

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université de Kasdi Merbah - OUARGLA -



THESE

Présenté au Département de l'Hydraulique et de Génie Civil

Faculté des Sciences Appliquées

Pour obtenir le diplôme de

DOCTORAT

Option : Aménagement hydraulique dans les zones arides

Thème

Contribution à l'étude des flux de polluants dans les hydro-systèmes

Par

Radia Hafsi

Devant le Jury

Président :	Aziez ZEDDOURI	Pr. Univ. Ouargla
Examineurs :	Abd El Ouahed KRIKER Djamel BOUTOUTAOU Yacine DJEBAR	Pr. Univ. Ouargla Pr. Univ. Ouargla Pr. Univ. Souk-Ahras
Directeur de thèse :	Lahbassi OUERDACHI	Pr. Univ. Annaba

L'Année Universitaire 2016/2017

Remerciement

Je débute avant tout mes remerciements à DIEU sans qui je ne serai ce que je suis.

Je remercie le professeur Lahbassi OUERDACHI, directeur du Laboratoire d'Hydraulique et de Constructions Hydrauliques de l'université d'Annaba, mon directeur de thèse, pour son soutien et son aide tout au long de mon parcours universitaire.

Un grand merci pour Pr. Abd El Ouahed KRIKER mon Co encadrant pour son soutien moral et scientifique ainsi que sa compréhension toute au long de ma formation.

Je remercie aussi les examinateurs: Pr. Djamel BOUTOUTAOU, Pr. Yacine DJEBAR et également Pr. Aziez ZEDDOURI d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Un grand merci aux professeurs qui m'ont soutenu, aidé et encouragé afin d'accomplir ce travail de thèse, tout particulièrement le Dr. Hamouda BOUTAGHANE pour sa disponibilité indéfectible tout au long de mon cursus.

Je remercie Monsieur Adel Rahmouni pour m'avoir ouvert les portes de son laboratoire tout au long des compagnes d'échantillonnage.

Je remercie chaleureusement mes collègues pour leurs soutiens techniques et moraux, sans être exhaustif je citerai : Ala Eddine TIFRANI, Djihed Rezaghi, Amina, Khairia, Mohamed Amine HEBBACH, Hichem CHERRAD, Mehdi KEBLOUTI, Sabri BERHAIL,

Je tiens à remercier Mr, Lhraoua Ahmed pour son aide ainsi le collectif de l'université Kasdi Merbah Ouargla pour leurs collaborations et leurs accueil.

Mes remerciements vont aussi pour mes chères collègues, Madame Samia, Meriem, Imen, sans oublier Sandra et Sihem.

Merci à toute personne qui m'a aidé à réaliser ce travail.

Ce travail est dédié :

A ma mère et mon père, mon frère Zakaria et ma sœur Chaima

A la mémoire de ma défunte belle mère

A mon beau père et mes belles sœurs Sara et Amel

A mon époux Tayeb et mon petit ange Cilia

A mon deuxième ange qui verra le jour bientôt inchaallah

Résumé

Contribution à l'étude des flux de polluant dans les hydro-systèmes

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer la qualité physicochimique des eaux de oued Boudjemaa. Des échantillons ont été prélevés sur cinq points différents le long du cours d'eau pendant douze mois (Avril 2013-Mars 2014). Des mesures physico-chimiques ont été utilisées pour calculer les indices de pollution, cela a permis de classer la qualité de l'eau de bonne à très mauvaise qualité. Le classement des points d'échantillonnage selon le type d'eaux usées rejetées a été réalisé en utilisant la classification Hiérarchique Ascendante et trois groupes ont été révélés : faible pollution, pollution urbaine, pollution urbaine et agricole. Afin de comprendre la variation spatiotemporelle, l'analyse en composante principale et l'analyse factorielle ont été appliquées aux mesures physico-chimiques de 38 éléments. Ces techniques ont souligné 19 éléments dominants la pollution et expliquant 83,40% de la variance, tout en réduisant le nombre de paramètres initiale par 50%. La combinaison des résultats de l'analyse statistique multi-variée et l'extraction de la surface imperméable totale et efficace, nous ont conduits à une estimation du niveau du seuil de l'urbanisation auquel l'impact sur la qualité de l'eau se produit.

Mots clés: indices de pollution, Oued Boudjemaa, Classification Hiérarchique Ascendante, Analyse des Composantes Principales, Analyse factorielle, Surface Imperméable efficace, Surface imperméable totale, qualité de l'eau.

Abstract

Contribution to the study of pollutant flows in hydro- systems

In order to study the water quality of Oued Boudjemaa, samples were taken from five different points along the stream for twelve months (April 2013-2014), and the physicochemical measurements were used to calculate pollution indices. This allowed to classify the water quality from good to very poor. The classification of the sampling points by type of wastewater discharged was performed using the Ascending Hierarchical Classification, three groups were revealed, low pollution, urban pollution, urban and agricultural pollution. To understand the spatiotemporal variation, the principal component analysis and factor analysis were applied to the physico-chemical measurements of 38 elements. These techniques have highlighted 19 elements explaining 83.40% of the variance, and reducing the number of initial parameters by 50%. Combining the results of the multivariate statistical analysis and the extraction of the total and effective impervious surface, have led to estimate the level of urbanization threshold over which the impact on water quality occurs.

Key words: Pollution indexes, Oued Boudjemaa, Agglomerative Hierarchical Classification, Principal Components Analysis, Factor Analysis, Effective Impervious Area, Total impervious area, water Quality.

ملخص

مساهمة لدراسة تدفق الملوثات في النظم المائية

من أجل دراسة نوعية مياه واد بوجمعة (عنابة)، تم أخذ عينات من خمس نقاط مختلفة على طول مجرى المياه لمدة اثني عشر شهرا، استخدمت القياسات الفيزيائية لحساب مؤشرات التلوث حيث وجد ان نوعية المياه تتراوح من جيدة إلى سيئة للغاية. بهدف تصنيف نقاط أخذ العينات وفقا لنوع مياه الصرف، استخدم التجميع الهرمي تصاعدي و تم العثور على ثلاث مجموعات: تلوث منخفض، تلوث حضري، تلوث حضري و زراعي. من أجل فهم الاختلاف المكاني والزمني تم تطبيق التحليلات الإحصائية متعددة المتغيرات على القياسات الفيزيائية ل38 عنصر. حيث أشار التطبيق إلى 19 مكون مهيمن، موضحا 83.40% من التباين. تحليل النتائج الإحصائية و كمية البنين العمراني أدى إلى تقدير مستوى عتبة التحضر الذي يبداء عنده التأثير السلبي على نوعية المياه.

الكلمات المفتاحية: مؤشرات التلوث، واد بوجمعة، تصنيف الهرمي التصاعدي، تحليل العنصر الرئيسي، التحليل العاملي، سطح غير نفاذ كلي، سطح غير نفاذ فعال، نوعية المياه.

Table des matières

Résumé	0
Abstract	3
ملخص.....	3
Liste des tableaux.....	7
Liste des figures.....	8
Liste des notations	10
Introduction générale.....	12
CHAPITRE 1	17
1.1. Caractérisation des masses d'eau	18
1.1.1. Propriétés physiques et chimiques	18
1.1.2. Caractéristiques biologiques	19
1.2. Définitions liées à la qualité de l'eau.....	20
1.2.1. Qualité du milieu aquatique.....	20
1.2.2. Pollution du milieu aquatique	20
1.2.2.1. Évaluation et Surveillance de la qualité de l'eau.....	21
1.2.3. Impacts anthropiques sur la qualité de l'eau	23
1.2.4. Sources de polluants et leurs voies	25
1.2.4.1. Les sources ponctuelles.....	26
1.2.4.2. Sources diffuses non atmosphériques	26
1.2.4.3. Les variations spatiales et temporelles	28
CHAPITRE 2	30
2.1. Introduction.....	31
2.2. Caractéristique physique du bassin versant de Oued Boudjema.....	31
2.2.1. Situation géographique et caractéristique morphométrique	31
2.2.2. Géologie.....	33
2.2.3. Occupation des sols.....	34
2.3. Climatologie.....	37
2.3.1. Hydrométrie	40
2.3.2. Pluviométrie	41
CHAPITRE 3	43
3.1. Introduction	44
3.2. Le prélèvement	44
3.2.1. Station de prélèvement	44

3.2.2.	Techniques de prélèvement	45
3.2.3.	Réalisation des prélèvements	46
3.3.	Analyses physicochimique de l'eau	47
3.3.1.	Les mesures in situ	47
3.3.1.1.	Température.....	47
3.3.1.2.	Oxygène dissous.....	48
3.3.1.3.	Conductivité	48
3.3.1.4.	Potentiel d'hydrogène.....	49
3.3.1.5.	Débit.....	49
3.3.2.	Réalisation des mesures in situ.....	49
3.3.3.	<i>Préservation des échantillons</i>	50
3.4.	Résultats des analyses physicochimiques de l'eau	51
3.5.	Variation des paramètres mesurés.....	61
3.6.	Conclusion.....	65
CHAPITRE 4	66
4.1.	Introduction	67
4.2.	Les indices de pollution	67
4.3.	Etablissement des cartes	69
4.4.	Résultats et discussion.....	69
4.4.1.	Variation temporelle des paramètres utilisés.....	69
4.4.2.	Calcul des indices de pollution.....	70
4.4.2.1.	L'indice de pollution organique	70
4.4.2.2.	L'indice de Lisec	71
4.4.2.3.	L'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (IHE)	73
4.4.2.4.	La variation temporelle des indices de pollution.....	74
4.5.	Conclusion.....	77
CHAPITRE 5	79
5.1.	Introduction	80
5.2.	Littérature sur les analyses multi-variées et la qualité d'eau.....	80
5.3.	Analyse des composantes principales (ACP) et analyse factorielle (FA)	81
5.4.	Analyse de Cluster (AC)	85
5.5.	Application de l'Analyse Des Composantes Principale.....	86
5.5.1.	Adéquation des données (les tests de Keyser Meyer et Bartlett).....	86
5.5.1.	Résultats de l'Analyse Des Composantes Principales (spatiale).....	88

5.5.2.	Résultats de l'analyse des composantes principales (temporelle)	93
5.6.	Application de l'analyse factorielle.....	95
5.7.	Application de l'analyse de cluster.....	101
5.8.	Conclusion.....	103
CHAPITRE 6	104
6.1.	Introduction	105
6.2.	Littérature sur les surfaces imperméables et la qualité de l'eau	105
6.2.1.	Les facteurs influençant la qualité de l'eau	106
6.2.1.1.	Le seuil de l'imperméabilisation	107
6.2.1.2.	Méthode de détermination de pourcentage d'imperméabilité pour l'utilisation des terres.....	109
6.2.1.3.	Surface imperméable total et surface imperméable efficace	109
6.2.1.4.	Bande riveraine	110
6.3.	Extraction des surfaces imperméables.....	111
6.4.	Conclusion	115
Conclusion générale	117
Références bibliographique	133
ANNEXE 1	: Conditions météorologiques et photographie des lieux	Error! Bookmark not defined.
ANNEXE 2	: Normes de rejet des eaux usées.....	Error! Bookmark not defined.
ANNEXE 3	: Les indicateurs physicochimiques de la qualité de l'eau....	Error! Bookmark not defined.
ANNEXE 4	: Productions scientifiques.....	Error! Bookmark not defined.

Liste des tableaux

- Tableau 1.** Caractéristiques physiques des sous bassins versants
- Tableau 2.** Synthèse de l'occupation des sols
- Tableau 3.** Synthèse de nombre d'habitant par commune
- Tableau 4.** Liste des postes de la région d'étude
- Tableau 5.** Les coordonnées des points de prélèvements et les surfaces de leurs bassins versants
- Tableau 6.** Intervalle des paramètres des classes de pollution (l'IPO Leclercq and Maquet 1987)
- Tableau 7.** Intervalle des paramètres des classes de pollution (indice de Lisec)
- Tableau 8.** Intervalle des paramètres des classes de pollution (l'IHE 1986)
- Tableau 9.** Indice de pollution organique calculée Tableau 9. Indice de pollution Lisec.
- Tableau 10.** Indice de pollution organique calculée par la méthode IHE
- Tableau 11.** Test de sphéricité de Bartlett
- Tableau 12.** Mesure de précision de l'échantillonnage (Kaiser-Meyer-Olkin)
- Tableau 13.** Valeurs propres des facteurs
- Tableau 14.** Cosinus carrés des variables
- Tableau 15.** Corrélations entre les variables et les facteurs
- Tableau 16.** Matrice de corrélation de Person
- Tableau 17.** Valeurs propres des facteurs
- Tableau 18.** Coordonnées des observations
- Tableau 19.** Coordonnées factorielles
- Tableau 20.** Coordonnées factorielles après rotation Varimax
- Tableau 21.** Matrice de proximité (Distance euclidienne)
- Tableau 22.** Distances entre les objets centraux
- Tableau 23.** Les types des rejets dans chaque bassin versant
- Tableau 24.** Calcul des paramètres

Liste des figures

Figure 1. Carte de situation d'Oued Boudjema (d'après Hilly, 1962 modifiée in Remita 2008).

Figure 2. Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Mebarki, 2005).

Figure 3. Couverture végétale de l'Est algérien (d'après carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis-Sfax et Alger, complétées. (Mebarki, 2005).

Figure 4. Précipitations moyennes annuelles sur la période 1965-1995 (source thèse Mebarki, Données ANRH)

Figure 5. Emplacement des postes pluviométriques et pluviographes (source étude de BG suisse)

Figure 6. Les points d'échantillonnage de la zone d'étude avec leur délimitation des bassins versants

Figure 7. Variation temporelle de nitrate, nitrite et ammonium dans les cinq points de prélèvement

Figure 8. Variation temporelle de la turbidité et des matières en suspension dans les cinq points de prélèvement

Figure 9. Variation temporelle de l'acide organique et l'acide butyrique dans les cinq points de prélèvement

Figure 10. Variation temporelle de phosphates et phosphore dans les cinq points de prélèvement

Figure 11. Variation temporelle des métaux lourds dans les cinq points de prélèvement

Figure 12. Variation temporelle de la dureté, calcium et magnésium nitrate, nitrite et ammonium dans les cinq points de prélèvement

Figure 13. Variation temporelle des paramètres organiques dans les cinq points de prélèvement

Figure 14. Variation temporelle du potassium et du sulfate dans les cinq points de prélèvement

Figure 15. Variation temporelle des paramètres mesurés in situ dans les cinq points de prélèvement

Figure 16. Variation temporelle de la qualité des eaux de surface d'Oued Boudjema

Figure 17. Variation temporelle de la qualité des eaux de surface d'Oued Boudjema

Figure 18. Carte de la variation spatiale de l'IPO des 5 stations de prélèvement

Figure 19. Carte de la variation spatiale de l'indice de Lisec des 05stations de prélèvement

Figure 20. Carte de la variation spatiale de l'indice de L'IHE des 5 stations de prélèvement

Figure 21. Représentation graphique de la variation spatiale et temporelle de l'IPO pour les cinq stations de prélèvement

Figure 22. Représentation graphique de la variation spatiale et temporelle de l'indice de Lisec pour les cinq stations de prélèvement

Figure 23. Représentation graphique de la variation spatiale et temporelle de l'IHE pour les cinq stations de prélèvement

Figure 24. Positionnement des points de prélèvement par rapport aux facteurs

Figure 25. Positionnement des variables par rapport aux facteurs

Figure 26. Scree plot test

Figure 27. Positionnement des points de prélèvements par rapport aux Varimax

Figure 28. Positionnement des variables par rapport aux Varimax

Figure 29. Dendrogramme des groupes révélé par la classification ascendante hiérarchique «méthode de Ward»

Figure 30. Carte ortho-photographique utilisée pour déterminer la surface imperméable totale

Liste des notations

ACP Analyse en composante principal

al⁺³Aluminium

c h3 cooh c3 h7 cooh Acide organique

ca⁺²Calcium

CAH Classification ascendante hiérarchique

ch3ch2ch2cooh Acide organique butyrate

CIT Carbone inorganique total

COT Carbone organique total

cr⁺² 07Chrome

cr⁺⁶Chrome hexavalent

cr⁺⁴Chrome

CT Carbone total

cu⁺² Cuivre

DBO₅ Demande biologique en oxygène

DCO Demande chimique en oxygène

FA Analyse factorielle

fe⁺²Fer

k Potassium

MDT Matières dissoutes totales

MES Matières en suspension

mg⁺² Magnésium

mn⁺²Manganèse

nh₃-n, nh₄⁺, nh₃⁺ Ammonium

no₂,no₂-n Nitrites

no₃Nitrates

OD Oxygène dissous

p₂₀₅Phosphore

PH Potentiel hydrogène

p₀₄, p Phosphates

Q Débit

SIE Surface imperméable efficace

HAFSI RADIA

Thèse de doctorat

Contribution à l'étude des flux de polluants dans les hydro-systèmes

SIT Surface imperméable totale

so⁺²₄Sulfates

T Température

zn⁺²Zinc

Introduction générale

Le mode de vie actuel a gravement affecté l'environnement autour de nous en accélérant et déstabilisant certains phénomènes naturels. Les études de recherche ont montré que l'urbanisation est une source de nombreuses perturbations à l'environnement naturel (Cécile 1999, Charlotte et al., 2007, Kinney 2002), en particulier le milieu aquatique. En période humide le ruissellement véhicule les polluants accumulés dans l'air et sur les surfaces sous forme de dépôts pendant la période sèche, résultant des diverses activités humaines (Chocat et al. 1993). En plus des dépôts accumulés en période sèche le rejet des eaux usées non épurées domestiques, agricoles et industrielles dans le milieu naturel provoque des changements dans les différentes composantes du milieu récepteur (des changements physiques, chimiques et biologiques). Ces changements peuvent aussi compromettre les usages de l'eau dans plusieurs activités telles que l'alimentation en eau potable, l'irrigation, la pêche et la natation. (Burton et al. 2001). L'importance de la modification est la fonction de plusieurs facteurs : la diversité des milieux récepteurs, l'habitat, le régime hydraulique et la complexité des rejets (Admiraal et al. 2000 ; Mulliss et al. 1997).

La complexité des rejets est l'une des principales sources de dégradation de la qualité de l'eau. La pollution est causée par les rejets des eaux usées non épurées domestiques et agricoles (Bahroun, 2007) ainsi que les eaux de ruissellement. Ces rejets modifient et parfois détruisent la nature des eaux réceptrices, ce qui engendre le déséquilibre de l'écosystème, menant à des résultats catastrophiques sur l'environnement qui peuvent être irréversibles. Pour atténuer ce problème, il est nécessaire d'évaluer la qualité de l'eau afin d'enquêter sur les sources de pollution.

Plusieurs techniques ont été établies par les chercheurs au cours des années pour évaluer la qualité de l'eau, et l'une des techniques les plus simples consiste à calculer les indices de pollution, ce qui constitue un outil très adapté pour la visualisation de la variation spatiale et temporelle de la qualité de l'eau. Le calcul des indices de pollution comme l'indice de pollution organique, l'indice de Lisec et l'indice de l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie ont prouvé leur efficacité à donner des informations importantes sur la qualité de l'eau (Bahroun, 2007; Chaoui,

2007 et 2013; Mebarki, 2011). D'autres techniques consistent à l'utilisation de méthodes statistiques multi-variées, qui représentent comme outils appropriés pour réduire et interpréter les mesures de la qualité physicochimique de l'eau (Unmesh et al., 2006). Des outils d'analyse statistique, comme l'analyse des composantes principales et l'analyse factorielle ont prouvé leur efficacité à fournir des informations très importantes sur la qualité de l'eau (Vega et al 1998;. Chen-Wang et al 2003, Lambrakis et al 2004;.. Mendiguchia et al 2004;. Unmesh et al 2006;.. Memet et al 2011). Ils ont la capacité d'identifier les facteurs qui influent sur cette qualité, tout en offrant des outils de gestion pour trouver une solution au problème de la pollution (Shrestha et al.2007).

Des études au cours des dernières années, montrent l'augmentation la conscience mondiale à propos de la pollution des eaux de surface, ainsi que le développement de nouvelles approches pour assurer une utilisation durable des ressources en eau. La combinaison d'outils environnementaux et d'outils statistiques multi-variées permet la classification des échantillons d'eau dans des groupes distincts, tout en trouvant le rapport entre les différentes variables en fonction des caractéristiques hydro-chimiques des eaux (Mustapha et al., 2013, Al-Badaïi et al., 2013 Manoj et al., 2014 Hashim et al., 2015, Gu et al., 2016).

La compréhension fondamentale des caractéristiques hydro-morphologique, biologique et chimique des rivières est l'outil principal pour une gestion efficace à long terme. Mais la surveillance de la variation spatio-temporelle de la qualité de l'eau reste un facteur nécessaire pour assurer l'efficacité de la gestion. (Shrestha et al. 2007).

La gestion écologique des flux relie souvent la dégradation des valeurs environnementales des rivières et des cours d'eau à l'utilisation des terres urbaines (Walsh 2009). L'augmentation des surfaces imperméables dans les bassins versants a produit des changements importants dans l'équilibre de la qualité et la quantité des eaux de ruissellement dans les rivières (Brabec et al. 2002). Ce qui était une préoccupation majeure des ressources et des efforts de protection de l'écosystème depuis le début des années 1960 (Walsh et al., 2000). La dégradation est due à l'augmentation de la quantité d'eau de pluie, la sédimentation et l'augmentation de

la charge polluante. De nombreux facteurs contribuent à la qualité d'un flux et comment elle est affectée par des surfaces imperméables (le climat, la géologie, les sols, l'utilisation des terres, la végétation). Ces variables sont influencées par d'autres facteurs, l'utilisation des terres et la végétation. Ces deux derniers éléments sont les seuls sur lesquels l'homme exerce un contrôle direct. Le plus important est la quantification numérique de l'impact de l'imperméabilisation sur la qualité du flux, est le niveau de seuil à partir duquel l'impact sur la qualité de l'eau se produit (Brabec et al. 2002).

La plupart des ressources en eau en Algérie sont pollués par des eaux usées non traitée. 80% de la population urbaine est reliée à des réseaux d'assainissement, mais la plupart des stations d'épuration sont hors service (Merzoug 2012). Les eaux usées non traitées sont rejetées dans les masses d'eau naturelles, ainsi que les eaux de drainage des terres agricoles et de lessivage des sols. De nombreuse étude ont été réalisé afin d'évaluer la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines à l'échelle nationale, on cite les plus récentes et les plus visibles sur la littérature (Maane-Messai et al., 2010, Abdelkader et al., 2012, Labar et al., 2012, Ramdani et al., 2012, Kendouci et al., 2013, Seghir 2014, Rouidi 2014). Ces chercheurs ont tous constaté que la source de pollution est atrophique, rejet des eaux usées domestique et industrielle non épurées, et lessivage des sols, dans quelques cas drainage des terres agricoles.

Au niveau de willaya d'Annaba une étude récente a été réalisée sur Oued Meboudja. Ce dernier se caractérise par un écoulement permanent en hiver. Son alimentation provient des eaux de pluie, et drainage du lac Fetzara. L'étude de Bougherira (2014) a démontré que la source principale de la pollution du cours d'eau est le rejet des eaux industrielles, et que la contamination des eaux par les métaux lourds s'étend en raison de pompage de ces eaux pour l'irrigation des zones en voisinage (Bougherira et al., 2014). Une autre étude a été effectuée sur le même cours d'eau mais en investiguant sur un autre type de pollution, la pollution par la matière organique. L'étude de Rachedi (2012) à révéler que les eaux usées urbaines non traitées entraînent une dégradation importante de la qualité d'eau d'oued Meboudja. Les eaux de Meboudja sont polluées par les rejets industrielles et les rejets domestique non traitée (Bougherira et al., 2102, Chouchane et al., 2013,

chaoui et al, 2015). Ce cours d'eau est un affluent de Oued Seybouse (le cours d'eau principal qui traverse Annaba) dont l'état est gravement pollué en raison des rejets des eaux usées domestiques et industrielles non traitées (Rachedi et al., 2015), ainsi que le drainage des terres agricole et le lessivage des sols. La partie urbaine du cours d'eau Boudjemaa, l'un des deux importants cours d'eau qui traversent Annaba, a fait l'objet d'une étude réalisée par Djedaoune (2015). Le but du travail été d'évaluer le degré de dégradation de la pollution des eaux usées dans différents milieux (naturel, artificiel et semi naturel) en période humide, où s'est avéré que le milieu naturel est le plus optimale pour la dégradation de la matière organique (Djedaoune, 2015).

Les études citées ci-dessus n'ont pas expliqué le lien entre le taux d'urbanisation et le taux de pollution des eaux. Le seul cas d'étude algérien trouvé dans la littérature est celui de Bounoua (2009). Il a relié la santé environnementale et le développement des surfaces urbaines. L'auteur a trouvé que l'effet d'îlot est moins marqué dans les zones semi-arides par rapport aux zones tempérées. Mais aucune étude n'a été réalisée sur l'impact de la croissance urbaine (en termes de surface imperméable) et la qualité des eaux de surface.

Cette étude a été menée sur Oued Boudjemaa, qui draine une partie péri urbaine mais aussi la partie la plus urbanisé de la ville d'Annaba. L'exutoire naturel du cours d'eau est la mer, c'est un point très important pour la pêche et la natation, d'où l'importance d'évaluer la qualité de ces eaux. Des indices de pollution ont été calculés afin de classier les points de prélèvements selon l'importance de la pollution des eaux et la nature des eaux rejetés. Ces résultats ont été comparés à celles obtenu par la classification ascendante hiérarchique. L'objectif était de comparer un outil de classification simple et un outil plus sophistiqué. Les éléments dominants la pollution ont été extraits via l'analyse des composantes principales et l'analyse factorielles. Le lien entre le taux de pollution des eaux et le taux d'imperméabilisation a été établie par l'estimation des surfaces perméables totales et surface imperméables efficace.

Le premier chapitre de la thèse considère la présentation des axes principaux concernant la qualité de l'eau dans les différents types de masses d'eau,

leurs caractéristiques ainsi que la pollution et les approches utilisées pour l'évaluer. Aussi, l'impact des diverses sources de pollution font partie de ce chapitre.

Le chapitre suivant comportera la présentation des sous bassins versants qui sont situées au nord est Algérien et qui ont servie comme site expérimental pour l'étude de la qualité des eaux en utilisant les approches citées au-dessus. Les caractéristiques des sous bassins, du climat, de la pluie, de la géologie ainsi que l'occupation du sol sont aussi présentées.

Dans le troisième chapitre, les prélèvements ainsi que les techniques utilisées durant les campagnes d'échantillonnages sont décrites avec les mesures réalisées in situ et aux laboratoires (analyses physicochimique) et leurs résultats.

Dans le quatrième chapitre, l'indice de pollution organique (IPO) (Leclercq et Maquet 1987), l'indice de Lisec et l'institut d'hygiène et d'épidémiologie (IHE) ont été utilisés pour élaborer des cartes de pollution, dans le but de visualiser les changements de la qualité des eaux en fonction de l'urbanisation. Ces outils de classification simple en termes de calcul et de paramètres initiaux ont fait l'objet d'une comparaison avec un outil plus sophistiqué qui est la classification ascendante hiérarchique (CAH) afin de les valoriser en tant que des indicateurs de l'état de la pollution.

L'ensemble des mesures physicochimiques a été l'objet de plusieurs analyses statistiques multivariées, à savoir l'analyse en composantes principales, l'analyse factorielle et la classification ascendante hiérarchique (CAH). Les résultats de ces analyses sont présentés dans le cinquième chapitre.

Le dernier chapitre a été consacré pour étudier le lien entre l'urbanisation des bassins versant et la qualité de l'eau. L'extraction des surfaces imperméable et leurs utilisations ainsi que les résultats obtenus par les analyses statistiques multivariées ont conduit à la détermination de seuil de l'imperméabilisation auquel l'impact sur la qualité de l'eau se produit.

CHAPITRE 1

Les caractéristiques de l'eau et sa qualité

1.1. Caractérisation des masses d'eau

Les masses d'eau peuvent être entièrement caractérisées par les trois composantes majeures: l'hydrologie, physico-chimie et la biologie. Une évaluation complète de la qualité de l'eau est basée sur une surveillance appropriée de ces composants.

1.1.1. Propriétés physiques et chimiques

Chaque organisme d'eau douce a un motif individuel de caractéristiques physiques et chimiques qui sont déterminés en grande partie par les conditions climatiques, géomorphologiques et géochimiques qui prévalent dans le bassin de drainage et l'aquifère sous-jacent. Les caractéristiques majeures, telle que les solides totaux dissous, la conductivité et le potentiel de redox, fournissent une classification générale des masses d'eau de même nature. La teneur en minéraux, déterminé par les solides totaux dissous présents, est une caractéristique essentielle de la qualité de tout plan d'eau, résultant de l'équilibre entre la dissolution et la précipitation. La teneur en oxygène est une autre caractéristique essentielle, car elle influence grandement la solubilité des métaux et elle est essentielle pour toutes les formes de vie biologique. Pour obtenir une description complète des variables chimiques de qualité de l'eau voir l'annexe 3 (Les indicateurs physicochimiques de la qualité de l'eau).

La qualité chimique de l'environnement aquatique varie en fonction de la géologie locale, le climat, la distance de l'océan et le taux de la couverture du sol.

Les matières particulaires (MP) est un facteur clé de la qualité de l'eau, la régulation des processus d'adsorption-désorption.

Ces procédés dépendent: (i) la quantité des particules en contact avec un volume d'eau, (ii) le type et la nature des MP (qu'elle soit organique ou inorganique), et (iii) le temps de contact entre l'eau et les MP.

La variabilité temporelle de la matière dissoute et particulaire contenu dans les masses d'eau résulte principalement des interactions entre la variabilité

hydrodynamique, la solubilité minérale, les caractéristiques des particules et de la nature et de l'intensité de l'activité biologique.

1.1.2. Caractéristiques biologiques

Le développement de biote (flore et faune) dans les eaux de surface est régi par une variété de conditions environnementales qui déterminent la sélection des espèces, ainsi que la performance physiologique des organismes individuels. La production primaire de la matière organique, sous la forme de phytoplancton et de macrophytes, est plus intense dans les lacs et généralement plus limitée dans les rivières (cours d'eau). La dégradation des substances organiques et la production bactérienne associée peut être un processus à long terme qui peut être important dans les eaux souterraines et les eaux lacustres profondes qui ne sont pas directement exposés aux rayonnements solaire.

Contrairement à la qualité chimique des masses d'eau, qui peut être mesurée par des méthodes d'analyse appropriées, la description de la qualité biologique d'un corps d'eau est une combinaison de caractérisation qualitative et quantitative. La surveillance biologique peut généralement être effectuée à deux niveaux:

- la réponse des espèces individuelles aux changements dans leur environnement ou,
- la réponse des communautés biologiques aux changements dans leur environnement.

Les systèmes de classification de la qualité de l'eau sur la base de caractéristiques biologiques ont été développés pour différents plans d'eau. L'analyse chimique des espèces sélectionnées (ex : des moules et des mousses aquatiques) et / ou des tissus corporels sélectionnés (ex : des muscles ou du foie), des contaminants peuvent être considérés comme une combinaison de surveillance chimique et biologique.

1.2. Définitions liées à la qualité de l'eau

1.2.1. Qualité du milieu aquatique

Compte tenu de la complexité des facteurs déterminants de la qualité de l'eau, et le grand choix des variables utilisées pour décrire l'état des masses d'eau en termes quantitatifs, il est difficile de fournir une définition simple de la qualité de l'eau. En outre, notre compréhension de la qualité de l'eau a évolué au cours du dernier siècle avec l'expansion des exigences d'utilisation de l'eau et la capacité de mesurer et d'interpréter les caractéristiques de l'eau.

Afin d'évaluer cette qualité, plusieurs cotés doivent être explorés :

- Les concentrations, les spécifications et les partitions physiques des substances minérales ou organiques.
- La composition et état du biote aquatique dans le corps de l'eau.
- Description des variations temporelles et spatiales en raison de facteurs internes et externes au corps de l'eau.

1.2.2. Pollution du milieu aquatique

Cette pollution est principalement introduite par l'homme, directement ou indirectement, par des substances ou d'énergie qui se traduisent par des effets nuisibles tels que:

- Des dommages aux ressources biologiques,
- Des risques pour la santé humaine,
- Un empêchement des activités aquatiques (ex : la pêche).
- Une altération de la qualité de l'eau par rapport à son utilisation dans les activités agricoles et industrielles.
- Deux phases de dégradation de la qualité de l'eau se produisent :

- La première phase montre une altération de la qualité de l'eau avec des preuves de l'impact humain, mais sans aucun dommage pour les biotes ou la restriction de l'utilisation de l'eau. De telles modifications ne peuvent être détectées par des mesures chimiques répétées sur de longues périodes de temps. Des exemples typiques sont lorsque les concentrations de Cl⁻ changent de quelques mg.l⁻¹ à 10 mg.l⁻¹ (comme dans le lac Léman, où les concentrations moyennes sont passées de 2 mg.l⁻¹ en 1960 à 6 mg.l⁻¹ à l'heure actuelle) ou lorsque les concentrations de N -NO₃ changent de 0,1 mg.l⁻¹ à 0,2 mg.l⁻¹.
- La phase suivante consiste à une certaine dégradation de la qualité de l'eau et possible restriction des utilisations spécifiques de l'eau parce que les lignes directrices de la qualité de l'eau recommandée (locales, régionales ou mondiales) peuvent être dépassées (Chapman 1996). Une fois que les concentrations maximales acceptables pour les variables sélectionnées par rapport à l'utilisation de l'eau ont été dépassées, ou l'habitat aquatique et le biote ont été nettement modifiée, la qualité de l'eau est généralement définie comme polluée.

1.2.2.1. Évaluation et Surveillance de la qualité de l'eau

La description de la qualité du milieu aquatique peut être réalisée dans une variété de façons. Elle peut être réalisée soit par des mesures quantitatives, comme les déterminations physico-chimiques dans l'eau (la matière particulaire, ou des tissus biologiques) et des tests biochimiques / biologiques (mesure de la DBO, les tests de toxicité, etc.), ou par des descriptions semi-quantitatifs et qualitatifs tels que les indices biotique, aspects visuels, inventaires des espèces, l'odeur, etc. Ces déterminations sont effectuées sur le terrain et en laboratoire et produisent divers types de données qui se prêtent à différentes techniques d'interprétation.

Les termes de suivi et d'évaluation sont souvent confondus et utilisés comme synonymes. L'évaluation est définie comme l'ensemble des processus d'évaluation de la physico-chimique et biologique de l'eau par rapport à la qualité naturelle, les effets humains et utilisations prévues, utilise particulièrement ce qui peut affecter la santé humaine et la santé du système aquatique lui-même. Alors que la surveillance de la qualité de l'eau comprend la collecte actuelle de l'information

à des endroits précis et à intervalles réguliers afin de fournir les données qui peuvent être utilisées pour définir les conditions actuelles, établir des tendances...etc.

L'évaluation de la qualité de l'eau comprend l'utilisation de la surveillance pour définir l'état de l'eau, afin de donner une base de détection des tendances et de fournir les informations permettant l'établissement de relations 'de cause à effet'. Les aspects importants de l'évaluation sont l'interprétation et la communication des résultats de la surveillance et de la formulation de recommandations pour les actions futures.

Après la surveillance et l'évaluation de la qualité du milieu aquatique, une gestion doit être établie et il y a aussi une boucle de rétroaction car la gestion passe inévitablement par la surveillance de la conformité afin de faire respecter les règlements, ainsi que des évaluations à intervalles réguliers afin de vérifier l'efficacité des décisions de gestion. Le projet de surveillance de la qualité de l'eau douce mondiale représente un exemple illustratif de la complexité de la tâche d'évaluation et de sa relation à la gestion (OMS, 1991). Ce projet fournit des évaluations de la qualité de l'eau aux gouvernements, à la communauté scientifique et public, sur la qualité de l'eau douce du monde par rapport à la santé de l'écosystème humain, aquatique et les préoccupations environnementales mondiales, plus précisément:

- L'état de la qualité des eaux et leurs tendances;
- Définition des causes de condition et des tendances observées;
- Identification des types de problèmes liés à la qualité de l'eau, qui se produisent dans des zones géographiques spécifiques;
- Fournir les informations et les évaluations accumulées sous une forme, que la gestion des ressources et les organismes de réglementation peuvent utiliser pour évaluer les alternatives et prendre les décisions nécessaires.

1.2.3. Impacts anthropiques sur la qualité de l'eau

Avec l'avènement de l'industrialisation et l'augmentation des populations, la gamme des besoins en eau a augmenté en même temps avec une plus grande demande d'eau de qualité supérieure. Au fil du temps, les besoins en eau sont apparus pour la boisson et l'hygiène personnelle, l'agriculture (irrigation et l'approvisionnement du bétail), la production industrielle, de refroidissement dans les combustibles fossiles (et nucléaires), les centrales électriques, la production d'hydroélectricité et les activités de loisirs telles que la baignade ou la pêche. Heureusement, les plus grandes exigences de la quantité d'eau, comme pour l'irrigation agricole et le refroidissement industriel, nécessitent le moins en termes de qualité de l'eau (à savoir des concentrations critiques ne peuvent être définies pour une ou deux variables). L'alimentation en eau potable et les fabricants industriels spécialisés exercent les exigences les plus sophistiquées sur la qualité de l'eau, mais leurs besoins quantitatifs sont relativement modérés. Parallèlement à ces usages, l'eau a été considéré, depuis l'antiquité, le moyen le plus approprié pour nettoyer, disperser, transporter et éliminer les déchets (déchets ménagers et industriels, les eaux de drainage des mines, des retours d'irrigation, etc.).

Chaque utilisation de l'eau, y compris le captage d'eau et l'évacuation des déchets, conduit à des impacts particuliers et généralement assez prévisibles sur la qualité de l'environnement aquatique. En plus de ces utilisations de l'eau intentionnelles, il y a plusieurs activités humaines qui ont des effets indirects et indésirables, voire dévastatrices, sur le milieu aquatique. Les exemples sont l'utilisation incontrôlée des terres pour l'urbanisation ou la déforestation, accidentelle (ou non) la libération de substances chimiques, rejet de déchets non traités ou lessivage des liquides nocifs des dépôts de déchets solides. De même, l'utilisation incontrôlée et excessive d'engrais et de pesticides a des effets à long terme sur les ressources en eau souterraines et de surface.

Les interventions structurelles dans le cycle hydrologique naturel par canalisation ou la construction de barrages, le détournement de l'eau à l'intérieur ou entre les bassins de drainage et le pompage excessif des aquifères sont généralement entrepris avec un objectif bénéfique à l'esprit. L'expérience a montré, cependant,

que la dégradation résultante de l'environnement à long terme dépasse souvent ces avantages.

La pollution et la dégradation de la qualité de l'eau interfèrent avec les utilisations de l'eau vitales et légitimes à différentes échelles, à savoir local, régional ou international (Meybeck et al., 1989). Certains types d'utilisations sont plus susceptibles d'être touchés que d'autres. Les critères de qualité de l'eau, les normes et la législation connexe sont utilisés comme principaux moyens administratifs pour gérer la qualité de l'eau afin d'atteindre les exigences des utilisateurs. De nombreux pays fondent leurs propres normes sur l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour la qualité d'eau potable (OMS 2006).

Dans certains cas, la qualité de l'eau naturelle est insuffisante pour certaines utilisations selon les normes définies par les concentrations recommandées ou indicatives. Cependant, d'autres plans d'eau peuvent encore être parfaitement utilisables pour certaines activités, même après avoir été altérés par la pollution.

En raison de la complexité des facteurs déterminants de la qualité de l'eau, de grandes variations se trouvent entre les rivières ou les lacs sur les différents continents ou dans différentes zones hydro-climatiques. De même, la réponse aux impacts anthropiques est également très variable. En conséquence, il n'y a pas de normes universellement applicables qui peuvent être définies comme références de la qualité biologique des eaux chimiques.

Bien que la majeure partie de toute dégradation de la qualité de l'eau à l'échelle mondiale soit due à des influences anthropiques, il y a des événements naturels et des catastrophes environnementales qui peuvent conduire, localement, à une détérioration grave de l'environnement aquatique (ex : les ouragans, les pluies torrentielles...etc.). Certains événements naturels sont cependant aggravés par les activités humaines, telles que l'érosion du sol associée à des fortes précipitations dans les régions déboisées. La restauration de la qualité de l'eau naturelle prend souvent plusieurs années, en fonction de l'échelle géographique et de l'intensité de l'événement.

1.2.4. Sources de polluants et leurs voies

En général, les polluants peuvent être rejetés dans l'environnement en tant que gaz, substances dissoutes ou sous la forme de particules.

En bout de ligne les polluants atteignent le milieu aquatique par une variété de voies, y compris l'atmosphère et le sol. La pollution peut provenir de sources ponctuelles ou de sources diffuses (sources non ponctuelles). Il n'y a pas de distinction nette entre les deux, car une source diffuse à l'échelle régionale ou même locale peut résulter d'un grand nombre de sources ponctuelles individuelles, telles que l'échappement automobile. Une différence importante entre un point et une source diffuse est qu'une source ponctuelle peut être collectée, traitée ou contrôlée (sources diffuses composées de nombreuses sources ponctuelles peuvent également être contrôlé à condition que toutes les sources ponctuelles soit identifiées).

Les principales sources ponctuelles de pollution pour les eaux douces proviennent de la collecte et l'évacuation des eaux usées domestiques, les déchets industriels ou de certaines activités agricoles, comme l'élevage. La plupart des autres activités agricoles, telles que la pulvérisation de pesticides ou de l'application d'engrais, sont considérés comme des sources diffuses. Les retombées atmosphériques de polluants conduits également à la pollution diffuse de l'environnement aquatique.

L'atmosphère se révèle être l'une des sources les plus répandues de polluants dans l'environnement mondial. Des concentrations importantes de certains contaminants sont même observées dans la neige arctique et antarctique et de glace, avec des niveaux élevés de la bioaccumulation, amplifiée par la chaîne alimentaire pour les mammifères et les populations humaines autochtones. Les sources de matériaux anthropiques dans l'atmosphère comprennent:

- La combustion des combustibles fossiles pour la production d'énergie, les automobiles ainsi que d'autres formes de transport, le chauffage et aussi pour les besoins industriels (ex : fabrication de l'acier),
- La fusion du minerai, principalement des sulfures,

- La volatilisation des engrais et pesticides utilisés en agriculture
- L'élimination des déchets par incinération

Ces sources, ensemble, offrent divers polluants inorganiques et organiques dans l'atmosphère qui sont ensuite largement dispersées par les systèmes météorologiques et déposés à l'échelle mondiale.

Le dépôt de polluants dans l'atmosphère, soit en tant que solutés sous la pluie ou sous forme de particules, se produit uniformément sur une large zone; couvrant les sols, les forêts et les surfaces d'eau, où ils sont entraînés dans les deux cycles [hydrologiques et sédimentaires (érosion, transport et dépôt)].

1.2.4.1. Les sources ponctuelles

Par définition, une source ponctuelle est une entrée de la pollution qui peut être lié à une seule sortie non traitée, ou mal traitée. L'évacuation des eaux usées est probablement la principale source ponctuelle de pollution d'eau dans le monde. D'autres sources ponctuelles importantes existent, tel que les mines et les effluents industriels. Certaines sources ponctuelles sont caractérisées par une décharge relativement constante des substances polluantes dans le temps, comme les égouts domestiques, tandis que d'autres sont des décharges occasionnelles ou variables, comme les fuites et les déversements accidentels.

Une station d'épuration des eaux usées qui sert une population fixe fournit une charge continue de nutriments à un plan d'eau récepteur. Cette source de pollution ponctuelle est diminuée avec l'augmentation du niveau ou débit du milieu récepteur par le phénomène de dilution.

1.2.4.2. Sources diffuses non atmosphériques

Les sources diffuses ne peuvent être attribuées à un seul point ou une seule activité humaine, bien que, comme indiqué ci-dessus, ils peuvent être dus à de nombreuses sources ponctuelles individuelles dans un plan d'eau sur une grande surface comme:

- les eaux de ruissellement agricoles, y compris l'érosion des sols de surface et de drainage du sous-sol. Ces processus transfèrent des particules organiques et inorganiques du sol, des nutriments, des pesticides et des herbicides pour les plans d'eau adjacents.
- le ruissellement urbain dans les rues de la ville et les régions avoisinantes (qui ne sont pas canalisées dans un drain principal ou d'égout). Les contaminants peuvent contenir les dérivés de la combustion de combustibles fossiles, les bactéries, les métaux (en particulier le plomb) et les polluants organiques industriels, en particulier des BPC. Dans les pires circonstances les polluants provenant d'une variété de sources diffuses peuvent être détournés vers des systèmes combinés (réseau d'assainissement unitaire) lors des crues, où ils contribuent alors aux grandes sources ponctuelles.
- Les sites d'élimination des déchets solides qui comprennent des installations d'élimination des déchets municipaux et industriels, l'élimination des déchets liquides (en particulier si l'eau souterraine est touchée), sites d'élimination des sédiments dragués (à la fois clos et ouvert sur le lac). En fonction des tailles relatives des sites d'élimination et des plans d'eau, ces sources de pollution peuvent être considérées soit comme des sources diffuses ou ponctuelles, comme dans le cas de la pollution des eaux souterraines.
- D'autres sources diffuses, y compris les déchets de la navigation, le port et la pollution des sédiments marins, la variabilité des rejets de polluants temporelle dans le milieu aquatique se divise en quatre catégories principales. Les sources peuvent être considérées comme permanents ou continus (ex : les déchets domestiques d'une grande ville et de nombreux déchets industriels), périodiques (ex : la variation saisonnière associée à l'afflux de populations touristiques, ou de déchets de transformation des aliments), occasionnel (ex : certains déchets industriels de presse), ou accidentels (ex : défaillance du réservoir, accidents de camion et d'un train, incendies...etc.). Les effets de ces différents types de polluants sur les plans d'eau sont assez différents. Le rejet continu des eaux usées municipales par exemple, peut être tout à fait acceptable pour une rivière pendant les périodes humides lorsque la dilution est élevée et la biodégradation est

suffisante pour faire face à la charge de la pollution, alors que dans les périodes sèches, les eaux des rejets ne sont pas assez diluées pour diminuer la concentration des polluants.

1.2.4.3. Les variations spatiales et temporelles

La variation spatiale de la qualité de l'eau est l'une des principales caractéristiques des différents types de plans d'eau, et est en grande partie déterminée par les caractéristiques hydrodynamiques de la masse d'eau.

La qualité des eaux varie dans les trois dimensions qui sont ensuite modifiées par la direction d'écoulement, le débit et le temps. Par conséquent, la qualité de l'eau ne peut généralement pas être mesurée dans un seul emplacement dans un plan d'eau, mais un réseau de sites d'échantillonnage.

La variation temporelle de la qualité chimique des masses d'eau peut être décrite par l'étude des concentrations (charges aussi dans le cas des cours d'eau) ou en déterminant les taux tels que les taux de sédimentation, taux de biodégradation. Il est particulièrement important de déterminer la variabilité temporelle. Cinq grands types peuvent être utilisés :

- Variabilité de minute à minute jusqu'à jour au jour résultant de mélange de l'eau, les fluctuations des entrées...etc., principalement liée aux conditions météorologiques et la taille du corps de l'eau (par exemple des variations pendant les crues de la rivière).
- variabilité journalière (24 h) limitée aux cycles biologiques, cycles lumière / obscurité, etc. (ex : O₂, nutriments, PH) et aux cycles des apports de pollution (par exemple des déchets domestiques).
- la variabilité Jours-à-mois principalement en relation avec des facteurs climatiques (régime de rivière, lac...etc.) et à des sources de pollution (ex : les eaux usées industrielles, le ruissellement de terre agricole).
- Les cycles hydrologiques et biologiques saisonniers (principalement en relation avec les facteurs climatiques).

- Année en année les tendances, principalement en raison de l'influence humaine.

Une fois la cause de la dégradation de la qualité de l'eau a été éliminée ou réduite (comme le traitement des sources ponctuelles ou la régulation des sources diffuses), la restauration ou la période de récupération de l'environnement aquatique peut prendre des semaines ou même des millénaires. Les échelles temporelles et spatiales de nombreux problèmes de qualité de l'eau sont associées à un temps de séjour de l'eau. D'autres questions, cependant, ne sont pratiquement pas liées à un temps de séjour de l'eau ou à la taille du corps de l'eau; par exemple, les changements dans l'habitat aquatique en aval des barrages fluviaux durent généralement plus de 100 ans. Du point de vue humain, une période de récupération entre 10 et 100 ans peut être considérée comme une forme limitée de la réversibilité, alors que la reprise en prenant plus de 100 ans peut être considérée comme une dégradation irréversible de l'environnement aquatique.

CHAPITRE 2

Site d'étude

2.1. Introduction

Afin d'étudier les flux de polluant dans un hydro-système, la qualité des eaux d'Oued Boudjemaa a été évaluée en effectuant des campagnes de prélèvements mensuelles pendant douze mois. Les échantillons ont été collectés dans cinq points différents couvrant la zone d'étude. Quatre sous bassins versant ont formé un site expérimental pour notre étude (Boudjemaa, Bouhdid, Sidi Harb et Zafrania). Ces sous bassins versant font partie du grand bassin de Seybouse (l'un des dix-sept bassins versant de l'Algérie).

Dans ce présent chapitre, le cours d'eau Boudjemaa qui a servi comme site d'échantillonnage, est décrit en termes de : situation géographique, climatologique, géologique, topographique, hydrométrique, pluviométrique et enfin l'occupation des sols.

2.2. Caractéristique physique du bassin versant de Oued Boudjemaa

2.2.1. Situation géographique et caractéristique morphométrique

Oued Boudjemaa se situe au niveau de la wilaya d'Annaba (Figure 1), il prend sa source en amont de Khereza, au niveau du centre de oued Nil, l'oued Boudjemaa est d'ailleurs appelé oued Nil dans sa partie amont. Il est encadré au sud par le relief du Djebel Barga Zerga (289 m NGA), massif Blilita-Bouhamra et au nord par le Djebel Bou Kanta (583 m NGA). Des massifs nord sont drainés à travers des oueds ou chaabet, et qui ruissèlent essentiellement suite à des épisodes de pluie (cours d'eau non pérennes). On distingue notamment : oued Mesbah Charf (ou chaabet de Kherraza), oued Defla (Chabbia) et chaabet de la cité du 1 Mai. Sur le versant sud les oueds sont moins marqués (Essarouel)

L'oued Meboudja, affluent de oued Seybouse passant actuellement plus au sud, parcourait autrefois la plaine de Kherreza, oued Meboudja était alors un affluent de oued Boudjemaa. Aujourd'hui on distingue encore l'ancien lit de oued Meboudja. Celui-ci draine la plaine située entre Sidi Amar et El Bouni. La ligne de partage des eaux de oued Boudjemaa et l'actuel oued Meboudja se situe au niveau

de la voie ferrée, l'ouvrage sous celle-ci a été obstrué. Les eaux au nord de la voie ferrée se dirigent désormais vers le bassin versant de Boudjemaa et au sud vers Meboudja.

Le côté amont de oued de Boudjemaa a une morphologie bien particulière, les versants sud nord ont des fortes pentes (de 50% à 20 %) qui aboutissent à une plaine à très faible pente ou se créent des marécages et se déposent les sédiments issus des versants.

Cette vaste plaine dite de kherrazza fonctionne donc comme un grand bassin d'épandage des eaux. Ce fonctionnement est exacerbé par la faible dimension du cours d'eau et le verrou formé par la zone des ateliers à l'aval de la plaine.

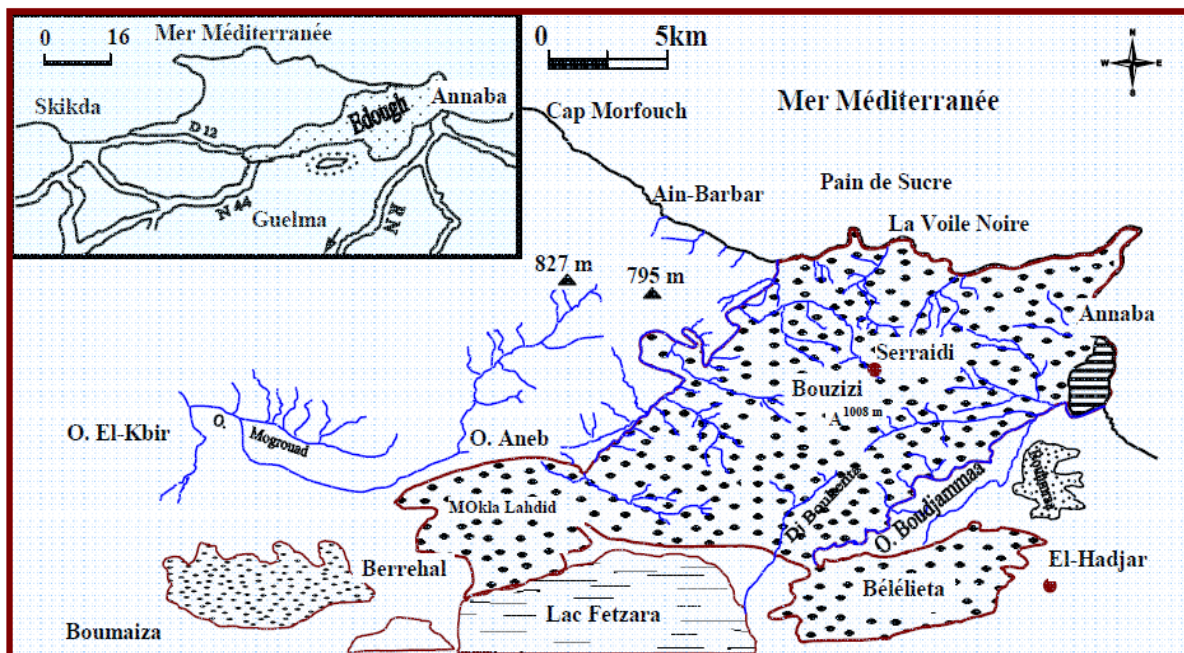


Figure 1. Carte de situation d'Oued Boudjemaa (d'après Hilly, 1962 modifiée in Remita 2008)

A l'aval de la plaine de Kherraza, le sous bassin versant de l'oued fait 6.85 Km² en rive gauche. Sur la zone de Sidi Achour on observe des apports provenant du massif Bougountas (ou Boukanta) mais ceux-ci se perdent actuellement dans des zones marécageuses lors des épisodes de pluie courants. Mais les apports les plus

forts dans cette plaine proviennent d'un affluent en rive gauche : oued Bouhdid. Les caractéristiques physiques des sous bassins versants (surface, dénivelé, longueur du talweg principale, pente) figurent dans le (Tableau 1)

La totalité du bassin versant d'oued Boudjemaa atteint 54 km² (sans l'apport de versant de Bouhdid) avec une longueur de talweg principal atteignant 15 km.

Numéro du BV	Nom du BV	Surface (km ²)	Longueur du talweg principal (km)	Pente (%)
A1	Oued En Nil	12.01	4.07	9.8%
A2	O.Kherrazza	7.16	3.46	14.5%
A3	Chabbia	4.89	3.17	14.2%
A4	1 ^{er} Mai	4.2	2.45	10.2%
A5	Sidi Abdallah	3.22	2.17	8.8%
A6	Essarouel	1.62	1.7	5.3%
A7	Meboudja	5.42	3.78	2.2%
A8	Plaine Kherrazza	8.73	8.04	0.09%
A	Boudjemaa amont	47.25	12.11	3.6%
B1	Sidi Achour	1.72	1.59	1.7%
B2	Ensour	1.91	1.28	1.9%
B3	El Bouni	1.14	1.6	1.1%
B4	Boukhadra	2.08	1.18	2.1%
B	Boudjemaa	6.85	2.95	1.7%

Tableau 1. Caractéristiques physiques des sous bassins versants

2.2.2. Géologie

Le bassin versant d'oued Boudjemaa est compris dans la partie sud du massif cristallin de l'Edough. Ce massif fait partie du domaine externe tellien (ultra tellien)

Le socle des versants est composé de roches métamorphique (gneiss, cipolin...etc.). Les formations de surfaces sont essentiellement constituées de gneiss altérés qui forment des sols d'épaisseur très variable (de la roche mère mise à nue à des épaisseurs de plusieurs mètres)

Au sein de ce massif cristallophyllien (synonyme de métamorphique), des vallées ont été creusées dont celle d'oued Boudjemaa. Le fond de celles-ci est aujourd'hui principalement composé de dépôts alluvionnaires de quaternaire (plaine de Kherraza, plaine de Boukhadra...etc.) à prédominance argileuse. Ces formations argileuses expliquent que les nappes présentes (notamment celle de la plaine de Kherraza) soient captives et difficilement exploitables.

Les sols de la willaya se caractérisent par des diverses formations géologiques d'origine sédimentaire, métamorphique et éruptive attribuées au primaire, tertiaire et quaternaire. Il faut noter que le système aquifère d'Annaba se situe dans un bassin d'effondrement d'âge quaternaire et fait apparaître trois types de réservoirs (Boutemeur 2011):

- La nappe superficielle
- La nappe des sables du cordon dunaire.
- La nappe des cipolins.

2.2.3. Occupation des sols

Les versants montagneux de oued Boudjemaa et de oued Bouhdid (son principal affluent) sont très peu urbanisés car ils sont relativement pentus, on y trouve donc principalement qu'un couvert végétal. Bien que la zone soit de type bioclimatique subhumide, la végétation présente est essentiellement constituée de maquis plus ou moins denses et de rares forêts d'eucalyptus. Ceci s'explique principalement par l'action de l'homme (incendies, défrichements, surpâturages...etc.).

La plaine de Kherraza de par son caractère marécageux (et inondable) est également très peu urbanisée. L'urbanisation au niveau de la plaine amont a donc lieu essentiellement en piémont des versants, on trouve : Hai Oued Nil, Kherrazza, Hai Sarouel, Chabbia et Cité 1^{er} mai. Les seules urbanisations sont une zone industrielle (le long de l'ancien lit de l'oued Meboudja) et la zone dite des ateliers (à l'aval de la plaine de Kherrazza) ainsi que quelques habitats isolés.

Plus en aval, dans la plaine dite de Boukhradra. On retrouve également une plaine marécageuse qui marque "l'entrée ouest" d'Annaba. On rencontre néanmoins une zone de lotissement très peuplée dite la Cité des 312 logements en bordure immédiate de l'oued.

Les versants sur la zone aval sont par contre beaucoup plus peuplés (en cours de forte urbanisation, notamment du côté d'El Bouni). De même l'aval du bassin versant de l'oued Bouhdid est en milieu urbain.

A l'aval de la plaine de Boukhradra, dominée par la colline de la basilique Saint Augustin, l'occupation des sols se décompose ainsi :

- des terrains en friches principalement sous la colline de la basilique et des terrains marécageux
- un réseau routier et ferroviaire dense
- importantes zones industrielles (avec notamment la société ASMIDAL)
- des zones d'habitation dont la cité Seybouse

De manière globale, le bassin versant est occupé majoritairement par des zones naturelles (52%) et agricoles (33%). La part urbaine ne représente que 14% (centre urbain et zone pavillonnaire).

La partie amont d'oued Boudjemaa est faiblement urbanisée alors que la partie aval est au contraire fortement urbanisée. Sur la partie amont les espaces naturels et les terrains agricoles représentent 86 % de la superficie totale de la zone alors que les espaces fortement anthropisés (centre urbain et zone pavillonnaire) en occupent 12 %. A l'opposé sur la partie aval de l'oued, les espaces naturels et agricoles représentent 63 % des surfaces et les espaces fortement anthropisés comptabilisent 37 %. Alors que le sous bassin de la plaine de Kherraza totalise 95 % d'espaces agricoles et naturels, le reste étant occupé par les voies de communications. Le sous bassin de Boukhradra quant à lui totalise 57 % des espaces fortement urbanisés. Le tableau 2 présente la synthèse de l'occupation des sols avec pour chaque bassin versant ainsi que le pourcentage occupé par chaque classe.

Répartition de l'occupation des sols								
	N° du BV	Nom du BV	Superficie des sous bassins (km ²)	Centre urbain	Zone pavillonnaire	Habitats dispersés	Terrain agricole	Espace naturel
Boudjemaa amont	A1	Oued En Nil	12.01	2%	3%	1%	20%	76%
	A2	O.Kherrazza	7.16	5%	10%	1%	19%	65%
	A3	Chabbia	4.89	12%	2%	2%	29%	57%
	A4	1er mai	4.2	1%	5%	3%	20%	74%
	A5	Sidi Abdallah	3.22	1%	6%	2%	15%	77%
	A6	Essarouel	1.62	24%	5%	4%	38%	30%
	A7	Meboudja	5.42	17%	6%	2%	32%	44%
	A8	Plaine Kherrazza	8.73	5%	0%	0%	92%	3%
Boudjemaa Aval	B1	Sidi Achour	1.72	16%	5%	5%	0%	79%
	B2	Ensour	1.91	36%	0%	0%	29%	35%
	B3	El bouni	1.14	17%	17%	17%	10%	56%
	B4	Boukhadra	2.08	56%	1%	1%	15%	28%

Tableau 2. Synthèse de l'occupation des sols

La population de la ville d'Annaba a été évaluée à partir des données de recensement de la population par l'ONS (office national de statistique) en 2008 a été doté de 609499 habitants (Tableau 3). Population résidente des ménages ordinaires et collectifs (MOC) selon la commune de résidence et le sexe et le taux d'accroissement annuel moyen (1998-2008) :

Communes	Masculin	Féminin	Total	Taux d'accroissement
Annaba	127308	130051	257359	0.4
Berrahal	11511	11120	22631	2
El Hadjar	18650	18714	37364	1
Eulma	5276	5040	10316	1.7
El Bouni	62964	62301	125265	1.2
Oued El Aneb	10731	10357	21088	2
Cheurfa	5031	4845	9875	0.5
Seraidi	3820	3806	7626	0.6
Ain Berda	10378	10233	20611	1.7
Chetaibi	4009	4026	8035	0.6
Sidi Amer	42254	41000	83254	1.4
Treat	3099	2977	6076	1.8
Total	305030	304469	609499	0.9

Tableau 3. Synthèse de nombre d'habitant par commune.

2.3. Climatologie

Les zones bioclimatiques sont parfois définies en différents classes : aride, subaride, semi-aride, subhumide, humide. Cette classification se base sur la pluviométrie et la température. La région d'Annaba est qualifiée comme zone humide/ subhumide (Figure 2).

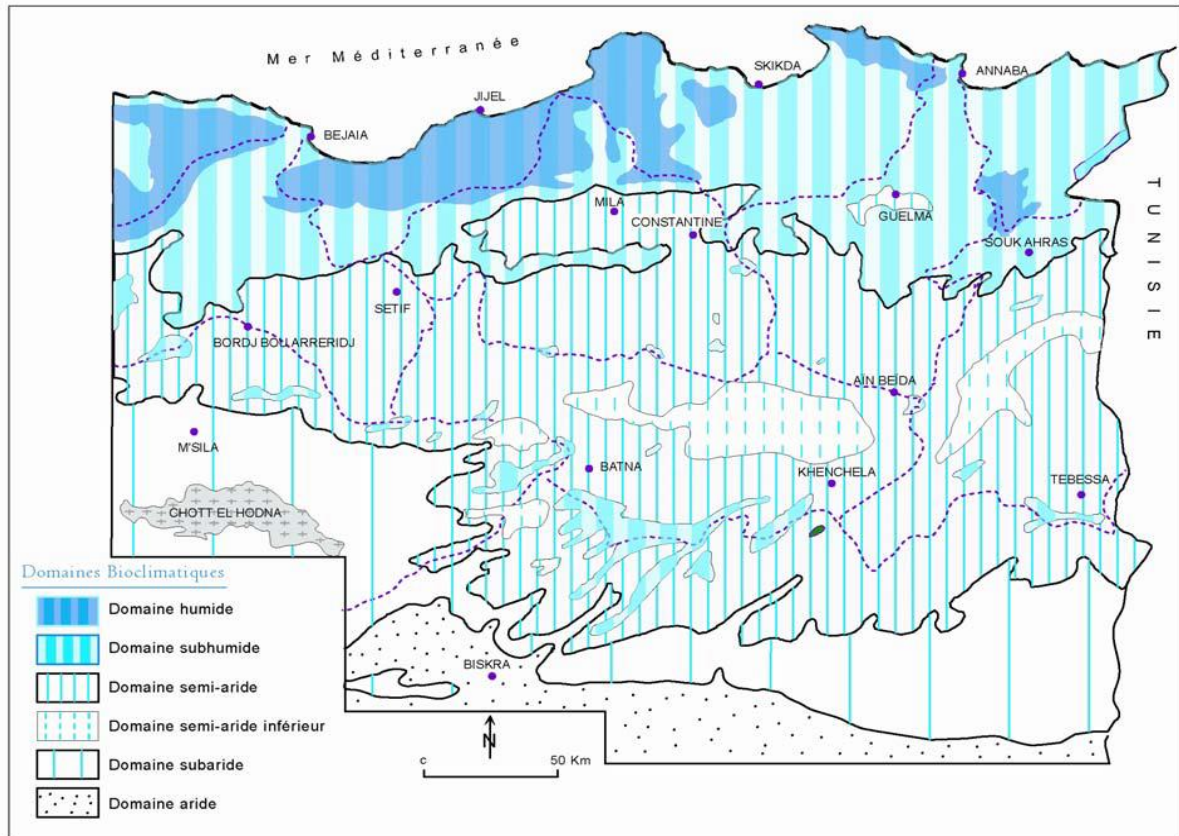


Figure 2. Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (établie d'après Côte M., 1998a (in Mébarki A, 2005))

Ces zones peuvent définir notamment le type de végétation que l'on peut rencontrer (Figure 3) mais qui dépend également de la nature des sols et de l'action atrophique,

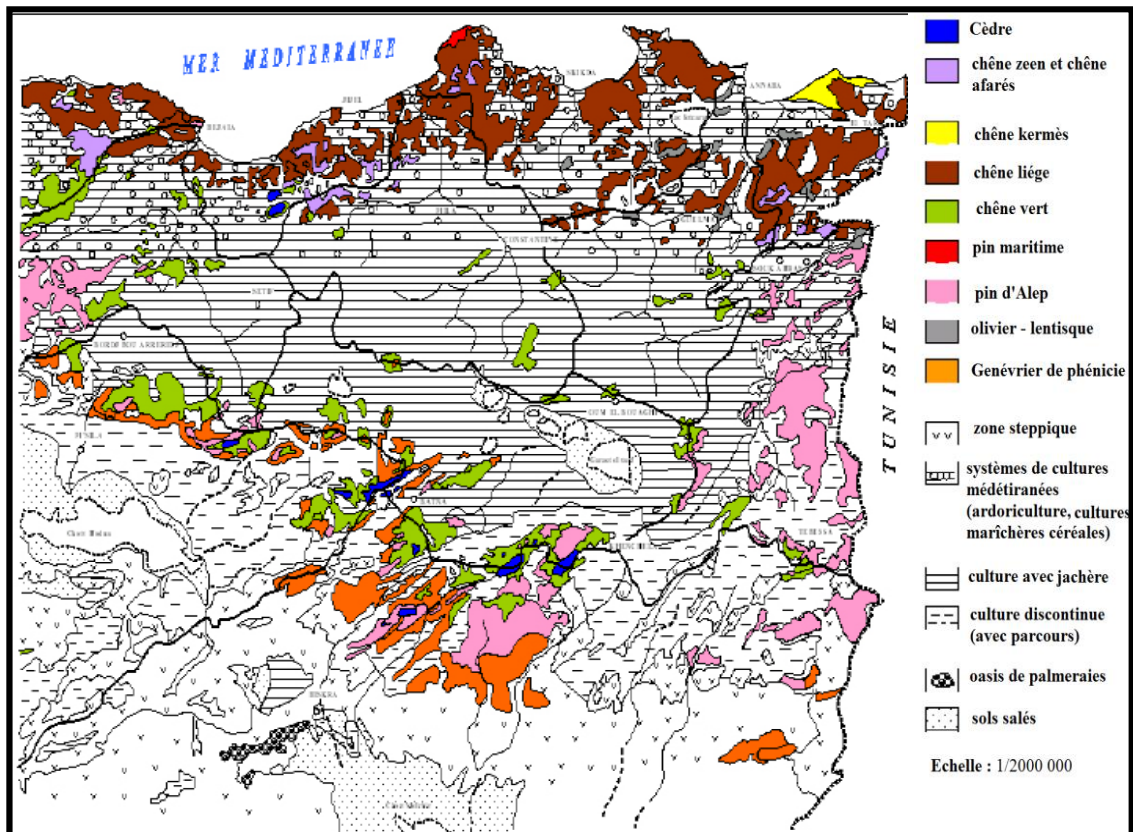


Figure 3. Couverture végétale de l'Est algérien (d'après carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis-Sfax et Alger, complétées. In Mébarki, 2005).

La région est la plus arrosée d'Algérie et notamment sur la côte. La carte suivante (Figure 4) donne un aperçu de la pluviométrie sur l'Est Algérien. La pluviométrie sur Annaba est de l'ordre de 700 mm par an (et un peu plus sur les reliefs du Bou Kounta à l'ouest d'Annaba). La région la plus pluvieuse de l'est se situant entre Bejaia et Skikda.

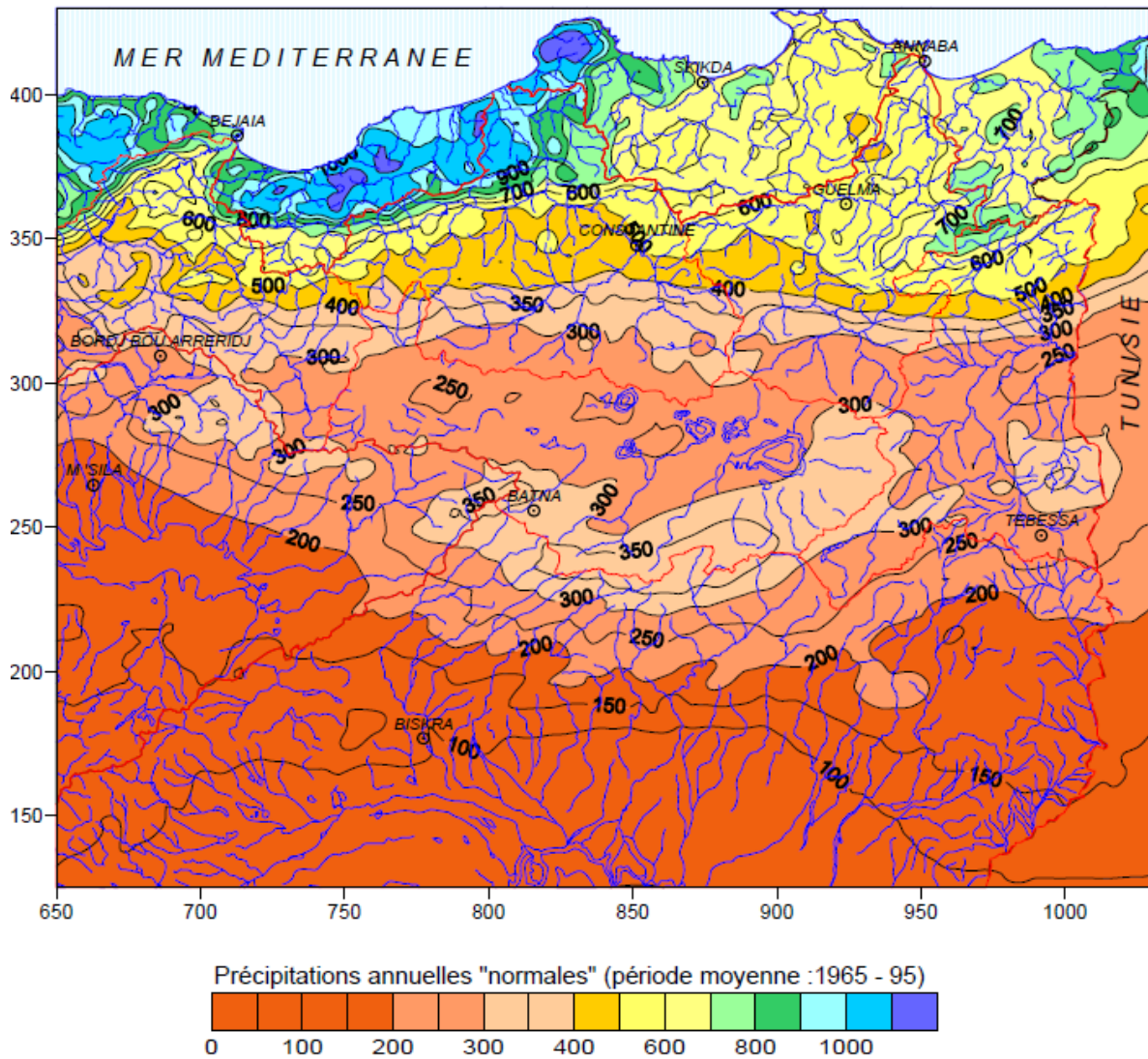


Figure 4. Précipitations moyennes annuelles sur la période 1965-1995 (source thèse Mebarki, Données ANRH)

Au niveau des pluies extrêmes, il semble par contre que les reliefs entourant Annaba soient parmi les plus confrontés à des précipitations intenses (au même titre que toute la côte Algérienne).

2.3.1. Hydrométrie

Il n'existe malheureusement aucune station hydrométrique sur le bassin versant d'oued Boudjema. La station la plus proche est celle établie sur oued Seybouse mais qui est un oued beaucoup plus important (presque 6000 km² de surface drainée). La station la plus proche contrôlant un bassin de taille plus

modeste est celle de Ain Barda sur oued Rassoul (affluent rive gauche de l'oued Seybouse). Cette station a un bassin versant de 103 km².

La pluviométrie aux environs d'Ain Berda est plus faible que sur oued Boudjemaa, le bassin versant est un peu plus grand et la géologie des sols est légèrement différente.

2.3.2. Pluviométrie

Il existe un nombre important de postes pluviométriques dans la région d'Annaba (Figure 4), y compris sur les reliefs avec le poste de Seraidi. Le tableau 4 dresse la liste des postes de la région.

Nom station	Identifiant station	Pluviomètre (p)/ pluviographe (g)	X	Y	Z	Période observation
Nechmeya	14-06-05	P	930.3	378.4	265	1954-1981
Ain Berda	14-06-06	P +g	93.6	387.8	130	1946-2001
Bou Khamouza	14-06-07	P	951.7	376.4	40	1968-1988
Chihani-drean-barral	14-06-08	P	954.9	383.7	61	1913-1987
El karma	14-06-09	P	9448	395.5		1967-1987
Kef Mourad	14-06-11	P	953.8	389.5		1967-1988
Ben areou	14-06-12	P	953	400.6		1967-1979
El Hadjar	14.06-14	P	950	401	12	1967-1989
Sebaa R'goud	14.06-23	P	936	377.2		1970-1974
Gharbi Aissa	14-06-24	P	953.4	405.6	2	5
Pont Bouchet	14-06-31	P+ g	950.1	402.8	3	1925-2001
Seraidi	06-14-02	P				
Berrahal	06-13-02	P				
Annaba-salines		P+g				
Asfour	03-15-02					1968-.1988

Tableau 4. Liste des postes de la région d'étude

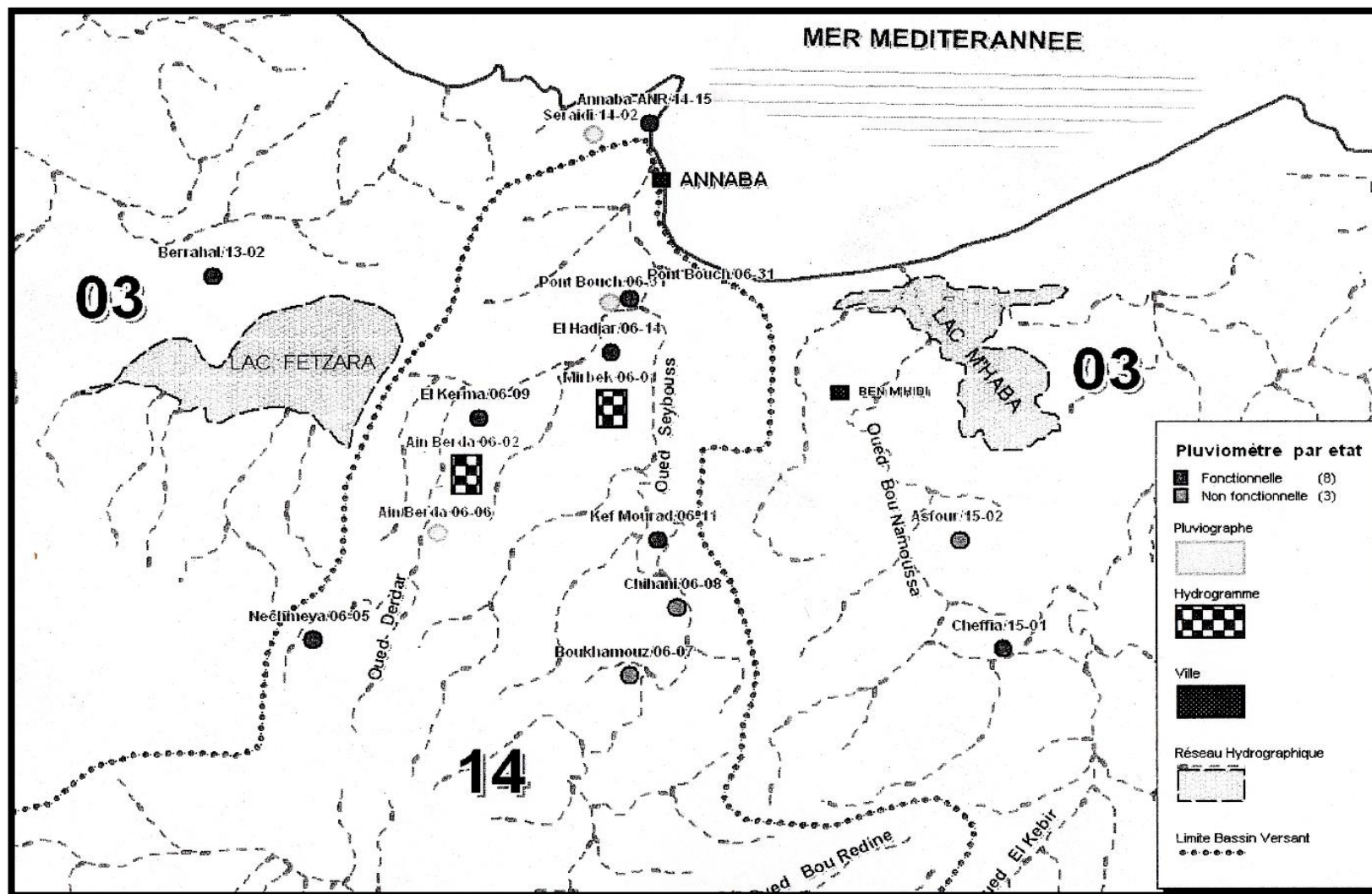


Figure 5. Emplacement des postes pluviométriques et pluviographes (source étude de BG suisse)

CHAPITRE 3

Prélèvements, analyses physicochimique et analyses des résultats.

3.1. Introduction

L'évaluation de la qualité des eaux d'Oued Boudjema a nécessité la réalisation de plusieurs campagnes de prélèvement (douze campagnes de prélèvement à partir de avril 2013 jusqu'à mars 2014). Le choix des points d'échantillonnages a été basé sur des conditions géographiques et des activités développées dans les zones avoisinant les sites de prélèvement, ainsi que la facilité d'accès et d'échantillonnages. Les eaux prélevées ont fait l'objet de plusieurs analyses in situ et au niveau du laboratoire.

Dans ce présent chapitre, on décrit les principes de base pour les techniques de prélèvement, ainsi que les analyses physicochimique de l'eau et leurs résultats.

3.2. Le prélèvement

La sélection des points de prélèvement repose sur un recensement des sources de pollution sur le bassin versant et sur une évaluation de leur incidence, cela nécessite une phase préliminaire d'analyses bibliographiques et d'enquêtes, ensuite une reconnaissance de terrain permettra de juger :

- l'adéquation de la station par rapport aux objectifs de l'étude
- sa représentativité par rapport au tronçon de cours d'eau concerné
- des bonnes conditions de mélange des rejets amont
- des facilités d'accès et de prélèvement

3.2.1. Station de prélèvement

La station de la qualité des eaux est un volume de la rivière sur lequel des prélèvements et des mesures sont effectuées, la station englobe toute la largeur et la longueur de la rivière. Chaque station se caractérise par une localisation administrative et géographique, un positionnement sur un tronçon précis de la rivière.

Les sites de mesure sont des sous volumes représentatifs de la station où sont effectués des prélèvements, la station peut contenir plusieurs sites de mesure répartis sur la largeur et sur la profondeur ou la longueur.

Le choix de la station de prélèvement se base sur des conditions naturelles (géomorphologie et hydrologie) ou et anthropiques (perturbations de la composition de l'eau par l'action de l'homme) ainsi que selon les éléments étudiés et les conditions pratiques tel que la facilité d'accès et d'échantillonnage. Les sites de prélèvement peuvent changer de localisation pour prendre en considération la variabilité de milieu ou de phénomène étudié

Les stations de référence sont situées en haut du bassin versant où l'influence des activités humaines est très limitée ou introuvable un autre type de station c'est les stations d'évaluations sont situées au niveau du bassin versant par rapport à un rejet, les stations de bilan se trouvent en général au niveau de l'exutoire du bassin versant pour le border.

Pour apprécier l'impact maximal la recherche de la distance optimale s'impose, il faut prendre en considération la nature de la pollution (dissous ou particulaire) le sens d'écoulement, et aussi le débit, par contre le choix d'une grande distance pour effectuer les prélèvements impliquera que les résultats vont être influencés par des phénomènes naturels qui sert à diminuer les concentrations des polluants, pour la crainte de la portée spatiale le mieux c'est de prendre plusieurs points des stations plus proches des rejets et s'éloigner en prenant d'autres points plus en aval.

Dans le site de prélèvement la répartition dans la masse d'eau doit être homogène c'est ce n'est pas le cas trois possibilités s'ouvrent, le 1^{ere} c'est de prendre deux échantillons de chaque site et les analyser séparément, le 2^{eme} c'est de prendre la moyenne de plusieurs échantillons et les analyser ensemble.

Les prélèvements à pas réguliers peuvent ne pas prendre en considération tous les phénomènes donc il est préférable de changer de temps en temps le jour la semaine ou le mois de la tournée, même le sens de prélèvement de l'amont vers l'aval ou le contraire.

3.2.2. Techniques de prélèvement

Des étapes doivent être respectées pour le prélèvement des échantillons et qui sont :

- Rincer trois fois la bouteille et le bouchon avec l'eau prélevée (jamais de la surface)
- Egoutter la bouteille le col vers le bas

- Plonger la bouteille dans l'eau le col vers le bas
- Mettre la bouteille inclinée avec un angle de 45° le col vers le haut face au courant
- Remplir la bouteille lentement sans barbotage
- Quand la bouteille est pleine faire bouger la bouteille dans tous les sens pour éliminer toutes les bulles en contact avec les parois
- Fermer la bouteille en faisant attention à ne pas prisonnier des bulles d'air

Pour les prélèvements où on utilise des seaux il faut s'assurer de rincer la corde et le seau trois fois par l'eau de rivière, il faut aussi s'assurer que la hauteur d'eau est suffisante ne jamais toucher le fond, et il faut homogénéiser l'eau prélever avant de remplir les flacons déjà rincer.

3.2.3. Réalisation des prélèvements

Le travail a consisté à effectuer des prélèvements, dans Cinq points couvrant la zone d'étude (Bouhdid, Sidi Harb, canal de ceinture, Kef N'sour et Boudjema) (Figure 5, Tableau 5), chaque point d'échantillonnage représente son bassin versant en ce qui concerne la qualité de l'eau. Douze campagnes de prélèvement ont été réalisées à partir du avril 2013 jusqu'au mars 2014 avec un pas de temps mensuel.

Station d'échantillonnage	coordonnées	superficie du bassin versant (Km ²)
P1 : Bouhdid	36° 53' 18" N et 7° 42' 40" E	17,90
P2 : Sidi Harb	36° 53' 45" N et 7° 43' 21" E	7,49
P3 : Canal de Ceinture	36° 53' 25" N et 7° 43' 40" E	7,76
P4 : canal Kef N'sour	36° 53' 17" N et 7° 43' 41" E	35,36
P5 : Oued Boudjema	36° 52' 30" N et 7° 45' 04" E	56,64

Tableau 5. Les coordonnées des points de prélèvements et les surfaces de leurs bassins versants

Des photos des sites de prélèvement ont été réalisées pour chaque campagne de prélèvement (voir annexe 1)

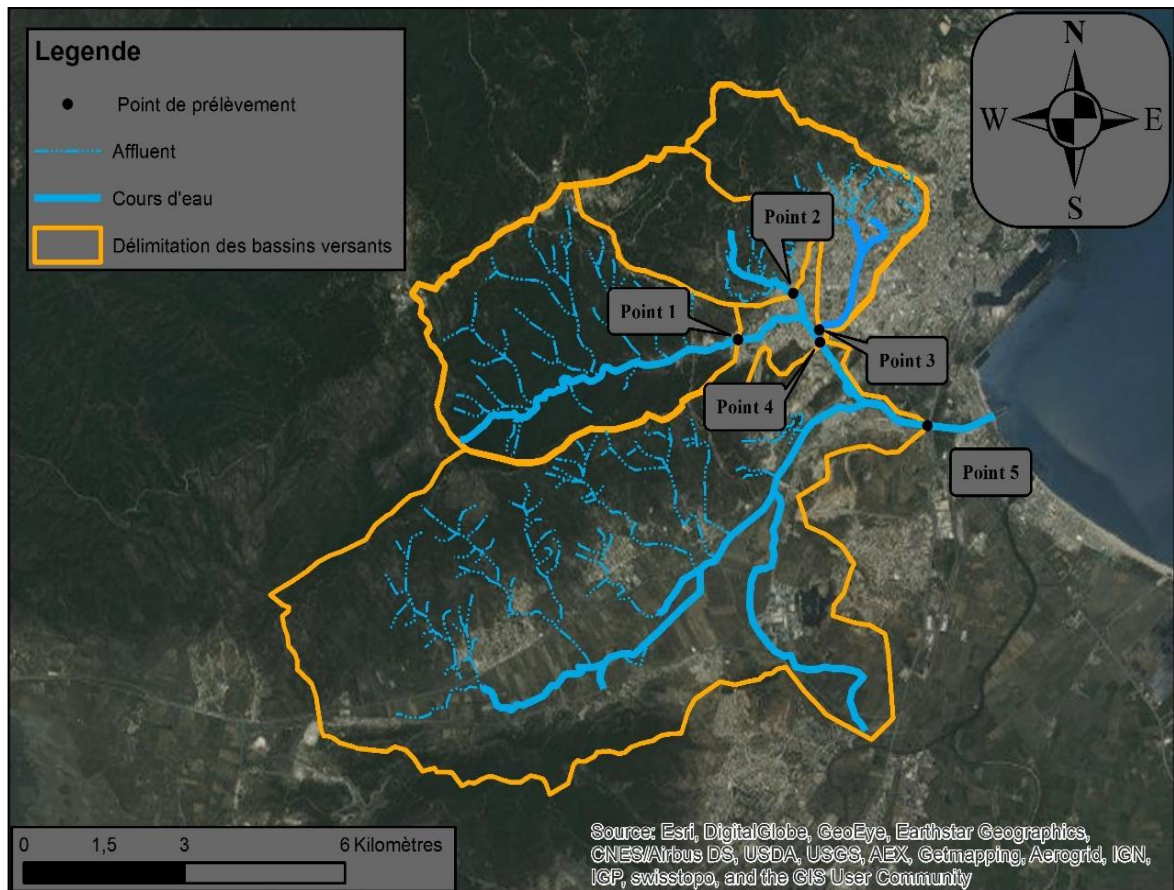


Figure 6. Les points d'échantillonnage de la zone d'étude avec leur délimitation des bassins versants

3.3. Analyses physicochimique de l'eau

3.3.1. Les mesures in situ

Les mesures réalisées sur le terrain (in situ) sont réservées aux éléments très sensibles au changement du milieu ambiant tel que : la température, l'oxygène dissous, la conductivité, le PH,.....etc. Les mesures doivent être effectuées juste après le prélèvement de l'eau pour qu'elle soit représentative.

Tout instrument avant d'être utilisé doit passer par le calibrage et l'étalonnage au laboratoire.

3.3.1.1. Température

La mesure de la température sur site est impérative, pour plusieurs raisons, vu qu'elle change facilement surtout c'est l'écart avec la température de l'air est grand, et l'heure du transport on utilise des instruments pour baisser la température ;

la température et relier a plusieurs d'autre paramètres la saturation en oxygène dissous, la dissociation gazeuse de l'azote ammoniacal NH_4^+ en ammoniac toxique NH_3 (en plus de la température ce phénomène dépend du PH) , et d'autres phénomènes et cycles biologiques

La température de l'air se mesure avec un thermomètre dans l'ombre face au vent (prendre deux mesures successives et calculer la moyenne, la différence doit être inférieur à 0.2 °C)

La pression atmosphérique entre dans la solubilité d'oxygène dans l'eau, on peut même calculer la valeur théorique d'oxygène dissous, la mesure se fait à l'aide d'un baromètre

3.3.1.2. Oxygène dissous

La mesure d'oxygène dissous sur site est impérative, elle dépend de la température, et elle conditionne la vie de la faune aquatique, cette mesure peut être effectué par deux méthodes, électrochimique à la sonde (NF EN 25814 mars 1993) est utilisé pour les tous types d'eau mais une correction s'impose c'est on est face à une mesure dans une riche en sel la salinité peut influencer la lecture, dans tous les cas la lecture doit être faite après la stabilisation de la température , chimique « Winkler » (NF EN 25813 mars 1993).

3.3.1.3. Conductivité

La conductivité de l'eau représente la charge de l'eau en sel ionisé, elle peut indiquer une forte pollution due à des éléments qu'on ne pourra pas les mesuré par d'autre méthodes, la conductivité est l'inverse de la résistivité, d'où la définition de cette dernière comme étant le quotient de champ électrique par la densité de courant quand il n'y a pas de force électromotrice dans le conducteur , la mesure de la conductivité est en réalité une mesure de la conductance électrique, elle est généralement exprimer en siemens par centimètre ou micro-siemens par centimètre, la mesure doit être effectuer in situ car elle varie en fonction de la température (la température de référence est 25°C), comme l'assimilation ou les réglages d'éléments dans l'échantillon peuvent engendrer des variation de la valeurs

3.3.1.4. Potentiel d'hydrogène

Le pH définit le caractère de l'eau si il est acide ou base à l'aide de la concentration des ions d'hydrogène H^+ , il conditionne plusieurs phénomènes ou processus chimique tel que la dissociation ammoniacal de l'azote, et plusieurs phénomènes biologiques plus particulièrement la photosynthèse. La mesure doit être effectuée in situ pour éviter tout changement de la composition ionique due au transport ou stockage.

3.3.1.5. Débit

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer le débit, la méthode volumétrique consiste à mesurer le temps nécessaire pour remplir un certain volume d'eau, la méthode chimique se base sur la mesure de la concentration d'un produit chimique après une certaine distance de l'injection d'où la concentration initial est connu, la méthode de l'exploration de champ de vitesse, elle consiste à mesurer ou calculer la vitesse dans plusieurs point des petites sections sur une section d'écoulement droite, le débit total sera la somme des produits VS , la méthode « acoustic doppler current profiler » (ADCP), elle consiste à mesurer la diffusion d'onde acoustique à haute fréquence, les méthodes hydrauliques se basent sur la régissant d'écoulement.

3.3.2. Réalisation des mesures in situ

Une mallette multi paramètres a été utilisée pour mesuré in situ le PH, l'oxygène dissous, la conductivité, TDS et la salinité. La turbidité a été mesurée en utilisant un turbidimètre. Le débit a été déterminé en utilisant la méthode des corps flottants, après avoir mesuré la largeur et la hauteur d'eau la section a été extraite pour chaque point de prélèvement, un objet flottant a été jeté et le temps met par ce dernier a traversé une distance de 10m a été mesuré à l'aide d'un chronomètre, afin de pouvoir calculer la vitesse d'eau, et à partir de la vitesse et la section le débit a été calculé.

3.3.3. Préservation des échantillons

Les eaux prélever surtout les eaux résiduaire riche en matières dissoutes subis rapidement des changements physique et physicochimique et biologique avant d'être analysé, donc dans l'objectif de les conserver plusieurs étapes doivent être envisagée, assurer un endroit obscurs et avec une température adéquate. La préparation consiste soit à acidifier $ph < 2$ ou à alcaliniser $ph > 11$ l'échantillon selon les éléments étudiés, à effectuer une filtration ou une préfiltration, en ce qui concerne le flaconnage, le choix de type de la matière de la couleur et de la capacité dépend des éléments à analyser, mais dans tous les cas il faut s'assurer que le flacon est propre par le rincer avec l'eau de la rivière plusieurs fois, généralement le flacon doit être complètement remplie et fermer en évitant les boule d'air ou l'échappement de gaz dissout. Chaque échantillon doit avoir une étiquette avec plusieurs information le lieu de prélèvement, l'heure et la date, les conditions de prélèvement ...etc. ou tout simplement un code ou un numéro, pour la conservation la solution est la température base par la réfrigération dans une température de $5^{\circ}C \pm 3^{\circ}C$ et de ne pas dépasser 24h pour les transportés au laboratoire. L'heure du transport pour éviter tout accident il est préférable d'utiliser une caisse d'emballage construite avec des matières protectrice au moins le couvercle, et d'assembler les échantillons de la même station dans la même caisse.

3.3.4. Les éléments analysés au laboratoire

Au laboratoire les éléments mesurés en utilisant la photométrie à l'aide d'un colorimètre (DR 890) sont : la dureté, DCO, COT, CIT, K, TNB, Al^{+3} , Cu^{+2} , Mg^{+2} , Zn, Ca^{+2} , acide organique ou acide acétique OA CH_3COOH , acide butyrique BA C_3H_7COOH . Et les éléments mesurés par la méthode colorimétrique à l'aide d'un spectrophotomètre (DR 2800, DR 3900) sont : NO_3 , NO_2 , NO_2-N , NH_3-N , NH_4^+ , NH_3^+ , P_2O_5 , PO_4 , P, Cr $+6$, CR, Mn^{+2} , Sulphates, Fe^{+2} . La DBO5 a été mesuré par différence de pression dans un système fermé.

Pour déterminer les matières en suspension 100 ml de l'échantillon ont été filtrées par des filtres micro-verres (diamètre 47 mm) déjà pesé ; après que la filtration soit achevée, le filtre est asséché à $105^{\circ}C$ pendant 6 heures (ou $50^{\circ}C$

pendant 24H) et repesé, le poids des matières en suspension est déterminé à partir de la différence des poids:

$$MES (g) = (P_2 - P_1) \times \frac{100}{1000}$$

La mesure de ces éléments (cyanures (CN) mg/l, peroxid 25 H2O2 mg/l, chlorure (CL-) mg/l, chromate cr-24 mg/l, la capacité de l'acide Ks4 3 mmol/l, sulfite mg/l a) été arrêté pour l'une des raisons cité ci-dessous :

- des éléments trouvés en traces dans les échantillons pendant une ou deux campagnes de prélèvement.
- Les réactifs ont été consommés.
- Des formes chimiques différentes proposées par l'instrument de mesure utilisé.

3.4. Résultats des analyses physicochimiques de l'eau

Les résultats de l'ensemble des mesures effectuées in situ et au laboratoire sont représentées sous forme de graphe.

NB : La normalisation a été effectuée sur l'ensemble des données afin d'éviter l'incompatibilité des unités de mesures entre les variables.

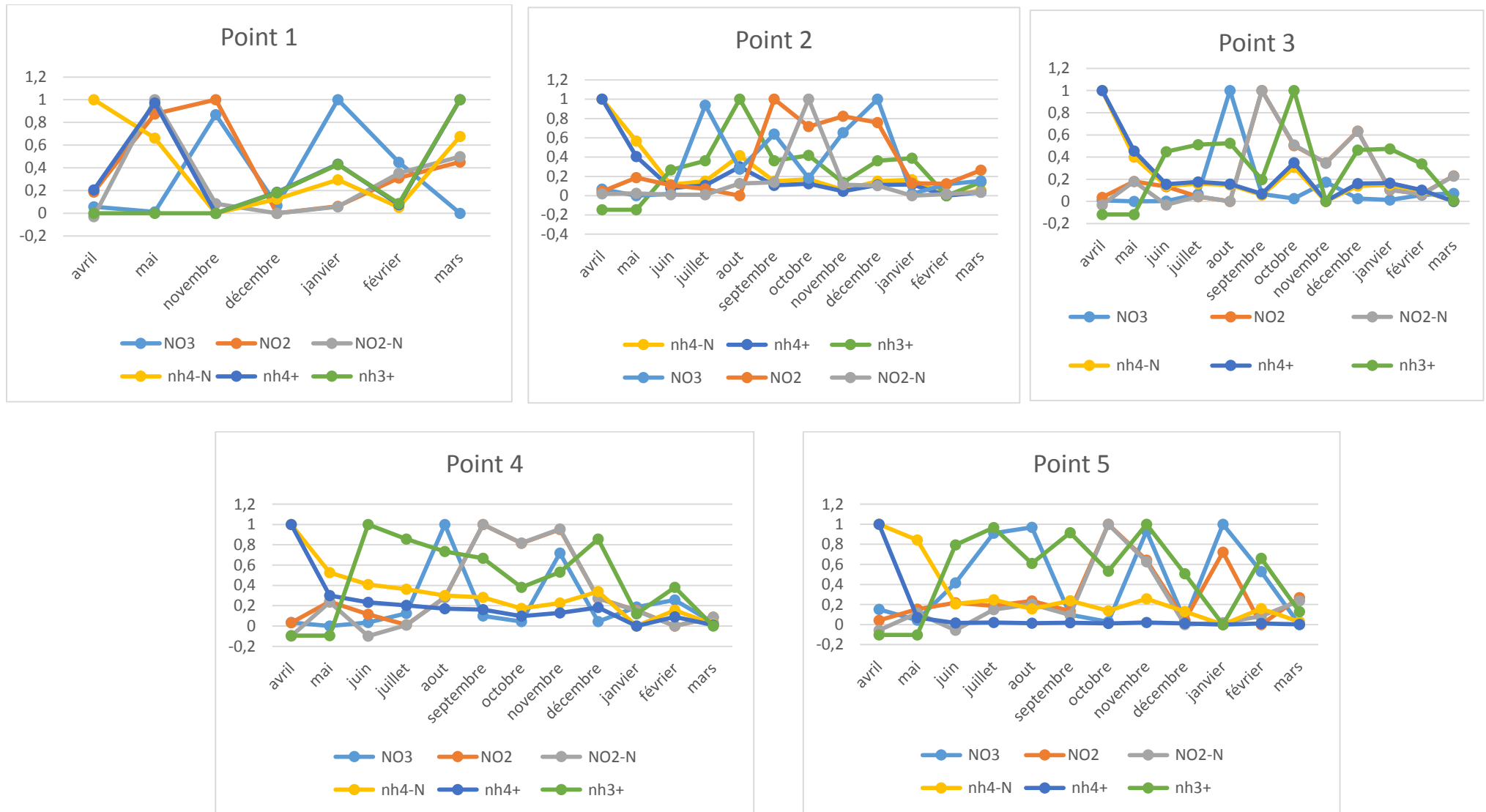


Figure 7. Variation temporelle de nitrate, nitrite et ammonium dans les cinq points de prélèvement

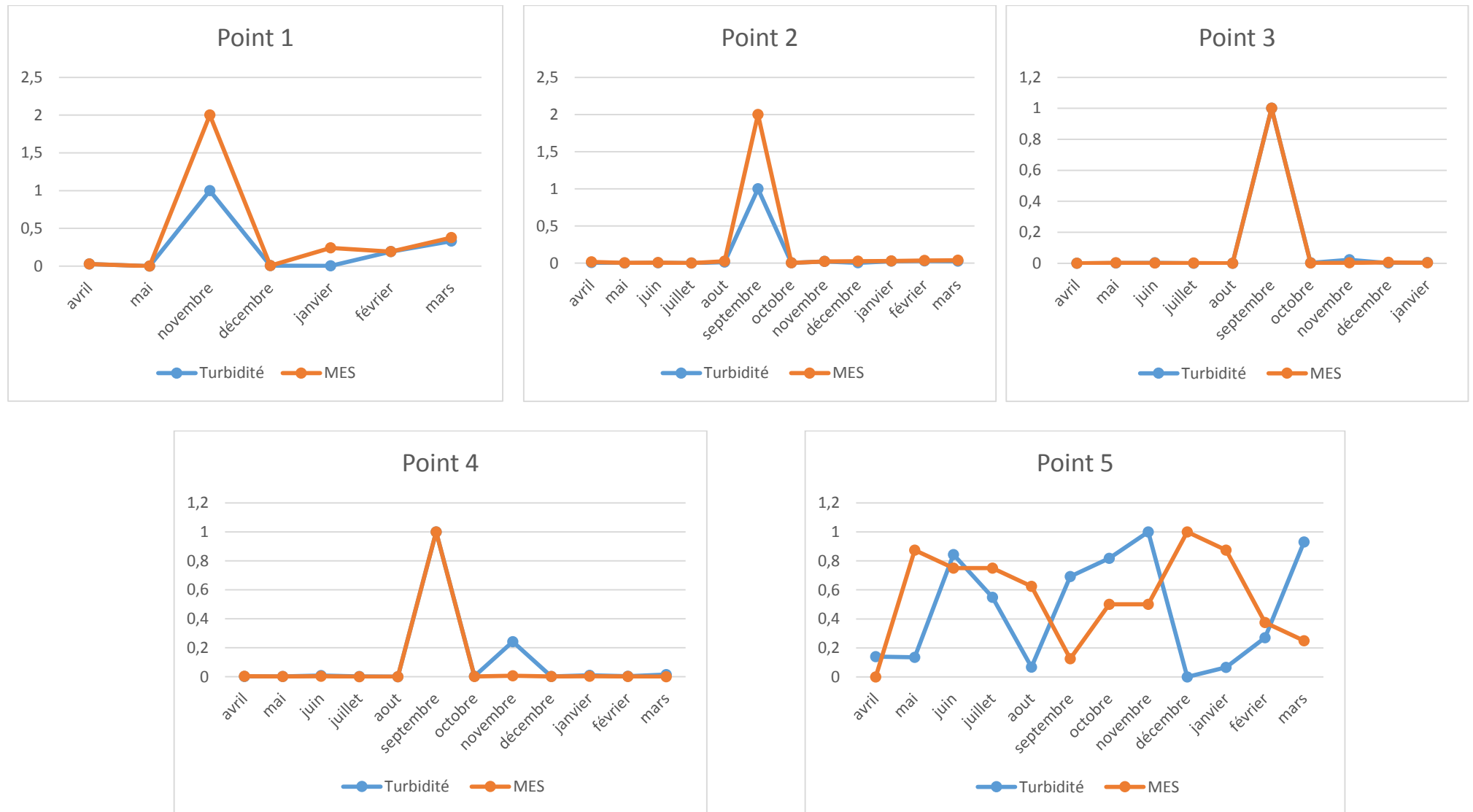


Figure 8. Variation temporelle de la turbidité et des matières en suspension dans les cinq points de prélèvement

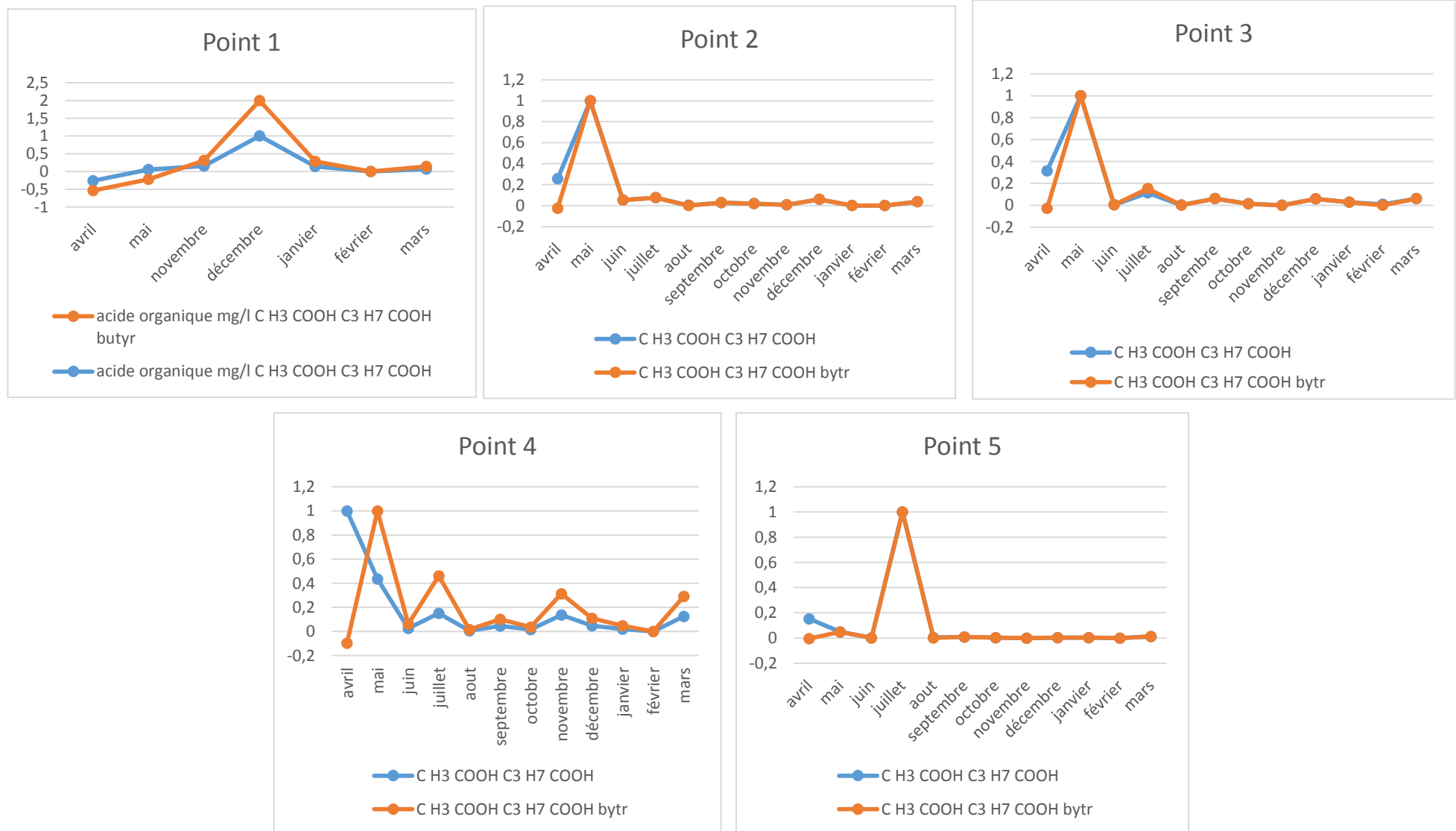


Figure 9. Variation temporelle de l'acide organique et l'acide butyrique dans les cinq points de prélèvement

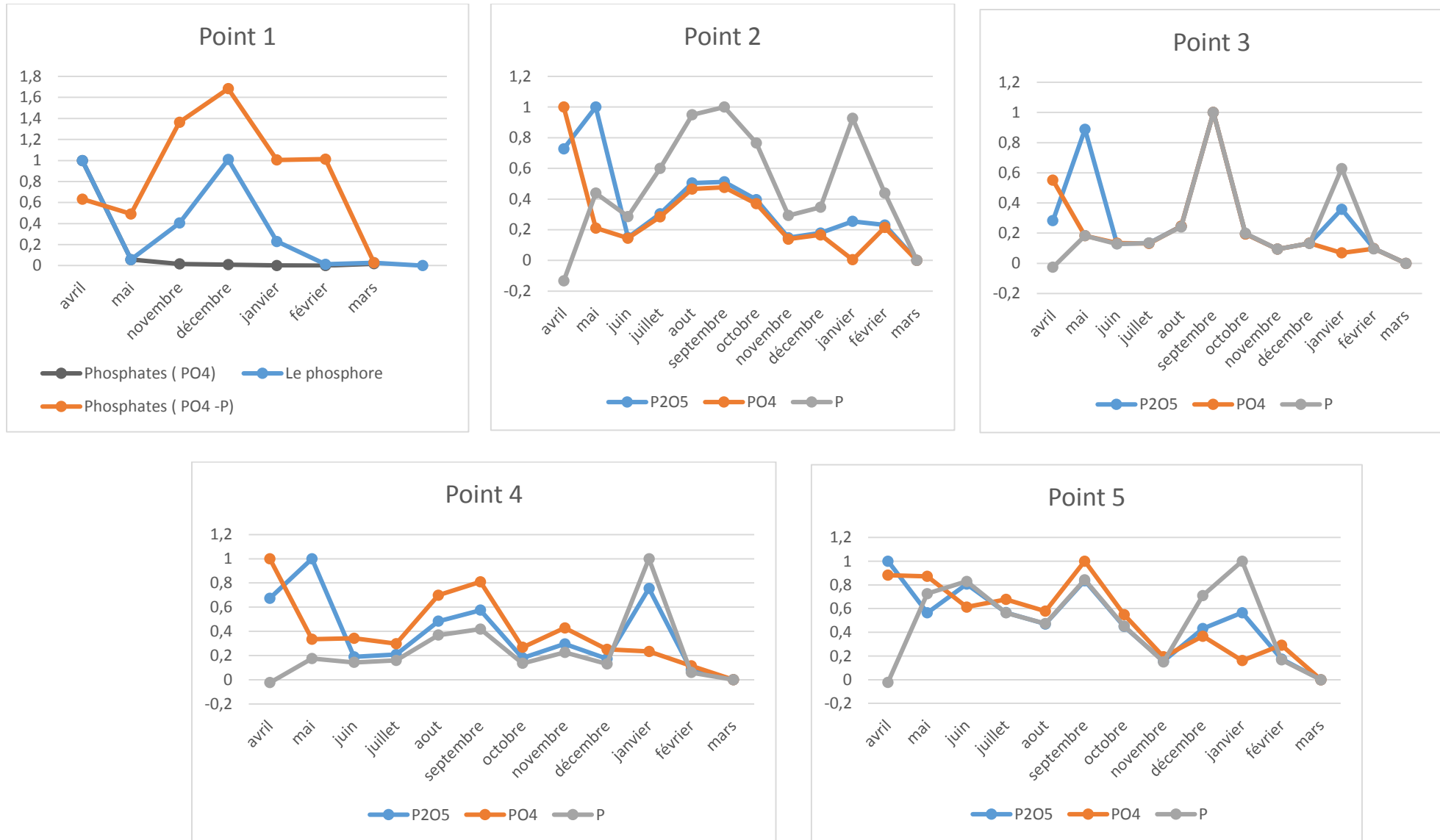


Figure 10. Variation temporelle de phosphates et phosphore dans les cinq points de prélèvement

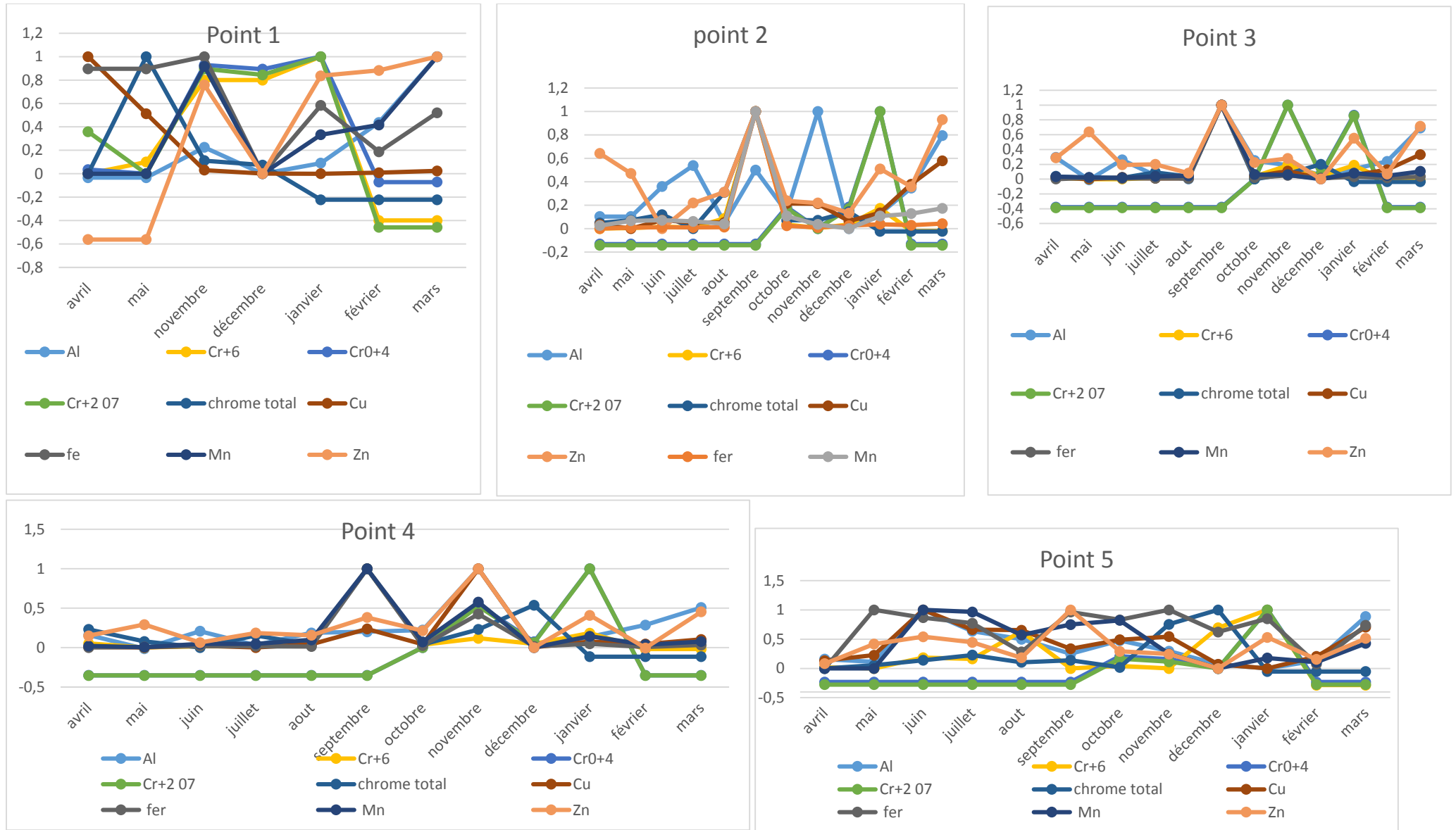


Figure 11. Variation temporelle des métaux lourds dans les cinq points de prélèvement



Figure 12. Variation temporelle de la dureté, calcium et magnésium nitrate, nitrite et ammonium dans les cinq points de prélèvement

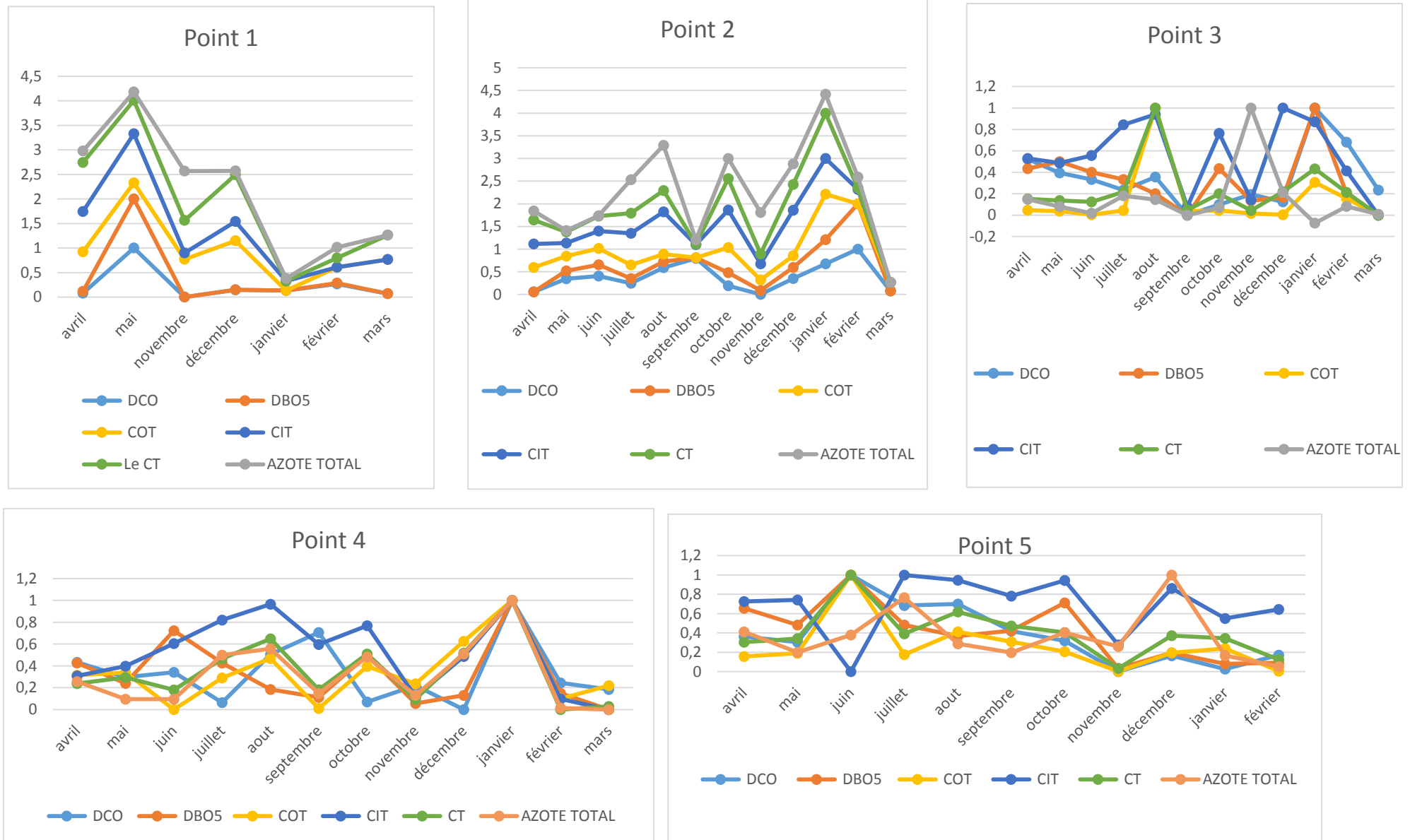


Figure 13. Variation temporelle des paramètres organiques dans les cinq points de prélèvement

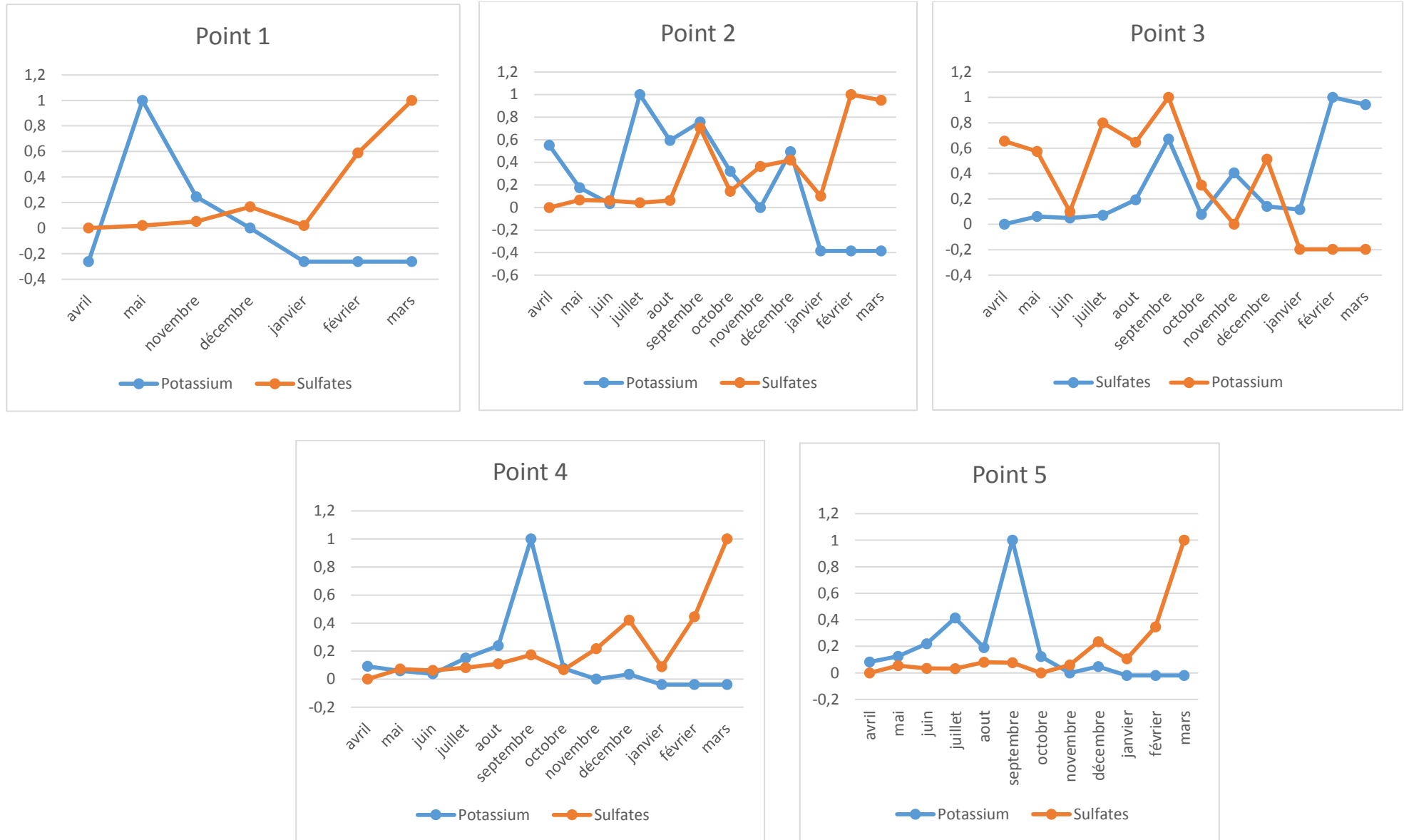


Figure 14. Variation temporelle du potassium et du sulfate dans les cinq points de prélèvement



Figure 15. Variation temporelle des paramètres mesurés in situ dans les cinq points de prélèvement

3.5. Variation des paramètres mesurés

Les parcelles de la boîte sont construites pour représenter schématiquement la répartition des variables les plus significatives de la qualité de l'eau d'Oued Boudjema, pour les cinq points d'échantillonnage (Figure 15) et (Figure 16). Plus le corps de la boîte est petit les valeurs sont plus uniformes tel que les valeurs de CT et COT pour le Point 1, et plus le corps de la boîte est grand plus les valeurs sont hétérogènes ou dispersées, tel que les valeurs des cinq points pour COD. plus les moustaches sont longues, plus les valeurs sont dispersées, comme les valeurs de la dureté pour le point 2, plus les moustaches sont courtes plus les valeurs sont moins dispersées, c'est le cas du potassium pour les points 2 et 3, et plus les axes sont orientés de la gauche vers la droite, plus la boîte est orientée à gauche, plus les valeurs sont faibles, comme les valeurs de conductivité pour les points 3 et 4 et 2 et 5, plus la boîte est à droite plus les valeurs sont élevées, comme les valeurs de sulfates pour le cinq points, quand la forme de la boîte est symétrique cela veut dire que plusieurs valeurs sont bien réparties, comme les valeurs de calcium pour le point 1, moins la forme de la boîte est symétrique, plus les valeurs sont inégalement réparties, comme les valeurs de température pour les points 2 et 3 et 4 et 5.

Pendant la saison humide, les concentrations de ces éléments sont les plus élevés au point 5 (Q, dh, NH₄⁺, NH₃⁺, Azote total, P₂O₅, PO₄, P, SO₄ Cr + 6, Cr, Mg, CA + 2) pour la saison sèche, les concentrations les plus élevées sont la conductivité, la Salinité, TDS, DCO, CIT, COT, DBO₅, CT, K, NH₄-N, MN₂ + et AO. La plus faible concentration au cours de la même saison est OD.

Le point 1, pendant la saison humide les concentrations de ces éléments OD, Cu, et Zn + 2 sont les plus élevés et les concentrations les plus faibles sont T °, ph, conductivité, Salinité, TDS, COD, DBO₅, TOC, CIT, CT, K, NO₂-N, NH₄-N, NH₃, TNB, P, Mg, Fe, Mn + 2, AO, AB, CA, au cours de la saison sèche, les concentrations de turbidité MES, DH, NO₂ NO₃, PO₄, SO₄, P₂O₅, Cr + 6, Cr, AL sont les plus basses.

Les deux points d'échantillonnage 1 et 5 contiennent la plupart des valeurs extrêmes, les éléments restants sont répartis sur les trois stations restantes.

Au point 2 pendant la saison humide, les concentrations de ces éléments sont les plus élevés turbidité MES NO₂ NO₃-N₂. Au cours de la saison sèche, les concentrations d'AB, et Q Cr sont les concentrations les plus faibles

Pendant la saison humide la concentration de SO₄ est la plus élevée et Cu⁺² est la plus basse pour le point 3, au cours de la saison sèche, la concentration AL⁺³ est la plus faible.

NO₂ et AL⁺³ les concentrations de ces éléments sont les plus élevés au cours de la saison sèche pour le point 4, dans la saison humide, les concentrations T° et ph sont les plus élevés et la concentration de Zn est le plus basse.

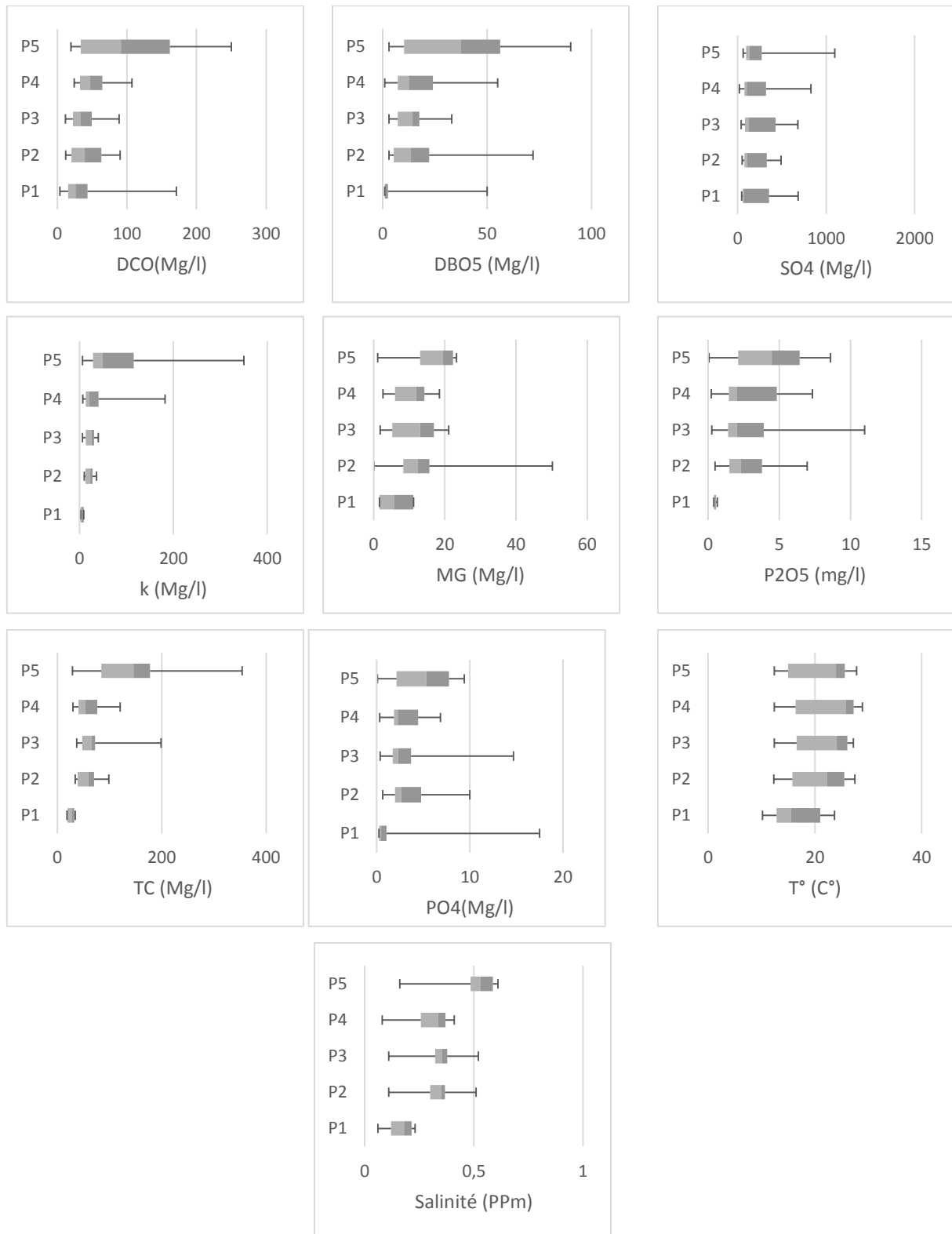


Figure 16. Variation de la qualité des eaux de surface d'Oued Boudjema

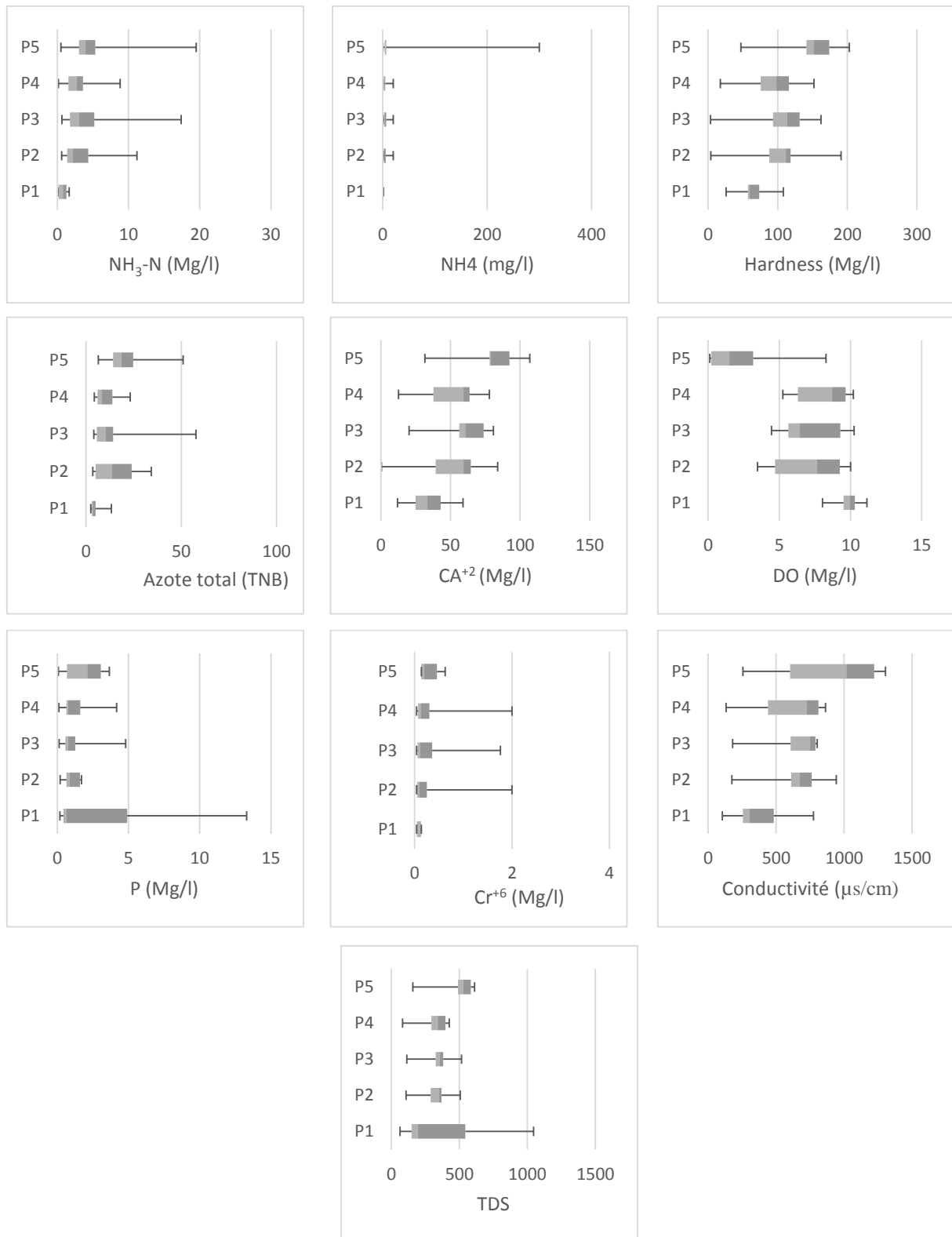


Figure 17. Variation de la qualité des eaux de surface d'Oued Boudjema

3.6. Conclusion

Après avoir effectué des séries de prélèvement (de douze mois), et réalisé l'ensemble des analyses physicochimiques in situ et au laboratoire. A première vue des résultats, on constate que Les deux points d'échantillonnage 1 et 5 contiennent la plupart des valeurs extrêmes, les éléments restants sont répartis sur les trois autres stations. La qualité de l'eau dans le point 5 est dominée par les nutriments (nitrate, nitrite, phosphore, phosphate et Azote), la dureté et le chrome, pendant la saison humide. Cependant la qualité de l'eau durant la saison sèche est dominée par la DBO5, la DCO et le carbone organique. Le point 1 est caractérisé par les valeurs les plus basses parmi les cinq points de prélèvement par rapport aux éléments mesurés, sauf pour le zinc et le cuivre durant la saison humide. Les résultats obtenues pour les cinq points d'échantillonnage ont fait l'objet de plusieurs méthode de traitement de données afin d'extraire le plus d'information possible sur la qualité des eaux de Oued Boudjema.

CHAPITRE 4

Les indices de pollution

4.1. Introduction

L'une des techniques les plus simples utilisées pour l'extraction des informations, sur l'état de la pollution des eaux est le calcul des indices de pollution. Les indices de pollution utilisés sont les plus simples en termes de méthode calcul et des données nécessaires pour l'application.

Le présent chapitre, décrit les trois indices utilisés dans cette étude et leurs résultats. Ces trois indices de pollution ont été utilisés à titre de comparaison entre un outil simple et un outil plus sophistiqué tel que la CAH

4.2. Les indices de pollution

Le calcul de l'Indice de Pollution Organique (IPO) se base sur la répartition des valeurs des éléments polluants en 5 classes, puis la détermination du numéro de classe selon ses propres mesures (DBO5 Mg-O2/L, Ammonium Mg-N/L, Nitrite µg-N/L, Phosphate µg-P/L) et enfin d'en servir pour faire la moyenne.

Classes / paramètres	DBO ₅ Mg/l O ₂	Ammonium Mg/l N	Nitrite µg/L N	Phosphate µg/L P
5	<2	<0.1	5	15
4	2 - 5	0.1 - 0.9	6 - 10	16 - 75
3	5.1 - 10	1 - 2.4	11 - 50	76 - 250
2	10.1 - 15	2.5 - 6.0	51 - 150	251 - 900
1	>15	>6	>150	>900

Tableau 6. Intervalle des paramètres des classes de pollution (l'IPO Leclercq and Maquet 1987)

IPO = moyennes des nombres de classes des 4 paramètres :

5-4.6 : Pollution organique nulle,

4.5-4: Pollution organique faible,

3.9-3 : Pollution organique modérée,

2.9-2 : Pollution organique forte,

1.9-1: Pollution organique très forte.

Le principe de calcul de l'indice de Lisec est le même que l'indice de l'IPO, mais en remplaçant la moyenne des classes par la somme des classes

(Oxygène Dissous %, DBO5 Mg-O2/L, Ammonium Mg-N/L, Phosphore Total µg-P/L)

Classes /paramètres	Oxygène dissous %	DBO ₅ Mg/l O ₂	Ammonium Mg/l N	Phosphore total µg/L P
1	91 - 100	<3	<0.5	<50
2	71 - 90	3.1 - 6	0.5 - 1	51 - 249
3	51 - 70	6.1 - 9	1.1 - 2	250 - 899
4	31 - 50	9.1 - 15	2.1 - 5	900 - 1499
5	<30	>15	>5	> 1500

Tableau 7. Intervalle des paramètres des classes de pollution (indice de Lisec)

Lisec = somme des nombres de classe des 04 paramètres :

6-4 : Très bonne,

6 -10 : Bonnes,

10-14 : Moyenne ou modérée,

14-18 : Mauvaises,

18-20 : Très mauvaise.

Le principe de calcul de l'Indice de l'Institut de l'Hygiène et d'Epidémiologie IHE est le même que l'IPO, mais avec d'autres classes et d'autres paramètres (oxygène dissous %, DCO Mg-O2/L, DBO5 Mg-O2/L, Ammonium Mg-N/L, Phosphate µg-P/L, Phosphore µg-P/L).

Classes / Paramètres	Oxygène dissous%	COD Mg/l O ₂	BOD ₅ Mg/l O ₂	Ammonium Mg/l N	Phosphate µg/L P	Phosphore µg/L P
5	110 - 90	<5	<1.0	<0.05	<50	<50
4	89 - 70	5.1 - 10	1.1 - 3	0.06 - 0.5	51 - 100	51 - 100
3	69 - 50	10.8 - 20	3.5 - 5	0.51 - 1.00	101 - 200	101 - 200
2	49 - 30	20.1 - 50	5.1 - 10	1.01 - 2	201 - 400	201 - 400
1	<30	>50	>10	>2	>400	>400

Tableau 8. Intervalle des paramètres des classes de pollution (l'IHE 1986)

LIHE= la moyennes des classes des 06 paramètres :

5-4.6 : pollution organique nulle,

4.5-4 : pollution organique faible,

3.9-3 : pollution organique modérée,

2.9-2 : pollution organique forte,

1.9-1 : pollution organique très forte.

4.3. Etablissement des cartes

La qualité de l'eau peut être visualisée via les cartes de pollution, ces cartes ont été créés pour démontré l'état de la dégradation des eaux de Oued Boudjema, qui sont impactées par les rejets des eaux urbain et agricole.

Le fond des cartes a été choisi pour simplifier et faciliter la compréhension de la relation entre la nature des points de prélèvement (type de rejet) et le niveau de la pollution des eaux. Chaque station de prélèvement correspond à une valeur de qualité. La couleur de la station est proportionnelle à sa valeur de qualité. Les paramètres organiques ont été classifiés en cinq classes selon le niveau de pollution.

4.4. Résultats et discussion

4.4.1. Variation temporelle des paramètres utilisés

Les valeurs de la DBO 5 ont été faible pour le point 1 pendant toute la période de prélèvement, en allant de 1 à 3 MgO₂/L, sauf en mois de mai la DBO5 a connu un pic de la valeur 50, cela est dû à la dégradation de la qualité d'eau suite à la stagnation provoqué par la faible vitesse et la carence du débit. Pour les points 2, 3 et 4 la plus grande valeur de la DBO5 est durant la période humide (Point 2 : en mois de février 72 MgO₂/L, Point 3 : en mois de janvier 33 MgO₂/L, Point 4 : en mois de janvier 55 MgO₂/L), pour ces trois stations l'origine de la demande biologique en oxygène est la minéralisation de la matière organique véhiculé par les eaux de pluie (lessivage des sols). La plus grande valeur de la DBO5 est de l'ordre de 90 MgO₂/L en mois de juin, où l'origine de la matière organique est les eaux usées. Les deux paramètres (NH₃ et NO₂) ont montré les plus grandes valeurs soit en début ou en fin de la période pluvieuse, cela peut indiquer que l'origine de ces éléments est le dépôt atmosphérique (Point 1 : en mois de mars la valeurs de NH₃ est 1,375 Mg/L et la valeurs de NO₂ est 0,130 Mg/L en mois de novembre, Point 3 : en mois de Octobre la valeurs de NH₃ est 7,1 Mg/L et la valeurs de NO₂ est 0,989 Mg/L en mois de septembre, Point 5 : en mois de Novembre la valeurs de NH₃ est 6,5 Mg/L et la valeurs de NO₂ est 0,910 Mg/L en mois de Octobre). Pour

les point 2 et 4, la plus grande valeur de NH₃ a été observé durant la saison sèche (Point 2 : en mois de septembre la valeurs de NO₂ est 0.88 Mg/L et en mois d'aout la valeur de NH₃ est 6,1 Mg/L où l'origine est le rejet direct de l'eau usée non traité, Point 4 : en mois de septembre la valeurs de NO₂ est 0.721 Mg/L et en mois de juin la valeur de NH₃ est 4,6 Mg/L où l'origine est le rejet direct de l'eau usée non traité). Les plus grandes valeurs de deux éléments (P et PO₄) ont été observé en novembre la valeur de P est 13,3 Mg/L comme résultat de lessivage des sols, et en mois d'avril la valeur de PO₄ est 17,5 Mg/L. Pour les point 2 et 4 les plus grandes valeurs des deux paramètres précédent ont été observé durant la période sèche, où l'origine est les détergent présent dans les eaux usées domestique (Point 2 : en mois de avril la valeur de PO₄ est 10 Mg/L et en mois de mai la valeur de P est 6,96 Mg/l, Point 4 : en mois de avril la valeur de PO₄ est 6,85 Mg/L et en mois de mai la valeur de P est 7,32 Mg/l). Le troisième point de prélèvement a montré les plus grandes valeurs en début de la saison humide comme résultat des premiers flux polluants (en mois de septembre la valeur de PO₄ est 14,7Mg/L et la valeur de P est 11 Mg/L). le point 5 a montrés le plus grande valeur en début de la saison humide pour le PO₄ en mois de septembre avec une valeur de 9,4 Mg/l, comme résultat des premiers flux polluants, et en début de la saison sèche pour le P, en mois de avril avec une valeur de 8,6 Mg/l cette valeurs est résultante des détergent présent dans les eaux usées ainsi que les eaux de drainage des terres agricoles.

4.4.2. Calcul des indices de pollution

4.4.2.1. L'indice de pollution organique

Selon les valeurs de l'indice de pollution organique (IPO) (tableau 9), le flux de pollution est divisé en deux catégories, la première classe est la partie où la pollution organique est modéré, qui a été déterminée par la mesure au point 1 (IPO = 3,20). Malgré l'absence de rejets d'eaux usées, l'existence de la pollution est due au lessivage des sols et des dépôts atmosphérique en temps humide. Le 2ème classe est la partie où la pollution organique est très élevé principalement en raison de des rejets directe des eaux usées domestique non purifié riches en matière organique, cette section comprend quatre stations: Le point 2 (1,78), le point 3 (1,73) et le point 4 (1,81). Ces points pollués montrent des valeurs très proches, puisque les rejets dans ces zones sont les mêmes. La valeur la plus faible a été observé au point 5

(1,54), cela est causé par plus de la pollution des eaux usées domestiques non purifié provenant du point 2, 3 et 4 et de la pollution des eaux usées agricoles (riche en nutriment) provenant de la partie périurbaine. Les résultats de la variation de la pollution sont représentés sur la figure 18.

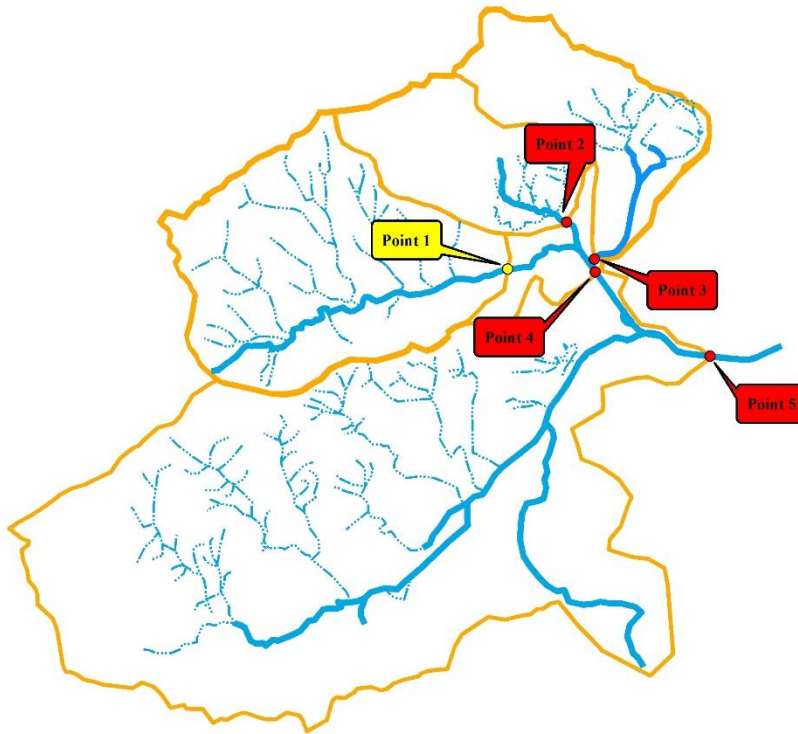


Figure 18. Carte de la variation spatiale de l'IPO des 5 stations de prélèvement

Bouhdid	Sidi Harb	Canal De Ceinture	Canal Kef N'sour	Oued Boudjema
3,20	1,78	1,73	1,81	1,54
pollution organique modéré	pollution organique très forte	pollution organique très forte	pollution organique très forte	pollution organique très forte

Tableau 9. Indice de pollution organique calculée

4.4.2.2. L'indice de Lisec

Selon les valeurs de l'indice Lisec (tableau 10), le flux de pollution est divisé en trois catégories, la première classe est la partie où la qualité de l'eau est

bonne expliqué par l'absence de rejets d'eaux usées, qui a été démontré par la mesure au point 1 (index Lisec = 7,86). Sachant que le niveau de pollution organique dans ce point est modérée (IPO = 3,20) et le nombre de paramètres utilisés pour calculer les deux indices sont les mêmes, la différence dans les résultats peut être expliqué par la nature des paramètres utilisés. Point 1 montre les plus grandes valeurs de l'oxygène dissous dans les cinq points d'échantillonnage et les valeurs les plus faibles dans les autres paramètres. La 2^{ème} classe est la partie où la qualité de l'eau est mauvaise, elle comprend le point 2 (14,75) et le point 3 (14,67). Ces deux points montrent des valeurs très semblables, en raison de même type de rejets (eau non purifiée principalement des déchets ménagers). Il inclut également le point 5, mais avec une valeur très élevée (indice Lisec = 17,25), cela est causé par la pollution des eaux usées domestiques non purifié provenant du point 2, 3 et 4 et de la pollution des eaux usées agricoles (riche en nutriment) provenant de la partie périurbaine. La 3^{ème} classe comprenne le point 4 (13,75), est la partie où la qualité de l'eau est modéré, malgré les flux pollués provenant du point 2 et 3, la qualité d'eau de ce point a été améliorée par le courant provenant du point 1. Les résultats de la variation de la qualité de l'eau sont présentés dans la figure 19.

Bouhdid	Sidi Harb	Canal De Ceinture	Canal Kef N'sour	Oued Boudjemaa
7,86	14,75	14,67	13,75	17,25
bonne	mauvaise	mauvaise	modérée	mauvaise

Tableau 10. Indice de pollution Lisec.

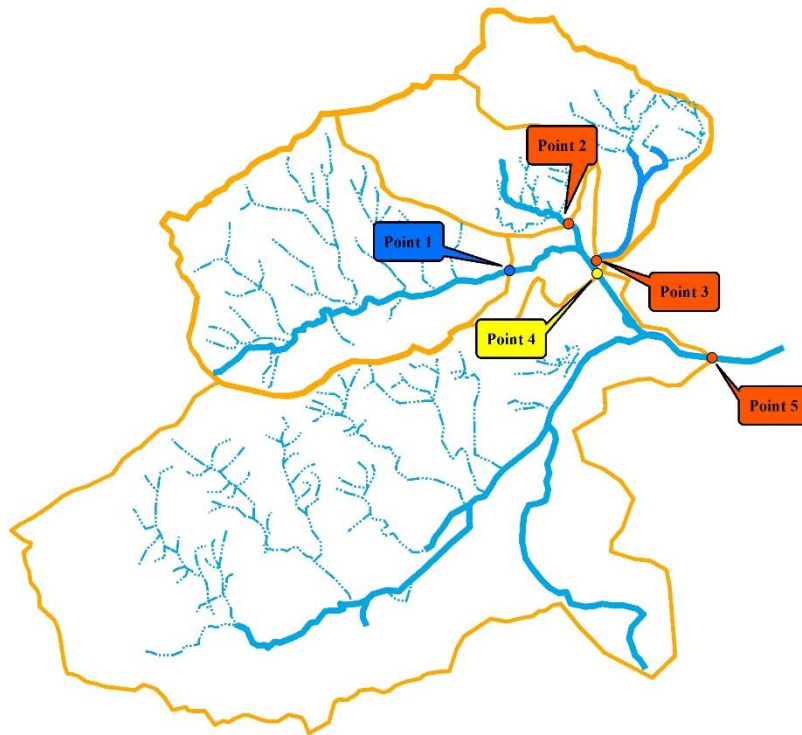


Figure 19. Carte de la variation spatiale de l'indice de Lisec des 05 stations de prélèvement

4.4.2.3. L'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (IHE)

Selon les valeurs de l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (IHE) (tableau 11, Figure 20), le courant est divisé en trois catégories, la première classe est la partie où la pollution organique est modérée, ce qui a été déterminé par le point 1 (IHE = 3.10). Malgré l'absence de rejets d'eaux usées, l'existence de la pollution est due aux lessivage des sols et des dépôt atmosphérique en temps humide, la 2e classe est la partie où la pollution organique est très élevée, elle englobe le point 3 (1,98) et le point 4 (1,97) ces deux points montrent des valeurs très proche, en raison de même type de rejets (principalement des eaux usées domestique non purifiée). Il inclut également le point 5, mais avec une valeur très faible (1,54), cela est causé par la pollution des eaux usées domestiques non purifié provenant du côté urbain (point 2, 3 et 4) et la pollution agricole des eaux usées provenant de la partie périurbaine. La 3eme classe est la partie où la qualité de l'eau est modérée, elle a été observée au point 2 (2.01). La différence entre le point 2 et le point 3 et 4 est en raison du niveau d'urbanisation, le bassin versant drainé par le point 2 est moins urbanisée que le bassin versant drainé par le point 3 et 4. Le nombre de paramètres

pris en considération par l'indice IHE par rapport à IPO et indices Lisec, met en évidence l'impact de la différence dans les taux d'urbanisation.

Bouhdid	Sidi Harb	Canal De Ceinture	Canal Kef N'sour	Oued Boudjemaa
3,10	2,01	1,98	1,97	1,54
pollution organique modérée	pollution organique forte	pollution organique très forte	pollution organique très forte	pollution organique très forte

Tableau 11. Indice de pollution organique calculée par la méthode IHE

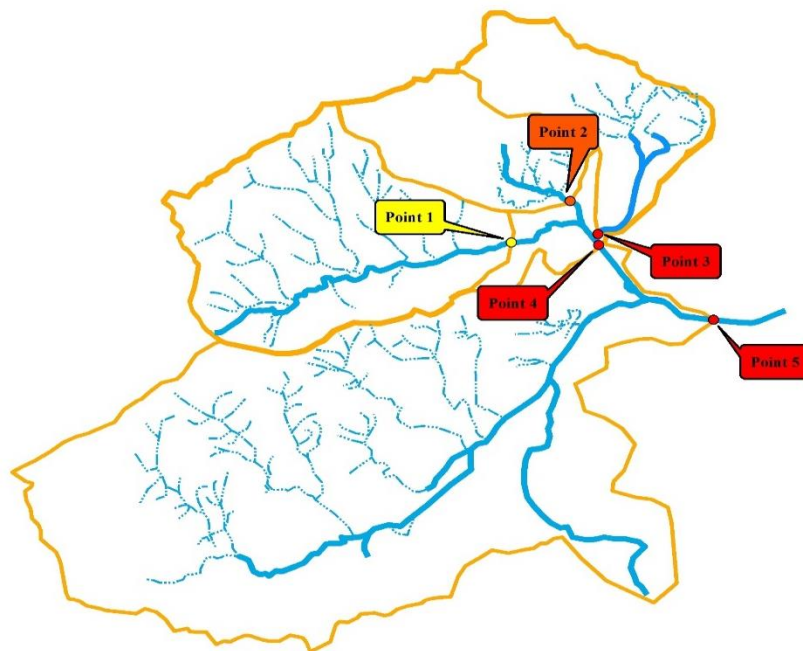


Figure 20. Carte de la variation spatiale de l'indice de L'IHE des 5 stations de prélèvement

4.4.2.4. La variation temporelle des indices de pollution

La plus petite valeur de l'IPO pour le point 1 est de 2,5 en mois de mai, le débit et la vitesse durant ce mois sont assez faibles, ce qui provoque l'eau stagnante qui conduit à la détérioration de la qualité de l'eau. Les points 1, 2, 3 et 4 montrent également les valeurs les plus faibles durant le même mois (respectivement 1,25, 1, 1,25 et 1), cela est dû à la rareté ou même parfois l'absence totale de précipitations. Ce qui indique que la principale source de pollution est les eaux usées domestiques non traitées. En Décembre, le point 2 montre à nouveau la même valeur basse, au cours de la période la plus pluvieuse de l'année où les sources de pollution sont

multiples: le lessivage des sols, des dépôts atmosphériques et le drainage des terres agricoles. Ainsi que le point 2, le point 5 représente les valeurs les plus faibles pendant les périodes sèches et de périodes humides. La variation temporelle de l'IPO est représentée dans la figure 21.

Les résultats de l'IPO sont confirmées par les résultats de Lisec, montrant que les valeurs les plus élevées sont en période de sèche pour les points 2, 3, 4 et 5, la valeur est la même pour cinq points. Dans les deux mois Septembre et Octobre, le point 5 montre la même valeur haute (les premières pluies), où la principale source de pollution est les premiers flux polluants (lessivage des sols, les dépôts atmosphériques, drainage des terres agricoles). Les résultats de la variation temporelle sont présentés sur la figure 22.

Les résultats ci-dessus sont à nouveau confirmés par les résultats de l'IHE, montrant que les valeurs les plus basses sont en saison sèche pour les points 1, 3, 4 et 5 (point 1: 2,33, point 3: 1, point 4: 1, point 5: 1). L'explication de la valeur faible pour le point 1 est la stagnation de l'eau en raison de l'absence de l'écoulement. Pour les points 3, 4 et 5, les effluents municipaux rejetés dans la nature sans aucun traitement préalable sont la raison pour laquelle les valeurs sont faibles. Deux points d'échantillonnage montrent une très faible valeur au cours de la période humide, point 2 et le point 5 (point 2: 1,33, point 5: 1), ces valeurs se présentent au début de la saison pluvieuse, cela peut être expliqué par les premiers flux polluants (lessivage des sols, les dépôts atmosphériques, des eaux usées domestiques et de drainage des terres agricoles). Les résultats de la variation temporelle sont présentés sur la figure 23.

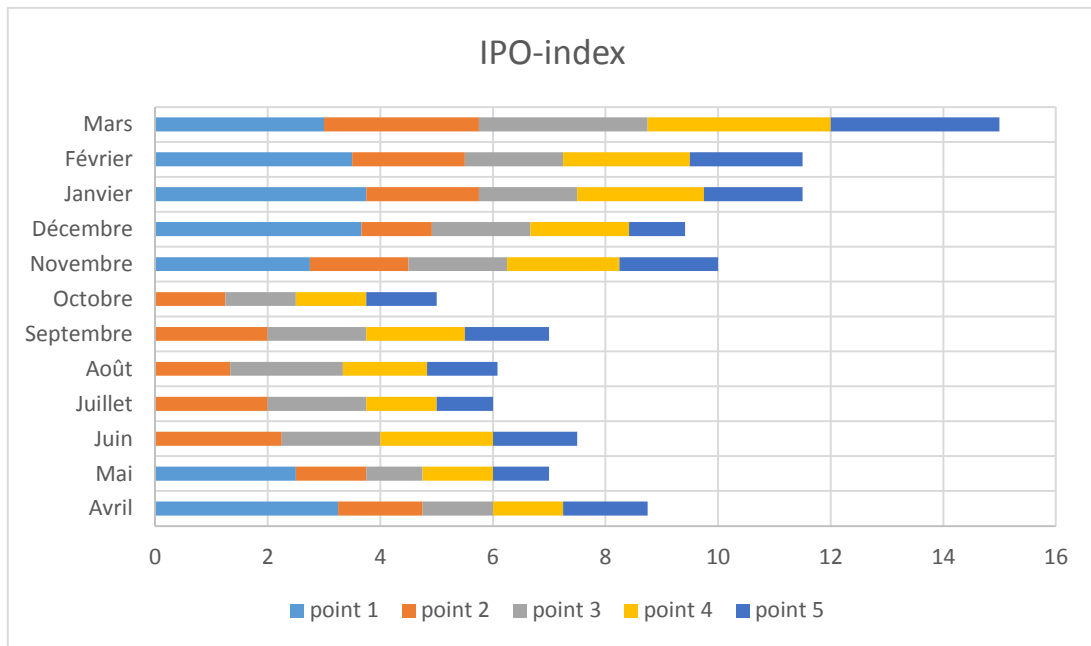


Figure 21. Représentation graphique de la variation spatiale et temporelle de l'IPO pour les cinq stations de prélèvement

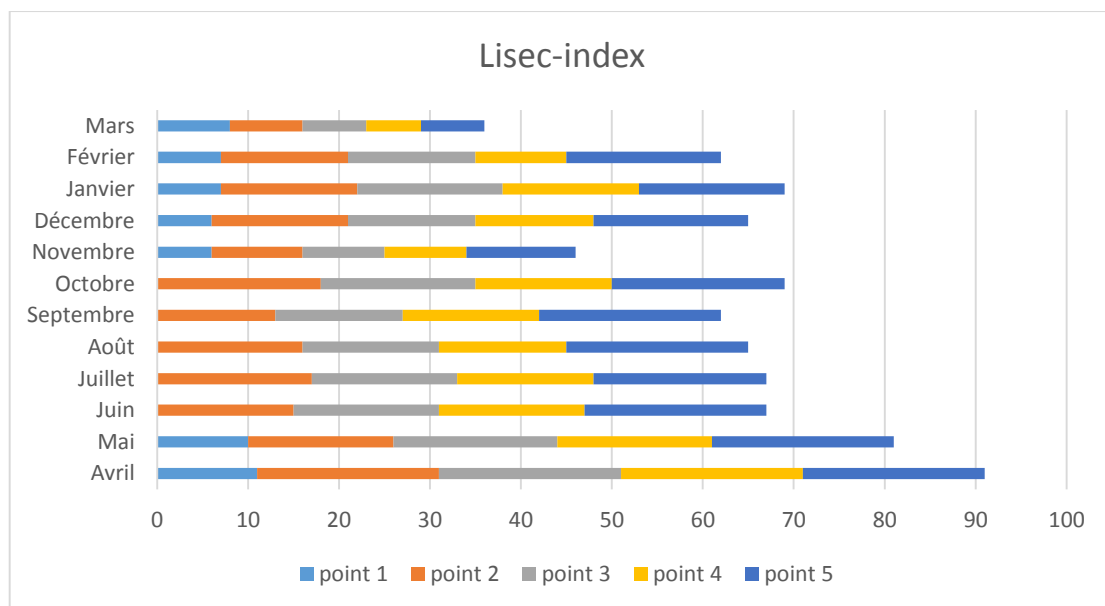


Figure 22. Représentation graphique de la variation spatiale et temporelle de l'indice de Lisec pour les cinq stations de prélèvement

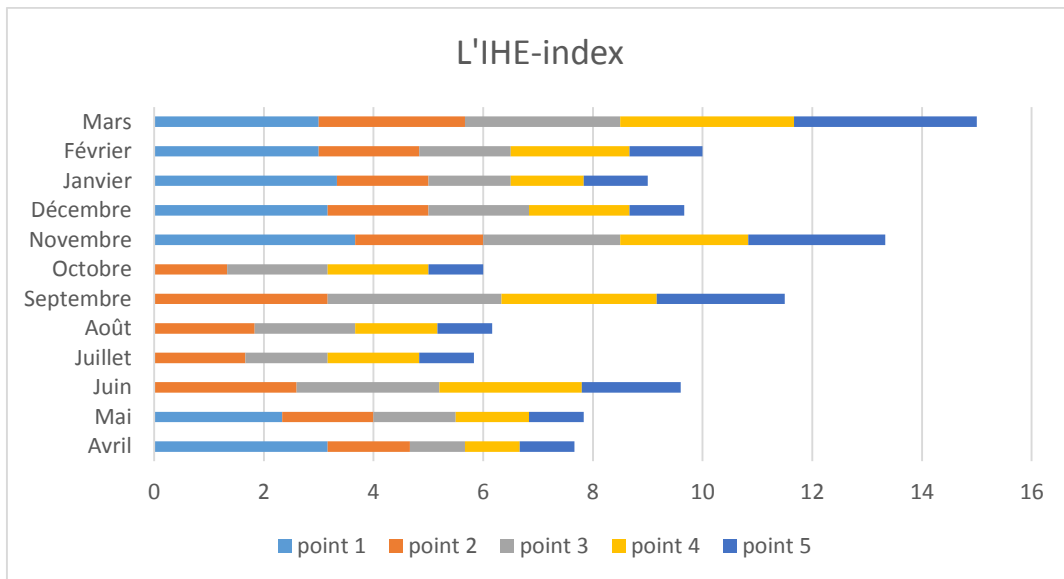


Figure 23. Représentation graphique de la variation spatiale et temporelle de l'IHE pour les cinq stations de prélèvement

4.5. Conclusion

La qualité des eaux d'Oued Boudjemaa varie d'une bonne qualité dans le point 1 selon les résultats de l'indice de Lisec en raison d'absence des rejets des eaux usées en amont de la station de prélèvement, à une mauvaise qualité dans les trois stations (2, 3, 5), et une qualité modérée dans le quatrième point de prélèvement à cause des effluents municipaux, lessivage des sols et dépôt atmosphérique. La pollution organique est très élevée dans le point 5 et le point 3 selon les résultats de l'indice de pollution organique et l'indice de l'institut de l'hygiène et d'épidémiologie. Pour le point 2 la pollution organique est considérée comme élevée (IHE) et (IPO) et très élevée

La dégradation de la qualité physico-chimique des eaux d'Oued Boudjemaa est due à de multiples facteurs, mais le principal influant est celui du rejet des eaux usées non épurées vers le milieu naturel. L'élaboration des cartes de la variation spatiale de la qualité de l'eau offrent une vision sur la variation de la qualité des eaux d'Oued Boudjemaa entre les zones à forte urbanisation et les zones à faible urbanisation. Le problème de la dégradation de la qualité de ces eaux est en raison des rejets directs au milieu naturel des eaux usées domestiques riches en matières organiques et des eaux agricoles riches en nutriments sans aucun

prétraitement, ce problème peut être résolu par le raccordement complet des réseaux d'assainissements à la station d'épuration.

CHAPITRE 5

Analyses statistiques multi-variées

5.1. Introduction

Les analyses statistiques multi-variées ont été utilisées afin de simplifier et mieux comprendre la variation spatio-temporelle de la qualité des eaux d'oued Boudjemaa. L'analyse en composantes principales (ACP) est l'une des techniques statistiques les plus utilisées dans le domaine de la qualité de l'eau, pour ces performances élevées à souligner les paramètres dominants de la pollution. Cependant pour amplifier le rôle des éléments les plus influençant sur la qualité de l'eau, la méthode la plus utilisée est l'analyse factorielle (AF).

L'analyse de classification hiérarchique ascendante est l'une des techniques de l'analyse de cluster, c'est une technique de classification appropriée quand il s'agit d'un grand nombre de variable à gérer.

Ce chapitre englobe l'état de l'art, les principes et les résultats obtenus par les analyses statistiques multi-variées.

5.2. Littérature sur les analyses multi-variées et la qualité d'eau

Manoj (2014) et les auteurs cités dans son travail (Johnson et al, 2007, Hair et al, 2006), classent l'analyse statistique en techniques uni-variées (ex : calcul de la moyenne arithmétique), bi-variées (ex : corrélation et analyse de régression simple) et multi-variées. Cette dernière implique tout simplement l'examen simultané de plus de deux variables. Tous les systèmes statistiques concernés par l'analyse simultanée de mesures multiples sur de nombreuses variables constituent une analyse multi-variée.

Ces méthodes statistiques multivariées ont été largement utilisées afin de faciliter la résolution des problèmes environnementaux et d'explorer de nouvelles pistes et scénarios pour la compréhension du déroulement de certains processus naturels (Yidana et al., 2010). Ces techniques ont été largement appliquées pour enquêter sur des phénomènes environnementaux (Yidana et al., 2008). Dans les études environnementales, l'identification des relations entre les échantillons est tout aussi importante que la révélation des relations entre les variables.(Mazlum et al., 1999, Elamassi 2012).

Des techniques environnementales utilisent des modèles statistiques multi-variées pour une meilleure interprétation de la qualité des données. Parmi les modèles statistiques multi-variées couramment utilisés pour l'analyse des données environnementales on trouve : l'Analyse de Cluster (AC), l'Analyse en Composantes Principales (ACP), l'Analyse Factorielle (AF) et l'Analyse Discriminante (AD). Ces techniques d'exploration de données sont très utiles pour la reconnaissance des formes et l'analyse exploratoire des données, révélant aussi des informations cachées sur l'ensemble de données (Kanade et Gaikwad, 2011, Manoj et al ., 2014).

Les techniques statistiques multi-variées sont les outils les plus appropriés pour obtenir une réduction de données importante sans une perte d'information significatives dans les systèmes composés, menant à une interprétation plus aisée des mesures physicochimiques de la qualité de l'eau, dans l'objectif d'obtenir des conclusions (Yilmaz et al. 2010, Elamassi 2012). L'application de différentes techniques statistiques multivariées, telles que l'analyse de cluster, analyse en composantes principales, et l'analyse factorielle aide à l'évaluation de la qualité des eaux de surface en utilisant l'analyse multi-variée et l'analyse spatiale dans l'interprétation des matrices complexes de données pour une meilleure compréhension de la qualité de l'eau et de l'état écologique de la région d'étude (Elamassi 2012).

Ces techniques permettent l'identification des sources possibles qui influent sur les systèmes d'eau et offrent un outil précieux pour une gestion fiable des ressources en eau ainsi que l'identification des sources de pollution qui peuvent mener à remédier à ce problème.

5.3. Analyse des composantes principales (ACP) et analyse factorielle (FA)

Lorsque vous traitez des données avec l'analyse en composantes principales et l'analyse factorielle certaines approches prudentes sont nécessaires car les termes sont souvent source de confusion. Dans la plupart des études de modélisation multi-variée environnementale l'analyse factorielle suit l'analyse des composantes principales (sur la matrice du composant d'origine).

L'ACP vise à réduire la multidimensionnalité des ensembles de données. Les résultats obtenus dans des dimensions inférieures simplifient l'interprétation des données (Singh et al., 2005, Zhang et al., 2008, S. Shrestha et al., 2007). Les variables inter-corrélées observées sont transformées en un nouvel ensemble de variables dé-corrélées organisées en ordre décroissant selon leurs importance (Mazlum et al., 1999, Kunwar et al. 2005).

Ces composants transformés dé-corrélés ou variables indépendantes sont appelées composantes principales (CP) (Singh et al. 2005 et 2006, Kunwar et al. 2005). Le sens de la réduction de la dimension est de dériver moins de composants, qui expliquent la variabilité observée dans un nombre relativement important de mesures. Les CPs sont définis en termes de combinaisons linéaires des mesures et contiennent à la fois la variance commune et unique (DeCoster, 1998). En d'autres termes, chaque CP orthogonale est une combinaison linéaire des variables initiales et représente une source de variation (Praus, 2007, Gu et al 2016).

Ces CPs révèlent des informations sur les variables les plus importantes expliquant l'ensemble des données en rendant l'exclusion des variables considérées comme moins importantes, tout en conservant les informations d'origine avec une perte minimale (Singh et al., 2005, Juahir et al. 2011, Kunwar et al. 2005, Gu et al. 2016).). La technique utilise la corrélation ou la matrice de covariance pour caractériser l'ensemble de données. Lorsque les variables ont de larges différentes unités et sont considérés comme tout aussi important, l'utilisation de la matrice de corrélation est recommandée. En outre, pour travailler avec la matrice de corrélations, les variables doivent être mises à l'échelle ou normalisées pour avoir une variance unitaire (Mazlum et al. 1999, Gu et al 2016).). Les CPs générés par l'ACP peuvent être exprimées comme suit:

$$y_{ij} = a_{i1}x_{1j} + a_{i2}x_{2j} + \dots + a_{im}x_{mj}$$

Où y = composante score,

a = composante chargement,

x = valeur mesurée de la variable,

i = numéro de composant,

j = nombre d'échantillons,

et m = nombre total de variables.

Les poids des composants représentent une corrélation entre les CP et les variables. Dans l'ACP, les valeurs propres indiquent l'importance des composants. Le composant qui présente la plus haute valeur propre est considéré comme le plus important. Ces valeurs propres signifient les variations démontrées par les variables observées (Isçen et al., 2008) Le premier CP représente la plus grande variabilité de l'ensemble de données d'origine. Sur la base de leur magnitude absolue, le chargement de composante des valeurs supérieures à 0,75, entre 0,75 à 0,5 et 0,5 à 0,3 sont classés respectivement comme forte, modérée et faible (Manoj et al., 2014).

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) et les tests de Bartlett de sphéricité sont initialement réalisées sur l'ensemble de données pour déterminer leur adéquation pour l'ACP. Le teste KMO est une mesure d'adéquation de l'échantillon avec des valeurs comprises entre 0 et 1. La valeur approchant 0 indique l'inadaptation de l'ensemble de données pour l'ACP, alors que la magnitude proche de 1 montre sa pertinence. Toute valeur supérieure à 0,60 est acceptable pour l'utilisation de l'ACP (Mustapha et al., 2013). Cependant, certains auteurs considèrent les valeurs KMO supérieure à 0,80 comme désiré pour effectuer l'ACP. D'une autre part le test de sphéricité de Bartlett examine si la matrice de corrélation est une matrice d'identité (Eyduaran et al., 2009, Vega Et Al., 1998).

Si la matrice de corrélation est une matrice d'identité, les variables deviennent non liés ce qui rend le modèle de l'ACP un outil statistique inappropriée et inadaptée pour l'analyse de données avancées. En d'autres termes, pour utiliser l'ACP, il doit y avoir des relations entre les variables. $P < 0,05$ est considérée comme significative pour le test de Bartlett (Nair et al., 2010). Les CPs obtenus sont parfois difficiles à interpréter et par conséquent, sont mis en rotation pour générer une nouvelle matrice de rotation du composant de la matrice du composant d'origine. Cela contribue à faciliter l'interprétation de la qualité des données. L'approche VARIMAX est la technique de rotation la plus utilisée. La rotation modifie la corrélation entre les composants et les variables d'origine, de sorte que dans les nouveaux composants extraits, seules les variables les plus importantes sont incluses (Chen-Wuing et al. 2003). Ces nouveaux groupes de variables ou de

composants sont appelés facteurs de Varimax ou facteurs vari (VFs). Les nouvelles charges de facteurs générés illustre la corrélation entre les variables et les facteurs (Kothai et al., 2008). L'Analyse Factorielle réduit d'avantage le rôle des variables moins importantes expliquant l'ensemble de données obtenu à partir de l'ACP (Unmesh et al., 2006). Les objets présentant une charge plus élevée dans chaque facteur sont interprétés comme caractéristiques de la source de pollution qu'ils symbolisent (Vega Et Al., 1998).

Malgré que l'ACP et l'AF soient des techniques de réduction de dimension, il existe des différences fondamentales entre eux. Par exemple, tandis que les CPs sont simplement basés sur les réponses mesurées, l'analyse factorielle assume que les réponses mesurées sont les résultats des facteurs sous-jacents (Kunwar P. Singh et al., 2005). L'AF est basée sur des hypothèses et a une structure d'erreur, alors que l'ACP est une technique mathématique entièrement indépendante des hypothèses (Mazlum et al., 1999). Dans l'AF, les nouveaux groupes de variables peuvent inclure des variables non observables, hypothétiques et latentes, les CPs sont simplement les combinaisons linéaires des variables observables (Iscen et al., 2008). En premier cas, cela se produit parce que la nouvelle variable mesurée est exprimée comme une combinaison de facteurs et implique aussi un terme résiduel (Nicolaos Lambrakis et al., 2004). En d'autres termes, dans l'AF, chaque nouvelle valeur de mesure peut être exprimée comme une combinaison linéaire des facteurs communs latents et un facteur (Vega Et Al., 1998)).

Dans la plupart des études environnementales, l'ACP et l'AF sont discutés comme ACP / AF. En outre, dans la littérature de l'environnement le terme de facteur est couramment utilisé pour les composants et les facteurs. L'équation de l'AF (Singh et al., 2005; Kunwar P et al., 2005) est exprimée comme :

$$z_{ij} = a_{j1}f_{1i} + a_{j2}f_{2t} + \dots + a_{jm}f_{mi} + e_{ji}$$

Où, z = valeur déterminée d'une variable;

A = chargement du facteur;

f = score du facteur;

e = durée résiduelle représentant des erreurs ou d'autres sources de variation;

i = numéro d'échantillon;

j = nombre variable,

m = nombre total de facteurs.

L'ACP vise à expliquer la variation totale exprimée dans la matrice de corrélation, alors que l'AF définit la corrélation présente dans la partie de facteur commun. (Manoj et al., 2014).

5.4. Analyse de Cluster (AC)

L'analyse de cluster est une technique de classification qui peut être utilisée pour déterminer l'existence de sous-groupes ou classes d'unités dans un jeu de données. Les unités sont regroupées en fonction de leurs ressemblances et leurs dissemblances (Gu et al., 2016). Chaque groupe représente un groupe d'individus ou d'objets avec des propriétés homogènes séparées d'une grande population hétérogène (Wang et al., 2015; Gupta et al., 2013). L'analyse contient deux étapes et des choix fondamentaux: une mesure de proximité et un algorithme de construction des groupes. Bien que la mesure de la proximité (déterminée par une distance ou d'une matrice de similarité et les coefficients de similarité résultant) vérifie l'homogénéité des objets, l'algorithme de construction de groupe attribue des groupes aux objets en fonction des évaluations de la proximité, afin que les objets du même groupe sont homogènes et qu'une différence significative existe entre les autres groupes (Härdle et al. 2007). (Le Clustering ou la classification peut être hiérarchique ou non hiérarchique (Manoj et al., 2013). La méthode hiérarchique est une procédure par étapes où les objets se combinent ou se divisent en une série d'étapes qui forment une structure comme un arbre (dendrogramme). Il y a deux types de méthode hiérarchique, agglomération et division ou de fractionnement. Dans le groupement agglomératif, chaque objet commence comme son propre cluster qui est successivement combiné à l'autre objet le plus proche pour former un nouveau cluster. Ce procédé est répété en continu jusqu'à ce qu'il n'y ait qu'un seul cluster. La procédure inverse fonctionne pour le regroupement de division où le cluster unique comprenant tous les objets, ces derniers se divisent successivement en groupes

plus fines jusqu'à ce que chaque groupe ait un seul membre (Hair et al., 2006, Shrestha et al., 2007)).

Il y a plusieurs mesures de distance disponibles pour effectuer une analyse de cluster : la distance euclidienne, la distance euclidienne au carré et la distance de Mahalanobis. Une relation inverse convertit la distance en mesure de similarité (Hair et al., 2006).

5.5. Application de l'Analyse Des Composantes Principale

5.5.1. Adéquation des données (les tests de Keyser Meyer et Bartlett)

L'analyse préliminaire a été appliquée sur les résultats physicochimiques de l'eau afin de mesurer leurs pertinences pour l'application de l'ACP et de l'AF. En recherchant la relation au sein des variables, les deux essais ont donné des résultats significatifs. Les résultats du test Kaiser Mayer est montré dans le tableau 12 avec un KMO = 0,645 (Tableau 13). Aussi, le test de sphéricité de Bartlett (Tableau 12) a montré que la valeur observée du Chi-carré (valeur observée) est inférieure à Chi-carré (valeur critique) pour $\alpha < 0,05$.

Khi² (Valeur observée)	-Inf
Khi² (Valeur critique)	765,792
DDL	703
alpha	0,05

Tableau 12. Test de sphéricité de Bartlett

Q	0,526
T°	0,614
OD	0,659
ph	0,599
Conductivié	0,691
Salinité	0,740
TDS	0,714
Turbidité	0,565
mes	0,384
dh	0,694
DCO	0,610
la DBO5	0,650
COT	0,731
CIT	0,681
CT	0,756
K	0,665
NO3	0,444
NO2	0,619
NO2-N	0,726
nh4-N	0,650
nh4+	0,686
nh3+	0,658
TNB	0,672
P2O5	0,747
PO4	0,733
P	0,713
SO4	0,542
Cr+6	0,686
Cr	0,325
Cu	0,543
Fe	0,632
Mg	0,734
Mn	0,733
Zn	0,485
ao	0,657
ab	0,632
CA+2	0,651
AL	0,229
KMO	0,645

Tableau 13. Mesure de précision de l'échantillonnage (Kaiser-Meyer-Olkin)

5.5.1. Résultats de l'Analyse Des Composantes Principales (spatiale)

Le premier facteur de l'analyse des composantes principales expliquent 68,756% de la variance totale (Tableau 14), le point 5 est situé sur la partie positive de l'axe (Tableau 16, Figure 23) influencé par (température, conductivité, salinité, TDS, la dureté, la DCO, DBO5, COT, CIT, CT, K, NO2, NH3 -N, NH4 +, NH3 +, TNB, P2O5, PO4, P, SO4, Cr + 6, Fe, Cu, Mg, MN, Oa, Ba, Ca + 2) (Tableau 12, Figure 25) , sur le côté positif du premier axe où le point 5 est située, le nitrite montre une forte corrélation avec Fe et Mn qui peut être interprété comme le résultat des eaux de ruissellement (lessivage des sols) et les dépôts atmosphériques, l'azote ammoniacal et de l'azote total ont également une charge positif sur cet axe et montre une forte corrélation avec DCO, DBO5, le COT, le TIC et le TC qui peut montrer que l'origine de ces éléments est la matière organique est les effluents municipaux ces éléments montrent également une forte corrélation (Tableau 17) avec la dureté, K, P2O5, P04, P, Mg et CA + 2 ce qui peut indiquer que leur origine est les engrais (eaux de drainage), l'influence de calcium dans cet axe peut être le résultat du processus d'échange de cations, il peut aussi être résultant de l'application d'engrais azotés. Le côté négatif de l'axe où la station 1 est située (Tableau 16), est l'influencé par des deux éléments (Tableau 15), l'oxygène dissous montrant la bonne qualité de l'eau, et le cuivre résultant de lessivage des sols et des eaux de ruissellement.

Le deuxième facteur explique 20.103% de la variance totale (Tableau 14), la station 2 se situe sur le côté négatif de l'axe(Tableau 16, Figure 24), influencée par (pH, turbidité, MES, N02-N) (Figure 25,Tableau 15), NO2-N montre une forte corrélation avec PH (0,973) et avec MN et Fe qui peut indiquer que les sources de ces éléments sont les dépôts atmosphériques, les eaux de ruissellement, le lessivage des sols, ces sources sont aussi à l'origine de la turbidité et des matières en suspension, ces deux éléments montrent une forte corrélation entre eux (0,948) (Tableau 17), et montrent des valeurs très élevées pendant la saison humide et des valeurs faibles pendant la saison sèche qui indique que l'érosion du sol est probablement la principale source, en sachant que le bassin versant de la station 2 est peu urbanisée ce qui augmente les apports solides, le côté positif de cet axe est influencée par seulement trois éléments, le chrome, le zinc et le débit, l'origine de

ces éléments peut être les eaux ruissellement de la bidonville (la nature des matériaux de construction), est à noter que les deux autres facteurs (facteur 3 et le facteur 4) explique une petite portion de la variance totale, 6,718% et 4,423% respectivement; station 3 se situe sur le côté négatif du facteur 3 et la station 4 se trouvent sur le côté positif du facteur 4, sans avoir des éléments principaux qui peuvent caractérisé la pollution dans ces points d'échantillonnage.

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	26,127	7,639	2,553	1,681
Variabilité (%)	68,756	20,103	6,718	4,423
Cumulé (%)	68,756	88,859	95,577	100,000

Tableau 14. Valeurs propres des facteurs

	F1	F2	F3	F4
Q	0,425	0,537	0,001	0,037
T°	0,556	0,314	0,128	0,002
OD	0,825	0,155	0,019	0,002
ph	0,327	0,625	0,045	0,002
conductivité	0,988	0,004	0,001	0,007
Salinité	0,985	0,010	0,004	0,001
TDS	0,877	0,120	0,002	0,000
Turbidité	0,205	0,570	0,218	0,008
MES	0,036	0,601	0,299	0,063
DH	0,815	0,175	0,004	0,007
DCO	0,736	0,139	0,019	0,105
LA DBO5	0,931	0,032	0,001	0,036
COT	0,688	0,307	0,002	0,003
CIT	0,957	0,035	0,000	0,008
CT	0,878	0,121	0,000	0,000
K	0,876	0,100	0,003	0,020
NO3	0,244	0,125	0,553	0,078
NO2	0,574	0,287	0,136	0,002
NO2-N	0,484	0,514	0,001	0,001
NH4-N	0,957	0,001	0,002	0,039
NH4+	0,966	0,023	0,002	0,009
NH3+	0,971	0,008	0,005	0,016
TNB	0,883	0,074	0,041	0,003
P2O5	0,989	0,000	0,010	0,001
PO4	0,968	0,028	0,001	0,003
P	0,940	0,052	0,008	0,000
SO4	0,610	0,003	0,012	0,376
CR+6	0,838	0,081	0,049	0,031
CR	0,002	0,912	0,002	0,083

CU	0,510	0,444	0,005	0,040
FE	0,763	0,188	0,037	0,012
MG	0,929	0,065	0,003	0,004
MN	0,808	0,168	0,024	0,000
ZN	0,197	0,495	0,288	0,020
AO	0,879	0,030	0,022	0,069
AB	0,709	0,089	0,120	0,081
CA+2	0,721	0,120	0,115	0,044
AL	0,078	0,086	0,369	0,468

Tableau 15.Cosinus carrés des variables

N.B : Pour le tableau 14 les valeurs en gras correspondent pour chaque variable au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand.

	F1	F2	F3	F4
Q	0,652	0,733	0,027	0,193
T°	0,745	-0,560	-0,358	-0,049
OD	-0,908	-0,393	-0,136	-0,040
ph	0,572	-0,791	-0,213	0,044
conductivité	0,994	0,061	0,028	-0,085
Salinité	0,993	0,101	0,061	-0,032
TDS	0,937	0,347	0,050	0,002
Turbidité	0,452	-0,755	0,467	0,089
MES	0,191	-0,775	0,547	0,251
DH	0,903	0,418	-0,061	0,081
DCO	0,858	0,373	-0,139	0,324
LA DBO5	0,965	0,178	0,031	0,191
COT	0,830	0,554	-0,046	-0,050
CIT	0,978	-0,187	0,008	-0,087
CT	0,937	0,348	-0,013	-0,019
K	0,936	0,316	-0,058	0,143
NO3	0,494	-0,354	0,744	0,279
NO2	0,758	-0,536	-0,369	-0,049
NO2-N	0,696	-0,717	-0,032	0,032
NH4-N	0,979	0,037	0,043	-0,198
NH4+	0,983	0,151	0,044	-0,097
NH3+	0,985	-0,089	-0,073	-0,126
TNB	0,939	0,273	0,201	0,051
P2O5	0,995	0,009	0,100	-0,029
PO4	0,984	-0,167	0,036	-0,055
P	0,970	0,227	0,090	0,004
SO4	0,781	0,053	0,108	-0,613
CR+6	0,915	0,285	-0,222	0,177
CR	-0,046	0,955	-0,048	0,289

CU	-0,714	0,666	0,074	0,200
FE	0,873	-0,433	-0,193	-0,111
MG	0,964	0,255	-0,050	0,061
MN	0,899	-0,410	-0,155	0,005
ZN	-0,444	0,704	0,537	-0,140
AO	0,938	-0,174	0,147	0,262
AB	0,842	-0,298	0,347	0,285
CA+2	0,849	0,347	-0,339	-0,209
AL	-0,279	-0,293	-0,607	0,684

Tableau 16. Corrélations entre les variables et les facteurs

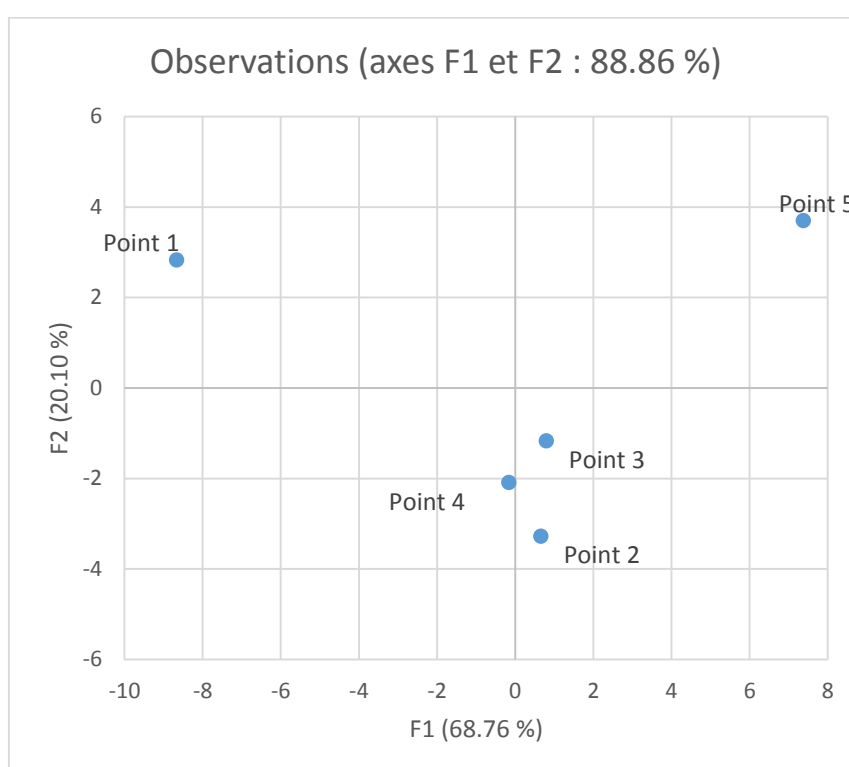


Figure 24. Positionnement des points de prélèvement par rapport aux facteurs

L'application de l'ACP sur l'ensemble des données a fourni des informations très importantes concernant la pollution spatiale dans la rivière urbaine; la variation temporelle est dominée par la station 1 et la station 5, où la majorité des valeurs extrêmes appartient.

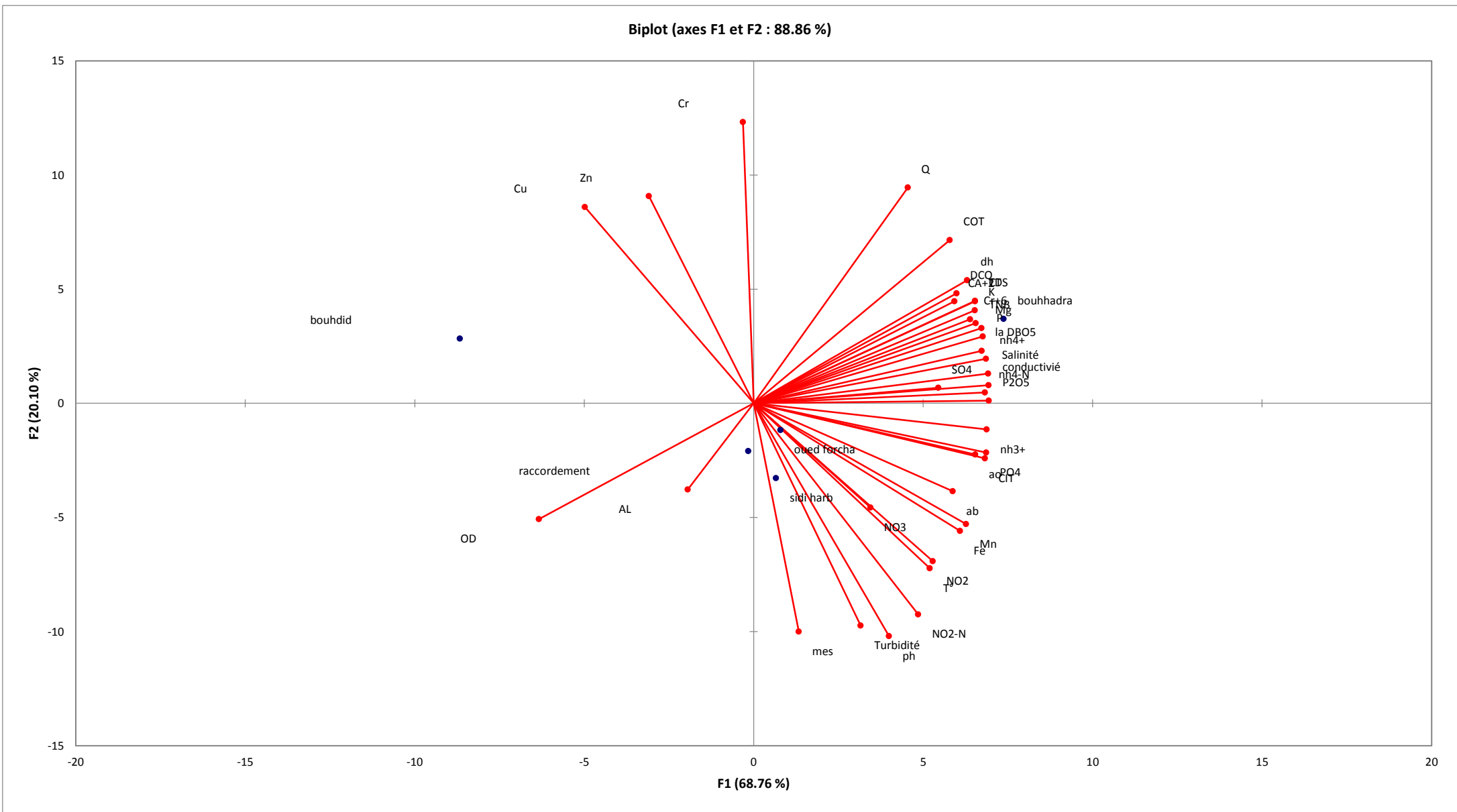


Figure 25. Positionnement des variables par rapport aux facteurs

5.5.2. Résultats de l'analyse des composantes principales (temporelle)

Visant une meilleure compréhension de la nature de la pollution dans les deux stations 3 et 4, l'ACP a été appliquée à l'ensemble de données temporelle de chaque station séparément (cinq points de prélèvement), remarquant que pour les stations 2 et 3 le mois de Septembre explique la plus grande portion de la variance totale 51,91% et 50,82% respectivement influencée par les mêmes éléments (turbidité, MES, Cr + 6, Cu + 2, Fe + 2, Mn + 2) qui peut être interprété comme le résultat de lessivage des sols, eaux de ruissellements après la saison sèche (le premier flux de polluants) en Algérie la première pluie arrive en Septembre (le début de l'année hydrologique). Pour la station 3 la variance de la pollution est également influencée par (NO₂, NO₂-N 0, AL + 3, Zn + 2) et le NO₂ NO₂-N montre une corrélation négative avec DCO ($R < -0,643$) qui peut montrer que les sources de ces éléments sont, les dépôts atmosphériques, eaux de ruissellement, le lessivage des sols. Le mois de Mars explique la majeure partie de la variation temporelle de la station 4 (canal Kef N'sour) avec un pourcentage de 57,07% influencé par (SO₄⁻, Q) l'origine des sulfates est l'érosion des sols, en sachant que deux sur les trois bassins versants drainé par la station 4 sont peu urbanisés, le bassin versant de la station 2 (la surface imperméable totale 11,38%) et le bassin versant de la station 1 (la surface imperméable totale 1,91 %).

Variables	T°	DO	conductivity	Salinity	TDS	Hardness	COD	BOD5	TOC	TIC	TC	K	NO2	nh3-N	nh4+	nh3+	TNB	P2O5	PO4	P	SO4	Cr+6	Cu	Fe	Mg	Mn	oa	ba	CA+2
T°	1	-0,406	0,701	0,663	0,486	0,457	0,464	0,599	0,327	0,835	0,509	0,535	1,000	0,703	0,637	0,816	0,473	0,702	0,817	0,563	0,544	0,593	-0,942	0,968	0,590	0,955	0,731	0,657	0,570
DO	-0,406	1	-0,928	-0,948	-0,994	-0,979	-0,920	-0,958	-0,963	-0,813	-0,986	-0,972	-0,425	-0,901	-0,954	-0,845	-0,990	-0,920	-0,831	-0,983	-0,721	-0,921	0,369	-0,592	-0,971	-0,634	-0,814	-0,706	-0,853
conductivity	0,701	-0,928	1	0,997	0,954	0,915	0,845	0,955	0,862	0,969	0,954	0,936	0,714	0,993	0,996	0,983	0,952	0,994	0,973	0,980	0,834	0,906	-0,684	0,846	0,967	0,864	0,904	0,805	0,874
Salinity	0,663	-0,948	0,997	1	0,968	0,932	0,871	0,971	0,878	0,955	0,965	0,953	0,677	0,984	0,996	0,969	0,971	0,995	0,963	0,991	0,806	0,918	-0,644	0,815	0,977	0,841	0,914	0,818	0,864
TDS	0,486	-0,994	0,954	0,968	1	0,988	0,927	0,967	0,967	0,852	0,998	0,984	0,505	0,931	0,975	0,888	0,985	0,939	0,865	0,991	0,754	0,946	-0,434	0,658	0,989	0,692	0,826	0,703	0,898
Hardness	0,457	-0,979	0,915	0,932	0,988	1	0,965	0,959	0,979	0,798	0,991	0,992	0,479	0,880	0,940	0,847	0,954	0,893	0,812	0,965	0,671	0,974	-0,355	0,610	0,985	0,650	0,786	0,637	0,916
COD	0,464	-0,920	0,845	0,871	0,927	0,965	1	0,952	0,909	0,740	0,930	0,976	0,485	0,783	0,862	0,782	0,896	0,834	0,759	0,905	0,476	0,980	-0,310	0,579	0,949	0,641	0,804	0,655	0,838
BOD5	0,599	-0,958	0,955	0,971	0,967	0,959	0,952	1	0,888	0,894	0,962	0,985	0,614	0,914	0,958	0,909	0,971	0,959	0,910	0,980	0,649	0,961	-0,530	0,738	0,985	0,790	0,928	0,825	0,831
TOC	0,327	-0,963	0,862	0,878	0,967	0,979	0,909	0,888	1	0,712	0,972	0,947	0,351	0,840	0,902	0,778	0,918	0,827	0,725	0,926	0,703	0,919	-0,237	0,499	0,940	0,525	0,662	0,503	0,923
TIC	0,835	-0,813	0,969	0,955	0,852	0,798	0,740	0,894	0,712	1	0,853	0,844	0,843	0,968	0,942	0,991	0,865	0,975	0,999	0,907	0,809	0,825	-0,841	0,944	0,889	0,954	0,928	0,858	0,781
TC	0,509	-0,986	0,954	0,965	0,998	0,991	0,930	0,962	0,972	0,853	1	0,985	0,529	0,933	0,975	0,896	0,972	0,934	0,864	0,986	0,760	0,957	-0,442	0,672	0,991	0,701	0,811	0,675	0,925
K	0,535	-0,972	0,936	0,953	0,984	0,992	0,976	0,985	0,947	0,844	0,985	1	0,554	0,897	0,951	0,881	0,961	0,924	0,858	0,975	0,654	0,985	-0,434	0,676	0,994	0,722	0,852	0,715	0,894
NO2	1,000	-0,425	0,714	0,677	0,505	0,479	0,485	0,614	0,351	0,843	0,529	0,554	1	0,715	0,652	0,827	0,489	0,713	0,824	0,579	0,553	0,614	-0,935	0,970	0,609	0,958	0,736	0,656	0,593
nh4-N	0,703	-0,901	0,993	0,984	0,931	0,880	0,783	0,914	0,840	0,968	0,933	0,897	0,715	1	0,988	0,983	0,928	0,983	0,969	0,960	0,892	0,862	-0,711	0,852	0,938	0,857	0,866	0,771	0,870
nh4+	0,637	-0,954	0,996	0,996	0,975	0,940	0,862	0,958	0,902	0,942	0,975	0,951	0,652	0,988	1	0,964	0,968	0,986	0,948	0,991	0,840	0,916	-0,617	0,795	0,978	0,814	0,876	0,770	0,892
nh3+	0,816	-0,845	0,983	0,969	0,888	0,847	0,782	0,909	0,778	0,991	0,896	0,881	0,827	0,983	0,964	1	0,880	0,976	0,989	0,928	0,834	0,871	-0,794	0,927	0,923	0,933	0,896	0,795	0,857
TNB	0,473	-0,990	0,952	0,971	0,985	0,954	0,896	0,971	0,918	0,865	0,972	0,961	0,489	0,928	0,968	0,880	1	0,955	0,883	0,991	0,739	0,902	-0,465	0,658	0,968	0,702	0,877	0,794	0,813
P2O5	0,702	-0,920	0,994	0,995	0,939	0,893	0,834	0,959	0,827	0,975	0,934	0,924	0,713	0,983	0,986	0,976	0,955	1	0,982	0,975	0,806	0,886	-0,703	0,849	0,954	0,875	0,938	0,861	0,820
PO4	0,817	-0,831	0,973	0,963	0,865	0,812	0,759	0,910	0,725	0,999	0,864	0,858	0,824	0,969	0,948	0,989	0,883	0,982	1	0,919	0,797	0,835	-0,823	0,931	0,900	0,947	0,942	0,875	0,777
P	0,563	-0,983	0,980	0,991	0,991	0,965	0,905	0,980	0,926	0,907	0,986	0,975	0,579	0,960	0,991	0,928	0,991	0,975	0,919	1	0,777	0,933	-0,534	0,731	0,988	0,765	0,884	0,781	0,871
SO4	0,544	-0,721	0,834	0,806	0,754	0,671	0,476	0,649	0,703	0,809	0,760	0,654	0,553	0,892	0,840	0,834	0,739	0,806	0,797	0,777	1	0,598	-0,638	0,706	0,723	0,661	0,578	0,505	0,773
Cr+6	0,593	-0,921	0,906	0,918	0,946	0,974	0,980	0,961	0,919	0,825	0,957	0,985	0,614	0,862	0,916	0,871	0,902	0,886	0,835	0,933	0,598	1	-0,445	0,699	0,977	0,741	0,823	0,659	0,915
Cu	-0,942	0,369	-0,684	-0,644	-0,434	-0,355	-0,310	-0,530	-0,237	-0,841	-0,442	-0,434	-0,935	-0,711	-0,617	-0,794	-0,465	-0,703	-0,823	-0,534	-0,638	-0,445	1	-0,949	-0,510	-0,926	-0,722	-0,718	-0,443
Fe	0,968	-0,592	0,846	0,815	0,658	0,610	0,579	0,738	0,499	0,944	0,672	0,676	0,970	0,852	0,795	0,927	0,658	0,849	0,931	0,731	0,706	0,699	-0,949	1	0,734	0,992	0,837	0,766	0,680
Mg	0,590	-0,971	0,967	0,977	0,989	0,985	0,949	0,985	0,940	0,889	0,991	0,994	0,609	0,938	0,978	0,923	0,968	0,954	0,900	0,988	0,723	0,977	-0,510	0,734	1	0,770	0,868	0,735	0,911
Mn	0,955	-0,634	0,864	0,841	0,692	0,650	0,641	0,790	0,525	0,954	0,701	0,722	0,958	0,857	0,814	0,933	0,702	0,875	0,947	0,765	0,661	0,741	-0,926	0,992	0,770	1	0,893	0,827	0,673
oa	0,731	-0,814	0,904	0,914	0,826	0,786	0,804	0,928	0,662	0,928	0,811	0,852	0,736	0,866	0,876	0,896	0,877	0,938	0,942	0,884	0,578	0,823	-0,722	0,837	0,868	0,893	1	0,967	0,631
ba	0,657	-0,706	0,805	0,818	0,703	0,637	0,655	0,825	0,503	0,858	0,675	0,715	0,656	0,771	0,770	0,795	0,794	0,861	0,875	0,781	0,505	0,659	-0,718	0,766	0,735	0,827	0,967	1	0,435
CA+2	0,570	-0,853	0,874	0,864	0,898	0,916	0,838	0,831	0,923	0,781	0,925	0,894	0,593	0,870	0,892	0,857	0,813	0,820	0,777	0,871	0,773	0,915	-0,443	0,680	0,911	0,673	0,631	0,435	1

Tableau 17. Matrice de corrélation de Person

5.6. Application de l'analyse factorielle

L'analyse factorielle a été utilisée pour amplifier le rôle des substances chimiques les plus dominantes précédemment identifiés dans la composition de ces eaux (tableau 20), test de terrain d'éboulis (scree plot test, figure 26) a permis de déterminer le nombre de facteurs ACP utilisés dans l'application l'analyse factorielle.

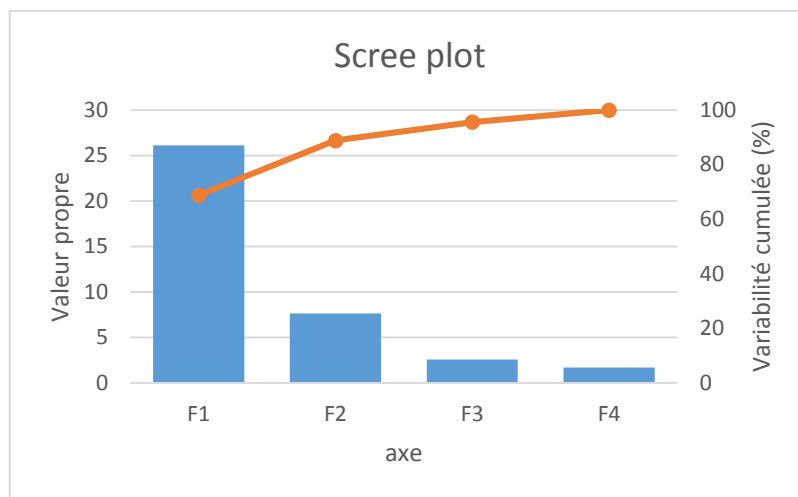


Figure 26. Scree plot test

Quatre facteurs varimax ont été obtenus par rotation varimax (Tableau 18), le premier facteur de varimax explique 83,399% de la variance (Tableau 20, Figure 28), est fortement et positivement influencé (> 0,7) par (conductivité, salinité, TDS, la dureté, la DCO, DBO5, COT, TC, K, NH₃ -N, NH₄ +, TNB, P₂O₅, P, SO₄, Cr +6, Mg, Ca +2) ces éléments ont des sources naturelles (érosion des sols), des sources de pollution ponctuelles, le rejet des eaux usées non épurées, et des sources de pollution non ponctuelles, drainage des terres agricoles et les eaux de ruissellement. Les sources de pollution ponctuelles et non ponctuelles sont à l'origine des nutriments, des matières organiques et des métaux lourds. Identique aux résultats de l'ACP le point 5 se situe sur cette partie de l'axe (Figure 27). Le même premier facteur est négativement influencé par l'oxygène dissous, la saturation 1 se situe sur cette partie. Le 2^{ème} et la 3^{ème} et 4^{ème} Vérificateurs explique une petite partie de la variation totale, 10,871%, 2,314%, 1,905%, respectivement. Les

stations 2, 3 et 4 se situent sur la partie positive du deuxième facteur (10,871 % de la variance totale), il est positivement influencé par (T° , CIT, NO_2 , Nh^{3+} , PO_4 , Fe^{+2} , Mn^{+2} , ab), l'origine de ces éléments est les eaux usées domestiques et le lessivage des sols. La température de ces eaux est élevée car les points de prélèvements se situent dans des zones où l'urbanisation est dense (l'effet d'îlot).

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	24,186	3,137	0,671	0,553
Variabilité (%)	83,399	10,817	2,314	1,905
% cumulé	83,399	94,216	96,530	98,435

Tableau 18. Valeurs propres des facteurs

Observation	F1	F2
Bouhdid	-1,628	-1,147
Sidi Harb	0,011	0,831
Canal de ceinture	0,151	0,779
Canal Kef N'sour	-0,055	0,821
Oued Boudjema	1,521	-1,283

Tableau 19. Coordonnées des observations

N.B : Pour tableau 19 les valeurs en gras correspondent pour chaque observation au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand.

	F1	F2
T°	0,712	0,642
OD	-0,930	0,356
conductivité	0,997	0,009
Salinité	0,997	-0,043
TDS	0,957	-0,291
dh	0,929	-0,356
DCO	0,877	-0,327
la DBO5	0,971	-0,147
COT	0,866	-0,474
CIT	0,965	0,255
CT	0,959	-0,279
K	0,955	-0,263
NO2	0,726	0,620
nh4-N	0,979	0,046
nh4+	0,991	-0,080
nh3+	0,980	0,177
TNB	0,950	-0,245
P2O5	0,991	0,041
PO4	0,971	0,227
P	0,981	-0,177
SO4	0,775	0,062
Cr+6	0,932	-0,210
Cu	-0,672	-0,739
Fe	0,848	0,524
Mg	0,980	-0,192
Mn	0,873	0,480
ao	0,914	0,160
ab	0,801	0,227
CA+2	0,873	-0,192

Tableau 20. Coordonnées factorielles

	D1	D2
T°	0,199	0,938
OD	-0,961	-0,259
conductivité	0,801	0,593
Salinité	0,831	0,551
TDS	0,945	0,327
dh	0,961	0,258
DCO	0,901	0,251
la DBO5	0,872	0,452
COT	0,979	0,125
CIT	0,631	0,774
CT	0,940	0,338
K	0,927	0,349
NO2	0,223	0,928
nh4-N	0,765	0,613
nh4+	0,849	0,518
nh3+	0,689	0,720
TNB	0,913	0,360
P2O5	0,778	0,616
PO4	0,652	0,754
P	0,898	0,434
SO4	0,590	0,506
Cr+6	0,878	0,379
Cu	-0,110	-0,993
Fe	0,378	0,923
Mg	0,905	0,420
Mn	0,424	0,902
ao	0,645	0,667
ab	0,515	0,654
CA+2	0,819	0,357

Tableau 20. Coordonnées factorielles après rotation Varimax

N.B : Les valeurs en gras correspondent pour chaque variable au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand

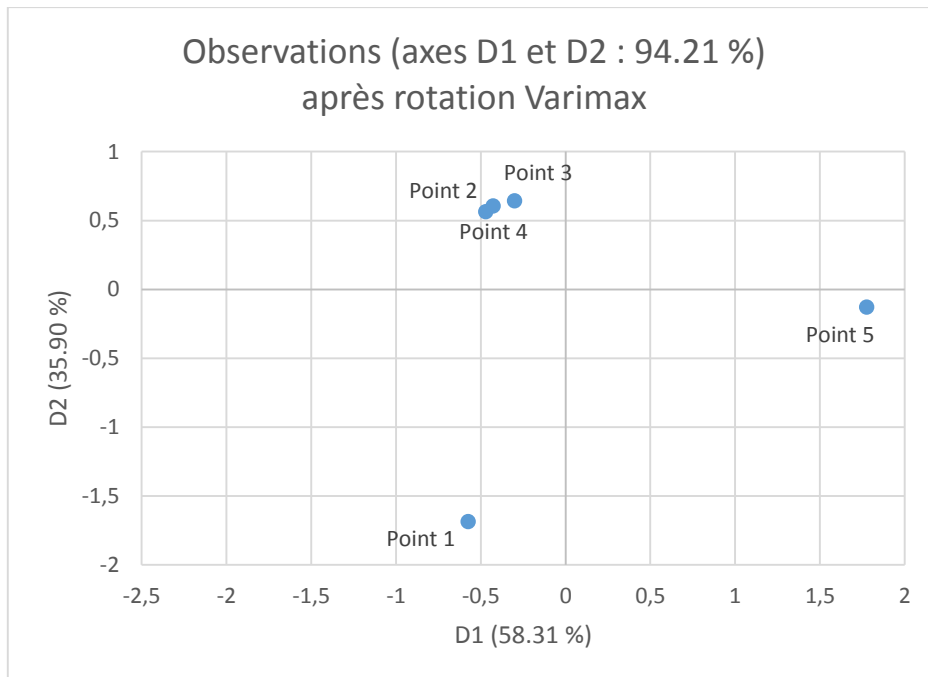


Figure 27. Positionnement des points de prélèvements par rapport aux Varimax

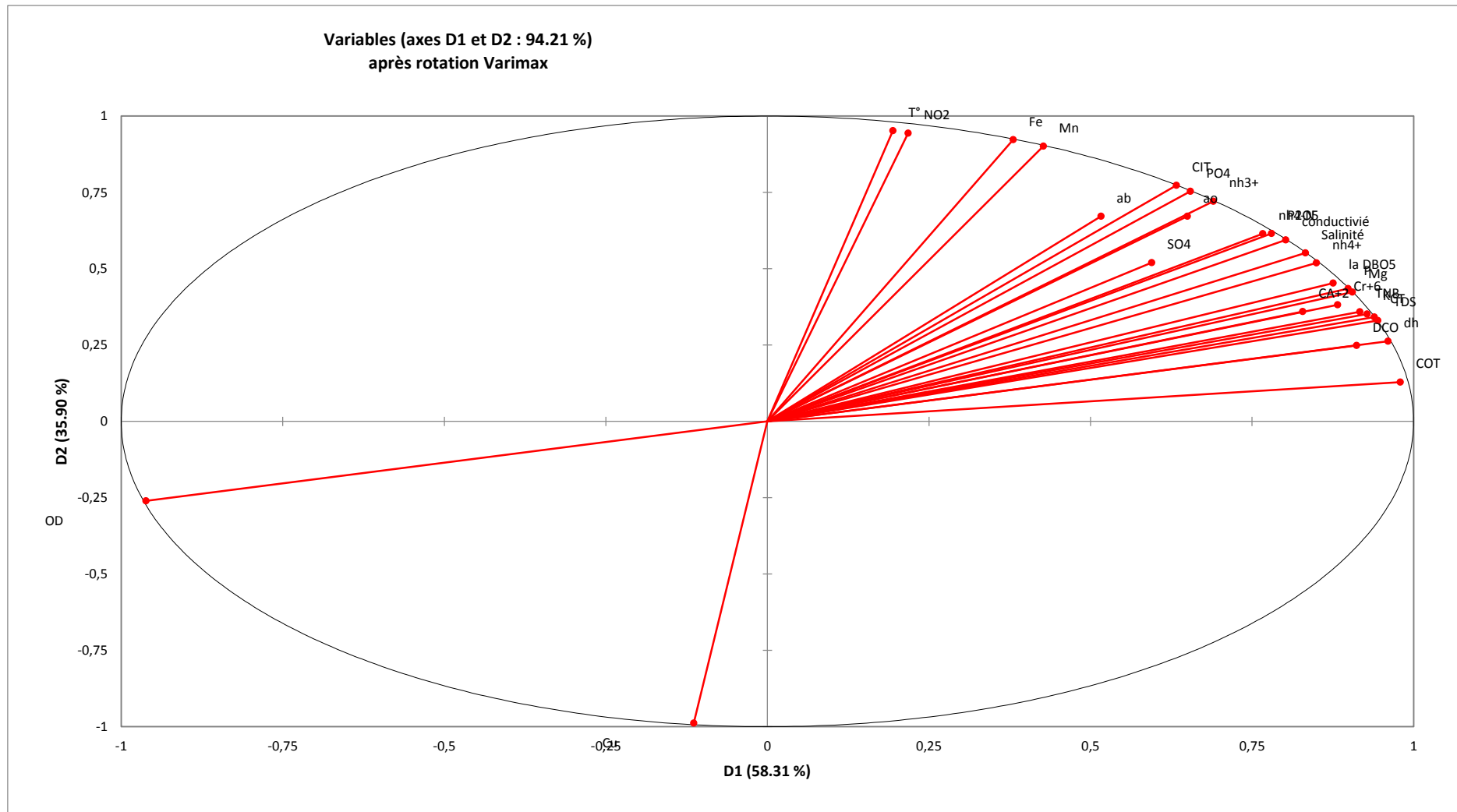


Figure 28. Positionnement des variables par rapport aux Varimax

5.7. Application de l'analyse de cluster

En utilisant La classification ascendante hiérarchique (CAH) trois groupes ont été trouvés (Figure 29, Tableau 21), l'un des trois groupes contient uniquement le point 1, la qualité des eaux dans la station Bouhdid (point 1) est la meilleur parmi les cinq points d'échantillonnage, et la distance euclidienne entre le point 1 et les quatre autres points d'échantillonnage est la plus longue (tableau 21).

Le point 5 est la station d'échantillonnage la plus polluée (Eaux usées domestiques et agricole) et elle est inclus dans le second groupe. Le troisième groupe contient: Le point 2, points 3 et 4, les trois stations sont caractérisées par le même type de pollution (eaux usées principalement domestique). La distance euclidienne (tableau 20) est plus étroite entre les points 3 et 4 que le point 2, qui est justifiée par la différence dans le taux d'urbanisation entre les bassins versants drainés par les points. Les résultats sont présentés dans un dendrogramme (Figure 29).

Distance euclidienne	Bouhdid	sidi Harb	Canal de ceinture	Canal de Kef N'sour	Boudjema
Bouhdid	0	10,152	9,532	9,217	14,374
sidi Harb	10,152	0	4,368	4,622	8,881
Canal de ceinture	9,532	4,368	0	3,926	7,807
Canal de Kef N'sour	9,217	4,622	3,926	0	8,881
Boudjema	14,374	8,881	7,807	8,881	0

Tableau 21. Matrice de proximité (Distance euclidienne)

	1 (Bouhdid)	2 (Sidi Harb)	3 (Oued Boudjema)
1 (Bouhdid)	0	327,039	615,082
2 (Sidi Harb)	327,039	0	323,357
3 (Oued Boudjema)	615,082	323,357	0

Tableau 22. Distances entre les objets centraux

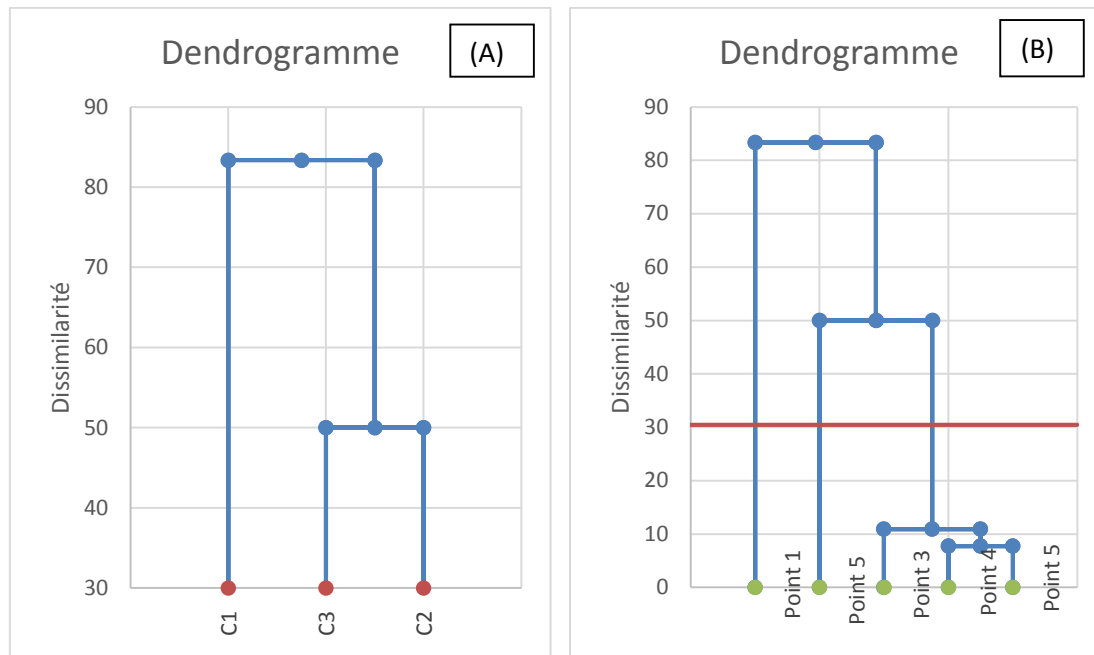


Figure 29. Dendrogramme des groupes révélé par la classification ascendante hiérarchique «méthode de Ward»

Les résultats de la classification Hiérarchique Ascendante correspondent aux résultats de l'indice l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie et de l'indice Lisec (Chapitre 4), juste en ce qui concerne le nombre de groupes et non leurs constitutions. Les points d'échantillonnage ont été divisés en trois groupes. Les différences de résultats entre les deux méthodes utilisées (les indices de pollution et la CAH) sont liées au point 2, point 3, point 4 et le point 5. Même si les résultats obtenus par les indices de pollution, classent les quatre points échantillonnage dans le même groupe, les valeurs trouvées pour le point 2, points 3 et 4 sont très proches par rapport à la valeur obtenue pour le point 5, qui est expliqué par le type de rejets dans chaque point de prélèvement, ces résultats confirment l'exactitude des outils statistiques.

Les résultats des deux méthodes utilisées, les indices de pollution et la Classification Hiérarchique Ascendante ont montré que la variation de la qualité de l'eau est basée sur le type de rejets et la nature du bassin versant drainé (urbanisés ou péri urbanisé). Les indices de pollution sont des techniques simples pour évaluer la qualité de l'eau et nécessitent peu de données mais leur efficacité reste limitée par rapport à d'autres techniques plus sophistiquées tels que la Classification

Hiérarchique Ascendante. Dans notre étude, les indices de pollution ont indiqué l'état de la pollution dans chaque point de prélèvement, sans pouvoir compter sur leurs résultats pour classer l'ensemble des points d'échantillonnage avec précision.

5.8. Conclusion

Les résultats de l'analyse des composantes principales ont montré que la variation de qualité d'eau a été expliquée par des sources naturelles (érosion des sols), des sources de pollution ponctuelles et des sources de pollution non ponctuelles (nutriments, les matières organiques, métaux lourds). 29 éléments des 38 originaux expliquent 68,76% de la variation totale de la qualité de l'eau, en utilisant la méthode d'analyse en composante principale, le pourcentage de réduction des données est par 23,68%, ce qui signifie que 76,32% des données sont encore nécessaires pour évaluer la qualité de l'eau.

19 éléments des 38 originaux expliqués 83,40% de la variation totale de la qualité de l'eau en utilisant l'analyse factorielle (PCA / FA), le pourcentage de réduction des données est de 50%, ce qui signifie que la moitié des données initiales est suffisante pour évaluer la qualité des eaux.

Les résultats de l'analyse factorielle ont montrées que les points de prélèvements 2, 3 et 4 se positionnent sur le même axe et représentent les mêmes types de polluants, cela peut être expliqué par la nature semblable des eaux rejetées, principalement des eaux usées domestique. En cherchant une meilleure compréhension des similarités des caractéristiques des eaux dans les points d'échantillonnages, le lien entre le taux d'urbanisation et la pollution des eaux a été étudié dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 6

L'imperméabilisation des surfaces et la qualité de l'eau

6.1. Introduction

L'urbanisation des bassins versants a gravement influencé l'environnement tout en dégradant la qualité de l'eau. L'urbanisation est responsable de l'imperméabilisation des surfaces naturelles par la construction des logements, des parkings, des routes.....etc. Ce processus augmente les quantités d'eau drainées par les cours d'eau, ainsi la charge polluante est plus importante. Les deux paramètres utilisés pour évaluer l'influence de l'urbanisation sur la qualité d'eau sont la surface imperméable totale et la surface imperméable efficace.

Dans ce chapitre on introduit ces deux notions de l'hydrologie urbaine, toute en expliquant la méthode utilisée pour les estimées ainsi que les résultats trouvées et leurs interprétation.

6.2. Littérature sur les surfaces imperméables et la qualité de l'eau

Les surfaces imperméables ont pendant de nombreuses années été reconnu comme un indicateur de l'intensité de l'environnement urbain et, avec la croissance de l'étalement urbain, elles sont devenues une question clé dans la santé de l'habitat. Bien que de nombreuses recherches aient été faites afin de définir des seuils d'imperméabilisation pour la dégradation de la qualité de l'eau, il y a un certain nombre de défauts dans les hypothèses et les méthodologies utilisées, dont le raffinement des méthodologies et les paramètres pris en considération. Ces études ont pour objectif, une planification du développement des bassins versants, avec un équilibre entre surface perméable et surfaces imperméables (Brabec et al., 2002).

Pendant de nombreuses années, les surfaces imperméables ont été reconnues comme un indicateur de l'intensité de l'environnement urbain (Booth et al 1991). Avec l'étalement urbain, les surfaces imperméables sont devenues aussi une question clé dans la gestion de la croissance et la planification des bassins versants en raison de leur impacts sur la santé de l'habitat (Donald et al., 2001, DeFries et al., 2004). L'urbanisation croissante a entraîné une augmentation des quantités de surfaces imperméables (routes, parkings, toits, ...etc.) et une diminution de la

quantité de terres boisées, les zones humides, et d'autres formes d'espace ouvert qui absorbent les eaux pluviales dans le système naturel (Barbec et al., 2009). Barbec (2002) ainsi que les auteurs au sein de son article (Morisawa et LaFlure 1979; Arnold et al. 1982; Bannerman et al. 1993), ont trouvé que la modification de la nature des surfaces a provoqué des changements importants à la qualité et la quantité des eaux de ruissellement, conduisant à des cours d'eau et des bassins versants dégradés: une augmentation de la quantité des eaux pluviales pour les systèmes de cours d'eau à absorber, sédimentation, et une charge accrue de polluants véhiculé par les eaux pluviales.

Bien que la valeur de l'étanchéité comme indicateur de planification pour la qualité de l'eau, ait eu un soutien important dans la littérature, les implications et les seuils d'utilisation des terres ainsi que la prise de décision sont beaucoup plus complexes que de miser sur un seuil de surface imperméable spécifique (Barbec et al., 2002).

6.2.1. Les facteurs influençant la qualité de l'eau

De nombreux facteurs contribuent à la qualité d'un flux et la façon dont elle est affectée par des surfaces imperméables. Le flux est tributaires de cinq variables: le climat, la géologie, les sols, l'utilisation des terres et de la végétation (Booth et al., 1991, Brabec et al., 2002, Walsh et al., 2005 a, b). Ces variables du premier ordre affectent directement les facteurs de deuxième ordre de la décharge et charge sédimentaire, qui à son tour possède un impact sur l'hydrologie et la morphologie des cours d'eau. Parmi ces variables, l'utilisation des terres et la végétation sont les seules variables sur lesquelles l'homme a un contrôle direct, soulignant leur importance primaire dans le processus de planification de l'utilisation des terres. En effet, Brabec (2002) et les auteurs au sein de son travail identifient les changements dans l'utilisation des terres hautes comme critiques dans la détermination de la qualité globale de flux, la dégradation et la réhabilitation potentiel, constatant que même avec les meilleurs efforts de l'atténuation des dommages du système aquatique en aval est probablement inévitable sans limiter l'étendue de l'aménagement du bassin versant lui-même. C'est ce changement dans

le système hydrologique qui est la clé dans l'aménagement du territoire pour la santé des bassins versants.

Pour développer une compréhension plus large de l'utilisation des terres des facteurs importants doivent être examinés dans la planification des bassins versants.

6.2.1.1. Le seuil de l'imperméabilisation

Walsh (2005, a) a défini quatre critères comme indicateur important de la qualité de l'environnement :

- Malgré que la surface imperméable ne génère pas directement la pollution, un lien très fort a été trouvé entre la surface imperméable et les changements hydrologiques dégradant la qualité d'eau,
- Une surface imperméable est une caractéristique de l'urbanisation,
- Les surfaces imperméables empêchent la transformation naturelle des polluants par la percolation,
- Les surfaces imperméables véhiculent les polluants dans les cours d'eau à travers la tuyauterie d'eaux pluviales.
- Du point de vue de la planification, le plus important est la quantification numérique de l'impact de l'imperméabilité sur la qualité des flux et le niveau de seuil à laquelle les impacts sur la qualité de l'eau se produisent (Barbec et al., 2002, Walsh et al., 2009). Selon Booth et Jackson (1997), Les caractéristiques chimique, physique et biologique des flux changent en fonction de la croissance de l'urbanisation en état continu plutôt qu'en mode de seuil et que la dégradation de qualité de l'eau commence à de très faibles niveaux de développement urbain.

Généralement, il n'est pas possible pour tous les flux dans un bassin versant d'être maintenue à des niveaux biotiques élevés, donc une compréhension du continuum des impacts sur la qualité de l'eau est essentiel pour répondre aux différents objectifs de qualité de l'eau de l'aménagement des surfaces (Walsh et al., 2000).

Plusieurs travaux ont défini des relations entre la qualité de l'eau et les seuils d'imperméabilisation (Booth et al., 1991, Walsh et al., 2000, 2005 a, b and 2009) Donald et al., 2001, Brabec et al., 2002 et 2009, DeFries et al., 2004). Selon Booth et Jackson (1997) d'un seuil inférieur à 10% de la surface du bassin versant, les premiers signes de la dégradation apparaissent, à 30% la dégradation devient grave et presque inévitable.

Cela conduit à un classement de la santé des cours d'eau, qui peut être caractérisée par l'absence de l'impact sur la qualité d'eau à moins de 10% de la surface imperméable, on peut dire qu'elle est protégée, influencée de 10% à 30% de la surface imperméables et dégradée de plus de 30% de surface imperméable. Pour définir un seuil de l'imperméabilité ou un continuum des impacts sur la qualité de l'eau, il est nécessaire de revoir les conclusions scientifiques relatives à l'imperméabilité en fonction de courant et de la qualité de l'eau. Cela est difficile en raison à la vaste gamme d'approches et de méthodologies pour définir les deux paramètres dans l'équation : imperméabilité et dégradation. Dans la définition du niveau d'imperméabilité, une étude particulière en corrélation avec un niveau de dégradation, il existe deux grands défauts méthodologiques:

- (1) la méthodologie pour définir le facteur déterminant, le pourcentage d'imperméabilité par l'utilisation des terres, varie entre les études, avec le pourcentage de l'urbanisation souvent assimilée au pourcentage d'imperméabilité;
- (2) le plus grand nombre des études ne font pas de distinction entre la surface imperméable totale et la surface imperméable efficace.

En ce qui concerne l'autre moitié de l'équation, la dégradation, les analyses doivent utiliser les deux mesures biotiques et abiotiques pour déterminer l'impact sur le flux, soit un seuil unique de la dégradation difficile à déterminer.

Ces trois issues sont :

- (1) la méthodologie de définition de la surface imperméable
- (2) surface imperméable total par rapport à la surface imperméable efficace.
- (3) les mesures d'impact sur le flux

6.2.1.2. Méthode de détermination de pourcentage d'imperméabilité pour l'utilisation des terres

D'après Brabec (2002), la relation entre l'utilisation des terres et le taux de surface imperméable a été introduite en domaine d'hydrologie urbaine pendant les années soixante-dix (1970), dans les premières recherches, l'imperméabilité a été évaluée par quatre manières :

- (1) identifier les zones imperméables sur la photographie aérienne et mesurer chaque zone à l'aide d'un planimètre (Stafford et al., 1974; Graham et al. 1974),
- (2) recouvrant une grille sur une photographie et en comptant le nombre d'intersections qui couvre une variété d'utilisations des terres ou des surfaces imperméables (Martens 1968; Gluck et McCuen 1975; Hammer 1972; Ragan et Jackson, 1975),
- (3) classification supervisée des images de télédétection (Ragan et Jackson 1980, 1975),
- (4) assimilant le pourcentage d'urbanisation dans une région où le pourcentage d'imperméabilité (Morisawa et LaFlure 1979).

La majorité des courantes études de surfaces imperméables s'appuient sur les méthodes des études originales (citer au sein du travail de Brabec, 2002 et Walsh, 2005b) et des études ultérieures qui effectuent une corrélation entre le pourcentage de la surface imperméable et l'utilisation des terres, en utilisant des estimations de la proportion de l'imperméabilité dans chaque classe.

6.2.1.3. Surface imperméable total et surface imperméable efficace

De nombreuses études de l'hydrologie urbaine (Booth et al., 1991, 1997 ; Walsh et al., 2000, 2005a, b, 2009 ; Donald et al., 2001, Brabec et al., 2002, 2009, DeFries et al., 2004) montrent que la surface imperméable total, bien qu'elle montre une corrélation avec les variations de l'écoulement, n'affecte pas l'écoulement autant que la surface imperméable efficace, la proportion d'étanchéité qui est directement connecté au réseau de flux. La différence entre les deux réside dans la

liaison directe avec le système de flux: l'imperméabilité totale comprend les toits, routes, parkings et autres surfaces non infiltrant, tandis que l'Imperméabilité efficace comprend seulement les zones imperméables qui se déversent dans un égout pluvial rejeté directement dans un corps d'eau de surface. La raison de cette distinction dans le ruissellement urbain est le fait que pour la surface imperméable efficace, pratiquement cent pour cent des eaux de pluie atteindra le milieu aquatique naturelle. De l'autre part la surface imperméable totale qui comprenne la surface imperméable efficace et la surface imperméable non efficace.

La surface imperméable totale est généralement estimée en fonction du type d'utilisation des terres, et les estimations pour chaque utilisation des terres sont ensuite pondérées en proportion pour déterminer le pourcentage de la zone imperméable total du bassin versant.

La surface imperméable efficace draine directement aux corps d'eau, elle peut être mesurée par une superposition du système des eaux pluviales sur le bassin versant.

6.2.1.4. Bande riveraine

Selon Gagnon et al. (2007), on appelle bande riveraine, un couvert végétal permanent composé d'un mélange de plantes herbacées, d'arbustes et d'arbres adjacents à un cours d'eau ou à un lac. Les bandes riveraines assurent la transition entre les écosystèmes aquatiques et terrestres. Parce qu'elles font la jonction entre ces deux milieux différents et qu'elles subissent de nombreuses perturbations naturelles, les bandes riveraines sont particulièrement dynamiques et diversifiées.

Les bandes riveraines peuvent remplir plusieurs fonctions importantes que nous regroupons en deux classes, soit la prévention ou la réduction de la contamination de l'eau (fonction d'assainissement) et la protection des habitats aquatiques et riverains (fonction écologique).

Les bandes riveraines représentent à la fois un habitat pour la faune et la flore, un écran contre le réchauffement excessif de l'eau, une barrière contre les apports de sédiments dans les plans d'eau, un rempart contre l'érosion des sols et des rives, un régulateur du cycle hydrologique, un filtre contre la pollution de l'eau

et un brise-vent naturel. Elles jouent également un rôle important dans la protection de la qualité esthétique du paysage.

Dans cette étude, deux bassins versants (Point 1 : Bouhdid, Point 2 : Sidi Harb) parmi les cinq étudiés, ont un couvert riverain assez développé pour être considéré comme une bande riveraine.

6.3. Extraction des surfaces imperméables

L'Approche interprétative a été utilisée pour déterminer le pourcentage de la surface imperméable totale (SIT) et la surface imperméable efficace (SIE). SIE est définie selon Walsh (2002) et Elizabeth (2002,2009) comme les zones imperméables qui sont directement reliées au flux par des systèmes de drainage (collecteurs d'eaux pluviales, les réseaux d'assainissement unitaires et ou séparatif), cela signifie que les eaux dans ces zones sont rejetées directement dans les eaux réceptrices. Le concept de l'approche interprétative est simple, les images sont traitées par un analyseur humain, l'extraction de l'information se fait visuellement en utilisant des images, des couleurs, des textures, des formes et le contexte de fonction. Les résultats de cette méthode sont très précis, mais nécessite beaucoup de temps ce qui rend l'application difficile pour les grandes zones d'étude (Kabaeva, 2009).

Dans le but de visualiser le lien entre le ratio de l'urbanisation des bassins versants et la qualité de l'eau, des cartes topographiques et numérique orthophotographie aérienne de la zone d'étude ont été utilisées pour extraire la SIT. En identifiant les différents types de construction, les routes et diverses surfaces imperméables, des points d'assemblage de surfaces imperméables sont créés selon la couleur de chaque surface. La valeur de SIE dépend de la connexion de drainage, donc les cartes du réseau d'assainissement ont été utilisées pour extraire la SIE sur la base de la définition ci-dessus.

Afin de pouvoir calculer la surface imperméable totale, des images orthophotographique ont été utilisées pour délimiter ces zones (figure 30) et extraire leurs surfaces en utilisant un logiciel de SIG.

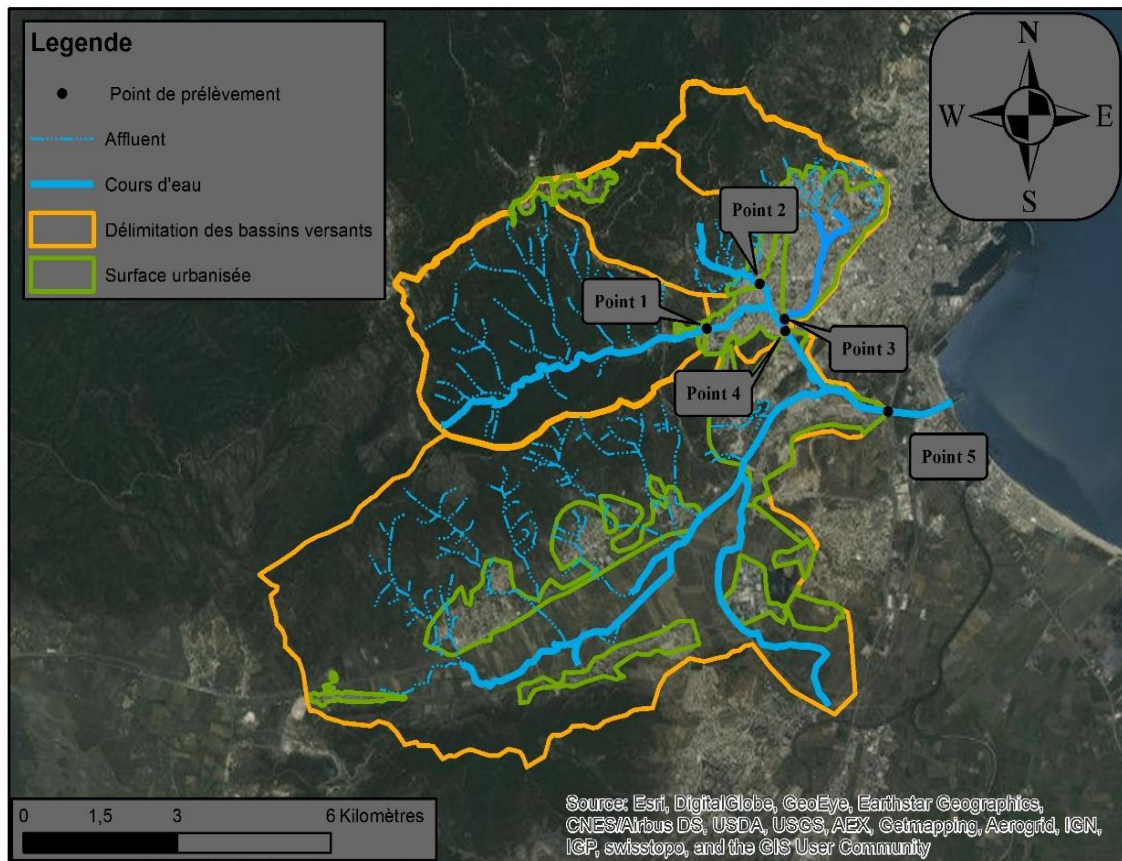


Figure 30. Carte ortho-photographique utilisée pour déterminer la surface imperméable totale

Pour déterminé la partie efficace de la surface totale imperméable des plans des réseaux d'assainissement ont été utilisé pour extraire les surfaces qui rejettent les eaux directement au cours d'eau (Tableau 22).

		type de rejet	Lieu de rejet
Point 3 <i>oued Forcha</i> (<i>Canal de ceinture</i>)	partie supérieur	eau usée	cours d'eau
		eau pluviale	cours d'eau
	partie moyenne	eau usée	cours d'eau (plusieurs points de rejet)
		eau pluviale	cours d'eau
Point 4 <i>Canal Kef N'sour</i>		eau usée	
		eau pluviale	cours d'eau
		eau usée	cours d'eau
Point 5 <i>Boukhadra</i>	partie supérieur	eau usée	cours d'eau
	partie inférieur	réseau unitaire (EU+EP)	cours d'eau
Point 1 <i>Bouhdid</i>		eau pluviale	cours d'eau (plusieurs points de rejet)
		eau usée sortie réseau unitaire (EU+EP)	cours d'eau
Point 2 <i>Sidi Harb</i>		eau usée	cours d'eau (plusieurs points de rejet)
		eau pluviale	cours d'eau
Point 5 <i>Sidi Achour</i>		eau usée	cours d'eau
Point 5 <i>Chabia</i>		eau usée	cours d'eau
Point 5 <i>Saroul</i>		eau usée	cours d'eau
Point 5 <i>cité 1 mai</i>		eau usée	cours d'eau

Tableau 22. Les types des rejets dans chaque bassin versant

En utilisant les résultats de l'analyse statistique précédente comme base de données, la surface imperméable totale (SIT) et les surfaces imperméables efficaces (SIE) ont servi à expliquer l'impact de l'urbanisation sur la qualité de l'eau, en tenant compte de la nature du bassin versant, le développement urbain, la couverture forestière et la bande riveraine (Tableau 23).

Surfaces	Bouhdid (Point 1)	Sidi Harb (Point 2)	Canal de ceinture (Point 3)	canal Kef N'sour (Point 4)	oued Boudjemaâ (Point 5)	total
surface totale Km ²	17,9	7,49	7,76	35,36	56,64	92
surface imperméable totale Km ²	0,34	0,85	3,57	6,3	12,03	18,33
surface imperméable totale %	1,91	11,38	45,95	17,82	21,24	19,92
Surface imperméable efficace %	1,91	6,54	7,21	9,31	2123,96	16,66
couvert forestier Km ²	17,56	6,64	4,2	29,06	44,61	73,67
couvert forestier %	98,09	88,62	54,05	82,18	78,76	80,08
la longueur des bandes riveraines M	6034,91	1050,43	0	0	0	0
longueur total du cours d'eau M	7486,51	2522,05	1451,60	0	0	14402,99
bande riveraine%	80,61	42%	0	0	0	0

Tableau 23. Calcul des paramètres

Les Résultats de l'ACP ont montré que le point 2 et le point 3 représentent des similitudes dans le type de polluants dominants, le bassin versant du point 3 est urbanisée à 45%, mais le pourcentage de la surface imperméable efficace est de 7% avec un couvert forestier de 53%, tandis que pour le bassins versants du point 2, le pourcentage de la surface imperméable efficace est 6.54 % et le couvert forestière est de 89%, les deux bassins versants montrent le même impact sur la qualité de l'eau.

Les études de Hicks et Larsen (1997) citées dans Elizabeth (2002) ont montré que si la couverture forestière est de 30 à 50% et la surface imperméable (efficace ou total) est de 9% l'impact sur la qualité de l'eau est modérée, et si la couverture forestière est de plus de 50% et la zone urbanisée est de 4% avec une bande riveraine de plus de 200 pieds (60,96 mètres), il n y a pas d'impact sur la qualité de l'eau; de 10 à 15% de la surface imperméable et de 10 à 29% de couverture forestière et de 20 à 40% des zones tampon riveraine, l'impact est modéré et pour 15% de la surface imperméable et 10% de la couverture forestière et moins de 20% des zones tampon, l'impact est fort.

Malgré le grand couvert forestier et les bandes riveraines de 42% dans le bassin versant du point 2, le niveau de la pollution de l'eau est le même que celle d'un bassin versant à moitié urbanisée avec une absence totale des zones tampon riveraines, cela est dû à l'évacuation directe des eaux usées du bidonville.

En utilisant les résultats de l'ACP obtenus pour le point 4 qui représente un bassin versant de 17,82% de surface imperméable totale et 9,31% de surface imperméable efficace et 82% de couverture forestière, il a été déduit que l'érosion des sols et la nature géologique du terrain traversé peuvent être à l'origine des éléments qui dominent la composition de l'eau.

Le bassin versant du point 1 est caractérisé par une surface imperméable efficace de 1,91%, une couverture forestière de 98% et des zones tampon riveraines de 81%, le taux d'urbanisation bas n'a pas d'impact sur la qualité de l'eau. Le pourcentage élevé de la couverture forestière par rapport à la faible proportion de la surface imperméable efficace élimine l'impact de l'urbanisation sur la qualité de l'eau.

La qualité de l'eau au point 5 est pauvre, elle souffre de la pollution résultante des eaux usées, le drainage des terres agricoles et des eaux pluviales, le bassin versant du point 5 est caractérisé par une surface imperméable totale de 19,92%, une surface imperméable efficace de 16,66% et un couvert forestier de 80% et les zones tampon riveraines sont totalement absentes. Dans ce bassin versant, le développement urbain a dépassé le seuil où le couvert forestier peut remédier à l'impact de l'urbanisation sur la qualité de l'eau.

6.4. Conclusion

Selon les résultats de cette étude, si le pourcentage de la surface imperméable efficace est de 2 à 9%, et la couverture forestière est à 98%, et les bandes riveraines est à 81%, il n'y a aucun impact sur la qualité de l'eau. Si le pourcentage de la surface imperméable efficace est inférieur ou égale à 9%, et la couverture forestière est de 81%, l'impact sur la qualité de l'eau est faible à modéré. Pour une surface imperméable efficace entre 7 à 17% et une couverture forestière

de 53 à 80%, sans zones tampon riveraines, l'impact sur la qualité de l'eau est très fort. Alors que pour un pourcentage de la surface imperméable efficace supérieure ou égale à 6%, et une couverture forestière de 89%, et des bandes riveraines de 41%, l'impact sur la qualité de l'eau est fort.

Le couvert forestier et l'existence des zones tampon riveraines jouent un rôle très important dans le maintien de la qualité de l'eau dans un bon état, ces éléments sont des facteurs déterminants dans le processus de réduction de l'impact de l'urbanisation sur la qualité de l'eau, mais reste que le facteur principal est le taux de surface imperméable efficace.

Conclusion générale

L'objectif général de ce travail était l'évaluation de la qualité physicochimique des eaux d'Oud Boudjemaa ainsi que l'identification des éléments dominants de la pollution et leurs sources. Dans un premier temps, cinq points de prélèvements ont été choisis pour couvrir la zone d'étude, en prenant en considération les conditions géographiques, les activités développées dans ces zones, l'accessibilité, la sécurité et la facilité d'échantillonnage. Ensuite des campagnes de prélèvements ont été réalisées sur une période de deux mois (Avril 2013-mars 2014) à un pas de temps mensuel. Un bilan de 52 éléments a été effectué pour chaque campagne de prélèvement, le nombre des paramètres mesurés a été réduit à cause de plusieurs facteurs (éléments trouvés en traces, réactifs consommés). À partir des données acquises un aperçu sur la variation saisonnière de la concentration des éléments mesurés a été révélé. En saison humide pour la majorité des points les eaux représentent un aspect trouble, et des taux de nutriment et métaux lourds élevés. Des paramètres en relation avec l'existence de la matière organique sont plus élevés durant la saison sèche.

Plusieurs méthodes ont été choisies pour traiter l'ensemble des données acquises (mesures in situ, mesures et analyses au laboratoire). La technique la plus simple est le calcul des indices de pollution pour classer les points de prélèvement selon les caractéristiques de leurs eaux. Une deuxième technique de classification a été appliquée la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA). Les indices de pollution ont montré leur efficacité à déterminer l'importance de la pollution dans chaque point de prélèvement. Mais les résultats de la classification obtenue par la CHA sont plus précis. Malgré que les résultats des deux méthodes représentent des points communs. Les analyses statistiques multi-variées ont permis de révéler les éléments dominants de la pollution dans chaque point et leurs origines. Le taux de réduction de données initiales nécessaire pour évaluer la qualité de l'eau de oued Boudjemaa, est presque de 24% par l'application de l'analyse de Composante Principale (ACP), et de 50% par l'application de l'analyse factorielle. L'un des facteurs principaux influençant la qualité d'eau est la nature du bassin versant

drainé, plus précisément le taux d'imperméabilisation. Un lien fort entre la qualité d'eau et le taux de la surface imperméable efficace a été trouvé.

Les indices de pollution

L'indice de pollution organique (IPO)

Le flux de pollution est divisé en deux catégories, la première classe est la partie où la pollution organique est modérée, qui a été déterminée par la mesure au point 1 (IPO = 3,20). La 2ème classe est la partie où la pollution organique est très élevée principalement en raison de des rejets directe des eaux usées domestique non purifié riches en matière organique, cette section comprend quatre stations: Le point 2 (1,78), le point 3 (1,73) et le point 4 (1,81). Ces points pollués montrent des valeurs très proches, puisque les rejets dans ces zones sont les mêmes. La valeur la plus faible a été observé au point 5 (1,54), cela est causé par plus de la pollution des eaux usées domestiques non purifié provenant du point 2, 3 et 4 et de la pollution des eaux usées agricoles (riche en nutriment) provenant de la partie périurbaine.

L'indice de Lisec

Le flux de pollution est divisé en trois catégories, la première classe est la partie où la qualité de l'eau est bonne expliqué par l'absence de rejets d'eaux usées, qui a été démontré par la mesure au point 1 (index Lisec = 7,86). Point 1 montre les plus grandes valeurs de l'oxygène dissous dans les cinq points d'échantillonnage et les valeurs les plus faibles dans les autres paramètres. La 2ème classe est la partie où la qualité de l'eau est mauvaise, elle comprend le point 2 (14,75) et le point 3 (14,67). Ces deux points montrent des valeurs très semblables, en raison de même type de rejets (eau non purifiée principalement des déchets ménagers). Il inclut également le point 5, mais avec une valeur très élevée (indice Lisec = 17,25), cela est causé par la pollution des eaux usées domestiques non purifié provenant du point 2, 3 et 4 et de la pollution des eaux usées agricoles (riche en nutriment) provenant de la partie périurbaine. La 3eme classe comprend le point 4 (13,75), est la partie où la qualité de l'eau est modérée, malgré les flux pollués provenant du point 2 et 3, la qualité d'eau de ce point a été améliorée par le courant d'eau provenant du point 1.

L'indice de l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (IHE)

Le courant est divisé en trois catégories, la première classe est la partie où la pollution organique est modérée, ce qui a été déterminé par le point 1 (IHE = 3.10). Malgré l'absence de rejets d'eaux usées, l'existence de la pollution est due aux lessivage des sols et des dépôt atmosphérique en temps humide, la 2e classe est la partie où la pollution organique est très élevé, elle englobe le point 3 (1,98) et le point 4 (1,97) ces deux points montrent des valeurs très proche, en raison de même type de rejets (principalement des eaux usées domestique non purifiée). Il inclut également le point 5, mais avec une valeur très faible (1,54), cela est causé par la pollution des eaux usées domestiques non purifié provenant du côté urbain (point 2, 3 et 4) et la pollution agricole des eaux usées provenant de la partie périurbaine. La 3 eme classe est la partie où la qualité de l'eau est modérée, elle a été observée au point 2 (2.01). La différence entre le point 2 et le point 3 et 4 est en raison du niveau d'urbanisation, le bassin versant drainé par le point 2 est moins urbanisée que le bassin versant drainé par le point 3 et 4. Le nombre de paramètres pris en considération par l'indice IHE par rapport à IPO et indices Lisec, met en évidence l'impact de la différence dans les taux d'urbanisation.

Analyse de composante principal (ACP)

Le premier facteur de l'analyse des composantes principales expliquent 68,756% de la variance totale (Tableau 3), le point 5 est situé sur la partie positive de l'axe, influencé lessivage des sols, les dépôts atmosphériques, les effluents municipaux et les eaux de drainage .Le côté négatif de l'axe où la station 1 est située , est l'influencé par deux éléments ,l'oxygène dissous montrant la bonne qualité de l'eau, et le cuivre résultant de lessivage des sols et des eaux de ruissellement. Le deuxième facteur explique 20.103% de la variance totale (Tableau 3), la station 2 se situe sur le côté négatif de l'axe(Tableau 5), influencée les dépôts atmosphériques, les eaux de ruissellement, le lessivage des sols, ces sources sont aussi à l'origine de la turbidité et des matières en suspension, le côté positif de cet axe est influencée par seulement trois éléments, le chrome, le zinc et le débit, l'origine de ces éléments peut être les eaux de ruissellement provenant de la bidonville (la nature des matériaux de construction).

Visant une meilleure compréhension de la nature de la pollution dans les deux stations 3 et 4, l'ACP a été appliquée à l'ensemble de données temporelle de chaque station séparément (cinq points de prélèvement), remarquant que pour les stations 2 et 3 le mois de Septembre explique la plus grande portion de la variance totale 51,91% et 50,82% respectivement influencée par les mêmes éléments résultant de : lessivage des sols, eaux de ruissellements après la saison sèche (le premier flux de polluants). Le mois de Mars explique la majeure partie de la variation temporelle de la station 4 (canal Kef N'sour) avec un pourcentage de 57,07% influencé par (SO₄⁻, Q) l'origine des sulfates est l'érosion des sols.

Analyse Factorielle

Quatre facteurs varimax ont été obtenus par rotation varimax (Tableau 7), le premier facteur de varimax explique 83,399% de la variance, est fortement et positivement influencé par : érosion des sols, des sources de pollution ponctuelles (le rejet des eaux usées non épurées), et des sources de pollution non ponctuelles (drainage des terres agricoles et les eaux de ruissellement). Identique aux résultats de l'ACP le point 5 se situe sur cette partie de l'axe. Le même premier facteur est négativement influencé par l'oxygène dissous, la saturation 1 se situe sur cette partie. Le 2^{ème} et la 3^{ème} et 4^{ème} Vérificateurs explique une petite partie de la variation totale, 10,871%, 2,314%, 1,905%, respectivement. Les stations 2, 3 et 4 se situent sur la partie positive du deuxième facteur (10,871 % de la variance totale), il est positivement influencé par les eaux usées domestique et le lessivage des sols. La température de ces eaux est élevée car les points de prélèvements se situent dans des zones où l'urbanisation est dense (l'effet d'îlot).

La dégradation de la qualité d'eau d'Oued Boudjemaa est due à de multiples facteurs, principalement anthropique. Les sources de pollution de ces eaux sont ponctuelles telles que les effluents municipaux et non ponctuelles comme le lessivage des sols, les dépôts atmosphériques, les eaux de drainage des terres agricoles. Ces informations ont été conclues après avoir interprété les résultats trouvés par les outils statistiques sur la qualité physico-chimique de ces eaux. L'analyse en composantes principales a mis en évidence 29 éléments définissant la pollution dans ce cours d'eau. La plus grande partie de la variance (68.756%) est

expliqué par une pollution issue des activités humaines. Le couplage de l'analyse des composantes principales et l'analyse factorielle minimise le nombre d'éléments dominants à seulement 19 éléments expliquant 83.4% de la variance totale de qualité d'eau ; ces éléments sont d'origine anthropique. La réduction du nombre de paramètres est de 50%. La moitié des données initiales peuvent fournir des informations suffisantes sur la qualité de l'eau, ce qui nous offre un gain de temps et nous permet de économiser les ressources financières.

Surface imperméable totale et surface imperméable efficace

Les Résultats de l'ACP ont montré que le point 2 et le point 3 représentent des similitudes dans le type de polluants dominants, le bassin versant du point 3 est urbanisé à 45%, mais le pourcentage de la surface imperméable efficace est de 7% avec un couvert forestier de 53%, tandis que pour les bassins versants du point 2, le pourcentage de la surface imperméable efficace est de 6.54 % et le couvert forestier est de 89%, les deux bassins versants montrent le même impact sur la qualité de l'eau. En utilisant les résultats de l'APC obtenus pour le point 4 qui représente un bassin versant de 17,82% de surface imperméable totale et 9,31% de surface imperméable efficace et 82% de couverture forestière, ont montré que l'érosion des sols et la nature géologique du terrain traversé peuvent être à l'origine des éléments qui dominent la composition de l'eau. Le pourcentage élevé de la couverture forestière par rapport à la faible proportion de la surface imperméable efficace élimine l'impact de l'urbanisation sur la qualité de l'eau. Le bassin versant du point 1 est caractérisé par une surface imperméable efficace de 1,91%, une couverture forestière de 98% et des zones tampon riveraines de 81%, le taux d'urbanisation bas n'a pas d'impact sur la qualité de l'eau. La qualité de l'eau au point 5 est pauvre, elle souffre de la pollution résultante des eaux usées, le drainage des terres agricoles et des eaux pluviales, le bassin versant du point 5 est caractérisé par une surface imperméable totale de 19,92%, une surface imperméable efficace de 16,66% et un couvert forestier de 80% de zones tampon riveraines sont totalement absentes, le développement urbain a dépassé le seuil où le couvert forestier peut traiter l'impact de l'urbanisation sur la qualité de l'eau.

Les similarités des caractéristiques et de variabilité des eaux dans deux points de prélèvements ont été révélées par l'interprétation des résultats de l'analyse statistique multi-variée. Cette ressemblance peut être le résultat du même type des eaux usées rejetés dans ces deux stations, malgré les grandes différences entre les natures des bassins versant drainés, plus précisément les surfaces imperméables totales. L'estimation du seuil de l'imperméabilisation auquel l'impact sur la qualité de l'eau se produit a confirmé que le lien entre ces points de prélèvements en plus de la nature des eaux rejetées est le taux de la surface imperméable efficace (Point 2 :6,84%, Point 3 : 7%). La nature du bassin versant, le développement urbain, la couverture forestière et les bandes riveraines, ce sont des facteurs qui entrent en jeu en aggravant ou en atténuant l'impact de l'urbanisation sur la qualité de l'eau. En prenant en considérations tous les éléments citer si dessus les résultat obtenus sont , si le pourcentage de la surface imperméable efficace est de 2, 9%, et la couverture forestière est à 98%, et les bandes riverainesest à 81%, il n'y a aucun impact sur la qualité de l'eau, et si le pourcentage de la surface imperméable efficace est inférieur ou égale à 9%, et la couverture forestière est de 81%, l'impact sur la qualité de l'eau est faible à modéré, pour une surface imperméable efficace entre 7 à 17% et une couverture forestière de 53 à 80%, sans zones tampon riveraines, l'impact sur la qualité de l'eau est très fort, pour un pourcentage de la surface imperméable efficace supérieure ou égale à 6%, et une couverture forestière de 89%, et des bandes riveraines de 41%, l'impact sur la qualité de l'eau est fort. La détermination des seuils d'imperméabilisation à respecter pour préserver la qualité de l'eau peut remplir le rôle d'un outil d'aide à la décision, trouver un équilibre entre la gestion des ressources en eau et le développement urbain des bassins versant.

D'une façon plus général, il ressort des résultats de ce travail que l'origine de pollution des eaux de Oued Boudjemaa est anthropique. Les campagnes d'échantillonnage ont été réalisées en 2013-2014, et depuis l'urbanisation des bassins versant ne fait qu'avancer ce qui empire la qualité des eaux des oueds de la ville.

Ce travail à souligner l'impact direct de l'urbanisation des bassins versant sur la qualité de l'eau en se basant sur comparaison entre le pourcentage

d'urbanisation de ces derniers, sa serai très intéressant d'ajouter des stations de prélèvement dans le même bassin versant en fonction des taux d'urbanisation afin d'évaluer l'impact direct de l'urbanisation sur le même affluent ou cours d'eau. Un collecteur des eaux de pluie placé dans des sites bien déterminer afin d'évaluer l'importance des dépôts atmosphériques (les gaz dégagés par l'industrie, les véhicules et les chauffages...etc.) sera un ajout d'une grande importance. Des préleveurs automatiques à des pas de temps plus petits améliorant la compréhension du phénomène de variation spatiotemporelle de la pollution des eaux.

Références bibliographique

Abdelkader, B., M. Abdelhak, et al. (2012). "Estimation of pollution load of domestic sewage to oued bechar (SW Algeria) and its impact on the microbiological quality of groundwater." *Procedia Engineering* 33: 261-267.

Admiraal W., Barranguet C., Van Beusekom S. A. M., Bleeker E .A. J., Van Den Ende F. P., Van Den Geest H.G., Groenendijk D., Ivorra N., Kraak M. H. S., Stuijfs S. C. (2000). "Linking ecological and eco toxicological techniques to support river rehabilitation". *Chemosphere*, 41, 289- 295.

Agence de l'eau Loire Bretagne, LE PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS EN RIVIÈRE, (novembre 2006), ISBN 10 : 2-916869-00-X ISBN 13 : 978-2-916869-00-1

Akkoyunlu, A. and M. E. Akiner . (2012). "Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin." *Ecological Indicators* 18(0): 501-511.

Al-Badaii, F., M. Shuhaimi-Othman, et al. (2013). "Water Quality Assessment of the Semenyih River, Selangor, Malaysia." *Journal of Chemistry* 2013: 10.

Arnold, C. L., P. J. Boison, et al. (1982). "Sawmill Brook: An Example of Rapid Geomorphic Change Related to Urbanization." *The Journal of Geology* 90(2): 155-166.

Bahroun, S. (2007). « impact des eaux usées urbaines et industrielles sur les eaux naturelles dans la région d'el Tarf / impact of urban and industrial waste water on natural waters in the region of El Tarf », Faculté des sciences de la Terre, Département de Géologie, UBMA.

Bannerman, R. T., D. W. Owens, et al. (1993). "Sources of pollutants in Wisconsin stormwater." *Water Science and Technology* 28(3-5): 241-259.

Booth, D. B. and C. R. Jackson (1997). "URBANIZATION OF AQUATIC SYSTEMS: DEGRADATION THRESHOLDS, STORMWATER DETECTION, AND THE LIMITS OF MITIGATION1." *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 33(5): 1077-1090.

Bougherira, N., A. Hani, et al. (2014). "Impact of the Urban and Industrial Waste Water on Surface and Groundwater, in the Region of Annaba,(Algeria)." *Energy Procedia* 50: 692-701.

Bounoua, L., A. Safia, et al. (2009). "Impact of urban growth on surface climate: A case study in Oran, Algeria." *Journal of applied meteorology and climatology* 48(2): 217-231.

HAFSI RADIA

Thèse de doctorat

Contribution à l'étude des flux de polluants dans les hydro-systèmes

Boutemeur, A. (2011). « Modélisation hydrologique du B.V de oued Forcha fonctionnement en temps de crue ». Thèse de master UBMA.

Brabec, E., S. Schulte, et al. (2002). "Impervious Surfaces and Water Quality: A Review of Current Literature and Its Implications for Watershed Planning." *Journal of Planning Literature* 16(4): 499-514.

Bureau d'étude BG suisse. (2005). « Reconnaissance, diagnostic et étude du schéma directeur d'assainissement de Annaba Mission ».

Burton G. A., Jr Pitt R. E. (2001). "Storm water effects hand book a toolbox for watershed managers". *Scientists and engineers*. CRC/Lewis Publisher, U.S

Cécile P. (1999). « Géodynamique d'un hydro système tropical peu anthropise le bassin supérieur du Niger et son delta intérieur 'Geodynamics of a tropical hydrosystem little anthropized the upper basin of the Niger Delta and its interior ». Thesis (PhD). Montpellier II University.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Méthode d'analyse Détermination des solides en suspension totaux et volatils: méthode gravimétrique, MA. 115 – S.S. 1.1 (SM 2540 D) Édition : 2004-11-01 Révision : 2009-10-08 (4)

Chabaeva A, Daniel L. C., James D. H. (2009). « Assessment of Impervious Surface Estimation Techniques. *The Journal of Hydrologic Engineering*, 14, 377–387. aquatic environment: State of Knowledge ». *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 20, 229- 239.

Chaoui, W. (2007), impact de la pollution organique et chimique des eaux de l'oued Seybouse et de l'oued mellah sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de bouchegouf (Guelma)/ impact of organic and chemical pollution of the river Seybouse and Wadi Mellah on groundwater of the alluvial aquifer of Bouchegouf (Guelma) , *Faculté des sciences de la terre Département de Géologie, UBMA* .

Chaoui, W., B. Attoui, et al. (2015). "Water Quality of the Plain of El-Hadjar Wilaya of Annaba (Northeast Algeria)." *Energy Procedia* 74: 1174-1181.

Chaoui, W., H. Bousnoubra, et al. (2013). "Étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux superficielles et souterraines de la région de Bouchegouf (Nord-Est Algérien)." *Nature & Technology*(8): 33B.

Chapman, D. V. (1996). "Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments, and water in environmental monitoring."

Charlotte, P. R. (2007), « Impacts des rejets urbains de temps de pluie 'RUTP' sur les milieux aquatiques : État des connaissances/ Impacts of urban

discharges of rain time on the aquatic environment: State of Knowledge », *Revue des sciences de l'eau /Journal of Water Science*, Vol. 20, pp 229.

Chenini, I. and S. Khemiri (2009). "Evaluation of ground water quality using multiple linear regression and structural equation modeling." *International Journal of Environmental Science & Technology* 6(3): 509-519.

Chen-Wuing L., Kao-Hung L., Yi-Ming Kuo. (2003). "Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a Blackfoot disease area in Taiwan". *The Science of the Total Environment*, 313, 77– 89.

Chocat B., Cathelain M., Mares A., Mouchel J. M. (1993). « La pollution due aux rejets urbains de temps de pluie : impacts sur les milieux récepteurs Exposés introductif. « La pluie, source de vie, choc de pollution » 'Pollution from urban waste wet weather: impacts on receptors Introductory Lectures environments. "The rain, source of life, shock pollution '. 146^{ème} session du comité technique de la S. H. F. Paris, France, 17 et 18 mars 1993, La Houille Blanche ½: 97-105.

CHOUCHANE, T., S. Chouchane, et al. (2013). Impact des rejets liquide sur les eaux de l'oued Meboudja, Annaba NE Algérie. the 4th International Congress Water, Waste & Environment (EDE4) Agadir, Morocco.

COTE, M., 1998a (in Mébarki Azzedine., 2005), Les régions bioclimatiques de l'Est algérien, Rhumel, n° 6, pp. 57-71.

Debels, P., R. Figueroa, et al. (2005). "Evaluation of Water Quality in the Chillán River (Central Chile) Using Physicochemical Parameters and a Modified Water Quality Index." *Environmental Monitoring and Assessment* 110(1-3): 301-322.

DeCoster, J. (1998). "Overview of factor analysis." Retrieved <04, 04, 2016> from <http://www.stat-help.com/notes.html>

DeFries, R. and K. N. Eshleman (2004). "Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future." *Hydrological Processes* 18(11): 2183-2186.

Djedaoune, A. (2015). "Comportement des polluants des eaux pluviales urbaines en réseaux d'assainissement (caractéristiques et origines): cas de la plaine d'Annaba." *Synthèse: Revue des Sciences et de la Technologie* 30(1): 40-47.

Elamassi, K. S. (2012). Assessment of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in Gaza governorate-Palestine, The Islamic University-Gaza.

Elizabeth A. Brabec, J. D. (2009). "Imperviousness and Land-Use Policy: Toward an Effective Approach to Watershed Planning." *Journal of Hydrologic Engineering* 14(4): 425-433.

Elizabeth B., Stacey S., Paul L. R. (2002). "Impervious Surfaces and Water Quality: A Review of Current Literature and Its Implications for Watershed Planning". *Journal of Planning Literature*, 16, 499-514.

Eyduran, E., K. Karakus, et al. (2009). "Usage of factor scores for determining relationships among body weight and some body measurements." *Bulgarian journal of agricultural science* 15(4): 374-378.

Fankhauser, R. (1999). "Automatic determination of imperviousness in urban areas from digital orthophotos." *Water Science and Technology* 39(9): 81-86.

Gluck, W. R. and R. H. McCuen (1975). "Estimating land use characteristics for hydrologic models." *Water Resources Research* 11(1): 177-179.

Graham, P. H., L. S. Costello, et al. (1974). "Estimation of Imperviousness and Specific Curb Length for Forecasting Stormwater Quality and Quantity." *Journal (Water Pollution Control Federation)* 46(4): 717-725.

Gu, Q., Y. Zhang, et al. (2016). "Assessment of Reservoir Water Quality Using Multivariate Statistical Techniques: A Case Study of Qiandao Lake, China." *Sustainability* 8(3): 243.

Gupta, I., A. Salunkhe, et al. (2013). "Chemometrics Data Analysis of Marine Water Quality of Maharashtra, West Coast of India." *Indian Journal of Geo Marine Sciences* 42: 97-105.

Habes, S et al, Qualité des eaux d'un lac dans une région côtière de l'est algérien : cas du lac Fetzara/ Water quality of a lake in a coastal region of eastern Algeria: For Lake Fetzara, EDITION 2, TANGER, MAROC (2011) 331-334

Habes, S. et al. Interférences des actions anthropiques sur un lac fermé en zone Méditerranéenne. Cas du lac Fetzara N.E. Algérien p38 Mars 2012 Colloque International sur la Biosurveillance des Ecosystèmes

Hair, J. F., W. C. Black, et al. (2006). *Multivariate data analysis*, Pearson Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.

Hammer, T. R. (1972). "Stream channel enlargement due to urbanization." *Water Resources Research* 8(6): 1530-1540.

Härdle, W. and L. Simar (2007). *Applied multivariate statistical analysis*, Springer.

Hashim, S. Yuebo, X. Ahmad, F. Arslan, C. Saifullah, M. (2015), "Vulnerability Assessment and Application of Bacterial Technology on Urban

Rivers for Pollution Eradication”, BioMed Research International, Vol. 21, pp 207-215

Hilly, J. (1962) (in Remita Abdelraouf 2008). Étude géologique du Massif de l'Edough et du Cap de Fer:(Est-Constantinois). Service de la carte géologique de l'Algérie.

Hurd3, A. C. D. L. C. a. J. D. (2009). "Assessment of Impervious Surface Estimation Techniques." *Journal of Hydrologic Engineering* 14(4): 377-387.

Iscen, C. F., Ö. Emiroglu, et al. (2008). "Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey." *Environmental Monitoring and Assessment* 144(1-3): 269-276.

Johnson, R. A. and D. W. Wichern (1992). *Applied multivariate statistical analysis*, Prentice hall Englewood Cliffs, NJ.

Juahir, H., S. M. Zain, et al. (2011). "Spatial water quality assessment of Langat River Basin (Malaysia) using environmetric techniques." *Environmental Monitoring and Assessment* 173(1-4): 625-641.

Kanade, S. and V. Gaikwad (2011). "A multivariate statistical analysis of bore well chemistry data: Nashik and Niphad Taluka of Maharashtra, India." *Universal Journal of Environmental Research and Technology* 1(2): 193-202.

KARIM, F. A. "Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien."

Kazi, T. G., M. B. Arain, et al. (2009). "Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72(2): 301-309.

Kendouci, M. A., B. Kharroubi, et al. (2013). "Study of physic-chemical quality of wastewater discharged into the natural environment the case of Bechar River Algeria." *Energy Procedia* 36: 287-292.

Kinney, MC. L. M. (2002), "Urbanization biodiversity, and conservation”, *Bioscience*, Vol 52. No 10, pp 883- 890.

Koçer, M. A. T. and H. Sevgili (2014). "Parameters selection for water quality index in the assessment of the environmental impacts of land-based trout farms." *Ecological Indicators* 36(0): 672-681.

Kothai, P., I. Saradhi, et al. (2008). "Source apportionment of coarse and fine particulate matter at Navi Mumbai, India." *Aerosol and Air Quality Research* 8(4): 423-436.

- Kunwar P., Amrita M., Sarita S. (2005). "Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river 'India' using multivariate statistical techniques a case study". *Analytica. Chimica, Acta*, 538, 355– 374.
- Labar, S., A. Hani, et al. (2012). "Biochemical Approach to Assess Groundwater Pollution by Petroleum Hydrocarbons (Case Skikda Algeria)." *Journal of Water Resource and Protection* 4(07): 493.
- Ladson3, C. J. W. T. D. F. a. A. R. (2009). "Retention Capacity: A Metric to Link Stream Ecology and Storm-Water Management." *Journal of Hydrologic Engineering* 14(4): 399-406.
- Lambrakis, N., A. Antonakos, et al. (2004). "The use of multicomponent statistical analysis in hydrogeological environmental research." *Water Research* 38(7): 1862-1872.
- Lamia, H. and A. Hocine (2012). "Impact of Urban Waste Water Reject on the Quality of Watercourse "Case of Oued Meboudja EST OF ALGERIA»." *Energy Procedia* 18: 587-593.
- LECLERCQ, L. "Interet et limites des methodes d'estimation de la qualite de l'eau/ interest and limitations of assessment methods of water quality", available at :
<http://www.inforef.be/projets/eureau/brochure/partie1/introduction.htm#214a>
 (accessed 04 Mars 2014).
- Liscum, F. (2001). Effects of urban development on stormwater runoff characteristics for the Houston, Texas, metropolitan area, US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Liu, C.-W., K.-H. Lin, et al. (2003). "Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan." *Science of The Total Environment* 313(1–3): 77-89.
- Lounaci, A. (2014). « Diversité de la faune macro invertébrés benthique d'Algérie ». 4ème Congrès Franco Maghrébin de Zoologie & 5èmes Journées Franco Tunisiennes de Zoologie Korba –Tunisie.
- Maane-Messai, S., B. Laignel, et al. (2010). "Spatial and temporal variability of water quality of an urbanized river in Algeria: The case of Soummam Wadi." *Water Environment Research* 82(8): 742-749.
- Manoj, K. and P. K. Padhy (2014). "Multivariate statistical techniques and water quality assessment: Discourse and review on some analytical models." *International Journal of Environmental Sciences* 5(3): 607.

Manoj, K., S. Ghosh, et al. (2013). "Characterization and classification of hydrochemistry using multivariate graphical and hydrostatistical techniques." *Research Journal of Chemical Sciences* ISSN 2231: 606X.

Marisol V., Rafael P., Enrique B., Luis D. (1998). "Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analyses". *Water Research*, 32, 3581- 3592.

Mazlum, N., A. ÖZER, et al. (1999). "Interpretation of water quality data by principal components analysis." *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 23(1): 19-26.

McKinney, M. L. (2002). "Urbanization, Biodiversity, and Conservation: The impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems." *BioScience* 52(10): 883-890.

Mebarki, A. (2005). *Hydrologie des Bassins de l'Est Algérien: Ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de doctorat d'état. Université Mentouri de Constantine.*

Mebarki, A. (2010). "Apport des cours d'eau et cartographie du bilan hydrologique: cas des bassins de l'Algérie orientale." *Science et changements planétaires/Sécheresse* 21(4): 301-308.

Mebarki, A. El.H. (2011), études des caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface, cas du barrage de Ain zada wilaya de bordj Bou Arreridj/ studies of the physicochemical characteristics of surface waters, where the dam Ain zada wilaya of Bordj Bou Arreridj. (Nord-est algérien), Faculté des Sciences de la Terre, Département de Géologie, UBMA.

Memet V., Bülent G., Ayse B., Bülent Ş. (2012). "Spatial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris River basin Turkey". *Catena*, 92, 11–21.

Mendiguchía, C., C. Moreno, et al. (2004). "Using chemometric tools to assess anthropogenic effects in river water: A case study: Guadalquivir River (Spain)." *Analytica Chimica Acta* 515(1): 143-149.

Menouer, S., Taibi, S. (2014). « Étude de la qualité des rejets liquides industriels en aval du complexe gl1/z ». *usto*.

Merzoug, A. N. and H. Merazig (2012). *Water pollution of oued medjerda in Algerian souk ahras region*, INTECH Open Access Publisher.

Meybeck, M., Chapman, D. and Helmer, R. [Eds] 1989 *Global Freshwater Quality: A First Assessment*. Blackwell Reference, Oxford, 306 pp.

- Monique Le Guen, La boîte à moustaches de TUKEY un outil pour initier à la Statistique, [Document électronique], Centre d'Économie de la Sorbonne.
- Mulliss, R., D. M. Revitt, et al. (1997). "The impacts of discharges from two combined sewer overflows on the water quality of an urban watercourse." *Water Science and Technology* 36(8–9): 195-199.
- Mustapha, A., A. Aris, et al. (2013). "River water quality assessment using environmental techniques: case study of Jakara River Basin." *Environmental Science and Pollution Research* 20(8): 5630-5644.
- Nair, I., K. Singh, et al. (2010). "Trace metal quality of Meenachil River at Kottayam, Kerala (India) by principal component analysis." *World Applied Sciences Journal* 9(10): 1100-1107.
- Nicolaos L., Andreas A., George P. (2004). "The use of multicomponent statistical analysis in hydrogeological environmental research". *Water Research*, 38, 1862–1872.
- Panda, U. C., S. K. Sundaray, et al. (2006). "Application of factor and cluster analysis for characterization of river and estuarine water systems – A case study: Mahanadi River (India)." *Journal of Hydrology* 331(3–4): 434-445.
- Parent-Raoult, C. and J.-C. Boisson. (2007). "Impacts des Rejets Urbains De Temps de Pluie (RUTP) sur les milieux aquatiques: Etat des connaissances." *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science* 20(2): 229-239.
- Pejman, A. H., G. R. N. Bidhendi, et al. (2009). "Evaluation of spatial and seasonal variations in surface water quality using multivariate statistical techniques." *International Journal of Environmental Science & Technology* 6(3): 467-476.
- Praus, P. (2007). "Urban water quality evaluation using multivariate analysis." *Acta Montanistica Slovaca* 12(2): 150-158.
- Rachedi, L. H. and H. Amarchi (2015). "Assessment of the water quality of the Seybouse River (north-east Algeria) using the CCME WQI model." *Water Science and Technology: Water Supply* 15(4): 793-801.
- Ragan, R. M. and T. J. Jackson (1976). "Hydrography synthesis using LANDSAT remote sensing and the SCS models."
- Ragan, R. M. and T. J. Jackson (1980). "Runoff synthesis using Landsat and SCS model." *Journal of the Hydraulics Division* 106(5): 667-678.

Rahman, I. M., M. M. Islam, et al. (2011). "Stagnant surface water bodies (SSWBs) as an alternative water resource for the Chittagong metropolitan area of Bangladesh: physicochemical characterization in terms of water quality indices." *Environmental Monitoring and Assessment* 173(1-4): 669-684.

Ramdani, A., H. M. Djellouli, et al. (2012). "Physico-chemical water quality in some regions of southern Algeria and pretreatment prediction." *Procedia Engineering* 33: 335-339.

Remita, A. (2008). « Remobilisation des métaux dans les de oued Boudjemaa et ses affluents ». Thèse de magister. UBMA.

Rouidi, S. (2014). Evaluation de la contamination par les hydrocarbures des sédiments superficiels (fluviaux et marins) de la région de Skikda (nord-est algérien). Analyse statistiques, Université Badji Mokhtar de Annaba.

Seeboonruang, U. (2012). "A statistical assessment of the impact of land uses on surface water quality indexes." *Journal of Environmental Management* 101(0): 134-142.

Seghir, K. (2014). "LA VULNERABILITE A LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES DE LA REGION TEBESSA-HAMMAMET (EST ALGERIEN)." *LARHYSS Journal* ISSN 1112-3680(18).

Shrestha, S. and F. Kazama (2007). "Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan." *Environmental Modelling & Software* 22(4): 464-475.

Shuster, W., J. Bonta, et al. (2005). "Impacts of impervious surface on watershed hydrology: a review." *Urban Water Journal* 2(4): 263-275.

Singh, K. P., A. Malik, et al. (2004). "Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study." *Water Research* 38(18): 3980-3992.

Singh, K. P., A. Malik, et al. (2005). "Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques—a case study." *Analytica Chimica Acta* 538(1–2): 355-374.

Sundaray, S. K., U. C. Panda, et al. (2006). "Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of the Mahanadi river–estuarine system (India) – a case study." *Environmental Geochemistry and Health* 28(4): 317-330.

Swaroop Bhargava, D. (1983). "Use of water quality index for river classification and zoning of Ganga river." *Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical* 6(1): 51-67.

- Swaroop Bhargava, D. (1983). "Use of water quality index for river classification and zoning of Ganga river." *Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical* 6(1): 51-67.
- Unmesh C. P., Sanjay K. S., Prasant R., Binod B. N. (2006). "Application of factor and cluster analysis for characterization of river and estuarine water systems – A case study": Mahanadi River India. *Journal of Hydrology*, 331, 434– 445.
- Varol, M., B. Gökot, et al. (2012). "Spatial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey." *CATENA* 92(0): 11-21.
- Veenhuis, W. M. A. a. J. E. (1983). "Effective Impervious Area in Urban Runoff Modeling." *Journal of Hydraulic Engineering* 109(2): 313-319.
- Vega, M., R. Pardo, et al. (1998). "Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis." *Water Research* 32(12): 3581-3592.
- Walsh C. J., Fletcher T. D., Ladson A. R. (2009). "Retention Capacity: A Metric to Link Stream Ecology and Storm-Water Management." *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(4), 399–406.
- Walsh, C. J. (2000). "Urban impacts on the ecology of receiving waters: a framework for assessment, conservation and restoration." *Hydrobiologia* 431(2): 107-114.
- Walsh, C. J., A. H. Roy, et al. (2005). "The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure." *Journal of the North American Benthological Society* 24(3): 706-723.
- Walsh, C. J., T. D. Fletcher, et al. (2005). "Stream restoration in urban catchments through redesigning stormwater systems: looking to the catchment to save the stream." *Journal of the North American Benthological Society* 24(3): 690-705.
- Wang, Q., X. Wu, et al. (2015). "Combined Multivariate Statistical Techniques, Water Pollution Index (WPI) and Daniel Trend Test Methods to Evaluate Temporal and Spatial Variations and Trends of Water Quality at Shanchong River in the Northwest Basin of Lake Fuxian, China." *PloS one* 10(4): e0118590.
- Yidana, S. M., B. Banoeng-Yakubo, et al. (2010). "Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in the Keta basin, Ghana." *Journal of African Earth Sciences* 58(2): 220-234.

Yidana, S. M., D. Ophori, et al. (2008). "A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data—The Ankobra Basin, Ghana." *Journal of Environmental Management* 86(1): 80-87.

YILMAZ, V., M. BÜYÜKYILDIZ, et al. (2010). "Classification of Surface Water Quality of Kızılırmak Basin in Turkey by Using Factor and Cluster Analyses."

Zhang, Q., Z. Li, et al. (2008). "Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques in red soil hilly region: a case study of Xiangjiang watershed, China." *Environmental Monitoring and Assessment* 152(1): 123-131.