

Typologie spatio-temporelle et fonctionnement hydrologique du complexe de zones humides de Mohammedia (Maroc)

Spatio-temporal typology and hydrological functioning of the Mohammedia wetland compound (Morocco)

Amal SERGHINI^{1*}, Abdellah ELABIDI², Souad ELBLIDI¹ & Mohammed FEKHAOUI¹

1. Université Mohammed V-Agdal, Institut Scientifique, Département de Zoologie et Ecologie animale, B.P. 703 Agdal, Rabat.
*(serghini_amal@hotmail.com ; serghini@israbat.ac.ma)

2. Institut National d'Hygiène, Laboratoire d'hydrobiologie-hygiène industrielle et environnementale, Av. Ibn Battouta, Rabat-Agdal.

Résumé. Le présent travail est une approche de la situation hydrochimique des eaux du complexe de zones humides de la ville de Mohammedia (embouchure de l'oued El Maleh), classé site Ramsar en 2005, et ce par l'utilisation de l'Analyse en composantes principales (ACP). Celle-ci est effectuée sur l'ensemble des données physico-chimiques recueillies (10 paramètres physico-chimiques) dans 9 stations par 32 prélèvements pendant la période 2000-2002. Les situations hydrochimiques ainsi mises en évidence montrent les influences sur les eaux du complexe, en particulier celles mésologiques naturelles. Trois secteurs de dynamiques différentes ont été identifiés : un secteur d'influences conjuguées marines et continentales ; un secteur de mise en eau permanente, soumis essentiellement aux influences souterraines et un secteur sous influences climatiques strictes.

Mots-clés : Paramètres physico-chimiques, zones humides Mohammedia, ACP, Maroc.

Abstract. This study is approach to the hydrochemical situation of the wetland compound waters located near Mohammedia city (outfall of Wad El Maleh), classed as Ramsar site in 2005, by the use of the Principal Component Analysis (PCA). This analysis based on all physico-chemical collected data (10 physico-chemical parameters), in 9 locations by 32 samples, during the 2000-2002 period. The revealed hydrochemical situations show influences on the waters of the compound, particularly the natural mesological ones. Three sectors of different dynamics were identified: the sector of combining marine and continental influences; the sector of permanent flooding - essentially subject to the subterranean influences - and the sector under strict climatic influences.

Keywords : Physico-chemical parameters, Mohammedia wetlands, PCA, Morocco.

Abridged English version

Introduction

The wetland compound of Mohammedia city (33° 33'N 07° 23'W), (outfall of Oued El Maleh) which is part of the most important network of Morocco's coastal wetlands. Because of its geographical position biotic and abiotic characteristics, this wetland presents biological, ecological, economic and landscaped resort interest. It has been included since July 2005 in the Ramsar List (El Hamoumi *et al.* 2011). The special feature of this area is its situation in a part of an urban environment. It thus protects the city from floods and feeds the groundwater table. The city of Mohammedia has been subject to a population growth, at an accelerated rhythm, which started around its seaport. This population growth has taken place in parallel with the establishment and development of one of the most diverse industrial fabric, which is of great strategic importance for the country.

Material and methods

This study completes the work already initiated on the same site, combining field observation and experimental laboratory analysis, for the purpose of identifying the physico-chemical characteristics of the waters of the wetland complex areas in the city of Mohammedia

(Serghini *et al.* 2010). It is a precise approach of the situation of the hydrochemical wetlands complex in the Mohammedia city (CZHM), by the use of the Principal Component Analysis (PCA). This analysis is performed on the base of the whole physico-chemical data collected (10 physico-chemical parameters, 9 location and 32 samples) from January 2000 to August 2002, prior to the establishment (in 2003/2004) of hydraulic infrastructure (channel of load shedding) in order to deter Mohammedia city from the floods .

Results and discussion

The overall hydrochemical characterization CZHM allowed us to present the compound as a spatial-temporal structure from a dynamic year to another and from one space to another. In fact, the overall analysis showed all the natural influences such as the nature of a substrate rich in chlorides and sulphates, the underground water supply of permanent stations, the climatic conditions, and especially the temperature and the rainfall. However, the anthropogenic influence seems underlying and not much noticeable in comparison with the influence of the natural environment. The gradient of mineralization seems preponderant and highlights the importance of the water-sediment exchanges, the cytokine release and the

dissolution of the elements existing in the soil. Thus, three sectors of influences are being interrelated by the nature of the process that took place in these circles: (1) Sector I defined by the permanent ZH8 wetland, which seems to be much more stable in the action Plan than the other wetland stations of the complex; (2) Sector II, which gathers the locations ZH1, ZH2, F, ZH6 and ZH7 and the geographical position intermediates between the other two sectors. In

fact, the combined action of various influences that are submitted to the locations of this sector, makes their hydro-chemical dynamic very changeable and unstable, this explains their intermediate position in the typology established by the PCA; (3) Sector III, which includes the temporary stations ZH3, ZH4 and in some cases the station ZH5, mainly subject to the vagaries of the weather (rainfall, floods, etc.).

INTRODUCTION

La valorisation des zones humides est au cœur des préoccupations environnementales dans de très nombreux pays, dont le Maroc. La recherche sur la qualité de l'eau de ces zones est essentielle car elle fournit des connaissances qui doivent rapidement s'insérer dans un programme de leur préservation et restauration. Les zones humides sont caractérisées par leurs fonctions épuratrices et sont des espaces privilégiés pour le développement de la biodiversité.

Le Complexe de zones humides de Mohammedia (CZHM) fait partie du réseau important de zones humides littorales marocaines qui, grâce à sa position géographique et ses caractéristiques biotiques et abiotiques, présente un intérêt à la fois biologique, écologique, économique et paysager. Il a été inscrit depuis le mois de juillet 2005 dans la liste Ramsar (El Hamoumi *et al.* 2011).

Notons que la ville de Mohammedia a été sujette à une croissance démographique, à une cadence accélérée, qui s'est amorcée autour du site portuaire dont elle est dotée. Cette croissance démographique s'est opérée en parallèle avec l'implantation et le développement d'un tissu industriel des plus variés et d'une grande importance stratégique pour le pays.

La présente étude complète le travail déjà initié au niveau du même site, combinant analyses de terrain et analyse expérimentale en laboratoire, dans le but d'identifier les caractéristiques physico-chimiques des eaux de ce complexe (Serghini *et al.* 2010). Elle permet de déduire les processus à l'origine de ces caractéristiques. La période d'étude se situe entre janvier 2000 et août 2002, avant la mise en place (en 2003/2004) des infrastructures hydrauliques (canal de délestage) de lutte contre les inondations pour la protection de Mohammedia. C'est ainsi qu'elle s'intéresse à une approche mathématique appropriée, capable de synthétiser l'information globale donnée par les mesures physico-chimiques réalisées et d'établir une structure spatio-temporelle du complexe.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet de recherche mené conjointement entre l'équipe de Pollution-Ecotoxicologie et Risques Sanitaires de l'Institut Scientifique et le Laboratoire de Toxicologie de l'Institut National d'Hygiène.

MATERIEL ET METHODES

Site d'étude

Le CZHM est situé à l'embouchure de l'oued El Maleh, au sein de la ville de Mohammedia (33° 33'N 007° 23'W), sur le littoral atlantique marocain à 65 km au sud de Rabat

et à 20 km au nord de Casablanca. La particularité de cette zone est qu'elle est située dans une partie du milieu urbain. Elle protège ainsi la ville des inondations et alimente la nappe phréatique. Elle est constituée de mares temporaires ou "dayas" provenant de pluies qui s'accumulent dans les dépressions plus ou moins grandes, qui sont submergées par les eaux provenant de la nappe sous-jacente peu profonde, développant ainsi les "dayas" ou mares permanentes (SGM, 1975).

Choix des stations

Neuf stations d'échantillonnages largement réparties sur le complexe ont été choisies de telle sorte qu'elles soient représentatives, accessibles, témoins des caractéristiques réelles des eaux au niveau des différents sites prospectés et permettant de cerner l'ensemble des processus physiques et chimiques qui définissent le fonctionnement de cet écosystème (Fig. 1). Ainsi, deux types de stations ont été définis :

- Les stations ZH1, ZH2, F, ZH3, ZH4 et ZH5, sont temporaires et s'assèchent pendant la saison estivale. ZH1 et ZH2 sont situées en aval de l'oued El Maleh, au niveau de la pleine ouljienne, F est une fosse localisée sur le bord de l'oued et ZH3, ZH4 & ZH5 sont localisées du côté des complexes industriels (SAMIR, ONE).

- Les stations ZH6, ZH7 et ZH8 sont permanentes et sont alimentées par les eaux de pluies, des eaux usées ou bien par la nappe phréatique.

Echantillonnage

Les échantillons d'eau de surface ont été prélevés mensuellement au niveau de chaque station, depuis le mois de janvier 2000 jusqu'au mois d'août 2002, soit 32 campagnes. Les prélèvements ont été réalisés à l'aide de flacons en polyéthylène de 250 ml, préalablement lavés à l'eau distillée et transportés dans des glacières portatives (+4°C).

Analyses physico-chimiques

Le déterminisme hydrochimique des eaux du CZHM et leur évolution spatio-temporelle ont été réalisés par le suivi et l'analyse de 10 paramètres physiques et chimiques de l'eau au niveau des 9 stations. Six de ces variables ont été mesurés sur le terrain : la température (air, eau), le pH, la salinité (Sal), la conductivité (Cd) et l'oxygène dissous (OD). Alors que la demande biologique en oxygène (DBO₅), les nitrates (NO₃-), les sulfates (SO₄-) et le phosphore total (Pt) ont été mesurés au laboratoire

d'hydrobiologie de l'Institut Scientifique. Les techniques d'analyse figurent dans une publication précédente (Serghini *et al.* 2010).



Figure 1. Localisation des stations étudiées
Figure 1. Location of the studied stations

Organisation de la matrice des données

L'Analyse en composantes principales (ACP) est fréquemment utilisée en hydrobiologie pour obtenir une mesure précise de la part respective des rythmes saisonniers et des composantes stationnelles (Dolédéc & Chessel 1987).

Dans le but de synthétiser les résultats obtenus et de dégager des explications écologiques sur le fonctionnement de cet écosystème, nous avons appliqué une ACP (Lebart *et al.* 1979; Foucart 1985; Jambu 1998). Celle-ci a été réalisée à partir d'une matrice de données formées par les résultats obtenus entre janvier 2000 et août 2002. L'analyse a été réalisée avec le logiciel ADE (Dolédéc & Chassel 1993).

RESULTATS ET DISCUSSION

Une première approche analytique des caractéristiques hydrochimiques a été rapportée en détail dans des travaux précédents (Serghini 2003, Serghini *et al.* 2010).

Nature et établissement de la matrice des données

L'analyse est réalisée sur la matrice de données constituée de 277 relevés (32 campagnes x 9 stations) durant la période qui s'étend de janvier 2000 à août 2002. Les stations ZH1, ZH2, F, ZH3, ZH4 et ZH5 étant temporaires, elles n'ont pas pu être échantillonnées en été en raison de leur assèchement.

Analyse en composantes principales

Les valeurs propres des trois axes factoriels F1, F2 et F3 et leur contribution à l'inertie totale sont représentées dans le Tableau 1 et la Figure 2A. Les codes des variables et leurs coordonnées selon les mêmes axes sont représentés dans le Tableau 2.

Les résultats donnés dans les Tableaux 1 et 2 permettent de dégager une première approche typologique des différentes variables selon leurs affinités et leur regroupement sur les deux premières composantes principales à partir de leur contribution. Celles-ci déterminent 67% de l'information totale à raison d'une inertie de 35 %; 19,7% et 12,3% respectivement pour les axes factoriels 1, 2 et 3.

Selon le graphe des valeurs propres (Fig. 2 A), le plan F1 x F2, détient l'essentiel de l'information et donc sera pris en compte.

Tableau 1. Valeurs propres et taux d'inertie des 3 premiers axes
Table 1. Appropriate values and inertia rate of the 3 first axes

Axes	Valeurs propres	Contribution à l'inertie totale (en %)	Contributions cumulées (en %)
F1	3,5	35	35
F2	2	19,7	54,7
F3	1,2	12,3	67

La typologie des variables, illustrée sur le cercle de corrélation, par projections des coordonnées de celles-ci sur les plans des deux composantes principales prises deux à deux (Fig. 2B), fait apparaître les deux groupes de variables ainsi que leurs affinités vis à vis de chacun de ces axes (Tab. 2). Celle-ci permet de décrire les corrélations avec les variables comme suit :

L'axe F1 déterminé par les variables de minéralisation de l'eau à savoir la salinité et la conductivité et secondairement par les sulfates, définit ainsi un gradient de minéralisation et d'enrichissement en sels dissous croissant gauche-droite.

L'axe F2 est conditionné par l'oxygène dissous et les nitrates (paramètres d'une qualité meilleure), opposés sur le même axe à la demande biologique en oxygène (paramètre lié directement à la charge organique et à la pollution). Cet axe définit un gradient d'enrichissement en matière organique croissant de haut en bas, qui est associé à une présence de matière organique animale et végétale et un déficit en oxygène utilisé dans la minéralisation de celle-ci et l'oxydation des éléments nutritifs issus de cette dernière (NO₃-).

A cette typologie de variables, correspond une typologie de relevées qui permettra de repérer plus clairement les tendances dominantes et d'expliquer les phénomènes observés (Fig. 2C).

Ainsi, selon le plan factoriel 1 x 2, 3 groupes de prélèvements s'individualisent selon le gradient de minéralisation gauche-droite défini par les variables associées à cet état de pollution (salinité, conductivité, sulfates).

Le premier groupe (G1) de prélèvements situé à gauche du gradient peut être considéré comme le pôle de faible minéralisation de l'eau et est caractérisé par une présence moins importante en charge organique, aidée par la bonne oxygénation de l'eau qui favorise une minéralisation et une auto-épuration rapide. Il est constitué essentiellement par les données de la station permanente ZH8, située en amont et loin des influences anthropiques majeures ; aussi le

maintien du niveau d'eau dans cette zone humide maintient la charge minérale à son niveau le plus faible.

A l'opposé de ce groupe, le 3^{ème} groupe (GIII) marque manifestement la zone de forte minéralisation et témoigne d'une présence importante des sels dissous (chlorures, sulfates), en relation avec la nature géologique du substrat, l'influence de l'intrusion marine et le caractère permanent des stations. Il est constitué principalement par tous les relevés effectués dans les stations ZH3, ZH4 et ZH5.

Ainsi, dans cette structure majeure soulignée par les deux composantes prises en considération, deux niveaux distincts peuvent être effectués:

- Le niveau temporel avec une individualisation des périodes de forte minéralisation et d'une présence de charge organique et minérale importante.
- Le niveau spatial avec une individualisation des zones humides ZH8, ZH3, ZH4 et ZH5 des restes des stations.

Au vu des analyses, les deux niveaux de cette structure sont conditionnés par une variable saisonnière stricte, qui est manifestement la présence des chlorures et des sulfates dont l'effet marque la typologie des variables et des relevés. Ces paramètres restent cependant liés au niveau d'eau dans les différentes stations ; donc aux précipitations et aux

influences hydrologiques souterraines de l'Oued El Maleh, aux remontées des eaux marines pour les stations les plus en aval et aux échanges eau-sédiments très importants dus à la composition géochimique du sol dans cette zone.

Tableau 2. Variables analysées par l'ACP et leurs corrélations avec les axes F1 et F2

Table 2. Variables analysed and their correlations with axes F1 et F2.

Variables	Corrélations	
	F1	F2
Ta	0,7	0,5
Te	0,6	0,6
pH	0,2	0,3
Sal	0,9	-0,2
Cd	0,9	-0,2
OD	-0,3	0,6
DBO ₅	0,2	-0,4
NO ₃ ⁻	-0,2	0,5
SO ₄ ⁻	0,6	-0,1
Pt	0,5	0,0

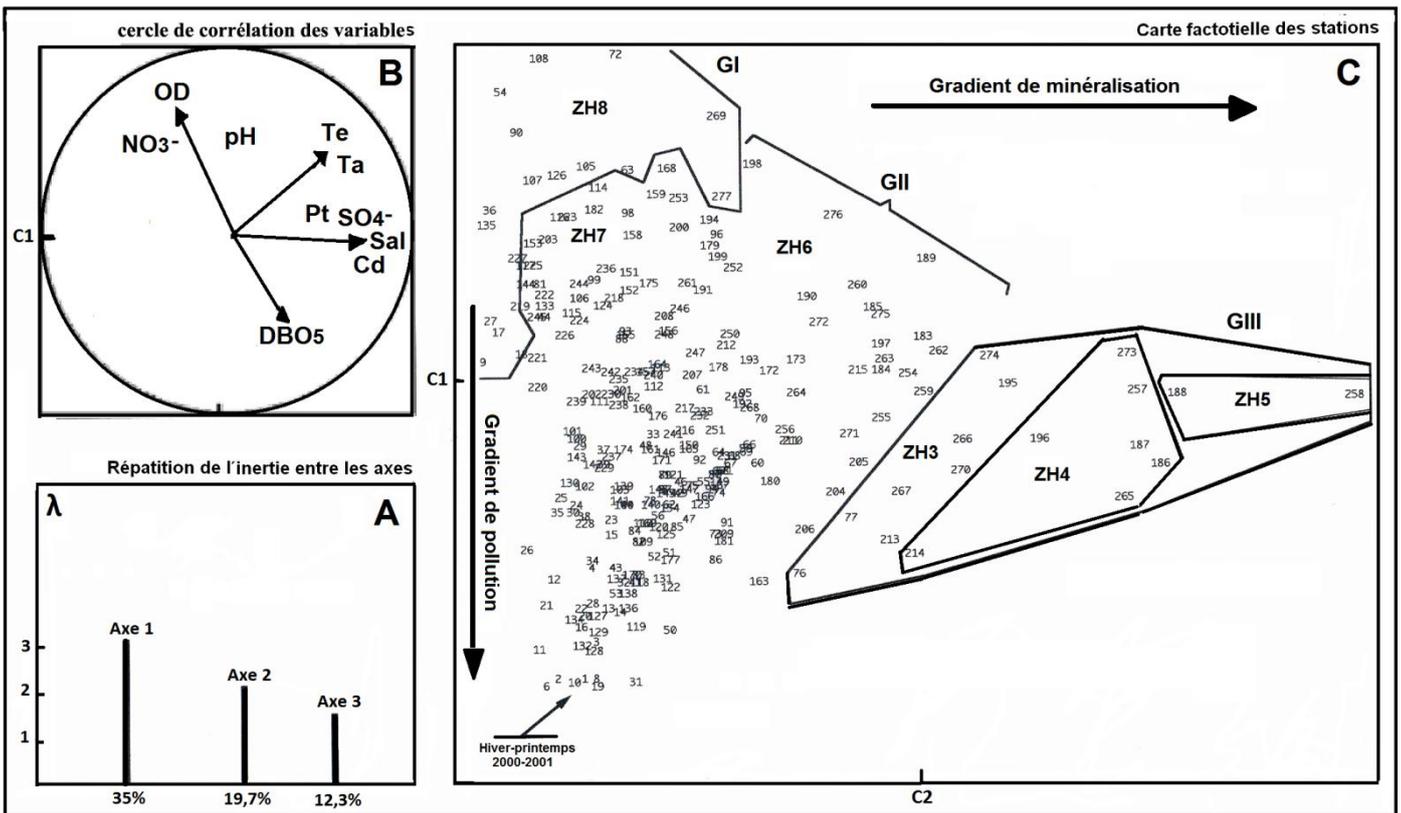


Figure 2. Approche graphique selon le plan 1x2 de l'ACP des facteurs physico-chimiques dans les eaux superficielles.
 Figure 2. Graphical approach according to the 1x2 plan of the ACP of the physico-chemical factors in superficial waters.

CONCLUSION

La caractérisation hydrochimique globale du complexe de zones humides de Mohammedia par l'emploi de l'ACP, a permis de présenter le complexe sous forme d'une

structure spatio-temporelle dynamique d'une année à une autre et d'un espace à un autre. En effet, l'analyse globale a montré toutes les influences mésologiques naturelles telles que la nature d'un substrat riche en chlorures et en sulfates, l'alimentation en eau souterraine au niveau des stations permanentes, les conditions climatiques et particulièrement

la température et la pluviométrie. Cependant, l'influence anthropique semble sous-jacente et peu perceptible par rapport à l'influence naturelle du milieu. Le gradient de minéralisation semble prépondérant et met en relief l'importance des échanges eaux-sédiment, le relargage et la dissolution des éléments présents dans le sol.

Ainsi, trois secteurs d'influences s'individualisent par la nature des processus ayant lieu dans ces milieux :

- Secteur I défini par la zone humide ZH8 permanente qui paraît beaucoup plus stable sur le plan fonctionnement que les autres stations zones humides du complexe.

- Secteur II qui rassemble les stations ZH1, ZH2, F, ZH6 et la ZH7 et de position géographique intermédiaire entre les deux autres secteurs. En effet, l'action conjuguée des diverses influences auxquelles sont soumises les stations de ce secteur, rend leur dynamique hydrochimique très changeante et instable, d'où leur position intermédiaire dans la typologie établie par l'ACP.

- Secteur III qui regroupe les stations ZH3, ZH4 et dans certains cas la station ZH5 temporaires soumises principalement aux aléas climatiques (précipitations, crues, etc.).

REFERENCES

- Dolédec S. & Chessel D. 1993. *Programmation ADE. Analyses multivariées et expressions graphique des données environnementales*, Version 3.6. Ecologie des Eaux douces et des Grands Fleuves. URA CNRS 1451 – Univ. Claude Bernard Lyon I, 750 p.
- Dolédec S. & Chessel D. 1987. Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. *Acta Oecologica, Oecol. Gener.*, 8, 403-426.
- El Hamoumi R, Hammada S., Himmi O. & Fekhaoui M. 2011. - Sites Ramsar du Maroc : Zones Humides de L'oued Al Maleh. In : Dakki M., El Agbani M. & Qinba A. (Eds) : Zones humides du Maroc inscrites jusqu'en 2005 sur la liste de la Convention de Ramsar. *Trav. Inst. Sci., Rabat, Sér. Générale* 7, 93-102
- Foucart T. 1985. *Analyse factorielle. Programmation sur micro-ordinateurs*. Ed. Masson, Paris, 234 p.
- Jambu M. 1998. *Exploration informatique et statistique des données*. Ed. Dunod, Paris, 503 p.
- Lebart L., Morineau A. & Fenelon J-P. 1979. *Traitement des données statistiques*. Dunod, Paris, 240 p.
- Serghini A. 2003. *Diagnose du complexe zones humides de Mohammedia : étude qualitative et quantitative des composantes physique (eau – sédiment) et biologique de l'écosystème*. Thèse de Doc. Etat ès-Sci., N° d'ordre 2155, Fac. Sci., Rabat, 178 p.
- Serghini A., Fekhaoui M., El Abidi A., El Blidi S. & Ben Akkam R. 2010. Caractérisation hydrochimique d'un site Ramsar : le complexe zones humides de Mohammedia (Maroc). *Bull. Ins. Sci., Rabat, Sci. Vie*, 32, 2, 133-145.
- Service de Géologie du Maroc (SGM). (1975). Ressources en eau du Maroc et bassins du Maroc Atlantique. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, n°231, 454 p.

Manuscrit reçu le 16.11.2012

Version révisée acceptée le 16.07.2013

Version finale reçue le 20.05.2014

Mise en ligne le 12.09.2014

