomb total des eaux de surface de la plaine alluviale d'oud Nil fluctuent significativement d'une saison à l'autre [F=115.85 ; p=0] et sont supérieures à la norme algérienne des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations de 0.05 mg/l (JORA, 2011) pendant toute la durée de suivi, cela pourrait être lié aux activités anthropiques (rejets urbains) et le lessivage du sol fertilisé et les déchets des décharges sauvages (lixiviats).

Elles sont aussi inférieures à la norme des eaux d'irrigation de 5 mg/l (FAO, 1990) aux niveaux des stations d'étude durant le suivi. Donc, les eaux des oueds sont valables à l'irrigation mais, avec le temps ces concentrations vont provoquer le phénomène de bioaccumulation de plomb dans les terres agricoles et les végétaux.

IV.4.4.2. Cadmium

Les teneurs en cadmium dans les eaux des oueds ont une variabilité saisonnière intéressante [F=50.36 ; p=0] et dépassées la norme algérienne des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations de 0.005 mg/l (JORA, 2011) en OB1C, OB4, ON5C, ON7C, OS1C, OS2C et OS5 durant le mois d'avril, ON6C (novembre, janvier) et OS5 (janvier). Cette pollution peut être due au déversement direct des eaux usées urbaines (eaux des égouts et de minages etc.),

des décharges sauvages (déchets des abattoirs et déchets domestiques) dans les oueds étudiés sans traitement préalable et le lessivage du sol fertilisé. Elles sont conformes ainsi avec la norme des eaux d'irrigation de 0.01 mg/l (FAO, 1990) lors le suivi dans toutes les stations.

IV.4.4.3. Chrome

Les teneurs en chrome total des trois oueds ont une haute fluctuation saisonnière [F=23.33 ; p=0] et dépassent légèrement la norme algérienne des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations de 0.1 mg/l (JORA, 2011) et la norme des eaux d'irrigation de 0.1 mg/l (FAO, 1990) au niveau OS1C (janvier et avril) et OS5 (avril). À cause des effluents domestiques, le lessivage des déchets des décharges sauvages ainsi les sols fertilisés (engrais et les pesticides issus des terres agricoles).

IV.4.4.4. Cuivre

Les concentrations du cuivre total des eaux de surface varient significativement d'une saison à l'autre [F=28.36 ; p=0] et répondent à la norme algérienne des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations de 2 mg/l (JORA, 2011) et la norme des eaux d'irrigation de 0.2 mg/l (FAO, 1990) durant la période du suivi surement liées à la nature géologique des terrains traversés.

IV.4.4.5. Zinc

Les teneurs en zinc total des eaux superficielles sont très faibles à nulles avec une fluctuation temporelle significative [F=10.53 ; p=0]. Elles sont inférieures à la norme algérienne des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations de 5 mg/l (JORA, 2011) et la norme des eaux d'irrigation de 2 mg/l (FAO, 1990) pendant la durée du suivi dans toutes les stations surement liées à la nature géologique des terrains traversés (Amphibole...). La teneur de Zn diminue et se précipite sous forme des complexes lorsque le pH des eaux de surface est alcalin.

IV.4.4.6. Fer ferreux

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de fer ferreux des trois oueds sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 30 : Statistique de la variation de la concentration du fer ferreux des eaux superficielles.

Oued	Fe ²⁺ (mg/l)							
	Norme algérienne des eaux superficielles : 1 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Boukraa	0	OB1C	juin-14	0,05	0,051	0,12	OB4	juin-14
		Toutes les stations	avr-14					
Nil	0	Toutes les stations	avr-14	0,12	0,17	0,54	ON6C	
		ON1C	juin-14					
		ON3						
Saayoud	0	Toutes les stations	avr-14	0,045	0,057	0,2	OS5	
		OS1C	juin-14					
		OS2D						
		OS2P						
		OS2C						

Les teneurs en fer ferreux dans les eaux de surface sont d'une variabilité temporelle significative [F=23.67 ; p=0], très faibles à nulles et répondent à la norme algérienne des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations de 1 mg/l (JORA, 2011) sûrement liées à la nature géologique des terrains traversés (Amphibole, Muscovite, Biotite, Hornblende Glaucophane et Hématite).

Une légère contamination est observée à l'aval des trois oueds (OB4, ON6C, ON7C et OS5) au mois de juin, cela est dû à l'effet de l'évaporation et le manque des précipitations qui font augmenter les concentrations. Durant ce mois, la pollution organique est élevée notamment par NH₄⁺ et PO₄³⁻, ce qui explique la faible teneur en oxygène dissous et la baisse du potentiel redox (condition réduite de Fe³⁺ en Fe²⁺).

Cette contamination est être due au : 1) lessivage des déchets de la décharge sauvage (lixiviat) aux niveaux ON6C et OS5C ; 2) le déversement des eaux usées domestiques au milieu de l'oued ou lessivage des engrais et des pesticides issus de l'agriculture au niveau OB4. La station ON7C correspond à l'aval d'oued Nil ce qui indique la confluence des polluants des trois affluents.

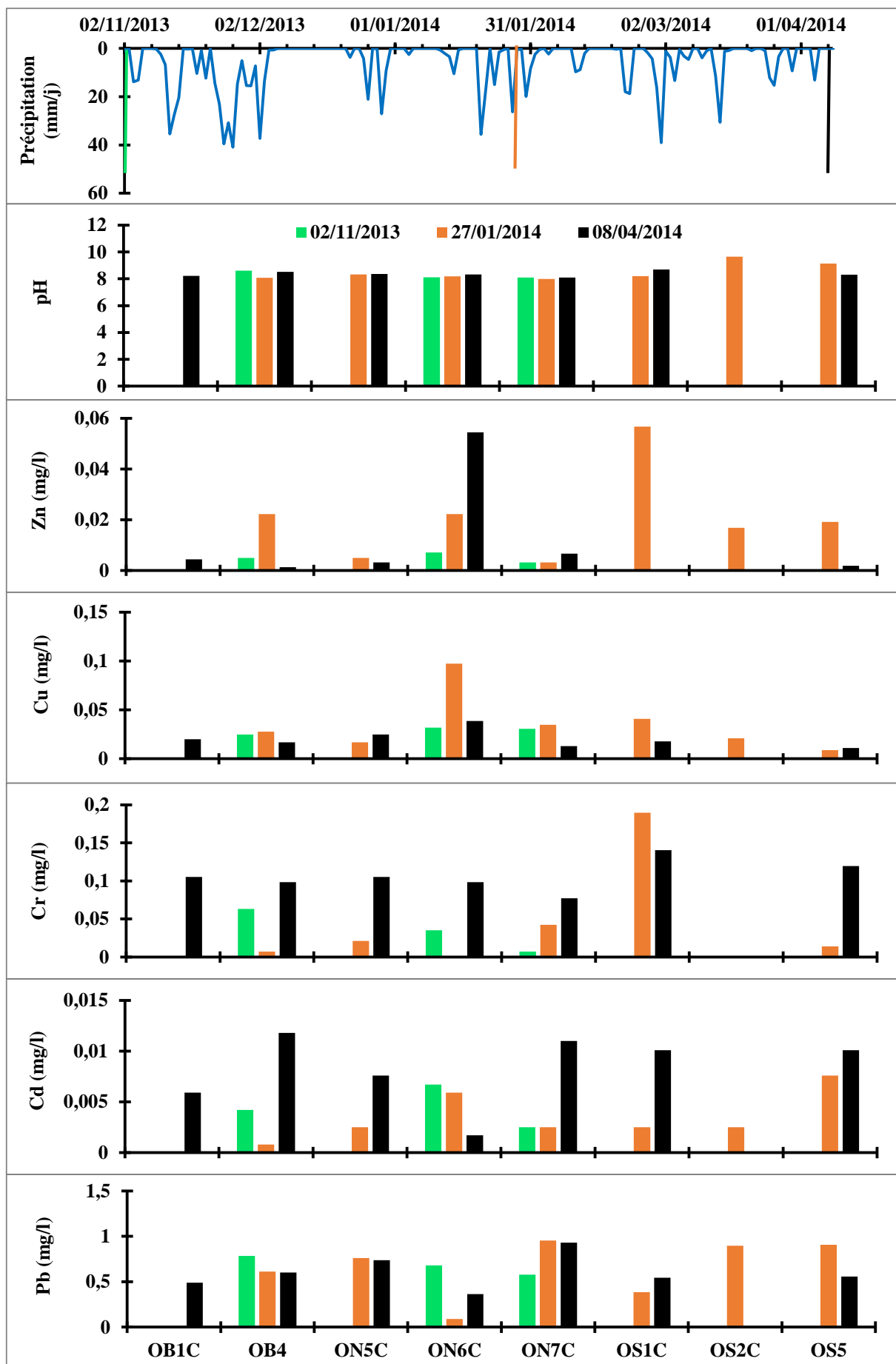


Figure 37 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en métaux lourds des eaux de surface.

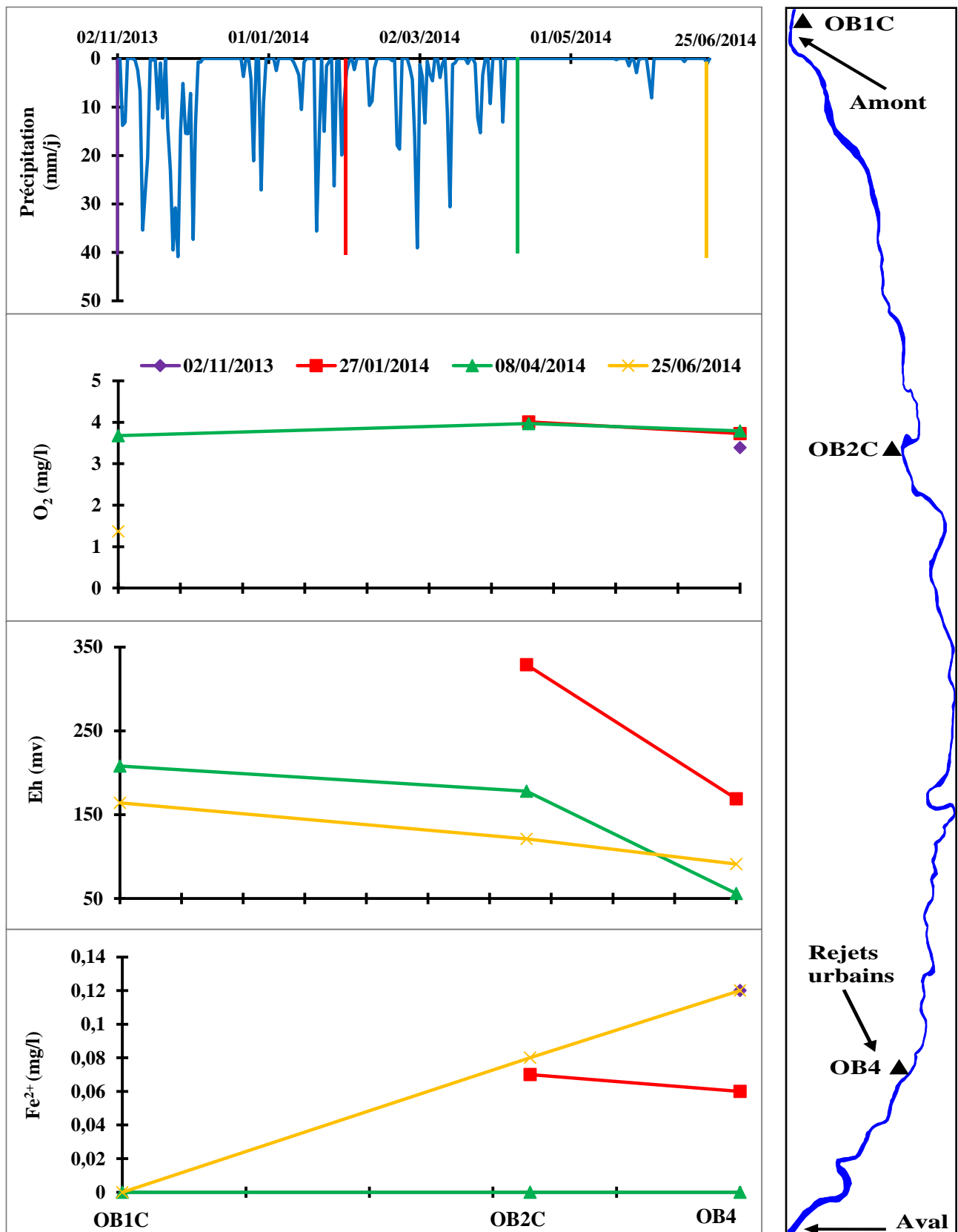


Figure 38 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en Fer ferreux d'oued Boukraa.

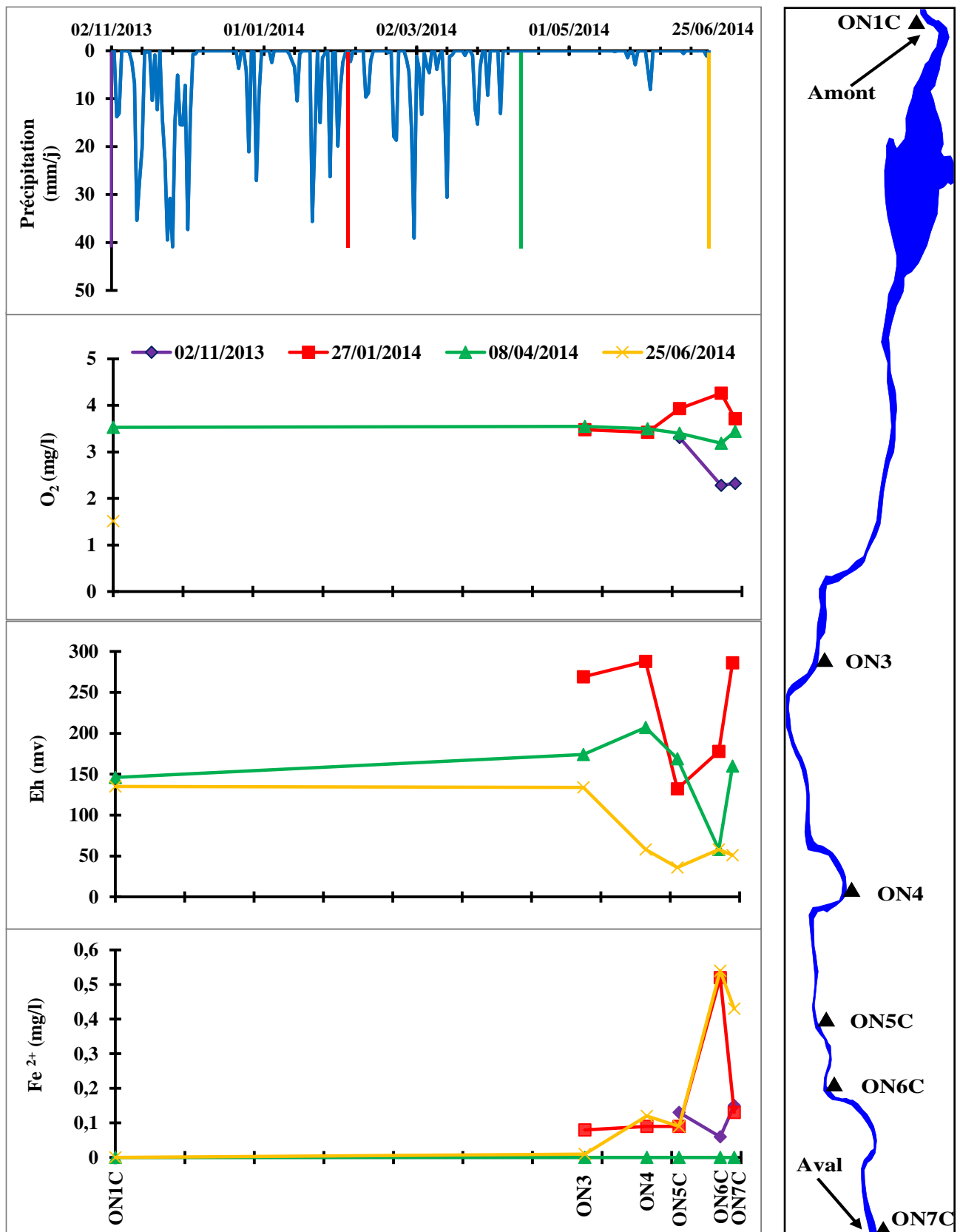


Figure 39 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en Fer ferreux d'oued Nil.

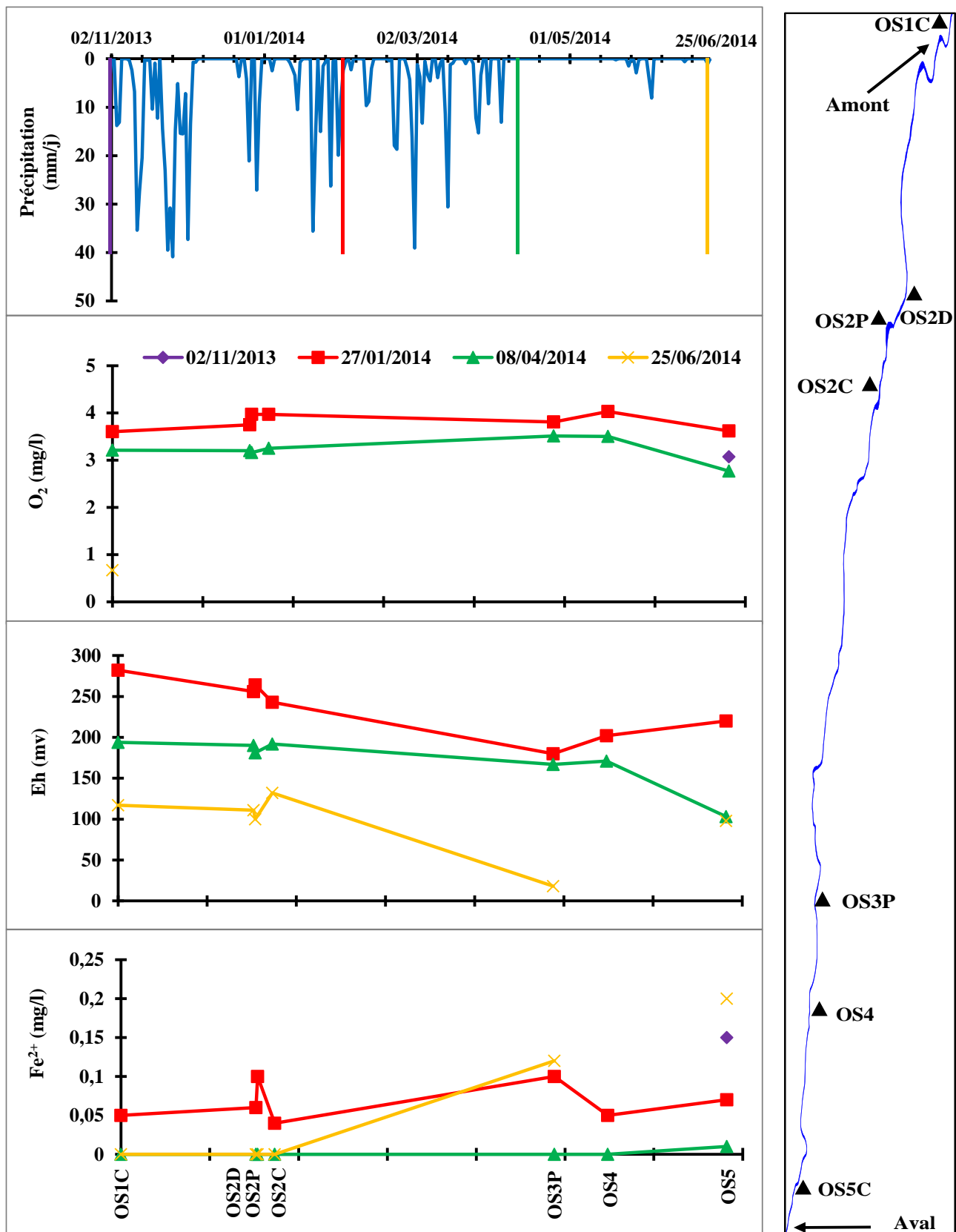


Figure 40 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en Fer ferreux d'oued Saayoud.

IV.5. Etude statistique de la chimie des eaux souterraines

IV.5.1. Etude statistique complète

Cette étude a été réalisée sur l'ensemble des variables, seul 11 individus (4 forages et deux puits avec leur évolution temporelle) possèdent une analyse complète. Les sources ne sont pas concernées par cette étude car elles ne possèdent pas l'analyse des métaux lourds.

a. Matrice de corrélation

Le coefficient de corrélation calculé selon la formule de Mangin (1975), indique une valeur de $R = 0.84$. Cette valeur est élevée vu le faible nombre des individus (11).

Nous avons choisi deux classes : l'une pour les valeurs supérieures à 0.84, indiquent une bonne corrélation (couleur verte) ; et l'autre pour les valeurs de 0.7 à 0.84 indiquent une relation acceptable (couleur orange). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 31 : Matrice de la corrélation complète des variables des eaux souterraines.

	T	pH	O ₂	CE	TDS	Sal	Eh	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	Cd	Pb	Cu	Zn	Cr
T	1.00	0.15	-0.14	-0.23	-0.23	-0.41	0.08	0.12	0.37	0.33	0.42	-0.01	-0.20	0.55	-0.22	-0.08	-0.25	-0.05	0.29	0.38	-0.46	-0.13	0.50
pH	0.15	1.00	0.06	-0.44	-0.44	-0.51	0.10	-0.10	-0.18	-0.44	-0.25	-0.73	0.14	0.13	0.12	0.37	-0.26	-0.13	0.49	0.43	-0.62	-0.20	0.52
O ₂	-0.14	0.06	1.00	-0.14	-0.14	-0.21	0.23	-0.78	-0.15	-0.05	0.05	-0.04	-0.09	0.18	0.14	0.06	-0.54	-0.32	-0.14	0.43	-0.20	0.56	0.09
CE	-0.23	-0.44	-0.14	1.00	1.00	0.89	-0.48	0.43	-0.24	-0.11	-0.33	0.54	0.70	-0.26	0.70	0.52	0.58	-0.27	-0.47	-0.42	0.66	-0.15	0.04
TDS	-0.23	-0.44	-0.14	1.00	1.00	0.89	-0.48	0.43	-0.23	-0.10	-0.32	0.55	0.70	-0.25	0.70	0.52	0.58	-0.26	-0.47	-0.42	0.66	-0.15	0.04
Sal	-0.41	-0.51	-0.21	0.89	0.89	1.00	-0.24	0.35	-0.24	0.09	-0.26	0.70	0.43	-0.14	0.44	0.23	0.57	-0.12	-0.68	-0.53	0.74	-0.35	-0.17
Eh	0.08	0.10	0.23	-0.48	-0.48	-0.24	1.00	-0.62	0.20	0.59	0.62	-0.05	-0.59	0.29	-0.43	-0.32	-0.71	0.19	0.00	0.41	-0.20	-0.17	-0.04
NH ₄ ⁺	0.12	-0.10	-0.78	0.43	0.43	0.35	-0.62	1.00	0.23	-0.26	-0.24	0.12	0.42	-0.16	0.14	0.13	0.87	0.17	-0.01	-0.47	0.13	-0.20	0.14
NO ₂ ⁻	0.37	-0.18	-0.15	-0.24	-0.23	-0.24	0.20	0.23	1.00	0.39	0.68	-0.17	-0.29	-0.02	-0.40	-0.23	-0.07	0.72	-0.15	0.46	-0.22	0.31	-0.18
NO ₃ ⁻	0.33	-0.44	-0.05	-0.11	-0.10	0.09	0.59	-0.26	0.39	1.00	0.80	0.42	-0.55	0.40	-0.44	-0.45	-0.38	0.46	-0.46	0.29	0.32	-0.26	-0.36
PO ₄ ³⁻	0.42	-0.25	0.05	-0.33	-0.32	-0.26	0.62	-0.24	0.68	0.80	1.00	0.05	-0.61	0.22	-0.36	-0.34	-0.45	0.60	-0.18	0.50	-0.04	0.10	-0.16
Cl ⁻	-0.01	-0.73	-0.04	0.54	0.55	0.70	-0.05	0.12	-0.17	0.42	0.05	1.00	-0.13	0.37	-0.01	-0.35	0.34	-0.24	-0.61	-0.57	0.48	-0.26	-0.09
HCO ₃ ⁻	-0.20	0.14	-0.09	0.70	0.70	0.43	-0.59	0.42	-0.29	-0.55	-0.61	-0.13	1.00	-0.39	0.73	0.82	0.48	-0.33	0.04	-0.12	0.30	0.05	0.26
SO ₄ ²⁻	0.55	0.13	0.18	-0.26	-0.25	-0.14	0.29	-0.16	-0.02	0.40	0.22	0.37	-0.39	1.00	-0.40	-0.46	-0.16	-0.22	-0.15	0.11	-0.34	-0.27	0.43
TH	-0.22	0.12	0.14	0.70	0.70	0.44	-0.43	0.14	-0.40	-0.44	-0.36	-0.01	0.73	-0.40	1.00	0.88	0.25	-0.36	-0.09	-0.06	0.32	-0.01	0.32
Ca ²⁺	-0.08	0.37	0.06	0.52	0.52	0.23	-0.32	0.13	-0.23	-0.45	-0.34	-0.35	0.82	-0.46	0.88	1.00	0.07	-0.26	0.13	0.23	0.14	-0.02	0.35
Mg ²⁺	-0.25	-0.26	-0.54	0.58	0.58	0.57	-0.71	0.87	-0.07	-0.38	-0.45	0.34	0.48	-0.16	0.25	0.07	1.00	-0.02	-0.21	-0.72	0.32	-0.08	0.04
Fe ²⁺	-0.05	-0.13	-0.32	-0.27	-0.26	-0.12	0.19	0.17	0.72	0.46	0.60	-0.24	-0.33	-0.22	-0.36	-0.26	-0.02	1.00	-0.32	0.34	0.20	0.06	-0.60
Cd	0.29	0.49	-0.14	-0.47	-0.47	-0.68	0.00	-0.01	-0.15	-0.46	-0.18	-0.61	0.04	-0.15	-0.09	0.13	-0.21	-0.32	1.00	0.05	-0.59	0.14	0.44
Pb	0.38	0.43	0.43	-0.42	-0.42	-0.53	0.41	-0.47	0.46	0.29	0.50	-0.57	-0.12	0.11	-0.06	0.23	-0.72	0.34	0.05	1.00	-0.33	0.23	0.05
Cu	-0.46	-0.62	-0.20	0.66	0.66	0.74	-0.20	0.13	-0.22	0.32	-0.04	0.48	0.30	-0.34	0.32	0.14	0.32	0.20	-0.59	-0.33	1.00	-0.19	-0.60
Zn	-0.13	-0.20	0.56	-0.15	-0.15	-0.35	-0.17	-0.20	0.31	-0.26	0.10	-0.26	0.05	-0.27	-0.01	-0.02	-0.08	0.06	0.14	0.23	-0.19	1.00	-0.10
Cr	0.50	0.52	0.09	0.04	0.04	-0.17	-0.04	0.14	-0.18	-0.36	-0.16	-0.09	0.26	0.43	0.32	0.35	0.04	-0.60	0.44	0.05	-0.60	-0.10	1.00

Le tableau 31 montre :

- une très bonne corrélation entre la salinité, la conductivité électrique et la TDS et ils évoluent proportionnellement aux bicarbonates, le titre hydrométrique et le cuivre ;
- l'ammonium évolue proportionnellement avec le magnésium et inversement proportionnelle à l'oxygène ;
- une évolution proportionnelle entre le magnésium et le plomb ; le fer ferreux et les nitrites.

b. Moyenne et écart type

Les résultats obtenus pour chaque variable sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 32 : Moyenne et écart type complète des variables des eaux souterraines.

	T	pH	O ₂	CE	TDS	Sal	Eh	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	Cd	Pb	Cu	Zn	Cr
Moyenne	19.48	7.49	21.01	470.18	470.55	0.15	158.91	0.57	0.01	39.15	0.22	79.27	167.77	11.14	16.29	39.93	13.70	0.045	0.009	0.701	0.021	0.021	0.089
Ecart-type	1.44	0.52	9.68	108.51	108.22	0.07	119.98	1.11	0.01	53.65	0.24	27.00	66.31	4.65	5.43	19.11	8.08	0.053	0.005	0.108	0.009	0.026	0.068

Ce tableau montre que les espèces chimiques qui présentent des concentrations élevées (moyenne > 30 mg/l) sont : les nitrates, les chlorures, les bicarbonates et le calcium.

Les nitrates sont caractérisés aussi par une grande variation de ses valeurs par rapport à la moyenne (39 mg/l), leur écart type est de l'ordre de 53 mg/l.

c. Analyse en Composantes Principales (ACP)

Les valeurs de la corrélation des variables et des individus par rapport aux axes sont présentées dans le tableau 15 et la figure 27.

Tableau 33 : Valeurs propres complète des variables et des individus des axes de l'ACP des eaux souterraines.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
T	-0.41	0.08	0.40	0.29	-0.63	0.22
pH	-0.31	0.77	0.08	0.02	-0.15	-0.39
O ₂	-0.27	0.19	-0.77	0.25	0.11	0.42
CE	0.92	-0.17	-0.16	0.08	-0.28	0.09
TDS	0.91	-0.17	-0.16	0.08	-0.29	0.09
Sal	0.83	-0.45	-0.13	0.16	-0.10	-0.12
Eh	-0.67	-0.26	-0.28	0.22	-0.08	-0.34
NH ₄ ⁺	0.55	-0.03	0.75	-0.27	-0.22	0.08
NO ₂ ⁻	-0.42	-0.35	0.22	-0.52	-0.43	0.33
NO ₃ ⁻	-0.39	-0.80	-0.11	0.16	-0.33	-0.14
PO ₄ ³⁻	-0.61	-0.54	-0.08	-0.13	-0.44	0.09
Cl ⁻	0.41	-0.67	0.03	0.57	0.03	0.21
HCO ₃ ⁻	0.75	0.45	-0.12	-0.18	-0.26	0.02
SO ₄ ²⁻	-0.37	-0.15	0.23	0.75	-0.20	0.13
TH	0.68	0.39	-0.40	-0.03	-0.34	-0.04
Ca ²⁺	0.49	0.57	-0.36	-0.20	-0.48	-0.17
Mg ²⁺	0.76	-0.09	0.54	-0.13	0.09	0.18
Fe ²⁺	-0.31	-0.51	0.12	-0.71	-0.17	-0.16
Cd	-0.31	0.72	0.31	-0.05	0.14	-0.04
Pb	-0.63	0.18	-0.41	-0.24	-0.53	-0.02
Cu	0.62	-0.58	-0.31	-0.16	0.03	-0.23
Zn	-0.17	0.17	-0.31	-0.41	0.20	0.78
Cr	0.01	0.63	0.23	0.51	-0.42	0.17
Expt.Var	7.29	4.74	2.71	2.63	2.15	1.51
Var %	31.72	20.63	11.77	11.42	9.35	6.57

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
FN02-1-14	-0.92	0.31	-0.15	-1.18	1.17	-1.29
FN02-4-14	-1.31	1.71	0.90	0.55	0.17	-0.75
FN08-1-14	1.52	-0.33	1.34	-1.38	0.07	0.10
FN08-4-14	0.92	0.51	1.62	0.52	-0.74	0.14
FS02-1-14	1.02	0.03	-1.53	-0.98	-0.09	-1.00
FS02-4-14	0.62	0.83	-1.28	1.04	-1.59	-0.36
FS03-1-14	-0.48	0.34	-0.74	-0.82	0.23	2.05
FS03-4-14	-0.05	0.58	-0.33	0.34	0.69	1.43
PB10bis-1-14	0.04	-1.33	-0.13	1.07	0.69	-0.57
PB10bis-4-14	0.24	-1.08	-0.01	1.37	1.18	0.15
PN22-1-14	-1.59	-1.58	0.31	-0.54	-1.76	0.10

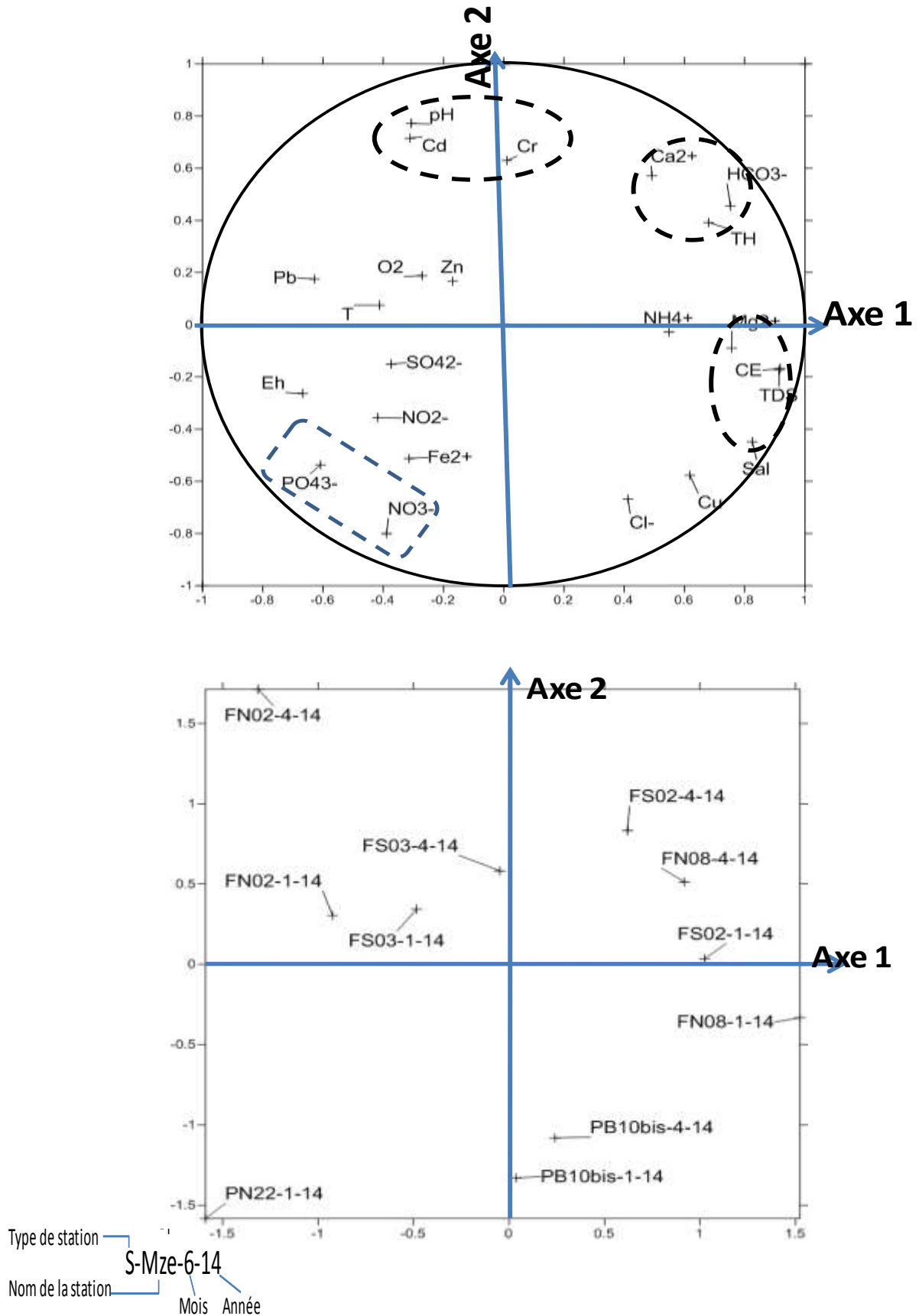


Figure 41 : Projection des variables et des individus complète sur les axes 1 et 2 des eaux souterraines.

La projection des variables sur l'axe 1 (31.7% de la variance) et l'axe 2 (20.6% de la variance) (figure 41) montre :

- une relation proportionnelle entre : 1) salinité, TDS, conductivité électrique et magnésium ; 2) calcium, bicarbonates et le titre hydrométrique ; 3) phosphate et nitrates ; 4) chrome, cadmium et pH
- une relation inversement proportionnelle entre : 1) le groupe 3 (phosphate et nitrates) et le groupe 4 (chrome, cadmium et pH) ; 2) le groupe 3 (phosphate et nitrates) et le groupe 2 (calcium, bicarbonates et le titre hydrométrique)

IV.5.2. Etude statistique partielle

Cette étude a été réalisée sur les variables communes entre les individus. Au total 37 individus possèdent une analyse complète (16 variables).

a. Matrice de corrélation

Le coefficient de corrélation calculé selon la formule de Mangin (1975), indique une valeur de R = 0.58. La matrice de corrélation est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 34 : Matrice de corrélation partielle des variables des eaux souterraines.

	T	pH	CE	TDS	Sal	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺
T	1.00	-0.33	0.10	0.14	0.12	0.05	0.12	0.18	0.11	0.28	-0.20	0.04	-0.02	-0.12	0.16	0.03
pH	-0.33	1.00	-0.25	-0.29	-0.28	0.29	-0.05	-0.61	0.31	-0.54	0.66	0.01	0.16	0.41	-0.36	-0.10
CE	0.10	-0.25	1.00	0.98	0.96	-0.09	0.29	0.28	-0.03	0.84	0.08	0.53	0.55	0.33	0.57	-0.10
TDS	0.14	-0.29	0.98	1.00	0.98	-0.10	0.26	0.30	-0.04	0.88	0.05	0.51	0.55	0.30	0.59	-0.09
Sal	0.12	-0.28	0.96	0.98	1.00	-0.06	0.30	0.31	-0.07	0.88	0.08	0.51	0.55	0.31	0.58	-0.05
NH ₄ ⁺	0.05	0.29	-0.09	-0.10	-0.06	1.00	-0.01	-0.37	0.07	-0.19	0.42	-0.27	-0.03	0.08	0.19	0.02
NO ₂ ⁻	0.12	-0.05	0.29	0.26	0.30	-0.01	1.00	0.21	-0.08	0.25	-0.02	0.16	0.07	0.08	0.14	0.31
NO ₃ ⁻	0.18	-0.61	0.28	0.30	0.31	-0.37	0.21	1.00	-0.13	0.49	-0.62	0.25	-0.15	-0.34	0.08	0.19
PO ₄ ³⁻	0.11	0.31	-0.03	-0.04	-0.07	0.07	-0.08	-0.13	1.00	-0.10	0.20	-0.14	0.12	0.16	0.06	0.04
Cl ⁻	0.28	-0.54	0.84	0.88	0.88	-0.19	0.25	0.49	-0.10	1.00	-0.29	0.37	0.30	-0.04	0.61	-0.01
HCO ₃ ⁻	-0.20	0.66	0.08	0.05	0.08	0.42	-0.02	-0.62	0.20	-0.29	1.00	0.05	0.62	0.77	0.02	-0.11
SO ₄ ²⁻	0.04	0.01	0.53	0.51	0.51	-0.27	0.16	0.25	-0.14	0.37	0.05	1.00	0.30	0.21	0.17	0.05
TH	-0.02	0.16	0.55	0.55	0.55	-0.03	0.07	-0.15	0.12	0.30	0.62	0.30	1.00	0.87	0.40	0.03
Ca ²⁺	-0.12	0.41	0.33	0.30	0.31	0.08	0.08	-0.34	0.16	-0.04	0.77	0.21	0.87	1.00	0.06	0.05
Mg ²⁺	0.16	-0.36	0.57	0.59	0.58	0.19	0.14	0.08	0.06	0.61	0.02	0.17	0.40	0.06	1.00	0.04
Fe ²⁺	0.03	-0.10	-0.10	-0.09	-0.05	0.02	0.31	0.19	0.04	-0.01	-0.11	0.05	0.03	0.05	0.04	1.00

Le tableau 34 montre :

- une corrélation proportionnelle entre : 1) la conductivité électrique, la salinité, la TDS, les chlorures et le magnésium ; 2) les bicarbonates, le calcium et titre hydrométrique.
- Une corrélation inversement proportionnelle entre le pH et les nitrates.

b. Moyenne et écart type

Les résultats obtenus pour chaque variable sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 35 : Moyenne et écart type partielle des variables des eaux souterraines.

	T	pH	CE	TDS	Sal	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺
Moyenne	20.54	6.81	511.41	519.86	0.17	0.33	0.006	48.67	0.39	122.78	134.09	10.22	16.41	35.66	16.29	0.037
Ecart-Type	1.56	0.77	229.73	239.42	0.14	0.81	0.009	41.94	1.23	92.61	80.31	5.38	5.21	17.51	6.50	0.067

Ce tableau montre une grande variation des nitrates, phosphates et les chlorures par rapport à la moyenne.

c. Analyse en Composantes Principales (ACP)

La présentation des variances des axes de l'analyse en composantes principales dans le tableau 36 montre que l'axe 1 et l'axe 2 sont les plus représentatifs avec une variance globale de 54.71% de la variance totale.

Tableau 36 : Valeurs propres partielle des variables des axes de l'ACP des eaux souterraines.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
T	0.22	-0.26	-0.46	0.20	0.38
pH	-0.41	0.73	0.17	0.04	0.02
CE	0.95	0.14	0.01	-0.10	-0.04
TDS	0.97	0.10	-0.02	-0.12	-0.01
Sal	0.96	0.11	-0.02	-0.07	-0.07
NH ₄ ⁺	-0.17	0.37	-0.67	0.12	-0.43
NO ₂ ⁻	0.34	-0.05	0.08	0.66	-0.27
NO ₃ ⁻	0.42	-0.68	0.21	0.16	0.14
PO ₄ ³⁻	-0.08	0.29	-0.31	0.17	0.75
Cl ⁻	0.91	-0.26	-0.13	-0.09	0.01
HCO ₃ ⁻	-0.03	0.95	-0.03	0.03	-0.08
SO ₄ ²⁻	0.56	0.08	0.50	0.01	0.02
TH	0.56	0.69	0.10	0.04	0.15
Ca ²⁺	0.27	0.84	0.20	0.13	0.12
Mg ²⁺	0.65	0.04	-0.50	-0.01	-0.12
Fe ²⁺	0.02	-0.11	0.10	0.85	-0.02
Expl.Var	5.26	3.49	1.41	1.32	1.05
Variance %	32.89	21.82	8.80	8.26	6.58

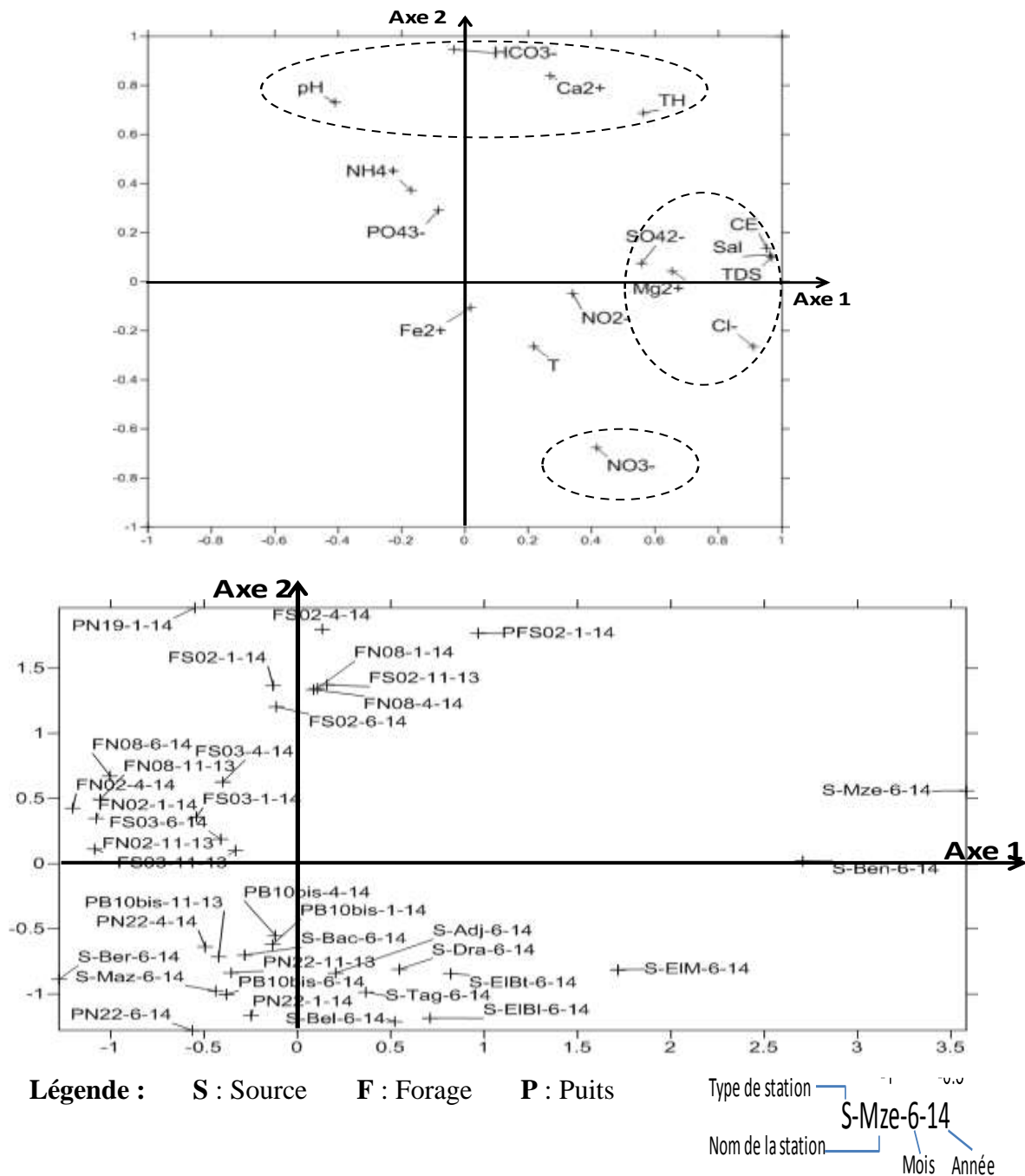


Figure 42 : Projection des variables et des individus partielle sur l'axe 1 et l'axe 2 des eaux souterraines.

La projection des variables et des individus sur les axes 1 et 2 (figure 42), montre que trois groupes :

- Groupe 1 : représente la salinité (CE, Sal., TDS et les chlorures) est caractérisé par deux sources (Ben Taher et M'Zahda) durant le mois de juin ;
- Groupe 2 : représente la pollution par les nitrates, il caractérise les sources et deux puits (PN22 et PB10 bis) ;
- Groupe 3 : représente les carbonates (HCO_3^- et Ca^{2+}) et le pH, il est présenté par les forages et le puits PN19.

IV.6. Evolution spatiotemporelle de la chimie des eaux souterraines

IV.6.1. Paramètres physiques

Il s'agit des paramètres facilement mesurables *in situ* et utiles pour donner une idée initiale intéressante de la qualité de l'eau. L'évolution spatiotemporelle des paramètres physiques (température, pH, conductivité, TDS, salinité, oxygène dissous et potentiel redox) des eaux souterraines (puits, forages et sources) est présentée dans les trois figures 44, 45, 46.

IV.6.1.1. Température (T)

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de la température des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 37 : Statistique de la variation des valeurs de la température des eaux souterraines.

Eaux souterraines	T (°C)							
	Norme algérienne de potabilité : 25°C							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	18,8	PN22	avr-14	20,76	1,48	23,1	PN22	nov-14
	18,9	PB10 bis						
Forage	17	FN2	janv-14	19,88	1,62	23,6	FN8	
Source	18,9	Adjari	juin-14	21,06	1,04	23	El-Moubia	juin-14
		El-Battoire						

Les valeurs de la température de la nappe phréatique et la nappe captive répondent à la norme algérienne de potabilité de 25°C (JORA, 2011) à cause du contact indirect avec l'atmosphère (profondeur). Elles ont une variabilité saisonnière significative au niveau des eaux de puits [F=4315.30 ; P=0] et forages [F=3027.57 ; P=0] par contre elles ne présentent aucune fluctuation temporelle importante dans les eaux de sources [t=0.52 ; P=0.6]. Le niveau thermique des stations d'études est bas pendant la période pluvieuse.

IV.6.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de pH des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 38 : Statistique de la variation des valeurs du pH des eaux souterraines.

Eaux souterraines	pH							
	Norme algérienne de potabilité : 6,5 ≤ pH ≤ 9							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	6,05	PN22	juin-14	6,88	0,65	8,28	PN19	janv-14
Forage	6,72	FS3	avr-14	7,41	0,48	8,41	FN2	juin-14
Source	5,53	El-bellout	juin-14	6,21	0,41	6,87	M'zehda	mai-13

Les valeurs du pH de la nappe phréatique et la nappe captive (forage et sources) sont d'une variabilité saisonnière significative successivement [$F=2127.41$; $P=0$] ; [$F=5349.73$; $P=0$] ; [$t=3.62$; $P=0.02$] et répondues à la norme algérienne de potabilité de 6.5 à 9 (JORA, 2011) à cause de la nature géologique du substrat.

Les valeurs du pH des sources sont de majorités inférieures à la norme minimale de 6.5, cela peut être dû : a) à la décomposition de la matière organique qui libère CO_2 et fait baisser la valeur de pH ; b) le lessivage des terrains siliceux.

IV.6.1.3. Conductivité électrique (CE)

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de la conductivité électrique des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 39 : Statistique de la variation des valeurs de la CE des eaux souterraines.

Eaux souterraines	CE ($\mu\text{s/cm}$)							
	Norme algérienne de potabilité : 2800 $\mu\text{s/cm}$							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	228	PN22	juin-14	444,8	118,03	712	PFS2	janv-14
Forage	285	FN8		432	122,74	598	FS2	
Source	249	Berdia		669,16	311,91	1426	M'zehda	juin-14

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux souterraines sont inférieures à la norme algérienne de potabilité de 2800 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ à 20 °C (JORA, 2006 ; JORA, 2011) à cause de la nature géologique des terrains traversés (marne, calcaire et l'argile).

Elles augmentent pendant la période pluvieuse au niveau des eaux de puits et de forages, cela peut être expliqué par le lessivage et la dissolution des formations géologiques. Elles ont une variabilité saisonnière significative (puits : [$F=165$; $P=0$] ; forages : [$F=187$; $P=0$]).

La source M'zehda présente des valeurs élevées en CE par rapport aux autres sources, sûrement liée aux rejets de l'élevage et aux rejets urbains (eaux usées de toilette, de lessive, de cuisine) observés près de la source. Les valeurs de la CE des eaux des sources ne présentent aucune variabilité saisonnière significative [$t=0.05$; $P=0.96$]). Les eaux souterraines étudiées sont souvent de faible minéralisation.

IV.6.1.4. Solides dissous totaux (TDS)

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de TDS des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 40 : Statistique de la variation des valeurs du TDS des eaux souterraines.

Eaux souterraines	TDS (mg/l)							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	282	PN22	juin-14	444,1	117,19	710	PFS2	janv-14
Forage	286	FN8		432,26	122,43	597	FS2	
Source	252	Berdia		692,5	330,28	1423	M'zehda	juin-14

Ce tableau montre des valeurs de TDS proches pour les eaux souterraines de surface et profonde et des valeurs élevées pour les eaux de sources. Ces valeurs ont une variabilité saisonnière significative dans les eaux de puits [F=167.75 ; P=0] et de forages [F=188 ; P=0] (elles s'élèvent en période pluvieuse et diminuent en période sèche).

IV.6.1.5. Salinité (Sal)

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de la salinité des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 41 : Statistique de la variation des valeurs de la salinité des eaux souterraines.

Eaux souterraines	Salalinté (mg/l)							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	0	PN22	juin-14	0,13	0,08	0,3	PFS2	janv-14
Forage	0,2	FN2	nov-13	0,12	0,06	0,2	FN8	janv-14
			avr-14				FS3	nov-14
Source	0	Berdia	juin-14	0,25	0,19	0,7	M'zehda	juin-14

Les valeurs de la salinité confirment les valeurs de TDS et de la conductivité électrique par des valeurs proches pour les eaux souterraines (puits et forages) et augmentées pour les eaux de sources. Elles connaissent une fluctuation temporelle intéressante au niveau des eaux de puits [F=20.62 ; P=0] et de forages [F=39.84 ; P=0]. La source M'zehda présente une valeur élevée de la salinité par rapport aux autres sources au mois de juin, sûrement liée aux rejets de l'élevage et aux rejets urbains (eaux usées de toilette, de lessive, de cuisine) remarqués près de la source.

IV.6.1.6. Oxygène dissous (O₂)

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales d'oxygène dissous des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 42 : Statistique de la variation des valeurs de l'oxygène dissous des eaux souterraines.

Eaux souterraines	O ₂ (%)							
	Norme algérienne de potabilité : > 70%							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	9,87	PN19	janv-14	17,19	4,61	22,7	PB10 bis	avr-14
Forage	5,2	FN8		20,66	10,65	35,2	FS3	janv-14

Le faible pourcentage de saturation en oxygène dissous de la nappe superficielle et la nappe profonde est dû au faible contact de l'eau avec l'atmosphère mais aussi aux infiltrations possibles d'eaux usées urbains, des engrais et pesticides issus de l'agriculture. L'oxygène dissous peut se réduire par l'activité des bactéries décomposant la matière organique présente. Généralement, Ces taux en oxygènes dissous des eaux souterraines sont caractérisés par une fluctuation temporelle importante (puits : [F=118.78 ; P=0] et de forages : [F=36.19 ; P=0])et inférieurs à la norme algérienne de potabilité de 70% (JORA, 2011).

IV.6.1.7. Potentiel d'oxydoréduction (Eh)

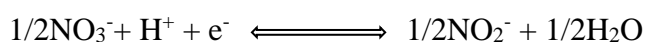
Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de potentiel d'oxydoréduction (Eh) des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 43 : Statistique de la variation des valeurs du Eh des eaux souterraines.

Eaux souterraines	Eh (mv)							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	190	PB10 bis	avr-14 juin-14	244,62	53,28	328	PN22	janv-14
Forage	-141	FN8	janv-14	95,81	132,29	298	FN2	

Dans un milieu fortement réducteur (Eh < ±0). La chute du potentiel d'oxydoréduction en FN8 au mois de janvier et avril est liée à une réduction d'O₂, accompagnée par une réduction de NO₃⁻ et de NO₂⁻ en NH₄⁺. Pour des Eh < -200 mV, le NH₄⁺ devient dominant.

La transition NO₃⁻ en NO₂⁻ en NH₄⁺ s'effectuera alors entre 400 et 350 mV (pH = 7), ce qui correspond au commencement de dénitrification observé qui semble donc lié à :



Et :



Généralement, les valeurs d'Eh mesurées sont faibles où il y a une couverture argileuse qui empêche l'oxygénation de la nappe et où la décomposition de la matière organique. Les valeurs d'Eh des eaux des puits ont une variabilité saisonnière significative [F=273.71 ; P=0] par contre les valeurs d'Eh des eaux des forages ne présentent aucune fluctuation saisonnière intéressante [F=4.67 ; P=0.06]. Elles sont élevées pendant la période pluvieuse (épisode) et basses pendant la période sèche.

La localisation des stations d'études puits, forages est mentionnée dans la carte ci-dessous :

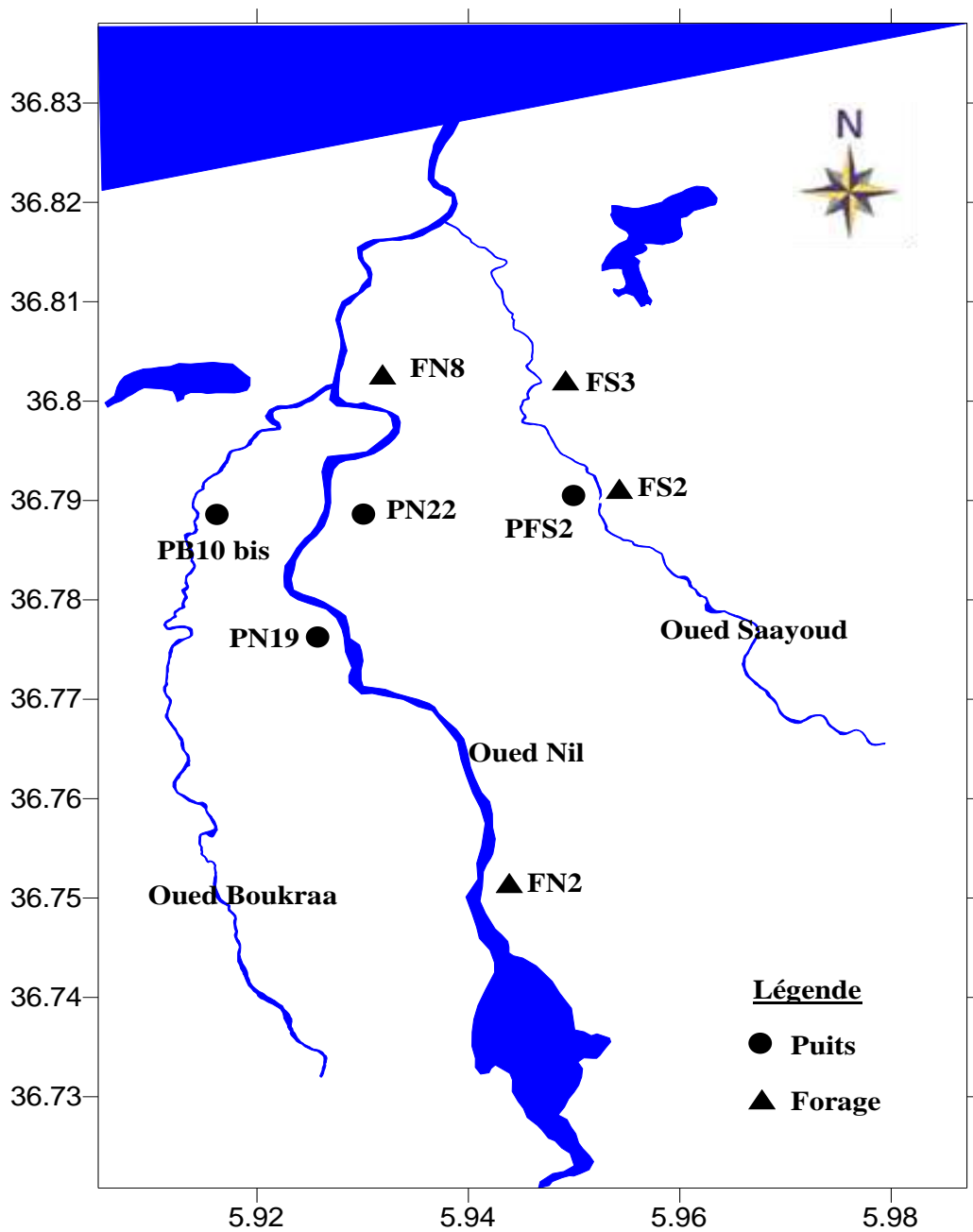


Figure 43 : Localisation des puits et des forages de la plaine alluviale d'oued Nil.

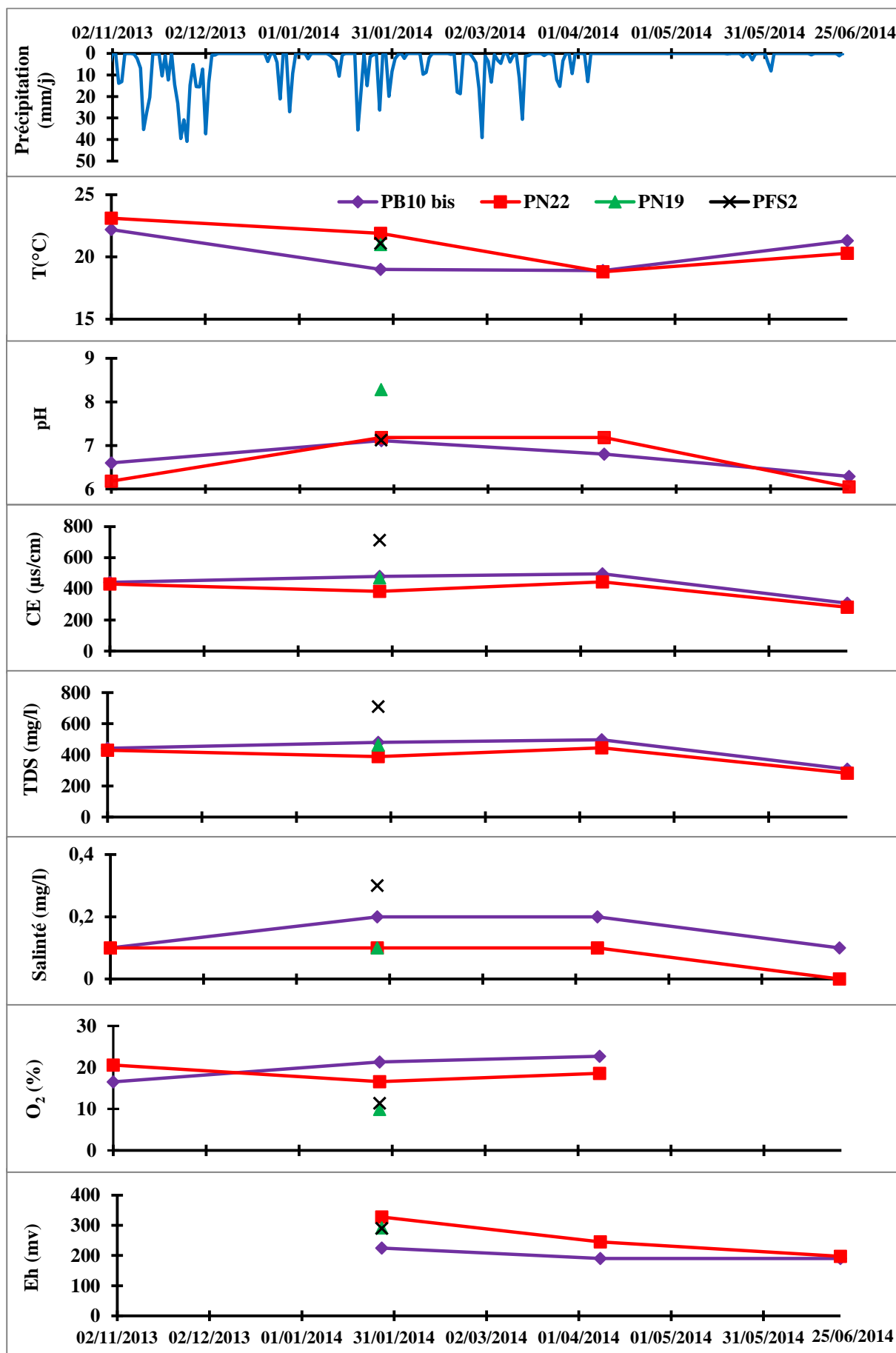


Figure 44 : Evolution spatiotemporelle des valeurs des paramètres physiques des puits.

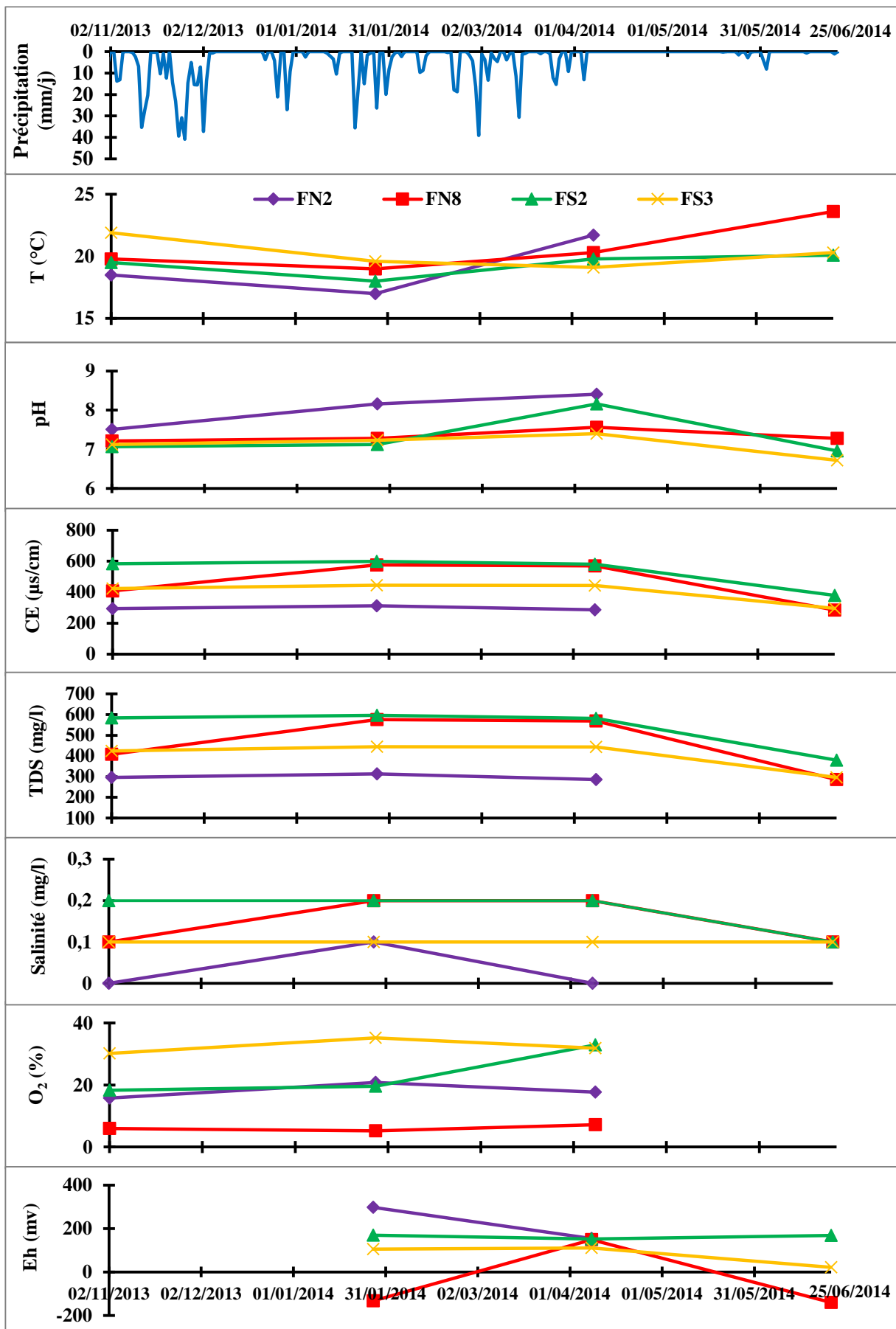


Figure 45 : Evolution spatiotemporelle des valeurs des paramètres physiques des forages.

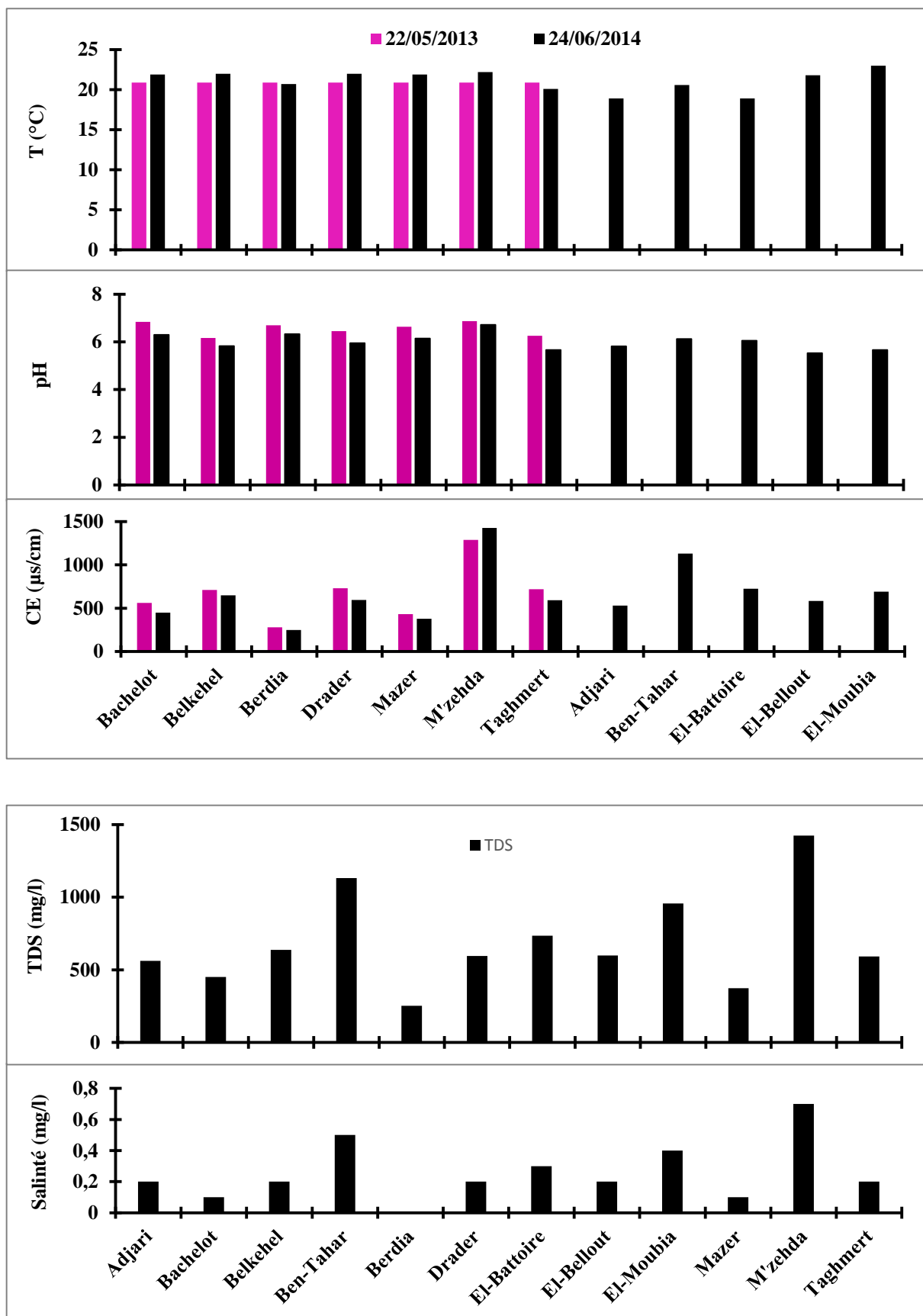


Figure 46 : Evolution spatiotemporelle des valeurs des paramètres physiques des sources.

IV.6.2. Eléments majeurs

L'évolution spatiotemporelle des éléments majeurs des eaux souterraines (calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), bicarbonates (HCO_3^-), chlorure (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}) et le titre hydrotimétrique (TH)) est présentée dans les trois figures 47, 48, 49.

IV.6.2.1. Dureté

Les valeurs minimales, moyennes, écart types, normes et maximales de la dureté des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 44 : Statistique de la variation des teneurs de la dureté des eaux souterraines.

Eaux souterraines	TH (°F)							
	Norme OMS de potabilité : 50 °F							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	9,2	PB10 bis	janv-14	16,68	5,61	27,6	PFS2	janv-14
Forage	12	FN8	nov-13	17,78	5,14	26,8	FS2	avr-14
Source	7,2	Berdia	juin-14	16,4	4,73	25,6	M'zehda	juin-14

La dureté des eaux est liée aux teneurs en calcium et en magnésium. Les eaux de puits, forages et sources sont douces avec des valeurs inférieures à la norme OMS de potabilité (50°F). Cette dureté est liée aux terrains carbonatés traversés (calcaires, dolomie, cipolin et le gypse). Les teneurs de la dureté des eaux des puits et forages ont une variabilité saisonnière significative successivement [$F=46$; $P=0$] ; [$F=153.71$; $P=0$] (elles s'élèvent lors la période sèche sous l'effet de l'évaporation et baissent durant la période de la recharge d'eau (effet de dilution)). Les sources présentent aucune variation interannuelle [$t=0.3$; $P=0.76$].

IV.6.2.2. Calcium

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de calcium des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 45 : Statistique de la variation des teneurs en calcium des eaux souterraines.

Eaux souterraines	Ca^{2+} (mg/l)							
	Norme algérienne de potabilité : 200 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	14,42	PB10 bis	nov-13	27,81	21,7	78,55	PFS2	janv-14
Forage	25,65	FN8		44,51	16,18	73,75	FS2	avr-14
Source	17,63	Berdia	avr-14	35,94	12,32	60	M'zehda	

La concentration du calcium des eaux souterraines est faible et inférieure à la norme algérienne de potabilité de 200 mg/l (JORA, 2006 ; JORA, 2011). Elle est issue de la dissolution des roches rencontrées dans la plaine : le calcaire (CaCO_3), la dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ métamorphisés et le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) présent dans les formations marneuse du Miocène. Les teneurs du calcium des eaux des puits et forages et sources ont une variabilité saisonnière significative successivement [F=12.22 ; P=0.01] ; [F=98.82 ; P=0] ; [t=2.54 ; P=0.02].

IV.6.2.3. Magnésium

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de magnésium des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 46 : Statistique de la variation des teneurs en magnésium des eaux souterraines.

Eaux souterraines	Mg^{2+} (mg/l)							
	Norme algérienne de potabilité : 150 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	5,83	PN22	janv-14	14,73	4,03	19,44	PN19	janv-14
Forage	3,9	FN2	avr-14	15	7,11	31,1	FN8	
Source	5,42	Berdia	mai-13	17,24	6,48	32,08	Ben-Tahar	juin-14

Les teneurs de magnésium des eaux souterraines pendant toute la durée du suivi sont faibles et ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité 150 mg/l (JORA, 2006). Elles sont dues de la dissolution des dolomies $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ et des calcaires dolomitiques.

Elles ont une variabilité saisonnière intéressent au niveau des eaux des puits [F=38.21 ; P=0] et des forages [F=134.42 ; P=0]. Ses concentrations baissent en période hivernale et augmentent en période estivale. Les sources présentent aucune variations interannuelles [t=1.83 ; P=0.08].

IV.6.2.4. Bicarbonate

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de bicarbonate des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 47 : Statistique de la variation des teneurs en bicarbonate des eaux souterraines.

Eaux souterraines	HCO_3^- (mg/l)							
	Norme OMS de potabilité : 200 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	48,8	PN22	juin-14	114,43	87	292,8	PFS2	janv-14
Forage	118	FN8	nov-13	197,53	47,78	258,64	FS2	nov-13
Source	19,52	El Bellout	juin-14	66,77	39,14	153,72	M'zehda	juin-14

Les teneurs du bicarbonate en FN8 et FS2 durant quatre mois, PN19 et PFS2 pendant janvier dépassent largement la norme OMS de potabilité (200 mg/l). Cela est lié à la nature géologique des terrains traversés (les ions hydrogencarbonates proviennent essentiellement de la dissolution des roches carbonatées, calcaires, dolomites et le cipolin (roche carbonatée métamorphisée)). Les teneurs en bicarbonate des eaux des puits et forages présentent une variabilité saisonnière significative respectivement [F=13.34 ; P=0] ; [F=204.12 ; P=0]. Les sources présentent aucune variations interannuelles [t=0.62 ; P=0.53].

IV.6.2.5. Sulfate

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de sulfate des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 48 : Statistique de la variation des teneurs en sulfate des eaux souterraines.

Eaux souterraines	SO ₄ ²⁻ (mg/l)							
	Norme algérienne de potabilité : 400 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	5,5	PN19	janv-14	12,03	5,78	24,5	PFS2	janv-14
Forage	1	FS2	janv-14	8,57	4,56	15	FS2	avr-14
Source	4,13	Berdia	mai-13	28,37	28,55	108	M'zehda	mai-13

Les teneurs en sulfate des eaux souterraines étudiées sont très faibles et variées d'une saison à l'autre (puits : [F=34 ; P=0.01] ; forages : [F=83.2 ; P=0] ; sources : [t=6.13 ; P=0]). Elles ne dépassent pas la norme algérienne de 400 mg/l (JORA, 2006 et JORA, 2011) lorsque proviennent de la dissolution des terrains traversés qui contiennent du gypse CaSO₄.2H₂O ou/et d'anhydrite CaSO₄. Les sources présentent des variations interannuelles importantes.

IV.6.2.6. Chlorure

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales des chlorures des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 49 : Statistique de la variation des teneurs en chlorure des eaux souterraines.

Eaux souterraines	Cl (mg/l)							
	Norme algérienne de potabilité : 500 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	54	PN19	janv-14	101,06	23,81	132	PB10 bis	juin-14
Forage	38	FN2	janv-14	68,68	17,4	90	FN8	avr-14
Source	45	Berdia	mai-13	174,31	112,34	462	M'zehda	juin-14

Les concentrations de chlorure dans les eaux de forges, puits et sources sont répondues à la norme algérienne de 500 mg/l (**JORA, 2006 ; JORA, 2011**) surement liées à la dissolution del'halite « NaCl »).

La source M'zehda présente un pic en chlorure plus proche de la norme par rapport aux autres sources, cela peut être expliqué par les rejets urbains (eaux usées de toilette, minage, cuisine) et l'élevage présents près de la source.

Les teneurs en chlorure des eaux souterraines étudiées sont variées d'une saison à l'autre (puits : [F=294.28 ; P=0] ; forages : [F=254.94 ; P=0] ; par contre ces teneurs dans les eaux de sources ne possèdent aucune fluctuations interannuelles [t=1.84 ; P=0.08]).

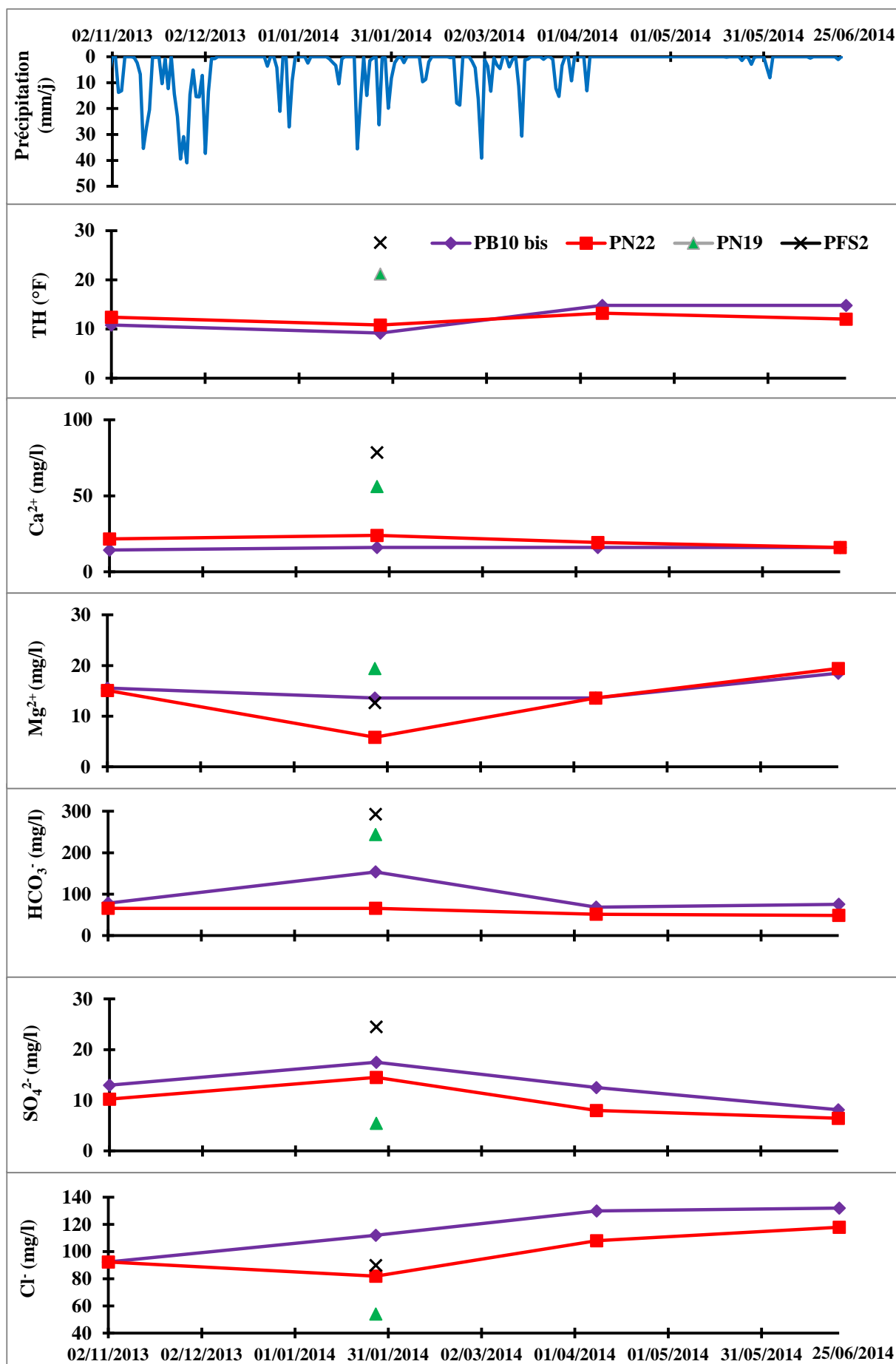


Figure 47 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en éléments majeurs des puits.

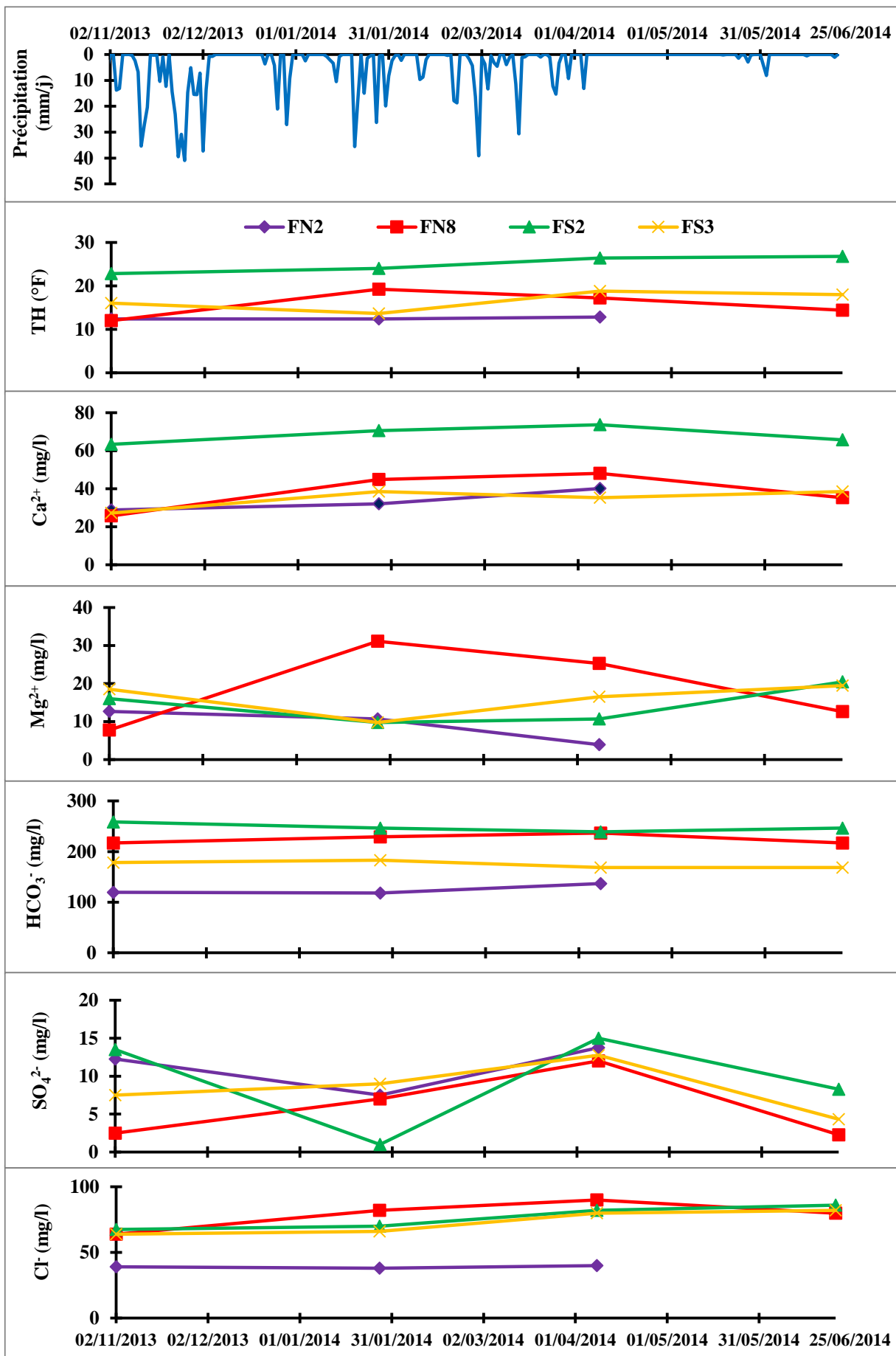


Figure 48 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en éléments majeurs des forages.

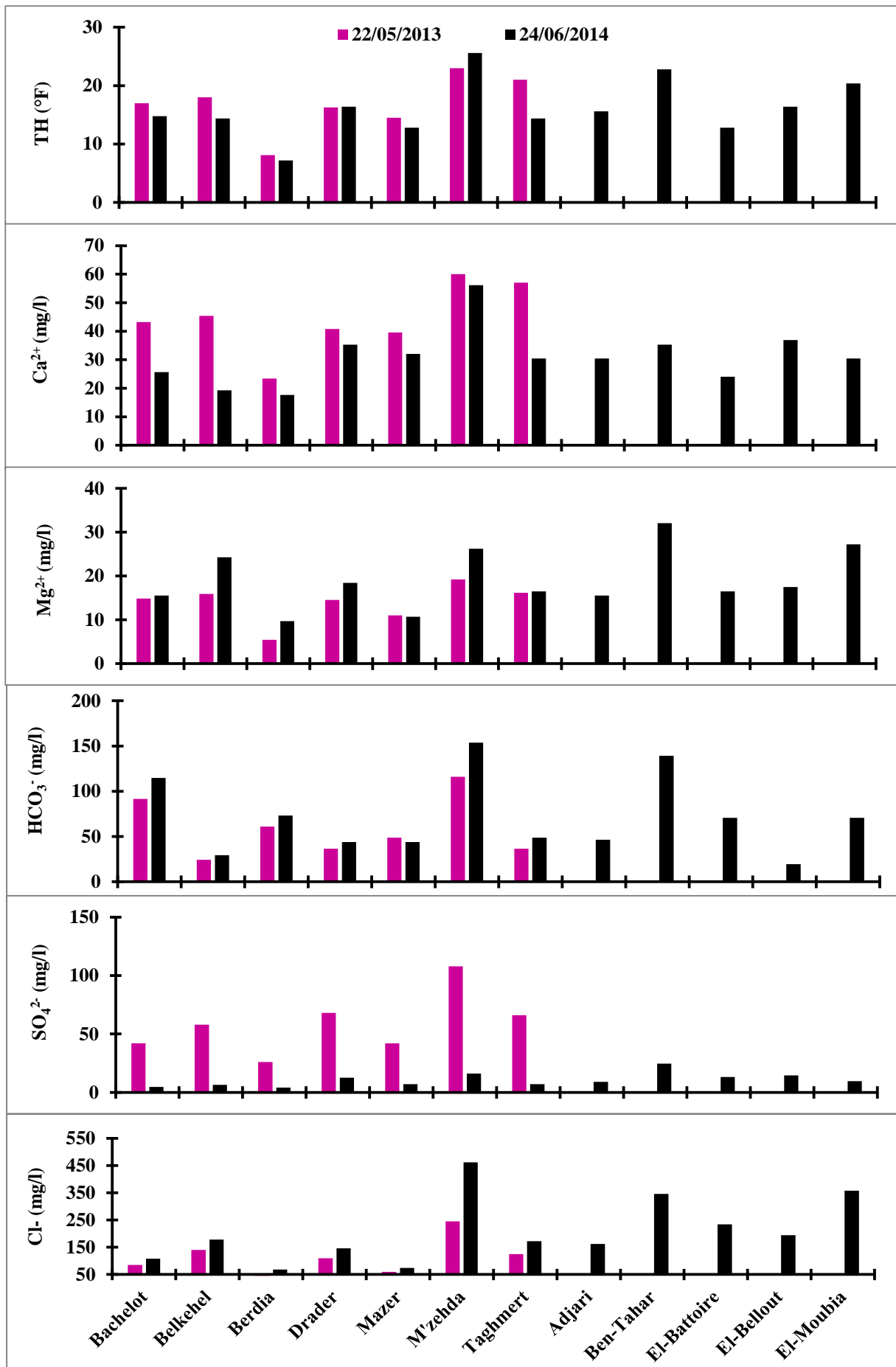


Figure 49 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en éléments majeurs des sources.

IV.6.3. Cycle d'azote et phosphate

Le cycle d'azote est présenté dans cette étude par le nitrate, le nitrite et l'ammonium, il sera étudié en fonction de l'oxygène dissous, le potentiel hydrogène, les précipitations et accompagné par l'évolution de phosphate. La représentation graphique de ces sept paramètres est présentée dans les figures 50, 51, 52.

IV.6.3.1. Ammonium

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales d'ammonium des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 50 : Statistique de la variation des teneurs en ammonium des eaux souterraines.

Eaux souterraines	NH ₄ ⁺ (mg/l)							
	Norme algérienne de potabilité : 0,5 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	0	PB10 bis	janv-14	0,11	0,21	0,52	PN19	janv-14
			avr-14					
		juin-14	0,5			PN22		
Forage	0	FS2	avr-14 juin-14	0,72	1,17	3	FN8	janv-14
Source	0	11 sources	juin-14	0,005	0,02	0,07	EL Bellout	juin-14

Les eaux de la nappe phréatique ont généralement des faibles teneurs en ammonium (0 - 0,04 mg/l) et inférieures à la norme algérienne de potabilité de 0.5 mg/l (**JORA, 2011**) sauf deux pics (0.5 et 0.52 mg/l) ont été observés en janvier successivement en PN22 et PN19 durant un pic pluvieux. Ce qui indique la pénétration des engrais et des pesticides à ses nappes. Les teneurs en ammonium dans cette nappe phréatique ne présentent aucune variabilité saisonnière [F=1.19 ; P=0.31].

Les eaux des forages ont des faibles teneurs en ammonium (0 - 0,16 mg/l) et répondues à la norme de potabilité algérienne de 0.5 mg/l (**JORA, 2011**) sauf au niveau de la station FN8 a été enregistrée des pics (2.2, 3, 2.56 et 2.6 mg/l) au long du suivi qui signifie l'absence d'oxydation (les valeurs en oxygène en FN8 sont très faibles variant entre 0.49 à 0.65 mg/l) accompagnés par un pH neutre et légèrement alcalin (7.21 – 7.56).

Ceci se traduit par un processus de dégradation incomplet de la matière organique ou la réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en formes réduites. La teneur de 3 mg/l en FN8 correspond la haute valeur lors la recharge d'eau à cause de l'infiltration intensive des engrais et des

pesticides ou les rejets de lisiers animaux. Les teneurs en ammonium dans cette nappe profonde ne varient pas significativement d'une saison à l'autre [F=4.54 ; P=0.056].

Les teneurs en ammonium en eaux de sources sont très faibles (0 - 0,07 mg/l) avec une moyenne de 0.0058 mg/l, inférieures à la norme de potabilité algérienne de 0.5 mg/l (JORA, 2006). Elles sont dues à l'effet de l'oxydation de la forme ammonium en forme oxydée (nitrate).

IV.6.3.2. Nitrite

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de nitrite des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 51 : Statistique de la variation des teneurs en nitrite des eaux souterraines.

Eaux souterraines	NO ₂ ⁻ (mg/l)							
	Norme algérienne de potabilité : 0,2 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
Valeur	Station	Mois	Valeur			Station	Mois	
Puits	0	PB10 bis	Quatre mois	0,005	0,009	0,03	PN22	janv-14
		PN22	nov-14					
		PN19	avr-14					
Forage	0	FN2	nov-14	0,06	0,09	0,03	FS3	juin-14
			avr-14					
		FN8	nov-14					
			juin-14					
		FS2	Quatre mois					
		FS3	avr-14					
Source	0	Berdia	juin-14	0,007	0,008	0,03	M'zehda	
		El Moubia						

Au niveau des eaux souterraines de la plaine, les teneurs en nitrite sont trop faibles le long du suivi (0 – 0.03 mg/l) et ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité de 0.2 mg/l (JORA, 2011). La valeur la plus basse est enregistrée en plusieurs stations et mois, par contre la valeur la plus élevée est observée en PN22 durant janvier, FS3 et M'zehda lors du mois de juin.

L'absence du nitrite en eaux souterraines est due à l'oxydation de cette forme en nitrate. Les teneurs en nitrite des eaux des puits ne présentent aucune variabilité temporelle importante [F=1.18 ; P=0.31], en revanche les teneurs en nitrite des eaux des forages fluctuent significativement [F=6.35 ; P=0.02] .

IV.6.3.3. Nitrates

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales des nitrates des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 52 : Statistique de la variation des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines.

Eaux souterraines	NO ₃ ⁻ (mg/l)							
	Norme algérienne de potabilité : 50 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	0,22	PN19	janv-14	65,46	49,4	166,74	PN22	janv-14
Forage	0	FN8		13		12,45		
Source (01)	3	Berdia	mai-13	70,83	32,83	133	Drader	mai-13
Source (02)	6,55	Berdia	juin-14	79,24	23,5	90,46	Drader	juin-14

Les teneurs en nitrate des eaux de puits varient significativement d'une saison à l'autre [F=12.45 ; P=0.01] : le puits PB10 bis présente une forte teneur en nitrate (109.11 mg/l) pendant la période pluvieuse à cause de l'infiltration des eaux usées urbains à la nappe phréatique avec les précipitations, en printemps cette concentration diminue (58.72 mg/l) (l'effet de dilution) et augmente un peu (77.75 mg/l) pendant l'été (l'effet de concentration).

En période hivernal, PN22 apparait de haute teneur en nitrate (166.74 mg/l) et en ammonium (0.5 mg/l) avec des faibles teneurs en oxygène dissous (1.45 mg/l) qui s'explique par de forte infiltration des fertilisants synthétiques et de fumiers à la nappe. À la suite de la pluie, ces teneurs en nitrate baissent de 75.28 mg/l (avril) et légèrement s'élèvent de 87.28 mg/l (juin).

- les concentrations en nitrate le long du suivi en PB10bis suivent une évolution proportionnelle aux taux en oxygène dissous, les teneurs en nitrate augmentent quand celles en oxygène s'élèvent.
- les deux formes nitrite et ammonium suivent une évolution inverse aux teneurs en nitrates. L'ammonium et les nitrites représentent la forme réduite de l'azote, par contre le nitrate représente la forme oxydée de ce dernier.

Les valeurs moyennes des concentrations dépassent la norme algérienne de potabilité des eaux (50 mg/L).

Les teneurs en nitrate des eaux de forages sont moins importantes et répondues à la norme algérienne de potabilité de 50 mg/l (JORA, 2011). Elles ont une variabilité temporelle significative. [F=13.34 ; P=0] L'évolution des teneurs en nitrate présente une relation inverse avec l'évolution du

nitrite et l'ammonium. L'influence d'oxygène dissous et du potentiel d'hydrogène sur l'évolution de cet élément n'apparaît pas bien. La présence du nitrate en eaux de forages particulièrement en FS2 s'explique par la perméabilité moins intéressante des engrais et des pesticides à la nappe.

L'évolution des teneurs en nitrate au niveau des eaux de sources présente une relation inverse avec l'évolution du nitrite et d'ammonium lorsque les conditions oxydantes du milieu dominantes, ce qui permet une oxydation des forme réduites (cas de l'oxydation des NO_2^- et NH_4^+). Le pH est très basique évolue inversement aux fortes teneurs en nitrates. Ces derniers dépassent largement la norme algérienne de potabilité de 50 mg/l (JORA, 2006) sauf au niveau Berdia (mai et juin). La source Drader connaît une forte concentration en nitrates. L'élévation du nitrate dans les eaux de sources est liée aux activités agricoles (engrais et pesticides), l'élevage (écuries) et les eaux usées domestiques (des installations septiques déficientes (fuites)).

IV.6.3.4. Phosphate

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de phosphate des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 53 : Statistique de la variation des teneurs en phosphate des eaux souterraines.

Eaux souterraines	PO_4^{3-} (mg/l)							
	Norme algérienne de potabilité : 0,5 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	0	PN22	nov-13	0,94	2,35	7,59	PN19	janv-14
			juin-14					
Forage	0	FN2	nov-13	0,15	0,22	0,92	FN8	juin-14
		FN8	janv-14					
		FS2	nov-13					
			juin-14					
Source	0,09	Adjéri	juin-14	0,22	0,14	0,42	El-Moubia	
		Belkehel						
		El-Bellout						

Les concentrations du phosphate des eaux de puits ont une variabilité temporelle significative [F=0.55 ; P=0.48]. A partir des résultats obtenus, nous avons observés deux pics supérieurs à la norme algérienne de potabilité de 0.5 mg/l (JORA, 2006), enregistrés aux niveaux PN19 (7.59 mg/l) et PN22 (0.91 mg/l) pendant le mois de janvier. Cela est dû à l'enrichissement de la nappe phréatique par les éléments nutritifs synthétiques qui favorisent le processus de l'eutrophisation.

Ces deux pics sont subis à une évolution proportionnelle aux teneurs en ammonium lorsque la minéralisation de la matière organique des végétaux par les micro-organismes fait consommer

l'oxygène et produire l'azote et le phosphate généralement sous la forme d'ions d'ammonium et d'orthophosphates.

Les teneurs du phosphate des eaux de forages sont légèrement élevées et présentent des fluctuations saisonnières significatives [$F=7.3$; $P=0.02$]. La station FN8 est caractérisée par une pollution phosphorique (0.92 mg/l) par rapport à la norme algérienne de potabilité de 0.5 mg/l (**JORA, 2006**) en période sèche (effet de concentration) à cause de l'utilisation des engrais, des pesticides et fumiers en agriculture.

Les concentrations du phosphate dans les eaux de sources respectent la norme algérienne de potabilité de 0.5 mg/l (**JORA, 2006**), pourrait s'expliquer par le fait des ortho-phosphates qui sont facilement fixés par le sol. Elles présentent une évolution proportionnelle aux formes de nitrite et d'ammonium. Une légère contamination a été enregistrée dans les sources El-Moubia, Ben-Tahar et Drader qu'il s'agit d'une infiltration moins importante des eaux usées urbaines (eaux de toilette, cuisine et ménage) et l'élevage (lixiviat de la matière fécale) à la nappe.

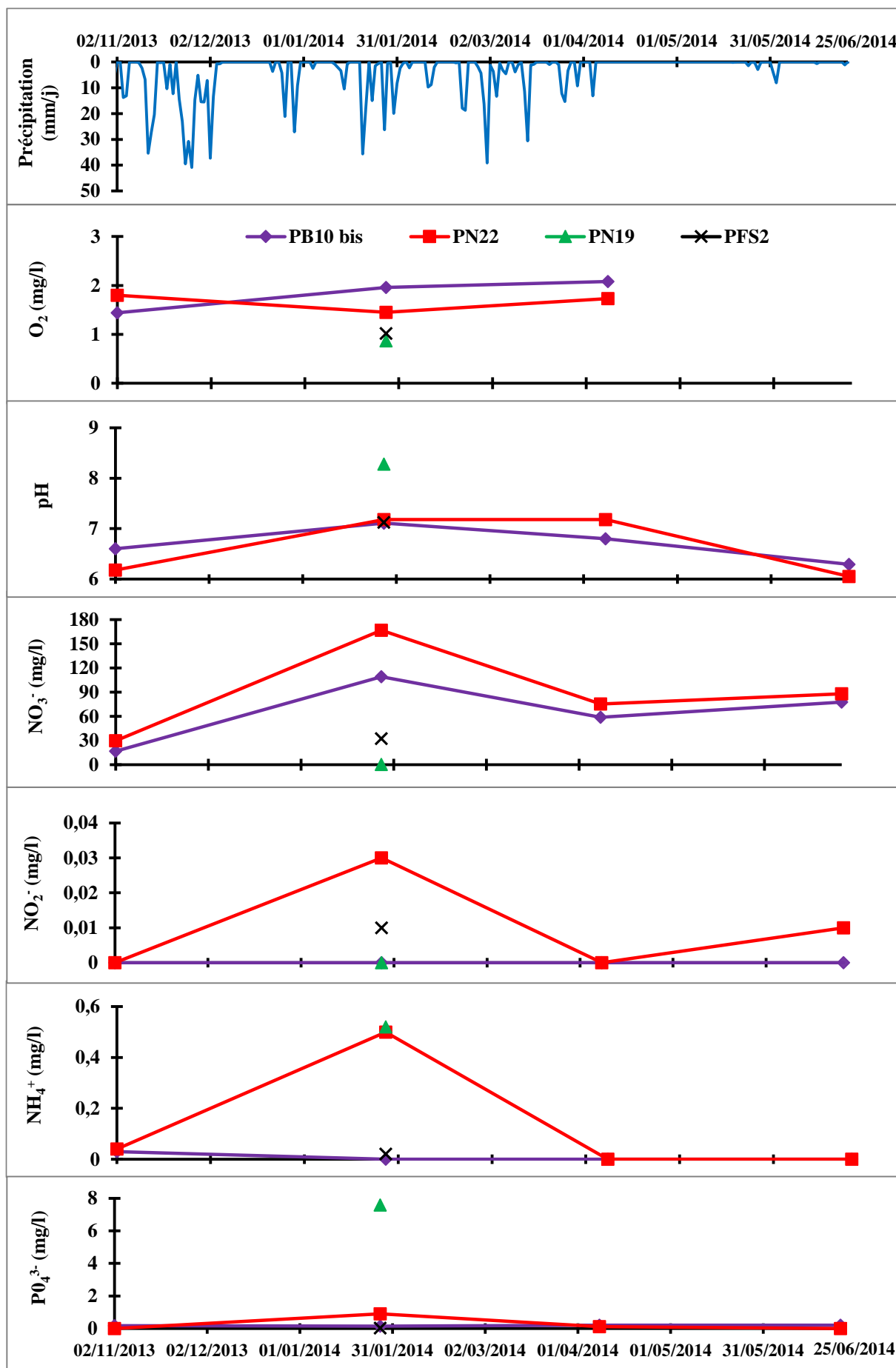


Figure 50 : Evolution spatiotemporelle des formes d'azote et du phosphate des puits.

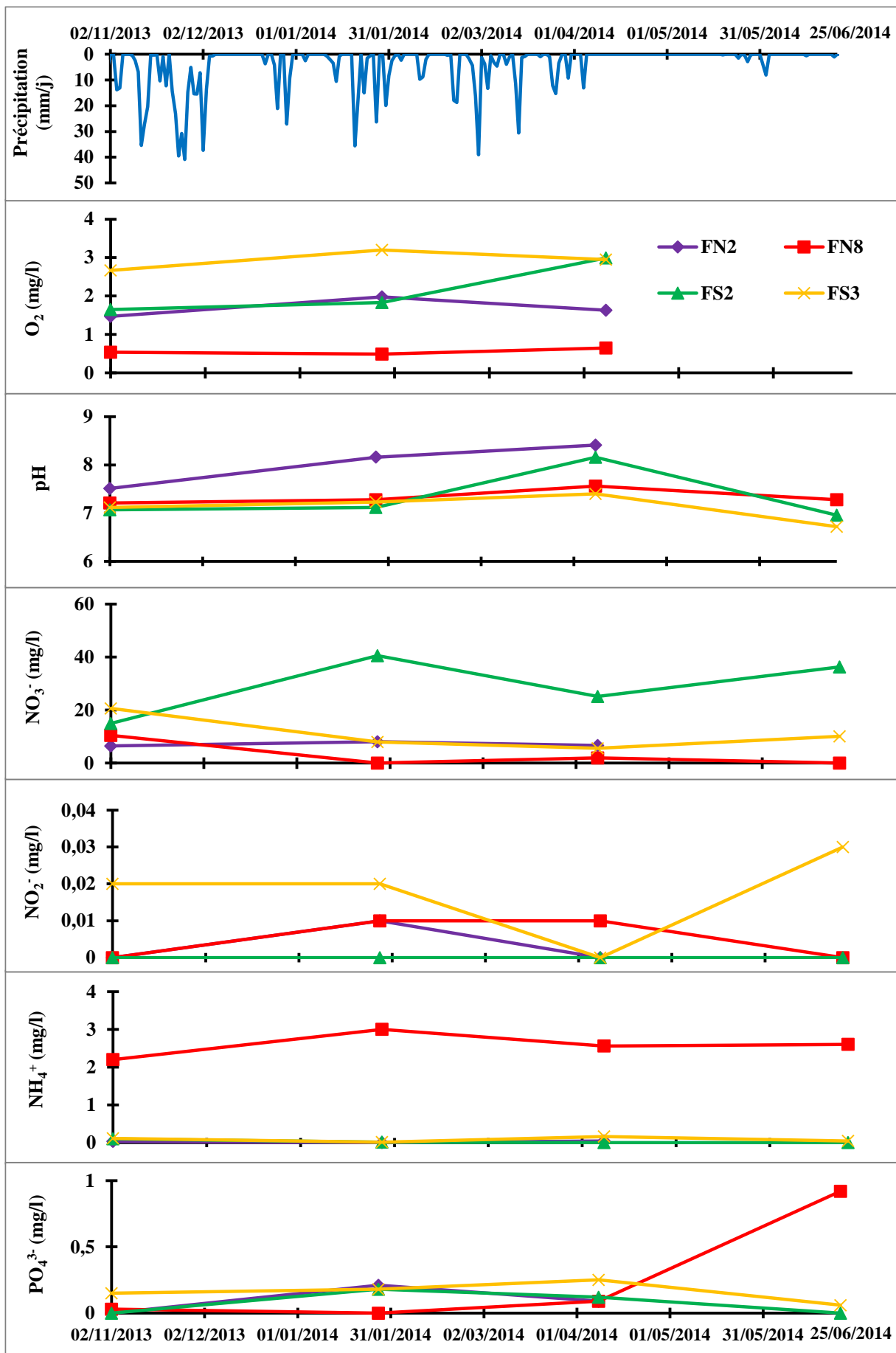


Figure 51 : Evolution spatiotemporelle des formes d'azote et du phosphate des forages.

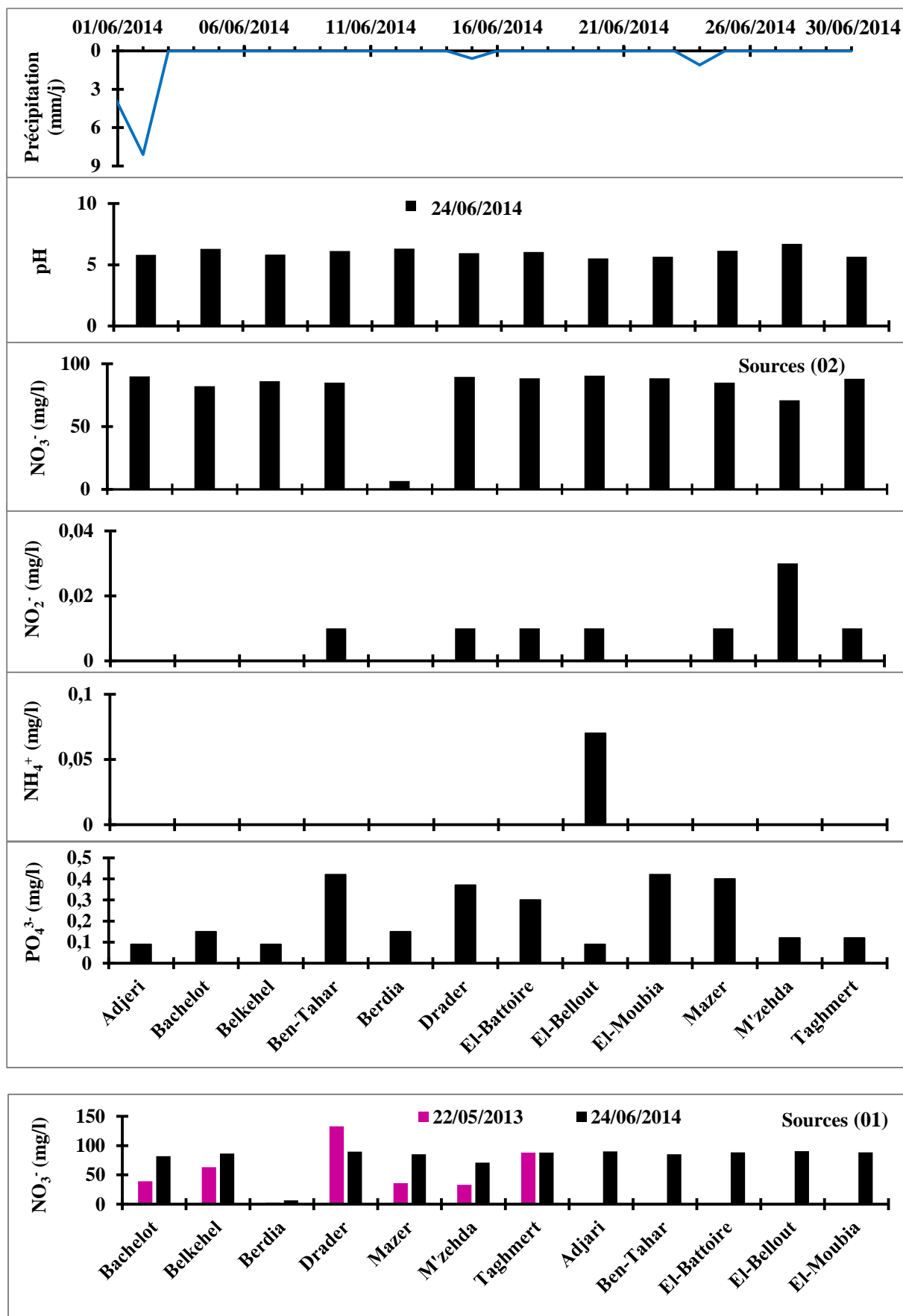


Figure 52 : Evolution spatiale des formes d'azote et du phosphate des sources.

IV.6.4. Les métaux lourds

Six éléments traces métalliques (cadmium total (Cd), plomb total (Pb), cuivre total (Cu), chrome total (Cr), zinc total (Zn) et le fer ferreux (Fe^{2+})) ont été dosés pour les eaux de puits et forages et un seul élément (fer ferreux (Fe^{2+})) pour les eaux de sources. Les résultats obtenus sont présentés dans les figures 53, 54, 55 et 56.

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales des métaux lourds des eaux souterraines (puits et forages) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 54 : Statistique de la variation des teneurs en métaux lourds des eaux souterraines.

Oued	Métaux lourds (mg/l)								
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Norme algérienne	Maximum		
	Valeur	Station	Mois				Valeur	Station	Mois
Plomb	0,5335	PB10 bis	Avril	0,69	0,089	0,01	0,8627	PN22	avr-14
Cadmium	0,0008	FN2	nov-13	0,0061	0,0051	0,003	0,0194	FN2	
Chrome	0	FS3		0,063	0,065	0,05	0,2039	FN8	
Cuivre	0,006	FN02	avr-14	0,021	0,008	2	0,0358	FS2	janv-14
Zinc	0,0004	PB10 bis	janv-14	0,145	0,519	5	2,158	PN22	nov-13

IV.6.4.1. Plomb

Les teneurs en plomb total des eaux souterraines de la plaine ont une variabilité temporelle significative [$F=905.41.29$; $P=0$] et supérieures à la norme algérienne de potabilité de 0.01 mg/l (JORA, 2011) liées de l'infiltration des rejets urbains, des engrais et des pesticides à la nappe.

IV.6.4.2. Cadmium

Les teneurs en cadmium total mesurées aux différentes stations des eaux de puits et forages sont d'une variabilité saisonnière significative [$F=41.29$; $P=0$] et dépassent la norme algérienne de potabilité de 0.003 mg/l (JORA, 2011) au mois de janvier sauf en PB10 bis et au mois d'avril avec l'exception du FS2 dues de l'infiltration des rejets urbains, des engrais et des pesticides à la nappe.

IV.6.4.3. Chrome

Les teneurs du chrome total varient d'une manière importante d'une saison à l'autre [$F=45$; $P=0$]. Elles sont élevées à la norme algérienne de potabilité de 0.05 mg/l en avril pour toutes les stations d'études et en janvier, au niveau de FS3, à cause de l'impact des activités agricoles (utilisation intensive des engrais et des pesticides).

IV.6.4.4. Cuivre

Les concentrations du cuivre total pendant la période du suivi fluctuent significativement d'une saison à l'autre [$F=124.3$; $P=0$]. Elles sont inférieures à la norme algérienne de 2 mg/l

(JORA, 2011). Ces concentrations sont liées à la nature géologique des terrains traversés ou les conditions basiques et neutres du milieu favorisent la précipitation des ions sous formes complexes sur le lit de la nappe et son adsorption sur la surface du sol.

IV.6.4.5. Zinc

Les teneurs du zinc total des eaux souterraines ne présentent aucune variabilité temporelle significative [F=1.18 ; P=0.30] et elles sont trop faibles par rapport à la norme algérienne de 5 mg/l (JORA, 2011). Elles peuvent s’expliquées par le fait du pH des eaux (inférieur à 8.5) : le zinc précipite sous forme de carbonate de zinc quand le pH inférieur à 8.5, mais dans les eaux à pH plus élevé, le zinc précipite sous forme d’hydroxyde de zinc. La nature géologique des terrains traversés peut jouer aussi dans le retardement de la migration du zinc, car il est adsorbé par les minéraux argileux, les carbonates ou hydroxydes surtout lorsque le pH est élevé (Spear, 1981).

IV.6.4.6. Fer ferreux

Les valeurs minimales, moyennes, écart types et maximales de fer ferreux des eaux souterraines (puits, forages et sources) sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 55 : Statistique de la variation des teneurs en fer ferreux des eaux souterraines.

Eaux souterraines	Fe ²⁺ (mg/l)							
	Norme des eaux souterraines : 0,3 mg/l							
	Minimum			Moyenne	Ecart type	Maximum		
	Valeur	Station	Mois			Valeur	Station	Mois
Puits	0	PB10 bis	nov-13	0,041	0,05	0,15	PN22	janv-14
		PN22	avr-14					
Forage	0	FN2	avr-14	0,036	0,04	0,11	FS3	juin-14
		FN8						
		FS2						
Source	0	Bachelot	mai-13	0,022	0,08	0,36	El-Bellout	juin-14
		Drader	juin-14					
		Adjari	juin-14					
		Berdia						
		El Battoire						
		M'zehda						
Taghmert	mai-13							

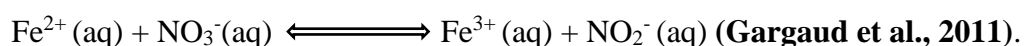
Les concentrations du fer ferreux dans les eaux souterraines (puits et forages) sont inférieures à la norme algérienne de la potabilité des eaux souterraines destinées à l'alimentation en eau potable des populations (0.3 mg/l (**JORA, 2011**)). Cette faible concentration peut être expliquée par :

- le contact de l'eau avec l'air qui fait oxyder le fer de la forme bivalente (Fe^{2+}) à la forme trivalente (Fe^{3+}).
- les conditions oxydantes observées dans les eaux prélevées à l'exception du forage FS03, où on observe des faibles valeurs du potentiel redox. Cependant, même en condition oxydante, le fer peut demeurer soluble grâce à la présence de chélateurs organiques ou inorganiques, qui vont empêcher la précipitation du fer (**Dodds et Whiles, 2010**).

Les teneurs en fer ferreux des eaux de forages présentent une évolution temporelle importante [$F=19.21$; $P=0$] par contre les teneurs de fer ferreux dans les eaux de puits et sources ne présentent aucune variation saisonnière significative successivement [$F=5.33$; $P=0.06$] ; [$t=0.89$; $P=0.38$].

La teneur 0.36 mg/l est observée dans les eaux de la source d'El-Bellout durant le mois de juin. Elle dépasse la norme algérienne des eaux souterraines destinées à l'alimentation en eau potable des populations (0.3 mg/l), cela peut revenir à l'effet de l'infiltration des eaux des égouts dans la nappe ou à la corrosion des canalisations de distribution d'eau.

L'oxydation du fer peut également se faire en absence d'oxygène, en utilisant le nitrate comme un accepteur d'électrons comme suivant :



Donc, on peut supposer que le fer ferreux dans les eaux de sources étudiées est oxydé par l'oxygène dissous à cause de la prédominance de nitrate et de l'absence de nitrite et l'ammonium.

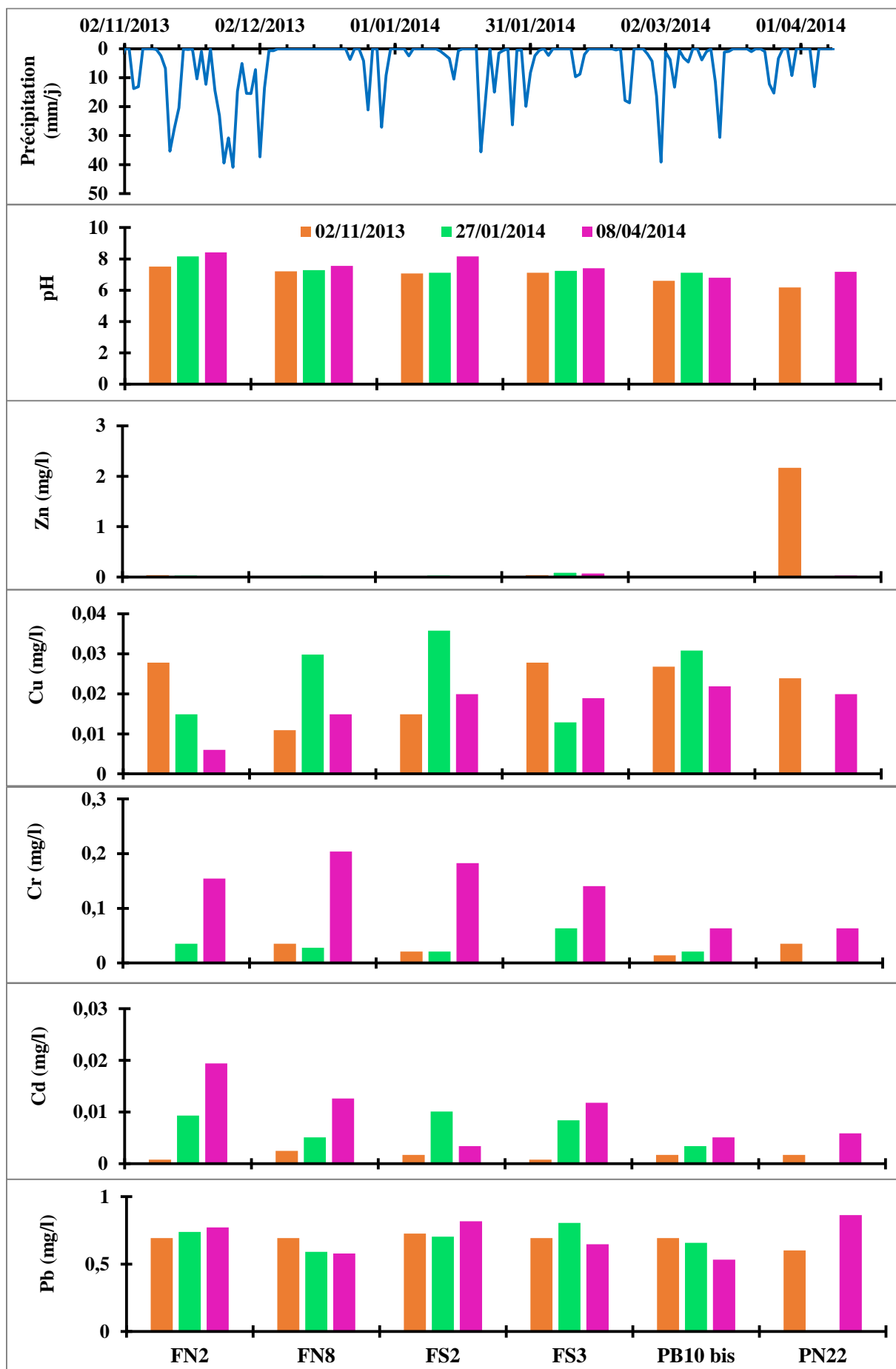


Figure 53 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en métaux lourds des eaux de puits et forages.

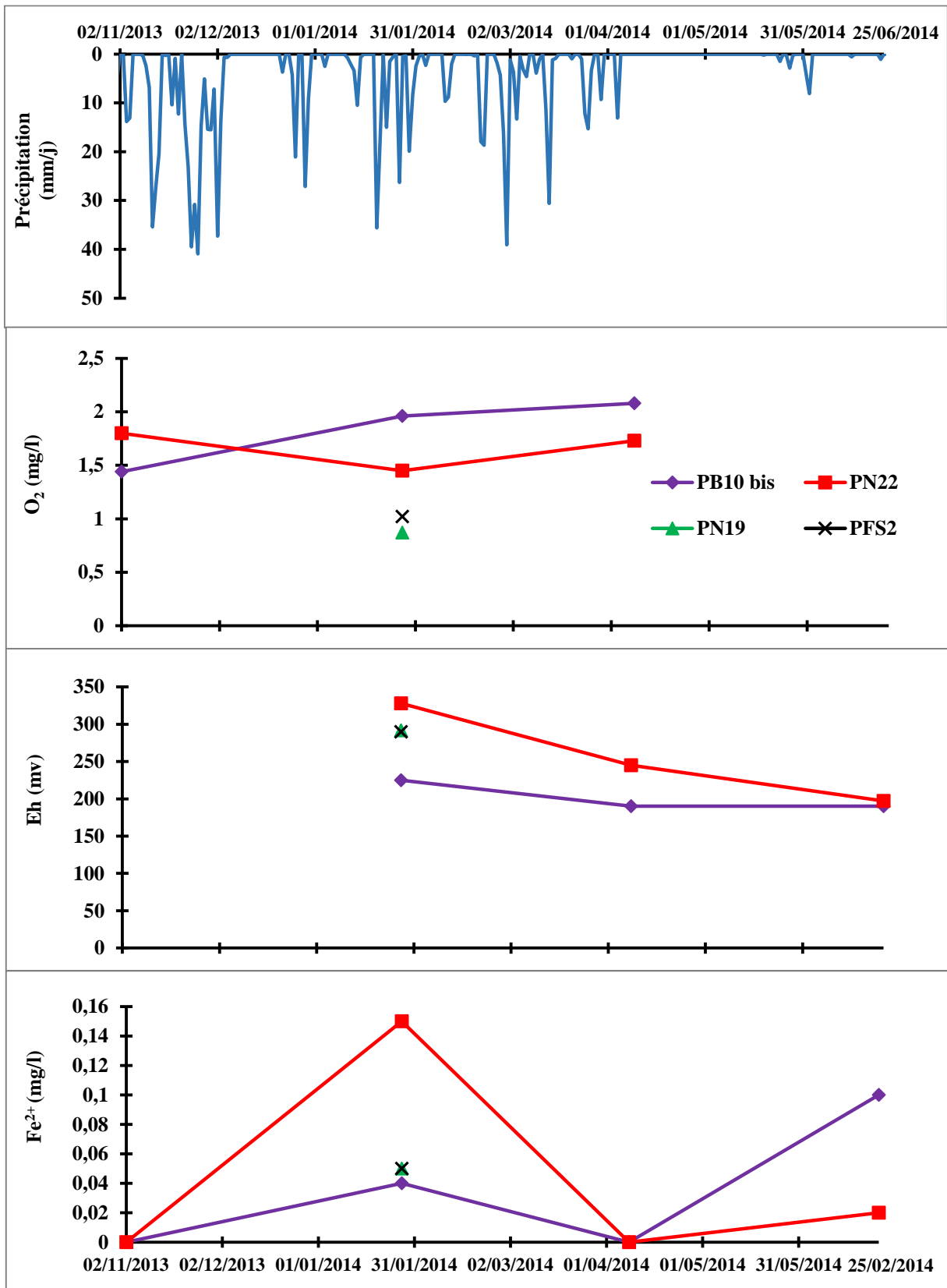


Figure 54 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en Fer ferreux des puits.

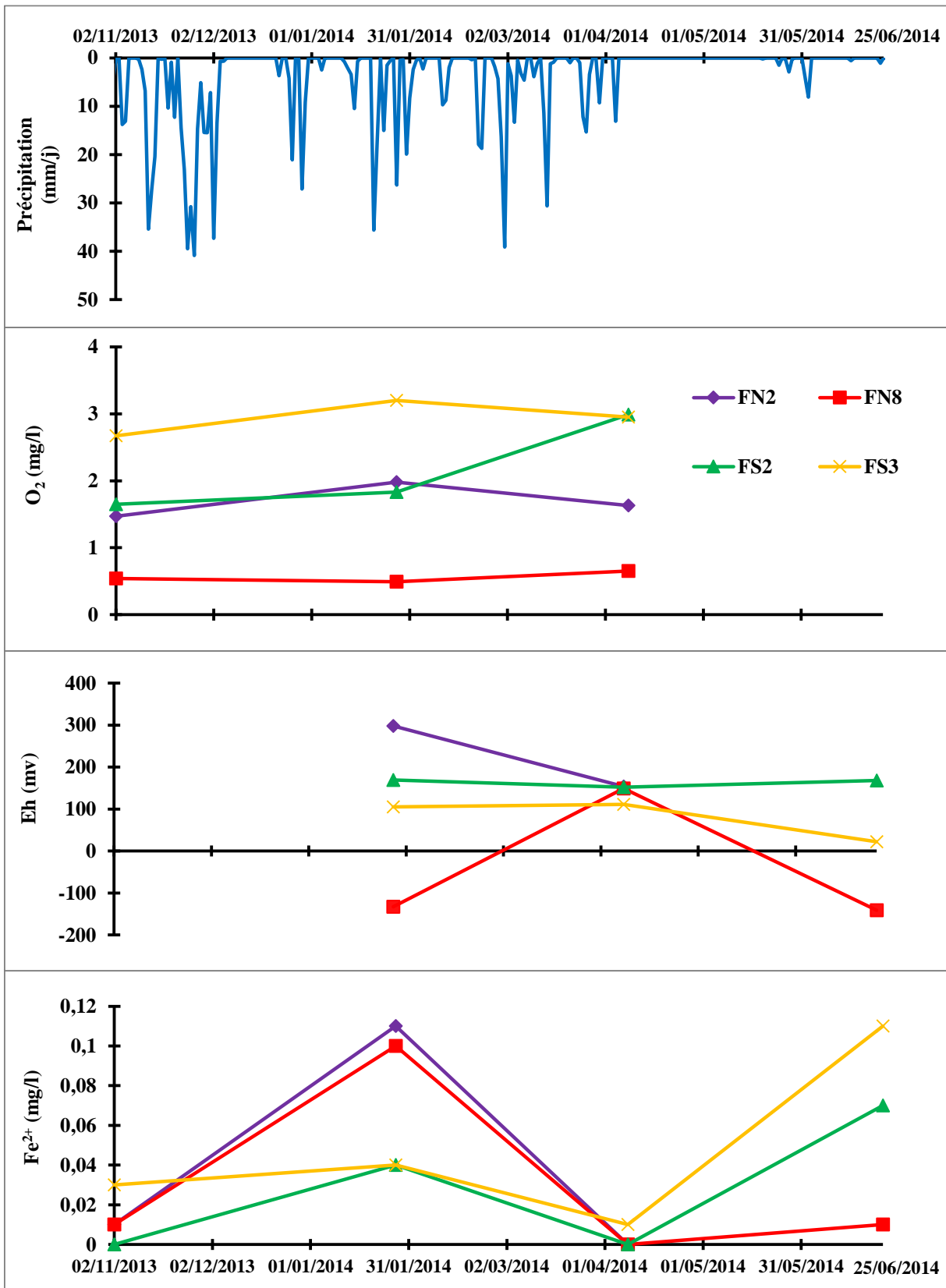


Figure 55 : Evolution spatiotemporelle des teneurs en Fer ferreux des forages.

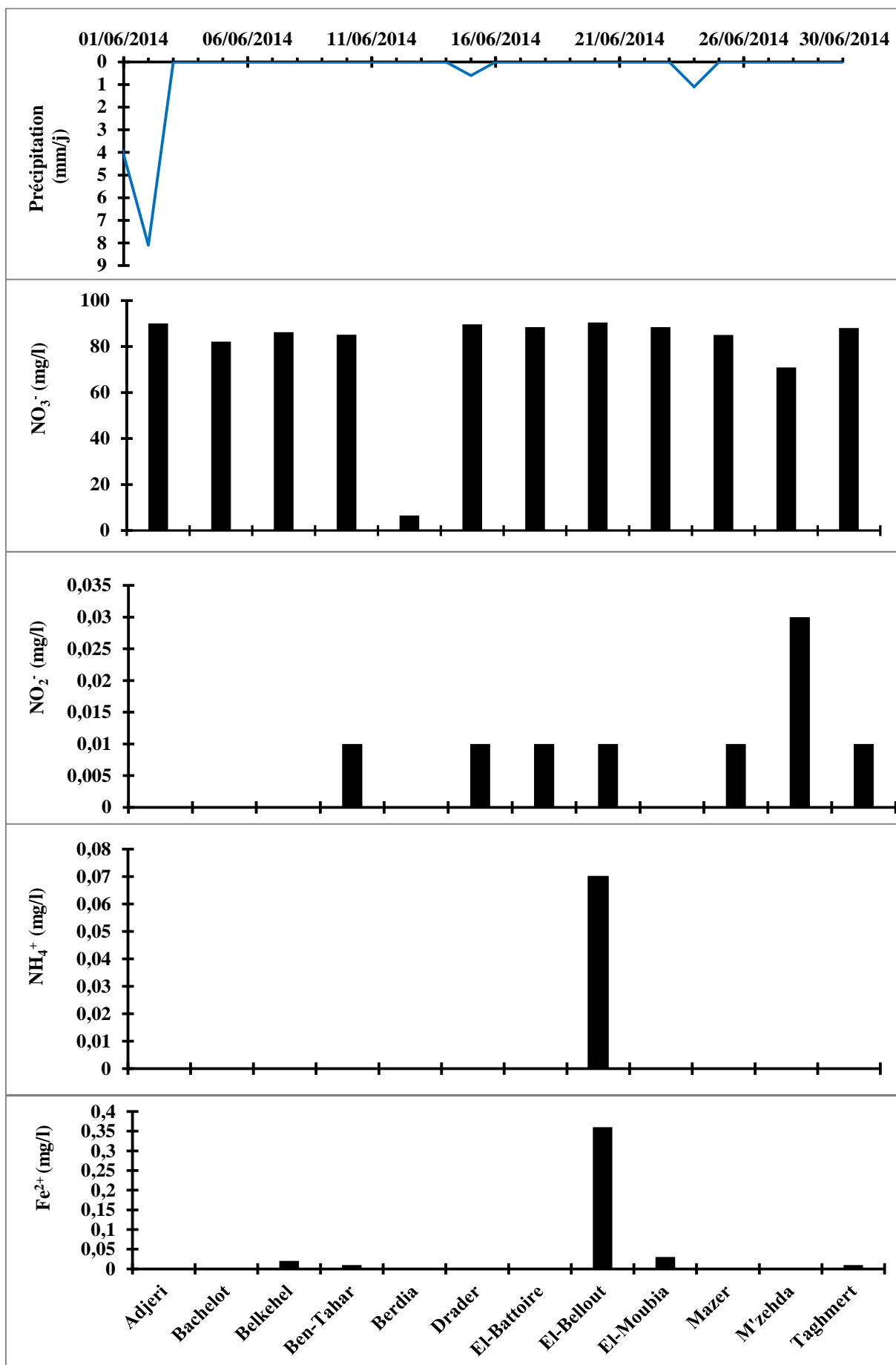


Figure 56 : Evolution spatiale des teneurs en Fer ferreux des sources (24/06/ 2014).

IV.7. Evolution spatiale des indicateurs bactériologiques des eaux de sources

L'étude bactériologique des différentes sources a consistée en dénombrement des germes indicateurs de contaminations fécales, à savoir les coliformes fécaux (CF), les entérocoques (SF) et les *Escherichia coli* (E. Coli) qui sont illustrés dans la figure 57.

IV.7.1. Coliformes fécaux

Les concentrations en coliformes fécaux des eaux de sources sont comprises entre 0 et 1400 germe/100 ml. La valeur minimale est prédominante en plusieurs sources par contre la valeur maximale est observée à la source M'zehda.

IV.7.2. Escherichia Coli

Les teneurs en *Escherichia Coli* des eaux de sources sont variées entre 0 et 20 germe/100 ml. La valeur la plus inférieure est enregistrée dans la majorité des sources en revanche la valeur la plus supérieure est remarquée en M'zehda.

Nous avons enregistré une dégradation de la qualité hygiène au niveau des eaux de sources Mazer, M'zehda, Taghmert et Berdia. Les teneurs en *Escherichia Coli* dans des eaux de ces sources sont supérieures à la norme algérienne de potabilité de 0 germe/100 ml (**JORA, 2011**).

IV.7.3. Streptocoques fécaux

Les teneurs en streptocoques fécaux dans les eaux de sources fluctuent entre 0 et 1400 germe/100 ml. La valeur la plus basse est remarquée aux niveaux de la plupart des sources étudiées alors que la valeur la plus extrême est observée uniquement en M'zehda.

La source M'zehda apparait d'une charge excessive en germes entérocoques qui dépassait la norme algérienne de potabilité de 0 germe/100 ml (**JORA, 2011**). Elle est de mauvaise qualité pour les eaux de boisson.

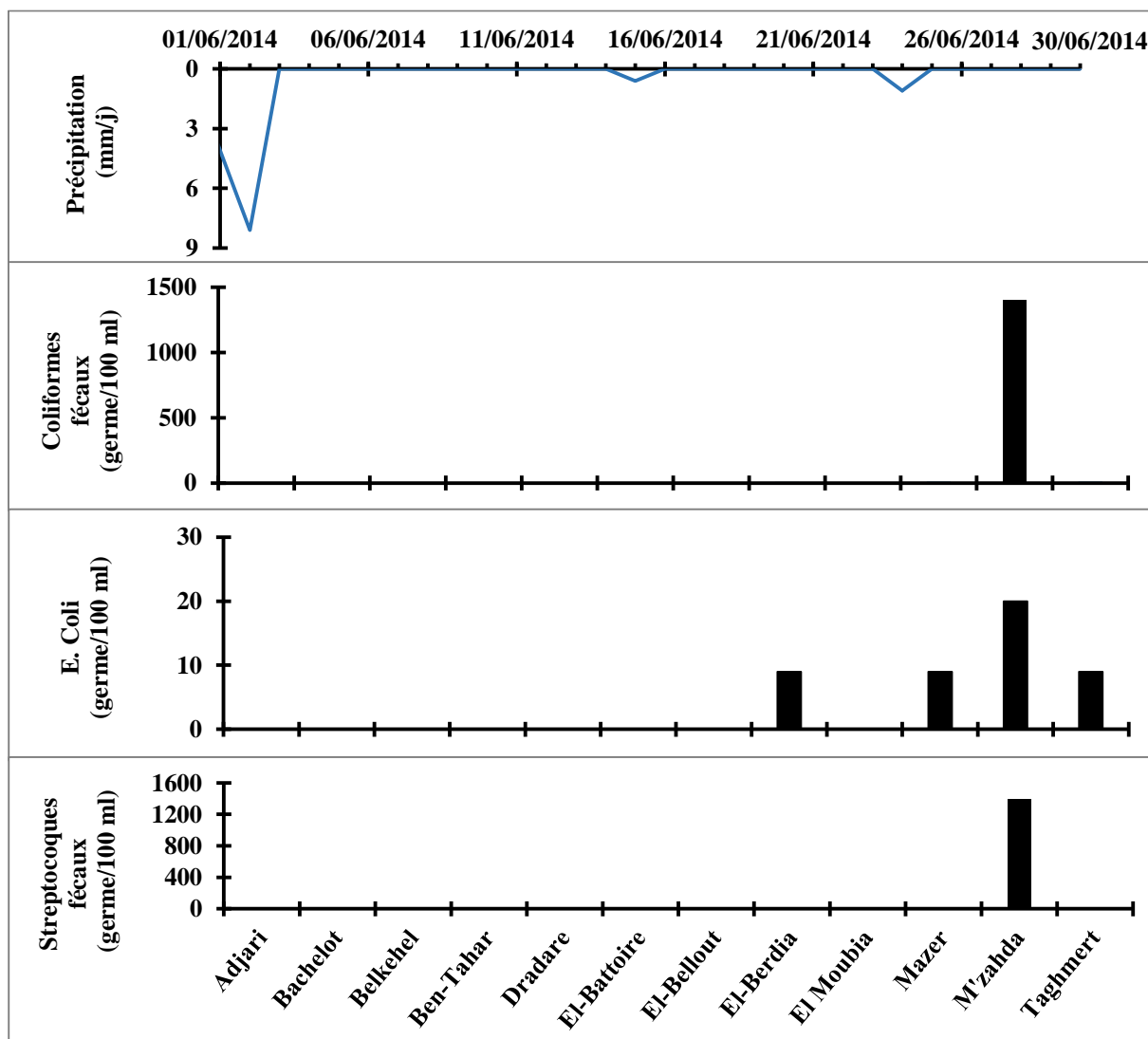


Figure 57 : Evolution spatiale de Coliformes fécaux, Escherichia coli et Streptocoques fécaux des sources (24/06 2014).

IV.7.4. L’influence de traitement sur la présence des bactéries fécales dans les sources

Nous avons effectués les prélèvements de certaines sources (Belkehel, Ben Tahar, El Bellout et El Moubia) après le traitement de chloration réalisé par des agents du laboratoire d’hygiène de Taher. L’efficacité de cette désinfection est positive pour les coliformes fécaux, lorsque l’analyse de l’eau de ces sources après le traitement montre une absence totale des germes (Tableau 56).

Tableau 56 : Variation des teneurs en Coliformes fécaux des sources avant et après le traitement.

Source	Coliformes fécaux (n/100 ml)	
	Avant le traitement (15/06/2014)	Après le traitement (24/06/2014)
Belkehel	130	0
Ben Tahar	9	0
El Bellout	12	0
El Moubia	60	0

IV.7.5. Discussion

La présence des bactéries indicatrices d'une contamination fécale dans les eaux de sources (Berdia, Mazer, M'zehda et Taghmert) peut être expliquée par l'infiltration importante des eaux usées urbaines de la ville de Taher et l'élevage.

La présence d'*Escherichia Coli* en eaux de sources est signifiée d'une contamination récente aux matières fécales, et on peut rencontrer des microorganismes pathogènes, tels que des bactéries nuisibles, des virus et des parasites.

L'absence des germes fécaux en eaux de sources Belkehel, Ben-Tahar, El-Bellout et El-Moubia pendant le jour de prélèvement a liée au traitement préalable de ces sources.

IV.8. Conclusion

Les eaux de plaine alluviale d'oued Nil sont de qualité modérément polluée. Elles sont dégradées par les rejets urbains, l'utilisation des engrais chimiques et des pesticides et les décharges sauvages (lixiviat). Oued Nil et ses affluents oued Boukraa et oued Saayoud représentent une pollution à la partie aval, où les agglomérations sont fréquentes. L'amont des trois affluents (ON1C, OB1C et OS1C) semblent les zones les plus propres. Les teneurs des éléments physicochimiques des eaux de surface de cette plaine sont conformes aux normes des eaux d'irrigation. Les eaux souterraines présentent des teneurs élevées en ammonium et en nitrates. La contamination métallique (plomb, cadmium, chrome, fer ferreux) a été enregistrée au niveau de certaines stations des eaux de la plaine. La charge bactérienne fécale apparaît dans les sources Berdia, Mazer, M'zehda et Taghmert.

Conclusion générale

L'eau est un constituant majeur de toute matière vivante et joue un rôle primordial, irremplaçable dans le développement de la vie humaine, animale et végétale, ainsi que dans l'évolution des sociétés.

La présente étude s'est effectuée sur l'hydrochimie des eaux superficielles et souterraines de la plaine alluviale d'oued Nil (wilaya de Jijel) et sur les bactéries des eaux de sources.

Les eaux de surface sont alcalines, froides en période hivernale et chaude en période estivale, d'une minéralisation très faible à moyenne avec des valeurs de la conductivité électrique inférieures à 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Elles semblent moins aérées particulièrement en aval des oueds étudiés, ceci signifié la présence des faibles teneurs en oxygène dissous et du potentiel redox. La majorité des paramètres physico-chimiques (T, pH, CE, O₂ dissous) sont dans la norme algérienne.

L'analyse des données relatives de la qualité chimique de ces eaux, a permis de montrer d'importantes fluctuations temporelles des teneurs des différents ions majeurs, entre un minimum enregistré au moment des précipitations (effet de la dilution) et un maximum de concentration en saison sèche (effet de la concentration par évaporation).

Lors de cette étude, les teneurs en calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), titre hydrotimétrique (TH), bicarbonates (HCO_3^-), chlorure (Cl^-) et sulfates (SO_4^{2-}) augmentent de l'amont vers l'aval des trois affluents (Nil, Boukraa et Saayoud). Cela est sans doute revient à l'effet des rejets urbains.

Sur la base des résultats préliminaires obtenus, nous pouvons dire que la plupart des eaux superficielles présentent les variations les plus importantes en paramètres de pollution (ammonium, nitrate, nitrite, phosphate).

D'une manière générale, les teneurs en ammonium et en phosphate augmentent simultanément à l'aval de l'oued Nil (ON5C, ON6C et ON7C) et de l'oued Saayoud (OS5) s'accompagnent par une baisse des valeurs de l'oxygène et de potentiel redox. Cela est lié à l'effet des rejets urbains qui sont riches en ammonium et en phosphate et produisant une consommation de l'oxygène par les bactéries.

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 Sayoud et l'oued Nil.

L'ensemble des teneurs en éléments traces métalliques (cuivre, zinc) sont inférieures à la norme algérienne au long d'oued Nil et ses affluents à cause de la nature lithologique des terrains traversés.

Le plomb, le cadmium et le chrome présentent des concentrations supérieures aux normes algériennes des eaux de surface aux niveaux de certaines stations. Cela peut s'expliquer seulement par les rejets urbains qui se jettent directement dans les oueds sans traitement préalable.

Les teneurs des éléments physicochimiques des eaux de surface de cette plaine sont conformes aux normes des eaux d'irrigation.

Les valeurs des paramètres physico-chimiques (T, pH, CE, TDS, Eh et Salinité) et les teneurs en éléments majeurs (TH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-) des eaux souterraines (puits, forages, sources) sont dans les normes de potabilité algérienne et de l'OMS.

Seul les eaux des captages suivants ont montrées une pollution : les puits PB10 bis et PN22 par une haute concentration en nitrate ; le puits PN19 par le phosphate et le forage FN8 par l'ammonium. Cela est sûrement lié aux rejets urbains et l'utilisation intensive des engrais et des pesticides issus de l'agriculture.

Les concentrations en nitrate au niveau des eaux de sources sont fortement élevées à la norme algérienne de potabilité (50 mg/l) et ils sont accompagnés par une évolution inverse des teneurs du nitrite et d'ammonium. Berdia, Mazer, M'zehda et Taghmert sont des sources connues une charge bactérienne fécale par les coliformes fécaux, *Escherichia Coli* et streptocoques fécaux due à l'élevage et le vieillissement des infrastructures de distribution et d'assainissement qui laissent échapper des produits chimiques toxiques (rejets urbains).

Les concentrations du plomb, cadmium et chrome sont supérieures dans les eaux des puits et des forages par contre les concentrations du cuivre, zinc et fer ferreux sont inférieures à la norme algérienne de potabilité.

Enfin, l'avenir hygiène des eaux de la plaine alluviale d'oued Nil de wilaya de Jijel est recommandée d'une vue stricte sous l'angle de la durabilité, l'habitabilité, la viabilité et la planification écologique.

Il convient donc d'être conscient de l'importance que revêt, pour notre plaine, la gestion rationnelle de ses ressources hydrauliques et leur protection contre toutes les pollutions susceptibles de nuire à leur qualité.

Nous envisageons en perspectives d'étudier :

- la qualité des sédiments de la plaine alluviale d'oued Nil ;
- La contamination des produits agricoles irrigués par les eaux d'oued Nil ;
- L'intoxication de la population humaine consommatrice des eaux souterraines de de la plaine alluviale d'oued Nil ;
- Le risque de pollution par les éléments traces métalliques des terres agricoles irriguées par les eaux d'oued Nil et ses affluents Boukraa et Saayoud.

Références bibliographiques

- Amiard J. C., 2011.** Les risques chimiques environnementaux : Méthodes d'évaluation et impacts sur les organismes, Edition Lavoisier.
- Aminot A ; Kérouel R., 2007.** Dosage automatique des nutriments dans les eaux marines : Méthodes en flux continu, Edition Quae, p 45.
- Anctil F., 2008.** L'eau et ses enjeux, Edition Boeck, Paris, pp 31-34.
- Anglier E., 2000.** Ecologie des eaux courantes, Edition TEC et DOC, Lavoisier, pp 17-89.
- AQUAREF, 2011.** Guide des prescriptions techniques pour la surveillance physicochimique des milieux aquatiques : Opérations d'échantillonnage en eau souterraine, BRGM, IFREMER, INERIS, Irstea, LNE, pp 14-16.
- Aubertot J. N ; Brbier J. M ; Carpentier A ; Gril J. L ; Guichard L ; Lucas P ; Savary S ;**
- Audry S., 2003.** Bilans géochimique du transport des éléments traces métalliques dans le système fluviale anthropisé Lot-Garonne-Gironde, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux.
- Baize D., 1997.** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols, Edition INRA, p 169.
- Belghiti M. L ; Chhlaoui A ; Bengoumi ; El Moustaine R., 2013.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe paléo-quadernaire dans la région de Meknés (Maroc), 14, 21-36.
- Berne., 2003.** Guide pratique : Echantillonnage des eaux souterraines, Edition OFEFP, pp 22-26.
- Bettati M., 2012.** Le droit international de l'environnement, Edition Odile Jacob, p 37.
- Bonnefoy C ; Guillet F ; Leyral G ; Verne-Bourdais E., 2002.** Microbiologie et qualité dans les industries agroalimentaires, Edition Doins, Paris, Bordeaux, pp 101-102.
- Bourgeois C. M ; Mescle et Zucca J., 1996.** Microbiologie alimentaire (tome 1) : Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments, Edition TEC et DOC, Lavoisier, Paris.
- Brasilia., 2013.** Manuel Pratique d'Analyse de l'Eau, 4^{ème} Edition Fondation nationale de la santé, pp 18-19.
- Bur T., 2008.** Impact anthropique sur les éléments traces métalliques dans les sols agricoles de Midi-Pyrénées : Implication en termes de limites et de charges critiques, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, Laboratoire Eco Lab, p 9.
- Burgot J. L., 2011.** Chimie analytique et équilibres ioniques, 2^{ème} Edition Lavoisier, p 123.

- Burnol A ; Duro L ; Grive M., 2006.** Eléments traces métalliques - Guide méthodologique - Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines, NERIS, p 29.
- Cambau E ; Donval L et Harrar Y., 2013.** Cours 5 : Le monde des bactéries (2), Agent infectieux.
- Chaguer M., 2013.** Analyse et spéciation des métaux dans un oued en zone minière cas de l'oued Essouk, Thèse de Doctorat, Université Constantine I, p 1.
- Chapman D ; Kimstach V., 1996.** Water quality assessments : A guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, 2^{ème} Edition, London, p 126.
- Chevalier P., 2003.** Coliformes fécaux, in Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de santé publique du Québec, p 3.
- Collin J. J., 2004.** Les eaux souterraines connaissance et gestion, Edition BRGM, pp 30-51.
- Daffri A., 2008.** Biodégradation des crésols par le microbiote des eaux usées de la ville de Constantine, mémoire de Magister, Université de Mentouri Constantine, p 2.
- Davezac H ; Grandguillot G ; Robin A ; Saout C., 2008.** L'eau potable en France 2005 – 2006, Edition Ministère de la Santé, de la Jeunesse, des Sports et de la Vie associative, Paris, p 50.
- Defrancechi M., 1996.** L'eau dans tous ses états, Editions Ellipses, pp 60-96.
- Degobert P., 1992.** Automobile et pollution, Edition Technip, Paris, p 81.
- Delarras C ; Trébool B ; Durand J., 2010.** Surveillance sanitaire et microbiologique : Règlements, microorganismes, prélèvements, analyses, 2^{ème} Edition TEC et DOC, Lavoisier, p 95.
- Delarras C., 2014.** Pratique en microbiologie de laboratoire : Recherche de bactéries et de levures-moisissantes, Edition TEC et DOC, Lavoisier, Paris, p 34.
- Derwich E ; Benaabidate L ; Zian A ; Sadki O ; Belghiti D., 2010.** Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du Haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fès, Larhyss, 08, 101-112.
- Dodds W ; Whiles M., 2010.** Freshwater ecology : Concepts and environmental application of limnology, 2nd Edition Elsevier.
- Douard P ; Lebental B., 2013.** Plomb et qualité de l'eau potable : Analyse et évaluation de l'efficacité des actions engagées pour respecter la future limite de qualité de 10 µg/l de plomb

dans l'eau du robinet et propositions d'actions, Conseil général de l'environnement et du développement durable, 008435-01, pp 9-10.

Dromgny E., 2012. Les critères microbiologiques des denrées alimentaires : Règlementation, agents microbiens, autocontrôle, Edition TEC et DOC, Lavoisier, pp 159-253.

Ducauze C., 2014. Chimie analytique, analyse chimique et chimiométrie : Concepts, démarche et méthodes, Edition Lavoisier Tec et Doc, p 159.

Dupin H ; Cuq J. L ; Malewiak M. J ; Leynaud-Rouaud C ; Berthier A. M., 1992. Alimentation et nutrition humaines, Edition ESP, p 1275.

FAO., 1990. Etudes et prospections pédologiques en vue de l'irrigation : Bulletin pédologique de la FAO 42, Edition FAO, pp 64-69.

Gargaud M ; Quintanilla J. C ; Amils R ; Cleaves H. J ; Viso M ; Pinto D., 2011. Encyclopedia of Astrobiology, vol 1, Springer, <http://books.google.ca/books?id=oEq1y9GIcr0C>, pp 849-851.

Gaujou D., 1995. La pollution des milieux aquatiques, 2^{ème} Edition Lavoisier, Paris, p 220.

Gautier C ; Fellous J. L., 2008. Eau, pétrole, climat : Un monde en panne sèche, Edition ODILE JACOB, pp 171-172.

Genin B ; Chauvin C ; Ménard F., 2003. Cours d'eau et indices biologiques : Pollutions, méthodes IBGN, 2^{ème} Edition Educagri, pp 18-19.

Gilles V., 2012. Les contaminations dans les milieux récepteurs sous forte pression urbaine, Mémoire d'Habilitation, Université Paris-Est Créteil Val de Marne, Laboratoire eau environnement systèmes urbains, p 9.

Grosclaude G., 1999. L'eau tome II usage et polluants, Edition INRA, Paris. p 118.

Guidera F. Chapitre III : Cours de Spectroscopie d'absorption dans l'UV visible.

Guiraud J. P et Rosec J. P., 2004. Pratique des normes en microbiologie, Edition AFNOR, p 70.

Guiraud J. P., 1998. Microbiologie alimentaire, Edition DUNOD, pp 3-6.

Hartemann P ; Moll M., 1992. Les eaux conditionnées, Edition TEC et DOC, Lavoisier, pp 105-144.

Hébert S. et Légaré S., 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, envirodoq no ENV-2001-0141, rapport n° QE-123, p 24.

- Hertig J. A., 2006.** Etudes d'impact sur l'environnement, Volume 23, 2^{ème} Edition Revue et adaptée, p 296.
- Hollas J. M., 1998.** Spectroscopie cours et exercices, Editions Dunod, Paris.
- ISO 6058 (F), 1984.** Qualité de l'eau : Dosage de calcium : Méthode titrimétrie à l'EDTA.
- ISO 6059., 1984.** Qualité de l'eau : Dosage de la somme du calcium et magnésium : Méthode titrimétrie à l'EDTA.
- ISO 6332 (F), 1988.** Qualité de l'eau : Dosage de fer : Méthode spectrométrique à la phénantroline -1,10.
- ISO 6777. NA 1657, 1984.** Dosage des nitrites : Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.
- ISO 6878/1., 1998.** Qualité de l'eau : Dosage spectrométrique du phosphore en utilisant molybdate d'ammonium.
- ISO 7150/1 (F), 1984.** Qualité de l'eau : Dosage de l'ammonium : Méthode spectrométrique manuelle.
- ISO 9297 - NA 6917.** Qualité de l'eau : Dosage de chlorures Titrage au nitrate d'argent avec du chromate comme indicateur (Méthode de Mohr)
- JORA, 2006.** Arrêté interministériel fixant les proportions d'éléments contenus dans les eaux minérales naturelles et les eaux de sources ainsi que de leur traitement ou les adjonctions autorisées, p 11.
- JORA., 2011.** Décret exécutif n° 11-219, fixant les objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau des populations, pp 5-6.
- JORA., 2011.** Décret exécutif n° 11-125 correspondant la qualité de l'eau de consommation humaine, pp 7-9.
- Juery C., 2002.** Définition des caractéristiques techniques de fonctionnement et domaine d'emploi des appareils de désinfection, FNDAE, 2, 1-58.
- Juste C., Chassin P ; Gomez A ; Lineres M ; Mocquot B ; Feix I ; Wiart J., 1995.** Les Micropolluants métalliques dans les bous résiduaire des stations d'épuration urbaines, Convention ADEME-INRA, p 20.
- Kadouche S., 2013.** Utilisation des biomatériaux dans le traitement des eaux, Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouazou, Laboratoire BIOGEP et LERISM, p 4.
- Kloppmann W ; Dever L ; Edmunds W. M., 1996.** Zones d'oxydo-réduction dans l'aquifère de la Craie des bassins de Paris et de l'Allemagne du nord, Sciences Hydrologiques, 41, 3, 311-326.

- Lallemand-Barrès A et Roux J. C., 1999.** Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine, Edition BRGM, pp 17-21.
- Larpent J. P., 1988.** Biologie des eaux : Méthodes et techniques, Edition Masson, p 187.
- Larpent J. P., 1997.** Microbiologie : Techniques de laboratoire, Edition TEC et DOC, Lavoisier, Paris, p 639.
- Lehtihet A. M., 1983.** Étude hydrogéologique de la plaine alluviale de l'Oued Nil (Région de Jijel), Mémoire d'Ingénieur, USTHB, Alger, p 67.
- Le Pimpec P ; Liénard A ; Bonnard R ; Lafont M ; Cazin B ; Bossard Ph ; Hurbert B ; Bray M., 2002.** Guide pratique de l'agent préleveur : Chargé de la police des milieux aquatiques, Edition Quae, pp 51 – 53.
- Léonard A., 1990.** Les mutagènes de l'environnement et leurs effets biologiques, Edition Masson, pp 38-39.
- Levallois P ; Phaneuf D., 1994.** La contamination de l'eau potable par les nitrates : Analyse des risques à la santé, Revue canadienne de santé publique, 85, 3, 192-196.
- Leyral G ; Vierling E., 2007.** Microbiologie et toxicologie des aliments : Hygiène et sécurité alimentaires, 4^{ème} Edition Doin, pp 77-256.
- Liechti P., 2010.** Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau : Analyses physico-chimiques, nutriments, Environnement pratique n° 1005, Edition Office fédéral de l'environnement, Berne, p 29.
- Maoui k ; Meddour C., 2013.** Etude hydrogéophysique de la plaine alluviale d'oued El Nil (Wlaya de Jijel), Mémoire de Master 2, Université de Jijel, p 47.
- Marcato C. E., 2007.** Origine, devenir et impact du cuivre et du zinc des lisiers porcins : Rôle de digestion anaérobie, Thèse de Doctorat, Institut nationale de polytechnique de Toulouse, p 15.
- Martineau G. P., 1997.** Maladies d'élevage des porcs, 1^{ère} Edition France Agricole, p 397.
- Meot B ; Alamy Z., 1990.** Les eaux usées urbaines : Règlementation des rejets urbaines, traitements de finition par géoépuration, BRGM, p 3.
- Michard G., 2002.** Chimie des eaux naturelles : Principes de géochimie des eaux, Edition Publisud, p 251.
- NA 2364., 1994.** Qualité de l'eau : Dosage spectrométrique du phosphore en utilisant le molybdate d'ammonium

- Ramade F., 1998.** Dictionnaire encyclopédique des sources de l'eau, Edition International, Paris, pp 77-114.
- Ramade F., 2000.** Dictionnaire encyclopédique des polluants : Les polluants de l'environnement à l'homme, Edition International, Paris, pp 324-479.
- Ramade F., 2011.** Introduction à l'écochimie : Les substances chimiques de l'écosphère à l'homme, Edition Lavoisier, p 366.
- Rejesk F., 2001.** Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques, Editions Ressources pour l'éducation nationale, pp 63.
- Rodier J., 1978.** Analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7^{ème} Edition Dunod, Paris.
- Rodier J., 2005.** Analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8^{ème} Edition Dunod, Paris.
- Rodier J., 2009.** Analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9^{ème} Edition Dunod, Paris.
- Rouessac F ; Rouessac A ; Cruché D., 2004.** Analyse chimique : Méthodes et techniques instrumentales modernes, 6^{ème} Edition Dunod, Paris, pp 245-247.
- Sadoun L., 2013.** Etude hydrologique et hydrodynamique de la basse plaine alluviale de l'oued El Nil (wilaya de Jijel), Mémoire de Master 2, Université de Jijel, pp 28-32.
- Savary P. P., 2010.** Guide des analyses de la qualité de l'eau, Edition Territorial, pp 78-101.
- Spear P. A., 1981.** Le zinc dans l'environnement aquatique : Chimie, Répartition et toxicologie, Conseil national de recherches Canada, Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement.
- Stellaman J. M., 2000.** Encyclopédie de sécurité et de santé au travail volume 2, Edition Organisation internationale du Travail.
- Tallon P ; Magajna B ; Lofranco C ; Leung K.T., 2005.** Microbialindicators of faecal contamination in water : A current perspective, Water Air and Soil Pollution, 166, 1-4,139-166.
- Touchart L., 2003.** Hydrologie : Mers, fleuves et lacs, Edition Armand Colin, p 29.
- Viala A ; Botta A., 2007.** Toxicologie, 2^{ème} Edition TEC et DOC, Lavoisier, pp 597-627.
- Vilaginès R., 2010.** Eau, environnement santé publique : Introduction à l'hydrologie, 3^{ème} Editions TEC et DOC, Lavoisier, p 110.
- Villers J ; Squilbin M ; Yourassowky C., 2005.** Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : Cadre général, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, pp 1-3.

[1] - <http://www.cieau.com/les-eaux-usees/les-origines-des-eaux-usees>

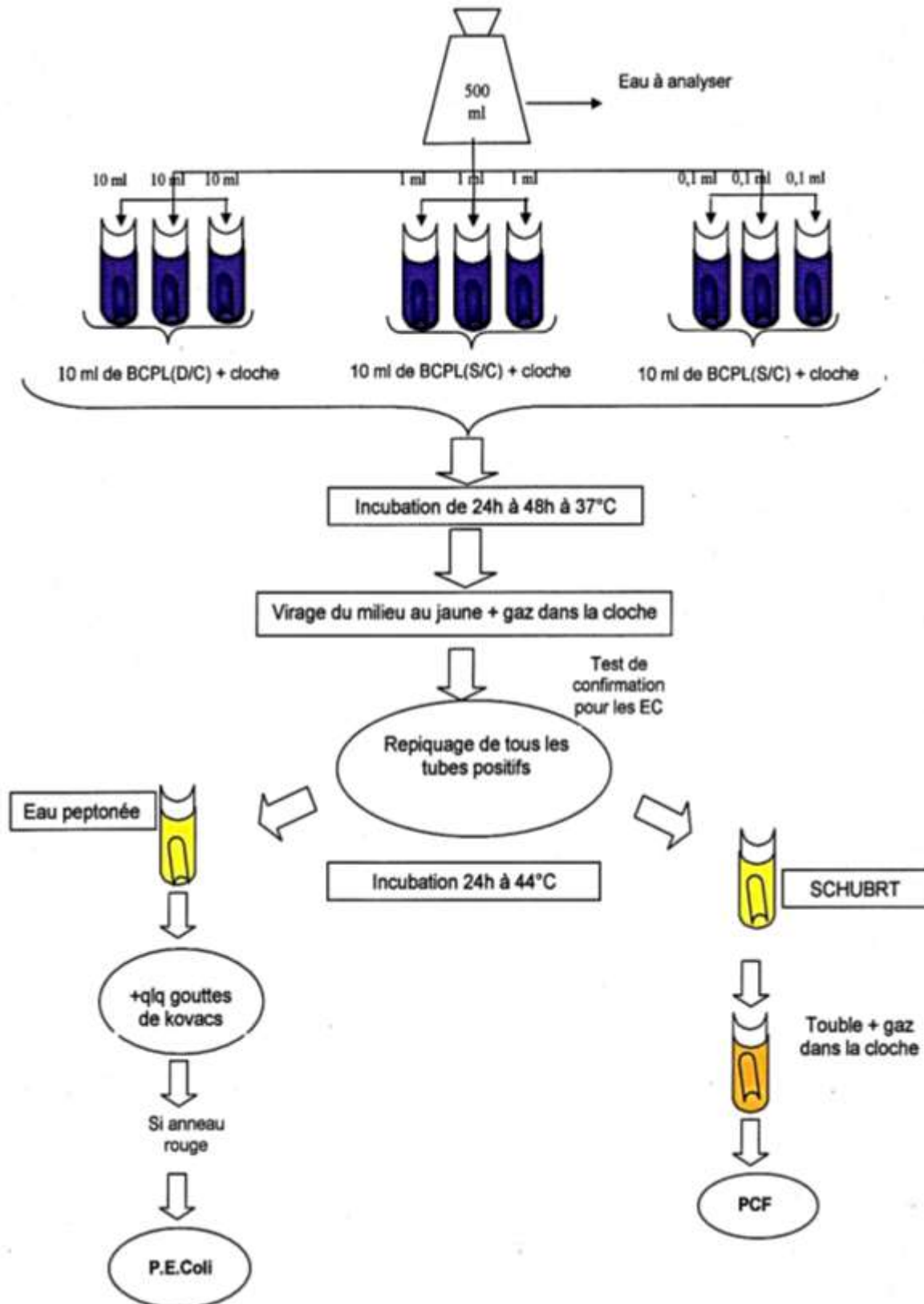
[2] - <http://fr.scribd.com/doc/49768131/la-qualite-et-les-analyses-de-l-eau#scribd>

[3] - <http://anne.decoستر.free.fr/bagene/bacterie.htm>

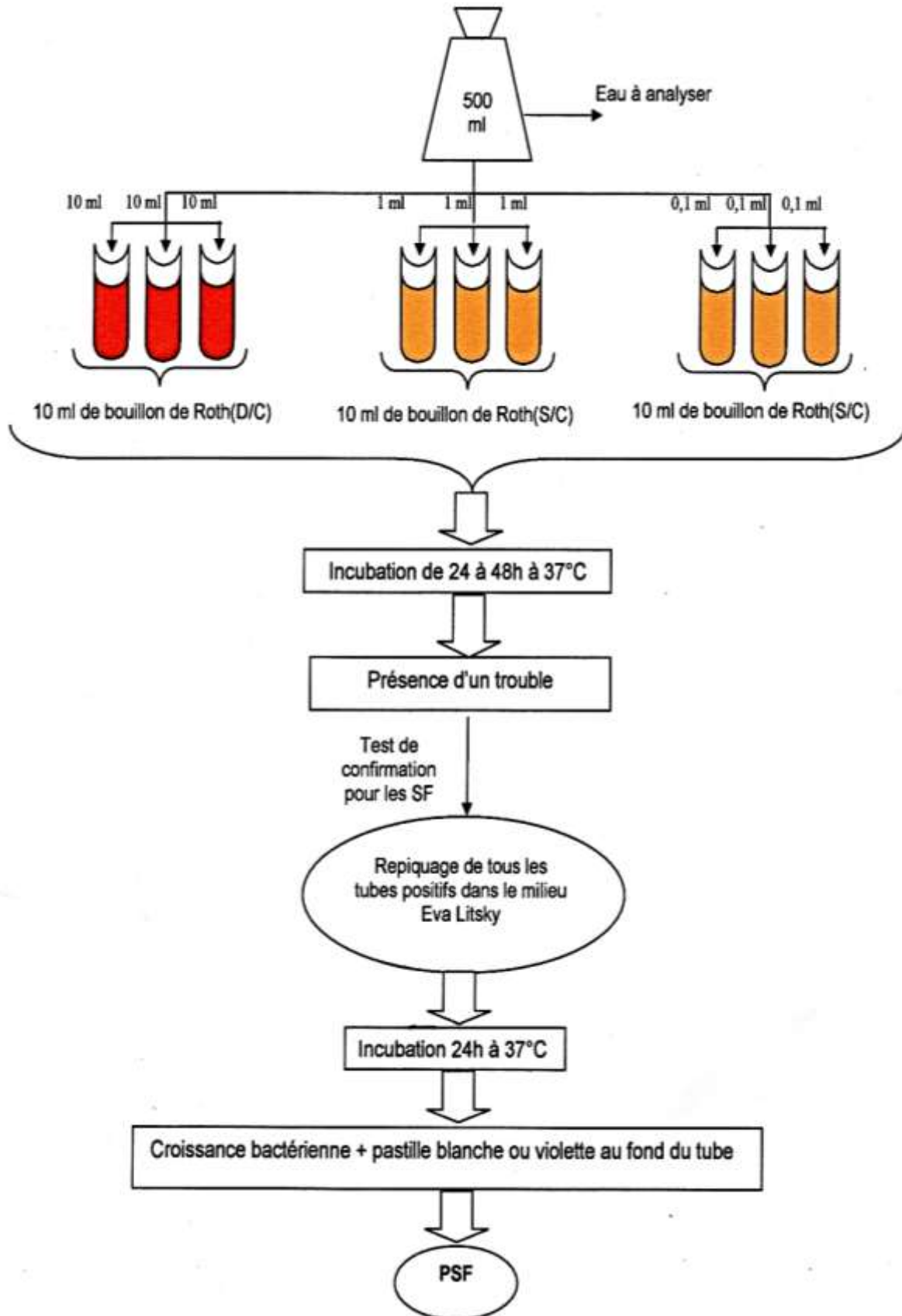
Annexes

Annexe I : méthodes d'analyse bactériologique

Laboratoire agréé	Dénombrement des coliformes fécaux méthode des tubes multiples	ADE, Jijel
--------------------------	---	-------------------



Laboratoire agréé	Dénombrement des streptocoques fécaux méthode des tubes multiples	ADE, Jijel
-------------------	--	---------------



Annexe II : les normes algériennes

Tableau 01 : Objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau potable des populations (JORA, 2011).

Paramètre	Unité	Valeur maximale	
		Eaux superficielles	Eaux souterraines
T	°C	25	25
pH		6,5 - 9	6,5 - 9
Conductivité	µs/cm à 20°C	2800	2800
O ₂	%	30	> 70
Chlorure	mg/l	600	500
Sulfate	mg/l	400	400
Ammonium	mg/l	4	0,5
Nitrite	mg/l		
Nitrate	mg/l	50	50
Fer dissous	mg/l	1	0,3
Cadmium	mg/l	0,005	0,005
Chrome	mg/l	0,1	0,05
Cuivre	mg/l	2	0,05
Plomb	mg/l	0,05	0,01
Zinc	mg/l	5	5

Tableau 02 : Paramètres de la qualité de l'eau de consommation humaine (JORA, 2011).

Tableau 03 : Caractéristiques de la qualité des eaux de sources (JORA, 2006).

Paramètre	Unité	Norme
pH		6,5 à 8,5
Conductivité	µs/cm	2800
Calcium	mg/l	75 à 200
Magnésium	mg/l	150
Chlorure	mg/l	200 à 500

Paramètre	Unité	Valeurs limites
Température	°C	25
pH	Unité pH	$\geq 6,5$ et ≤ 9
Conductivité	$\mu\text{s}/\text{cm}$ à 20°C	2800
Dureté	mg/l en CaCO ₃	200
Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
Chlorure	mg/l	500
Sulfate	mg/l	400
Ammonium	mg/l	0,5
Nitrite	mg/l	0,2
Nitrate	mg/l	50
Fer total	mg/l	0,3
Cadmium	mg/l	0,003
Chrome total	mg/l	0,05
Cuivre	mg/l	2
Plomb	mg/l	0,01
Zinc	mg/l	5

Sulfate	mg/l	200 à 400
Ammonium	mg/l	0,5
Nitrite	mg/l	0,1
Nitrate	mg/l	50

Tableau 04 : Mesure à effectuer en laboratoire pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation.

Paramètres de l'eau	Symbole	Unité ¹	Teneur habituelle dans l'eau d'irrigation	
SALINITE				
<u>Teneur en sel</u>				
Conductivité électrique (ou)	EC _w	dS/m	0 - 3	dS/m
Total des matières solides dissoutes	TDS	mg/l	0 - 2000	mg/l
<u>Cations et Anions</u>				
Calcium	Ca ⁺⁺	me/l	0 - 20	me/l
Magnésium	Mg ⁺⁺	me/l	0 - 5	me/l
Sodium	Na ⁺	me/l	0 - 40	me/l
Carbonate	CO ₃ ⁻⁻	me/l	0 - 0,1	me/l
Bicarbonate	HCO ₃ ⁻	me/l	0 - 10	me/l
Chlorure	Cl ⁻	me/l	0 - 30	me/l
Sulphate	SO ₄ ⁻⁻	me/l	0 - 20	me/l
ELEMENTS NUTRITIFS²				
Azote nitrique	NO ₃ -N	mg/l	0 - 10	mg/l
Azote ammoniacal	NH ₄ -N	mg/l	0 - 5	mg/l
Phosphate phosphoreux	PO ₄ -P	mg/l	0 - 2	mg/l
Potassium	K ⁺	mg/l	0 - 2	mg/l
DIVERS				
Bore	B	mg/l	0 - 2	mg/l
Acidité	pH	1-14	6,0 - 8,5	
Coefficient d'adsorption du Sodium ³	SAR	(me/l) ^{1, 2}	0 - 15	

Tableau 05 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation.

Tableau 13			CONCENTRATIONS MAXIMALES D'ELEMENTS A L'ETAT DE TRACE RECOMMANDEES POUR LES EAUX D'IRRIGATION ¹
Elément	Concentration maximale recommandée ² (mg/l)	Observations	
Al (aluminium)	5,0	Peut provoquer la stérilité des sols acides (pH < 5,5), mais les sols sodiques précipiteront l'ion et élimineront la toxicité à pH > 7,0.	
As (arsenic)	0,10	La toxicité à l'égard des plantes varie fortement, de 12 mg/l pour le Sudan grass à moins de 0,05 mg/l pour le riz.	
Be (beryllium)	0,10	La toxicité vis-à-vis des cultures varie fortement, de 5 mg/l pour le chou à 0,5 mg/l pour les haricots blancs.	
Cd (cadmium)	0,01	Toxique pour les haricots, les betteraves et les navets à de faibles concentrations (0,1 mg/l dans la solution nutritive). Des limites prudentes sont recommandées en raison des possibilités de former des concentrations, dans les végétaux et les sols, dangereuses pour l'homme.	
Co (cobalt)	0,05	Toxique pour la tomate à 0,1 mg/l dans la solution nutritive. A tendance à être neutralisé par les sols à pH ≥ 7.	
Cr (chrome)	0,10	N'est en général pas considéré comme un élément essentiel de la croissance. En raison d'un manque d'informations sur ses effets toxiques, on recommande des limites prudentes.	
Cu (cuivre)	0,20	Toxique pour un certain nombre de plantes à partir de concentrations comprises entre 0,1 et 1,0 mg/l, dans la solution nutritive.	
F (fluor)	1,0	Neutralisé par les sols à pH ≥ 7.	
Fe (fer)	5,0	Pas toxique pour les plantes dans les sols aérés, mais peut contribuer à l'acidification des sols et à la baisse de la disponibilité du phosphore et du molybdène essentiels. Peut provoquer, en aspersion "haute", des dépôts peu esthétiques sur les plantes, l'équipement et les bâtiments.	
Li (lithium)	2,5	Toléré par la plupart des cultures jusqu'à 5 mg/l; mobile dans le sol. Toxique pour les agrumes à des concentrations faibles (< 0,075 mg/l). Agit comme le bore.	
Mn (manganèse)	0,20	Toxique pour un certain nombre de plantes, à partir de quelques dixièmes de mg/l à quelques mg/l, mais en général seulement dans les sols acides.	
Mo (molybdène)	0,01	Non toxique pour les cultures à des concentrations normales dans le sol et l'eau. Peut être toxique pour le bétail lorsque le fourrage pousse sur des sols à forte concentration en molybdène disponible.	
Ni (nickel)	0,20	Toxique pour un certain nombre de plantes à partir de concentrations variant de 0,5 mg/l à 1,0 mg/l; toxicité réduite avec un pH neutre ou alcalin.	
Pb (plomb)	5,0	Peut inhiber la croissance des cellules végétales à des concentrations très élevées.	
Se (sélénium)	0,02	Toxique pour les cultures à des concentrations aussi faibles que 0,025 mg/l et toxique pour le bétail si le fourrage est cultivé sur des sols avec un niveau relativement élevé de sélénium apporté. Essentiel aux animaux mais à des concentrations très basses.	
Sn (étain) Ti (titane) W (tungstène)	----	Exclu efficacement par les plantes; tolérance spécifique inconnue.	
V (vanadium)	0,10	Toxique vis-à-vis de nombreux végétaux à des concentrations relativement faibles.	
Zn (zinc)	2,0	Toxique pour de nombreuses plantes à des concentrations très variables; toxicité réduite à pH > 6,0 et dans les sols à texture fine ou organiques.	

Annexe III : Données météorologiques

Tableau 06 : Précipitation mensuelle (mm) (1988 – 2014).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
1988	85	128	70,4	65,6	42,2	18,4	0	0	134,1	2,3	184,6	284,6	1015,2
1989	112,6	92	67,2	178,4	9,3	8,5	9,2	8,8	52,2	26,7	148,5	124	837,4
1990	120,1	0	54,1	87,2	74,1	8,5	6,2	29,4	0,9	107,4	251,2	411,2	1150,3
1991	115,4	139,6	126,2	42,2	50,5	3,3	0	3,1	40,5	220,6	98,1	67,5	907
1992	122,9	56	201,4	165,5	98,3	26,1	9,5	0,2	11,5	121,9	60,3	319,3	1192,9
1993	107,9	113,7	66,7	103,7	66,5	7,5	0	0	32,7	84,3	126,1	158	867,1
1994	107,1	141,9	0	92,4	14,5	0	0,3	0,5	93,3	122,9	5	371,6	949,5
1995	173,3	37,4	104,1	56,5	5,6	20,6	1,7	9,5	58,5	72,3	96,1	94,6	730,2
1996	102,1	313,1	122,4	128,8	60,9	45,1	3,2	10,7	45,1	129,7	110	128,1	1199,2
1997	58	12,9	12,2	82,2	28,6	27,2	5,8	7,4	110,7	196,5	188,1	121,4	851
1998	42,3	142,9	67,5	106,1	130,1	3,8	0	20,4	94,3	51,5	339,3	151,8	1150
1999	163,2	97	62,1	42,7	5,9	4	1,6	5,6	27	23,9	250,8	247,7	931,5
2000	108,6	42,4	17	33,2	95,3	13,5	1,4	2,7	25,7	89,8	117,8	84,6	632
2001	247,7	110,9	14,2	50,7	50,3	3,7	0	2,5	38,8	1,1	125,2	142,4	787,5
2002	71,8	66,3	37,6	49,7	15,3	4,4	16,2	86,2	49,5	103	182	407,3	1089,3
2003	333,1	115	30,7	130	70,9	0,8	7,1	0	128,4	76	82	220,5	1194,5
2004	137,2	83,3	75,2	96,6	81,2	56,4	1,3	4,3	75,8	34,8	267,1	158,8	1072
2005	262,1	212,6	85,5	121,8	4,8	0	1,2	18,4	56,4	21,4	134,5	171,6	1090,3
2006	178,2	165,5	54,9	24,1	32,7	2,8	0	34,8	45,3	37,9	39,6	215,4	831,2
2007	12,3	74,5	268,5	70,6	14,4	26,4	3,3	4,8	70,8	142,9	291,4	211,3	1191,2
2008	34,3	27,4	172,1	18,8	144,7	3,7	0	1,3	86,7	30,8	109,8	145,9	775,5
2009	207,9	85,9	78,2	183,8	14,4	0,3	0,5	10,8	172,3	68,1	154,9	139,6	1116,7
2010	121,4	60,2	105,4	52,5	81	49,5	2,1	1,4	53	218,5	195,9	110,3	1051,2
2011	78,6	143,5	89,8	69,7	33,4	27	8,1	0	14,7	247,1	134,5	160	1006,4
2012	64,9	368,5	95,9	189,4	3,1	0,1	0,4	110,9	105,6	162,8	82,6	81,4	1266,1
2013	210,3	211,6	81,2	41,9	144,6	0,6	1,6	42,9	48,5	54,2	343,9	125,2	1312,5
2014	133,7	85,1	154	13,1	7,1	13,9	0,2	4,1	24,9	49	182,9	338,1	1006,1
Moyenne	130	115,8	85,7	85	51,1	13,9	2,99	15,6	62,8	92,5	159,5	192,3	1007,2

Tableau 07 : Température moyenne mensuelle (°C) (1988 – 2014).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
1988	12,9	10,7	12,6	15	18,1	21,5	24,7	25,9	21,5	20,7	15,8	11,1	17,6
1989	10,3	11,8	13,8	14,9	17,3	21,1	25,2	26,2	23,5	19,7	16,4	15,3	18
1990	11,5	13,2	13,9	14,3	18,3	22,1	24,5	24,3	25,4	20,9	15,7	10,7	17,9
1991	10,5	10,6	14,4	13,5	15,2	21,2	24,7	25,8	24,6	19,6	14,1	11,2	17,2
1992	9,8	11	12,3	14,3	7,5	20,4	23	24,9	23,7	18,5	15,1	12,2	16,9
1993	9,6	10,7	12,1	14,6	18,7	21,6	23,8	25,4	22,5	19,8	14,5	12,1	17,1
1994	11,9	12,2	13,6	13,9	19,2	22	25,5	28,6	24,9	20,5	16,9	12,6	18,5
1995	11,8	13,4	13,1	14,1	19,2	22,4	25,1	26,1	22,8	20,4	16,8	15	18,4
1996	14,4	11,5	13,8	15,7	18,1	21,7	24,7	25,6	21,5	17,8	16,1	14,3	18
1997	13,5	12,2	12,9	15,4	19,8	23,9	24,4	25,8	24	20,3	16,5	13,7	18,6
1998	12,5	12,3	13,5	15,8	18,2	22,9	24,7	25,4	23,7	17,8	14,4	11,4	17,7
1999	11,6	10,4	13,6	15	20,4	23,3	25,1	27,8	24,8	22,9	14,7	12,2	18,5
2000	9,5	11,9	13,6	16,3	19,7	21,9	25,9	26,6	23,5	19,4	15,4	13,4	18,1
2001	12,5	11,2	17	15,2	18	23,4	24,9	26,1	22,9	22,6	15,1	10,7	18,3
2002	10,7	11,7	14	15,1	18,4	22,4	24,5	25	22,8	19,5	16,7	13,9	17,9
2003	11,6	11	13,7	16	18,4	25,3	27,7	28,3	24	21,1	16,1	12	18,8
2004	11,4	12,3	13,6	14,9	17,2	21,7	24,8	26,7	24,1	22	14	12,8	18
2005	9	9,2	13	16	19,8	23,5	26,2	25,5	23,7	21	15,7	11,8	17,9
2006	10,9	11,3	14,2	17,8	20,8	23,4	26,1	25,4	23,4	22,1	17,9	13,6	18,9
2007	12,3	13,9	13,2	16,7	19,8	22,8	25,1	26,8	23,5	20	14,9	12,3	18,5
2008	12,4	13,1	9	16,6	18,9	22,3	25,9	26	24,2	20,3	15	11,9	18
2009	11,9	11,6	13,2	15,2	20,8	23,6	27,4	27	23,4	20,1	16,5	14,7	18,8
2010	12,5	13,9	14,4	16,4	18	21,5	25,5	25,5	23,3	20,1	19,8	13,2	18,3
2011	11,9	11,8	14,4	17,2	19,5	22,5	26,4	26,2	24,4	20,5	17	13,1	18,8
2012	11,5	8,7	13,9	16,3	19,2	24,9	26,4	27,9	23,6	21,1	17,1	13	18,6
2013	11,9	10,5	15,2	16,4	18,1	20,9	25,2	25,4	23,7	22,8	15,4	12,5	18,2
2014	13,3	13,6	13,4	17,1	18,9	23,2	25,5	26,3	26,2	22,2	18,8	13,1	19,3
Moyenne	11,61	11,7	13,53	15,54	18,35	22,49	25,29	26,17	23,68	20,5	16,01	12,73	18,13

Tableau 08 : Humidité relative moyenne mensuelle (1990 – 2014).

Année	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec	Annuel
1990	81,7	80,3	78	81,2	83,1	86,6	75,8	76,8	74,3	70,1	79,7	78	78,8
1991	79,5	77,7	77,2	76,8	76,6	76,8	72,4	70,6	75,9	78,9	80,5	79,8	76,89
1992	83,2	79,6	82,5	80,5	81	77,4	81,3	73,6	76,4	78,4	81,7	77,6	79,43
1993	81	77,3	75,8	76,5	76,1	77,2	75,1	76,6	78,3	75,6	80,4	80,8	77,56
1994	82,6	76,6	81,4	77,5	75,5	70,4	68,6	67,3	70	79,4	77,2	80,2	75,56
1995	75,1	79,8	75,2	76,2	71,7	76	71,7	69,2	71,8	73,5	69	74,7	73,66
1996	71,5	75	76	76,3	78,7	76,7	69,1	75,6	74	76,6	73,5	73,5	74,71
1997	72	82,5	77,1	73,6	76,8	72	74,1	71,4	74,2	75,5	76,8	75,2	75,1
1998	76,6	82,2	76	75,7	82,3	76	74,1	75,8	74,4	76,8	80,4	79	77,44
1999	80,8	78,5	74,7	74,7	73,2	72,8	88,7	69,6	73,6	67	79,9	81,3	76,23
2000	80,3	77,5	77,6	71	81,3	80,3	89,4	68,8	76,6	74,2	77,2	72,4	77,21
2001	76,6	77,4	72,3	76,5	79,2	66,6	72,6	71,3	77,3	70,7	76,5	78,2	74,6
2002	77,6	77,1	74,8	76,4	72,7	75,4	75,1	76	73,7	73	70,6	75,6	74,83
2003	77,6	75,2	75	78,9	79,8	68,9	68	67	79	79,2	74,8	73,4	74,73
2004	80	78	79	76	78	78	75	71	73	69	82	77	76,33
2005	80	77	79	76	76	73	69	68	71	77	74	77	74,75
2006	73	76	73	74	79	66	70	71	70	73	70	77	72,66
2007	80	81	74	80	72	75	73	70	75	80	76	77	76,08
2008	77	74	78	73	82	75	71	72	80	76	77	78	76,08
2009	76,8	69,2	73,7	74,1	71,9	67,1	68	74,2	75,8	74,8	71,7	73,4	72,56
2010	76	76	76	83	77	78	76	75	73	74	79	72	76,25
2011	81	79,6	77,1	80,7	78,7	76,1	69,5	70,9	74,6	75	76,2	79,1	76,66
2012	79,9	80,6	80,1	75	74,5	71	72,4	67,5	75,3	73,7	77	76,6	75,5
2013	75,7	75	70,8	76,2	77,5	73,1	76,7	73,2	80,1	75,5	77,1	80,1	75,91
2014	75,1	73	78,1	72,5	74,9	73,1	70	72,7	67	71,2	67,8	77,4	72,73
Moyenne	78,028	77,476	76,488	76,504	77,212	74,336	73,868	71,828	74,656	74,696	76,232	76,984	75,7

Tableau 09 : Vitesse moyenne mensuelle des vents (2011– 2014).

Année	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec	Annuel
2011	1,5	3,6	2,6	2,4	2,1	2,2	2,8	2,3	2,2	2,2	2,3	2,5	2,4
2012	2,6	3,5	2,3	3	2	2,3	2,7	2	2,1	2	1,9	2,2	2,38
2013	3,1	3,6	3,3	2,4	2,5	2,3	2,2	2,4	1,6	1,4	3,8	1,9	2,54
2014	2,7	2,7	3,4	2,6	2,3	2,4	2,6	2,3	2,1	2	2,5	3,4	2,58
Moyenne	2,47	3,35	2,9	2,6	2,22	2,3	2,57	2,25	2	1,9	2,62	2,5	2,475

Annexe IV : Données géologiques

Roche	Minéral	Formule chimique
Feldspathoïdes	Leucite	$K Al Si_2 O_6$
	Néphéline	$Na Al Si O_4$
Quartz	Quartz	SiO_2
Micas	Muscovite	$K Al_2 (Al Si_3) O_{10} (OH,Fe)_2$
	Biotite	$K (Mg,Fe)_3 (Al Si_3) O_{10} (OH,Fe)_2$
	Chlorite	$(Mg,Fe)_{10} Al_2 (Si,Al)_8 O_{20} (OH,F)_{16}$
Minéraux argileux	Illite	cf muscovite
	Kaolinite	$Al_4 Si_4 O_{10} (OH)_8$
	Smectites	$Si_x Al_y O_{10} Al_2 (OH)_2 Na_z$
Carbonates	Calcite	$CaCO_3$
	Dolomite	$(Ca,Mg)CO_3$
Sulfates	Gypse	$CaSO_4, 2H_2O$
Phosphates	Apathite	$Ca_5 (F,Cl) (PO_4)_3$
Oxydes	Hématite	Fe_2O_3
Micaschiste	Muscovite	$K Al_2 (Al Si_3) O_{10} (OH,Fe)_2$
	Biotite	$K (Mg,Fe)_3 (Al Si_3) O_{10} (OH,Fe)_2$
	Quartz	SiO_2
	Hornblende	$(Ca,Na,K)_2(Mg,Fe^{2+},Fe^{3+},Al)_5 [Si_6(Al,Si)_2O_{22}](OH,F)_2$
	Glaucothane	$Na_2(Mg,Fe)_3Al_2Si_8O_{22}(OH)_2$
Amphibolite	Amphibole	$A_{0-1} B_2 C_5 (Si,Al,Ti)_8 O_{22} D_2$ où : A = Na, K, Ca, Pb^{2+} B = Li, Na, Mg, Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ca C = Li, Na, Mg, Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn, Co, Ni, Al, Fe^{3+} , Cr^{3+} , Mn^{3+} , V^{3+} , Ti, Zr