



Evaluation physico-chimique de la qualité de l'eau de la lagune de Nador - Nord du Maroc oriental – après l'ouverture de la nouvelle passe **Physico-chemical assessment of the Nador lagoon's water quality – North of the Eastern Morocco – after the opening of the new inlet**

Mohammed Mohammed Mohammed Mostarih¹, Faïd EL Madani², Hameed Saleh Ali Yahya¹, Ouafae EL Hachemi³, Souad Abdellaoui¹, Abdelhafid Chafi¹

¹ *Laboratoire des Sciences de l'Eau, Environnement et Développement durable - Faculté des Sciences - Oujda*

² *Institut National de la Recherche Halieutique - Nador*

³ *Institut Supérieur des professions Infirmières et Techniques de Santé – Oujda*

Received 09 May 2016, Revised 17 Nov 2016, Accepted 22 Nov 2016

*For correspondence: Email: mo.hmo2006@hotmail.com; Tel: (+212629379477)

Abstract

This study was carried out to evaluate the impact of recent developments (closure of the old inlet and opening of a new one) on the water quality of the lagoon of Nador, northeast of Morocco. Twelve hydrological parameters were selected to characterize the lagoon (temperature, conductivity, pH, dissolved oxygen content, oxygen saturation percentage, nitrates, nitrites, phosphates, suspended materials, mineral materials, organic materials, depth). The principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA), were used to study the distribution of variables and the correlations between physicochemical parameters and sampling points. The result of this study shows that, the Nador lagoon was characterized during our study period by a spatial organization:

- Five parameters Homogeneous, namely pH, temperature, conductivity, dissolved oxygen content and the percentage of oxygen saturation.
- Seven parameters heterogeneous, namely depth, particulate organic matter, inorganic particulate material, suspended matter, phosphates, nitrates and nitrites.

The concentrations of the nutritional elements are low in confined areas, far from the pass, namely, both ends of Beni Ansar and Kariat Arakman for hydrodynamic reasons of significant exchange rate of water masses that occurs at the pass. These low levels, were observed also in Tirakaâe and Chaâla regions that receive domestic discharge waste.

Keyword: Nador lagoon, the new pass, nutrients, physicochemical parameters, water quality.

Résumé

La présente étude a été réalisée dans le but d'évaluer l'impact des aménagements récents (fermeture de l'ancienne passe et ouverture d'une nouvelle) sur la qualité de l'eau de la lagune. Douze paramètres hydrologiques ont été choisis pour caractériser la lagune (température de l'eau, conductivité, pH, teneur en oxygène dissous, pourcentage de saturation en oxygène, nitrates, nitrites, phosphates, matières en suspension, matières minérales, matières organiques, profondeur). L'analyse en composante principale (ACP) et la classification hiérarchique ascendante (CHA), ont été également utilisées pour étudier la distribution des variables et les corrélations entre les paramètres physico-chimiques et les points de prélèvements. Les résultats de ce présent travail de recherche ont montré en général que, la lagune de Nador s'est caractérisée durant notre période d'étude par une organisation spatiale :

- Homogène de cinq paramètres à savoir le pH, la température, la conductivité, la teneur en oxygène dissous et le pourcentage de saturation en oxygène.
- Hétérogène de sept paramètres à savoir, la profondeur, la matière organique particulaire, la matière minérale particulaire, la matière en suspension, les phosphates, les nitrates et les nitrites.

Les concentrations des éléments nutritifs sont faibles au niveau des zones confinées éloignées de la passe, à savoir les deux extrémités de Beni Ansar et de Kariat Arakman, pour des raisons hydrodynamiques liées à l'important taux d'échange des masses d'eaux qui se produit au niveau de la passe. Ces faibles teneurs, nous les avons observées également au niveau des zones de Tirakaâ et de Chaâla qui reçoivent des rejets domestiques.

Mots clés : lagune de Nador, nouvelle passe, sels nutritifs, paramètres physico-chimiques, qualité de l'eau.

1. Introduction

Les écosystèmes lagunaires, définies comme étant des écosystèmes peu profonds, reliés à la mer par une ou plusieurs chenaux [1], occupent 13% de la zone côtière du globe [2, 3]. Ils sont ouverts sur les écosystèmes qui les entourent, le bassin versant en amont et le littoral marin en aval [4]. Ces écosystèmes sont considérés parmi les milieux aquatiques les plus productifs grâce à leurs importants taux de production primaire, leurs grandes réserves en matière organique, la diversité des habitats qu'elles renferment et les niches écologiques qu'ils offrent pour plusieurs espèces aquatiques qui les utilisent comme des refuges ou des milieux de reproduction [5]. De plus, ils peuvent également jouer un rôle important dans l'économie et le développement des régions où ils se trouvent.

Les lagunes côtières par les influences d'origines naturelles (inondations, érosion, catastrophes naturelles, etc.) et anthropiques (urbanisation, industrie, agriculture, aquaculture, tourisme, etc.) sont sujettes à une dégradation de la qualité de leurs eaux, et à une perte des ressources marines et des paysages avoisinants [6]. En effet, à cause de la pollution chimique et microbiologique due aux rejets domestiques, urbains, industriels directes ou indirectes et aux infiltrations provenant des activités agricoles intenses au niveau du bassin versant qui utilisent les phytosanitaires et les engrais le devenir de ces milieux se trouve compromis.

L'évaluation de la qualité de l'eau des milieux aquatiques en général et des lagunes côtières en particulier a longtemps été réalisée par la mesure de paramètres physiques, chimiques et bactériologiques considérés comme plus faciles à obtenir que par des paramètres biologiques tels que l'indice de diversité, l'indice de pollution algale ou phytoplanktonique. Les paramètres physico-chimiques tentent à mesurer seulement les causes du changement de la qualité de l'eau alors que les tests biologiques mesurent l'effet de ce changement (Palmer, 1977) in [7].

La lagune de Nador représente le plus grand hydro-système paralique, situé entre le domaine marine et le domaine continental, dont bénéficie le Maroc [8]. Vue son importance, elle figure parmi les cinq Sites à Intérêt Biologique et Ecologique (SIBE) et a été classée en 2005 comme site RAMSAR. Elle a fait l'objet de plusieurs études visant à la caractériser sur différents plans notamment hydrologique, sédimentologique, géochimique [9, 10, 11, 12], et biologiques [7, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

Par son paysage naturel, la lagune de Nador offre un véritable atout pour le développement d'autres activités génératrices de revenus tel que l'écotourisme et l'accueil des activités récréatives vers lesquelles commencent à s'orienter les gestionnaires nationaux, régionaux et locaux [19]. C'est dans cette optique que cette lagune a assisté, ces dernières années, à un investissement de grande envergure pour le développement des activités touristiques sur ses pourtours.

Tout projet de mise en valeur du milieu naturel nécessite l'étude d'impacts sur les écosystèmes, par la description des paramètres écologiques et de leur évolution ainsi que l'évaluation de leur sensibilité vis-à-vis des aménagements prévus et leurs suivis. Une étude antérieure [20], a déjà mis en évidence des déséquilibres sédimentaires (érosion, engraissement) au niveau de l'île barrière et de la lagune qui sont induits par des aménagements récents. De plus, à l'heure qu'il est aucun travail de recherche n'a porté un intérêt particulier à l'étude de la qualité de l'eau après l'ouverture de la nouvelle passe et la fermeture de l'ancienne. A cet effet, Le

présent travail a été réalisé afin d'évaluer la qualité des eaux de la lagune à travers l'étude des paramètres physico-chimiques.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Présentation du milieu

La lagune de Nador est le deuxième plus large complexe lagunaire au nord de l'Afrique [18, 21], et est la deuxième plus grande lagune dans la rive sud de la Mer Méditerranée, appelée communément Sebkhia Bou Areg ou Mar Chica. C'est un écosystème paralique semi-fermé, situé sur la façade méditerranéenne du Maroc (Fig. 1), entre le Cap des Trois Fourches et Kariat Arekman, plus exactement entre les latitudes 35°14'N et 35°05'N et entre les longitudes 002°56'W et 002°44'W [19]. Elle se présente sous une forme semi-elliptique et fait partie du complexe humide côtier le plus grand de la Méditerranée marocaine, et forme une unité morphologique du bassin subsident de la plaine de Bou Areg [22]. La superficie de son plan d'eau est estimée à 115 Km² et sa profondeur maximale est d'environ 8m.

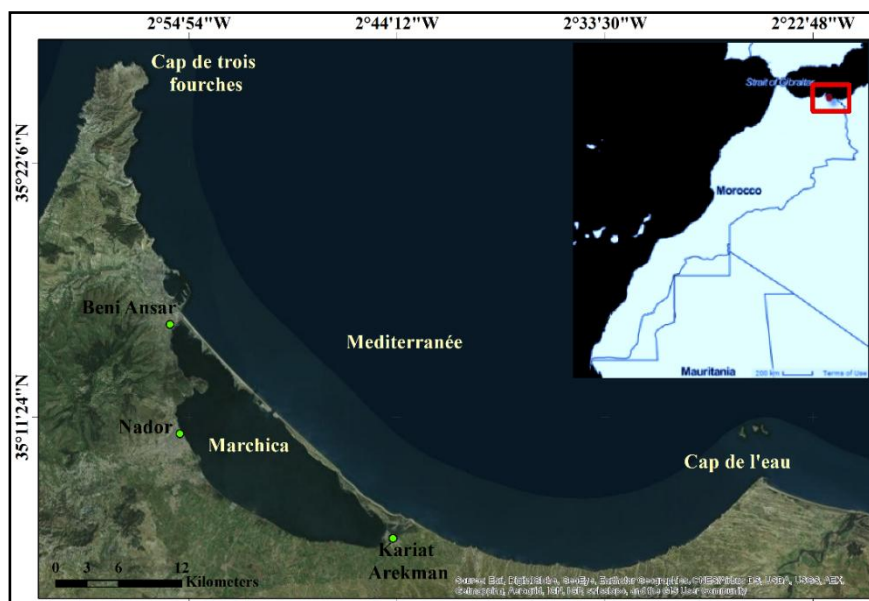


Figure 1: Localisation le site de la lagune de Nador, (CNES / Astrium, Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, Landsat, 2014)

La lagune de Nador est séparée de la Mer Méditerranée par une île barrière dite « Lido ». Ce lido, qui fait 25 km de long et 300 à 400 m de large, sauf dans sa partie SE où elle atteint 1,7 km [23], et communique avec la Mer Méditerranée par une passe dite localement « Boccana », qui permet les échanges d'eau entre eux. L'emplacement de celle-ci a varié au cours du temps (Fig. 2) d'après (Erimesco, 1961 et Tesson, 1977) in [15, 17] et [24]. La passe actuelle a été créée en 2010, entaillant le lido sur 300 mètres de largeur, et 1450 mètres de longueur avec une profondeur de 6 m. Le but de cette nouvelle ouverture était de réduire le temps de séjour de l'eau lagunaire à seulement 25 jours [19].

Le climat de la région où se trouve la lagune est de type méditerranéen. Il est caractérisé par une faible pluviométrie qui varie entre 116 mm/an et 430 mm/an, et des températures moyennes qui varient entre 11°C en Janvier à 30°C en août [14]. Les vents, de direction W et SW en hiver et N et NE en été [23], influent la circulation de surface des eaux de la lagune de Nador [25]. Quant à la direction de la dérive littorale, elle montre une variabilité saisonnière, avec une direction prédominante SE-NW [24].

En plus des eaux marines qui rentrent à travers la passe, la lagune est alimentée par les rejets provenant des activités humaines (agriculture, industries et eaux urbaines) [26] et les eaux souterraines des deux aquifères : Gareb et Bou Areg [21].

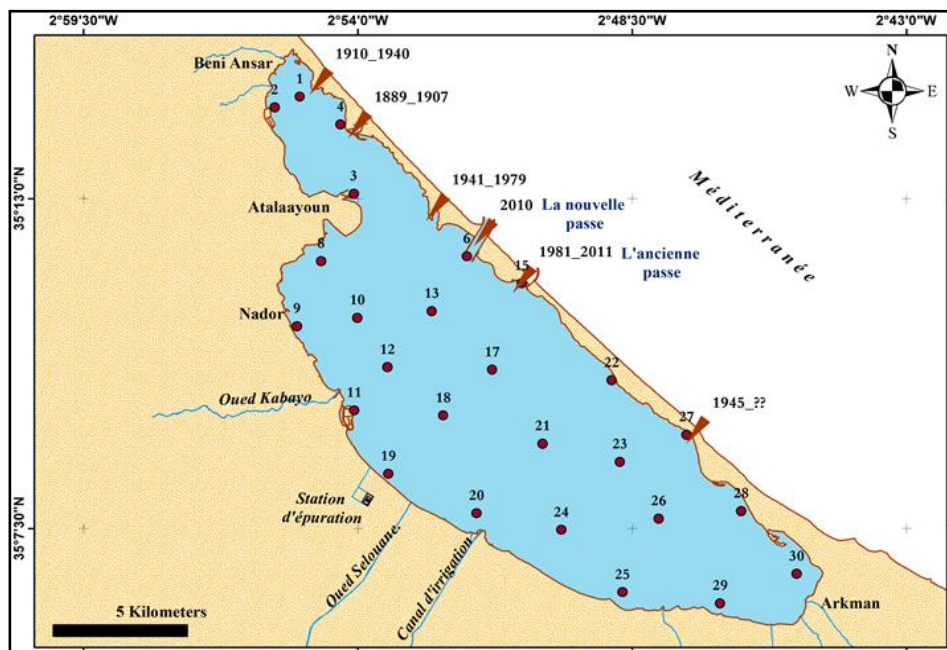


Figure 2. Plan d'échantillonnage et diverses positions de la passe au cours de la période historique (Carte modifié) [24]

2.2. Plan d'échantillonnage

Les échantillons d'eau ont été prélevés en surface au niveau de 24 points, répartis de manière à couvrir l'ensemble du bassin lagunaire, durant le printemps 2014. Pour la campagne d'été 2014, 26 points ont été échantillonnés (Fig. 2).

Douze paramètres hydrologiques ont été choisis pour caractériser la lagune de Nador sur le plan physico-chimique. Les prélèvements des échantillonnages d'eau destinés aux analyses des sels nutritifs (nitrates, nitrites, phosphates), et les matières en suspension (MES), les matières minérales particulières (MMP), les matières organiques particulières (MOP), le potentiel hydrogène (pH), ont été effectués en surface, à l'aide d'une bouteille de prélèvement. Quant aux paramètres : température de l'eau, oxygène dissous, pourcentage de saturation en oxygène, conductivité, les mesures ont été effectuées *in situ* à l'aide de sondes spécifiques.

2.3. Méthodes d'analyses

2.3.1 Mesure des paramètres physico-chimiques

La température et la conductivité ont été mesurées à l'aide d'une conductivité mètre, ORION STAR A122. L'oxygène dissous et le pourcentage de saturation en oxygène ont été mesurés à l'aide d'un oxymètre type, RDO/DO Meter ORION STAR A233.

Pour les analyses des sels nutritifs (nitrates, nitrites, et phosphates), les méthodes utilisées sont celles décrites dans le manuel des analyses chimiques en milieu marin [27]. Pour effectuer ces mesures, nous avons utilisé un spectrophotomètre de type « GENESYS 10S UV-Vis ». Le pH a été mesuré au laboratoire par un pH-mètre de type « IONOMETRE-EUTECH-INSTRUMENTS-CYBERSCAN-PH-510 ».

L'estimation de la MES a été obtenue par un simple calcul de la différence de poids des filtres avant et après filtration d'un échantillon d'eau de 300 ml. Ces filtres, en verre fritté de 0.45 μm de porosité ont été préalablement brûlés pendant une heure à 450°C afin de déterminer les fractions minérales et organiques de la MES.

2.3.2 Traitement des données

Afin d'examiner la distribution conjointe des 12 variables étudiées, nous avons eu recours aux analyses multivariées descriptives en vue de mieux structurer et résumer nos données. Ainsi, nous avons utilisé l'analyse

en composante principale (ACP) et la classification hiérarchique ascendante (CHA). Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel IBM SPSS Statistics 20.

3. Résultats et discussions

3.1. La température

La température des eaux de la lagune de Nador, enregistrée au niveau des 24 stations échantillonnées, au mois de mars (printemps), oscillait entre un minimum de 16,6 °C observé au niveau de la station 17 et un maximum de 20,4°C au niveau de la station 11. La moyenne enregistrée était de l'ordre de 18,5°C.

Au mois de juin (été), les températures minimales et maximales enregistrées au niveau des 26 stations échantillonnées étaient respectivement 23,3°C au niveau de la station 1 et 26,4°C au niveau de la station 23. La moyenne était de l'ordre de 25,08°C (Fig. 3).

Pour les deux saisons étudiées, la variation spatiale de la température des eaux de la lagune était faible comme en témoignent les coefficients de variation enregistrés pour les deux saisons et qui étaient de l'ordre de 5,31% pour la saison du printemps et de l'ordre de 3,12% pour la saison d'été. Cette faible valeur du coefficient de variation témoigne d'une relative homogénéité thermique.

Nos résultats de la période estivale étaient comparables à ceux des études antérieures notamment celles de [7, 13, 18] réalisées avant l'ouverture de la nouvelle passe. Ceci permis de conclure que cet aménagement n'a pas affecté l'homogénéité thermique de l'écosystème dans sa globalité étant donné qu'il n'a pas induit une zonation thermique perceptible.

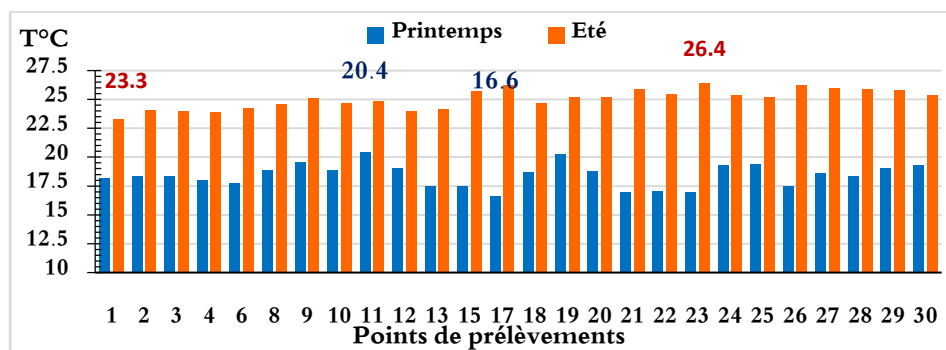


Figure 3: Variation spatiale de la température des eaux de la lagune de Nador au printemps et en été 2014.

3.2. La conductivité

En période printanière, la variation de la conductivité (Fig. 4) montre que la station 2 présente la valeur minimale de 44,5 mS/cm, et la station 17 montre la valeur la maximale de 66,7 mS/cm. La valeur moyenne était 61,44 mS/cm.

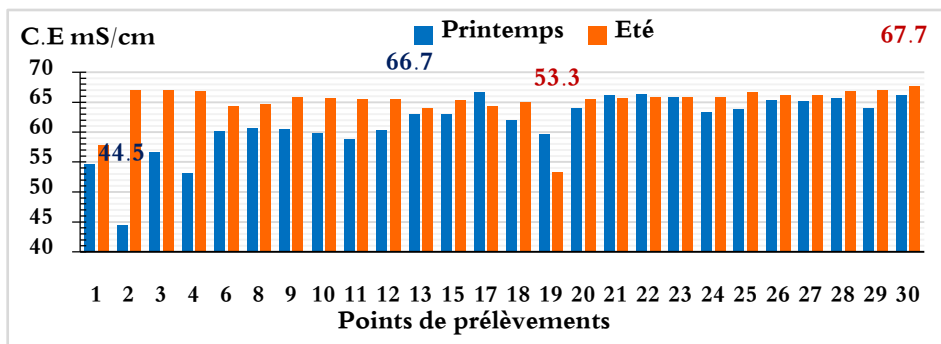


Figure 4 : Variation spatiale de la conductivité des eaux de la lagune de Nador au printemps et en été 2014.

Pour la période estivale, la station 19 présentait la valeur minimale de 53,3 mS/cm, alors que la station 30 montrait la valeur maximale de 67,7 mS/cm. La valeur moyenne était d'environ 65,01 mS/cm. Comme la

température, le faible coefficient de variation de la conductivité des eaux de la lagune de Nador, qui était de l'ordre de 8,33% au printemps et 4,11% en été, témoigne d'une relative homogénéité spatiale de ce paramètre qui se traduit par l'absence de zonation haline comme le rapporte les études antérieures notamment celle de [19].

3.3. L'oxygène dissous

La figure 5 relate la variation du taux d'oxygène dissous au niveau de la lagune de Nador au printemps et en été 2014. Il en ressort de cette figure que le taux d'oxygène était plus élevé durant la période estivale qu'en période printemps. En effet, un taux maximal de 11,83 mg/l a été observé en été au niveau de la station 30 (activité photosynthétique intense des macro-algues vertes) alors qu'il n'était que de 7,38 mg/l au printemps au niveau de la station 28.

Le taux minimal était de 5,21 mg/l, au printemps au niveau de la station 4, et de 7,56 mg/l, en été au niveau de la station 1. La valeur moyenne était de 9,63 mg/l en été et de 6,1 mg/l au printemps.

Sur le plan spatial, nous avons enregistré une faible variation comme le montre le coefficient de variation qui était de l'ordre de 9,76% au printemps et 10,43% en été.

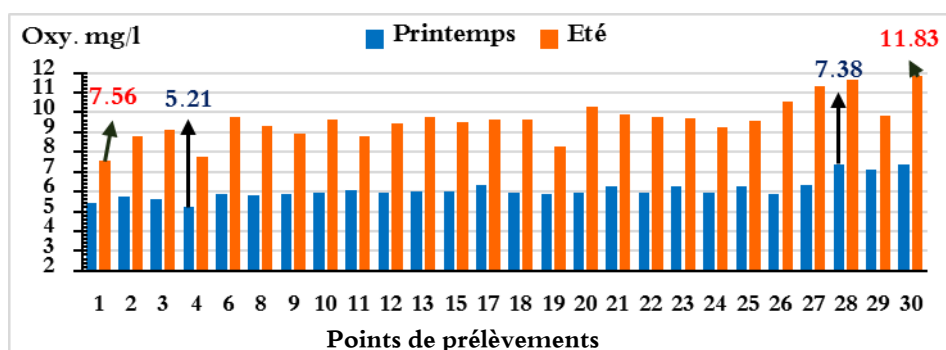


Figure 5: Variation spatiale du taux d'oxygène dissous dans eaux de la lagune de Nador au printemps et en été 2014

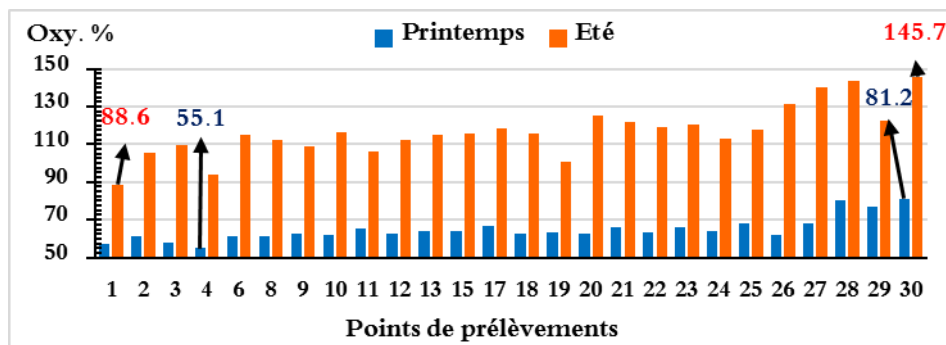


Figure 6: Variation spatiale de saturation en oxygène dissous des eaux de la lagune de Nador au printemps et en été 2014

En comparaison avec les études antérieures [19, 18], le taux le plus élevé en oxygène dissous a été enregistré à Beni Ansar située à l'extrémité N-W de la lagune. Le pourcentage de saturation relate la même tendance que la teneur en oxygène dissous (Fig. 6). En effet, les valeurs les plus faibles ont été enregistrées au printemps alors que les plus élevées ont été observées en été. Ces valeurs montrent que les eaux de la lagune de Nador étaient bien oxygénées et reflètent des conditions normales favorables à la vie aquatique.

3.4. Le pH

La variation du pH de l'eau de mer est généralement influencée par de nombreux facteurs comme la température et les activités de photosynthèse et de respiration des microorganismes. Le pH de l'eau de la lagune reste dans limite normale. En effet, les analyses du pH montrent des valeurs oscillant entre 7,97 et 8,47 en période du

printanière et entre 7,78 et 8,48 en période estivale (Fig. 7). Les très faibles valeurs du coefficient de variation (1,49 % au printemps et 1,58% en été), témoigne d’une remarquable homogénéité spatiale de la valeur du pH. Ces résultats sont comparables à ceux des études antérieures [17, 19], montrent que l’ouverture de la nouvelle passe n’a pas affectée de façon perceptible le pH des eaux de lagune.

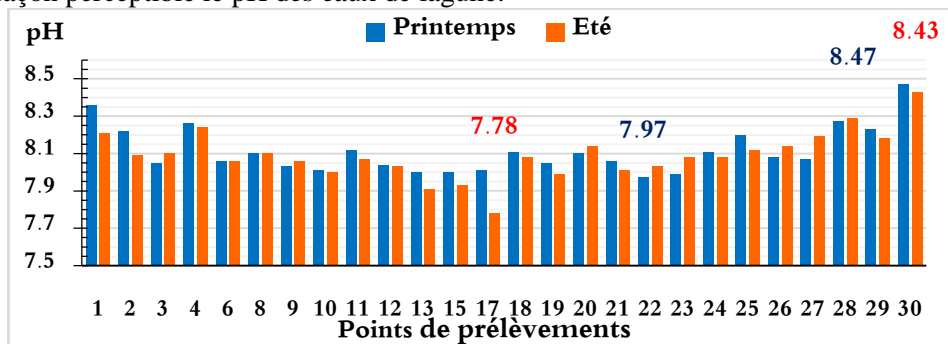


Figure 7: Variation spatiale du pH des eaux de la lagune de Nador au printemps et en été 2014

3.5. Les matières en suspension

La distribution des teneurs en matières en suspension (Fig. 8), pendant la période printanière, montre que la valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau du point 27 et était de l’ordre de 56,67 mg/l. La valeur minimale a été enregistrée au niveau du point 30 et elle était de l’ordre 0,33 mg/l. La fraction minérale constituant la MES est en général supérieure à celle de la fraction organique à l’exception des trois points 1, 29 et 30 où la fraction organique était plus importante.

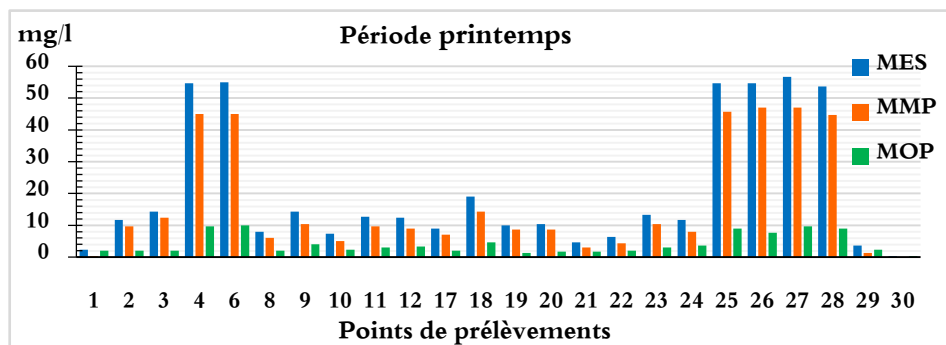


Figure 8: Variation spatiale des teneurs en MES, MOP, MMP mg/l des eaux de la lagune de Nador au printemps 2014

Pour la période estivale, la valeur maximale était de l’ordre de 19 mg/l et a été enregistrée au niveau du point 20, alors que la valeur minimale était de l’ordre de 2 mg/l et a été enregistrée, comme la période printanière, au niveau du point 30 (Fig. 9). En cette période, la fraction minérale constituant la MES est en général inférieure à celle de la fraction organique à l’exception des trois points 10, 13 et 17 c’est la fraction minérale qui est plus importante.

Sur le plan spatiale, la distribution de la MES, MMP et MOP montre, pour les deux périodes d’étude, une hétérogénéité très marquée. Le tableau 1 donne les coefficients de variation de ces trois paramètres pour les deux saisons étudiées :

Tableau 1. Coefficient de variation de la répartition spatiale des MES, MMP et MOP au printemps et en été 2014.

	MES	MMP	MOP
Printemps	95,42%	100,55%	76,41%
Eté	41,58%	96,22%	28,21%

L'importante variation spatio-temporelle de la matière en suspension (MMP + MOP) au niveau de la lagune, constatée également lors des études antérieures notamment [19], dépend principalement de deux types de facteurs directs (biologique et physique) et de facteurs indirects (température, ensoleillement, vent et précipitations) qui agissent en accentuant l'effet du premier type de facteurs. Il s'agit, pour le premier type de facteur, du développement phytoplanctonique lié à la forte productivité de la lagune favorisée par la biodisponibilité des éléments nutritifs et stimulée par des facteurs indirects tels que la température et l'ensoleillement. Pour les facteurs physiques, on distingue l'action du vent, qui remet le sédiment en suspension à partir du fond, et l'action des précipitations qui, en drainant le bassin versant, mobilise le matériel détritique et contribue ainsi à l'augmentation du taux de la MES des eaux de la lagune notamment au voisinage de l'oued Bou Areg.

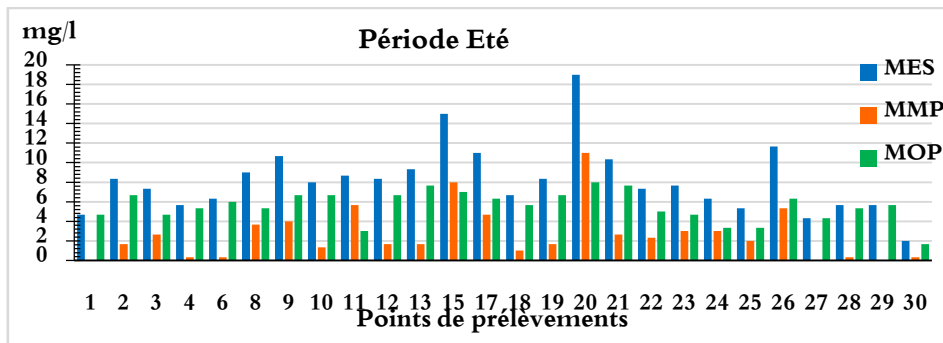


Figure 9: Variation spatiale de teneur en MES, MOP, MMP mg/l des eaux de la lagune de Nador en Eté 2014

3.6. Les sels nutritifs

La concentration des composés azotés et phosphorés, au niveau de la lagune de Nador montre des teneurs qui varient entre 0,068 - 1,83 mg/l ; 0 - 0,008 mg/l et 0 - 0,024 mg/l, respectivement pour NO_3^- , NO_2^- , HPO_4^- . Ces concentrations sont comparables avec ceux rapportées par [19, 21], et inférieures à celles trouvées par [10] et par [18] en période estivale. Pour la période printanière les concentrations de NO_3^- , NO_2^- et HPO_4^- sont respectivement 0,007 - 0,974 mg/l ; 0 - 0,009 mg/l et 0 - 0,7 mg/l.

Le calcul du coefficient de variation donne des valeurs très élevées pour les nitrates, les nitrites et les orthophosphates (Tableau 2). Ceci témoigne d'une distribution spatiale très hétérogène et reflète un très grand écart entre les valeurs extrêmes, comme en montre les cartes de distribution obtenues par spatialisations des résultats à l'aide de la méthode d'interpolation IDW (Inverse Distance Weighting) (Fig. 10).

Tableau 2. Coefficient de variation de la répartition spatiale des nitrates, nitrites et phosphates au printemps et en été 2014.

	NO_3^-	NO_2^-	PO_4^{2-}
Printemps	217,80	160,01	157,11
Eté	65,63	117,24	41,58

En général, comme le montre la figure 11, la lagune de Nador s'est caractérisée par une organisation spatiale :

- Homogène de cinq paramètres à savoir le pH, la température, la conductivité, la teneur en oxygène dissous et le pourcentage de saturation en oxygène.
- Hétérogène de sept paramètres à savoir la profondeur, la matière organique particulaire, la matière minérale particulaire, la matière en suspension, les phosphates, les nitrates et les nitrites.

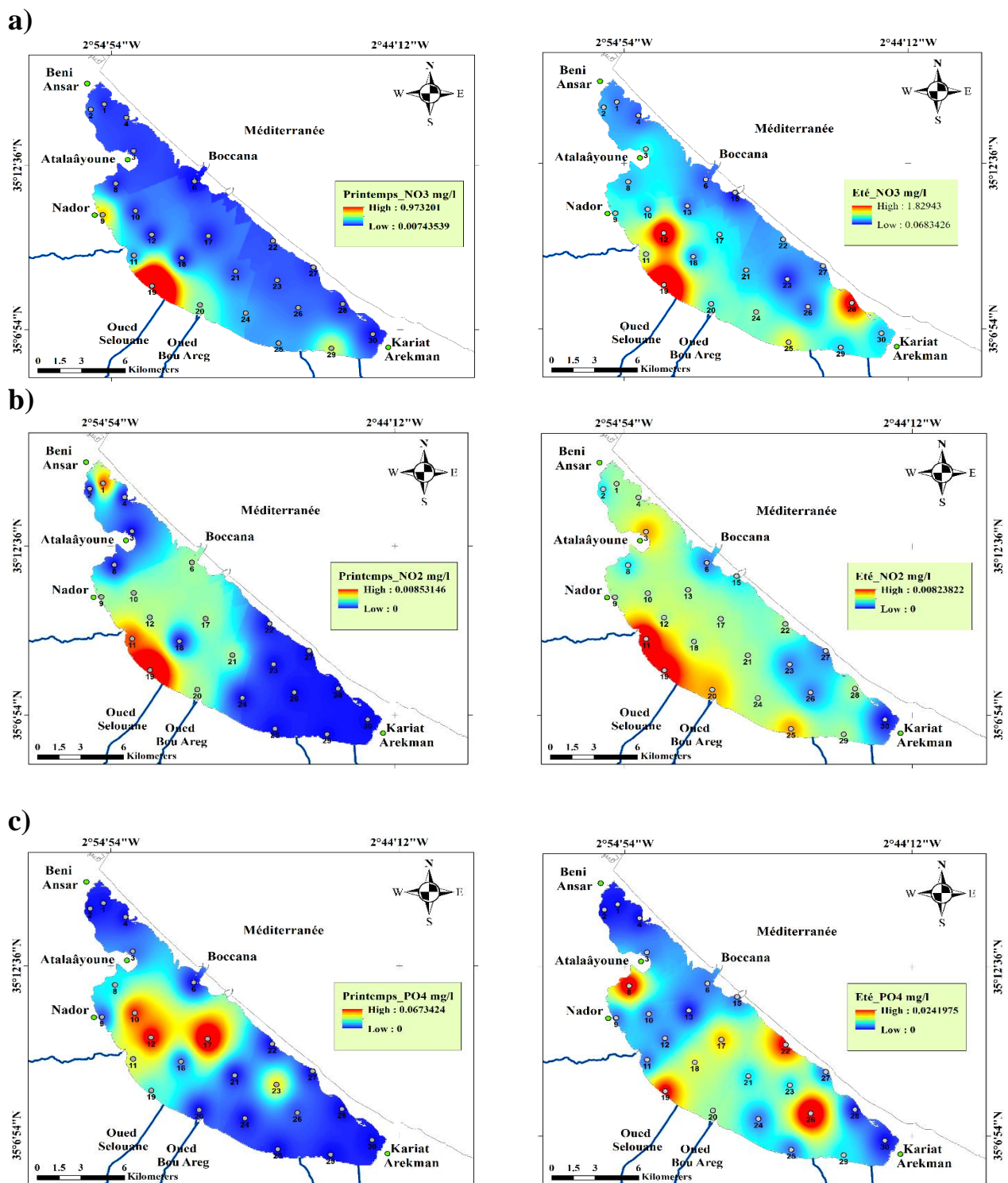


Figure 10: Variations spatiales des concentrations en sels nutritifs des eaux de la lagune de Nador enregistrées en périodes printanière et estivale de l'année 2014.

a) Cartes des concentrations des Nitrates (NO_3^-), **b)** Cartes des concentrations des Nitrites (NO_2^-),
c) Cartes des concentrations des Phosphates (HPO_4^-).

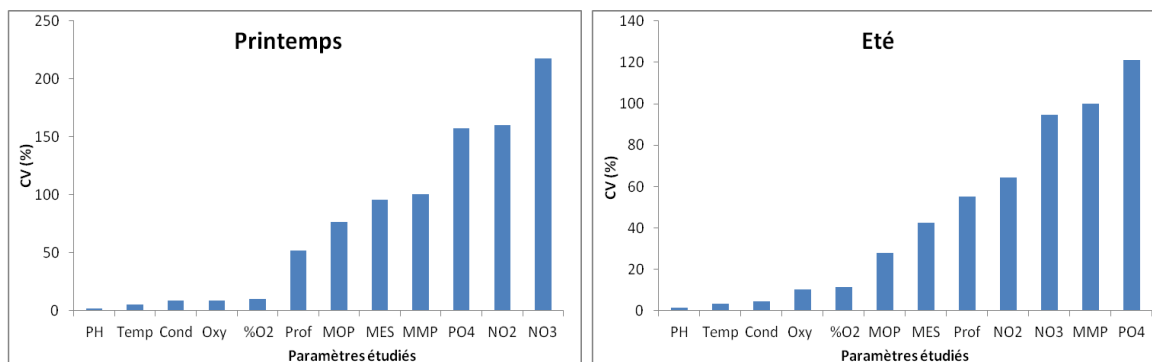


Figure 11: Variation des coefficients de variation des 12 paramètres étudiés.

3.7. Analyse en composante principale (ACP)

Dans cette analyse, la méthode de rotation utilisée et celle du Varimax avec normalisation de Kaiser. Quant au nombre d'axes retenus pour obtenir un résumé suffisamment précis de l'information contenue dans le tableau des données (points de prélèvement x paramètres physicochimiques) est 4. Ces axes retenus représentent presque 83% de l'inertie totale.

Afin de visualiser les corrélations entre les paramètres physicochimiques étudiés et d'identifier les groupes des points de prélèvement ayant des valeurs proches pour certains paramètres nous avons construit les nuages de points par projection sur les plans factoriels retenus dont nous présentons ci-après ceux des plans F1xF2 et F1xF3 qui sont les plus représentatifs. [Campagne du printemps 2014 (Fig. 12 et 13) et Campagne de l'été 2014 (Fig. 14 et 15)].

Il ressort de l'analyse de ces figures ce qui suit :

3.7.1. Campagne du printemps 2014

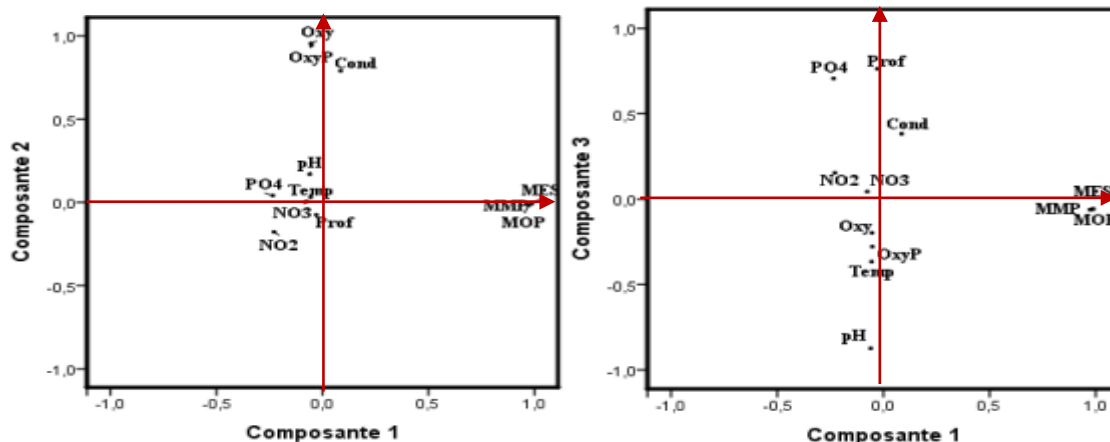


Figure 12: Nuages de points construits par projection des paramètres étudiés sur les plans factoriels.

- L'axe 1 caractérise le groupe de points 4, 6, 7, 25, 26, 27, 28 présentant les des teneurs élevées en MES, MMP et MOP.
- L'axe 2 oppose les points 28, 29 et 30 ayant des teneurs en oxygène dissous, le pourcentage de saturation et la conductivité les plus élevées, aux points 1, 2,3, 4.
- L'axe 3 oppose les points 17, 23, 10 et 12 ayant des teneurs en phosphates les plus élevées, la profondeur et la conductivité assez élevées, aux points 1, 2,30 ayant plutôt des valeurs de pH plus élevées.
- L'axe 4 caractérise le point 19 présentant la température et les teneurs en nitrates et en nitrites les plus élevées et une assez faible profondeur.

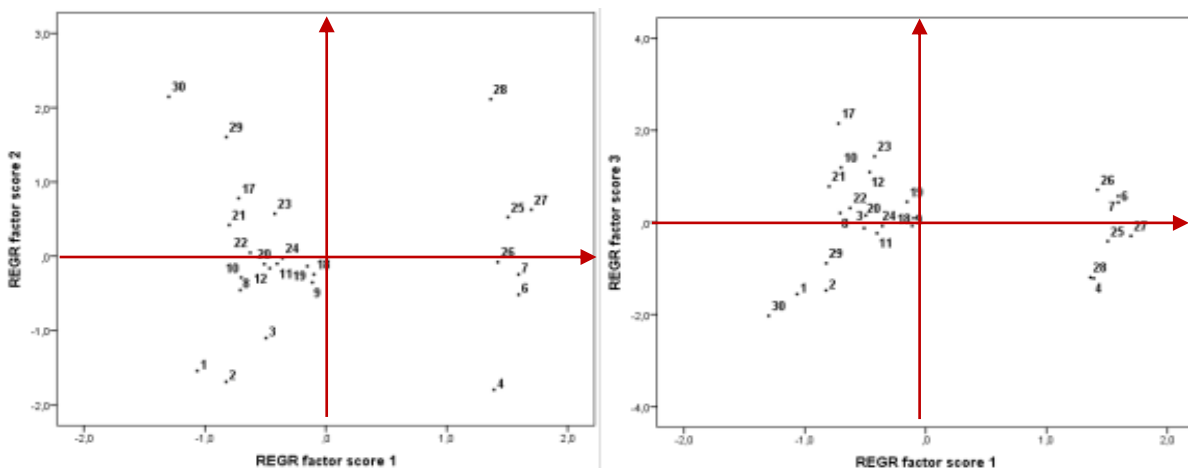


Figure 13: Nuages de points construits par projection des stations étudiés sur les plans factoriels.

3.7.2. Campagne de l'été 2014

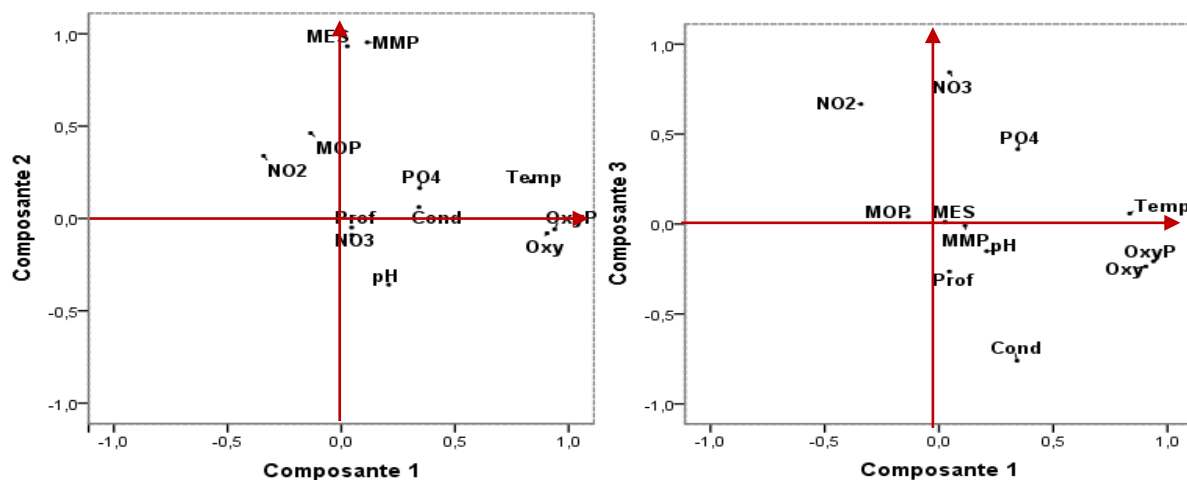


Figure 14 : Nuages de points construits par projection des paramètres étudiés sur les plans factoriels.

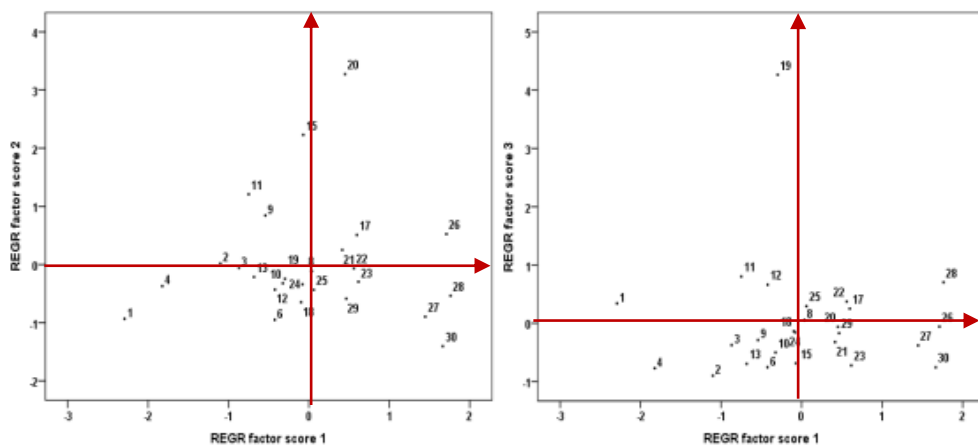


Figure 15: Nuages de points construits par projection des stations étudiées sur les plans factoriels.

- L'axe 1 oppose les points 26, 27, 28 et 30 caractérisés par des valeurs élevées en oxygène dissous, pourcentage de saturation en oxygène et température, aux points 1 et 4.
- L'axe 2 caractérise les points 15, 20 présentant des teneurs en en MES et MMP les plus élevées.
- L'axe 3 caractérise le point 19 présentant les teneurs les plus élevées en nitrates et en nitrites et la plus faible valeur de la conductivité.
- L'axe 4 oppose les points 13 et 17 caractérisés par des profondeurs et des teneurs élevées en MOP et en phosphates, aux points 11, 28 et 30 ayant des pH élevés.

3.8. Classification hiérarchique

L'analyse des données suivant la méthode de la classification ascendante hiérarchique, utilisant la distance moyenne entre les classes, a permis de procéder au regroupement entre l'ensemble des paramètres physicochimiques étudiés d'une part, et, d'autre part, entre les point de prélèvement en fonction de leur similarité dans la variation de ces paramètres.

3.8.1. Campagne du printemps 2014

Pour les paramètres physicochimiques et la profondeur, on distingue trois groupes (Fig. 16) :

- *Premier groupe*, formé par les nitrates, les nitrites, les phosphates, le pH, l'Oxygène dissous, la profondeur, la matière organique particulaire, la température
- *Deuxième groupe*, formé par la matière en suspension et la matière minérale particulaire.
- *Troisième groupe*, formé par la conductivité et le pourcentage de saturation en oxygène dissous.

Ces trois groupes semblent être constitués en fonction de la valeur de l'écart-type des paramètres étudiés. En effet, le premier groupe est constitué par huit paramètres ayant l'écart-type le plus faible, le second est constitué par deux paramètres à écart-type moyen et enfin, le troisième groupe constitué par deux paramètres ayant l'écart-type le plus élevé.

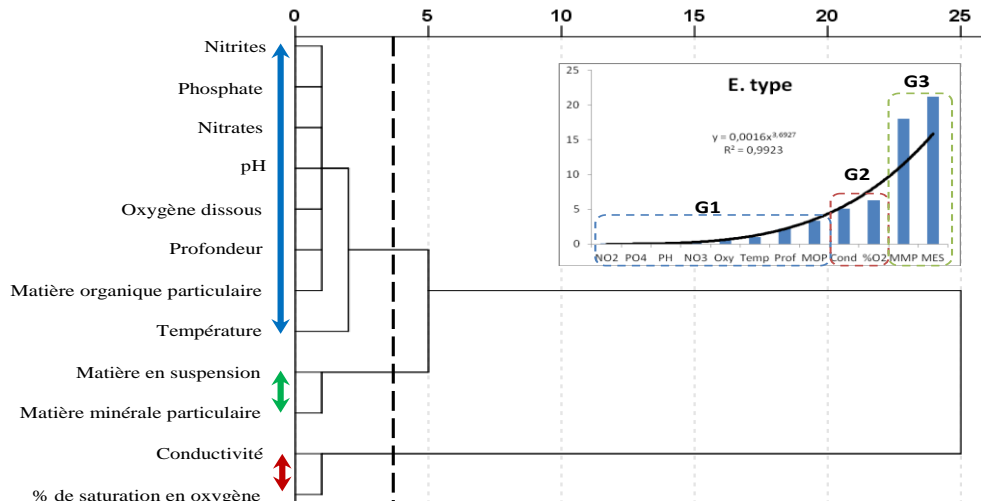


Figure 16: Dendrogramme regroupant les 12 paramètres étudiés en fonction du rapprochement des valeurs de leur écartypes.

Pour les points de prélèvement on distingue aussi trois groupes (Fig. 17) :

- *Premier groupe*, formé de sept points qui contribuent dans la constitution de l'axe factoriel 1. Il s'agit du point 28 et de la radiale constituée par les points 25, 26 et 27 situés du côté Sud-Est de la lagune, du point 6 situé au niveau de la passe, du point 7 situé en face de la passe et du point 4 situé au nord-ouest de la passe.
- *Deuxième groupe*, formé par les points 29 et 30 situés à l'extrémité Sud-Est de la lagune qui contribuent dans la constitution de l'axe factoriel 2.

- *Troisième groupe*, formé par le reste des points étudiés ayant la particularité de ne pas contribuer à la construction de l'axe factoriel 1. Ces points sont : 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 et 24.

3.8.2. Campagne de l'été 2014

Pour les paramètres physicochimiques et la profondeur, on distingue deux groupes (Fig. 18) :

- *Premier groupe*, formé par les éléments du premier et deuxième groupe de la campagne du printemps à savoir les nitrates, les nitrites, les phosphates, le pH, l'oxygène dissous, la profondeur, la matière en suspension, la matière minérale particulaire, la matière organique particulaire, la température

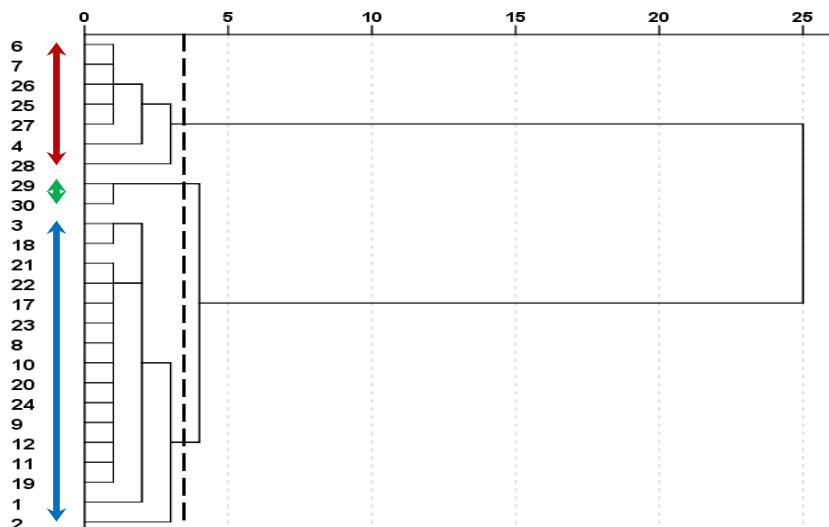


Figure 17: Dendrogramme regroupant les stations étudiées en fonction de leur degré d'affinité.

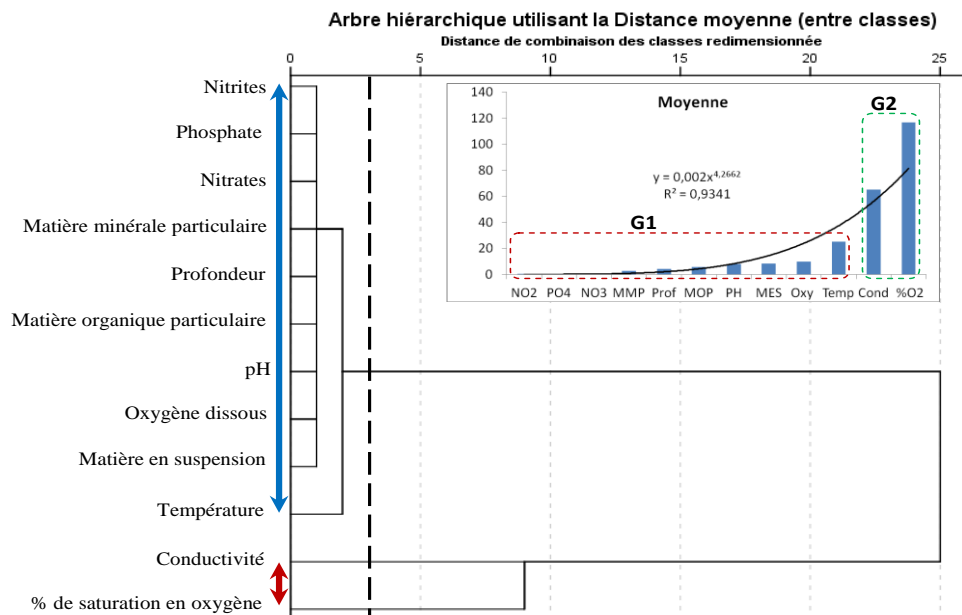


Figure 18: Dendrogramme regroupant les 12 paramètres étudiés en fonction du rapprochement de leurs valeurs moyennes.

- *Deuxième groupe*, formé par la conductivité et le pourcentage de saturation en oxygène dissous. Le groupement de ces deux paramètres en une classe serait dû à l'ordre de grandeur de leur valeurs absolues qui est très élevé en comparaison avec les autres paramètres comme le trace la graphique des moyennes.

Contrairement à la campagne du printemps, ces deux groupes semblent être constitués en fonction des valeurs des moyennes des paramètres étudiés.

Pour les points de prélèvement on distingue aussi quatre groupes (Fig. 19) :

- *Premier groupe*, formé par la majorité des points étudiés (17 points) ayant la particularité de ne pas contribuer à la construction de l'axe factoriel 1. Ces points sont : 2, 3, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25 et 29.

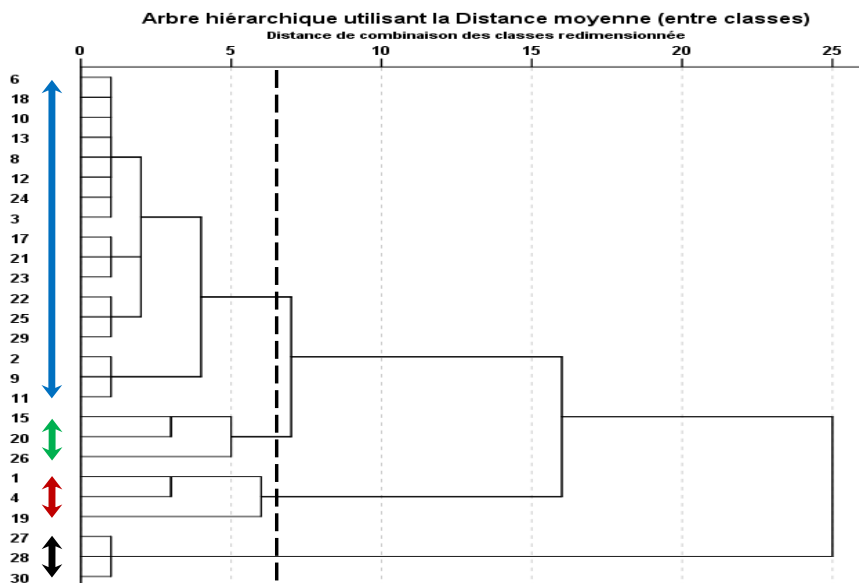


Figure 19: Dendrogramme regroupant les stations étudiées en fonction de leur degré d'affinité.

- *Deuxième groupe*, formé par les points 15, 20 et 26 ayant présenté les valeurs les plus élevées en MES et MOP.
- *Troisième groupe*, formé par les points 1, 4 et 19 ayant présenté les valeurs les plus faibles en oxygène dissous (< 8,3 mg/l) et en pourcentage de saturation en oxygène (< 101 %).
- *Quatrième groupe*, formé trois points qui contribuent dans la constitution de l'axe factoriel 1. Il s'agit des points 27, 28 et 30 situés du côté Sud-Est de la lagune et qui se caractérisent par des faibles profondeurs et ayant présenté les valeurs les plus élevées en oxygène dissous (> 11 mg/l) et en pourcentage de saturation en oxygène (> 140 %).

Conclusion

Il paraît donc clair que les travaux d'aménagement de la lagune notamment l'ouverture de la nouvelle passe ont contribué à l'amélioration de la qualité des eaux de la lagune. Cependant, étant donné la fragilité de ce milieu, il faut rester vigilant pour éviter toute dérive dans le futur en instaurant un système de suivi écologique de la lagune capable d'alerter les gestionnaires à temps afin qu'ils puissent apporter les mesures correctives nécessaires en cas de pollution accrue qui dépasse le pouvoir auto-épurateur du milieu. En effet, nos résultats ont montré des teneurs élevées en nitrates près de l'embouchure d'Oued Selouane où nous avons enregistré des concentrations de l'ordre de 1,8 mg/l. Ces concentrations seraient dues aux rejets de la nouvelle station d'épuration construite près

de cette zone et qui déverse ses eaux traitées au niveau de la lagune tout près de l'embouchure. En période printanière, cette zone connaît un important développement d'Ulves (large algue) qui témoigne de l'apport important en azote à travers les rejets de la station d'épuration.

Remerciements- Les auteurs tiennent à remercier vivement Monsieur A. Mesfioui, Chef du Centre Régional de l'INRH de Nador et Monsieur M. Layachi Chef du laboratoire SSL du dit Centre, ainsi que Monsieur K. Chaabane Chef de département de biologie de la Faculté des Sciences d'Oujda et N. Boukhatem, Chef du laboratoire d'Analyse et Contrôle de Qualité de la Faculté des Sciences d'Oujda pour leur appui tout au long de la réalisation de ce travail.

References

1. Pinot J. P., *Institut océanographique*. (1998).
2. Barnes R.S.K., *CUP*. (1980).
3. Kjerfve B., *Elosa*. 60 (1994) 1-8.
4. Thong L., Amanieu M., *Oceanol Acta*. 12 (1989) 65-77.
5. Villanueva M.C., Lalèye P., Albaret J.J., Lae R., L.T. de Morais, Moreau J., *Ecol. Model.* 197 (2006) 461-477.
6. Viaroli P., Lasserre P., Campostrini P., *Hydrobiologia*. (2007).
7. Daoudi M., *Thèse de doctorat, UPVD (Perpignan, France)*. (2011), pp. 235.
8. Amini T., Khattabi A., Ezzahiri M., Zine El Abidine A., *Projet ACCMAI Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, BP. 511 Tabrikt Sale, Maroc* (2008).
9. El-Alami M., Mahjoubi R., Damnati B., Kamel S., Icole M., Taieb M., *J. Afr Earth Sci.* 26 (1998) 249-259.
10. Karim B.M., *Thèse de doctorat, fac.sc. Rabat* (2005).
11. Irzi Z., *Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, Paris* (1987).
12. Irzi Z., *Thèse de doctorat, Université Mohammed I- Fac.Sc. Oujda* (2002).
13. Abouhala A., Boukabous R., Dafir J., Talbaoui E., *Actes Inst. Agron. Veto (Maroc)*. 15 (1995) 43-52.
14. EL Madani F., Chiâar A., Chafi A., *Acta Bot. Croat.* 70 (2011) 269-288.
15. Guelorget O., Perthuisot J., Frisoni G., Monti D., *Oceanol Acta*. 10 (1987) 435-444.
16. Iouzzi N., Magoua M., Terhzaz L., Hamoumi N., *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 38, (2007).
17. Lefebvre A., Guelorget O., Perthuisot J., Dafir J., *Oceanol Acta*. 20 (1997) 371-385.
18. Zerrouqi Z., Sbaa M., Chafi A., Aqil H., *Bull. Inst. Sci. Rabat*. 35 (2013) 51-59.
19. EL Madani F., *Thèse doctorat, Université Mohammed I- Fac.Sc. Oujda* (2012).
20. Louaya A., Hamoumi N., *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 38, (2007).
21. Ruiz F., Abad M., Olías M., Galán E., González I., Aguilá E., Hamoumi N., Pulido I., Cantano M., *Environ Res.* 102 (2006) 215-229.
22. Mahjoubi R., Kamel S., EL Moumni B., Noack Y., Parron C., *Geologica belgica* 6 (2003) 31-42.
23. Hamoumi N., *Revue Paralia*. 5 (2012) 5.1-5.14.
24. Raji O., Niazi S., Snoussi M., Dezileau L., Khouakhi A., *J. Coastal. Res.* 65(2013).
25. Hilmi K., Orbi A., Lakhdar J., Idhalla M., Najih M., Arid H., *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 38(2007).
26. Bloundi K., Faure M., Duplay P., J., *C. R. Geoscience*. 340 (2008) 840-849.
27. Aminot A., Chaussepied M., *Brest: CNEXO*. (1983).

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