



CONTRIBUTION A L'EVALUATION DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DU COURS D'EAU MERZEG (PERIURBAIN DE CASABLANCA, MAROC)

**MOUNJID J.^{1,2*}, COHEN N.², FADLAOUI S.¹, BELHOUARI A.¹,
OUBRAIM S.¹**

¹Laboratoire d'Ecologie et d'Environnement, Faculté des Sciences Ben M'Sik –
Casablanca.

²Laboratoire de Microbiologie et Sécurité Sanitaire des Produits et de l'Environnement,
Institut Pasteur du Maroc.

mounjid.jihad@gmail.com

RESUME

Les ressources en eau au Maroc sont confrontées à des problèmes de quantité et de qualité. Ces ressources sont limitées en raison du climat (semi-aride et aride) et subissent une détérioration de leur qualité par les différents rejets polluants. L'une des régions du Maroc qui illustre le mieux ces phénomènes est la région du Grand Casablanca (capitale économique du Maroc). Celle-ci montre un accroissement considérable de la population et un développement continu des activités industrielles surtout dans la zone périurbaine. Ce sont les cours d'eau de cette zone qui subissent le plus les effets de ces pressions ce qui rend leurs usages compromis.

Oued Merzeg et son affluent oued Sierni ont été choisis pour illustrer les impacts précités. Ces hydrosystèmes reçoivent les eaux de la station d'épuration (STEP) de la ville de Berrechid ainsi que les rejets de la zone industrielle de Had Soualem. Une campagne de 14 mois a été réalisée dans le but de déterminer la qualité physico-chimique des eaux dans 7 stations d'échantillonnage choisies le long de ces hydrosystèmes. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence une forte charge organique au niveau de l'oued Merzeg et Sierni comme en témoignent les valeurs des principaux paramètres: DBO5, DCO, Ammonium, Orthophosphates et phosphores total. Néanmoins, cette pollution est atténuée vers l'aval du cours d'eau Merzeg sous l'effet du phénomène auto-épuration. Les eaux des stations d'étude peuvent être qualifiées de mauvaise à très mauvaise. Une minéralisation importante a été mise en exergue au niveau de ce cours d'eau. Celle-ci résulterait de l'effet

conjugué de la dégradation de la nappe phréatique de la chaouia côtière et de la charge minérale des eaux usées.

Le suivi de l'évolution spatio-temporelle de l'indice de pollution organique « IPO » révèle le caractère polluant des eaux dans les stations recevant les rejets de la STEP de Berrechid et les rejets de Had Soualem.

Les résultats de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) ont mis en évidence deux gradients. Le premier traduit le degré de pollution et d'eutrophisation, alors que second décrit la minéralisation des eaux et la saisonnalité. En outre, cette ACP a permis de discriminer les stations selon leurs données physicochimiques.

Mots clés : Cours d'eau périurbains, Oueds Merzeg et Sierni, Physicochimie, IPO, ACP.

ABSTRACT

Morocco's water resources are facing quantity and quality problems. Limited resources due largely to a semi-arid and arid climate and also to the significant deterioration in the quality grounded by different pollutants. Casablanca city (Morocco's economic capital) is one of Morocco's parts that best illustrates these phenomena. It shows a considerable increase of the population and continuous development of industrial activities especially in the suburban area. Rivers of this area who suffer the most are the effects of these pressures, what makes compromised of their uses.

Merzeg river and their tributary oued Sierni were chosen to illustrate the above impacts. These hydrosystems receive water from the waste water plant (WWTP) of the city of Berrechid as well as the release of the industrial area of Had Soualem.

A companion of 14 months was conducted in order to determine the physicochemical water quality in 7 sampling stations chosen along these hydrosystems.

The findings highlighted the extreme high organic load at the level of the Merzeg river and their tributary Oued Sierni as evidenced by the values of the main parameters: BOD5, COD, Ammonium, orthophosphate and total phosphorus. The waters of study stations can be described as bad to very bad. Significant mineralization was highlighted at the level of this stream. This would result from the combined effect of the degradation of the coastal chaouia groundwater and the mineral load of wastewater.

The follow-up of the spatio-temporal evolution of organic pollution index "OPI" shows the polluting waters in the stations receiving releases of the STEP of Berrechid and also Had Soualem.

The results of the principal component analysis (PCA) have highlighted two gradients. The first reflects the degree of pollution and eutrophication, while the second describes the mineralization of waters and seasonality. Moreover, this

PCA allowed discriminating against stations according to their physicochemical data.

Keywords: Suburbain river, Oued Merzeg and Sierni, Physicochemical, OPI, PCA

INTRODUCTION

Avec l'essor des activités humaines, notre environnement subit de nombreuses agressions physiques causées par les aménagements mais également chimiques dues aux pollutions. L'urbanisation qui a conduit à la concentration de l'habitat humain et de l'industrie a entraîné une difficulté croissante dans la gestion de nos déchets. Elément constitutif de notre environnement, l'eau est une ressource vitale pour tous les êtres vivants mais est aussi devenue, avec la concentration urbaine le récepteur et le vecteur d'un bon nombre de nos déchets (Kosmala, 1998).

La plupart des cours d'eau ont subi des altérations multiples telles que la modification du lit et des berges, la régulation des débits, les pollutions industrielles et les pollutions diffuses liées aux pratiques agricoles intensives etc... Ces altérations peuvent générer une dégradation écologique de ces hydrosystèmes les mettant dans l'incapacité à assurer certains biens et services attendus (déclin de la qualité et de la disponibilité en eau, disparition d'espèces, changement de la structure des communautés...).

Au Maroc, la situation des cours d'eau devient de plus en plus préoccupante à cause des quantités importantes de rejets polluants non traités qui sont déversés dans ces écosystèmes aquatiques. Pour étudier de près cette situation, nous avons choisi un cours d'eau périurbain qui connaît une démographie croissante et un développement continu du secteur industriel le long de ses rives: oued Merzeg et son affluent oued Sierni. L'oued Merzeg reçoit les eaux épurées de la STEP de Berrechid traitant un débit de l'ordre de 1850 m³/j (Boutayeb, 2012), alors que son affluent Sierni reçoit les rejets industriels de Had soualem.

Ce travail représente une première étude réalisée sur cet hydrosystème. Son but est d'évaluer l'impact des rejets déversés sur la qualité des ressources en eau et ce à travers une caractérisation physico-chimique. Pour mettre en exergue la qualité globale des eaux et son évolution spatio-temporelle dans les cours d'eau étudiés, nous avons jugé intéressant de faire une synthèse de ces résultats par la méthode indicelle (l'Indice de Pollution Organique IPO) et statistique (l'Analyse en Composantes Principales ACP).

MATERIEL ET METHODES

Présentation de la zone d'étude

Oued Merzeg est situé à 20Km au Sud-Est de Casablanca, sur la Chaouia côtière. Il est limité au nord par l'Océan Atlantique, au sud et à l'ouest par la province de Settat et à l'est par la province de Médiouna. Le cours d'eau fait partie du bassin versant des Oueds Côtiers atlantiques (Figure 1), couvrant une superficie de 157,8Km²(ABHBC, 2004). Le climat de la Chaouia côtière est du type semi-aride à influence océanique. La pluviométrie moyenne annuelle est de 400 mm, alors que la température moyenne est de 25°C (Zerouali *et al*, 2001). Le cours d'eau est situé à proximité de zones industrielles, notamment celle de Had soualem (dont les rejets sont drainés par son affluent oued Sierni) et quelques unités éparpillés dans la région de Khyayta.

De point de vue géologique, les terrains paléozoïques (schistes grès et quartzites) plissés et tectonisés sont recouverts en discordance par les formations Mésozoïques et Cénozoïques subtabulaires, elles mêmes recouvertes par des dépôts quaternaires. Le Paléozoïque est recouvert par les sables dunaires consolidés, calcarénites et calcaires gréseux du Pliocène. Le Quaternaire est constitué d'un recouvrement pelliculaire de conglomérats limons et sables argileux. A l'exception de la tectonique ayant intéressé le socle Paléozoïque, aucun accident postérieur n'est à signaler (Zerouali *et al*, 2001).

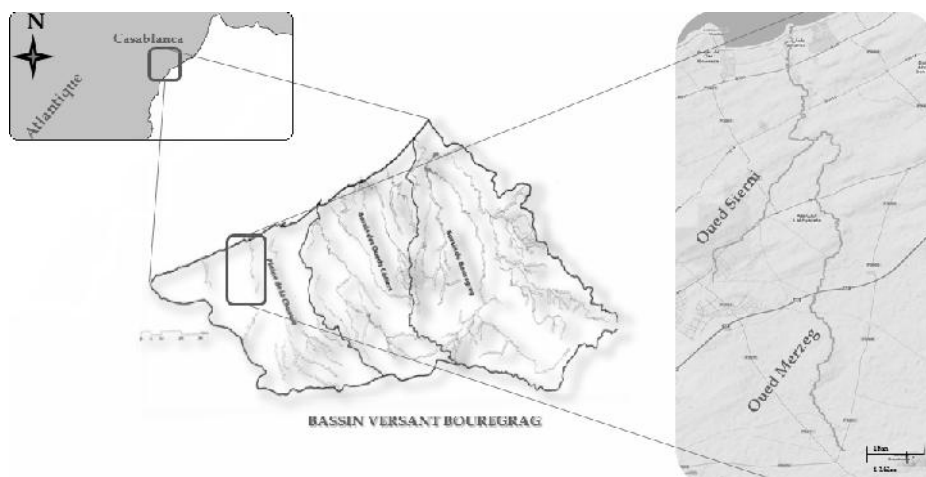


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude.

Prélèvements et techniques d'analyse

Sept stations ont été choisies sur l'hydrosystème sujet d'étude dont quatre au niveau de l'oued Merzeg et trois à oued Sierni (Figure 2). Le choix de ces stations est basé sur la nature des eaux (eaux usées, eaux naturelles), la facilité

d'accès et de prélèvement et la situation des points de prélèvement par rapport aux rejets polluants. Les coordonnées Lambert des différentes stations étudiées figurent sur le tableau 1.

Durant la période allant de Février 2011 à Mars 2012, quatorze prélèvements mensuels d'échantillons d'eaux ont été effectués. Des mesures in situ et des prélèvements d'eau ont été réalisés au niveau des sept stations d'étude.

Tableau 1 : Localisation des stations étudiées au niveau des Oueds Merzeg et Sierni.

	Station	Coordonnées Lambert		Altitude	Région
		Latitude	longitude		
Oued Merzeg	M1	N 33°22299	W 007°46481	578	Laasilate
	M2	N 33°26348	W 007°49365	385	Khyayta
	M3	N 33°30252	W 007°47252	168	Khyayta
	M4	N 33°32048	W 007°47415	24	Dar Bouaza
Oued Sierni	RJ	N 33°32048	W 007°49801	416	Dowar hlilifa
	SO	N 33°26347	W 007°49344	377	Ain Sierni
	AS	N 33°26057	W 007°49426	368	Oued Sierni

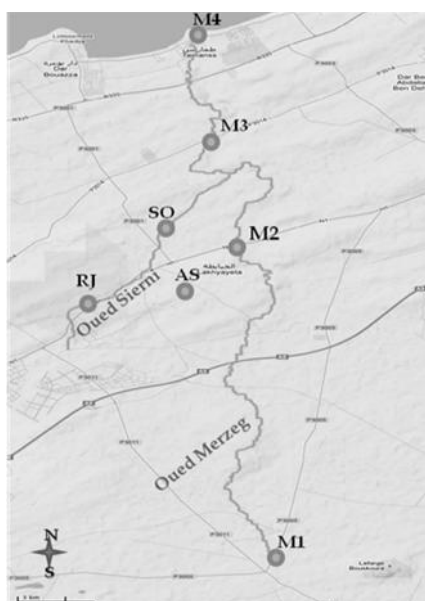


Figure 2 : Stations d'échantillonnage.

L'échantillonnage des eaux se fait dans des flacons stériles de 500 ml. Leur transport au laboratoire s'effectue dans une glacière pour maintenir une température de 4°C. Le tableau 2 récapitule les mesures in situ qui ont été réalisées conformément aux normes d'Afnor (1999).

Les mesures in situ de la température, pH, conductivité électrique, oxygène dissous et la turbidité ont été réalisées respectivement grâce à un thermomètre à mercure, un pH-mètre WTW, un conductimètre WTW, un oxymètre WTW et un turbidimètre EUTCH TN-100.

Les analyses chimiques mentionnées dans le tableau 2 sont effectuées dès l'arrivée au laboratoire. Les méthodes utilisées sont celles préconisées par Afnor (1999).

Tableau 2 : Paramètres physico-chimiques réalisés et référence de la méthode d'analyse utilisée.

Paramètre analysés	Unité	Norme	Méthodes
Nitrates	mg/l	NF T 90-012	Méthode au salicylate de sodium
Nitrites	mg/l NO ₂	NF T 90-012	Méthode au N-1 naphtyléthylènediamine
Ammonium	mg/l NH ₄ ⁺	NF T 90-015	Méthode au bleu d'indophénol
Phosphore total	mg/l	NF T 90-012	Dosage après oxydation au persulfate
Orthophosphates	mg/l	NF T 90-023	Méthode au molybdate d'ammonium
Sulfates	mg/l	NF T 90-040	Méthode néphérométrique
Chlorures	mg/l	NF T 90-014	Méthode volumétrique de Mohr
Demande Chimique en Oxygène « DCO »	mg d'O ₂ /l	NF T 90-101-2001	Oxydation par le bichromate de potassium
Demande Biologique en Oxygène « DBO ₅ »	mg d'O ₂ /l	NF EN 1899 - 1998	Méthode d'OxiTop

Traitement des données

Afin d'estimer globalement la pollution organique dans les stations d'étude et de bien visualiser l'évolution spatio-temporelle de cette pollution, nous avons fait recours à un indice synthétique : l'indice de Pollution Organique (IPO). De plus, étant donné le grand nombre de variables utilisées dans cette étude, une méthode statistique, l'Analyse en Composante Principale (ACP), a été utilisée et ce dans l'objectif d'extraire les tendances les plus marquées de la base de données (variable, stations) et donc faire ressortir une perception globale des faits.

Indice de Pollution Organique « IPO »

L'Indice de Pollution Organique (IPO) a été proposé pour la première fois par Leclercq et Maquet (1987). Cet indice permet d'apprécier la qualité chimique des eaux impactées par la pollution organique réelle à partir des paramètres

orthophosphates (PO₄), ammoniacque (NH₄), nitrites (NO₃) et la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO₅). Les valeurs de ces paramètres sont réparties en 5 classes ayant chacune une signification écologique liée aux modifications induites dans les peuplements benthiques (Tableau 4). L'indice IPO représente la moyenne des numéros des classes pour chaque paramètre et les valeurs de cet indice sont réparties en cinq classes représentant des niveaux de pollution s'étendant du moins pollué (classe 5) au plus pollué (classe 1) (Tableau 5).

Cet indice a été utilisé avec succès au Maroc et ailleurs par de nombreux chercheurs (Talami, 1998; Oubraim, 1998; Fawzi, 2001; Bahroun et al., 2011; Chaoui et al., 2013).

Tableau 4 : Limites des classes de l'Indice de pollution organique (IPO).

Paramètres	DBO5 mg-O ₂ /l	Ammonium mg-N/l	Nitrites µg-N/l	Phosphates µg-P/l
Classes				
5	< 2	< 0,1	5	15
4	2 – 5	0,1 – 0,9	6 – 10	16 – 75
3	5,1 – 10	1 – 2,4	11 – 50	76 – 250
2	10,1 – 15	2,5 – 6	51 – 150	251 – 900
1	> 15	> 6	> 150	> 900

IPO = moyenne des numéros de classes des 4 paramètres.

Tableau 5: Classes d'IPO, degrés de pollution et cartographie correspondants

Moyenne des classes	Niveau de pollution organique	Cartographie
5,0 – 4,6	Nulle	Bleu
4,5 – 4,0	Faible	Vert
3,9 – 3,0	Modérée	Jaune
2,9 – 2,0	Forte	Orange
1,9 – 1,0	Très forte	Rouge

Analyse statistique (ACP)

L'Analyse en Composante Principale (ACP) est une méthode statistique descriptive dont l'objectif est de présenter, sous forme de graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données (Philippeau, 1986). Cette méthode statistique permet de transformer les variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélées entre elles, en nouvelles variables quantitatives, non corrélées, appelées composantes principales (Davis, 1984).

Cette méthode a été largement utilisée pour interpréter les données hydrochimiques des hydrosystèmes (Fekhaoui, 1990; Bennasser, 1997; Fawzi et

al., 2002; Jadal et al., 2002; Oubraim, 2002; El Blidi et al., 2006; El Morhit et al., 2008; Makhoukh et al., 2011; Lamrani et al., 2011; Belghiti et al., 2013).

L'ACP a été réalisée à l'aide du logiciel Statistica (version 6). Une matrice de données brutes comportant 13 variables physico-chimiques a été utilisée. Les variables retenues pour cette étude statistique sont : la température (T), le potentiel Hydrogène (pH), les composés azotés (NO₃, NO₂ et NH₄), les composés phosphorés (orthophosphates PO₄ et phosphore total PT), l'oxygène dissous (O₂), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅), la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la conductivité électrique (CE), les chlorures (Cl) et les sulfates (SO₄).

RESULTATS ET DISCUSSION

Qualité physico-chimique des eaux:

Cette étude a été réalisée durant 14 mois et afin de faciliter la comparaison des résultats avec les normes marocaines (des eaux de surface NMES et des eaux fixant les limites de rejets directs dans le milieu récepteur NMRD) on s'est basé sur les maxima, les minima et les moyennes pour illustrer les variations des paramètres physico-chimiques des eaux de surface étudiées (Tableau 6).

Température

La température moyenne des eaux analysées oscille entre 21,15°C et 22,92°C. Les températures maximales sont enregistrées à la station RJ en été (32°C). Il faut signaler que les différences de température dans cet hydrosystème sont liées aussi bien au volume des eaux usées (qui sont généralement plus chaudes) qu'à l'absence de ripisylves au niveau des berges. Il est important de signaler que la source Sierni marque une certaine stabilité de la température durant les 14 mois d'étude soit 22±1°C. En se référant aux normes marocaines des eaux de surfaces NMES stipulées par SEEE (2007), les eaux de toutes les stations appartiennent à la classe excellente à bonne qualité. La station RJ quant à elle présente une température moyenne de l'ordre de 22,92 °C; cette valeur reste inférieure à la valeur limite fixée par NMRD (SEEE, 2007) soit 30°C.

pH

Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5. Les valeurs moyennes observées au niveau des deux oueds Merzeg et Sierni indiquent un pH légèrement neutre à alcalin avec une moyenne située entre 7,5 à 8,5 unité pH. La faible variation du pH durant toute la période d'étude illustre bien l'effet tampon des eaux dans les stations d'étude. Ce phénomène peut être expliqué par l'effet conjugué d'une activité photosynthétique importante (comme en témoigne le développement des algues dans le lit du cours d'eau), de la nature lithologique des terrains traversés par les eaux ainsi que par les

réactions ioniques se déroulant dans les apports des rejets des agglomérations. Notons que dans cet intervalle du pH, on est dans une zone optimale de la production de la plupart des espèces animales et végétales (Nisbet et Vernaux, 1970).

Selon les NMES (SEEE, 2007), toutes les stations étudiées présentent des eaux de qualité bonne à excellente. Les valeurs obtenues dans la présente étude restent comparables à celles rapportées par Kadri et al. (2012) au niveau de l'oued Za, Fouad et al. (2013) au niveau de l'oued Hassar un des trois cours d'eau périurbains du Grand Casablanca.

Minéralisation

Les valeurs moyennes de la conductivité électrique (CE) indiquent des variations importantes au niveau de l'oued Merzeg. Elles fluctuent en moyenne entre 2,41mS/cm à la station M2 pour arriver à 3,47mS/cm à la station M4. La CE maximale (5,3mS/cm) est enregistrée dans cette station qui subit l'influence de la proximité du milieu marin. Les eaux de l'oued Merzeg peuvent être classées selon la NMES (SEEE, 2007) dans la classe moyenne à très mauvaise. Ces résultats corroborent ceux de l'ABHB (2004) et de Zerouali et al. (2001) qui confirment la forte minéralisation de la nappe de chaouia côtière. Les CE moyennes restent également comparables à celles rapportées par Benmoussa et al. (2013) à oued khoumen et par Kbibch et al. (2011) à oued Mda. En outre, au niveau de l'oued Sierni les valeurs moyennes de la conductivité sont relativement faibles par rapport à celles de Merzeg. Elles ne dépassent guère 2 mS/cm à l'exception des rejets de la zone industrielle de Had Soualem (station RJ) où la valeur moyenne de la CE est égale à 2,95 mS/cm et la maximale à 4,51mS/cm; elle dépasse de ce fait les valeurs fixée par NMRD (SEEE, 2007) qui est égale à 2,70 mS/cm.

L'évolution spatiale des chlorures va de paire avec celle de la CE au niveau de l'oued Merzeg. On note un gradient croissant allant de l'amont vers l'aval (3100 mg/l en M1 à 3600mg/l en M4). Ceci concorde avec les constatations des autres auteurs ayant mentionné que la concentration en chlorures augmente de manière continue et proportionnelle sous l'effet de l'urbanisation (Edwards et Thornes, 1973; Bontoux, 1993; Cun et Vilagines, 1997; Lamrani, 2011) et selon la nature des terrains traversés (Bermond et Vuichaard, 1973; Fawzi, 2002; Oubraim, 2002) mais encore sous l'effet des apports de la nappe (superficielle en M4) comme en témoignent les travaux de Zerouali et al. (2001). Les plus faibles concentrations en chlorures sont enregistrées au niveau des stations du cours d'eau Sierni.

Les résultats obtenus pour les sulfates suivent un gradient croissant de l'amont vers l'aval d'oued Merzeg. Néanmoins, dans ce cours d'eau ainsi que dans son affluent Sierni, les concentrations restent inférieures à 100 mg/l SO₄ ; selon les NMES, les eaux de cet hydrosystème seraient donc de qualité excellente. Ces

teneurs restent inférieures à celles rapportées par El addouli et al. (2009) à oued Ouislane périurbain de la ville de Méknès. A signaler également que la moyenne des teneurs en sulfates des rejets de la zone industrielle Had Soualem reste très inférieure à la valeur limite préconisée par les NMRD (SEEE, 2007) et qui est égale à 250 mg SO₄/l.

Oxygène dissous, DBO5 et DCO

D'une manière générale, les valeurs moyennes d'oxygène dissous enregistrées au niveau de Merzeg permettent de qualifier les eaux de ce cours d'eau de bonnes à excellentes sauf pour la station située à khyayta (M2). Dans cette station les teneurs en oxygène dissous peuvent descendre jusqu'à 0.96 mg O₂/l (qualité très mauvaise) traduisant ainsi une charge importante en matière organique dans ce secteur. La même remarque peut être également faite pour la station RJ recevant les rejets de Had Soualem. Notons enfin le rôle important de la source Sierni (5.79 mg O₂/l, qualité bonne) dans la dilution de la pollution : la moyenne à RJ est égale à 2,27mg O₂/l (qualité mauvaise) qui passe après brassage avec les eaux de source (au niveau de la station SO) à 3,63 mg d'O₂/l (qualité moyenne).

Au niveau de l'oued Merzeg, on peut noter un gradient décroissant de la DBO5 de l'amont vers l'aval ce qui témoigne l'effet auto-épuratoire de l'oued. La DBO5 des eaux épurées de la STEP de Berrechid passe de 50,46mg d'O₂/l en M1 (qualité très mauvaise) à 8,27 d'O₂/l (qualité moyenne) en M4, soit un taux d'abattement de l'ordre de 83.61%. Néanmoins, malgré cet abattement important, les eaux superficielles d'oued Merzeg seraient classées selon NMES (SEEE, 2007) entre moyenne à mauvaise qualité.

A la station AS (source Sierni), les eaux ont une DBO5 moyenne égale à 0.08 mg d'O₂/l (qualité excellente). Celles des rejets industriels de Had Soualem (station RJ) la teneur est de 156 mg d'O₂/l (qualité très mauvaise). Après confluence des eaux de RJ et AS, la DBO5 passe en SO à 48,12 mg d'O₂/l donc de qualité très mauvaise d'après NMES (SEEE, 2007); l'abattement de la DBO5 entre RJ et AS est égal à 69,15%. Il importe également de signaler que la valeur de la DBO5 au niveau de la station RJ dépasse largement la valeur limite des rejets directs (soit 100mg d'O₂/l) (SEEE, 2007). Ces teneurs restent supérieures à celles rencontrées au niveau de l'oued Moulouya (Edwards et Thornes, 1973; Lamri et Belghyti, 2011).

Le schéma de l'évolution de la DCO est identique à celui de la DBO5. La station M1 de l'oued Merzeg montre une forte charge en DCO (moyenne égale à 80,79 mg d'O₂/l et la valeur maximale peut atteindre 201,60 mg d'O₂/l). Un gradient décroissant est observé en allant de l'amont (M1) vers l'aval de l'oued où la DCO moyenne décroît jusqu'à 29,57 mg d'O₂/l en M4 (soit un taux d'abattement de l'ordre de 63.40%). En se référant au NMES (SEEE, 2007) on

peut dire que les eaux des quatre stations de Merzeg (M1 à M4) sont de qualité moyenne à mauvaise.

Au niveau de l'oued Sierni, la DCO moyenne de la station RJ est égale à 223,92 mg d'O₂/l et la maximale peut atteindre dans cette station 398,2 mgd'O₂/l. Même si elle est la plus élevée des DCO de l'écosystème étudié, cette valeur reste en dessous de la valeur limite fixée par les NMRD (soit 500 mg d'O₂/l) (SEEE, 2007). Avec la dilution par les eaux de la source Sierni (DCO moy.= 8 mg d'O₂/l), le taux d'abattement à la station SO est de l'ordre de 65.65% (soit une DCO moyenne égale à 76,92 mg d'O₂/l donc de qualité mauvaise).

Phosphore total et Orthophosphate

D'après les résultats obtenus, les eaux épurées de la STEP de Berrechid et déversées au niveau de M1, restent trop chargées en phosphore total (7,47mg/l de phosphore). Rappelons que le traitement par lagunage est le mode de traitement pratiqué dans cette STEP. Cette pollution organique est observée le long du cours d'eau Merzeg et de son affluent Sierni; en effet, à l'exception de la source Sierni où la qualité des eaux est excellente (0,06 mg/l de phosphore total), toutes les autres stations ont des eaux de qualité mauvaise à très mauvaise. Toutefois, la moyenne en phosphore total des rejets liquides de la station RJ (soit 6,40 mg/l de phosphore total) reste inférieure à celle préconisée par les NMRD (SEEE, 2007) soit 10 mg/l.

Les teneurs en orthophosphates varient de manière presque identique à celle du phosphore total traduisant ainsi l'effet auto-épuration dans cet hydrosystème. La valeur la plus élevée est enregistrée au niveau de la station RJ (3,98 mg PO₄/l) et la plus faible à la station AS (0,04 mg PO₄/l).

Par comparaison à d'autres milieux, les teneurs moyennes des eaux en orthophosphates et en phosphore total obtenues dans la présente étude restent inférieures à celles signalées par Abouelouafa et al. (2002) au niveau de l'Oued Bounaïm à Oujda, par Derwich et al.(2008), Elouali el alami et al.(2011) à oued Fès et oued Sidi Hrazem, et par El addouli et al.(2009) au niveau de l'oued Bouishak et Ouislane. Par contre elles sont supérieures à celles rapportées par Bentouat et al.(2012).

Nitrates, Nitrites et Ammonium

Le long du cours d'eau Merzeg, les teneurs moyennes en nitrates évoluent selon un gradient croissant (1,64 mgNO₃/l en M1 et 12,57mg NO₃/l en M4). L'augmentation des teneurs en nitrates dans cette dernière station résulterait probablement de l'effet auto-épuration du cours d'eau mais également aux amendements d'engrais par les agriculteurs de la région. Les eaux issues de la source Sierni indiquent 15,05mg NO₃/l comme moyenne. Ces résultats, qui corroborent ceux de l'ABHBC (2004), mettent en évidence la dégradation de la qualité de la nappe de chaouia côtière par les teneurs élevées en nitrates. A

signaler également que dans le sous-bassin de la chaouia côtière le développement des pompages a engendré la surexploitation de la nappe, son dénoyage par endroits et par conséquent l'avancée, à un rythme très accéléré, du biseau salé (Zerouali et al., 2001). De plus, les résultats de ce travail restent comparables à ceux rapportés par El ouali-alami et al. (2011), supérieurs à ceux rapportés par Abouelouafa et al. (2002), par contre inférieurs à ceux enregistrés par Derwich et al. (2008), Lamrani et al. (2002), Fawzi et al. (2001).

Contrairement aux nitrates, les moyennes obtenues pour le paramètre chimique nitrites suivent un gradient décroissant de l'amont vers l'aval de l'oued Merzeg (13,85 mgNO₂/l en M1 et 1,68mg NO₂/l en M4). A oued Sierni la valeur la plus élevée est enregistrée au niveau de la station RJ où la pollution organique est la plus importante. Cependant, les valeurs obtenues pour les nitrites restent inférieures en rapport à celles mesurées au niveau des cours d'eau boufekrane (Lamrani et al, 2011) et ouislane (El addouli et al, 2009).

Les teneurs élevées en ammonium suivent la même évolution que celles des nitrites témoignant également du pouvoir épuratoire du cours d'eau Merzeg (concentration moyenne des eaux en ammonium est de 26,5 mg/l en M1 qui décroît à 1,76 mg/l en M4). Au niveau de l'affluent Sierni, la valeur moyenne maximale en ammonium est enregistrée à la station RJ (19,91 mg NH₄/l). Après dilution des eaux de cette station par les eaux de source Sierni, cette valeur moyenne décroît pour atteindre 15,42 mg NH₄/l à la station SO (soit un taux d'abattement de 22%). Par comparaison à d'autres cours d'eau marocains, les teneurs moyennes obtenues dans le présent travail restent supérieures à celles rapportées par Bentouat et al. (2011), au niveau de l'oued Bouselam et El ouali-alami et al (2011) au niveau de l'oued Fès.

Tableau 6: Résultats des différents paramètres physico-chimiques à oueds Merzeg et Sierni.

Stations	M1			M2			M3			M4			AS			RJ			SO		
	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY	MIN	MAX	MOY
T °C	11,4	28,7	21,51	9,5	27,2	21,15	9,5	31	22,36	14,6	29,1	22,54	21,8	23,5	22,38	16,9	29,8	22,92	12,3	32	22,69
pH	7,25	8,78	8,28	7,48	8,65	8,15	7,8	9,52	8,35	7,26	8,81	8,22	7,2	7,75	7,48	7,08	8,57	7,76	7,41	8,55	8,14
CE mS/cm	1,9	3,3	2,6	1,27	3,34	2,41	2,05	3,44	2,65	2,82	5,3	3,47	1,42	1,6	1,46	1,73	4,37	2,95	1,56	2,99	1,95
O2D mg/l	3,11	11,3	7,46	0,96	7,1	4,36	2,45	24,3	11,2	2,2	17,8	9,19	2,6	10	5,79	0,99	4,51	2,27	0,9	8,6	3,63

*Contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique du cours d'eau Merzeg
(Périurbain de Casablanca, MAROC)*

2,65	1,38	3	4,12	15,42	76,92	48,12	260	2
5,56	3,78	8,9	25,84	36,44	168,4	130	380	75
0,46	0	0,01	0,03	3,45	9,6	7,5	150	38,6
6,4	3,98	2,02	7,93	19,91	223,92	156	190	8
13,49	11,39	4	56,69	66,31	398,2	300	270	5
2,12	0,15	0,08	0,02	0,78	48	20	60	71,2
0,06	0,04	15,05	0,18	0,58	8	0,08	240	2
0,26	0,26	22,7	1,55	4,63	38,4	1	470	1
0	0	7,1	0	0	0	0	120	23,9
2,56	1,63	12,57	1,68	1,78	29,57	8,27	360	5
5,49	4,15	18,65	13,6	13,6	96	28	710	5
0,62	0,25	6,3	0,03	0	0	0	120	34,7
3,73	2,58	10,23	0,73	3,42	47,64	18,78	340	8
7,01	5,34	28,87	6,97	20,7	96	62	640	5
1,45	0,37	1,7	0	0	9,6	1	220	45,9
5,46	2,37	2,59	4,38	10,3	42,78	20,7	340	5
7,93	4,23	7,6	24	18,1	105,6	82,2	590	88
2,69	0,02	0,1	0,02	2,21	19	5	180	41,7
6,02	3,53	1,64	13,85	26,5	80,79	50,46	310	3
7,47	5,52	5,29	35,58	68,5	201,6	186	520	90
4,23	0,83	0,01	0,19	3,61	37,5	10	190	44,6
Pt mg /l	PO4 mg /l	NO3 mg /l	NO2 mg /l	NH4 mg /l	DCO mg /l	DBO 5 mg /l	Cl mg /l	SO4 mg /l

Traitement statistique des données

L'examen des résultats numériques de cette ACP montre que les valeurs propres (Figure 3) indiquent que l'axe F1 explique près de la moitié (soit 49,10%) de la variance totale des données. L'axe F2 indique 26,42% de la variabilité totale des données. Ainsi, 75,52% de la variabilité du tableau de données est extraite par le plan factoriel F1 X F2. De ce fait, l'analyse des résultats de l'ACP sera faite en se limitant à ces deux premiers axes.

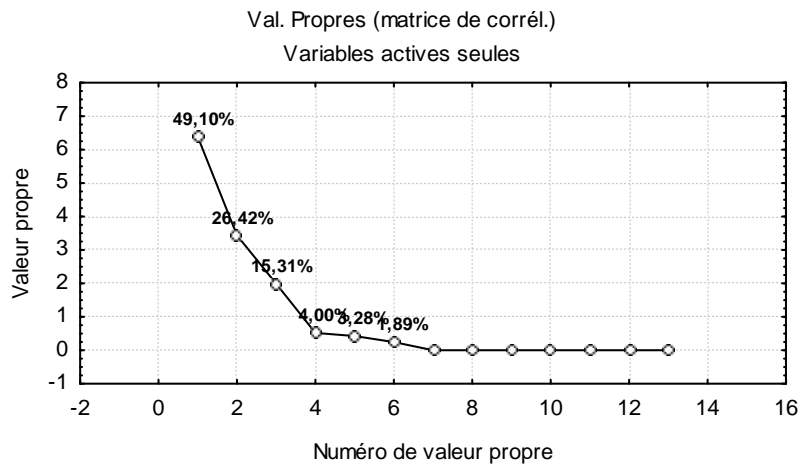


Figure 3 : Représentation graphique des valeurs propres calculées.

Le cercle de corrélation (Figure 4) montre que onze des treize variables prises en compte dans l'ACP contribuent à la définition du plan factoriel F1 x F2, dont la variable structurant positivement F1 est NO3, traduisant une bonne qualité des eaux et une présence importante de formes azotées oxydées (NO3). Alors que celles structurant négativement F1 sont PO4, PT, NH4, NO2, DBO5 et DCO, ces variables décrivent une pollution de type organique et une eutrophisation des milieux aquatiques. Ainsi, l'axe F1 peut être assimilé à un axe traduisant le degré de pollution et d'eutrophisation.

Alors que les variables CE, CL, pH et O2 contribuent avec 74,10% à la formation de l'axe F2, les deux premières variables décrivent généralement la minéralisation des milieux aquatiques alors que les deux autres traduisent la saisonnalité. L'axe F2 pourrait donc être assimilé à un gradient de minéralisation et de saisonnalité.

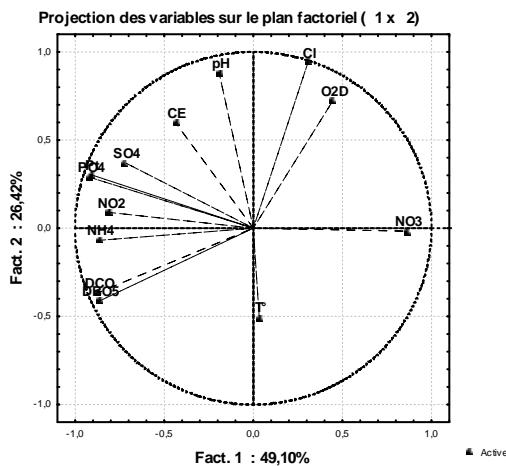


Figure 4 : Représentation des variables sur le plan factoriel F1 et F2.

En se basant sur la carte factorielle F1 x F2 (Figure 5), les résultats de l'ACP montrent que les différentes stations se positionnent (sur F1) selon le degré de la pollution de leurs eaux. Ainsi, les stations d'étude les plus polluées (RJ et M1) se situent du côté négatif de F1, alors que la source Sierni (AS) et la station M4 les moins polluées se situent du côté positif.

A oued Sierni, la station (RJ) est caractérisée par des teneurs élevées en DBO et DCO, assez élevées en PO4, NH4 et NO2, très faible en O2 et en NO3. Traduisant la pollution provenant des rejets de la zone industrielle de Had Soualem. Alors que la station (AS) est riche en NO3, assez riche en O2, très pauvre en en DBO, DCO, PO4, NH4 et NO2. Sur l'axe factoriel F1, la station S prend une position intermédiaire entre RJ et AS illustrant ainsi le brassage des eaux de ces deux stations avec toutefois une nette démarcation pour le facteur thermique.

En revanche, à oued Merzeg la station M1 se distingue comme station très impactée par une pollution domestique puisqu'elle est riche en PO4, NH4 et NO2, et pauvre en O2 provenant des eaux épurées de la STEP de Berrechid. Alors que le positionnement des autres stations de Merzeg (M2, M3 et M5) illustre une amélioration de la qualité des eaux selon un gradient amont-aval.

Signalons enfin que toutes les stations du cours d'eau Merzeg se positionnent du côté positif de la composante F2 et celles de l'affluent Sierni du côté négatif de cet axe. Ce qui permet de dire que les stations de cet affluent sont moins minéralisées que celle de Merzeg.

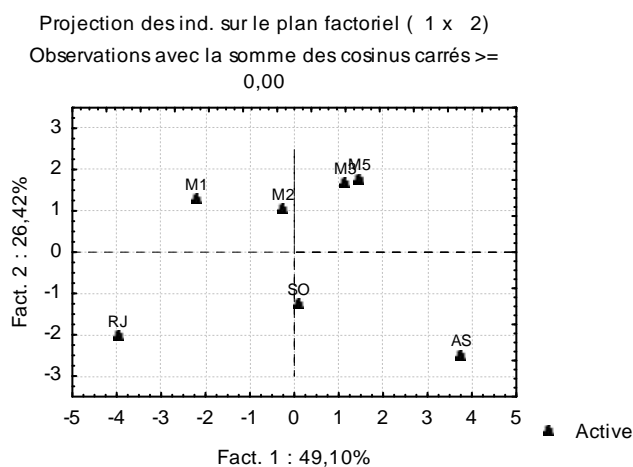


Figure 5: Représentation des stations de prélèvement sur le plan factoriel F1 et F2.

Au terme de cette analyse à l'ACP on peut dire que les stations sont bien typées et donc bien structurées par leurs données physicochimiques: un espace à deux

dimensions était suffisant pour résumer l'essentiel de l'information concernant la variabilité présente dans l'espace initial à 13 dimensions.

Appréciation de la qualité chimique des eaux par l'Indice de Pollution Organique (IPO)

La figure 6, donne le profil amont-aval des valeurs indicielles pour les stations d'étude. Ainsi, on peut remarquer qu'au niveau du cours d'eau Sierni, l'analyse des eaux de la source donne des valeurs de l'IPO variant entre 4,25 et 5 (qualité bonne à excellente) ; cette station montre également le plus faible coefficient de variation témoignant, de ce fait, la stabilité de cette qualité. En revanche, les eaux de la station RJ sont de qualité mauvaise à très mauvaise (IPO entre 1 et 2,75). De tous les coefficients de variation des stations étudiées, celui de la station RJ est le plus élevé ; ceci peut être expliqué par les grandes variations de la charge polluante des rejets de la zone industrielle de Had Soualem. Du brassage des eaux des stations AS et RJ résultent, à la station SO, des eaux de qualité mauvaise à très mauvaise (rarement moyenne). Dans cette dernière station, on peut également remarquer que le coefficient de variation est élevé dénotant l'impact des polluants de la station RJ sur les eaux de la source AS. Alors, qu'au niveau du cours d'eau Merzeg, les eaux de la station M1 ont une qualité mauvaise à très mauvais (IPO entre 1,50 et 2,75) avec un coefficient élevé (21,24%). Il important également de signaler, comme pour la station RJ, que la qualité de ces eaux dépend de la charge polluante résiduelle de la station de traitement des eaux de Berrechid qui peut varier en fonction du temps. Le long du trajet, la qualité des eaux s'améliore suite au phénomène auto-épuration du cours d'eau. Néanmoins, on peut remarquer que cette amélioration reste faible : l'indice IPO n'a atteint la valeur 4,00 que rarement dans les stations M3, M4 et M5. De plus, il faut ajouter que la station M3 (située après la confluence de Merzeg et Sierni) montre coefficient de variation est élevé dénotant l'impact des rejets polluants de la station RJ sur le cours d'eau Merzeg.

Tableau 7: Résultats de l'indice IPO aux oueds Merzeg et Sierni.

	OUED MERZEG				OUED SEIRNI		
Stations	M1	M2	M3	M4	AS	RJ	SO
Max.	2,75	2,75	4,25	4,00	5,00	2,75	3,50
Min.	1,50	2,00	2,25	2,25	4,25	1,00	1,50
IPOmoy.	1,81	2,35	2,90	3,26	4,73	1,90	2,33
Cartographie	rouge	orange	orange	jaune	bleu	rouge	orange
Ecart-type	0,38	0,31	0,63	0,53	0,29	0,55	0,49
Coeff.var. (%)	21,24	13,17	21,64	16,14	6,16	29,12	21,06

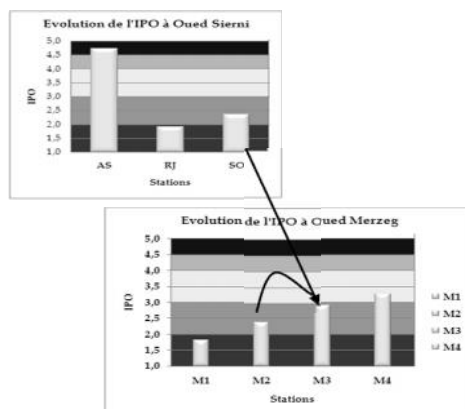


Figure 6 : Evolution de l'indice IPO dans les différentes stations du cours d'eau Merzeg et son affluent Sierni.

CONCLUSION

Le présent travail représente une première contribution à l'étude de la qualité des eaux de l'oued Merzeg (cours d'eau périurbain du Grand Casablanca) et son affluent oued Sierni. Cette étude nous a permis d'évaluer le degré de pollution générée par les rejets de la STEP de Berrechid et de la zone industrielle Had Soualem. Les résultats des analyses physico-chimiques montrent que sur le plan qualitatif, les eaux de ce cours d'eau sont caractérisées par :

Une minéralisation importante, comme en témoignent les valeurs élevées de la conductivité électrique, des chlorures et des sulfates au niveau de toutes les stations du cours d'eau Merzeg. Les concentrations moyennes élevées de ces paramètres traduisent, au niveau de la source Sierni, la dégradation de la nappe phréatique de chaouia côtière. En revanche, au niveau de l'oued Merzeg et de son effluent Sierni, la minéralisation est liée essentiellement à la charge polluante des rejets de la STEP de Berrechid et de la zone industrielle de Had Soualem.

Une forte charge organique, générée par les eaux de la STEP de Berrechid et les rejets liquides de la zone industrielle de Had Soualem. L'impact de ces rejets est visible le long du cours d'eau et les eaux des différentes stations se situent entre les classes de qualité moyenne à très mauvaise.

Sur la base des valeurs du DCO et DBO5, le rapport DCO/DBO5 est de l'ordre de 1,43 ce qui confère aux rejets industriels Had Soualem un caractère de biodégradabilité, permettant ainsi une épuration biologique.

Dans ce cours d'eau, l'indice « IPO » a mis en relief une image classique de l'évolution de la pollution au niveau des différentes stations étudiées où il y a une importante charge organique en M1 et RJ. Cette pollution organique

diminue en aval (sous l'effet auto-épuratoire du cours d'eau) et aboutit à une légère amélioration des eaux.

L'analyse en composante principale, réalisée sur une matrice de données brutes comportant 13 variables physico-chimiques a permis de dégager deux axes principaux qui résument l'essentiel de l'information de cette matrice : l'axe F1 qui peut être assimilé à un axe traduisant le degré de pollution et d'eutrophisation et l'axe F2 qui traduirait un gradient de minéralisation et de la saisonnalité. De même, les stations sont bien typées et donc bien structurées par leurs données physicochimiques.

Ces résultats doivent être misent en profit par des actions visant à préserver ce cours d'eau qui se situe dans une zone connaissant des activités touristique, industrielle et agricole importantes. Ainsi, il faut préserver Ain Sierni qui présente des eaux de qualité très bonne et qui se trouve influencé par les activités anthropiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABOUELOUAFI M., EL HALOUANI H., KHARBOUA M., BERRICHI A. (2002). Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes de la ville d'Oujda: canal principal et Oued Bounaïm, Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc), Vol. 22, N°3, 143-150.
- AFNOR (1999). Recueil de normes françaises : La qualité de l'eau. Tome 4 : 128 p.
- ABHBC. (2004). Agence du Bassin Hydraulique du Bouregreg et de la Chaouia, Etude d'évaluation des eaux de surface de la zone d'action de l'agence du bassin hydraulique du Bouregreg et de la Chaouia, mission 1, 43p.
- BAHROUN S., KHERICI BOUSNOUBRA H. (2011). Evaluation de l'indice de pollution organique dans les eaux naturelles cas de la région d'El Tarf (Nord-Est Algerien), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre, 171-178.
- BELGHITI M.L., CHAHLAOUI A., BENGOUMI A. (2013). Caractéristiques physico-chimique des eaux de certains puits utilisés comme source d'eau potable en milieu rural dans la région de Meknès (Maroc), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, Juin, 21-36.
- BEN MOUSSA A., CHAHLAOUI A., ROUR E. (2013). Changement de la qualité physico-chimique des eaux de l'oued Khoumane au voisinage de la ville de Moulay Idriss Zehroun-Maroc, ScienceLib Editions Mersenne : Volume 5 , N ° 130308 ISSN 2111-4706.
- BENNASSER L. (1997). Diagnose de l'état de l'environnement dans la plaine du Gharb: suivi de la macro-pollution et ses incidences sur la qualité hydrochimique et biologique du bas Sebou. Thèse de doctorat d'état Es Science, Univ. Ibn Tofail; Kenitra, Maroc, 157p.

- BENTOUATI L., BOUZIDI A. (2012). Etude de l'impact du pollution sur oued Bousselam (Wilaya de Setif Nord est de l'Algérie), ScienceLib Editions Mersenne : Volume 4 , N ° 120108, ISSN 2111-4706.
- BERMOND R., VUICHAARD R. (1973). Les paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris, 179p.
- BONTOUX J. (1993). Introduction à l'étude des eaux douces" Qualité et santé". 2 ème édition, Edit. CEBEDOC, 165p.
- BOUTAYEB M. (2012). Etude des performances épuratoires du traitement des eaux usées domestiques par le lagunage naturel dans la région de la Chaouia Ouardigha « Cas des STEPs de Settat, Berrechid, Ben Ahmed, El Gara et Soualem-Sahel », Thèse de Doctorat, FST Settat.
- CHAOUI W., BOUSNOUBRA W., CHAOUI K. (2013). Étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux superficielles et souterraines de la région de Bouchegouf (Nord-Est Algérien), Revue « Nature & Technologie ». C-Sciences de l'Environnement, n° 08.
- Cun C., Vilagines R. (1997). Time series analysis on chlorides, nitrates, ammonium and dissolved oxygen concentrations in the Seine river near Paris. *Sci. Total. Environ*, 208, 59-69.
- DAVIS J.C. (1984). *Statistics and data analysis in geology*. 2e édition, Wiley, New-york, Etats-unis, 550 p.
- DERWICH E., BEZIANE Z., BENAABIDATE L., BELGHYTI D. (2008). Evaluation de la qualité des eaux de surface des Oueds Fès et Sebou utilisées en agriculture maraîchère au Maroc , *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 07, Juin , 59-77.
- EDWARDS A.M.C., THORNES J.B. (1973). Annual cycle in the river water quality: a time series approach. *Water Res.*, 9, 1286-1295.
- EL ADDOULI J., CHAHLAOUI A., BERRAHOU A., CHAFI A., ENNABILI A., KARROUCH L. (2009). Influence des eaux usées, utilisées en irrigation, sur la qualité des eaux de l'Oued Bouishak – région de Meknes (centre-sud du Maroc) , *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* Vol 3, N°1, 56-75.
- EL BLIDI S., FEKHAOUI M., EL ABIDI A., IDRISSE L., BENAZZOU T. (2006). Contamination des rizières de la plaine du Gharb (Maroc) par des métaux traces. *Vecteur environnement*, janvier, 46–53.
- EL MORHIT M., FEKHAOUI M., SERGHINI A., EL BLIDI S., EL ABIDI A., BENNAKAM R., YAHYAOUI A., JBILOU M. (2008). Impact de l'aménagement hydraulique sur la qualité des eaux et des sédiments de l'estuaire du Loukkos (côte atlantique, Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la Terre, N° 30, 39-47.
- EL OUALI LALAMI A., MERZOUKI M., EL HILLALI O., MANIAR S., IBNSOUDA KORAICHI S. (2011). Pollution des eaux de surface de la ville de Fès au Maroc : typologie, origine et conséquences, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre, 55-72.
- FAKHAOUI M. (1990). Recherches hydrobiologiques sur la moyen Sebou soumis aux rejets de la ville de Fès : suivi d'une macro-pollution et

- évaluation des indices sur les composantes physiques, chimiques et biologiques de l'écosystème, Thèse d'état, 173 p.
- FAWZI B., 2002.- Peuplement diatomique du réseau hydrographique de l'Oued Mellah : Composition, structure, autoécologie et indices de qualité. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Ben M'Sik.
- FAWZI B., CHLAIDA M., OUBRAIM S., LOUDIKI M., SABOUR B., BOUZIDI A. (2001). Application de certains indices diatomiques à un cours d'eau marocain : Oued Hassar, Rev. Sci. Eau, 14/1, 73-89.
- FOUAD S., COHEN N., HAJJAMI K., CHLAIDA M. (2013). Qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de l'oued Hassar: impacts des eaux usées de la localité de Mediouna (Périurbain de Casablanca, Maroc), ScienceLib Editions Mersenne : Volume 5 , N ° 130113, ISSN 2111-4706.
- JADAL M., EL AYOUCHE M., BENNASSER L. (2002). Qualité des eaux de l'estuaire de l'oued Om Rbiâ (Maroc) et influence de la dynamique marégraphique. L'eau, l'industrie, les nuisances, 256, 59-66.
- KADRI B., BERRAHOU A., EL HALOUANI H., CHAFI A. (2012). Evaluation de la qualité du cours supérieur de l'Oued Za (Maroc Oriental), ScienceLib Editions Mersenne : Volume 4 , N ° 120709 ISSN 2111-4706.
- KBIBCH A., BELGHYTI D., ELKHARIM K., ELKHOKH K. (2011). Analyse de la pollution de l'oued Mda par les eaux usées domestiques de la ville de souk Elarba du Gharb.Maroc. ScienceLib Editions Mersenne : Volume 3 , N ° 110203, ISSN 2111-4706.
- KOSMALA A. (1998). 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, 189p
- LAMRANI H., CHAHLAOUI A., EL ADDOULI J., ENNABILI A. (2011). Évaluation de la qualité physicochimique et bactériologique de l'oued Boufekrane au voisinage des effluents de la ville de Meknès (Maroc). ScienceLib Éditions Mersenne : Volume 3, N° 111112. ISSN 2111-4706.
- LAMRANI H., CHAHLAOUI A., EL ADDOULI J., ENNABILI A. (2011). Évaluation de la qualité physicochimique et bactériologique de l'oued Boufekrane au voisinage des effluents de la ville de Meknès (Maroc). ScienceLib Éditions Mersenne : Volume 3, N° 111112. ISSN 2111-4706.
- LAMRI D., BELGHYTI D. (2011). Bio-évaluation de la qualité des eaux par application des indices biotiques : Cas de l'Oued Moulouya (Maroc). ScienceLib Editions Mersenne : Vol. 3, N ° 110905, ISSN 2111-4706.
- LECLERCQ L. (2001). Interêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau, Station scientifique des Hautes-Fagnes, Belgique, 75p.
- MAKHOUKH M., SBAA M., BERRAHOU A., VAN CLOOSTER M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). Larhyss Journal, n° 09, 149-169.
- NISBET M., VERNEAUX J. (1970). Composantes chimiques des eaux courantes. Annales de limnologie, t. 6, fasc. 2, 1970, 161-190

- OUBRAIM S. (2002). Qualité physico-chimique et biologique des cours d'eau du réseau hydrographique de la Meseta Occidentale Marocaine : Cas de l'Oued Mellah. Thèse de doctorat d'état. Faculté des Sciences Ben M'Sik.
- PHILIPPEAU G. (1986). Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales. Institut Techniques des Céréales et Fourrages, Paris, 63 p.
- SEEE (2007). 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 (SEEE 2007) : normes marocaines définissant la grille de qualité des eaux de surface.
- TALAMI Z. (1998). Application des méthodes biologiques et chimiques pour la détermination de la qualité des eaux des rivières du haut atlas marocain. Cas des Oueds Tensift, Oukaimeden et Ourika. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Semlalia, 228p.
- ZEROUALI A., LAKFIFI L., LARABI A., AMEZIANE A. (2001). Modélisation de la nappe de Chaouia Côtière (Maroc) First International Conference on Saltwater Intrusion and Costal Aquifers- Monitoring, Modeling, and Management. Essaouira, Morocco, April 23-25.