

# Etude courantologique de la lagune de Oualidia (Maroc) en automne

Karim HILMI, Abdellatif ORBI, Jaouad I. LAKHDAR & Farida SARF\*

Institut National de Recherche Halieutique (INRH), Département d'Océanographie et d'Aquaculture,  
2, Rue Tiznit, Casablanca. e-mail : [hilmi@inrh.org.ma](mailto:hilmi@inrh.org.ma)

\* Actuellement au Département des Pêches Maritimes (MADRPM)

**Résumé.** L'étude courantologique descriptive effectuée durant l'automne 1996 dans la lagune de Oualidia a permis de mettre en évidence que le courant est essentiellement lié à la marée, avec prédominance de la composante semi-diurne (M2) de période 12 h 25 mn. Durant les marées de vives-eaux, le courant a des vitesses moyennes de l'ordre de 0,46 m/s et des vitesses maximales de l'ordre de 0,77 m/s ; le temps de remplissage durant le flux est de 7 h 25 mn et celui de vidange de 5 h durant le reflux. Durant les marées de mortes-eaux, les vitesses du courant sont plus faibles, de l'ordre de 0,1 à 0,2 m/s, et les temps de remplissage et de vidange sont respectivement de 4 h 25 mn durant le flot et de 8 h durant le jusant. La composante longitudinale du courant domine largement sur la composante perpendiculaire qui est non négligeable. La présence d'ondes de haute fréquence (de période  $T \leq 25$  h) dans les enregistrements du courant est attribuable aux oscillations inertielles du courant ( $T \approx 23$  h) qui sont en rapport avec l'influence du vent, la marée semi-diurne M2 et les sous-harmoniques de la marée semi-diurne ( $T \leq 6$  h 15 mn). Ces dernières sont dues à la distorsion de l'onde de marée M2 en eaux peu profondes.

**Mots-clés :** Maroc, Atlantique, lagune de Oualidia, courant, marée, flot, jusant.

## Study of the Oualidia lagoon current (Morocco) in Autumn

**Abstract.** Measurements of current were undertaken to examine some physical processes in Oualidia lagoon during the Autumn of 1996. The lagoon's circulation is tide dominated with a dominant tide-driven bidirectional flow (ebb and flood). During the spring periods, the mean current velocity is about 0.46 m/s and reaches 0.77 m/s ; flood period is about 7 h 25 min and ebb period is about 5 h. During the neap periods, current velocities are between 0.1 to 0.2 m/s ; flood and ebb periods are respectively 4 h 25 min and 8 h. The longitudinal component of current is more dominant than the transversal component of current which is not negligible. Presence of high frequency waves (with period lower than 25 h) in the current records can be attributed to inertial oscillations ( $T \approx 23$  h), related to the influence of wind, semi-diurnal tide M2 ( $T=12$  h 25 min) and sub-harmonics of M2 ( $T \leq 6$  h 15 mn). The latter are due to distorsion of tide waves M2 in shallow waters.

**Key-word:** Morocco, Atlantic, Oualidia lagoon, current, tide, flood, ebb.

## INTRODUCTION

Située entre El Jadida et Safi, la lagune de Oualidia est l'un des sites au Maroc où l'ostréiculture s'est développée de manière artisanale depuis les années 1950. Compte tenu de l'importance de cette lagune sur les plans économique et touristique, une meilleure connaissance de son écosystème s'avère nécessaire afin d'améliorer et de rationaliser la gestion des ressources aquacoles de ce site (Rharbi *et al.* 2001). Cette lagune a fait l'objet de nombreux travaux portant sur les aspects biologiques et hydrologiques (Beaubrun 1976, Orbi *et al.* 1998, Rharbi *et al.* 2001), géologiques et sédimentologiques (Carruesco 1989, Sarf 1999) ainsi que sur la qualité et la salubrité du milieu marin (Chafik *et al.* 1996, El Attar 1998, Bennouna 1999). En revanche, les études portant sur la courantologie de cette lagune sont peu nombreuses (Beaubrun 1976, Carruesco 1989, Hilmi 2005, Hilmi *et al.* 2005). L'objectif de cette étude vise à décrire le courant et permettre de mieux cerner quelques aspects des processus hydrodynamiques dans la lagune de Oualidia à moyenne échelle (de quelques heures à quelques jours).

## MATERIEL ET METHODES

La lagune de Oualidia s'inscrit dans un domaine de 7 km de long sur 0,4 à 0,5 km de large et sa superficie totale est évaluée à 3 km<sup>2</sup> (Beaubrun 1976). De l'aval vers l'amont de la lagune, trois domaines y sont distingués (Carruesco 1989) :

– une passe principale de 150 m de large environ, permanente et active toute l'année, et une passe secondaire

de 50 m de large, active uniquement en période des marées de vives-eaux ; ces deux passes assurent à la lagune une communication continue avec l'Océan Atlantique ;

– un chenal principal dont la profondeur maximale ne dépasse pas 5-6 m, les chenaux secondaires (de profondeur maximale 1 à 1,5 m), les zones intertidales et les schorres envahis par une végétation halophyte ;

– une digue artificielle séparant la lagune des marais salants.

Dans le but d'étudier la courantologie de cette lagune, une campagne de mesures a été effectuée par l'Institut National de Recherche Halieutique (INRH) durant l'automne 1996, du 24 octobre au 04 novembre 1996, soit sur une période de 12 jours. Elle a précédé de quelques jours le "pic" de la marée des vives-eaux s'est étendue jusqu'au début de la marée des mortes-eaux. Trois courantomètres Aanderaa (RCM7) ont été installés à trois stations de la lagune de Oualidia (Fig. 1). Compte tenu des dimensions des appareils, les mouillages ont été effectués au niveau des stations où une profondeur minimale de 1,5 m était requise par rapport au niveau de la basse mer. Ces trois stations, approximativement distantes les unes des autres de 0,5 à 2 km, sont respectivement situées, de l'aval vers l'amont de la lagune, en retrait du Palais Royal (station PR en aval de la lagune), au niveau du parc ostréicole 07 (station P7 au milieu de la lagune) et au niveau du parc à huîtres 10 (station P10 vers l'amont de la lagune) (Fig. 1). Durant la période d'observation, les trois courantomètres ont enregistré simultanément : température de l'eau (°C), conductivité de l'eau (mmho/cm), salinité (psu), pression de l'eau (kg/cm<sup>2</sup>), vitesse (m/s) et direction du

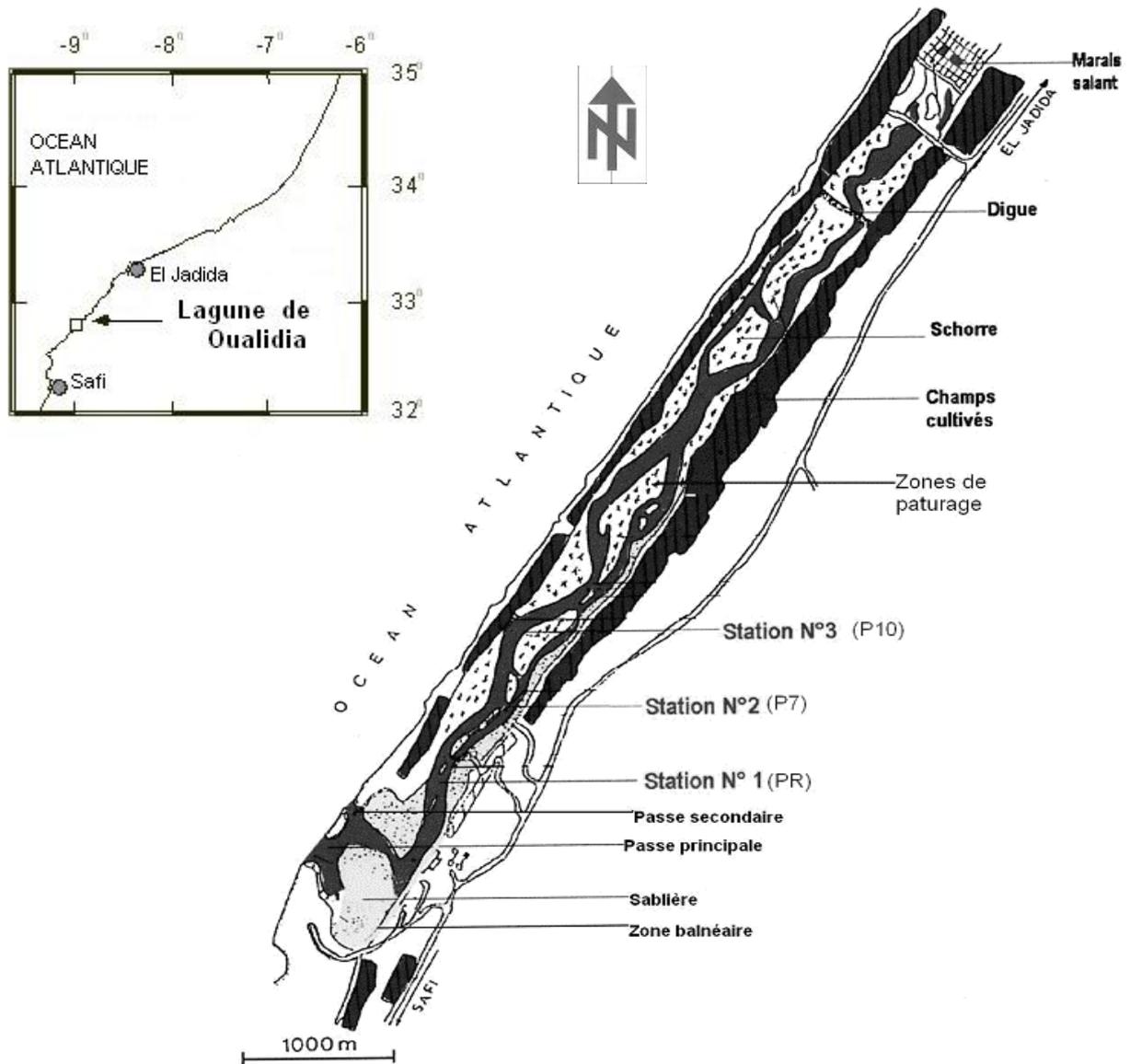


Figure 1. Morphologie de la lagune de Oualidia et position des stations d'études courantologiques n°1 (PR), n° 2 (P7) et n°3 (P10) du 24 octobre au 4 novembre 1996.

courant (en degrés), à raison d'une mesure toutes les trente minutes. La densité de l'eau de mer ( $\text{kg/m}^3$ ) a été déterminée conformément aux équations établies par l'UNESCO (1981). La vitesse et la direction du courant ont été exprimées par rapport à l'axe du chenal principal et à l'axe perpendiculaire du chenal de la lagune selon les équations suivantes (Hilmi 2005) :

$$U' = U\cos(\theta) + V\sin(\theta) \quad (1)$$

et 
$$V' = -U\sin(\theta) + V\cos(\theta) \quad (2)$$

où :  $U'$  est la composante axiale du courant (dans l'axe du chenal principal),  $V'$  est la composante perpendiculaire du courant (dans l'axe perpendiculaire au chenal principal).  $U$  est la composante du courant dans la direction Est-Ouest,  $V$  est la composante du courant dans la direction Nord-Sud et  $\theta$  est la direction du courant par rapport au Nord géographique (dans le sens horaire). Les séries temporelles

du courant (composantes axiale et perpendiculaire) ont été soumises à l'analyse spectrale afin d'identifier les composantes d'origine tidale et non tidale présentes dans les enregistrements du courant et d'évaluer le contenu énergétique d'une série selon différentes bandes de fréquence (Bendat & Piersol 1986). Calculées initialement à un intervalle de 30 min, ces composantes ont préalablement été lissées par un filtre passe-bas, afin d'éliminer les fluctuations de périodes inférieures aux trois heures (Godin 1972).

## RESULTATS ET DISCUSSION

### Courantologie

Les résultats sont présentés pour la station P10 où nous avons disposé de plus de mesures comparativement aux autres stations (Fig. 2). Des vitesses du courant quasi-nulles

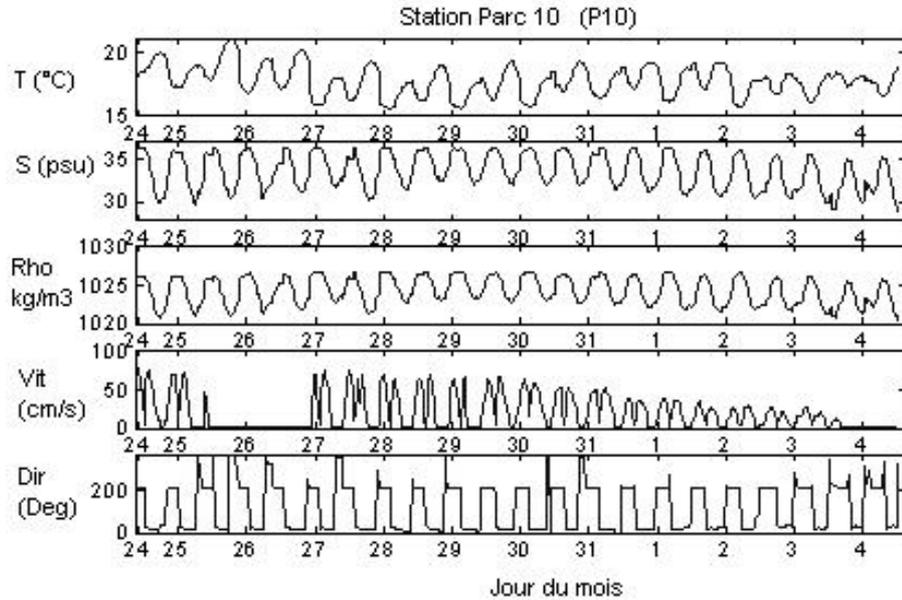


Figure 2. Paramètres instantanés de la température, salinité, densité de l'eau, vitesse et direction du courant observés à la station P10 dans la lagune de Oualidia du 24 octobre au 4 Novembre 1996.

ont été enregistrées entre le 25 et le 27 Octobre 1996 (Figure 2), résultant de l'immobilisation des rotors des courantomètres suite à l'accumulation d'algues dérivantes. Les enregistrements du courant montrent que les vitesses sont maximales pendant les jusants et durant les périodes des marées de vives-eaux (de l'ordre de 0,77 m/s) et décroissent progressivement jusqu'à des valeurs plus faibles en mortes-eaux (de l'ordre de 0,20 à 0,30 m/s). Le courant de flot atteint généralement cette station avec une direction comprise entre 20° et 30° par rapport au Nord géographique tandis que le courant de jusant a une direction opposée, entre 200° et 210°. De manière générale, les courants dans la lagune sont essentiellement des courants de marée, avec prédominance de la composante semi-diurne M2 (de période 12 h 25 mn). Par ailleurs, la composante axiale du courant domine largement sur la composante transversale, en raison de la dominance du courant dans l'axe principal du chenal. A la station P10, les vitesses de la composante axiale du courant fluctuent entre -0,76 et 0,77 m/s tandis que celles de la composante perpendiculaire, plus faibles, fluctuent entre -0,03 et 0,1 m/s. Ces résultats sont confirmés par l'analyse spectrale qui a été élaborée sur ces deux composantes du courant (Fig. 3). Elle montre que la composante axiale du courant présente plus d'énergie que la composante perpendiculaire, en raison de sa dominance dans toute la lagune. Les résultats de cette analyse révèlent également la dominance de la marée semi-diurne M2 et des sous harmoniques de la marée semi-diurne : M3, M4 et M6 (de périodes inférieures à 10 h). Ces dernières sous-harmoniques, dites "composantes d'ordres supérieurs", se manifestent généralement dans les eaux peu profondes (estuaires, baies, lagunes...) où l'onde de marée en provenance de l'océan Atlantique subit des distorsions au sein de la lagune en fonction de la topographie et de la faible bathymétrie (Hilmi 2005). On note aussi un niveau d'énergie cinétique relativement élevé proche de la période

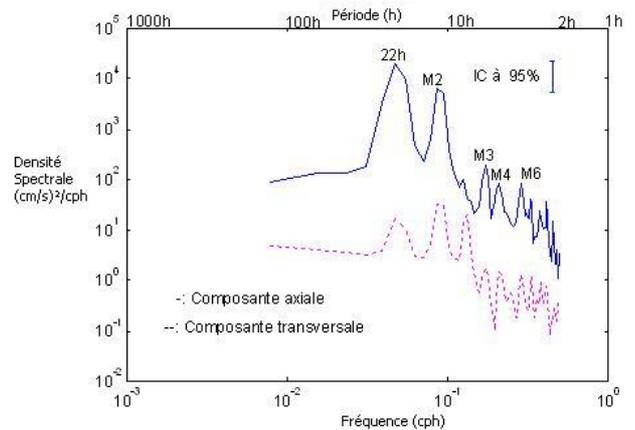


Figure 3 : Analyse spectrale univariée des composantes du courant à la station P10 dans la lagune de Oualidia du 24 Octobre au 04 Novembre 1996. L'intervalle de confiance (IC) à 95 % est calculé pour 8 degrés de liberté. M2 représente l'onde de marée semi-diurne (de période  $T = 12$  h 25 mn) et M3, M4, M6 (de périodes inférieures à 10 h) représentent les sous harmoniques de M2 en eaux peu profondes

diurne (24 h) (Fig. 3). Cette énergie devrait être associée aux harmoniques diurnes de la marée K1, O1 ou P1. Or, la marée le long de la côte atlantique marocaine est de type semi-diurne (M2). Il est probable que cette énergie soit associée aux oscillations inertielles qui se manifestent dans la zone côtière atlantique adjacente à l'embouchure de la lagune. La période inertielle  $\tau = 2\pi / f$  (Forrester 1983), où  $f$  est le paramètre de Coriolis à la latitude de la lagune, se situe aux alentours de 22 h 10 mn. L'oscillation "diurne" isolée par l'analyse spectrale pourrait donc être associée aux oscillations inertielles du courant dans la zone côtière atlantique, dues à l'influence des vents.

Tableau I. Durée (T) et vitesse moyenne (V) du flot (f) et du jusant (j) dans la lagune de Oualidia durant les marées de vives-eaux, intermédiaires et de mortes-eaux, du 24 octobre au 04 novembre 1996.

Type de marée	Paramètres	Station PR	Station P7	Station P10
Marée de vives-eaux (27 octobre 1996)	Tf (h)	4 h 25	5 h 25	7 h 25
	Tj (h)	8 h	7,00	5 h
Marée intermédiaire (31 octobre 1996)	Vf (m/s)	-	-	0.56
	Vj (m/s)	-	-	0.52
Marée intermédiaire (31 octobre 1996)	Tf (h)	4h 25	5 h 25	7 h 25
	Tj (h)	8 h	7 h	5.00
Marée de mortes-eaux (3 novembre 1996)	Vf (m/s)	0,24	0,26	0.38
	Vj (m/s)	0,16	0,22	0.35
Marée de mortes-eaux (3 novembre 1996)	Tf (h)	4 h 25	5 h 25	5 h
	Tj (h)	8 h	7 h	7 h 25
Marée de mortes-eaux (3 novembre 1996)	Vf (m/s)	0,16	-	0.15
	Vj (m/s)	0,10	-	0.14

(-) Données manquantes sur la période d'observation.

### Déplacement de la marée

Le tableau I présente les vitesses moyennes des courants, leurs durées et le déplacement du flot (f) et du jusant (j), aux trois stations de mesure, lors d'une marée de vives-eaux (27 octobre 1996), une marée intermédiaire (31 octobre 1996) et une marée de mortes-eaux (3 novembre 1996). La durée du jusant excède généralement celle du flot aux stations PR, P7 pour toutes les marées, à l'exception de la station P10 où les durées s'inversent en périodes de marées de vives-eaux et de mortes-eaux. Ces différences de durée entre le flot et le jusant et entre l'aval et l'amont de la lagune ont été interprétées en fonction de la topographie complexe de la lagune et de la présence de chenaux secondaires et de schorres en amont de la lagune. En revanche, les vitesses moyennes des courants de flot aux trois stations sont légèrement supérieures à celles des courants de jusant pour toutes les marées et les plus grandes vitesses sont observées en aval tout comme les plus grands déplacements résiduels. En nous basant sur les durées et vitesses des flots et des jusants, ces derniers seraient estimés vers l'aval à la station PR, nul à la station P7, et vers l'amont à la station P10 en marées intermédiaires et de vives-eaux. Le déplacement résiduel vers l'amont à la station P10 pourrait être lié, entre autres, à la soustraction d'un volume d'eau à chaque marée haute au niveau de la digue en amont pour alimenter les marais salants derrière la digue artificielle. Par ailleurs, les vitesses moyennes observées lors de cette campagne de mesures sont supérieures à celles rapportées par Carruesco (1989) ce qui serait du éventuellement à l'augmentation de la superficie du delta de marée interne au cours des années (Sarf 1999). La diminution correspondante de la surface mouillée du chenal principal a pour effet d'augmenter la vitesse des courants dans le chenal principal de la lagune.

### CONCLUSION

L'étude courantologique réalisée dans la lagune de Oualidia en automne 1996 a montré que les courants sont essentiellement des courants de marée, avec la

prédominance de la composante semi-diurne M2 (de période 12 h 25). En périodes de marées de vives-eaux, les vitesses maximales observées sont de l'ordre de 0,77 m/s ; le temps de remplissage durant le flux est de 7 h 25 min et celui de la vidange de 5 h durant le reflux. En périodes de marées de mortes-eaux, les vitesses du courant sont plus faibles et de l'ordre de 0,1 à 0,2 m.s<sup>-1</sup>. Le temps de remplissage est de 4 h 25 min durant le flot et le temps de vidange de 8 h durant le jusant. Toutefois, ces temps de remplissage et de vidange diffèrent de l'aval vers l'amont de la lagune et sont liés à la topographie complexe de la lagune et à la présence de chenaux secondaires et des schorres en amont. On note aussi la présence dans les enregistrements du courant les oscillations inertielles du courant et la distorsion de l'onde de marée semi dirune M2 en eaux peu profondes.

### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le personnel des parcs ostréicoles 03 et 07 de la lagune de Oualidia, les collègues de l'INRH (J. El Attar et B. Moutaki) pour leur appui à la campagne de terrain de 1996, et les deux évaluateurs anonymes pour leurs commentaires.

### Références

- Beaubrun P.C. 1976. Les huîtres au Maroc et l'ostréiculture dans la lagune de Oualidia. *Bull. Inst. Pêches Maritimes*, Casablanca, 22, 13-143.
- Bendat J-S. & Piersol A.G. 1986. *Random data: analysis and measurement procedures (second edition, revised and expanded)*. John Wiley & Sons (Eds), New York, 566 p.
- Bennouna A. 1999. *Etude du phytoplancton nuisible et de son environnement dans la lagune de Oualidia et de Sidi Moussa (Maroc)*. Thèse de Doctorat 3<sup>ème</sup> Cycle, Faculté des Sciences, El Jadida, 153 p.
- Chafik A., Cheggour M., Rharbi N. & Bouhallaoui A. 1996. Evaluation de la salubrité de la lagune de Oualidia : étude de la contamination métallique de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. *Travaux et Documents INRH*, N° 93, Institut National de Recherche Halieutique, Maroc.
- Carruesco Ch. 1989. *Genèse et évolution à l'holocène de trois lagunes de la façade atlantique : Moulay*

- Bousselham, *Oualidia (Maroc) et Arcachon (France)*. Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Bordeaux I, 485 p.
- El Attar J. 1998. *Contribution à la détermination de l'origine de la contamination fécale dans la lagune de Oualidia (Maroc) et étude de la contamination bactériologique de l'huître « Crassostera Gigas » en conditions naturelles et expérimentales*. Thèse de 3<sup>ème</sup> Cycle, Faculté des Sciences, El Jadida, 124 p.
- Godin G. 1972. *The analysis of tides*. University of Toronto Press, 264 p.
- Foreman M.G.G. 1978. Manual for tidal currents analysis and prediction. *Pacific Marine Report*, 78-6, 70 p.
- Forrester W.D. 1983. Manuel canadien des marées. *Ministère des Pêches et des Océans, Service Hydrographique du Canada*, Ottawa (Ontario), 148 p.
- Hilmi K. 2005. *Modélisation numérique de la circulation de deux milieux paraliqes du littoral marocain: la lagune de Oualidia (Atlantique) et la lagune de Nador (Méditerranée)*. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de Ben M'Sick, Casablanca, 183 p.
- Hilmi K., Koutitonsky V.G., Orbi A., Lakhdar J.I. & Chagdali M. 2005. Oualidia lagoon: an estuary without a river. *Afr. J. Aquatic Sci.*, 30, 1, 1-10.
- Orbi A., Hilmi K., Larissi J., Zidane H., Zizah S., El Moussaoui N., Lakhdar J.I. & Sarf F. 1998. Hydrologie et hydrodynamique des côtes marocaines : milieux paraliqes et zones côtières. *Commissariat général Expo'98*, Lisbonne, 68 p.
- Rharbi N., Ramdani M., Berraho Ab. & Lakhdar J.I. 2001. Caractéristiques hydrologiques et écologiques de la lagune de Oualidia : milieu paraliqes de la côte atlantique marocaine. *Marine Life*, 11, 1-2, 3-9.
- Sarf F. 1999. *Dynamique sédimentaire et état de pollution de la lagune de Oualidia*. Thèse de 3<sup>ème</sup> Cycle, Faculté des Sciences, Rabat, 121 p.
- UNESCO 1981. Background papers and supporting data on the international equation of state of sea water 1980. UNESCO Technical Papers, Marine Sciences, 38, 191 p.

*Manuscrit reçu le 24 novembre 2004*

*Version modifiée acceptée le 26 décembre 2005*