



Etude spatio-temporelle des eaux de surface du bassin versant de l'Oued Mekerra-Oued El Mabtouh (Algerie) et étude physico-chimique par pondération inverse à la distance.

Spatio-temporal study of the surface waters of the Oued Mekerra-Oued El Mabtouh watershed (Algeria) and study physico-chemical study by inverse distance weighting.

ADDOUCHE. A.¹, ZIZI Z.^{1,*}, EL ZEREY. W.² & BENGHAREZ. Z.¹

Abstract : This paper aims to map and obtain a spatial analysis method to identify potential sources of pollution in the Mekerra-Mabtouh sub-basin which is a part of the large Macta watershed (North-West Algeria). This basin covers an area of about 4100 km². The spatial analysis takes the form of a hierarchical multi-criteria analysis integrated with a Geographic Information System (GIS). The weighting method used is the inverse distance weighting (IDW). The results of these weightings will thus be obtained based on quantitative data. The Mekerra-Mabtouh sub-basin. The pollution parameters monitored in order to evaluate the water quality along the Oued Mekerra-Oued El Mabtouh are: The dissolved oxygen (O₂d), the suspended solids (TSS), the chemical oxygen demand (COD), the biochemical oxygen demand (BOD5), the Nitrates ions (NO₃⁻), Ammonium ions (NH₄⁺) and ortho-phosphate ions (PO₄³⁻). The application allowed the illustration of the spatio-temporal distribution of these pollutants. The water analyzed in different stations along the sub-basin presents pollution in nitrogenous substances and phosphorus ions. These pollutants affect the waters of the Cheurfa dam and contribute to its eutrophication. The study concluded that the sampled stations suffer from organic pollution according to the standards set by the ANRH.

Keywords: Water quality, Oued Mekerra-Mabtouh, Algeria, Spatial analysis, Inverse Distance Weighting (IDW), GIS.

Résumé: La cartographie par une méthode d'analyse spatiale a permis d'identifier les potentielles sources de pollution du sous bassin Mekerra-Mabtouh, faisant partie du bassin versant de la Macta situé au Nord-Ouest de l'Algérie. L'analyse spatiale prend la forme d'une analyse multicritère hiérarchique intégrée à un Système d'Information Géographique (SIG) corrélée à une pondération inverse à la distance (IDW) a donné des résultats intéressants. Les éléments indicateurs de pollution suivis afin d'évaluer la qualité de l'eau le long de l'Oued Mekerra-Oued El Mabtouh sont : l'oxygène dissous (OD), les matières en suspension (MES), La demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO5), les Nitrates (NO₃⁻), les Ammoniums (NH₄⁺) et les ortho-phosphates (PO₄³⁻). L'application de la méthode spatiale a permis l'illustration de la distribution spatio-temporelle de ces polluants permettant une prise en charge ciblée. L'eau analysée en de différentes stations le long du sous bassin présente une pollution en substances azotées et en ions phosphore. Ces polluants affectent les eaux du barrage Cheurfa (situé sur le même sous bassin) et contribuent à son eutrophisation. L'étude a permis de conclure que les stations échantillonnées souffrent d'une pollution organique selon les normes de la grille de qualité recommandées par l'ANRH.

Mots clés : Qualité de l'eau, Oued Mekerra-Mabtouh, Analyse spatiale, Pondération Inverse à la Distance (IDW), SIG, Algérie.

INTRODUCTION

En raison de différentes activités anthropiques, la plupart des écosystèmes aquatiques (rivières, lacs, ruisseaux et étangs) sont de mauvaise qualité induite par le déversement d'eaux usées non traitées provenant d'industries, de villes, de fermes agricoles. Les rivières urbaines des pays en développement sont généralement considérées comme des vecteurs de métaux lourds toxiques et de nutriments inorganiques. Elles présentent dès lors, un danger pour la faune aquatique et contribuent à de graves problèmes environnementaux. Les rivières servent ainsi comme point critique où la pollution de diverses sources est déversée (KAUSAR, 2019).

De nombreuses études ont été consacrées à la surveillance et l'évaluation de la qualité des eaux de surface. Cependant, une bonne connaissance des informations sur l'eau est indispensable pour une bonne gestion de la ressource. Les données collectées sont analysées et représentées sous forme de cartes pour faciliter la compréhension, la communication et la visualisation des différents paramètres de pollution (SMIDA, 2006).

zahia.zizi@univ-sba.dz

¹Laboratoire de Matériaux Avancés et Physico-chimie Pour l'Environnement et la Santé, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, Algérie.

² Université Mohamed Boudiaf des Sciences et de la Technologie, Oran, Algérie.

Les systèmes d'information géographique (SIG) sont connus comme outils performants pour traiter l'information géographique d'une façon globale sans perdre la variabilité spatio-temporelle, généralement essentielle dans l'évaluation de la qualité de l'eau (Mtetwa& al, 2003).Ce système permet d'examiner la relation de cause à effet avec une interprétation visuelle. Il représente un outil de support pour les chercheurs et les gestionnaires des ressources naturelles. Le système SIG comprend des méthodes d'interpolation spatiale de type déterministe (Pondération Inverse à la Distance, (IDW), les fonctions de base radiales (RBF), l'interpolation polynomiale globale (GPI), l'interpolation de la polynomiale globale (GPI)) et géostatique (krigeage/co-krigeage, krigeage ordinaire (OK), krigeage simple (SK), krigeage universel, etc..) (KUMAR, 2007).

Parmi les méthodes les plus fréquemment utilisées sont l>IDW et le krigeage dans l'évaluation de la qualité de l'eau et de sa contamination dans beaucoup de travaux. Nous citerons l'étude de la qualité des eaux de l'oued El Bey en Tunisie (Khouni, 2021), l'évaluation spatio-temporelle des variables de la qualité des eaux de la rivière Xin'anjiang (Huangshan) en Chine par l'utilisation de la technique IDW (YANG, 2020). Les Méthodes citées précédemment ont été développées pour la cartographie et la prédiction des cartes de distribution spatiale telle que les paramètres de qualité de l'eau. Le travail que nous entreprenons vise à cartographier la qualité de l'eau de l'oued Mekerra-Mabtouh par l'interpolation spatiale des paramètres indicateurs de la qualité des eaux de surface et l'identification des principales zones de pollution dans la région d'étude en utilisant la méthode IDW.

Le sous bassin Mekerra-Mabtouh fait partie du grand bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie). Ce bassin couvre une superficie d'environ 4100 km²(CHARIF & al. 2009).Tenant compte de données obtenues au cours de l'année 2018, ce travail de recherche a permis de donner un aperçu sur la qualité des eaux brutes de l'oued Mekerra-Mabtouh et de la distribution spatio-temporelle de différents indicateurs de qualité de l'eau le long du sous bassin versant.

Les principaux objectifs de cette étude sont d'évaluer les propriétés physico-chimiques de l'eau du bassin versant Oued Mekerra-Oued Mabtouh en échantillonnant et en testant les paramètres indicateurs de qualité de l'eau ; de cartographier la variation spatio-temporelle de ces paramètres en utilisant les outils SIG d'interpolation et d'analyse de superposition et d'identifier les points très influencés par l'activité anthropique nécessitant un traitement direct.

MATERIELS ET METHODES

Situation géographique du site d'étude

Situé au Nord-ouest de l'Algérie, le sous bassin versant de l'Oued Mekerra (Figure 1) fait partie du grand bassin de la Macta (répertorié par le code n° 11 selon l'ANRH). Il est localisé entre les latitudes 34°31'- 35°21' Nord et les longitudes 1°16'- 0°58' Ouest, et orienté du sud (en amont, 1097 m à Ras El Ma) au nord (en aval, 500m, de la ville de Sidi Bel Abbès) (Figure2).

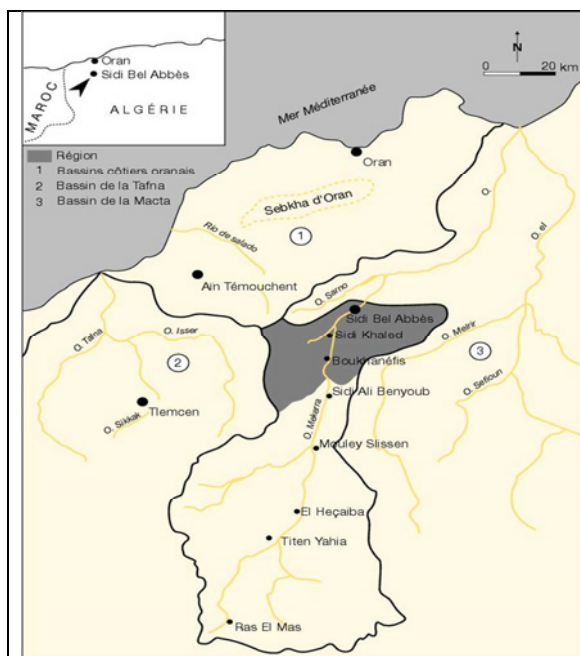


Fig.1. Localisation géographique du bassin-versant (MEDDI & al. 2020)

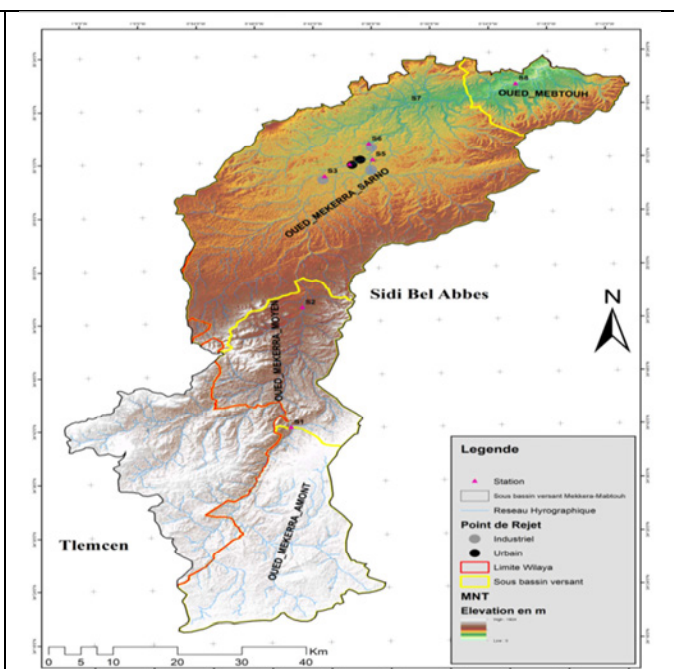


Fig.2 : Carte du réseau hydrographique du sous bassin versant Mekerra-Mabtouh

Ce bassin se trouve composé de trois (03) sous-bassins, à savoir : la haute Mekerra (comprise entre la région de

Ras El Ma et celle de Sidi Ali Benyoub, et formant une vallée encaissée, de pente assez accentuée) ; la moyenne Mekerra : Regroupe les régions qui s'étendent de Sidi Ali Benyoub à l'agglomération de Sidi Bel Abbés et la basse Mekerra : Correspond à toute la partie du bassin située en aval de l'agglomération de Sidi Bel Abbés.

L'Oued Mekerra est un cours d'eau, long de 125 km, a un apport annuel de 25 à 60 millions de m³, soit 42 millions m³/an en moyenne, en période pluvieuse. Il prend sa source au niveau du Djebel Timizine, au Sud-est de Ras El Ma, et traverse la ville de Sidi Bel Abbés en aval, où il conflue avec l'oued Sarno pour former l'oued Mebtouh, alimentant en eau le barrage Cheurfa de la wilaya de Mascara (CHERIF, 2009 ; ABH, 2010).

Echantillonnage

Pour refléter avec précision la qualité de l'eau de l'Oued Mekerra-Mabtouh et identifier les zones présentant des degrés de pollution élevés au niveau de huit stations, nous avons procédé aux prélèvements d'échantillons au niveau des différentes stations (tableau 1, Figure2). Ces derniers couvrent le cours d'eau principal (Oued Mekerra) et son affluent (Oued El Maleh) jusqu'à la station 6. La continuation de l'Oued Mekerra est l'Oued Mabtouh de la station 6 à la station 8 (à l'entrée du barrage Cheurfa).

Les prélèvements mensuels d'eau brute ont été effectués au cours de l'année 2018 afin de faire le suivi et l'analyse des variables physico-chimiques indicateurs de qualité; à savoir : l'oxygène dissous (O₂d), l'ion d'ammonium (NH₄⁺), les nitrates (NO₃⁻), les orthophosphates (PO₄³⁻). Les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène (DBO5), la demande chimique en oxygène (DCO).

L'échantillonnage des eaux a été fait dans des flacons en polyéthylène d'une capacité d'un litre préalablement rincés avec l'eau de la station et transportés au laboratoire dans une glacière afin de maintenir la température à 4°C.

Tableau 1. Cordonnées des sites d'échantillonnage dans l'oued Mekerra-Mabtouh

Echantillon	Station(zone 30 S)	X	Y
Site 1 (S1)	Haçaiba(amont Mekerra)	X= 705420	y=3842511
Site2 (S2)	Sidi Ali Ben Youb (moyenne Mekerra)	X=706625	y=3873007
Site 3 (S3)	Sidi Lahcen (amont wilaya de Sidi Bel Abbes) prés du rejet industriel.	X=710565.41	y=3894524.64
Site 4 (S4)	Ville de Sidi Bel Abbes.	X=714437.50	y=3897021.65
Site 5 (S5)	Point de rejet de la zone industrielle (confluence d'Oued El Maleh avec Oued Mekerra)	X=718032.44	y=3898019.26
Site 6 (S6)	Après la station d'épuration ONA	X=717428.92	y=3901352.80
Site 7 (S7)	Sidi Brahim (aval de la ville de Sidi Bel Abbes)	X=723507.00	y=3909721.00
Site 8 (S8)	Boujabha El Bordj (à l'entrée du Barrage Cheurfa)	X=740247.24	y=3913933

Techniques de mesure des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques ont été suivis afin d'obtenir des informations de base sur la nature et la qualité de l'eau de l'oued Mekerra-Mabtouh au cours de l'année d'étude 2018.

L'O₂d a été mesuré in-situ à l'aide d'un oxymètre portable type HANNA ref : HI 9146.

Tableau 2. Méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques

Paramètre	Norme	Méthodes
Matière en suspension (MES) mg/l	NF T90-105	filtration surfiltre en fibres de verre
Nitrates(NO ₃ ⁻) mg/l	ISO 7890-3	Méthode spectrométrique avec acide sulfosalicylique
Ammonium(NH ₄ ⁺) mg/l	NF T90-015	Méthode spectrométrique
Orthophosphates (PO ₄ ³⁻) mg/l	8048	Colorimétrie DR/820(Acide ascorbique)
Demandes Chimiques en Oxygène(DCO)mg/l d'O ₂	10067	Colorimétrie DR/820(Digestion Manganèse III)
Demandes Biologiques en Oxygène (DBO5) mg/l d'O ₂	NF T90-103	Méthode manométrique

Le reste des éléments physico-chimiques ont été analysés dès l'arrivée au laboratoire. Les méthodes utilisées sont présentées sur le tableau 2.

Réglementation relative à l'eau

Plusieurs textes réglementaires ont été respectés dans l'exploitation des résultats : le décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels ; le décret exécutif n° 07-399 du 23 décembre 2007 relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau ; le décret exécutif n° 10-88 du 10 mars 2010 fixant les conditions et les modalités d'octroi d'autorisation de rejets d'effluents non toxiques dans le domaine public hydraulique ; le décret exécutif n° 10-317 du 21 décembre 2010 fixant les conditions dans lesquelles sont effectués les prélèvements et les analyses d'échantillons des ressources en eau souterraine et superficielle ; le décret exécutif n° 11-219 du 12 juin 2011 fixant les objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau des populations ; l'arrêté du 6 janvier 2013 fixant les valeurs limites maximales et les données particulières relatives aux rejets d'effluents, de déversements ou de dépôts de matières de toute nature ne présentant pas de risques de toxicité ou de nuisance dans le domaine public hydraulique.

Traitement SIG

La méthode Pondération de l'Inverse à la Distance (Inverse Distance Weighting) IDW a été appliquée à l'aide du logiciel ArcGIS 10.3. Les classifications de la qualité de l'eau étaient fondées sur la distribution spatiale des éléments polluants avec une légende cartographique correspondant à la gamme de données de chaque paramètre.

Méthode de Pondération inverse à la distance(IDW)

Cette méthode est appelée dans la littérature IDW (Inverse Distance Weighted). Elle est basée sur le principe que, pour une même variable, l'influence relative d'un point d'observation diminue avec la distance qui le sépare du point de l'espace dont on veut estimer la valeur (BENJAMIN,2007). On calcule la moyenne des mesures des points d'observation environnants (sites d'échantillonnage, dans notre cas), en donnant un poids plus important aux points les plus proches. La valeur prédite pour un point de l'espace est :

$$Z = \left[\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{d_i^k} \right] / \left[\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k} \right]$$

Où Z est la variable estimée, Z_i est la valeur connue au point de mesure i, d est la distance entre le point de valeur inconnue et le point de mesure i, N est le nombre de sites utilisés pour l'interpolation, et k est la puissance à laquelle est élevée la distance. Les méthodes d'interpolation par IDW sont utilisées pour élaborer un schéma spatial des zones polluées et à risque dans la zone d'étude.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les rejets x non épurés dans le milieu naturel et qui rejoignent l'Oued Mekerra-Mabtouh et leurs affluents, contiennent des substances toxiques. Ces rejets finissent par affecter le barrage Cheurfa situé en aval dont les eaux alimentent quelques agglomérations de la région de Mascara. Le but étant de localiser les éventuelles pollutions en saison humide et saison sèche afin de mieux les prendre en charge écologiquement. Le modèle de distribution spatiale des paramètres de qualité de l'eau le long du sous-bassin versant Oued Mekerra-Mabtouh.

Tableau 3. Grille de qualité des eaux de surface (ANRH.2009)

Qualité Paramètres	Unité	I Situation normale	II Pollution modérée	III Pollution notable	IV Pollution excessive
O ₂ dissous	mg/l d'O ₂	>7	7-5	5-3	<3
DCO	mg/l d'O ₂	<20	20-40	40-50	>50
DBO ₅	mg/l d'O ₂	<5	5-10	10-15	>15
MES	mg/l	<30	-	-	30-70
NH ₄ ⁺	mg/l	<0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
NO ₃ ⁻	mg/l	<10	10-20	20-40	>40
PO ₄ ³⁻	mg/l	<0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3

Les concentrations de l'ensemble des paramètres de pollution de l'eau du sous-bassin Mekerra-Mabtouh obtenues sont discutées selon la réglementation algérienne énumérée ci-dessus. La grille SEQ-eau (Medd, 2003) relative à la surveillance de la pollution des cours d'eau et barrages est essentiellement prise en charge par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) qui dispose depuis 1983 d'un réseau national de surveillance de la qualité des eaux constitué de près de 100 stations.

Le suivi spatial des paramètres physico-chimiques

Une gestion durable de la qualité des eaux de surface repose sur des paramètres indicateurs de pollution qui doivent être surveillés : l'oxygène dissous (O_2d), la matière en suspension (MES), la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO₅), les Nitrates (NO_3^-), les ions ammonium (NH_4^+), les ions phosphates (PO_4^{3-}). Le tableau 4 et les tableaux en annexe (5a et 5b) récapitulent la caractérisation physico-chimique des échantillons d'eau prélevés tout au long de l'oued Mekerra-Mabtouh.

Les cartes spatiales réalisées à l'aide des techniques de SIG et d'interpolation IDW expliquent la diminution des valeurs de polluants physico-chimiques lors des deux saisons (humide et sèche) le long d'Oued Mekerra-Mabtouh en allant du site 1 Haçaiba au site 8 Boujabha El Bordj, par les nuances de couleur utilisées dans la méthode d'interpolation indiquant les zones à risque et de forte pollution (en rouge) et les zones de bonne qualité (en bleu).

La demande chimique et biochimique en oxygène (DCO, DBO₅)

Plus la concentration de DBO₅ est élevée, plus la quantité de matière organique présente dans l'échantillon est élevée (Wang, 2007 et Barakat, 2016), quant à la demande chimique en oxygène DCO, elle mesure la quantité d'oxygène dissous suffisante pour oxyder la matière organique ou minérale dans l'eau. Les figures 3 et 4 représentent les cartes de distribution obtenues pour les deux saisons. Les valeurs de la DBO₅ et la DCO varient entre un minimum de 6.1 mg/l enregistré en période humide et un maximum de 14.47 mg/l en période sèche, et entre 42.85 mg/l et 114.75 mg/l en période humide et en période sèche respectivement. Pour la DBO₅ les résultats sont supérieurs à 11.6 mg/l, ce qui révèle une DBO₅ élevée ; la présence de grande quantité de matières organiques consommatrices d'oxygène a entraîné une DBO élevée en certains endroits,

Tableau 4. Valeurs moyennes de l'analyse physico-chimique des échantillons d'eaux prélevés au cours de la saison humide et la saison sèche.

Saison humide							
Paramètres	O_2 dissous (mg/l)	MES (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	PO_4^{3-} (mg/l)
Site 1	12.04	70	40.09	6.1	1.17	26.47	4.13
Site 2	11.50	78.2	29.3	7.34	1.43	28.4	2.88
Site 3	7.87	78.3	64.28	8.22	1.90	23.19	1.08
Site 4	8.54	95.8	41.6	9.34	1.14	42.7	5.11
Site 5	7.2	109	60.1	10.3	0.69	11.9	4.83
Site 6	6.2	122	82.7	10.2	1.88	48.4	4.46
Site 7	7.7	99.1	70.5	9.35	1.68	41.3	3.01
Site 8	9.05	88.7	30	8.22	0.72	28	6.58
Saison sèche							
Site1	10.47	44.75	67.27	7.75	0.48	13.5	1.04
Site2	8.17	64.75	42.85	13.72	0.80	13.73	0.80
Site3	4.25	64.74	114.75	12.2	0.91	13.98	0.50
Site4	4.60	94.75	93.43	14.43	0.74	21.77	2.19
Site5	4.22	93.5	104.8	14.15	0.21	6.51	1.49
Site6	3.89	89.2	122	13.7	2.48	25.4	2.48
Site7	3.91	75.2	105	12.8	1.36	19.9	2.2
Site8	6.05	86.7	68.1	12.7	0.09	6.9	2.29

Selon ANGELLO & al. (2020), la hausse pendant la période sèche est due à la réduction du débit de la rivière, qui minimise la dilution et l'autoépuration de l'eau de rivière, une faible teneur en DBO est principalement due à une solubilité accrue de l'oxygène à basse température. En période humide les eaux de pluie contribuent à la dilution de la charge organique. Les valeurs de DCO et DBO5 fluctuent légèrement de la station 1 vers la station 4 avec une augmentation dans les stations 5 à 7 en saison humide.

En saison sèche, l'augmentation brusque de la DBO5 et DCO de la station 2 vers la station 7 expliquent une dégradation de la qualité des eaux de l'Oued Mekerra de l'amont vers l'aval, ceci est dû principalement aux rejets industriels et urbains de matières organiques de l'agglomération de Sidi- Bel-Abbes, dont la zone industrielle située à l'est de l'agglomération et qui s'étend sur 434 ha (Bentekhici, 2018). Les eaux usées industrielles polluées sont évacuées sans aucun contrôle vers l'Oued El Maleh (affluent de l'Oued Mekerra) près du site 5. Il est à noter que les rejets d'effluents industriels sont fixés à des valeurs limites de 120mg/l et de 35 mg/l pour les DCO et DBO5 respectivement.

Selon la grille de qualité de l'ANRH, cette eau est de mauvaise qualité ne pouvant être utilisée en irrigation qu'après traitement. La représentation cartographique a permis d'évaluer la qualité des eaux d'Oued Mekerra en matières organiques et oxydables et de montrer que la qualité au niveau des sources est toujours bonne.

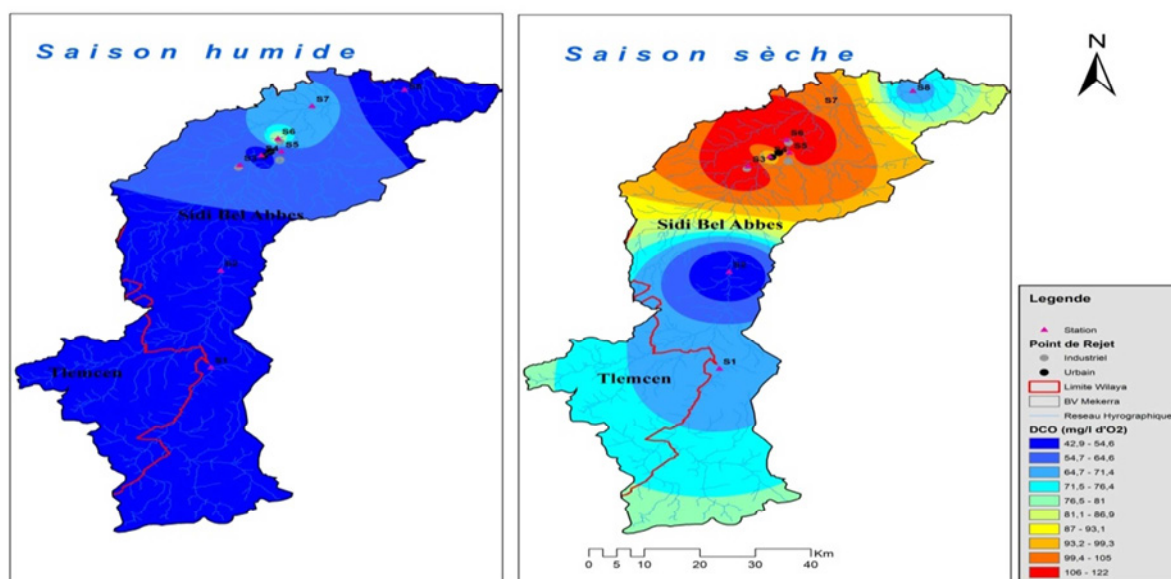


Fig.3. Carte de distribution spatiale de la DCO

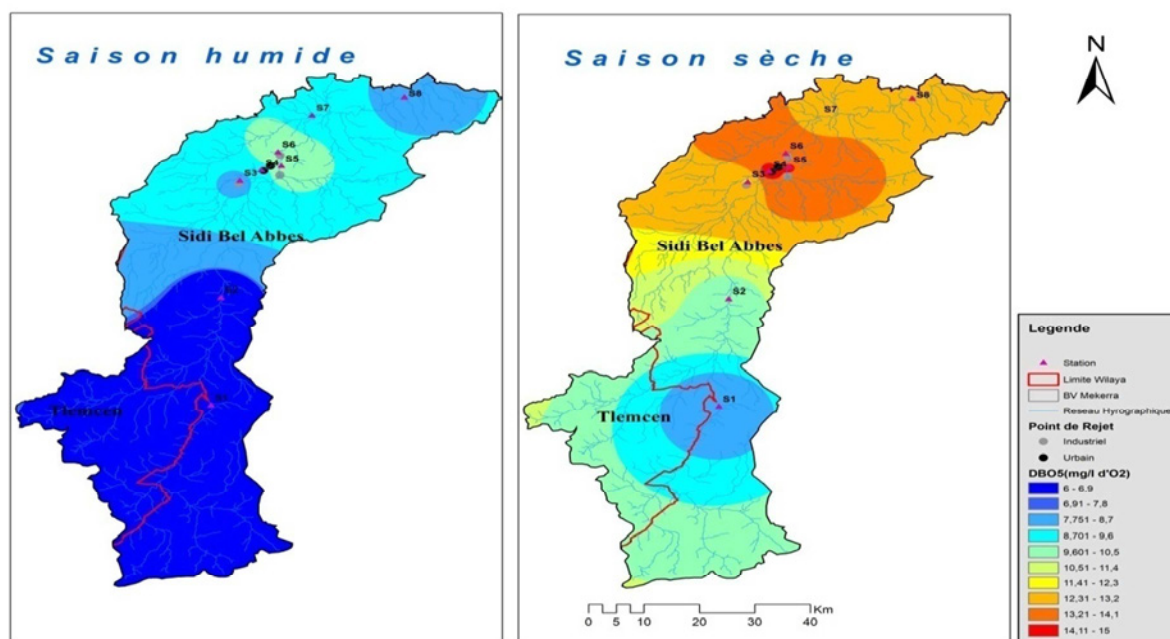


Fig.4. Carte de distribution spatiale de la DBO5

L'oxygène dissous O₂d

L'O₂ dissous (O₂d) constitue un excellent indicateur de la qualité des eaux de surface et de l'existence de la vie aquatique. Sa concentration nous renseigne sur le niveau de pollution et par conséquent sur le degré de l'auto-épuration d'un cours d'eau (KALALA, 2016). Selon HEBERT & LEGARE (2000) une eau à basse température contient abondamment d'oxygène dissous qu'une eau de température élevée. Les résultats des teneurs en O₂d enregistrées en période sèche se distinguent par une moyenne qui varie entre un minimum de 3.8 mg/l et un maximum de 10.4 mg/l, tandis qu'en période de pluies, les valeurs moyennes varient entre un minimum de 6.22 mg/l et un maximum de 12.04 mg/l.

Les résultats restent élevés puisque la teneur en O₂d au niveau des 8 stations en saison sèche est de 10.4 mg/l, 8.17 mg/l, 4.25 mg/l, 4.60 mg/l, 4.22 mg/l, 3.89 mg/l, 3.9 mg/l et 6.05 mg/l de la station 1 à la station 8 respectivement, présentant une eau bien oxygénée au niveau des deux premiers sites en amont de la principale agglomération. Une diminution de la concentration en O₂d du site 3 vers le site 7, peut être justifiée par les rejets d'eaux usées domestiques de l'agglomération de Sidi Bel Abbès et des rejets d'eaux industrielles près du site 3 (laiterie Ziane et zone industrielle), chargées en polluants organiques responsables du manque d'oxygène, ainsi que celles des rejets agricoles contribuant à une augmentation de matières algales consommatrices d'oxygène. Une légère augmentation au niveau du site 8 (6.05 mg/l d'O₂) est due probablement à sa position en aval d'une chute d'eau à proximité du barrage Cheurfa.

Les résultats sont élevés et à titre comparatif Aissaoui. & al. (2017) dans l'étude de la qualité physico-chimique des eaux de l'Oued Seybouseen période de basses eaux les valeurs sont faibles et varient entre 2.1 mg/l et 4.5 mg/l, révélant un déficit en oxygène à l'aval de l'Oued Seybouse.

Les teneurs relevées en période sèche sont inférieures à celles trouvées par GUENFOUD (2020) au niveau des trois stations de l'Oued Mekerra dans l'agglomération de Sidi Bel Abbès. Une interprétation similaire a été obtenue par Ben-DAOUD & al. (2011) dans les eaux superficielles de la ville de Meknès, révèlent des valeurs maximales obtenues au niveau des stations en amont de la grande agglomération de la ville et les valeurs minimales à l'aval. Le suivi de la concentration de l'oxygène dissous dans l'eau analysée au cours de l'année d'étude 2018 montre que les faibles teneurs en oxygène sont relevées en période sèche. La qualité de l'eau est mauvaise, selon les normes de la grille de qualité fixée par l'ANRH, en termes de manque d'oxygène dissous dans l'eau durant cette saison de l'amont vers l'aval et ce contrairement à la saison humide dont la qualité est d'acceptable à bonne.

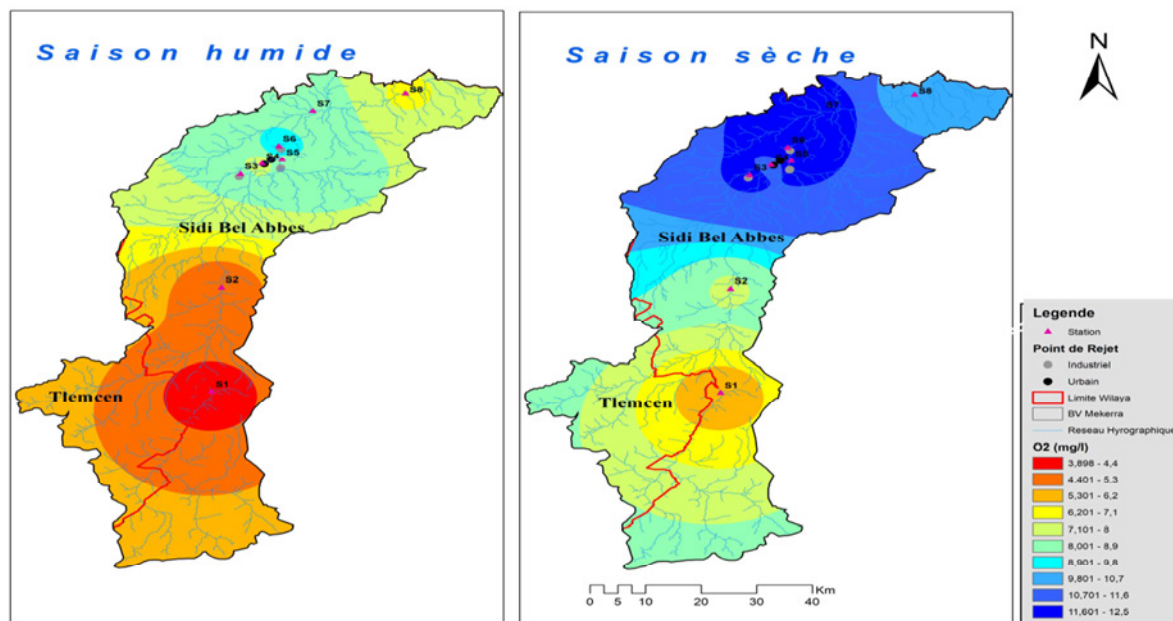


Fig.5. Carte de distribution spatiale de l'O₂d

Matières en suspension (MES)

Les concentrations des MES enregistrées dans la présente étude sont représentées sur la figure 6 et montrent qu'en période humide les valeurs fluctuent entre 70 mg/l et 122.7 mg/l, en allant du site 1 (amont de la Mekerra) vers des valeurs plus élevées sur le site 5 (confluence des rejets d'eaux industrielles dans l'oued El Maleh avec l'oued Mekerra) et le site 6 (aval de la station ONA de Sidi Bel Abbès). La valeur 109,14 mg/l des MES enregistrées sur le site 5 dépasse la valeur limite 35 mg/l fixée par la réglementation pour les effluents liquides industriels rejetés dans le milieu naturel.

La station ONA traite un pourcentage d'eaux usées domestiques de la ville qui est par la suite déversées dans l'oued Mekerra afin de rejoindre d'autres déversements qui ne sont pas raccordés à la STEP, ce qui augmente la teneur en matières en suspension dans l'eau. En période sèche les valeurs relevées varient entre 64.7mg/l au niveau du site 3 (Sidi Lahcen) à 93 mg/l au niveau du site 5 (près du point des rejets industriels), cela est dû au fait que cette zone ait reçu des contenus élevés de matières en suspension générées par les activités industrielles. La valeur maximale obtenue par AMER (2016), dans l'étude de la qualité physico-chimique du oued M'Zab nord du Sahara, était de 71.7 mg/lau mois d'aout, et reste moins élevée comparée à nos résultats obtenus en saison sèche. Une concentration élevée de solides en suspension a des effets très néfastes sur l'eau comme la réduction de la transparence de la lumière et de la contribution au processus de photosynthèse. Les quantités en matière en suspension obtenues en saison humide et saison sèche dépassent la valeur limite pour les eaux destinées à l'irrigation (30 mg/l).

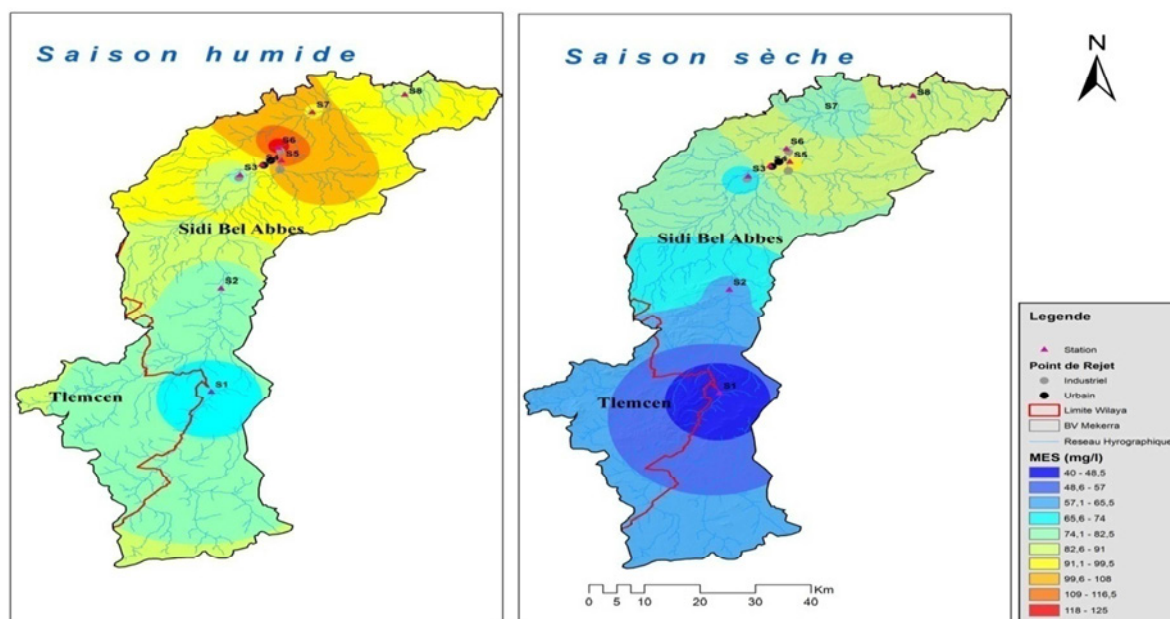


Fig. 6. Carte de distribution spatiale de la MES

Nitrates

Les NO_3^- sont la forme la plus oxygénée de l'azote et constituent le stade final de l'oxydation biochimique de l'ammoniac, son accroissement à partir de sources non ponctuelles contribue à l'eutrophisation, qui est la cause principale de la mauvaise qualité de l'eau et de la diminution des ressources biotiques dans de nombreux cours d'eau (ROYER, 2006). Ces teneurs en NO_3^- sont utilisées comme indicateurs de pollution. Leurs concentrations dans les eaux naturelles sont comprises entre 1 et 10 mg/l.

La distribution spatiale des NO_3^- dont la teneur pendant la période d'étude fluctue entre 11.9mg/l et 48.4mg/l en saison humide et entre 6.5mg/l et 25.4 mg/l en saison sèche. La valeur la plus élevée en période humide est sur le site 6 proche de la station ONA et le site 7 en aval de la ville de Sidi Bel Abbès où l'activité agricole est abondante ainsi que les rejets d'eau domestique traités par la station d'épuration ONA.

L'utilisation des quantités d'engrais azotés pour la fertilisation augmente la concentration des nitrates entraînés par lessivage en période de pluie et d'irrigation dans les eaux de l'Oued Mekerra. Les eaux drainées chargées en nitrates participent à l'eutrophisation des eaux du barrage Cheurfa. Selon l'ANRH, l'eau dans les stations précitées est de mauvaise qualité et présente une pollution notable à excessive en nitrates.

Les valeurs observées restent beaucoup moins élevées comparées à celles trouvées par ZOUITA (2018). La valeur des nitrates varie entre 35.7 mg L⁻¹ et 128 mg L⁻¹ sur les quatre sites d'échantillonnage en amont et au centre de l'agglomération de Sidi Bel Abbès. Les résultats obtenus comparés aux concentrations des nitrates relevées en période hivernale dans l'étude de modélisation de la qualité des eaux du bassin versant agricole en Tunisie (BOUKHARI & al, 2017) et dont les valeurs varient entre 1 mg/l et 10 mg/l. En effet, la présence d'une forte concentration de nitrates est liée aux activités agricoles et anthropiques.

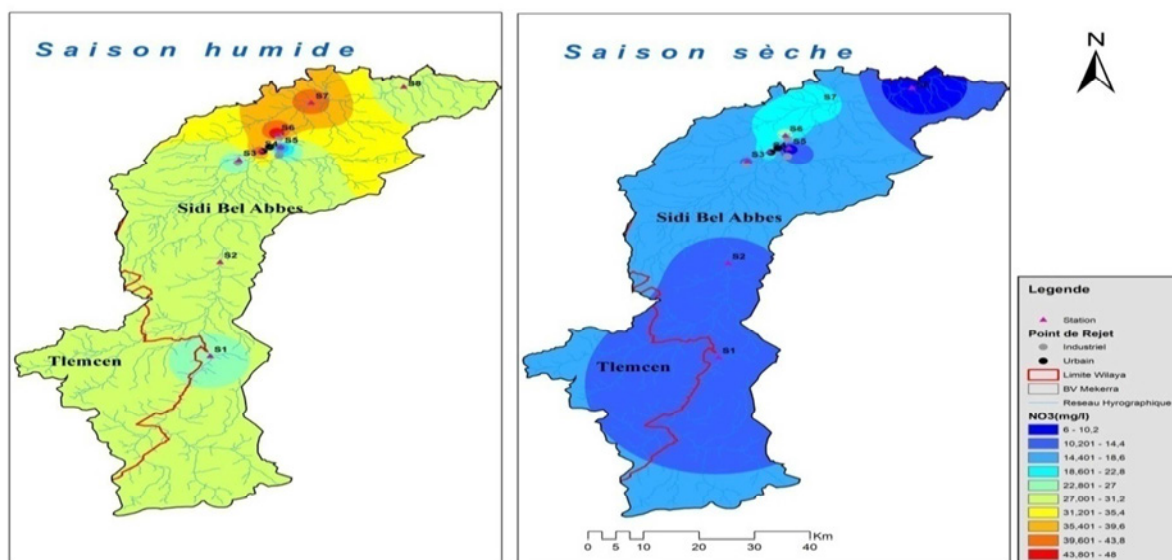


Fig.7. Carte de distribution spatiale des NO_3^-

Ammonium

Le rejet d'ammonium dans les masses d'eau est un problème majeur de contamination puisqu'une concentration élevée de ce nutriment au-delà d'une valeur admissible peut causer de graves dommages à la vie aquatique, avoir un effet néfaste sur la qualité de l'eau et contribuer à l'eutrophisation. Ce composant existe en faibles proportions en dessous de 0,1 mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles (CHAPMAN, 1996).

La carte de distribution spatiale des NH_4^+ le long du sous bassin Mekerra (figure 8) montre que les valeurs moyennes enregistrées en saison humide et sèche sont comprises entre 0.72 mgL^{-1} -1.90 mgL^{-1} et entre 0.09 mgL^{-1} -1.23 mgL^{-1} respectivement. L'augmentation se manifeste d'amont en aval et selon la nuance de couleur, la valeur la plus élevée est enregistrée sur le site 3 (commune de Sidi Lahcen, amont de Sidi Bel Abbas). Ceci est dû à la quantité d'eau usée rejetée sans aucun traitement dans l'oued Mekerra de l'industrie agro-alimentaire (Laiterie ZIANE) près du site 3 et est estimée à 2 m^3/jour , ainsi que celle des rejets agricoles chargés en engrais azotés (urée-nitrate d'ammonium) et drainées en période de pluie dans les eaux de l'Oued Mekerra. Des valeurs élevées sur les sites 6 et 7 où les eaux industrielles de l'agglomération de Sidi Bel Abbas sont rejetées dans l'Oued Mekerra sans aucun traitement préalable (BENTEKHICI, 2018). Durant la saison 2018, la qualité est considérée comme mauvaise selon la classification de l'ANRH ainsi que l'étude faite par GUASMI (2021), pendant la période 2016-2020 dans les eaux épurées de la station ONA de Sidi Bel Abbas, les NH_4^+ varient entre 2.51 mg/l et 97 mg/l. Ces affluents charrient tout cela jusqu'au site 7 (aval de l'agglomération de Sidi Bel Abbas). La teneur en NH_4^+ diminue vers le site 8 à l'entrée du barrage Cheurfa. Cet élément nécessite un suivi rigoureux afin de protéger les eaux du barrage Cheurfa du phénomène d'eutrophisation.

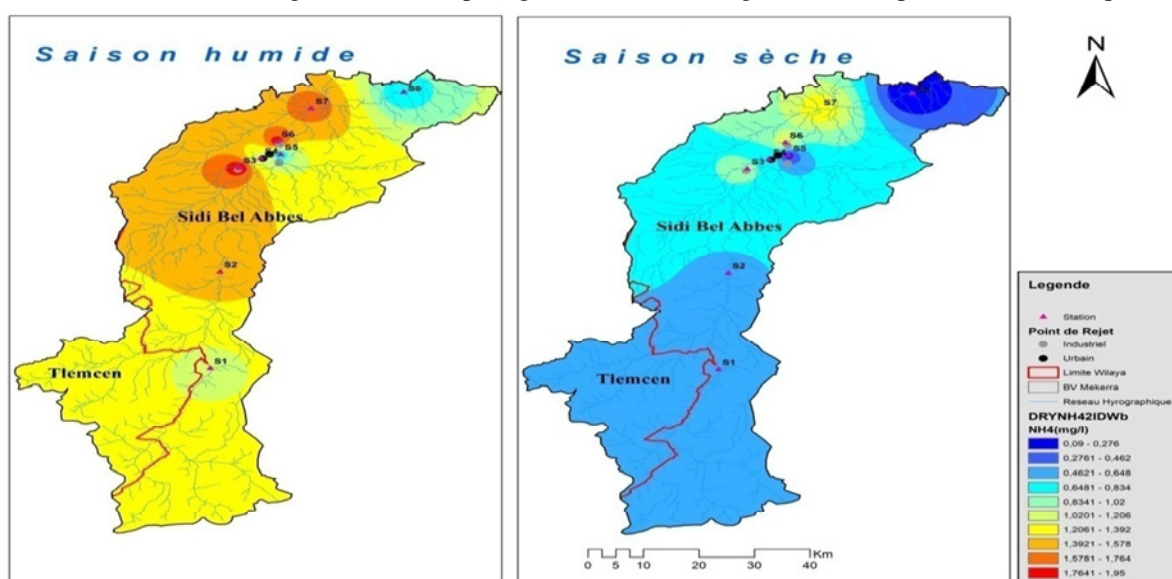


Fig.8. Carte de distribution spatiale des NH_4^+

Ions Phosphates

Les ions phosphates (PO_4^{3-}) participent avec d'autres nutriments (azote) dans l'augmentation du pouvoir nutritif de l'eau et favorisent la prolifération des cyanobactéries. Par photosynthèse, ces derniers fixent les CO_2 et N_2 en présence de la lumière et contribuent à un enrichissement excessif en matières organiques des lacs et des cours d'eau. Ce phénomène est nommé eutrophisation (DEFRANCESCHI, 1996).

Le suivi de la concentration du phosphore pendant les deux périodes (figure 9), fait que les hautes valeurs enregistrées en saison humide varient entre 4.14 mg/l et 6.6 mg/l. En saison sèche, elles fluctuent entre 0.5 mg/l et 2.5 mg/l. La teneur en ions phosphates exhibe une valeur importante en période humide sur le site 8 (à l'entrée du barrage Cheurfa) de l'ordre de 6.6 mg/l, des valeurs également élevées enregistrées sur les sites 4, 5, 6 et 7. Ce niveau de concentration est peut-être dû à l'accentuation du lessivage des sols, la quantité d'eau rejetée dans l'eau d'oued Mekerra est chargée en engrais phosphatés issus des terres agricoles avoisinantes et de produits détergents provenant des rejets urbains. Selon AWOMESO (2010), une concentration de phosphate supérieur à 0.1 mgL^{-1} active la croissance des plantes et des algues, ce qui provoque des problèmes écologiques et environnementaux.

Les teneurs sont faibles au niveau des sites 1, 2 et 3, et généralement la qualité des eaux est bonne en amont de l'agglomération de Sidi Bel Abbès. Les valeurs obtenues pour cette étude restent inférieures à celles trouvées par REGGAM (2015) dans l'étude de la qualité physico-chimique des eaux de l'Oued Seybouse (Nord-Est de l'Algérie) où les valeurs révélées en période humide varient entre 14 mg/l et 15.70 mg/l. Les concentrations trouvées dans la présente étude sont supérieures à celles de ZOUTA (2018), 1.37 mg/l et 2.87 mg/l. La pollution par le phosphore est probablement due aux activités agricoles et urbaines longeant les oueds.

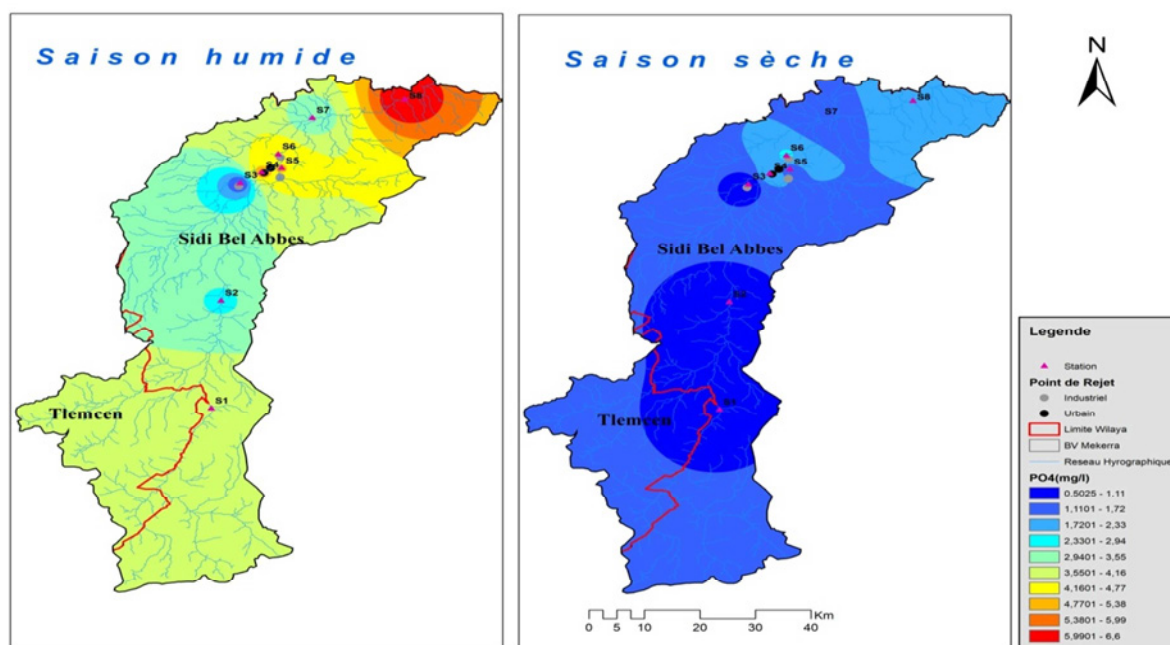


Fig. 9. Carte de distribution spatiale des PO_4^{3-}

CONCLUSION

La qualité physico-chimique des eaux drainées par l'Oued Mekerra-Mabtouh au cours de l'année 2018 pendant la saison sèche et humide en s'appuyant sur des éléments indicateurs de pollution a permis d'évaluer la qualité de l'eau le long de ces deux cours d'eau. Les indicateurs retenus sont ; l'oxygène dissous (O_2d), les matières en suspension (MES), la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO5), les Nitrates (NO_3^-), les Ammonium (NH_4^+) et les ortho-phosphates (PO_4^{3-}).

Le recours à l'application de la méthode spatiale IDW par le système SIG a permis de cartographier la distribution spatio-temporelle de ces polluants et à prédire leur variation dans toute la zone d'étude. Les résultats obtenus montrent que la zone d'étude est fortement contaminée par les rejets industriels rejetés sans traitement ainsi que les eaux domestiques non raccordée à la STEP ONA de la ville de Sidi Bel Abbès.

La dégradation de la qualité des eaux est matérialisée par des couleurs pour une simplification d'exploitation. Les valeurs élevées sont enregistrées en saison humide pour la MES, les matières azotées et une hausse en saison sèche pour les matières organiques et oxydables à savoir l' O_2d , DCO et DBO5. La quantité en MES sur le site 5 du rejet industriel,

est largement supérieure à la valeur maximale de 35 mg/l retenue par les normes relatives aux effluents liquides industriels rejetés dans le milieu naturel et dépasse la valeur limite de 30 mg/l pour les eaux destinées à l'irrigation.

L'eau analysée dans les différentes stations le long du sous bassin Mekerra-Mabtouh présente une pollution en substances azotées et en ions phosphore. Ces polluants affectent les eaux du barrage Cheurfa situé en aval et contribuent à son eutrophisation.

Le suivi de la zone d'étude a permis de conclure que les stations échantillonnées 5,6 et 7 souffrent d'une pollution organique selon les normes fixées par l'ANRH, ce qui cause une diminution en O₂d et une élévation de la DCO et DBO₅.

Un traitement préalable devrait être envisagé pour améliorer sa qualité à fin de répondre aux normes établies par les autorités publiques, et de protéger les eaux du barrage Cheurfa et de fournir ainsi une eau acceptable pour l'irrigation.

REMERCIEMENTS

Nos vifs remerciements vont au directeur de l'agence nationale des ressources hydrique (ANRH) de la Wilaya d'Oran (Algérie), aux responsables de l'Agence des Bassins Hydrographique de la Wilaya d'Oran (ABH) et au responsable du laboratoire ONA ; pour leur précieuse aide.

REFERENCES:

- ANGELLO Z., TRANCKNER J. & BEHAILU B., 2020. Spatio-Temporal Evaluation and Quantification of Pollutant Source Contribution in Little Akaki River, Ethiopia: Conjunctive Application of Factor Analysis and Multivariate Receptor Model. *Pol. J. Environ. Stud.* **30** : 23–34. <https://doi.org/10.15244/pjoes/119098>
- ABH., 2010. Agence des Bassins Hydrographiques, Chott Chergui, Algérie
- ANRH., 2009. Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques. *Surveillance de la qualité des eaux*. Algérie, 26 P.
- AMER Z.B., SAHA z.B. & HAZZAB A., 2016. Spatio-Temporal Variation Study of Physico -Chemical Parameters Characterizing Water Quality of OuedM'zab Region, Algeria. *Int. Annals Sci.* **1** : 2–7. <https://doi.org/10.21467/ias.1.1.2-7>
- AISSAOUI M., BE ?HAMZA M. & GUETTAF, M., 2017. Caractéristiques hydro chimiques des eaux de l'oued Seybouse - Cas de la région de Guelma (Nord est Algérien) Hydro chemical characteristics of the Seybouse river – Case study of the Guelma region Northeast of Algeria ». *Rev. Sci. Technol., Synthèse.* **35**: 178-186.
- AWOMESO J.A., TAIWO A.M., GBADEBO A.M. & ADENOWO J.A., 2010. Studies on the pollution of water body by textile industry effluents in Lagos, Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Sanit.* **5**: 353–359.
- BARAKAT A., ElBaghdadi M., Rais J., Aghezzaf B. & Slassi M., 2016. Assessment of spatial and seasonal water quality variation of OumErRbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques. *International Soil and Water Conservation Research.* **4**: 284.
- BEN-DAOUD M., MOUHADDACH O., ESSAHLAOUI A., LAYACHI A., KESTEMONT M.-P. & ELJAAFRI S., 2011. Conception d'un SIG pour l'évaluation de l'impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux superficielles de la ville de Meknès (Maroc). *Cahiers de l'ASEES.* **16** :17–25. <https://doi.org/10.1051/asees/2011205>
- BENTEKHICI N., BENKESMIA Y., BERRICHI F. & BELLAL S. A., 2018. Évaluation des risques de la pollution des eaux et vulnérabilité de la nappe alluviale à l'aide des données spatiales. Cas de la plaine de Sidi Bel Abbès (nord-ouest algérien). *Revue des sciences de l'eau /Journal of Water Science.* **31**: 43–59. <https://doi.org/10.7202/1047052ar>
- BENJAMIN B., 2007. Cartographie agro climatique à méso-échelle: méthodologie et application à la variabilité spatiale du climat en gironde viticole. Conséquences pour le développement de la vigne et la maturation du raisin. Bioclimatologie. Thèse unique, Université Sciences et Technologies - Bordeaux I, Français.
- BOUKHARI A., EVERBECQ E., MAGEMANS P. & al., 2017. Modélisation de la qualité des eaux de surface à l'échelle d'un bassin versant agricole tunisien : application du modèle PEGASE à la physico-chimie de l'oued Joumine. *Geo-Eco-Trop.* **43**: 337-351.
- CHAPMAN D. & KIMSTACH V., 1996. Selection of water quality variables. Water assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London. 59-126 p.
- CHERIF EA., ERRIH M. & CHERIF-MADANI H., 2009. Modelisation statistique du transport solide du bassin versant de l'Oued Mekerra (Algerie) en zone semi-aride mediterraneenne. *Hydrol Sci J.* **54** :338–348. <https://doi.org/10.1623/hysj.54.2.338>
- DEFRANCESCHI M., 1996. L'eau dans tous ses états. Éditions Ellipses, Paris, 123 p.
- Décret exécutif n° 93-163 du 10 juillet 1993 portant institution d'un inventaire du degré de pollution des eaux superficielles.
- DIAF M., HAZZAB A., YAHIAOUI A. & BENKENDIL A., 2020. Characterization and frequency analysis of flooding solid flow in semi-arid zone: case of Mekerra catchment in the north-west of Algeria.
- FRANCOIS L., 2012. Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales. Sciences de l'environnement. Université du Maine. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00773259>.
- GUASMI I., HADJI F. & YEBDRI L., 2021. Quality assessment of reclaimed water for irrigation purpose and aquatic

life protection in the Mekerra sub-watershed (NW Algeria). *Model. Earth Syst. Environ.* 8.

<https://doi.org/10.1007/s40808-021-01305-2>

GUENFOUD A., 2020. Etude hydrobiologique comparative des eaux des deux oueds (Mekerra et Saida) à la traversé des zones urbaines des villes de Sidi Bel Abbès et Saida : impact sur la santé et l'environnement. Thèse de Doctorat, Université DjillaliLiabes, Sidi Bel Abbès, Algérie.

HEBERT S., LEGRE S., 2000. Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec, 5 p.

JORA., 2006. Journal officiel de la républiquealgerienne n°26 . Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels.

JORA., 2012. Journal officiel de La républiquealgerienne n°41. Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.

KUMAR R., SHARMA V. & SHARMA R.C., 2018. Physico-chemical and microbiological water quality of Asan Wetland of Garhwal Himalaya, India. *Int. J. Ecol. Sci. Environ. Eng.* 5:64–70.

KHOUNI I., LOUHICHI G. & GHRABI A., 2021. Use of GIS based Inverse Distance Weighted interpolation to assess surface water quality: Case of Wadi El Bey, Tunisia. *Environmental Technology & Innovation*. 24 :101-892. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101892>

KAUSAR F., QADIR A., AHMAD S.R. & BAQAR M., 2019. Evaluation of surface water quality on spatiotemporal gradient using multivariate statistical techniques: A case study of river Chenab, Pakistan. *Polish Journal of Environmental Studies*. 28: 2645.

KUMAR A., MAROJU S. & BHAT A., 2007. Application of ArcGIS geostatistical analyst for interpolating environmental data from observations. – *Environmental Progress*. 26: 220–225. <https://doi.org/10.1002/ep.10223>.

KALALA S.K., CHRISTIAN MS. S. & ADELIN M. K., 2016. Implication des paramètres physico-chimiques sur la qualité des eaux de la rivière Lubumbashi (Pont Katuba jusqu'en aval de la rivière Kafubu) Lubumbashi, Haut- Katanga / RD Congo », *Intern. Journal of Innovation and Scientific Research*. 25 :141-151.

MUTLU E., KUTLU B., DEMIR T. & YANIKT T., 2018. Assessment of metal concentrations and physicochemical parameters in the waters of Lake Tecer. Kastamonu University. *Journal of Forest Faculty*. 18:1–10.

<https://doi.org/10.17475/kastorman.302185>.

MTETWAS S., KUSANGAYA S., SCHUTTE C.F. (2003). The application of geographic information systems (GIS) in the analysis of nutrient loadings from an agro-rural catchment. *Water Sa.* 29 :189–194.

<http://doi.org/10.4314/wsa.v29i2.4855>

RODIER J., LEGUBE B., MERLET N. & Coll., 2009. L'analyse de l'eau. 9th Edition. Dunod, 1579 p.

ROYER T.V., DAVID M.B. & GENTRY L.E., 2006 .Timing of riverine export of nitrate and phosphorus from agricultural watersheds in Illinois: Implicationsfor reducing nutrient loading to the Mississippi River. *Environ. Sci. Technol.* 40 : 4126–4131. <http://doi.org/10.1021/es052573n>

REGGAM A., BOUCHELACHEM H. & HOUHAMDI M., 2015. Qualité Physico-Chimique des Eaux de l'Oued Seybouse (Nord-Est de l'Algérie): Caractérisation et Analyse en Composantes Principales (Physico-chemicalquality of the waters of the Oued Seybouse (North- easternAlgeria): Characterization and Principal Component Analysis). *J. Mater. Environ. Sci.* 6:1417-1425.

SMIDA H., ZAIRI M., TRABELSI R. & BENDHIAA H., 2005. Étude et gestion des Ressources en eau dans une région aride par le SIG : Cas de la région de Regueb-Sidi Bouzid, Tunisie. Conférence francophone ESRI, 3–6p.

UYAN M. & CAY T., 2013. Spatial analyses of groundwater level differences using geostatistical modeling. – *Environmental and ecological statistics*. 20:633–646. <http://doi:/10.1007/s10651-013-02383>.

YANG W., ZHAO Y., WANG D., WU H., LIN A. & HE LI., 2020. Using Principal Components Analysis and IDW Interpolation to Determine Spatial and Temporal Changes of Surface Water Quality of Xin'anjiang River in Huangshan, China », *IJERPH*. 17: 2942. Doi: [10.3390/ijerph17082942](https://doi.org/10.3390/ijerph17082942).

WANG Z.G., LIU W.Q., ZHAO N.J., LI H.B., ZHANG Y.J. & LIU J.G., 2007. Compositionanalysis of colored dissolved organic matter in Taihu Lake based on three-dimensionexcitation-emission fluorescence matrix and PARAFAC model, and the potential application in water quality monitoring. *J. Environ. Sci.* 19: 787–791.

ZOUIA N.Z., BENYAHIA M. & BOUZIDI M.A., 2018 .Characterization of Mekerra River waters used in irrigation of farmland in SidiBel Abbès Country (West of Algeria). *J. Appl. Environ. Biol. Sci.* 8:42-46.

ANNEXES

Tableau 5a. Résumé des statistiques descriptives de l'ensemble des paramètres physico-chimiques analysés de la saison humide

Saison	Humide																							
	Site 1			Site 2			Site 3			Site 4			Site 5			Site 6			Site 7			Site 8		
.....	min	ma x		min	Ma x	mo y±s d	min	max	mo y±s d	min	ma x	mo y±s d	min	ma x	mo y±s d	min	max	mo y±s d	min	ma x	mo y±s d	min	ma x	mo y±s d
O ₂ dissous	10.2	14.6	12.0 4± 1.45	8.2	14.3	11.5± 2.3 1	5.1	10.1	7.87 ± 1.93	5.7	10.3	8.5 4± 1.9 1	4.2	9.5	7.2 ± 1.8 3	4.99	8.2	6.2 ±1. 11	5.9	9.5	7.7 ±1. 13	6.6	10.6	9.0 5±1 .42
MES	55	88	70± 10.3 9	58	95	78. 28± 72	58	95	78.2 8± 12.7 2	70	122	95. 85± 21. 79	99	120	109 .14 ±7. 43	98	152	122 7± 24. 07	85	106	99. 14± 7.3 3	68	116	88. 71± 21. 32
DCO	22.2	61	40.9 ± 14.2 6	25	36.3	29. 35± 4.1 9	36	106	64.2 8± 30.2 1	26	72	41. 64± 21. 12	35	85. 5	60. 11± 19. 14	48	110	82. 7±2 6.0 8	36	99	70. 57± 25. 56	26. 6	36	30. 07± 3.8 2
DBO5	5.3	7.9	6.1± 0.90	5.3	10.8	7.3 4± 2.1 0	6.9	10.5	8.22 ±1.3 9	7.1	13.9	9.3 4± 2.4 7	8.2	12.4	10. 31± 1.2 8	7.5	13.7	10. 26± 2.3 .69	6.2	10.62	9.3 5±1 .43	6.8	10.2	8.2 2±1 .43
NH ₄ ⁺	0.3	2.6	1.17 ± 0.91	0.45	2.8	1.4 3± 1.0 1	0.96	2.84	1.90 ± 0.88	0.7 4	1.8	1.1 4± 0.3 9	0.25	1.0 2	0.6 9± 0.3 2	0.99	2.5	1.8 8±0 .49	0.8	2.4 1	1.6 8±0 .67	0.2 4	1.5 6	0.7 2±0 .46
NO ₃ ⁻	14.6	33	26.4 7± 6.94	9.6	42.5	28. 41± 13. 72	7.3	41	23.1 9±1 4.47	19	58.6	42. 72± 16. 17	8.66	17.1	11. 92± 3.1 9	27.9	58.6	48. 4±1 1.8	18. 6	55.9	41. 32± 15. 69	8.5	57.3	28. 04± 18. 95
PO ₄ ³⁻	1.89	6.2	4.13 ± 2.04	0.74	6.2	2.8 8± 2.3 0	0.75	1.9	1.08 ±0.3 8	1.5 7	8.9	5.1 1± 3.3 5	1.02	8.6	4.8 3± 3.5 8	1.67	7.4	4.4 6±2 .52	1.0 6	5.2	3.0 1±1 .78	2.3 1	10.2	6.5 8±3 .06

Tableau 5a. Résumé des statistiques descriptives de l'ensemble des paramètres physico-chimiques analysés de la saison humide

Saison		Humide																															
		Site 1				Site 2				Site 3				Site 4				Site 5				Site 6				Site 7				Site 8			
		min	max	...	...	min	Ma x	mo y±s d	min	max	moy ±sd	min	ma x	mo y±s d	min	max	mo y±s d	min	max	mo y±s d	min	max	mo y±s d	min	ma x	mo y±s d	min	max	mo y±s d	min	ma x	mo y±s d	
O ₂ dissous		10.2	14.6	12.0	4±1.45	8.2	14.3	11.5±2.3	5.1	10.1	7.87±1.93	5.7	10.3	8.5	4±1.9	4.2	9.5	7.2	±1.8	3	4.99	8.2	6.2	±1.11	5.9	9.5	7.7	±1.13	6.6	10.6	5±1.42	9.0	
MES		55	88	70±10.3	9	58	95	78.2±28±72	58	95	78.2	70	122	95.85±21.79	99	120	109	±1.14	3	98	152	122	7±24.07	85	106	99	14±7.3	68	116	88.71±21.32	90		
DCO		22.2	61	40.9	±6	25	36.3	29.35±4.1	36	106	64.2	26	72	41.64±21.12	35	85.5	60.11±19.14	±7.3	48	110	82.7±6.0	82.7±6.0	36	99	70.57±25.38	26.6	36	30.07±3.8	30.07±3.8	2			
DBO5		5.3	7.9	6.1±0.90		5.3	10.8	7.3	4±2.1	10.5	8.22±1.3	7.1	13.9	9.3	4±2.4	8.2	12.4	10.31±1.2	±8	7.5	13.7	10.26±2.3	6.2	10.62	9.3	5±1.69	6.8	10.2	8.2	2±1.43	8.2		
NH ₄ ⁺		0.3	2.6	1.17±0.91		0.45	2.8	1.4	3±1	2.84	1.90±0.88	0.7	1.8	1.1	0.3	0.25	1.0	0.6	±9	0.99	2.5	1.8	±8±0.49	0.8	2.4	1.6	0.2	1.5	0.7	2±0.46	0.7		
NO ₃ ⁻		14.6	33	26.4	7±6.94	9.6	42.5	28.4	13.72	41	23.1	19	58.6	42.72±16.17	8.66	17.1	11.92±3.1	±2	27.9	58.6	48.4±1.8	48.4±1.8	18.6	55.9	41.32±15.69	8.5	57.3	28.04±18.95	28.04±18.95	2			
PO ₄ ³⁻		1.8	6.2	4.13±2.04		0.74	6.2	2.8	8±2.3	1.9	1.08±0.38	1.5	8.9	5.1	1.02	8.6	4.8	±3.8	1.67	7.4	4.4	6±2.52	1.0	5.2	3.0	1±1.78	2.3	10.2	6.5	8±3.06	6.5		

