



Variabilité spatio-temporelle de la qualité des eaux courantes de l'Oued Za (Maroc Oriental)

[Spatiotemporal variability in the quality of running waters of the Oued Za (Eastern Morocco)]

Mabrouki Y.*, Taybi A.F., Bensaad H., Berrahou A.

Université Mohammed Premier, Faculté des Sciences Oujda, Laboratoire Sciences de l'Eau, l'Environnement et de l'Ecologie, Maroc.

Received 21 Aug 2015, Revised 12 Dec 2015, Accepted 20 Dec 2015

**Corresponding author: E-mail: younes_mab@hotmail.fr*

Abstract

In order to make monitoring of spatio-temporal variability in the quality of the water in Oued Za, nine physico-chemical descriptors have been measured repeatedly in time (3campagnes: between early March and late August 2014) in twelve sampling stations chosen along this hydro system. To study the temporal stability of the spatial structure and measure interaction dates-stations, in all three environmental tables obtained was used in partial triadic analysis. Results temporal structure study showed that, when that either sampling campaign, the Z11 station, located downstream from domestic and industrial of the town of Taourirt wastewater discharges, always opposes the other stations, highlighting that this station remains polluted almost throughout the year, as evidenced by the values of the main parameters : O₂ dissolved, BOD₅, Ammonium, Nitrate, orthophosphate and sulfate. This pollution is reduced at the level of the Z12 station with the autoepurateur of water power, before flowing into the moulouya River.

Key words: Oued Za, spatial and temporal variability, physico-chemical descriptors, pollution, partial triadic analysis.

Résumé

Dans le but de faire un suivi de la variabilité spatio-temporelle de la qualité de l'eau d'Oued Za, neuf descripteurs physico-chimiques ont été mesurés de façon répétée dans le temps (3campagnes : entre début mars et fin août 2014) dans douze stations d'échantillonnage choisies le long de cet hydro système. Pour étudier la stabilité temporelle de la structure spatiale, et mesurer l'interaction dates-stations, dans les trois tableaux mésologiques obtenus, nous avons fait appel à l'analyse triadique partielle. L'étude de la structure temporelle des résultats obtenus a montré que, quelle que soit la campagne de prélèvement, la station Z11, située en aval des rejets des eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Taourirt, s'oppose toujours aux autres stations, mettant en évidence que cette station reste polluée durant presque toute l'année, comme en témoignent les valeurs des principaux paramètres : O₂ dissous, DBO₅, Ammonium, Nitrate, Orthophosphates et Sulfates. Cette pollution est atténuée au niveau de la station Z12 grâce au pouvoir autoépurateur de l'eau courante, avant de se jeter dans la Moulouya.

Mots clés : Oued Za, variabilité spatio-temporelle, descripteurs physico-chimiques, pollution, analyse triadique partielle.

Introduction :

Élément constitutif de notre environnement, l'eau est une ressource vitale pour tous les êtres vivants, mais est aussi devenue, avec l'accroissement de l'activité anthropique, le récepteur et le vecteur d'un bon nombre de substances polluantes [1].

Les cours d'eau du Maroc oriental, et tout particulièrement l'Oued Za, principal affluent de la rive droite de la Moulouya, n'est guère à l'abri de la pollution. En effet l'oued Za qui longe, entre autres, la ville de Taourirt fait l'exemple d'une pollution intense due aux rejets domestiques et industriels très chargés en polluants organiques [3].

L'oued Za a fait l'objet de plusieurs sujets de recherche portant sur la qualité des eaux superficielles et du sédiment [2,4]. Ce travail qui s'insère dans le cadre de la surveillance de la qualité des eaux superficielles de ce cours d'eau, a pour objectif le suivi de l'évolution spatio-temporelle des principaux paramètres physico-chimiques de l'eau.

Pour ce faire, neuf variables physicochimiques ont été mesurés pendant trois campagnes (successivement mars-avril, mai-juin et juillet août 2014) au niveau de douze stations réparties sur ce cours d'eau.

Au cours des périodes pluvieuses (hiver 2014, automne 2014) nous n'avons pas pu réaliser l'échantillonnage à cause des crues et des inondations que le bassin versant de Za connaît presque annuellement. Ces fortes crues pourraient fausser les résultats des analyses physicochimiques de l'eau et donc n'ont pas été pris en considération pour l'appréciation de la qualité globale de l'eau. D'ailleurs, l'article 6 de l'arrêté conjoint du ministre de l'équipement et du ministre chargé de l'aménagement du territoire de l'urbanisme de l'habitat et de l'environnement N° 1275-02 du 17 octobre 2002, définissant la grille de qualité des eaux de surface, proscrit l'échantillonnage pendant cette période.

Le seul moyen pour identifier la nature et les concentrations des polluants est l'analyse physicochimique, cette dernière vient compléter une étude biotique menée en parallèle avec l'étude physicochimique.

2. Matériel et méthodes

2.1 Milieu d'étude

Le bassin versant de l'oued Za (figure 1) se situe dans la région orientale du Maroc, comprise entre les méridiens 1,8 et 3,2 W et les parallèles 32,7-34,6 N. Il prend sa source dans les Hauts Plateaux orientaux. Il draine la partie méridionale et occidentale de la chaîne des Horsts, formée de dolomies et de calcaires plus au moins marneux. Sa direction générale est sud-est nord-ouest. Le bassin draine la partie méridionale et occidentale de la chaîne des horsts avec une direction Sud-est au Nord-ouest. Il rejoint la Moulouya à Melga El Ouidane, à l'aval de la ville de Taourirt. Il traverse d'amont en aval l'étage bioclimatique méditerranéen aride dans les Hauts-Plateaux, semi-aride dans la chaîne des Horsts et aride dans la région de Taourirt [2]. Les taux de chute de pluie dans la région varient de 230 à 280 mm/an, avec une valeur moyenne de 255 mm/an. Les chutes de pluie importantes se situent en décembre et en avril, tandis que les mois de juillet et août sont les plus secs. La température moyenne est 16.4°C, avec les valeurs minimales de 4°C en janvier et le maximum de 42°C en août.

2.2 Principe de l'analyse triadique partielle

L'usage de l'analyse triadique partielle impose d'utiliser les mêmes variables mesurées sur les mêmes stations à plusieurs reprises. Nos mesures portent sur 12 stations pendant 3 périodes, d'où un ensemble de 3 tableaux le principe général de l'analyse triadique partielle est de trouver à partir des 3 tableaux une structure (ou typologie) moyenne « compromis » qui servira de base à la comparaison des tableaux entre eux.

Les données étudiées sont donc formées de trois tableaux (un par campagne) portant sur les douze mêmes stations et les neuf mêmes descripteurs mésologiques (Tableau I). L'analyse triadique partielle se déroule en trois étapes décrites ci-après.

Première étape : Phase de l'interstructure et recherche du compromis. On recherche dans un premier temps une « moyenne (ou compromis) des K tableaux.

Deuxième étape : **Analyse du compromis**. Cette analyse permet d'établir une typologie commune à tous les tableaux.

Troisième étape : **Analyse de la reproductibilité du compromis** appelé aussi **Intrastructure** cette opération permet de discuter de la stabilité des tableaux autour de la moyenne (compromis).

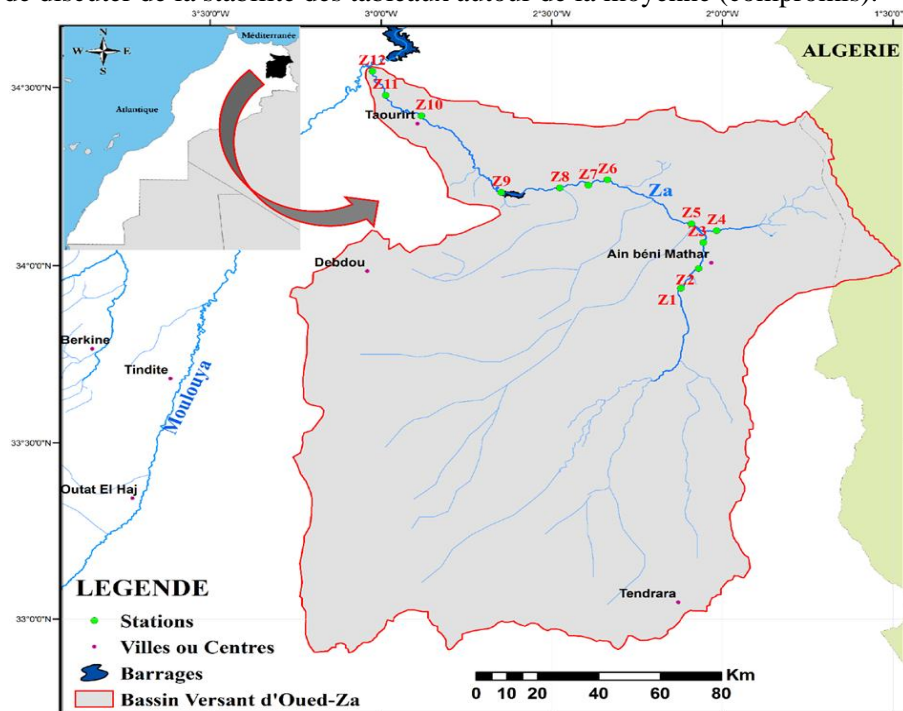


Figure1 : Localisation des stations dans le bassin versant d'Oued Za.

2.3 Description des stations

Z1 : (33°58'53.5" N 2°5'7.5" W) située à une altitude de 925m sous un climat aride désertique. Le lit majeur est large avec une section mouillée de 3 mètres et une très faible pente, les berges sont naturelles et inclinées avec quelque reboisement du Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) sur la rive droite. La végétation herbacée est clairsemée, la granulométrie du fond est constituée du sable, limon et Boue avec un faible colmatage et peu de débris végétaux, les végétaux aquatiques sont peu nombreux à part quelques pieds de characées. La station Z1 est représentée ici comme une source de l'Oued Charef, ce n'est pas une source au sens strict, mais il s'agit des eaux de la nappe phréatique qui remonte vers la surface.

Z2 : (33°59'33.1" N 2°4'11" W) Pont sur Oued Charef ; située à une altitude de 918m. Le lit majeur est très large avec une section mouillée de 14 mètres et une faible pente la rive droite est naturelles inclinée couvertes d'une végétation clairsemée, tandis que la rive gauche est verticale reboisée par l'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*). La granulométrie du fond est constituée par quelques Blocs, sable, limon, Boue et dalle, avec un faible colmatage et peu de débris végétaux. La présence des plantes aquatiques se manifeste par quelques pieds de Characées. Située dans un environnement rural à climat aride, où l'eau se fait très rare, cette station, qui constitue une source d'eau importante pour les nomades, subit une grande pression anthropique : pompage de l'eau pour la Baignade, lavage, abreuvement du cheptel...etc.

Z3 : (34°3'56.8" N 2°3'20.2" W) station « petite cascade » n'est pas loin de la commune d'Ain Béni Mathar, située à une altitude de 900 m. Le lit majeur est très large avec une section mouillée de 10 mètres et une faible pente. La rive droite est naturellement inclinée portant une végétation arbustive clairsemée, tandis que la berge gauche est arborée par un reboisement épais à base de L'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*). Le fort ensoleillement favorise le développement des algues filamenteuses et le périphyton sur le substrat du fond, qui est composé de Blocs, pierres, galets, graviers et sable, avec un faible colmatage et d'abondants débris végétaux.

Tableau I : Données physicochimiques traitées par l'analyse triadique.

Stations	pH	Temp °C	Con $\mu\text{s. cm}^{-1}$	O ₂ diss mg. l^{-1}	N _{NH} mg. l^{-1}	NO mg. l^{-1}	SO mg. l^{-1}	PO mg. l^{-1}	DBO5 mg. l^{-1}	Campagnes
Station 1	9.1	21.1	456	8.10	0.021	2.45	53	0.010	1.95	1-Mar-Avri
	9.2	23.5	465	8.37	0.031	2.66	55	0.013	1.83	2-Mai-Juin
	9.3	25.7	477	7.95	0.027	2.71	65	0.013	2.10	3-Jui-Août
Station 2	9	20.3	455	8.55	0.020	1.94	69	0.012	1.90	1-Mar-Avri
	8.9	19.1	458	8.63	0.021	1.88	69	0.015	1.95	2-Mai-Juin
	8.9	24.2	563	7.95	0.023	2.13	72	0.014	1.99	3-Jui-Août
Station 3	8.1	18.3	451	7.21	0.021	3.32	61	0.011	1.91	1-Mar-Avri
	8.1	17.5	457	7.14	0.035	3.41	65	0.014	1.97	2-Mai-Juin
	8.2	22.3	469	6.55	0.037	3.43	70	0.017	2.05	3-Jui-Août
Station 4	8.5	19.3	533	8.25	0.061	2.65	69	0.014	2.25	1-Mar-Avri
	8.4	18.1	547	7.50	0.065	2.77	77	0.019	2.32	2-Mai-Juin
	8.5	21.5	589	7.40	0.070	2.95	81	0.029	2.45	3-Jui-Août
Station 5	7.9	22	743	7.35	0.053	3.13	150	0.010	5.05	1-Mar-Avri
	7.9	21.2	750	7.10	0.060	3.15	160	0.090	5.92	2-Mai-Juin
	7.8	23.3	795	7.80	0.071	3.34	173	0.105	5.24	3-Jui-Août
Station 6	8.1	17	472	7.60	0.020	2.55	99	0.021	5.55	1-Mar-Avri
	8.3	20	570	7.15	0.025	2.71	87	0.019	6.15	2-Mai-Juin
	7.9	23	577	6.81	0.023	2.93	79	0.039	6.55	3-Jui-Août
Station 7	7.5	15.1	635	7.80	0.012	1.22	43	0.011	4.70	1-Mar-Avri
	7.4	20.3	640	7.11	0.010	1.27	49	0.013	5.05	2-Mai-Juin
	7.6	23.1	739	6.85	0.022	1.29	52	0.015	5.50	3-Jui-Août
Station 8	8.1	17	813	6.55	0.011	1.25	52	0.013	3.15	1-Mar-Avri
	8	19	821	6.95	0.013	1.57	49	0.015	3.13	2-Mai-Juin
	8.1	22.4	953	5.75	0.015	1.66	55	0.026	6.35	3-Jui-Août
Station 9	7.28	13.5	1900	8.30	0.008	3.21	65	0.011	4.50	1-Mar-Avri
	7.3	16.5	1950	7.71	0.014	3.27	55	0.010	4.55	2-Mai-Juin
	7.3	19.7	1990	7.12	0.011	3.31	67	0.011	5.05	3-Jui-Août
Station 10	7.2	13	1776	7.15	0.019	2.37	55	0.017	2.08	1-Mar-Avri
	7.3	17	1777	7.40	0.027	2.75	51	0.019	2.17	2-Mai-Juin
	7.3	23	1863	6.70	0.028	2.78	59	0.019	4.15	3-Jui-Août
Station 11	7.91	18	2043	4.40	0.855	48.56	297	1.715	18.05	1-Mar-Avri
	7.93	21	2190	5.21	1.266	51.55	317	1.815	13.90	2-Mai-Juin
	8.3	24	2230	2.92	2.075	51.75	339	1.985	29.25	3-Jui-Août
Station 12	7.37	19	1850	5.65	0.099	2.47	52	0.019	6.30	1-Mar-Avri
	7.11	23	1750	6.75	0.127	2.77	49	0.029	10.55	2-Mai-Juin
	6.90	24	1870	5.15	0.068	2.79	55	0.016	7.70	3-Jui-Août

Z4 : (34°5'54.8" N 2°2'38.1" W) station Oued Lakhrouf située à une altitude de 897m. Cette station fait partie d'un affluent appartenant à la rive gauche du bassin versant d'Oued Za, et dont l'amont se trouve au niveau des frontières Maroco-algériennes. Le lit majeur est large avec une section mouillée de 2 mètres et une faible pente. Les berges sont naturelles, inclinées et couvertes d'une épaisse végétation arbustive à arborée (*juncus*). Le fort ensoleillement favorise la formation du périphyton sur les pierres. La granulométrie du fond est constituée de pierres, galets et graviers, avec un faible colmatage et d'abondants débris végétaux.

Z5 : (34°7'5.7" N 2°5'26.8" W), station « grandes cascades » située dans une section d'Oued Za appelée : El Oued El Hay. L'altitude frôle les 875m, le lit majeur est très large avec une section mouillée de 50 mètres, la pente est faible, puis verticale lors des cascades. Les berges sont naturelles et inclinées portant une végétation herbacée, arbustive à arborée épaisse et dense sur les rives. La granulométrie du fond est constituée de Blocs, graviers et dalle avec un faible colmatage et d'abondants débris végétaux. Étant située dans un environnement agricole, cette partie du cours d'eau subit un fort impact humain par la modification du substrat (barrière conçue pour la rétention de l'eau) et le pompage excessif pour l'irrigation des passerelles avoisinantes.

Z6 : (34°14'31.61" N 2°20'11.98" W) station "Gafait avant le pont", située à une altitude de 785m dans un domaine rural et agricole. Le lit majeur est très large avec une section mouillée de 45 mètres, et une faible pente. Les berges sont naturelles et verticales avec une végétation arbustive des rives épaisse et dense. La granulométrie du fond est constituée de pierres, galets et graviers avec un fort colmatage et peu de débris végétaux. Le fort ensoleillement favorise le développement des algues filamenteuses et du périphyton surtout en été.

Z7 : (34°13'36.8" N 2°23'34.5" W) station Pont de Gafait, située à une altitude de 767m, son lit majeur est large avec une section mouillée de 20 mètres et une faible pente. Les berges sont naturelles, inclinées et couvertes d'une végétation arbustive assez dense. La granulométrie du fond est constituée de graviers, sable et dalles avec un colmatage moyen et peu de débris végétaux ; présence remarquable des poissons (gardon et barbeau)-grenouilles et tortues aquatiques ; peu de plantes aquatiques à part quelques pieds de Chara et les algues filamenteuses surtout durant la période estivale.

Z8 : (34°14'21.6" N 2°24'34.8" W) : station située près du gîte touristique de Gafait à une altitude de 750m. Le lit majeur est large avec une section mouillée de 15 mètres et une faible pente. Les berges sont naturelles et verticales avec une végétation des rives arbustive clairsemée. Bien que l'ensoleillement soit moyen, le périphyton et les algues filamenteuses se développent très bien sur le substrat. La granulométrie du fond est formée de Blocs, pierres, galets et graviers avec un colmatage moyen et peu de débris végétaux. Du faite qu'elle est située dans un environnement rural, agricole et touristique cette station est très perturbée par l'activité humaine surtout en été.

Z9 : (34°12'23.1" N 2°38'52.3" W) station située à une altitude de 625m après le barrage « sur Oued Za » dans un domaine forestier très altéré envahi par les steppes d'alfa. Le lit majeur est très large avec une section mouillée de 15 mètres et une faible pente. Les berges naturelles et verticales sont une végétation arbustive et herbacée assez dense. La granulométrie du fond est constituée de Blocs, pierres, galets et graviers avec un faible colmatage et d'abondants débris végétaux, et les plantes aquatiques sont omniprésentes

Z10 : (34°25'15.6" N 2°52'52.9" W) station située en amont de la ville de Taourirt à une altitude de 370m. Le lit majeur est très large avec une section mouillée de 11 mètres et une pente moyenne (<5%). Les berges sont naturelles avec quelques structures d'origine anthropique (une petite barrière cimentée pour la rétention de l'eau, canal de déviation...etc.). La rive droite est verticale celle de gauche est inclinée et la végétation des rives est clairsemée. La granulométrie du fond est constituée par des Blocs, pierres, galets et graviers avec un faible colmatage et de débris végétaux assez abondants. L'ensoleillement fort favorise le développement des algues filamenteuses et des plantes aquatiques.

Z11 : (34°28'44.51" N 2°59'10.3" W) station située en aval de la Ville de Taourirt à une altitude de 295 m, son un lit majeur est très large, avec une section mouillée de 14 mètres et une pente faible pente (<2%). Les berges sont naturelles et inclinées avec une végétation arbustive clairsemée constituée de tamarix, typha et *juncus*. La granulométrie du fond est formée de Blocs, pierres, galets, graviers et dalles avec un colmatage moyen , et peu

de débris végétaux sans plantes aquatiques ni algues. Cette station est très polluée et influencée par l'activité humaine.

Z12 : (34°32'46.51" N 3°1'31.1" W) située à une altitude de 240 mètres près de la commune de Melga El Ouidane, peu avant la confluence de l'Oued Za avec le fleuve de la Moulouya. Le lit majeur très large avec une faible pente, et une section mouillée de 17 mètres. Les berges sont naturelles, inclinées et couvertes d'une végétation dense arbustive à arborée. Le fort ensoleillement favorise le développement du périphyton et des algues filamenteuses sur le substrat surtout durant la période estivale, la granulométrie du fond est constituée de blocs, pierres, galets, graviers et dalles avec un faible colmatage et peu de débris végétaux.

2.3 Paramètres physico-chimiques

La période d'échantillonnage s'étalait sur trois campagnes : printemps (mars – avril) printemps-été (mai-juin) et été (juillet-août).

Deux répliques d'échantillons d'eau de chaque station ont été prélevées dans les bouteilles (polyéthylène 500 ml). Les échantillons d'eau ont été préservés avec 2ml de l'acide chlorhydrique concentré (pH=2). Selon les normes standards ISO 5667-6 (1990) ; ISO 5667-2 (1991) et ISO 5667-3 (1994). Les échantillons d'eau ont été acheminés dans une glacière à une température basse ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) pour arrêter les activités métaboliques des organismes dans l'eau. Les autres paramètres physico-chimiques : sulfates (SO_4^{2-}), chlorures (Cl^-), demande biologique en oxygène après 5 jours (DBO5), Orthophosphates (PO_4^{3-}), Ammonium (mg N-NH4), Nitrates (mg N-NO3), le fer (Fe), le bromure (Br) et matières en suspension (MES) sont mesurés au laboratoire. Ces paramètres sont déterminés selon [5, 6]. Alors que la conductivité, le pH, l'oxygène dissous et la température ont été mesurées sur le terrain.

2.4 Analyse des données (Analyse triadique partielle (ATP))

Il est fréquent que la série de variables écologiques soit répétée dans le temps, conduisant ainsi à l'obtention de tableaux rectangulaires XYK où chaque tableau possède trois indices (station-ligne x / variable colonne y) correspondant à une date k. L'analyse de tels tableaux soulève alors des problèmes que les méthodes d'analyses multivariées de base ne permettent pas d'aborder de façon satisfaisante. Pour résoudre ce problème, nous avons emprunté à Thioulouse & Chessel [7] une méthode simple basée sur les méthodes d'analyses dites "multitables". Il s'agit de l'analyse triadique partielle (ATP). La démarche utilisée permet, par l'intermédiaire d'une procédure de calcul de décomposer l'étude des structures internes des données en trois étapes successives et complémentaires : interstructure, compromis et intrastructure [7].

Les analyses multivariées ont été réalisées à l'aide du logiciel R sous la programmation ADE4 (Analyse de Données Écologiques et Environnementales avec des procédures Exploratoires d'essence Euclidienne)

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats des analyses physico-chimiques

Température (T) :

Dans l'Oued Za, les températures s'oscillent entre 3°C à Z10 et 22°C à Z5 durant la première campagne, entre $16,5^{\circ}\text{C}$ à Z9 et 23°C à Z1 et Z12 lors la deuxième campagne et enfin entre $19,7$ à Z9 et 24°C à Z2, Z11 et Z12 lors la troisième campagne, on peut déduire que dans notre cas la température est liée exclusivement à la notion temps et non pas aux stations d'échantillonnage [8,11].

Potentiel Hydrogène (pH) :

Les valeurs des pH des eaux de l'Oued Za sont caractérisées par une certaine alcalinité surtout au niveau des stations situées en extrême amont Z1 et Z2 avec une moyenne aux alentours de 9 pour les trois campagnes ; et à part une très légère acidité enregistrée au niveau de la dernière station réalisée Z12 qui est de 6,9 durant la troisième campagne, le pH des autres stations étudiées est proche de neutralités [12,13].

Conductivité électrique (Con) :

La conductivité électrique des eaux d'Oued ZA fluctue légèrement dans le temps, et augmente proportionnellement dans l'espace de l'amont vers l'aval, avec un minima de 456 $\mu\text{s}/\text{cm}$ enregistré à la source Z1 pendant la première campagne et un maxima de 2230 $\mu\text{s}/\text{cm}$ enregistré à Z11 durant la dernière campagne. L'augmentation de la minéralisation en période estivale au niveau de la Z11 serait favorisée par la diminution du débit de l'eau en faveur de la prédominance des rejets fortement minéralisés et à l'accélération du processus bactérien de la minéralisation de la matière organique [14].

Oxygène dissous (O_2) :

Dans notre zone d'étude, les concentrations de l'oxygène dissous sont marquées par l'effet de la saisonnalité, puisqu'on a enregistré des valeurs élevées durant la première campagne pouvant atteindre 8,55 mg/l (station Z2), mais ces valeurs diminuent en fonction du temps en été, ceci serait dû à l'augmentation de la température de l'eau proportionnellement avec celle de l'air ; car une eau chaude contient une plus faible quantité d'oxygène dissous qu'une eau froide [15].

En générale les concentrations de l'oxygène dissous de l'oued Za sont élevées et présentent ainsi des conditions de saturation et de sursaturation. La station Z11 qui reçoit les rejets d'eaux usées domestiques présente des teneurs très faibles diminuant brutalement pendant la période estivale (2,92 mg/l). Cette diminution peut s'expliquer par l'utilisation de l'oxygène dissous par les microorganismes pour la biodégradation de la matière organique apportée par le rejet domestique et industriel et son accentuation pendant la troisième campagne serait due à l'augmentation de la température et à la diminution du débit. En effet la Z11 présente une teneur en oxygène dissous relativement élevée pour un milieu excessivement pollué durant la première et la deuxième campagne avec respectivement 4,4mg/l et 5, 21mg/l, cette concentration peut être expliquer par l'écoulement rapide de l'eau avec un intense brassage maintenant l'oxygénation à un niveau plus ou moins élevé. D'ailleurs se sont les mêmes facteurs qui interviennent dans l'oxygénation de l'eau après la station polluée, les teneurs enregistrées à Z12 sont supérieures de 5mg/l durant toutes les trois campagnes indiquant que l'oued Za arrive à se rétablir partiellement avant de se jeter dans la Moulouya.

Les orthophosphates (PO) :

L'analyse des résultats montre un taux élevé en phosphates au niveau de la station Z11 (des concentrations dépassant les 1,7mg/l durant les trois campagnes). Ceci est expliqué par les rejets organiques fortement pollués déversés par la ville de Taourirt. À part cette station, toutes les autres enregistrent de très faibles concentrations de phosphates dépassant rarement les 0,1mg/l. même la station Z12 située en aval de la station polluée, enregistre un taux en phosphate ne dépassant pas les 0,029mg/l, ceci prouve que l'oued Za arrive à s'autoépurer des phosphates avant de rejoindre le fleuve de la Moulouya.

Demande biologique en oxygène (DBO5) :

Les valeurs les plus élevées de DBO sont enregistrées au niveau de la station altérée Z11 présentant des valeurs les plus importantes durant les trois campagnes pour atteindre un maxima de 29,23mg/l pendant l'été. L'augmentation des teneurs en DBO5 en période sèche peut être expliquée par l'instauration des conditions de dégradation de la matière organique par les microorganismes dont l'activité s'intensifie avec la diminution de la vitesse d'écoulement et avec le réchauffement des eaux. Cette activité, consommatrice d'oxygène, est à l'origine de l'autoépuration des eaux [16]. Cependant en période humide les eaux de pluie contribuent à la dilution de la charge organique émanant des eaux usées des agglomérations riveraines. Enfin on peut noter un gradient décroissant de la DBO5 vers l'aval de la station polluée Z1, ce qui témoigne l'effet autoépuration de l'oued Za avant de rejoindre la Moulouya, puisque la DBO5 est rabattue à des valeurs inférieures à 10,6mg/l durant les trois campagnes.

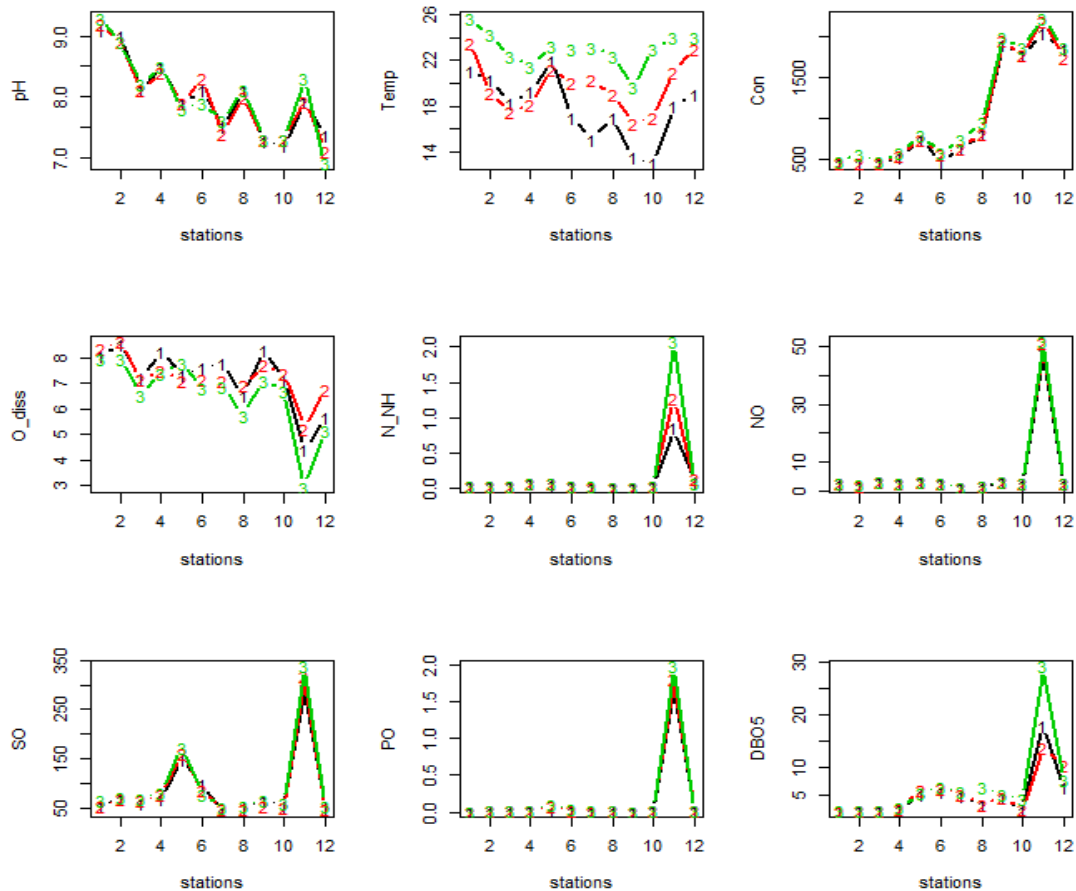


Figure 2 : Evolution spatiotemporelle des neuf variables physicochimiques, (1,2 et 3 représentent les numéros des campagnes)

Les composés azotés :

L'azote ammoniacal (N-NH) :

Dans l'ensemble des stations étudiées, les concentrations de l'ion ammonium sont caractérisées par un léger effet de la saisonnalité [17,19], puisqu'elles augmentent proportionnellement avec le temps. Mais les eaux courantes de l'oued Za sont dans l'ensemble d'une bonne qualité, excepté la Z11, polluée par les eaux usées provenant de la ville de Taourirt, où on a enregistré des teneurs très élevées en ammonium dépassant les 0,8 mg/l durant les trois campagnes pour atteindre un maxima de 2,075 mg/l lors de la période estivale. Ces résultats de l'apport de l'azote ammoniacal dans les eaux usées concordent avec ceux de Guasmi et al [20], sur l'oued Medjerda (Maroc), de Cébron [21] pour les eaux de surface de la commune d'Achères à Paris, et Bengherbia et al [22] pour l'Oued Beni Aza, Blida, Algérie. Cependant on a assisté à un rabattement exceptionnel de l'ion ammonium en aval de la station polluée, des valeurs inférieures à 1,27 mg/l enregistrées à la station Z12, ceci serait dû grâce à la vitesse d'écoulement et à la série de cascades traversées par l'eau dans cette section de la rivière.

L'évolution spatiotemporelle des concentrations en nitrates dans les eaux courantes de l'oued Za, suit les mêmes variations de l'ion ammonium. Les nitrates enregistrent un pic au niveau de la station polluée Z11, avec des concentrations dépassant les 48,50mg/l lors la première campagne, et un maxima de 51,75mg/l durant la période estivale. À l'exception de cette station altérée, le cours d'eau se caractérise par une qualité appréciable, même en aval de la station polluée où les teneurs en nitrates enregistrées à Z12 ne dépassent pas les 2,8mg/l en période d'été.

Les sulfates :

L'analyse spatiotemporelle des variations des sulfates dans l'oued Za a montré, tout comme les paramètres DBO5, orthophosphates, ammonium et nitrate, que les stations étudiées se caractérisent dans l'ensemble par une eau de bonne qualité, excepté la station Z11. Cette dernière, atteinte par les rejets liquides urbains, industrielles et agricoles, enregistre des teneurs en sulfates dépassant la valeur limite préconisée par les NMRD [23,24] durant toutes les périodes de l'échantillonnage ; le maxima de 339mg/l est enregistré lors la troisième campagne.

3.2 Analyses statistiques

L'analyse triadique partielle (ATP) permet de trouver une structure spatiale stationnaire commune à tous les tableaux (dates d'échantillonnage) et d'en étudier la stabilité temporelle. La méthode s'appuie sur la recherche d'une moyenne de tableaux appelée compromis et sur la reproductibilité du compromis par chacun des tableaux initiaux. Cette méthode reste peu connue par les écologistes malgré les perspectives d'approches fonctionnelles des typologies qu'elles permettent [25,32].

• Interstructure et recherche du compromis

La matrice des corrélations vectorielles entre tableaux-dates (Tableau II) montre que la structure du tableau correspondant à la première campagne est la plus éloignée des deux autres. La meilleure ressemblance est observée entre les tableaux de la 2^{ème} et la 3^{ème} campagne pour lesquels la valeur du coefficient RV (le coefficient de corrélation entre deux tableaux) est la plus élevée (0,945). Dans le Tableau II on trouve également : (1) les coefficients &k qui représentent le poids du tableau k dans la définition du compromis, et sont calculés de façon à ce que le tableau compromis ait une inertie maximale. (2) le Cos² entre le tableau k et le compromis constitue un indice de la qualité de l'expression par une date donnée de la structure du compromis. Ces indices typologiques (fig. 4B) montrent que les trois tableaux participent à la définition du compromis, et que la 3^{ème} campagne y est sensiblement mieux représentée (valeurs élevées de &k et de cos2) contrairement à la 1^{ère} campagne qui participe le moins à sa construction. La diagonalisation de la matrice de covariances vectorielles fournit pour l'interstructure les axes principaux (Figure 3) dont le premier représente 95.9 % de l'inertie et le deuxième 2.29%.

Tableau II : Paramètres numériques associés à l'analyse triadique partielle des données physicochimiques. RV = matrice des coefficients de corrélations vectorielles entre tableaux ; &K = pondération indiquant la participation du tableau k à la définition du compromis ; Cos² : cosinus carré entre le tableau k et le compromis.

Tableau	RV			&K	Cos ²
1 ^{ère} Campagne	1			0.5758	0.976
2 ^{ème} Campagne	0.933	1		0.5778	0.980
3 ^{ème} Campagne	0.936	0.945	1	0.5783	0.981

• Analyse du compromis. L'analyse des tableaux du compromis (Fig4 D et E) fournit un histogramme de valeurs propres (Fig3) soulignant deux dimensions prépondérantes qui représentent respectivement 66.64% et 21.48%, soit 88,12% de l'information totale. Les stations et les variables physicochimiques (Figure 4.D-E) sont projetées donc sur le plan 1-2 du compromis.

Le plan 1-2 du compromis des variables physicochimiques (figure 4E) met en évidence sur l'axe 1 un gradient de pollution, opposant les indicateurs de pollution : la DBO5, NO, N-NH, PO et le SO à l'Oxygène dissous ; sur le plan 1-2 des stations (Figure 4D) ce gradient de pollution oppose la station la plus polluée Z11, aux autres stations éloignées des rejets organiques et industriels de la ville de Taourirt. L'axe 2 caractérise un gradient amont-aval sur le plan 1-2 des stations, et un gradient de conductivité sur le plan 1-2 des variables physicochimiques.

L'étude de la structure temporelle des données a montré donc que, quelle que soit la campagne de prélèvement, la station Z11 s'oppose toujours aux autres stations, mettant en évidence que cette station reste

polluée durant presque toute l'année, et que les indicateurs de pollution demeurent toujours corrélés négativement à l'oxygène dissous.

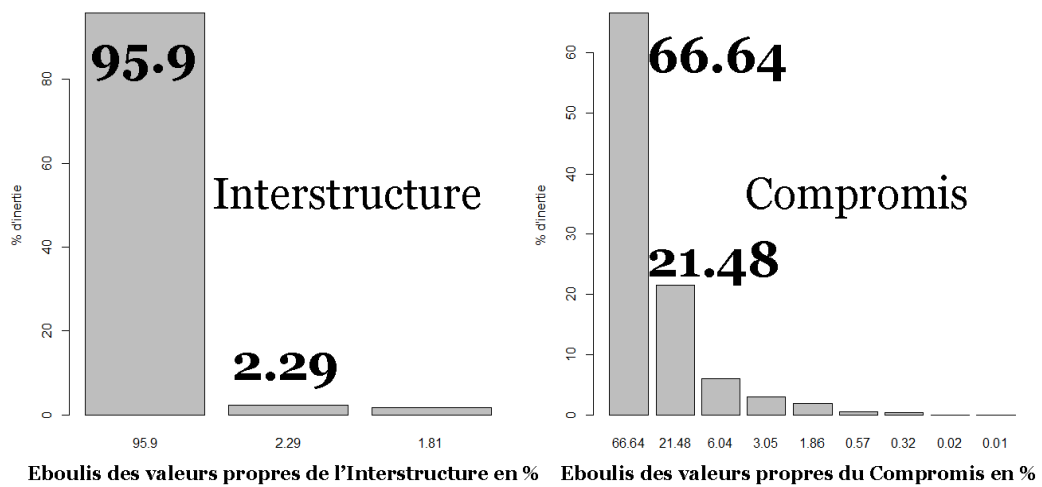


Figure 3 : Éboulis des valeurs propres de l'Interstructure et du Compromis en %.

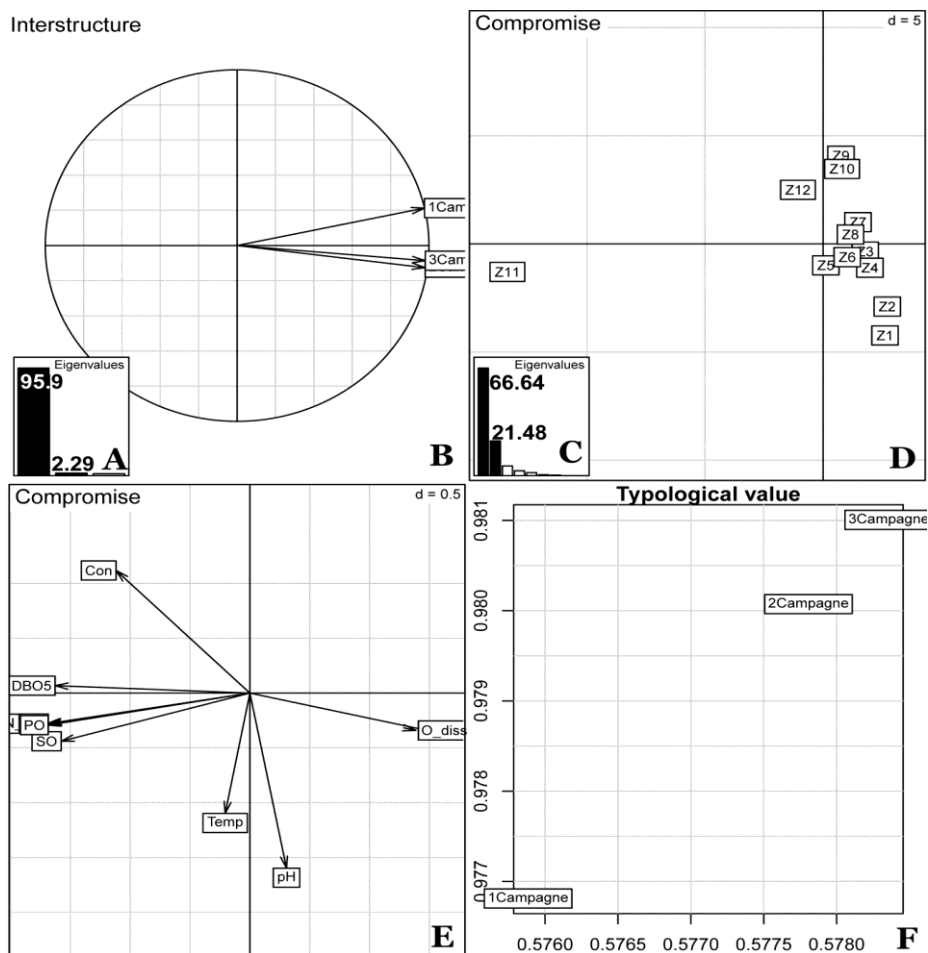


Figure 4 : Résultats de l'interstructure et du compromis de l'analyse triadique partielle des données physicochimiques. (A)Histogramme des valeurs propres de l'interstructure. (B)Projections des trois tableaux (campagnes) sur les axes 1 et 2 de l'interstructure. (C) Histogramme des valeurs propres du compromis soulignant l'existence d'une structure moyenne à deux dimensions. (D) Coordonnées des stations sur le plan 1-2 du compromis (E) Coordonnées des variables sur le plan 1-2 du compromis.(F) typologie des poids des trois tableaux (campagnes)

En effet la station Z11 est située en aval des rejets organiques et industriels de la ville de Taourirt, et le traitement secondaire des eaux usées domestiques de cette ville reste inadapté vu la sensibilité du milieu récepteur. Il faut signaler au passage que les eaux usées industrielles sont rejetées sans traitement dans le milieu récepteur ; et que cette station enregistre, selon l'observatoire régional de l'environnement, des pics de pollution, allant jusqu'à 150mg/l de DBO5 et de 2,5 mg/l d'O2 dissous, pendant les mois de novembre et décembre de chaque année ; causant des mortalités de la vie aquatique ; le mois de novembre 2013 est un bon exemple parmi d'autres. Ces pics de pollution se coïncident toujours avec la saison des triturations des olives [33].

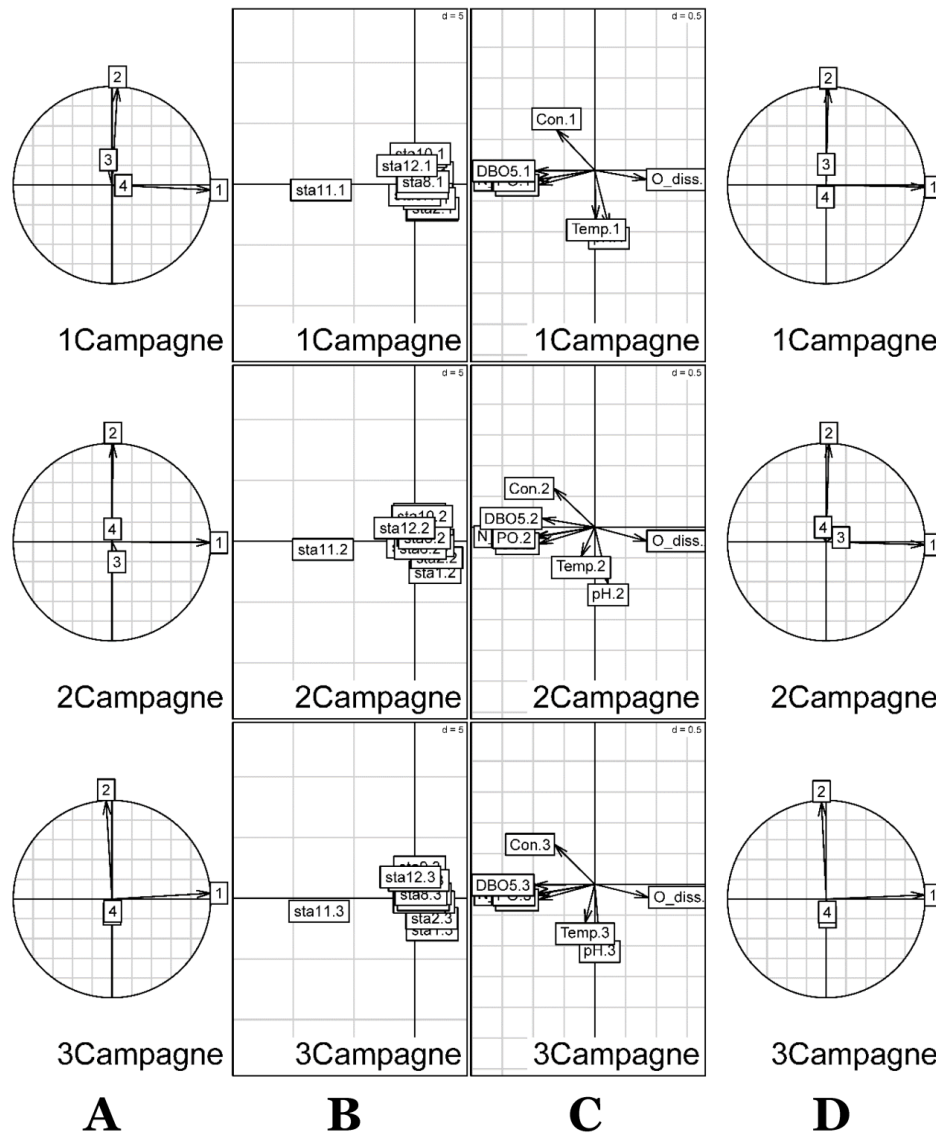


Figure 5 : Analyse de la reproductibilité de la structure compromis. (A) Projection multifenêtrée par campagne des composantes principales des analyses séparées sur le plan 1-2 du compromis. (B) Projection multifenêtrée par campagne stations sur le plan 1-2 du compromis. (C) Projection multifenêtrée par campagne des variables physicochimiques sur le plan 1-2 du compromis. (D) Projection multifenêtrée par campagne des axes principaux des analyses séparées sur le plan 1-2 du compromis.

• **Analyse de la reproductibilité de la structure du compromis = L'Intrastructure**

Cette étape d'analyse consiste à représenter simultanément et de façon symétrique chaque station et chaque variable à toutes les campagnes.

L'intérêt de l'intrastructure réside, à l'évidence, dans la possibilité d'exprimer à une même échelle l'évolution temporelle des relations variables-stations (typologie interne à chaque tableau) aux trois campagnes,

tout en maximisant l'inertie du nuage global. La figure 5 donne le résultat de cette analyse, qui peut être interprétée de la manière suivante :

Pendant la première campagne toutes les stations, excepté la station Z11.1, présentent une qualité d'eaux bonnes à excellente. Les rejets organiques et industriels perturbent cette qualité, et polluent l'eau au niveau de la station Z11.1 ; au niveau de la station Z12.1, nous notons une dépollution des eaux grâce au pouvoir autoépuratoire de l'eau.

Au cours de la deuxième campagne, on note deux effets majeurs : le premier est que la station Z11.2 est moins polluée par rapport à la première campagne, la Z11.2 est plus à droite que Z11.1 ; le deuxième effet est que Z12.2 est plus à gauche que Z12.1 (on peut vérifier ces données avec le tableau 1) ; qui veut dire que la Z12.2 enregistre un taux plus élevé de DBO5 que Z12.1.

Ces deux effets peuvent être expliqués, entre autres, par les fortes précipitations enregistrées durant le mois de mai 2014 au niveau du bassin versant de Za, en effet les précipitations augmentent le débit des eaux et diluent les charges polluantes au niveau de la station Z11.2 ; mais elles perturbent en même temps, au niveau de la station Z12.2, les facteurs qui régissent le pouvoir auto épurateur de l'eau comme la turbulence et fonctionnement des populations de microorganismes.

Durant la troisième campagne, la station Z11.3 est plus à gauche que Z11.1 et Z11.2, enregistrant ainsi un taux plus élevé de pollution, cela serait expliqué par l'effet de la saison sèche (3^{ème} campagne : Juillet-Aout) pendant laquelle le débit de l'eau diminue considérablement. Le pouvoir auto épurateur de l'eau retrouve sa forme au niveau de Z12.3.

Conclusion

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de l'Oued Za montrent que la qualité globale de ce cours d'eau est dans l'ensemble bonne ; La qualité médiocre est enregistrée au niveau de la station Z11 située en aval des rejets polluants.

La station Z11, qui reste polluée presque toute l'année, enregistre des valeurs élevées des indicateurs de pollution DBO5, SO4²⁻, N-NH₄, N-NO₃ et P-PO₄³⁻, ces valeurs s'accroissent surtout lors de la période de l'été, et pendant la saison de triturations des olives. La station-aval Z12 présente une amélioration relative de la qualité physicochimique de l'eau grâce aux phénomènes de dilution et d'autoépuration.

La station d'épuration de Taourirt, qui traite les eaux usées au niveau secondaire, connaît des dysfonctionnements à cause des rejets industriels des unités artisanales informelles, situées au centre des agglomérations et raccordés au réseau d'assainissement domestique. Il faut noter au passage que le traitement secondaire des eaux usées n'est pas du tout approprié aux milieux récepteurs sensibles tel qu'Oued Za.

En plus de ce dysfonctionnement de la station d'épuration, Oued Za reçoit les déchets liquides de la zone industrielle sans traitement préalable.

Pour tirer le meilleur bénéfice de l'utilisation de nos ressources limitées en eau, l'amélioration de la gestion de l'eau, sur les plans quantitatif et qualitatif, doit être l'objectif primordial de toute politique provinciale, régionale ou nationale, pour ce faire il faut :

- pousser le traitement des eaux usées de la station d'épuration déjà existante de Taourirt au niveau tertiaire.
- exiger l'adhésion des industriels au mécanisme volontaire de la dépollution hydrique pour implanter une nouvelle station d'épuration séparée et spécialisée pour les déchets liquides industriels.

Référence

1. Kosmala A., Evaluation ecotoxicologique de l'impact des effluents de station d'épuration sur les cours d'eau : intérêt d'une approche intégrée. Thèse de doctorat. Univ de METZ. (1998) 189.
2. Berrahou A., Chavanon G., Bellouli A. & Richoux P., *Bull. Mens. Soc. Limn. Lyon.* 70 (5) (2001) 127-131.
3. Fagrouch A., Amyay S., Berrahou A., El Halouani H et Abdelmoumen H., *Afrique SCIENCE.* 06(3) (2010) 87 – 102.
4. Kadri B., Berrahou A., El Halouani H., Chafi A., *ScienceLib*, 4(120709) (2012) 2111-4706.

5. Afnor. Qualité de l'eau. Recueil des Normes Françaises Environnement, Tomes 1, 2, 3 et 4 (1997) 1372.
6. Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., L'analyse de l'eau, 8ème édition, Edition Dunod, Paris, France. (1996).
7. Thioulouse J., Chessel D., *OEcol. Gen*, 8 (4) (1987)463-480.
8. Leynaud G., Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture. (1968) 224-881.
9. Potelon, J.-L., Zysman, K., *Le guide des analyses de l'eau potable*. Édition naturelle, (1998) 249.
10. Chahlaoui A., *Etude hydro biologique de l'oued Boufekrane (Meknès), Impact sur l'environnement et la santé*.Thèse d'état. Fac. Meknès. (1996) 234.
11. Vega M., Pardo R., Barrado E., Deban L., *Water Res.* 32(12) (1998) 3581-3592.
12. Nisbet M., & Verneaux J., *Annls. Limnol.* 6(2) (1970) 161-190.
13. ArrignonJ., Aménagement écologique et piscicole des eaux douces. Paris : *Gauthier- Villars*. (1976).
14. Silva A.M.M., Sacomani L.B., *Water. Res.* 35(6) (2001) 1609-16.
15. Hébert S., Légré S., 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. (2000) 5.
16. Bremond R., Perrodon C., Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. *Prevention des pollutions*. 2ème ed, (1979) 259.
17. Mcneely R.N., Neimanis V.P., Dwyer L., *Water quality sourcebook: A guide to water quality parameters*. Environment Canada, Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa, Canada. (1979).
18. Mallett M.J., Vine S., Murgatroyd C., Whitehouse P., Jerman E., Ashby-Crane R.E., Fleming R., Wwilson K. and Sims I., *NRA R&D Note*. 82 (1992).
19. Seager J., Wolff E.W., and Cooper V.A., Proposed environmental quality standards for List II substances in water. Ammonia. WRc report No TR26O. (1988).
20. Guasmi I., Djabri L., Hani A., Lamoureux C., *Larhyss Journal*. (2006) 113-119.
21. Cébron A., *Nitrification, bactéries nitrifiantes et émissions de N2O*. Thèse de doctorat, université Paris VI-Pierre et Marie Curie. (2004) 289.
22. Bengherbia A., F. Hamaidi, R. Zahraoui, M.Said Hamaidi et S. Megateli., *Lebanese Science Journal*, 15 (2) (2014) 39-51.
23. Meybeck M., Helmer R., *Global and Planetary Change*.1 (1989) 283- 309.
24. SEEE : Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement : normes marocaines définissant la grille de qualité des eaux de surface. (2007).
25. Dolédec S., Chessel D., *OEcol. Gen.* 8, 3 (1987) 403-426.
26. Dolédec S., Chessel D., *OEcol. Gen.* 10, 3 (1989) 207-232.
27. Beffy J.L., Dolédec S., *Bulletin d'Ecologie*.22 (1991) 3-11.
28. Degiorgi F., Grandmottet J.P., *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 329 (1993) 199-220.
29. Lair N., Sargos D., *Hydroe'col. Appl.* 5(1993) 1-27.
30. Bornette G., Amoros C, Collilieux G., *Environmental Management*. 18 (1994) 223-234.
31. Franquet E., Dolédec S., Chessel D., *Hydrobiologia*. 300/301 (1995) 425-431.
32. Blanc L., D. Chessel and S. Dolédec. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 348 (1998) 1-21.
33. Bouknana D., Hammouti B., Salghi R., Jodeh S., Zarrouk A., Warad I., Aouniti A., Sbaa M., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (2014) 1039-1058