

# Hydrodynamisme de la lagune de Oualidia (Maroc) durant l'été et l'automne 2005

Karim HILMI, Abdellatif ORBI & Jaouad LAKHDAR IDRISSE

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

**Résumé.** Dans le but d'étudier les caractéristiques hydrodynamiques de la lagune de Oualidia ( $32^{\circ}45'N$ ;  $9^{\circ}3'W$ ), les paramètres du courant, de la marée, de la température et de la salinité de l'eau, mesurés dans 5 stations de la lagune, ont été étudiés durant l'été et l'automne 2005. La marée dominante dans la lagune est de type semi-diurne (M2 de période 12,42 h) et les courants observés dans la lagune sont des courants de marée asymétriques, à dominance de flot en aval de la lagune et de jusant en amont de la lagune. Les températures et les salinités mesurées sont dépendantes des cycles de marée et de courant (flot et jusant) et indiquent une nette influence des eaux marines en aval de la lagune et une diminution de la salinité vers l'amont en raison de la présence de nombreuses sources d'eau douce d'origine continentale et de résurgences d'eaux douces sous-marines au sein de la lagune qui y jouent un rôle hydrologique dominant.

**Mots-clés:** Atlantique, Oualidia, lagune, Maroc, courant, marée, résurgences d'eaux douces sous-marines.

## Hydrodynamics of the Oualidia lagoon (Morocco).

**Abstract.** In order to study the hydrodynamics of Oualidia lagoon ( $32^{\circ}45'N$ ;  $9^{\circ}3'W$ ), the parameters of current, tide, temperature and salinity were investigated continuously at 5 stations of the lagoon during summer and spring 2005. The dominant tide is M2 (period 12.42 h) and the tidal current inside the lagoon is asymmetric, with dominant flood downstream the lagoon and dominant ebb upstream. Temperature and salinity indicate a clear influence of tide and current (flood and ebb) where marine water influence downstream of the lagoon and the salinity is reduced progressively upstream, due to continental/underground freshwater seepages inside the lagoon which play a dominant hydrological role.

**Key-words:** Atlantic, Oualidia, lagoon, Morocco, tide, current, T/S, underground freshwater seepages.

## INTRODUCTION

La lagune de Oualidia ( $32^{\circ}45'N$ ;  $9^{\circ}3'W$ ), située sur la façade atlantique entre El Jadida et Safi (Fig. 1), est l'un des sites littoraux au Maroc où se développent plusieurs activités à caractère socio-économique dont l'ostréiculture. De par son importance pour la région, cette lagune a fait l'objet de diverses études sédimentologiques et biogéologiques (Bidet & Carruesco 1981, Carruesco 1989, Sarf 1999, ...), biologiques (Bennouna 1999, Bennouna *et al.* 2002; Ouledessaïb 1997, ...); de surveillance des polluants (El Attar 1998, Cheggour *et al.* 1999, ...); et de conchyliculture (Berraho 1998, Shafee & Sabatie 1986, Rharbi *et al.* 2003, ...), mais celles portant sur les aspects hydrodynamiques et hydrologiques sont récentes mais peu nombreuses (Rharbi *et al.* 2001, Hilmi 2005, Hilmi *et al.* 2005a&b, 2008, Koutitonsky *et al.* 2006, Orbi *et al.* 2008). L'objectif de cette étude est de contribuer à la compréhension de l'hydrodynamique de la lagune de Oualidia, en décrivant les paramètres du niveau d'eau, du courant, de la température et de la salinité, mesurés de juillet à octobre 2005 dans cinq stations d'observation réparties le long de la lagune. Comparativement aux travaux similaires antérieurs sur cette lagune, la particularité de cette campagne de mesures est qu'elle a porté, d'une part, sur plusieurs stations de mesures réparties de l'aval (passe d'entrée principale) à l'amont (digue artificielle) de la lagune, mesurant en continu sur plusieurs cycles, les paramètres hydrodynamiques de la lagune mentionnés auparavant; d'autre part, cette campagne de mesures concerne aussi l'observation du niveau d'eau, jamais mesuré auparavant au sein ou au voisinage de la lagune.

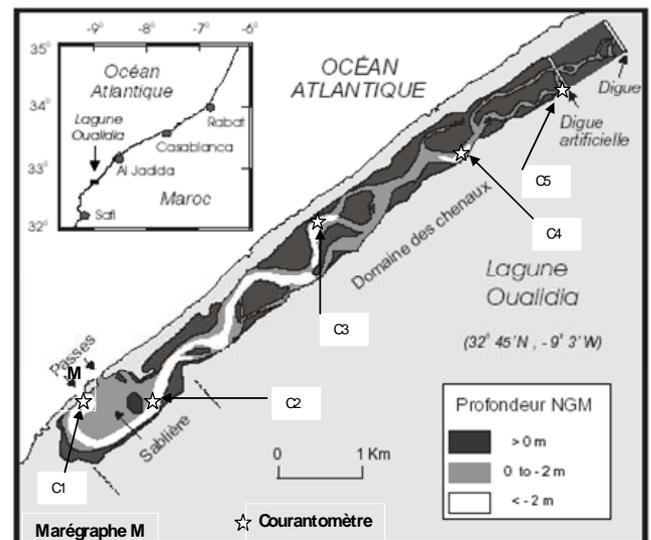


Figure 1. La lagune de Oualidia ( $32^{\circ}45'N$ ,  $-9^{\circ}3'W$ ) et localisation des stations de mesures courantologiques durant l'été et l'automne 2005 (adapté de Koutitonsky *et al.* 2006).

## MATERIEL ET METHODES

Pour la réalisation de cette étude, cinq courantomètres Aanderaa RCM9/RCM 7 ont été installés en surface durant l'été et l'automne 2005 à cinq stations de mesures réparties le long du chenal principal de la lagune, de l'aval (en retrait de la passe d'entrée principale) vers l'amont de la lagune (digue artificielle). Ces appareils permettent de mesurer simultanément plusieurs paramètres du milieu, tels que la température ( $^{\circ}C$ ), la salinité (psu) et la vitesse et la direction

Tableau I. Localisation des stations de mouillage dans la lagune de Oualidia lors de la campagne de mesures d'été et d'automne 2005.

| Station | Type Appareil | Coordonnées |         | Pas Enregist | Dates Enregistrement |          | D (km) |
|---------|---------------|-------------|---------|--------------|----------------------|----------|--------|
|         |               | Lat. (N)    | Long. W |              | Début                | Fin      |        |
| M       | WLR7          | 32°44       | 09°02   | 20 mn        | 24/07/05             | 22/12/05 | -      |
| C1      | RCM 9         | 32°44'      | 09°00'  | 20 mn        | 06/07/05             | 06/08/05 | 0.2    |
| C2      | RCM 9         | 32°44'      | 09°02'  | 20 mn        | 06/07/05             | 13/10/05 | 1      |
| C3      | RCM 7         | 32°45'      | 09°00'  | 20 mn        | 06/07/05             | 13/10/05 | 4      |
| C4      | RCM 7         | 32°46'      | 09°00'  | 20 mn        | 06/07/05             | 13/07/05 | 6      |
| C5      | RCM7          | 32°46'      | 08°58'  | 20 mn        | 08/07/05             | 13/10/05 | 8      |

D : distance approximative par rapport à la passe d'entrée principale

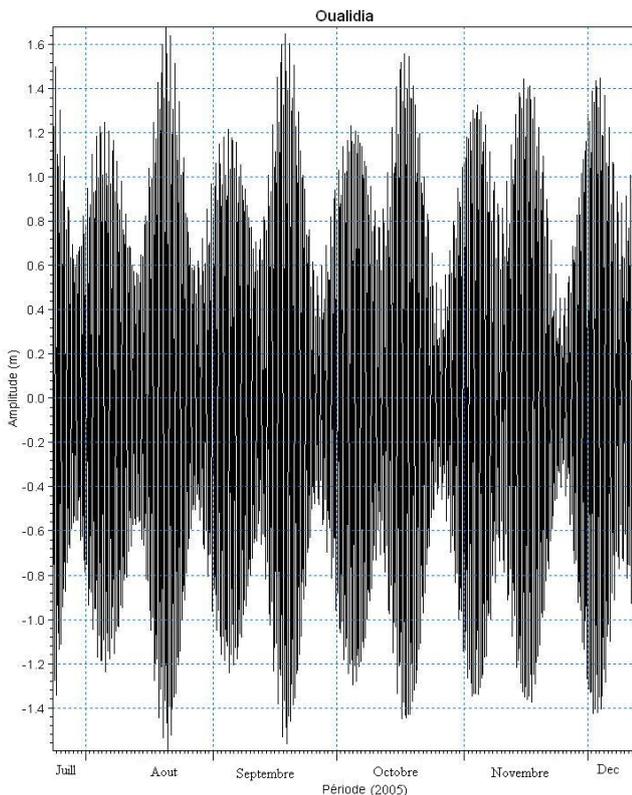


Figure 2. Marée observée à l'extérieur de la passe d'entrée de la lagune de Oualidia (station M) sur la période juillet-décembre 2005 (d'après Hilmi *et al.* 2008).

du courant. Pour les mesures du niveau d'eau, un marégraphe Aanderaa WLR7 a été installé pendant la même période d'observation à l'extérieur de la passe d'entrée de la lagune (Fig. 1 et Tab. I). Enregistrés en continu à un pas de 20 mn pendant la période d'observation précitée, les séries temporelles des différents paramètres mesurés ont été préalablement lissées (Godin 1972), afin d'en éliminer les fluctuations de périodes inférieures à 3 h.

## RESULTATS

### Marée

Les hauteurs de marée mesurées à la station M située à l'extérieur de la lagune (Fig. 1) au cours de la période du 24 juillet au 12 décembre 2005 sont présentées dans la figure

2. L'amplitude dépasse 1,8 m en période de marée de vives-eaux et est inférieure à 0,3 m en période de marée de mortes-eaux (Hilmi *et al.* 2008). L'analyse harmonique (Pawlowicz 2002) montre que la marée M2 (période = 12,42 h) domine largement au sein de la lagune. Le facteur  $F$  (ou «Form Number», Pond and Pickard 1983, Pugh, 1987) :

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$$

qui représente le rapport des amplitudes des composantes diurnes  $O_1$  et  $K_1$  à celles semi-diurnes  $M_2$  et  $S_2$  est inférieur à 0,25 (Hilmi 2005), ce qui dénote clairement le caractère semi-diurne de la marée à l'extérieur de la lagune de Oualidia et, d'une manière générale, le long de la côte atlantique et méditerranéenne marocaine (Orbi *et al.* 1998).

### Paramètres du courant

La figure 3 représente les rosaces du courant observé aux stations de mesures C1 à C5. Les directions des courants oscillent de 180° entre le flot et le jusant et s'alignent selon l'axe du chenal principal de la lagune. Les courants les plus forts, enregistrés durant les marées de vives-eaux, sont respectivement de l'ordre de 1,25 m.s<sup>-1</sup> à la station C1; 1,05 m.s<sup>-1</sup> à la station C2; 0,40 m.s<sup>-1</sup> à la station C3; 0,35 m.s<sup>-1</sup> à la station C4; et 1.10 m.s<sup>-1</sup> à la station C5. En période de marées de mortes-eaux, les vitesses du courant observées dans les cinq stations de la lagune diminuent et fluctuent généralement entre 0,1 à 0,2 m.s<sup>-1</sup> (Fig. 3). Le courant observé à la station C5 (digue artificielle) se trouve particulièrement intensifié en période de marée de vives-eaux comparativement aux autres stations de mesures, compte tenu des dimensions très réduites de cette digue artificielle (brèche de dimension de 200 m<sup>2</sup> environ) jouant le rôle d'un canal à dimensions réduites.

D'une manière générale, une forte asymétrie des courants est observée dans la lagune où, dans la partie aval (stations C1 et C2), ce sont généralement les courants de flot qui dominent avec une durée de 7 h 40 mn approximativement. Dans la partie amont (stations C3 à C5) et en raison de la forte courbure du chenal principal et à la présence de nombreux chenaux secondaires, ce sont généralement les courants de jusant qui dominent avec des durées variant entre 5 h 25 mn et 6 h 25 mn.

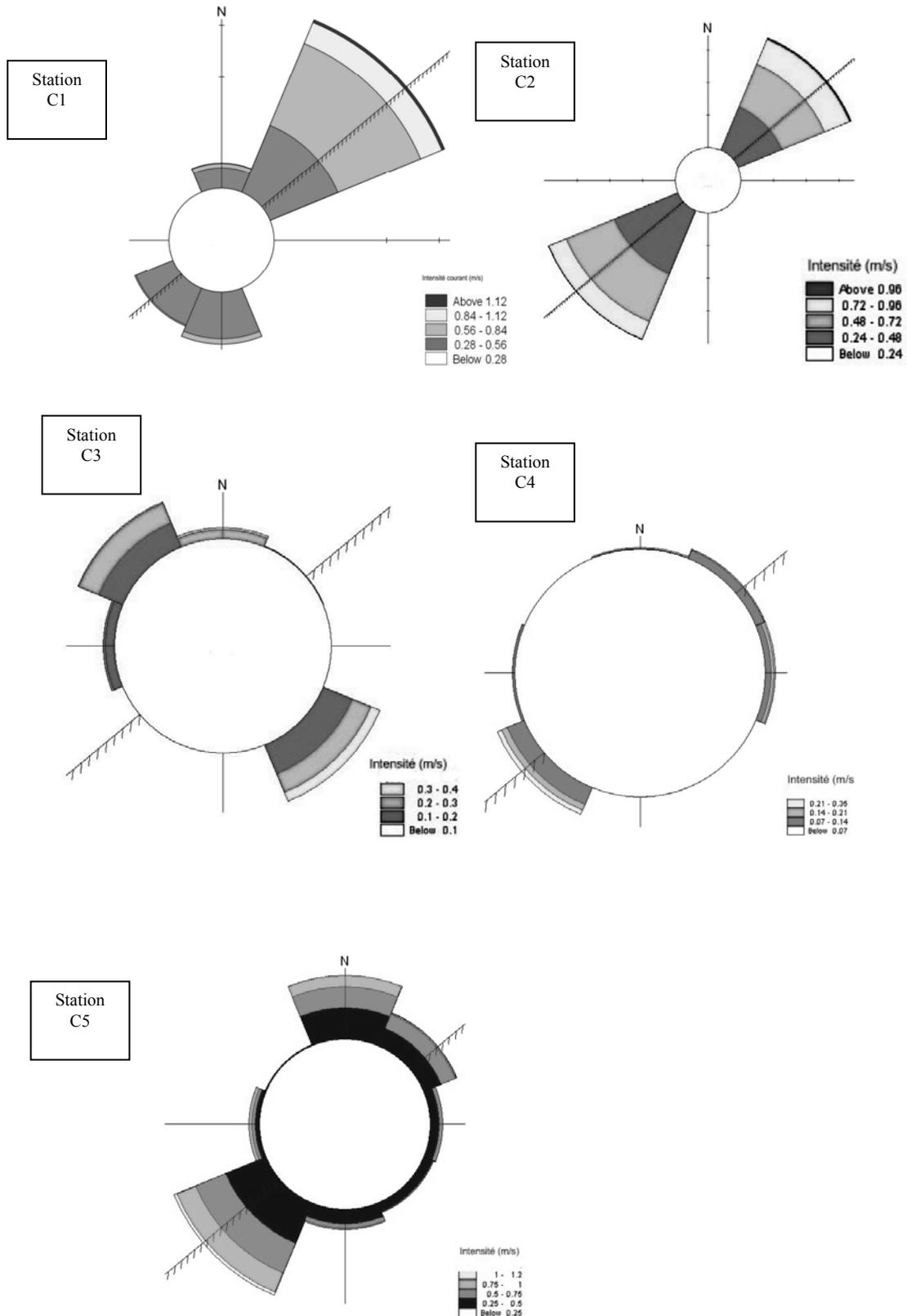


Figure 3. Rosaces du courant observés aux stations C1, C2, C3, C4 et C5 de la lagune de Oualidia sur la période juillet-octobre 2005.

### Diagrammes température-salinité

Les diagrammes température-salinité permettent de caractériser les masses d'eau existantes, leurs origines et le type de mélange entre elles. Afin de mieux interpréter les

résultats en fonction des cycles de marée, les séries temporelles filtrées de la température/salinité, correspondant aux courants de flot et de jusant sont représentées par des symboles différents (Fig. 4).

Dans la station C1 et compte tenu de sa proximité à la

passé d'entrée principale (0,2 km environ), il y a une nette influence des eaux marines dont les températures varient entre 15° et 22°C, valeurs représentatives d'une zone d'upwelling estival (Makaoui *et al.* 2005). Les salinités fluctuent entre 28 et 36 psu en fonction des cycles de courant (flot et jusant).

La station C2, située à 1 km de la passe d'entrée principale (Tab. I), présente également des températures d'origine marine avec des valeurs de 15° à 25°C légèrement supérieures à celles observées dans la station C1, en raison des échanges entre les eaux marines et celles de la lagune. Sur le plan de la salinité, une nette diminution a été observée à partir du début de l'automne 2005, liée à l'influence des sources d'eau douce situées sur la rive continentale, entre le «Palais Royal» et le parc ostréicole «Parc 01». Les températures de ces sources d'eau douce continentale varient de 21°C à 22,7 °C et les salinités de 2 à 10 psu, mesurées à marée basse en juillet 2005 (Hilmi 2005). Certaines sources sont isolées et présentent un faible débit mais d'autres, situées côte à côte, présentent un débit relativement fort et, en se déversant directement dans la lagune, contribuent ainsi au changement de ses caractéristiques hydrologiques. Notons que la lagune de Oualidia se situe dans une région à climat semi aride (Source DMN-Maroc) et que, durant la période de mesures, les précipitations sont quasi nulles en été et faibles en automne 2005.

Dans les stations C3 et C4, situées respectivement à 4 et 6 km par rapport à la passe d'entrée, les températures observées (de 15° à 29°C) sont supérieures à celles enregistrées dans les stations C1 et C2, soulignant ainsi les échanges des eaux d'origine marine avec celles de la lagune. La diminution relative de la salinité observée à la station C3, se dissipe relativement à la station C4 (Fig. 4), lors de l'excursion de la marée.

La station C5 située à la digue artificielle de la lagune (Fig. 1), se distingue par des températures allant de 21° à 32°C, plus élevées par rapport aux autres stations en raison de la faible profondeur (environ 2 m à marée haute). Située à 8 km environ de la passe d'entrée, les basses températures observées montrent clairement l'intrusion et l'excursion de la marée lors des flots en cette partie amont. Les très faibles valeurs de la salinité fluctuant entre 4 et 31 psu (Fig. 4) dénotent clairement la présence de nombreuses résurgences d'eaux douces sous-marines situées dans cette partie amont de la lagune (Hilmi 2005, Hilmi *et al.* 2005a)

## DISCUSSION

La marée observée à l'extérieur de la lagune est une marée semi-diurne (de période 12,42 h) que l'on observe généralement au niveau de la côte atlantique marocaine (Orbi *et al.* 1998). Les courants observés au sein de la lagune sont des courants de marée asymétriques dont les durées des flots et jusants varient en fonction de la topographie de la lagune et du chenal principal (Fig. 1). Cette asymétrie des courants va jouer un rôle prédominant dans le transport du sédiment au sein de la lagune (Koutitonsky *et al.* 2006). Concernant les températures et les salinités observées lors de cette campagne de mesures, leurs différentes caractéristiques montrent que l'aval de la

lagune (stations C1 et C2), dénote une nette influence des eaux marines en provenance de l'océan Atlantique, compte tenu de la proximité des deux stations aux deux passes de communication (Fig. 1 et Tab. I). Dans la station C1, on note clairement la présence de deux masses d'eau bien distinctes: la première associée au flot, de salinité entre 35 et 36 psu et de température allant de 15°C à 18°C, lui confèrent une densité d'environ 1026 kg.m<sup>-3</sup> (Pond & Pickard 1983) typique de celle des eaux marines côtières. La deuxième masse d'eau, associée au jusant, présente des eaux moins denses ( $\sigma_t=22$ ), résultant du mélange avec des eaux relativement plus douces et chaudes en provenance des stations situées plus en amont de la lagune, en particulier à la station C2 qui se démarque par la présence des sources d'eau douce continentale (Fig. 4). Plus on se déplace vers la partie intermédiaire de la lagune, représentée par les stations C3 et C4 et vers l'amont de la lagune (station C5), les eaux subissent un mélange avec les résurgences d'eaux douces sous marines lors de leur parcours, créant ainsi un gradient longitudinal de densité. Plus en amont de la lagune et au niveau de la station C5 (digue artificielle), les températures (entre 21° et 32°C) et les salinités (entre 4 et 31 psu) (Fig. 4), confirment la présence de résurgences d'eau douces sous-marines dans cette partie de la lagune et vers les marais salants. Selon Fakir (2001), entre Cap Beddouza et Oualidia, l'aquifère plioquaternaire formé de grès calcaire, recèle une nappe libre en contact direct avec l'océan atlantique. Dans la bande côtière, il est très exploité par pompage grâce à l'existence d'un potentiel hydrique important. La présence d'un réseau karstique bien développé en aval serait à l'origine de ce potentiel. Les pompages intensifs à proximité de l'océan et la sécheresse qui sévit, menacent cette ressource par des intrusions marines (Fakir 2001).

Ces résultats confirment de manière générale ceux des travaux antérieurs menés dans cette lagune, en particulier ceux de Rharbi *et al.* (2001) où la typologie de la lagune, basée sur un suivi hydrologique annuel, avait mis en évidence que la zone située en aval de la lagune est soumise à une nette influence marine. La zone intermédiaire est soumise à une double influence, marine et continentale et une zone confinée, située en amont de la lagune.

## CONCLUSION

Sur la base de mesures continues de la marée, de la vitesse du courant, de la température et de la salinité dans la lagune de Oualidia, cette étude a permis de mieux décrire les processus de fonctionnement de cette lagune, en vue d'études plus approfondies en matière de modélisation hydrodynamique, de transport sédimentaire et de la qualité de l'eau. Les températures et salinités, ainsi observées spatialement et temporellement, indiquent une nette influence des eaux marines en aval de la lagune et une diminution de la salinité au fur et à mesure que l'on dirige vers l'amont de la lagune, due à la présence de nombreuses sources d'eau douce d'origine continentale et de résurgences d'eaux douces sous-marines au sein de la lagune qui y jouent un rôle hydrologique dominant. La marée dominante est de type semi-diurne et les courants observés sont des courants de marée asymétriques, à

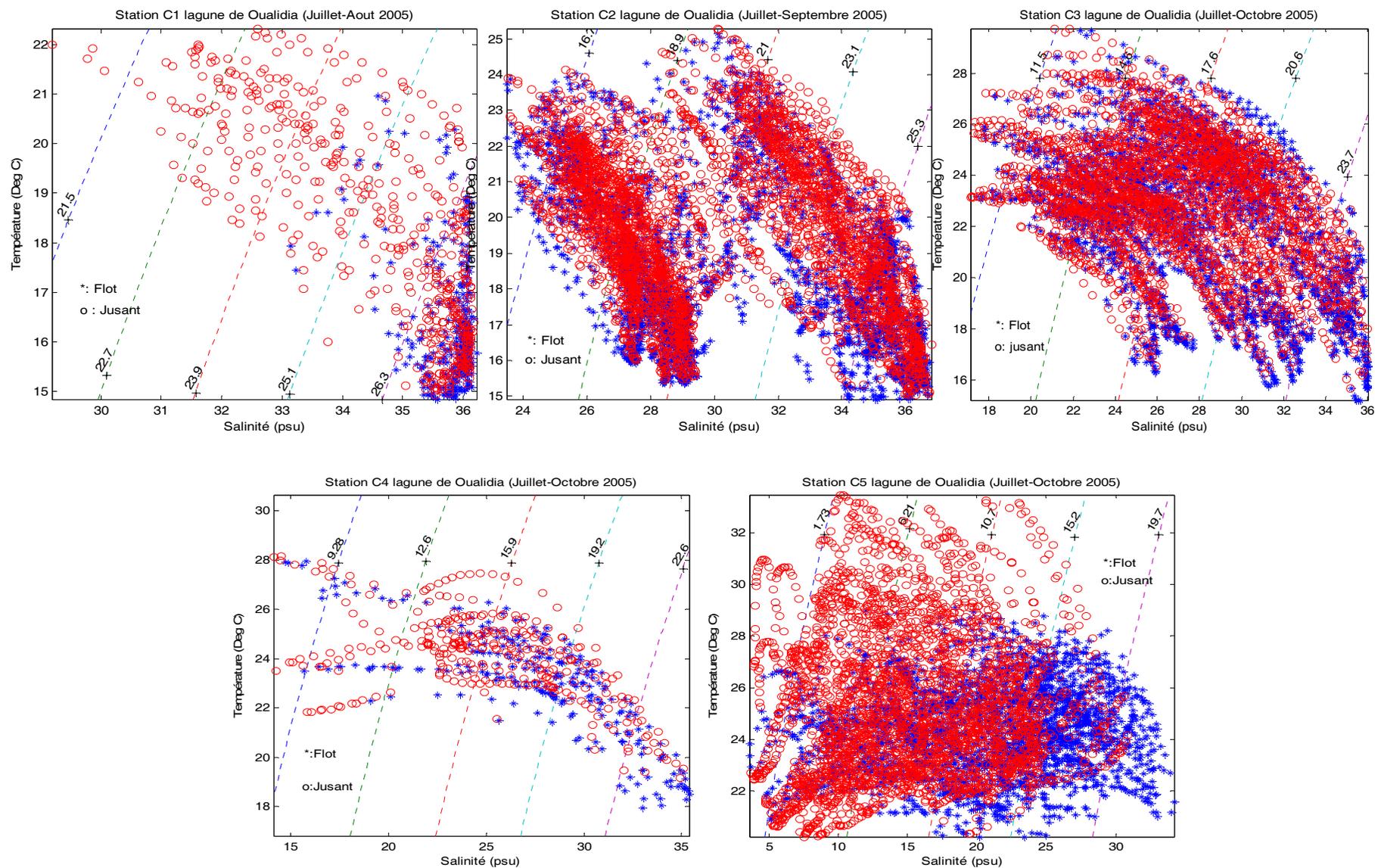


Figure 4. Diagrammes température-salinité observées durant les courants de flot (\* en couleur bleue) et les courants de jusant (o en couleur rouge) aux stations C1,C2,C3, C4 et C5 de la lagune de Oualidia sur la période juillet-octobre 2005.

dominance de flot en aval de la lagune et de jusant en amont de la lagune.

### Remerciements

Les auteurs tiennent particulièrement à remercier A. Agouzouk, B. Moutaki et M. Hassoune, tout le personnel de la station RSSL de l'INRH et des parcs ostréicoles à Oualidia pour leurs précieux appuis durant la campagne de mesures ainsi que les évaluateurs anonymes pour leurs commentaires.

### Références

- Bennouna A. 1999. *Etude du phytoplancton du complexe lagunaire Oualidia-Sidi Moussa*. Thèse de 3ème Cycle, Univ. Chouaib Doukkali, Fac. Sci. El Jadida, 149 p.
- Bennouna A., Berland B., El Attar J. & Assobhei O. 2002. Eau colorée à *Lingulodinium polyedrum* (Stein) Dodge, dans une zone aquacole du littoral du Doukkala (Atlantique marocain). *Oceanol. Acta*, 25, 159-170.
- Berraho A. 1998. Ressources halieutiques et potentialités aquacoles du Maroc, Expo'98, Lisbonne, 82 p.
- Bidet J.C. & Carruesco C. 1981. Étude sédimentologique de la lagune de Oualidia (Maroc). In: Proceedings International Symposium on coastal lagoons, SCOR/IABO/UNESCO, *Oceanol. Acta*, 29-37.
- Carruesco C. 1989. *Génèse et évolution à l'holocène de trois lagunes de la façade Atlantique: Moulay Bousselham, Oualidia (Maroc) et Arcachon (France)*. Thèse Univ. Bordeaux, 485 p.
- Cheggour M., Chafik A., Texier H., Bouhallaoui A., Rharbi N., Boumezzough A. & El Attar J. 1999. Bioaccumulation de quelques éléments métalliques chez l'huître *Crassostrea gigas* (Thunberg) en élevage dans la lagune de Oualidia (Maroc): Rôle des facteurs écologiques et biologiques. *Halietis*, 28, 31-44.
- 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 Crassostrea Gigas en conditions naturelles et expérimentales*. Thèse de 3ème Cycle Univ. Chouaib Doukkali, Fac. Sci. El Jadida, 124 p.
- Godin G. 1972. *The analysis of tides*. University of Toronto Press, Toronto, 264 p.
- Hilmi K., Orbi A., Lakhdar J.I. & Sarf F. 2005a. Etude courantologique de la lagune de Oualidia (Maroc) en automne. *Bull. Inst. Sci.*, sect. Sci. Vie, 26-27, 67-71.
- Hilmi K., Koutitonsky V.G., Orbi A., Lakhdar J.I. & Chagdali M. 2005b. Oualidia lagoon (Morocco): an estuary without a river. *Afr. J. Aquatic Sci.*, 30-1, 1-10.
- Hilmi K. 2005. *Modélisation numérique de la circulation de deux milieux paraliques du littoral marocain : la lagune de Oualidia (Atlantique) et la lagune de Nador (Méditerranée)*, Thèse Univ. Hassan II-Mohammedia, Fac. Sci. Ben Msik, Casablanca, 186 p.
- Hilmi K. A., Orbi A. & J. Lakhdar Idrissi 2008. Modélisation de la circulation de la lagune de Oualidia durant l'été et l'automne 2005. *Travaux et Documents INRH*, 116, 54 p.
- Koutitonsky V.G., Orbi A., Ouabi M. & Ibrahim I. 2006. L'étude du comportement hydrosédimentaire du système lagunaire Oualidia par la modélisation mathématique, Volet 1: synthèse des données et simulation de la réfraction des houles. Rapport Technique MET/DPDPM, Royaume du Maroc.
- Makaoui A., Orbi A., Hilmi K., Zizah S., Larissi J. & Talbi M. 2005. L'upwelling de la côte atlantique du Maroc entre 1994 et 1998. *C.R. Geoscience*, 337, 1518-1524.
- 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 paraliques et zones côtières. Commissariat Général, *EXPO'98*, Lisbonne, 68 p.
- Orbi A., Hilmi K., Lakhdar J.I. & Zizah S. 2008. Lagoon ecosystem study through two cases: Oualidia (Atlantic) and Nador (Mediterranean) – Morocco. In: Gönenç I. E., Vadineau A., Wollflin J.P. & Russo R.C. (eds): *Sustainable Use and Development of Watersheds*. Springer Eds, Serie C, 289-298.
- Ouldessaib E. 1997. *Etude du peuplement des Copépodes de la lagune de Oualidia (succession saisonnière, dynamique des populations, migrations nyctémérales)*. Thèse de 3ème Cycle Univ. Chouaib Doukkali, 145 p.
- Pond S. & Pickard G.L. 1983. *Introductory dynamical oceanography* (2nd Edition). Pergamon Press, 329 p.
- Pugh D.T. 1987. *Tides, surges and mean sea-level*. John Wiley & Sons (Ed.), Chichester, 472 p.
- Rharbi N., Ramdani M., Berraho A. & Lakhdar J.I. 2001. Caractéristiques hydrologiques et écologiques de la lagune de Oualidia, milieu paralique de la côte atlantique marocaine, *Marine Life*, 11, 3-9.
- Rharbi N., Ramdani M. & A. Berraho 2003. Elaboration d'une stratégie d'élevage de l'huître *Crassostrea gigas* dans la lagune de Oualidia (Maroc) sur la base d'études des relations trophiques, *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 128, 1-2, 63-86.
- Sarf F. 1999. *Dynamique sédimentaire et état de pollution dans la lagune de Oualidia*. Thèse de 3ème Cycle, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 121 p.
- Shafee M.S. & Sabatie M.R. 1986. Croissance et mortalité des huîtres dans la lagune de Oualidia (Maroc). *Aquaculture*, 53, 201-214.

Manuscrit reçu le 3 juillet 2008

Version modifiée acceptée le 16 novembre 2009