



Évolution spatiotemporelle des paramètres physico-chimiques de la Moulouya [Spatiotemporal evolution of physicochemical parameters of the Moulouya]

Taybi A.F.*, Mabrouki Y., Berrahou A., Chaabane K.

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

Received 20 Aug 2015, Revised 09 Dec 2015, Accepted 23 Dec 2015

**Corresponding author: taybiaf@gmail.com*

Abstract

The physicochemical parameters of surface water from the Moulouya know quite significant variability in space and time under the influence of anthropogenic or natural phenomena. This study proposes a bimonthly follow-up of 9 abiotic descriptors at 22 stations on the Moulouya. It is based on processing data collected during the measurement period from 03 March to 27 August 2014, and focuses on the spatiotemporal variability of these 9 descriptors. In this context we seek to determine the spatial structure and the temporal structure of environmental variables, and identify the relationship between these two structures. The results obtained allowed to demonstrate strong organic load at the stations M6, M12 and M16, receiving wastewater discharges from rural towns and Missouri, Zaïda respectively, and the urban commune of Guercif, as evidenced by the main parameters values: BOD5, Ammonium, Nitrate, Orthophosphate and Sulfates. However, this pollution is mitigated downstream watercourse as a result of autoépuration phenomenon. These results also highlight a dominant spatial typology marked by a reduced seasonal influence.

Keywords: Moulouya, abiotic descriptors, spatiotemporal variability, BOD5, pollution, spatial typology.

Résumé

Les paramètres physicochimiques des eaux superficielles de la Moulouya connaissent des variabilités assez importantes dans l'espace et dans le temps sous l'influence de phénomènes naturels ou anthropiques. Cette étude propose un suivi bimensuel de 9 descripteurs abiotiques de 22 stations sur la Moulouya. Elle s'articule autour du traitement des données prélevées durant la période de mesure du 03 mars au 27 août 2014, et se focalise sur la variabilité spatiotemporelle de ces 9 descripteurs abiotiques. Dans ce contexte nous cherchons à déterminer la structure spatiale ainsi que la structure temporelle des variables environnementales, et de cerner le lien qui existe entre ces deux structures. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence une forte charge organique au niveau des stations M6, M12 et M16, recevant les rejets d'eaux usées venant respectivement des Communes rurales de Zaïda et Missouri, et de la commune urbaine de Guercif, comme en témoignent les valeurs des principaux paramètres : DBO5, Ammonium, Nitrate, Orthophosphates et Sulfates. Néanmoins, cette pollution est atténuée vers l'aval du cours d'eau sous l'effet du phénomène autoépuration. Ces résultats mettent aussi en évidence une typologie spatiale dominante marquée par une influence saisonnière réduite.

Mot clés : Moulouya, descripteurs abiotiques, variabilité spatiotemporelle, DBO5, pollution, typologie spatiale.

Introduction

Le Maroc compte parmi les pays d'Afrique les plus menacés par le fléau de la pollution de ses eaux [1, 2, 3]. Les ressources en eau sont limitées en raison du climat semi-aride qui caractérise la majeure partie du territoire. A ceci s'ajoute les sécheresses épisodiques. Cette problématique ne se limite pas à la quantité des ressources en eau, mais porte également sur la qualité de ces ressources qu'il faut aujourd'hui plus que jamais bien gérer. La Moulouya est le plus important fleuve marocain se jetant dans la Méditerranée, elle prend naissance dans la chaîne du Haut et Moyen Atlas, son écoulement très variable s'étend sur plus de 500 km. Elle a fait le sujet de plusieurs recherches portant sur la qualité de ses eaux superficielles et de ses sédiments [4, 8], et ce travail, comme beaucoup d'autres [9,16], s'insère dans le cadre de surveillance de la qualité des eaux superficielles de ce fleuve. La particularité de ce travail est qu'il suit l'évolution spatio-temporelle de la qualité des principaux paramètres physico-chimiques des eaux de surface, de 22 stations depuis les sources jusqu'au domaine pré-estuarien près de l'embouchure, ces stations ont été visitées chacune trois fois (mars-avril, mai-juin et juillet-août).

Cette étude physicochimique vient pour compenser les inconvénients de l'étude biotique complémentaire, en effet certains bioindicateurs, comme les invertébrés, présentent des sensibilités sélectives aux différents facteurs de perturbation, et ne permettent pas de déduire le type de perturbation qui influe sur la qualité générale de l'eau, et l'analyse physicochimique reste le seul moyen d'identifier la nature et les concentrations des polluants.

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieu d'étude

Le bassin versant de la Moulouya couvre à peu près la totalité du Maroc Oriental et s'étend sur près de 55860 Km². Géographiquement, il s'inscrit entre les latitudes 32° et 35°8' Nord et entre les longitudes 1°11' et 5°37' Ouest. Il est limité au Nord-est par la Méditerranée, au Nord-ouest par la chaîne de Beni-Bouyahi à l'ouest par les montagnes du Rif oriental et du Moyen Atlas plissé, au Sud par le haut Atlas, la limite Est correspond à la frontière Maroc-Algérienne. (Fig.1)

Le cours d'eau de la Moulouya traverse d'amont en aval différents étages bioclimatiques méditerranéens : le subhumide, le semi-aride, l'aride, le saharien, l'aride et le semi-aride.

Il prend ses sources à 3750 m environ dans la zone de jonction du Haut Atlas et du Moyen Atlas, et prend une direction générale sud-ouest nord-est et bute contre le massif granitique de Midelt. A la sortie de ce massif débute le cours moyen de la Moulouya. Elle traverse le bassin de Missouri, le couloir d'Outat El Haj jusqu'à la confluence de Melloulou. Après la confluence de Za, la Moulouya traverse la barrière des Beni Snassene par des gorges étroites et profondes. A sa sortie de la chaîne, le fleuve rejoint la plaine des Triffa, puis se jette dans la mer Méditerranée à proximité de la ville de Saïdia.

Des sources au massif de Midelt, le réseau hydrographique constitue la haute Moulouya, de Midelt à la confluence de Za la moyenne Moulouya et en aval de la confluence de Za la basse Moulouya.

Trois campagnes de prospection étalées sur six mois, de mars 2014 à août 2014 ont été réalisées. Pour chaque campagne et chaque station, des échantillons d'eau ont été prélevés et analysés au laboratoire. Les principaux paramètres mesurés sont résumés dans le tableau 2.

Le suivi de ces différents paramètres a été fait suivant un calendrier bimensuel. Cependant, 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 de la Moulouya 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. (ARTICLE 6 / Les échantillons prélevés lors des inondations, des pollutions accidentelles et des catastrophes naturelles ne sont pas considérés pour l'appréciation globale de la qualité de l'eau de surface.).

2.2. Description des stations (Figure1, Tableau1) :

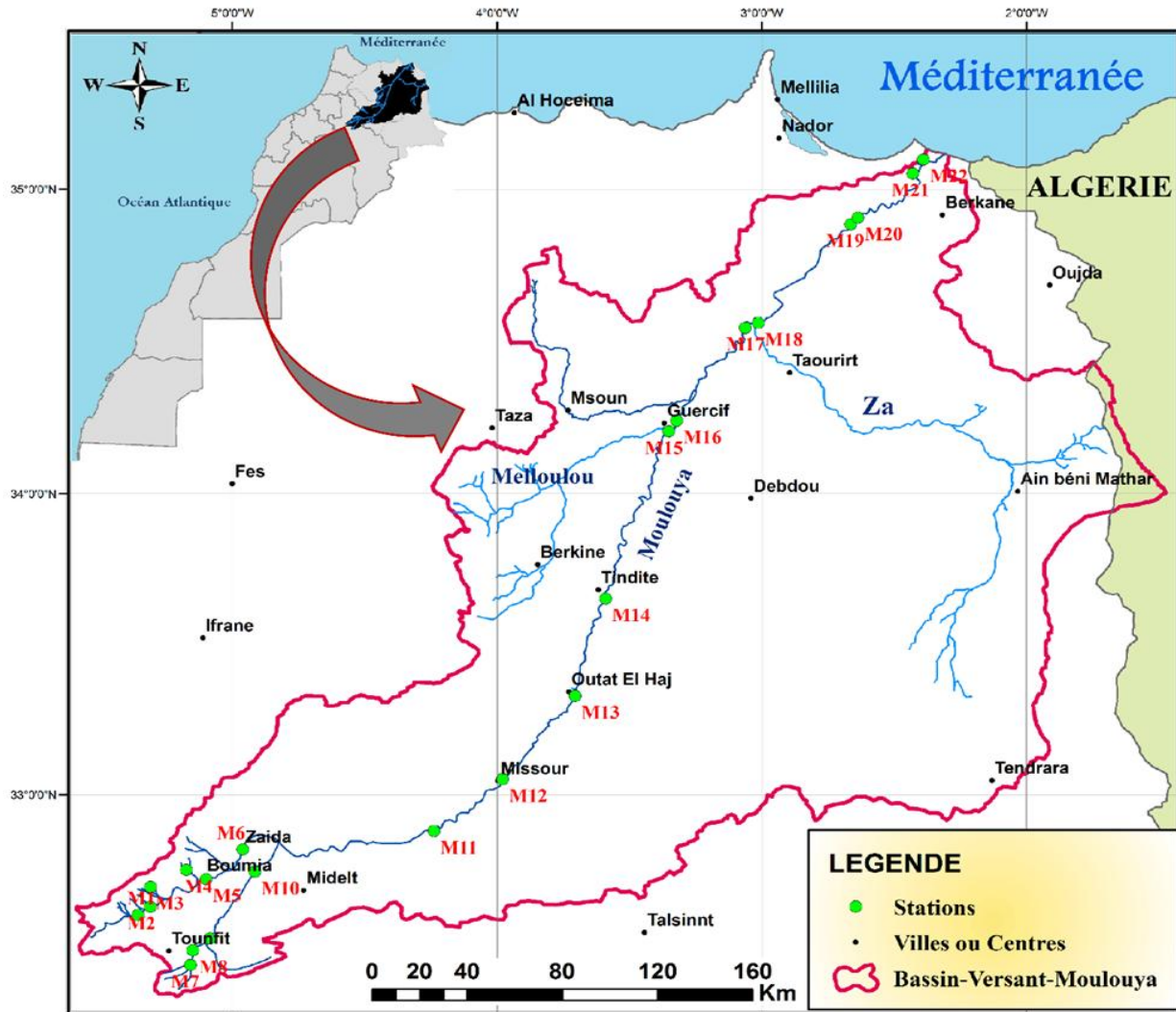


Figure 1 : Localisation du bassin versant de la Moulouya ainsi que les stations d'études.

Tableau 1 : Localisation géographique et caractéristiques des principales stations étudiées.

Code	Stations	Coordonnées Géographiques	Altitude en m	Dates des prélèvements
M1	Ait boulmane	32°36'56.6" N 5°19'49.2" W	1650	03/05/2014 13/06/2014 14/07/2014
M2	Ait Oha Ohaki	32°37'28.7" N 5°18'32.8" W	1640	03/05/2014 13/06/2014 14/07/2014
M3	Source Arbalou	32°40'33.4" N 5°17'20" W	1670	03/05/2014 13/06/2014 14/07/2014
M4	Krouchene=Irhdiss	32°44'49.6" N 5°10'17.1" W	1616	03/05/2014 13/06/2014 14/07/2014

M5	Boumia	32°43'3.4" N 5°5'52.7" W	1515	02/05/2014 14/06/2014 15/07/2014
M6	Zaïda	32°49'3" N 4°57'33" W	1455	02/05/2014 14/06/2014 15/07/2014
M7	Anzar Oufounas	32°25'45" N 5°9'24.8" W	1895	02/05/2014 14/06/2014 15/07/2014
M8	Aval Anzar Oufounas	32°28'41.66" N 5°8'53.42" W	1780	02/05/2014 14/06/2014 15/07/2014
M9	Anzegmir avant barrage	32°31'4.1" N 5°5'3.2" W	1702	02/05/2014 14/06/2014 15/07/2014
M10	Anzegmir Amont	32°44'32" N 4°54'51" W	1455	02/05/2014 14/06/2014 15/07/2014
M11	Tamdafelt	32°52'43.86" N 4°14'16.4" W	985	02/03/2014 14/06/2014 15/07/2014
M12	Missour	33°3'7.96" N 3°58'41.7" W	870	02/05/2014 14/06/2014 15/07/2014
M13	Outat Al Haj	33°19'46.8" N 3°42'14.2" W	770	02/05/2014 14/06/2014 15/07/2014
M14	Tindint	33°39'11" N 3°35'20.6" W	640	02/05/2014 14/06/2014 15/07/2014
M15	Moulouya Amont Melloulou	34°12'59.3" N 3°21'6.8" W	362	23/03/2014 24/05/2014 07/07/2014
M16	Moulouya Aval Melloulou	34°14'29.86" N 3°19'13.4" W	355	23/03/2014 24/05/2014 07/07/2014
M17	Moulouya Amont Za	34°33'36.3" N 3°2'33.4" W	230	23/03/2014 24/05/2014 07/07/2014
M18	Moulouya aval Za	34°33'41.09" N 3°1'49.77" W	222	03/04/2014 24/05/2014 22/06/2014
M19	Sebra	34°53'11" N 2°39'45" W	60	03/04/2014 24/05/2014 22/06/2014
M20	Safsaf	34°54'27.53" N 2°38'8.86" W	50	18/03/2014 18/05/2014 23/06/2014

M21	Pont Hassan II	35°3'5.7" N 2°25'42.4" W	9	18/03/2014 18/05/2014 23/06/2014
M22	Pré-Estuaire	35°5'51.4" N 2°23'19" W	3	18/03/2014 18/05/2014 23/06/2014

2.3. Paramètres physico-chimiques :

Les échantillons de cette étude ont été prélevés trois fois de suite dans les vingt-deux stations, sur une période de temps s'étalant sur six mois. Les campagnes de prélèvement ont été réalisées successivement pendant les mois de mars-avril, mai-juin et juillet-août 2014.

Deux répliques d'échantillons d'eau de chaque station ont été prélevées dans les bouteilles de polyéthylène de 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-}), demande biologique en oxygène après 5 jours (DBO5), Orthophosphates (PO_4^{3-}), Ammonium (mg N- NH_4), Nitrates (mg N- NO_3), sont mesurés au laboratoire. Ces paramètres sont déterminés selon les normes AFNOR [17, 18]. Tandis que la conductivité, le pH, l'oxygène dissous et la température sont mesurés (in situ) sur le terrain.

2.4. Analyse statistique :

L'analyse de variance (ANOVA) permettra de vérifier si les moyennes entre groupes sont statistiquement différentes [25].

Pour se focaliser sur l'effet spatial ou temporel, on peut utiliser les analyses inter- et intra-classes, proposées par Dolédec et Chessel [19, 25].

L'analyse inter-classes met l'accent sur un effet choisi (spatial ou temporel), alors que l'analyse intra-classes recherche à enlever cet effet. Par exemple, si les dates d'échantillonnage correspondent à des campagnes, une analyse inter-dates cherchera à mettre en évidence la structure temporelle et une analyse intra-dates cherchera au contraire à faire disparaître cette structure temporelle. La somme de l'inertie inter-classes et de l'inertie intra-classes redonne donc l'inertie totale contenue dans le tableau de données.

Ces analyses permettent la prise en compte a priori des trois indices étudiés : la variable, l'espace et le temps.

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 discussions

Les 9 variables mesurées sur les échantillons physico-chimiques prélevés sur chacun des 22 sites, à trois occasions sont successivement (Tableau 2) :

Le potentiel hydrogène (pH), la température de l'eau en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$), la conductivité électrique en micro siemens par centimètre ($\mu\text{s}.\text{cm}^{-1}$), l'oxygène dissous dans l'eau ($\text{mg}.\text{l}^{-1}$), l'azote ammoniacal NH_4 et NH_3 ($\text{mg}.\text{l}^{-1}$), les nitrates ($\text{mg}.\text{l}^{-1}$), les sulfates ($\text{mg}.\text{l}^{-1}$), l'orthophosphates ($\text{mg}.\text{l}^{-1}$) et la demande biologique en oxygène pendant 5 jours (en $\text{mg}.\text{l}^{-1}$).

La figure 2 représente les variations spatio-temporelles des variables de milieu après normalisation. Elle fait apparaître l'évolution essentiellement spatiale de la variable DBO5 dans chaque station.

La DBO5 est bien supérieure à la moyenne aux niveaux des trois stations suivantes : M6, M12, et M16. Cette figure montre aussi l'évolution temporelle de cette variable au niveau de chaque station, le taux de la DBO5, augmente progressivement dans les stations M6, entre la première et la troisième campagne, idem pour M12 et M16.

Tableau 2 : La variabilité spatiotemporelle des facteurs physico-chimiques étudiées. M .. : comporte en premier le numéro de la station et en second le numéro de la campagne.

Stations	pH	Temp	Con	O_diss	N_NH	NO	SO	PO	DBO5
M1.1	6.85	11.1	455	8.50	0.022	2.76	53	0.010	1.75
M2.1	7.08	12.3	450	7.55	0.022	1.95	71	0.011	1.80
M3.1	7.01	14.3	449	7.21	0.021	3.12	63	0.013	1.89
M4.1	7.71	16.3	523	7.25	0.065	2.45	69	0.015	2.05
M5.1	7.14	22.3	683	6.35	0.050	4.13	160	1.510	6.05
M6.1	6.74	21.3	1972	3.60	2.650	97.61	199	1.951	25.55
M7.1	8.11	11.1	435	9.80	0.012	1.12	45	0.009	0.70
M8.1	7.47	13.5	413	8.55	0.011	1.35	51	0.015	1.15
M9.1	7.45	12.5	415	8.40	0.008	2.21	55	0.011	0.50
M10.1	7.18	19	551	7.15	0.012	2.45	53	0.016	2.01
M11.1	7.51	25	943	6.40	0.031	4.54	110	0.910	6.05
M12.1	7.00	23	1350	4.65	1.550	53.13	455	2.507	15.30
M13.1	7.42	24.5	1876	6.51	0.118	10.11	290	0.911	8.05
M14.1	7.37	22.7	1709	7.45	0.055	7.12	312	0.133	5.45
M15.1	7.32	15.5	1507	7.41	0.018	6.75	210	0.810	5.05
M16.1	7.11	23.3	997	6.65	0.850	48.50	295	1.705	7.30
M17.1	7.21	15.5	1395	7.51	0.019	12.45	370	0.019	3.90
M18.1	7.45	14.5	1200	7.55	0.025	14.57	275	0.705	7.55
M19.1	8.21	13.5	1245	7.45	0.028	9.55	310	0.871	5.87
M20.1	7.61	19.5	1695	8.85	0.090	2.76	209	0.018	0.35
M21.1	7.75	18.7	1760	8.51	0.029	9.70	55	0.715	1.90
M22.1	7.85	19.5	2239	8.41	0.011	9.85	27	0.150	3.27
M1.2	6.90	13.5	475	8.07	0.021	2.86	55	0.013	1.81
M2.2	7.10	14.1	455	7.63	0.024	1.87	69	0.013	1.91
M3.2	7.09	17.5	453	7.12	0.025	3.21	67	0.015	1.97
M4.2	7.77	18.1	545	7.50	0.068	2.76	75	0.019	2.12
M5.2	7.11	25.2	1700	6.10	0.060	4.11	170	1.590	6.90
M6.2	6.93	23.5	1970	3.15	3.260	101.21	225	2.540	33.15
M7.2	7.90	12.3	440	9.11	0.011	1.19	49	0.010	1.05
M8.2	7.45	14.6	421	7.95	0.015	1.37	49	0.017	1.13
M9.2	7.90	13.5	449	7.21	0.012	2.27	55	0.010	0.55
M10.2	7.23	21	555	7.40	0.013	2.95	50	0.017	2.15
M11.2	7.33	26	990	5.21	0.035	4.57	120	1.090	5.90
M12.2	7.21	25	1450	6.75	2.160	55.75	467	2.555	8.55
M13.2	7.25	25.5	1825	6.95	0.095	11.25	310	0.890	7.90
M14.2	7.45	25.5	1795	6.51	0.069	7.19	321	0.210	6.55
M15.2	7.22	21.3	1770	6.85	0.195	6.90	230	1.040	7.80
M16.2	7.20	25.7	1021	6.45	1.260	51.35	310	1.875	7.55
M17.2	7.32	19.7	1409	7.95	0.025	12.55	375	0.073	3.55
M18.2	7.39	19.1	1320	7.75	0.029	14.95	300	0.865	6.87
M19.2	8.31	19.5	1655	7.65	0.095	9.11	330	0.910	6.55
M20.2	8.9	21.4	1697	8.75	0.095	2.89	219	0.021	0.43
M21.2	7.70	21.1	1785	7.95	0.097	9.75	51	0.775	2.55
M22.2	7.83	23.3	2249	8.55	0.015	9.87	31	0.178	2.95

M1.3	7.05	16.7	487	7.05	0.025	2.91	65	0.013	1.90
M2.3	7.11	18.2	564	7.15	0.025	2.33	77	0.017	1.99
M3.3	7.12	21.3	459	6.15	0.027	3.33	71	0.019	2.03
M4.3	7.80	21.4	579	7.10	0.070	2.97	80	0.039	2.25
M5.3	7.05	26.3	725	5.80	0.070	4.34	189	1.705	7.25
M6.3	6.12	25.7	2070	1.01	4.070	102.95	279	2.790	39.55
M7.3	7.75	15.1	939	8.85	0.021	1.27	53	0.011	1.50
M8.3	7.49	15.4	453	7.75	0.017	1.36	53	0.029	1.35
M9.3	7.75	16.7	453	7.12	0.011	2.31	65	0.011	1.05
M10.3	7.31	25	567	7.10	0.018	2.77	54	0.019	2.15
M11.3	7.55	28	1030	4.92	0.039	4.95	129	1.105	7.25
M12.3	6.85	28	1970	3.15	3.075	65.19	495	2.750	19.70
M13.3	7.11	25.7	1945	6.27	0.177	10.57	370	1.090	9.25
M14.3	7.42	27.3	1835	6.22	0.077	7.34	345	0.310	7.90
M15.3	7.15	25.5	1695	7.27	0.127	7.55	279	1.505	8.25
M16.3	7.97	28.6	1275	4.55	2.095	51.25	335	1.995	12.70
M17.3	7.66	23.5	1429	6.47	0.077	12.90	430	0.095	5.95
M18.3	7.41	23.4	1535	6.53	0.037	15.50	315	1.095	7.95
M19.3	7.85	22.7	1450	6.87	0.152	9.35	379	1.095	6.93
M20.3	7.75	23.5	1700	8.57	0.110	2.90	227	0.023	0.49
M21.3	7.55	23.4	1795	7.47	0.146	9.95	49	0.805	2.95
M22.3	7.80	25.6	2240	8.38	0.021	9.93	33	0.160	3.30

Les autres variables sont représentés de la même manière dans la figure 3, les températures des eaux augmentent progressivement de mars à août et généralement d'amont en aval, cette variable est liée à l'espace et au temps. La conductivité évolue essentiellement dans l'espace, et décrit un gradient croissant amont aval (excepté les stations polluées M6, M12, et M16). Les autres indicateurs de pollution (N-NH, NO, PO) ont la même allure de la DBO5. L'oxygène dissout suit une allure totalement inverse à la DBO5.

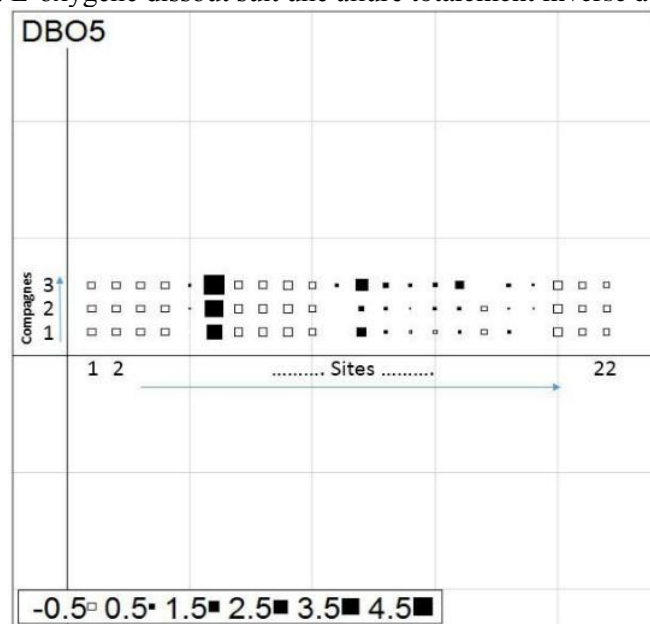


Figure 2 : Représentation spatiotemporelle de la variable DBO5. La surface des carrés noirs (valeurs supérieures à la moyenne) et des carrés blancs (valeurs inférieures à la moyenne) est proportionnelle aux données normées. En colonnes les 22 stations et en lignes les 3 campagnes.

3.1. Analyse en composantes principales des variables du milieu.

Dans un premier temps, nous réalisons une analyse en composantes principales normées (ACPn) sur les 9 mesures physico-chimiques. Nous avons donc 22 stations mesurées pendant les 3 campagnes (Figure 4). Les deux premiers axes de l'ACP normée (77.17% de l'information totale) des données physico-chimiques sont utilisés pour décrire les corrélations entre les variables qui sont liées à la structure spatio-temporelle.

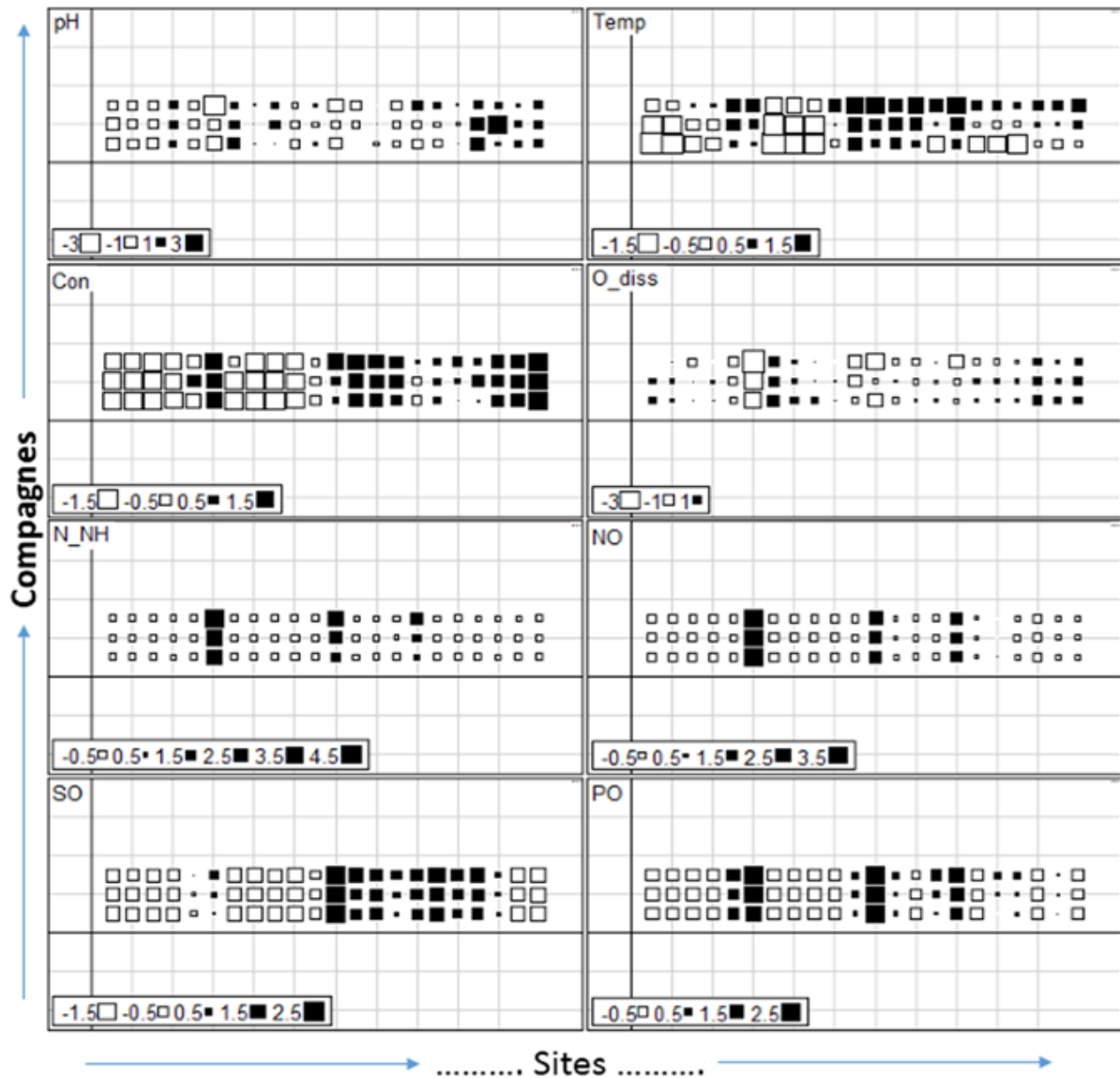


Figure 3 : Représentation spatiotemporelle des variables physicochimiques. La surface des carrés noirs (valeurs supérieures à la moyenne) et des carrés blancs (valeurs inférieures à la moyenne) est proportionnelle aux données normées. En colonnes, les 22 stations et en lignes les 3 campagnes.

Le premier axe (61.16%) prend en compte l'oxygène dissous, la demande biologique en oxygène (DBO5), l'ammoniaque, les nitrates et l'orthophosphates (P0). Cela pourrait être interprété comme un gradient de pollution de droite à gauche. La station M6 (Zaïda) est donc la plus polluée suivie par M12 (Missour) et M16 (Guercif). L'oxygène dissous est inversement corrélé au DBO5, PO, NH et N-NH. Cette pollution augmente pendant la 3ème campagne (3Jui_Aou). Les autres stations ont une bonne qualité d'eau.

Le deuxième axe (16.01) fait apparaître un gradient de minéralisation et de pH, les stations M21, M22 sont les plus minéralisées, les moins minéralisées sont M1, M3 ; cet axe décrit donc le sens amont aval.

Cette analyse regroupe à la fois les deux typologies, spatiale et temporelle.

Afin de tester l'effet spatial ou l'effet temporel, on peut réaliser une analyse de la variance (ANOVA) à un facteur, les variables physico-chimiques prises une à une ont donné le tableau 2 suivant :

Les résultats du tableau 2 confirment certains points d'observations faites à partir des représentations graphiques des variables (figure 2 et 3) et ceux obtenus par l'ACPn (figure 4). La température est mal représentée dans le plan 1-2 de l'ACP, bien que ce descripteur varie à la fois de façon spatiale et temporelle.

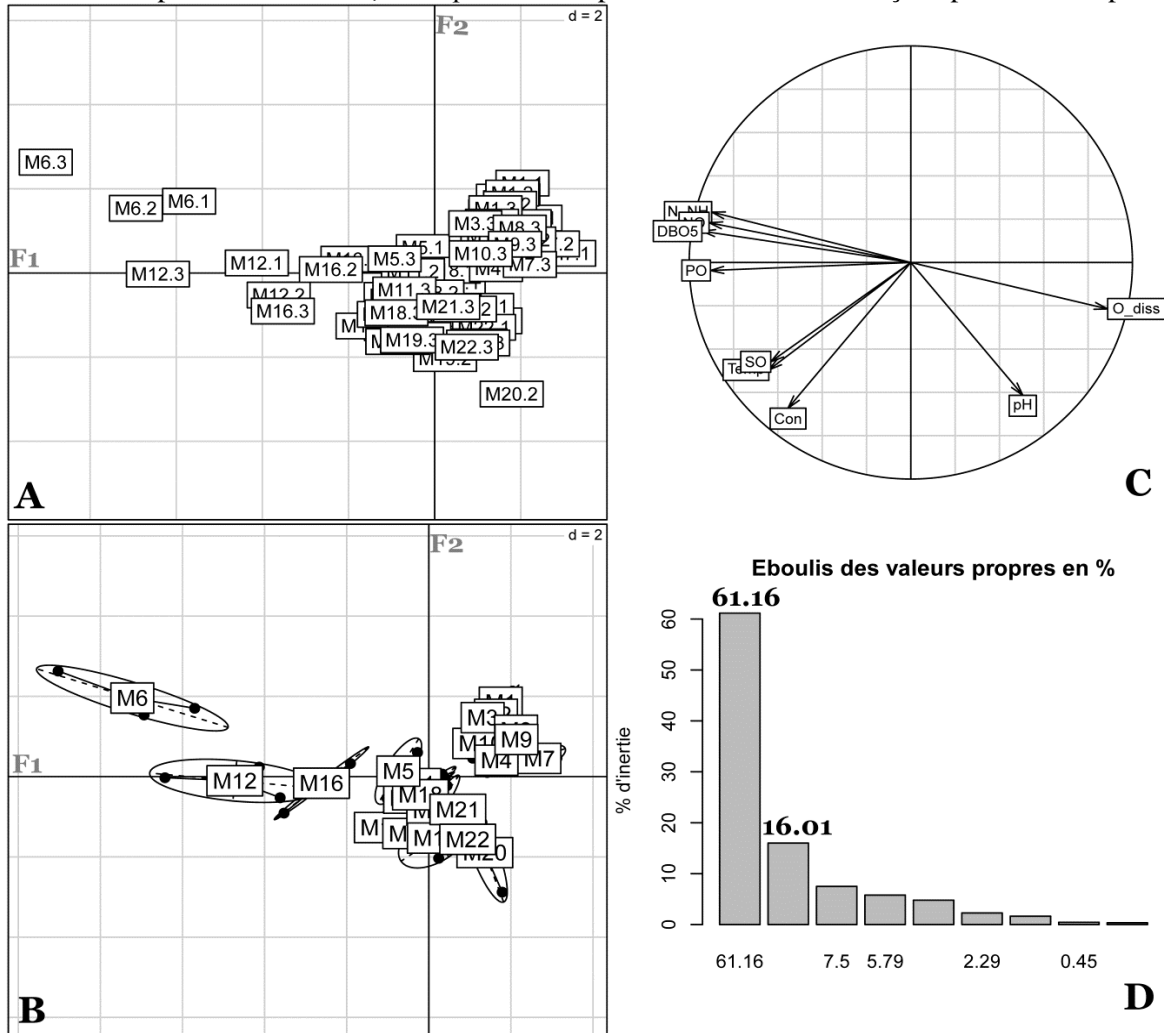


Figure 4 : ACP normée du tableau des variables mésologiques. A et B – Plan factoriels 1-2 de la typologie spatiale. C - Plan 1-2 du cercle de corrélations entre variables. D - Histogramme des valeurs propres.

Tableau 2 : Résultats de l'ANOVA sur les variables mesurées (NS pour $p > 0,05$) NS= non significatif.

	pH	Temp	Con	0_diss	N_NH	NO	SO	PO	DBO5
Campagne	NS	P=0.0008	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Station	$P < 10^{-6}$	$P < 10^{-6}$	P=O	$P < 10^{-5}$	P=O	P=O	P=O	P=O	P=O

3.2. Analyse intra-campagne

En termes d'inertie, l'ACP globale des données du milieu est égale à 9 (nombre total de variables dans une ACP normée). L'inertie intra campagne représente 96.32% de l'inertie totale. De plus, les deux premiers axes de l'ACP intra- campagnes totalisent 75.08 % de l'inertie de l'ACPn, soit (77.94% de l'inertie de l'ACP intra campagnes).

Pour étudier la typologie spatiale des variables en éliminant l'effet temporel, on réalise une ACP intra-campagne (Figure 5)

Les emplacements différents des stations représentées ici par des points noirs à l'intérieur des ellipses (les points noirs représentent les trois emplacements de chaque station dans les trois campagnes), montrent que La typologie spatiale n'est pas similaire d'une campagne à l'autre, et que les stations les plus polluées par ordre décroissant sont successivement : M6, M12 et M16.

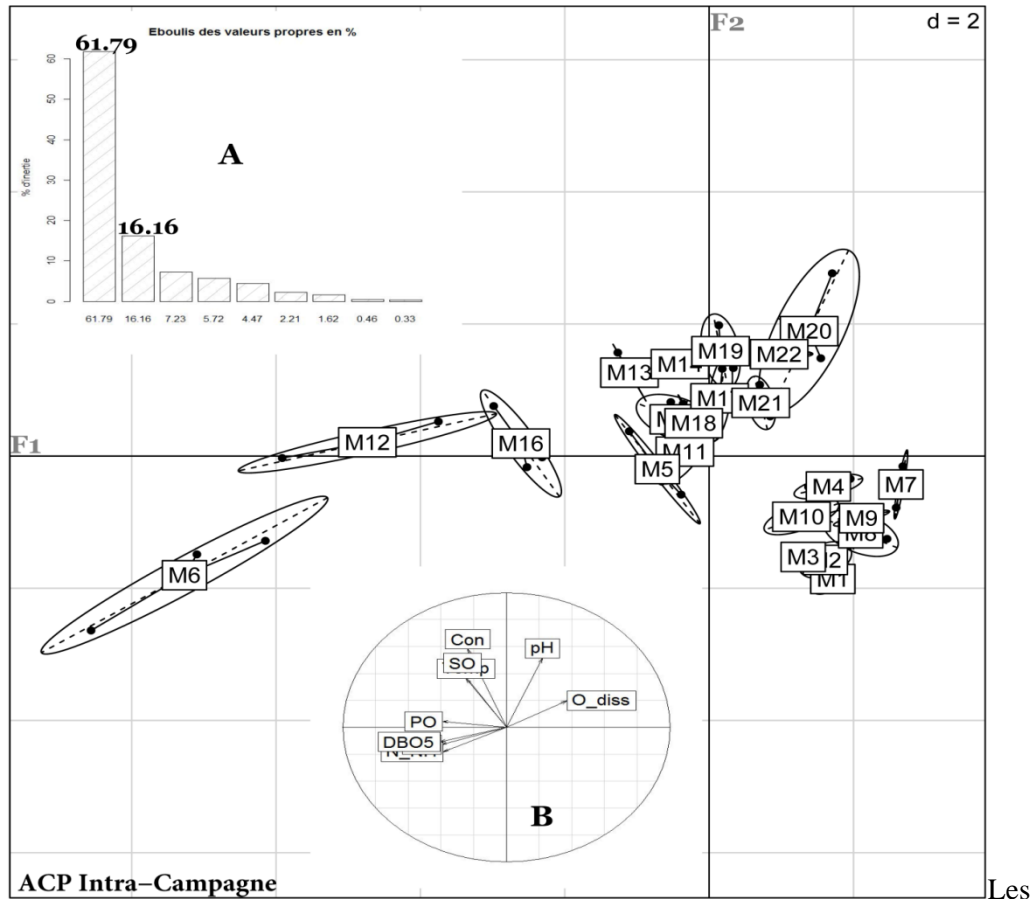


Figure 5 : ACP Intra Campagne du tableau des variables mésologiques, A Histogramme des valeurs propres. B - cercle de corrélations entre variables indicateurs de pollution sont toujours corrélés négativement à l'oxygène dissous, et représentent le gradient de pollution sur l'axe 1. L'axe 2 fait apparaître un gradient croissant de conductivité de bas en haut.

Réaliser une ACP intra-campagnes est presque la même chose que réaliser simultanément les ACP des 3 tableaux "sites - variables" définis par les 3 campagnes. Il serait donc possible de rechercher une représentation graphique liant trois cartes factorielles différentes à l'ACP intragroupe, c'est ce qu'on appelle les analyses séparées (Figure 6). La Figure 6 permet de suivre l'évolution temporelle de la structure spatiale des variables mésologiques.

La pollution de la station M6 s'accroît dans le temps d'une saison à l'autre, et atteint son maximum pendant la troisième campagne, idem pour la station M16. La station M12 enregistre un taux élevé de pollution, pendant la première et la troisième campagne, et un taux faible pendant la deuxième campagne par rapport à la première.

Les autres stations ont une eau d'une qualité moyenne (M11) à très bonne M7 (source Anzar Oufounas) et M20 (Safsaf).

Finalement, l'interprétation de l'ACP intra-campagne est la suivante. Durant la période de printemps mars-avril (faible pollution), les stations polluées par ordre croissant M6 et M12 s'opposent aux autres stations non polluées.

En mai-juin, la station M6 se sépare des autres sites et la pollution diminue en M12. En été, la pollution augmente et la station M16 non polluée rejoint les stations déjà polluées M6, M12, les trois stations s'éloignent encore plus des autres stations sur l'axe horizontal.

Les stations en aval de celles polluées retrouvent une eau de bonne qualité grâce au pouvoir autoépurateur de l'eau.

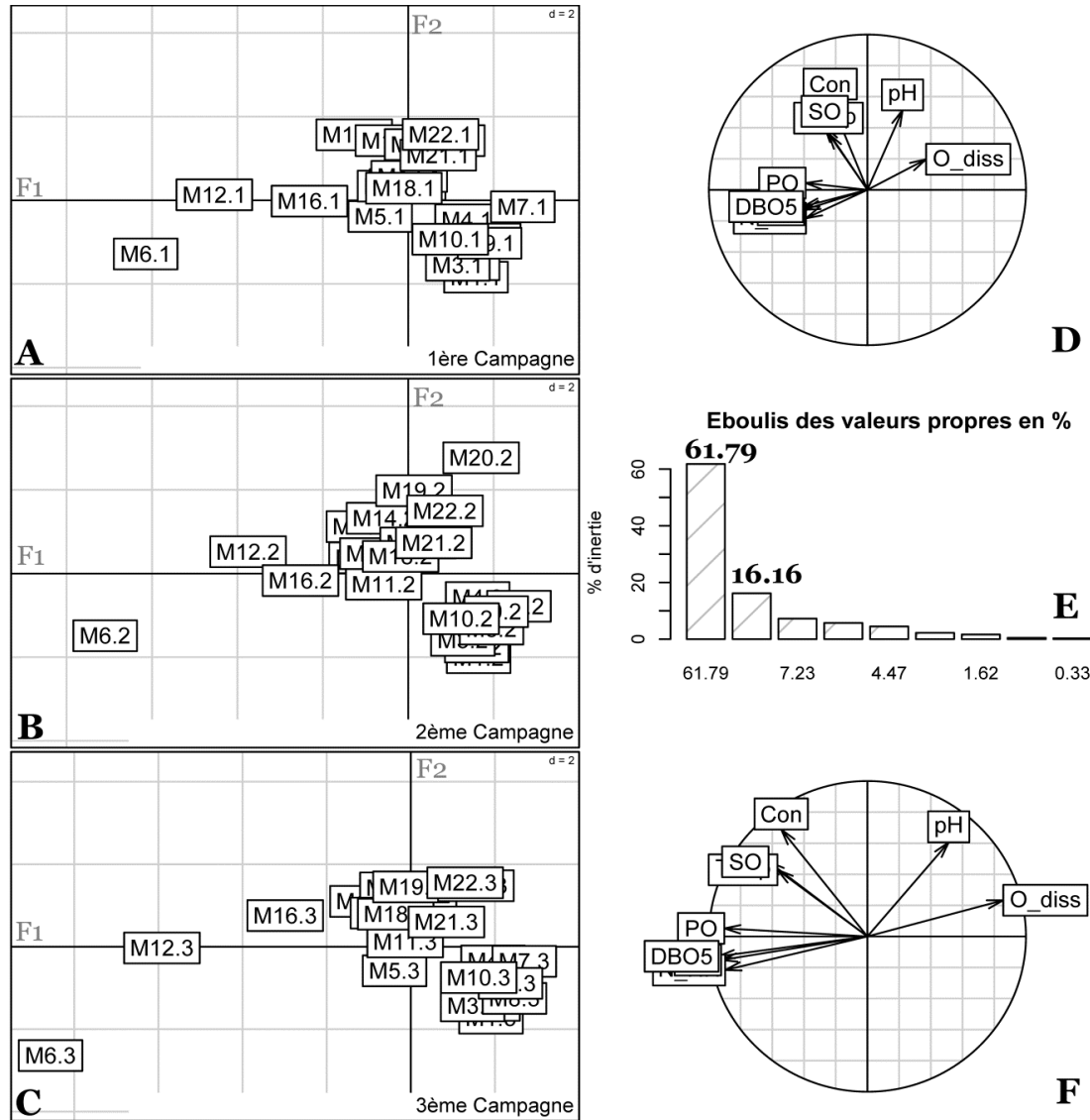


Figure 6 : représentation graphique liant les trois cartes factorielles A,B,C à l'ACP intra-campagne, D - cercle de corrélations entre variables. E- Histogramme des valeurs propres. F- cercle de corrélations de covariances.

3.3. Analyse intra-site.

Pour enlever l'effet spatial et se focaliser sur l'effet temporel, autrement dit pour voir la stabilité spatiale de la structure temporelle, nous effectuerons une analyse Intra-site.

L'inertie intra-site représente 6.72% de l'inertie totale.

Le plan 1-2 de l'ACP intra-site (Fig 7) met en évidence le cycle saisonnier qui est dû essentiellement à la température, cette dernière augmente de droite à gauche sur l'axe horizontal. La température des eaux suit donc un ordre croissant de la première à la troisième campagne.

La variable oxygène dissous, dont le caractère temporel avait été ignoré par l'ACPn du tableau global et par l'anova, intervient aussi selon l'axe horizontal (figure 7B). Ainsi la première campagne (1Mar_Avr) est caractérisée par des eaux froides et riches en oxygène. En (2Mai_Juin) les températures commencent à

augmenter, et l'oxygène dissous à diminuer, il en est de même en (3Jui_Aou) avec en plus des températures plus élevées, et des taux bas d'oxygène dissous.

La température est donc inversement corrélée à l'oxygène dissous, en effet plus la température augmente, plus la solubilité de l'oxygène dans l'eau diminue.

Toujours sur l'axe horizontal la variable DBO5, même si elle est mal projetée sur le cercle de corrélation (donc pas d'effet temporel), suit le même parcours de la température, ainsi la DBO5 augmente progressivement de Mars à Aout. La pollution est donc plus importante en Juillet Août, en effet pendant les autres campagnes la valeur élevée du débit de l'eau (précipitations) conduit à une dilution de la pollution organique.

L'axe vertical fait apparaître le gradient pH ignoré par les autres analyses, en moyenne les valeurs de pH sont élevées pendant la deuxième campagne.

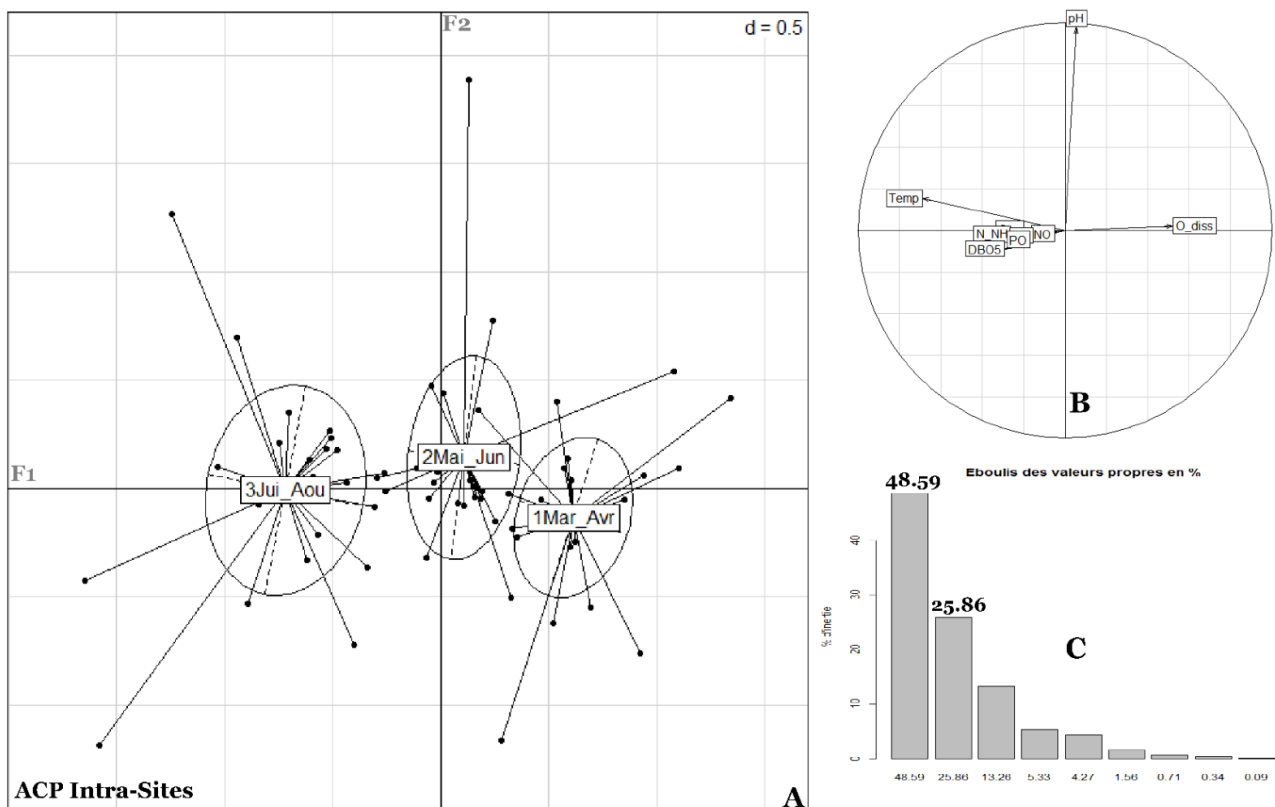


Figure 7 : A. ACP Intra site du tableau des variables météorologiques, B Histogramme des valeurs propres. C - cercle de corrélations entre variables.

Conclusion

Les analyses intra-campagne et intra-site ont montré que :

La typologie spatiale est dominante mais elle reste marquée par une influence saisonnière, même s'elle est réduite.

La structure spatiale est liée essentiellement aux indicateurs de pollution (DBO5, PO, N-NH et le NO), et à la salinité qui augmente d'amont en aval ; les autres descripteurs mesurés sont aussi liés à cette structure spatiale mais d'une façon moins importante. Le cycle temporel observé est dû essentiellement à la température, à l'oxygène dissous, et au pH.

L'existence d'un effet d'interaction espace-temps pour les variables température et oxygène dissous est bien montré. En effet le changement de la température est lié à l'espace, la Moulouya traverse d'amont en aval plusieurs étages bioclimatique, du plus froid comme les montagnes du haut atlas, au plus chaud (zones arides), et au temps dû aux changements saisonniers [26].

Le taux d'oxygène dissous dans l'eau est lié à la température (qui est doublement liée à l'espace et au temps), et au DBO5 causé par les rejets des charges polluantes, qui est lié exclusivement à l'espace.

La qualité des eaux de la Moulouya est dans l'ensemble bonne, excepté les trois stations situées en aval des rejets polluants, qui sont respectivement Zaïda, Missouri et Guercif ; cette pollution atteint son pic pendant la saison sèche (Juillet-Août).

Référence

1. Mutin G. *Ellipses* - 2000
2. Khamar M., Bouya D., Ronneau C., *WaterQual Res J Can.* 35 (1), (2000) 147-161.
3. Azzaoui S., El Hanballi M., Leblanc M., *Water Qual Res J Can.* 37(4), (2002) 773-784.
4. Makhoukh, M., M. Sbaa, A. Berrahou, M. Van. Clooster., *Larhyss Journal.* N° 09, (2011) 149-169.
5. Makhoukh, M., M. Sbaa, A. Berrahou, M. Van. Clooster., *Eur. J. Sci. Res.* 61 (4) (2011) 508-523.
6. Makhoukh, M., M. Sbaa, A. Berrahou, M. Van. Clooster., *Afrique Science.* 07(3) (2011) 33 – 48.
7. Berrahou A. *Thèse d'Etat ès-Sci.*, Fac. Sci. Oujda, (1995).pp. 211.
8. Berrahou, A., B. Cellot et Richoux P., *Ann. Limnol.* 37 (2001) 223-235.
9. El Addouli J., Chahlaoui A., Berrahou A., Chafi A., Ennabili A., Karrouch L., *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* 3 (1) (2009) 56-75.
10. El Addouli J., Chahlaoui A., Berrahou A., Chafi A., Ennabili A., *Larhyss Journal.* n° 09 (2011) 21-33.
11. Fagrouch A., Berrahou A., El Halouani H., Chafi A., *LarhyssJournal*, (11) (2012) 63-77
12. Fagrouch A., Berrahou A., et El Halouani H., *Journal of Water Science*, 24 (2) (2011) 87-101.
13. El Bliidi S., Fekhaoui M., *Bull. Inst. Sci.* 25 (2003) 57–65.
14. Fekhaoui M., Pattee E., *Bull. Ins.Sci.* 17 (1993) 1-12.
15. Khamar M., Bouya D., Ronneau C., *Water Qual Res J Can.*35 (1) (2000) 147- 161.
16. Mounjid J. Cohen N. Fadlaoui S. Belhouari A. Oubraim S., *Larhyss Journal.* (18) (2014) 31-51.
17. AFNOR. Tomes 1, 2, 3 et 4, (1997) 1372.
18. Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., *Dunod.* (1996).pp. 1384.
19. Dolédec S., *OEcol. Gen.* 9 (1988) 119-135.
20. Dolédec S., Chessel D., *OEcol. Gen.* 8,(3) (1987) 403-426.
21. Dolédec S., Chessel D., *OEcol. Gen.* 10 (3) (1989) 207-232.
22. Dolédec S., Chessel D., *Advances in Ecology.*1 (1991) 133-155.
23. Dolédec S., Chessel D., *Freshwater Biol.* 31 (1994) 277-294.
24. Dolédec S., Dessaix J., Tachet H., *Archiv. Hydrobiol.* 136 (1996) 19-40.
25. Blanc L., Chessel D. et Dolédec S., *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 348 (1998) 1 -21.
26. Silva A.M.M., Sacomani L.B. *Water Res.* 35 (6) (2001) 1609-1616.

(2016) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>