



## **Le complexe lagunaire de Nador (Maroc) : fonctionnement, contrôle naturel et provoqué, scénarii d'évolution future**

**Naima HAMOUMI<sup>1</sup>**

1. Equipe de recherche : Océanologie - Dynamique des Séries Sédimentaires - Environnement (ODYSSEE), Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université Mohammed V - Agdal, Rabat, Maroc.  
*naimahamoumi@yahoo.fr*

### **Résumé :**

Le complexe lagunaire de Nador situé dans le littoral méditerranéen oriental (Maroc), présente un intérêt scientifique et socio-économique. L'étude de toutes les composantes de ce complexe lagunaire (masse d'eau, sédiments, microfaune) et de tous ses domaines physiographiques ainsi que de son bassin versant et du proche plateau continental, a été menée à l'aide de techniques variées dans différents champs disciplinaires : géomorphologie et morphodynamique (basée sur l'étude de terrain et l'analyse d'images satellitaires sur une période de 34 ans), étude morphostructurale, sédimentologie, écologie et qualité de l'eau. Les résultats qui sont pour la plupart nouveaux et originaux, ont permis de comprendre le mode de genèse et de fonctionnement du complexe lagunaire et de mettre en évidence des évolutions d'ordre spatial et temporel à une échelle saisonnière et à l'échelle du millénaire. Ces évolutions sont liées à des facteurs naturels qui peuvent agir indépendamment ou de concert et à des facteurs anthropiques. L'analyse de l'impact des facteurs naturels a permis de prédire sept scénarii d'évolution future pour cet écosystème.

En plus de leur intérêt scientifique, les résultats obtenus ainsi que les nombreuses cartes thématiques et les cartes SITO établies constituent une base de données importante et un outil de décision pour les aménagements de la région. Par ailleurs, la démarche proposée pour cette étude constitue un outil pratique pour l'exploitation et l'aménagement des écosystèmes littoraux en général et lagunaires en particulier.

*Soumis le 19 février 2012, accepté le 19 novembre 2012, en ligne le 17 décembre 2012.*

*La seule version examinée est celle écrite en français. La ou les autres versions n'étant pas examinées par le comité de rédaction de la revue, sont donc publiées sous l'entière responsabilité du ou des auteurs.*

**A TRANSLATED VERSION IN ENGLISH IS AVAILABLE ONLINE**

Pour citer cet article :

HAMOUMI N. (2012). *Le complexe lagunaire de Nador (Maroc) : fonctionnement, contrôle naturel et provoqué, scénarii d'évolution future*. Revue Paralia, Vol. 5, pp 5.1–5.14.

DOI:10.5150/revue-paralia.2012.005 (disponible en ligne – <http://www.paralia.fr> – available online)

## **1. Introduction**

Le complexe lagunaire de Nador est situé dans le littoral méditerranéen oriental à l'extrémité nord de la plaine de Bou Areg, entre la ville de Beni Ensar au Nord-Ouest et le village de Kariat Arekmane au Sud-Est (figure 1). Il est constitué par : (1) une île barrière édiflée par un substratum d'âge quaternaire et des dépôts littoraux récents, qui fait 25 km de long et 300 à 400 m de large, sauf dans sa partie SE où elle atteint 1,7 km, (2) une lagune de forme semi elliptique de 115 km<sup>2</sup> de superficie dont la profondeur maximum est de 7, 5 à 8 m (partie centrale) et (3) une bordure continentale avec des marais salants et un trottoir interrompu par les embouchures de plusieurs émissaires. Ce complexe lagunaire qui présente un intérêt particulier dans la région, aussi bien sur le plan scientifique que socio-économique (classé SIBE), a été le siège d'une pression anthropique importante (figure 2) et d'un certain nombre d'aménagements (LOUAYA & HAMOUMI, 2006, 2011). De ce fait, il a suscité de nombreux travaux pour les besoins de l'aquaculture et de la pêche ou dans le cadre de la recherche académique (ERIMESCO, 1961 ; TESSON, 1977 ; BRETHERS & TESSON, 1978 ; SAUBADE, 1979 ; TESSON & GENSOUS, 1978 ; GUILLEMIN & HOUZAY, 1982 ; IRZI, 2002 ; MAHJOUBI, 2001 ; INANI, 1995 ; ARID *et al.*, 1995 ; LEFEBVRE *et al.*, 1996 ; DAFIR, 1996 ; EL-ALAMI *et al.*, 1998 ; RAHOUTI, 2004). Cependant, ces travaux ne se sont intéressés pour la plupart qu'à la lagune et dans de rares cas à l'évolution de l'île barrière. Sachant que la genèse et l'évolution du complexe lagunaire sont étroitement liées au contexte géologique régional et que ses différentes unités physiographiques sont interdépendantes, il était nécessaire d'entreprendre une étude qui intègre à la fois tous ses domaines physiographiques et toutes ses composantes (masse d'eau, sédiments, microfaunes) ainsi que son bassin versant et le proche plateau continental. Cette étude multidisciplinaire a porté sur l'étude géomorphologique et l'analyse morphostructurale à l'échelle régionale (LOUAYA & HAMOUMI, 2006 & 2010) et sur la géochimie (BLOUNDI, 2005), la géomorphologie et l'évolution morphodynamique, la sédimentologie, l'écologie et la qualité de l'eau du complexe lagunaire. Cet article se propose de préciser le mode de genèse et de fonctionnement du complexe lagunaire de Nador et de prédire son évolution future naturelle et/ou provoquée sur la base des résultats de cette étude ayant fait l'objet d'une présentation à la conférence CM<sup>2</sup> de Tanger (HAMOUMI, 2011 ; HAMOUMI *et al.*, 2011a ; HAMOUMI *et al.*, 2011b ; LOUAYA & HAMOUMI, 2011).

## **2. Contexte géologique, climatique et hydrodynamique**

Le complexe lagunaire appartient au bassin subsident néogène de Nador-Mélilla qui s'est individualisé au Miocène supérieur. L'histoire structurale de ce littoral est très complexe. Après les phases paroxysmales de l'orogénèse alpine, il est le siège, au cours du Néogène et du Quaternaire, d'une tectonique polyphasée où alternent des phases de compression et de distension, accompagnées par un volcanisme calco-alcalin à tendance



géomorphologique à l'échelle régionale et le suivi de la morphodynamique du complexe lagunaire durant la période 1975-2005, réalisés à l'aide de l'étude de terrain et de la photo interprétation des images satellites (LOUAYA & HAMOUMI, 2006), ont été actualisés jusqu'en 2010. Par ailleurs, la méthode d'auto détection des changements d'images multitudes (Landsat MSS, 1975 et 1976 ; Landsat TM, 1986, 1988, 1993 et 2010, Landsat +ETM, 2000, 2005), a été également appliquée avec un pas de 10 ans et sur une période de 34 ans. L'étude sédimentologique (HAMOUMI *et al.*, 2011a) et l'étude écologique (HAMOUMI *et al.*, 2011b), ont été menées en parallèle avec l'étude de la qualité de l'eau : paramètres physico chimiques, éléments nutritifs et matière en suspension des eaux lagunaires (surface et fond) et extra lagunaires (IOUZZI *et al.*, 2005), à l'aide d'un suivi saisonnier durant la période 2003-2005 et d'une stratégie d'échantillonnage qui a permis de couvrir les différents domaines de la lagune et toutes les zones susceptibles d'être affectées par les activités anthropiques (figure 1 in HAMOUMI *et al.*, 2011a). Les milieux de sédimentation et les milieux écologiques ont été reconstitués pour la période actuelle à l'aide des échantillons de surface et des sommets des carottes et pour la période 1000 à 1200 ans BP (estimée d'après les datations de MAHJOUBI, 2001) à l'aide des échantillons des bases des carottes de l'hiver 2003.

#### **4. Fonctionnement du complexe lagunaire**

La superposition des milieux hydrologiques et hydrochimiques (IOUZZI *et al.*, 2005) avec les milieux sédimentaires et les milieux écologiques reconstitués a permis d'identifier les zones dynamiques de la lagune (figure 3) et de préciser leur fonctionnement actuel et leur évolution temporelle : à l'échelle saisonnière et pour la période 1000 à 1200 ans BP.

##### **4.1 Période actuelle**

La zone I correspond à la passe, ayant une profondeur de 4 m et soumise à un régime hydrodynamique élevé dominé par les courants de marée et les courants météorologiques. Ses paramètres physico chimiques et ses teneurs en oxygène dissous et en éléments nutritifs indiquent une masse d'eau à forte influence méditerranéenne non polluée. Elle est alimentée par des sables marins moyens de couleur marron, très bien classés à bien classés, très riches en bioclasts et coquilles de bivalves et de gastéropodes et dont les constituants minéralogiques sont : le quartz, le feldspath, la calcite (51,74%), le cortège illite - kaolinite - smectite - chlorite et les minéraux accessoires : gypse halite, aragonite, pyrite et dolomite. Cette zone se caractérise par le milieu écologique III défini par : (1) une association d'ostracodes à forte biodiversité et densité moyenne et où *Cyprideis* (>60%) prédomine sur *Loxoconcha* (10 à 20%), et (2) une association de foraminifères avec des espèces péritidales (36 à 48%) représentées

par *Ammonia tepida*, des Bolivinidae et des Rotaliina qui dominant sur les Miliolidae partout sauf dans la station 37 où les Miliolidae sont dominants.

La zone II correspond à la bordure interne de l'île barrière, dont les profondeurs s'étendent entre 0 et 2,7 m. Elle est soumise aux courants de marée et aux courants météorologiques entrants par la passe et au déferlement des vagues de tempêtes sur l'île barrière. En dehors des zones abritées par les crochons des flèches azoviennes qui sont le siège d'un confinement, les paramètres physico chimiques ainsi que les teneurs en oxygène dissous et en éléments nutritifs indiquent une masse d'eau à forte influence méditerranéenne non polluée. Elle est alimentée par des sédiments d'origine méditerranéenne et les produits d'érosion de l'île barrière. Les dépôts sont des lutites et des sables marrons très riches en bioclasts et coquilles de bivalves et de gastéropodes. Les sables sont en général moyens et bien classés en hiver, sauf dans les zones abritées où ils sont fins et moyennement bien classés. Ils sont constitués par : du quartz, du feldspath, de la calcite (43%), le cortège illite - kaolinite - chlorite - smectite et les minéraux accessoires : gypse halite, aragonite, pyrite et dolomite. Cette zone se caractérise également par le milieu écologique III.

La zone III correspond à la partie centrale de la lagune dont la profondeur s'étend de 3 à 7,5 m. Sa bordure sud est sous influence continentale et sa bordure nord ainsi que ses extrémités NW et SE sont sous influence marine, mais sa partie centrale, caractérisée par une faible circulation, peut être le siège d'un faible confinement en particulier durant l'été. Les teneurs en oxygène dissous et en éléments nutritifs indiquent un faible impact de la pollution qui diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la bordure continentale. Elle est alimentée par des argiles silteuses, des argiles sableuses et des lutites de couleur gris sombre à bioclasts et coquilles de mollusques et de lamellibranches. Les sables moyens et généralement mal classés durant toutes les saisons, sont composés de : quartz, calcite (5,3 à 26,5%), feldspath, du cortège kaolinite illite – smectite - chlorite et des minéraux accessoires : pyrite et dolomite. Cette zone se caractérise également par le milieu écologique III.

La Zone IV correspond aux extrémités NW (Beni Ensar) et SE (Kariat Arekmane), sous influence continentale, très confinée et de faible profondeur (0 à 1,20 m), mais pouvant atteindre 4 m. Elle se caractérise par une salinité élevée qui peut atteindre 40,9 g/l, des valeurs de pH également élevées autour de 8,57, des teneurs en oxygène dissous <6,8 g/l et de fortes concentrations en ammonium (1,46 µmol/l), nitrates (7,59 µmol/l), nitrites (7,99 µmol/l) et phosphore (9,97 µmol/l). Les sédiments de couleur marron foncé sont des argiles sableuses, des argiles sablo graveleuses et des lutites riches en matière organique avec des bioclasts, des Gastéropodes, des Bivalves et des débris de végétaux. Dans l'extrémité NW alimentée par le massif du Gourougou, et le mont d'Atalayoune, les constituants minéralogiques sont : le feldspath (abondant), le quartz, la calcite (5,3%), le cortège smectite (largement dominante) - kaolinite - illite et les minéraux accessoires : gypse, halite, aragonite, dolomite et hématite. Dans l'extrémité SE

alimentée par le massif de Kebdana et la plaine de Bou Areg, les constituants minéralogiques sont : le quartz, le feldspath, la calcite (26,5%), le cortège kaolinite (dominante) – smectite – illite - chlorite et les minéraux accessoires : gypse et halite. Cette zone se caractérise par le milieu écologique II défini par : (1) une association d'ostracodes de faible densité et à biodiversité en général moyenne où *Loxoconcha* (> 50%) prédomine sur *Cyprideis* (20 à 30%), et (2) une association de foraminifères dominée par le groupe peritidal où la famille des Nonionidae (*Ammonia tepida* suivie de *Nonion depressulum*), atteint un pourcentage de 60% et comporte des espèces marines épifauniques (Miliolidae et Bolivinidae).

La zone V correspond à la partie nord de la bordure continentale, entre Oued Sidi Youssef et Taouima, dont la profondeur varie de 0 à 3 m et qui est assez confinée en dehors des périodes de décharges fluviales. Elle est soumise à l'influence continentale et à une pollution anthropique qui se traduit par un pH généralement élevé pouvant atteindre 10,13, des teneurs en oxygène dissous de 6,8 à 7,2 g/l et des teneurs en éléments nutritifs pouvant atteindre 0,889 µmol/l d'ammonium, 12,3 µmol/l de nitrates, 37,9 µmol/l de nitrites et 0,97 µmol/l de phosphates. Elle est alimentée par les massifs de Beni Oufrou et du Gourougou, le mont d'Atalayoune et la plaine Bou Areg. Au niveau des embouchures, les sédiments sont mal classés (argiles, sables, graviers et galets) et très riches en matière organique. Le reste de la zone est constitué par des sables fins argileux mal classés, des silts, des argiles sableuses et des argiles, de couleur marron à bioclasts, coquilles de bivalves et de gastéropodes, débris de végétaux et matière organique. Les composants minéralogiques sont : le quartz, le feldspath, la calcite (18,5%), le cortège smectite (largement dominante) - kaolinite - illite et les minéraux accessoires : gypse, halite, aragonite et dolomite. Cette zone se caractérise par le milieu écologique I défini par : (1) une association d'ostracodes de faible densité et à biodiversité assez élevée qui montre des proportions voisines de *Cyprideis* (40.1%) et de *Loxoconcha* (37.7%), et (2) une association de foraminifères où prédominent les formes péritidales, en particulier *Ammonia tepida* (68%).

La zone VI correspond à la partie sud de la bordure continentale entre Taouima et Oued Hali, elle est également sous influence continentale, faiblement confinée en dehors des périodes de décharges fluviales et soumise à une pollution importante. Elle ne se différencie de la zone V que par : (1) sa composition minéralogique : quartz (abondant), calcite (28%), feldspath, le cortège illite - kaolinite - smectite - chlorite et les minéraux accessoires : halite, dolomite et hématite, qui traduit une alimentation à partir des massifs de Kebdana et Beni Oufrou et de la plaine de Bou Areg et (2) son milieu écologique de type II comme celui de la zone IV.

Le contrôle saisonnier s'exprime en hiver par des apports grossiers mal classés (sables et rudites) et par une diminution de la biodiversité et la densité de la microfaune sous l'effet de la turbidité et la dessalure induites par les décharges fluviales dans les zones IV, V et VI. En été, il se traduit par : (1) des modifications des paramètres physico-

chimiques en particulier, dans les zones confinées et sous influence continentale, (2) la prédominance de la décantation des lutites dans les zones sous influence continentale, (3) une augmentation générale de *Loxoconcha* au dépens de *Cyprideis*, (4) une évolution du milieu écologique III en milieu écologique II dans la bordure sud de la zone III et (5) l'augmentation des Rotalinidae, la diminution des Miliolinidae et une légère augmentation des espèces péritidales dans les zones V et VI.

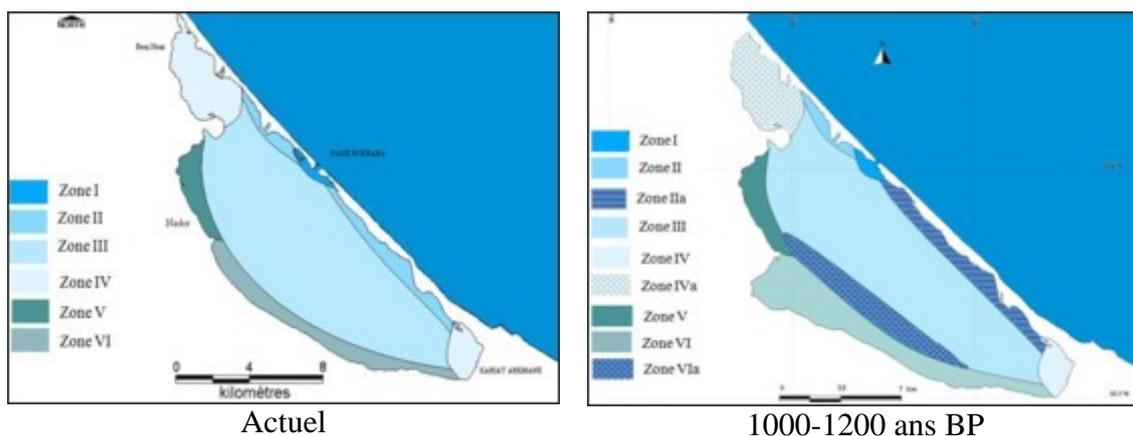


Figure 3. Les zones dynamiques de la lagune de Nador (Actuel et 1000-1200 ans BP).

#### 4.2 Période ancienne (1000-1200 ans BP)

Les reconstitutions pour la période 1000 à 1200 ans BP, montrent l'existence de neuf zones dynamiques (I, II, IIa, III, IV, IVa, V, VI, VIa) dans la lagune (figure 3).

- Les zones : I, II, III, IV, V et VI sont les mêmes que celles identifiées pour la période actuelle, sauf que la zone VI était située plus à l'intérieur des terres, la zone II était cantonnée dans la partie nord de la bordure interne de l'île barrière et la zone IV n'existait que dans l'extrémité SE.
- La zone IIa caractérisée par l'existence du milieu écologique II (influence marine plus faible) occupait la partie sud de la bordure interne de l'île barrière.
- la zone IVa caractérisée par le milieu écologique II, mais avec une influence marine importante occupait l'extrémité NW.
- La zone VIa caractérisée par le milieu écologique III à influence marine se trouvait à la marge de la partie centrale de la lagune.

Cette organisation est due au fait que d'une part, la morphologie et la taille de la lagune étaient différentes, la limite continentale de la lagune se trouvait plus à l'intérieur des terres et devait coïncider avec la limite continentale du marais salant de Taouima. D'autre part, la passe (N° 4 in LOUAYA & HAMOUMI, 2006) avait une position différente, elle était située au niveau du double tombolo (2.856 W ; 35.201 N).

## 5. Contrôle naturel et provoqué

### 5.1 Les facteurs naturels

Le fonctionnement de l'écosystème est étroitement lié à la position et la taille de la passe et à la morphologie et la taille de la lagune. Ces caractéristiques géomorphologiques qui jouent un rôle prépondérant dans la distribution des zones dynamiques aussi bien actuellement que par le passé (1000-1200 ans BP), sont contrôlées à la fois par la tectonique et le climat. En effet, les résultats de l'analyse morphostructurale (LOUAYA & HAMOUMI, 2010), ont montré que la tectonique a joué un rôle majeur à la fois dans la genèse et dans l'évolution du complexe lagunaire. Elle est le moteur de la subsidence de la plaine de Bou Areg et de la lagune de Nador et d'une structuration cassante importante à l'échelle régionale, dont les failles de direction N-S, NE-SW, NNE-SSW à jeux verticaux et/ou décrochants ayant commandé l'ouverture et la fermeture de certaines passes (LOUAYA & HAMOUMI, 2006) et la faille de direction WNW-ESE qui affecte la partie sud du Cap des Trois Fourches dans le prolongement de l'île barrière. La lagune résulte de la transformation de la partie amont de la baie actuelle délimitée par le Cap des Trois Fourches et le Cap de l'Eau comme cela est démontré par : (1) l'enchaînement géomorphologique entre la plaine de Bou Areg, la lagune et le proche plateau qui n'est interrompu que par l'île barrière (discontinuité morphologique), (2) la forme semi elliptique de la lagune et la courbure plus serrée de sa bordure continentale, (3) le raccord parfait entre les extrémités SE et NW de la lagune et le trait de côte et (4) l'organisation des isobathes de la plate-forme continentale en arc de cercle parallèles au rivage (figure 4). Elle a connu ensuite une évolution complexe en relation avec l'alternance de périodes d'immersion et d'exondation de son île barrière et de l'ouverture et la fermeture de plusieurs passes. Il y a 1000 à 1200 ans BP, cet écosystème correspondait à une lagune de type restreint avec une île barrière étroite dont la passe (N° 4) était située au niveau du double tombolo. Mais d'après les données historiques (ERIMESCO, 1961), il aurait évolué au 14<sup>ème</sup> siècle en une baie et vers 1545, de nouveau en une lagune avec une passe (N° 6 in LOUAYA & HAMOUMI, 2006) située au niveau de la tour Restinga (2.787 W ; 35.152 N). Par ailleurs, l'emplacement de la passe a souvent varié, en plus des deux passes précitées et de la passe N° 5 (2.845 W ; 35.194 N) ouverte par une tempête en 1981, aménagée en 1993 et en cours d'aménagement pour sa transformation en port de plaisance, quatre passes reliques ont été identifiées d'après les données historiques et les études : géomorphologique et morphostructurale (Fig. 8 in LOUAYA & HAMOUMI, 2006). Les passes : N° 1 (2.913 W ; 35.249 N), N° 2 (2.900 W ; 35.237 N) et N° 3 (2.874 W ; 35.214N), ont fonctionné respectivement durant les périodes : 1910 à 1940, 1889 à 1907 et 1941 à 1979. La passe N° 7 située entre l'extrémité SE de l'île barrière et la tour Restinga dont le fonctionnement ne peut être daté avec précision dans l'état actuel des connaissances, mais qui est probablement la plus ancienne de toutes. En effet,

elle est constituée de trois flèches azoviennes totalisant une longueur de 6,25 km, chacune étant elle-même le résultat de l'accrétion successive de plusieurs crochons sédimentaires. D'ailleurs, c'est dans cette partie que l'île barrière atteint sa plus grande largeur (1,7 km) et où les dépôts récents pouvant atteindre 10 m d'altitude, comportent des dunes fixées et une importante végétation. Le climat contrôle les fluctuations saisonnières, le débit fluvial, le régime hydrodynamique du littoral et la circulation intra-lagunaire. Le contrôle saisonnier s'exprime par des modifications dans : les paramètres physico chimiques, les milieux écologiques ainsi que la nature et la quantité des sédiments. Les périodes de sécheresse combinées à l'ensablement ou la fermeture de la passe se sont traduites par une baisse de la profondeur de la lagune (1993) ou sa transformation en marais salants (1755, 1907). L'évolution du climat sur 34 ans s'est également traduite par l'assèchement de deux plans d'eau dans le marais salant de Kariat Arekman (figure 5). Le régime hydrodynamique dominé par les courants météorologiques est responsable de l'ouverture et de la fermeture des passes. L'ouverture des passes favorisée par les caractéristiques de l'île barrière qui est étroite et rectiligne, est induite par les courants de retour très énergétiques des grandes tempêtes, qui arrivent à créer une brèche dans la partie la plus fragile de l'île barrière. Le colmatage des passes se fait ensuite par la dérive littorale. Enfin, l'existence d'un sol d'âge 3000 ans BP dans les barres de calcarénite de l'île barrière peut être corrélée avec la baisse du niveau marin de même âge, identifiée par différents auteurs (IRZI, 2002).

## 5.2 Facteurs anthropiques

Les zones IV, V, VI de la lagune sont directement sous l'influence d'une pollution importante liée aux nombreuses activités anthropiques qui se sont diversifiées et accrues dans le temps et dans l'espace : agriculture, aquaculture, pêche, industrie, rejets domestiques, rejets de la STEP (partiellement traités), rejets des stations de lagunage et foisonnement des décharges publiques. Cette pollution qui affecte la qualité de l'eau (IOUZZI *et al.*, 2005), a augmenté de manière significative depuis 1982 comme cela est attesté par la comparaison des résultats avec ceux des travaux précédents (INANI, 1995 ; LEFEBVRE *et al.*, 1996 ; DAFIR, 1996). Son impact s'exprime par : (1) une diminution du pourcentage de *Loxoconcha* au profit de celui de *Cyprideis*, la disparition des foraminifères épifauniques marins et l'augmentation des Spiroloculinidae dans les stations soumises au déversement des eaux usées de l'Oued Bouaroug et de la station de lagunage, (2) une diminution du pourcentage de *Loxoconcha* au profit de celui de *Cyprideis* dans la bordure continentale de l'extrémité NW et (3) une diminution des pourcentages de *Loxoconcha* (10,5%) et de *Cyprideis* (62%) dans les stations proches des cages d'aquaculture soumises à des teneurs élevées en éléments nutritifs. Il s'exprime également par une contamination des sédiments en polluants organiques et inorganiques (BLOUNDI, 2005).

Par ailleurs, l'autodétection des changements sur une période de 34 ans (figure 5), a montré une réduction de l'extrémité NW de la lagune liée à un comblement artificiel. Elle a également mis en évidence des déséquilibres sédimentaires importants au niveau de l'île barrière, qui sont en relation avec les aménagements effectués. La grande digue du Port de Beni Ensar située à l'extrémité NW de la lagune dont la construction a été achevée en 1978, constitue un obstacle pour les transits sédimentaires en provenance du nord et entraîne une réfraction des ondes des vagues au niveau de la passe relique N° 2. Elle est à l'origine d'une érosion du littoral de l'île barrière qui s'accroît entre le double tombolo et la Tour Ristinga et du comblement de la passe relique N° 3. Les aménagements effectués au niveau de la passe N° 5 en 1993 (élargissement et construction de deux digues) sont à l'origine d'un engraissement derrière la jetée NW, une érosion derrière la jetée SE, le développement d'un delta de flot et un engraissement entre cette passe et le double tombolo. Enfin, les aménagements réalisés en 2009 (passe artificielle actuelle) induisent un engraissement derrière la digue ouest, une érosion derrière la digue est et un engraissement de la rive lagunaire de l'île barrière derrière la digue est et de part et d'autre du double tombolo.

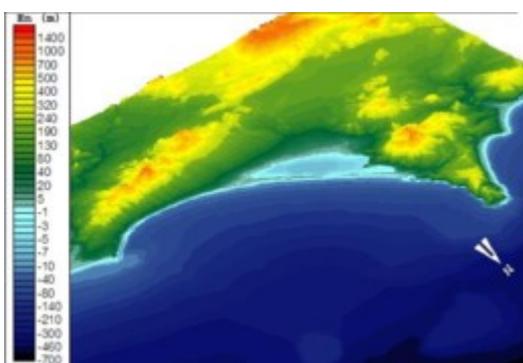


Figure 4. Représentation 3D des données topographiques SRTM et des données bathymétriques de la lagune et du proche plateau continental.

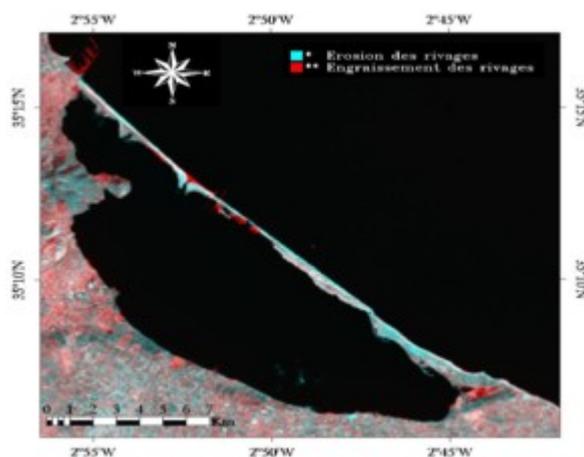


Figure 5. Image de détection des changements du complexe lagunaire entre 1976 et 2010.

## 6. Scenarii d'évolutions possibles du complexe lagunaire

L'impact des facteurs anthropiques sur le complexe lagunaire est clairement établi. Si la pollution a été au centre des intérêts et a suscité une prise en charge dans le cadre du programme de dépollution lancé en 2009, il n'en reste pas moins que le problème de l'impact des aménagements reste posé avec acuité. Les déséquilibres enregistrés pourraient entraîner la disparition de l'île barrière, si des mesures ne sont pas prises d'urgence. Par ailleurs, le climat et la tectonique jouent un rôle primordial dans le

contrôle des évolutions d'ordre spatial et temporel du complexe lagunaire et ils peuvent agir indépendamment ou de concert. Concernant le climat, les évidences d'un réchauffement climatique sont bien établies et les processus hydrodynamiques qui seront induits par l'élévation du niveau marin, combinés à la sécheresse constituent des facteurs inéluctables pour l'accélération des processus de submersion et d'érosion. Le contexte géodynamique est à l'origine d'une forte activité sismique destructrice dans la région de Nador qui se poursuit de nos jours. Les séismes des années : 1522, 1579, 1660, 1792, 1821, 1848, 1887 et 1915 et ceux plus récents (2005 et 2012), en sont la conséquence directe. Par ailleurs, l'activité volcanique qui s'est manifestée dans la région durant le Miocène supérieur - début du Pliocène et de nouveau au Quaternaire et dont le réservoir magmatique est probablement superficiel (GUILLEMIN & HOUZAY, 1982), pourrait reprendre à tout moment. Cependant, ces phénomènes tectoniques dont il est difficile de prévoir le timing, le type de mouvement et l'ampleur, restent du domaine de l'imprévisible. De ce fait, plusieurs scénarii d'évolution peuvent être envisagés pour le complexe lagunaire.

- Une montée eustatique induite par un réchauffement climatique, couplée à un affaissement tectonique induirait à long terme la transformation de la lagune en baie puis ensuite en milieu de plate-forme (figure 6A)
- Une montée eustatique induite par un réchauffement climatique, couplée à un exhaussement tectonique se traduirait par : (1) le maintien de la lagune dans le cas d'un équilibre entre tectonique et eustatisme (figure 6B), (2) la transformation en sebkha et ensuite la disparition de la lagune si la tectonique est prédominante sur la montée eustatique (figure 6C) et (3) la transformation de la lagune en baie et ensuite en milieu de plate-forme, si l'eustatisme est prédominant sur la tectonique (figure 6A).
- Un événement tectonique dont la manifestation serait : (1) une réactivation du volcan du Gourougou dont les produits de l'éruption entraînerait un comblement de la lagune (figure 6D), (2) la réactivation de failles au niveau de l'île barrière qui entraîneraient la fermeture de la passe et/ou l'ouverture d'autres passes, (3) un exhaussement de la lagune qui induirait sa transformation en sebkha puis en marais salant (figure 6C) ou (4) un affaissement de la lagune qui entraîneraient sa transformation en baie puis en plateforme continentale (figure 6A)

## **7. Conclusions**

Les résultats qui sont pour la plupart nouveaux et originaux, ont permis de mieux comprendre la genèse du complexe lagunaire de Nador, son fonctionnement actuel et pour une période plus ancienne (1000 à 1200 ans BP), ainsi que les facteurs naturels qui ont contrôlé son évolution naturelle (à l'échelle saisonnière et à l'échelle du millénaire) et les facteurs anthropiques qui affectent son équilibre actuel. Ils ont également permis de prédire 7 scénarii d'évolutions futures de cet écosystème. En plus de son intérêt

scientifique, la démarche proposée pour cette étude qui tient compte de l'évolution des processus morphostructuraux, géomorphologiques et sédimentologiques et de la qualité de l'eau ainsi que de leurs répercussions sur les systèmes vivants, constitue un outil pratique pour l'exploitation et l'aménagement des écosystèmes littoraux en général et lagunaires en particulier. Enfin, l'ensemble des résultats acquis ainsi que les nombreuses cartes thématiques et les cartes réalisées par les systèmes d'information territoriaux et opérationnels (SITO) constituent une base de données importante et un outil de décision pour les aménagements de la région.

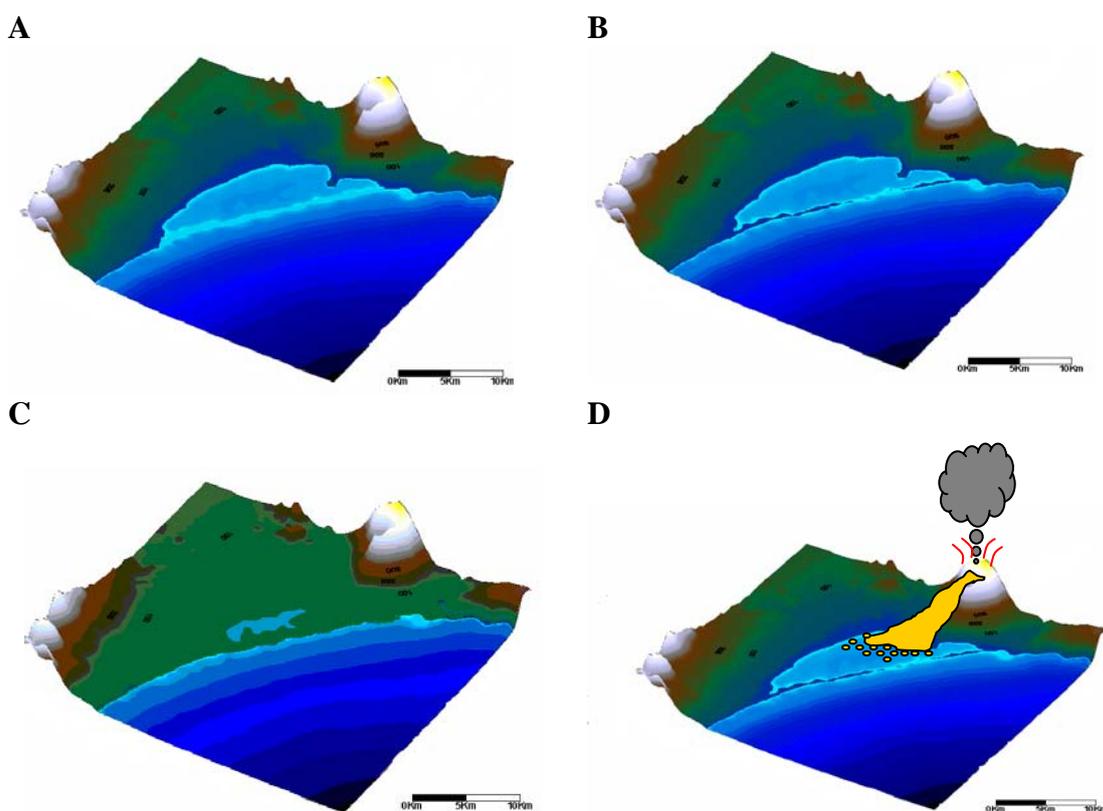


Figure 6. Scenarii d'évolutions possibles du complexe lagunaire.

### Remerciements

Les études réalisées entre 2003 et 2005 ont été effectuées dans le cadre du projet européen COLASU, N° ICA3-CT-2002-10012. L'auteur tient à exprimer ses vifs remerciements aux responsables des centres de l'ONEP et de l'INRH à Casablanca et Nador pour leur collaboration et aux lecteurs de la revue Paralia pour leurs remarques constructives.

### 8. Références bibliographiques

ARID H., MOUSTATIR A., ORBI A. (1995). *La lagune de Nador : étude et aide à la gestion*. Géo observateur n° 6, Maroc, pp 35-47.

*Le complexe lagunaire de Nador (Maroc) :  
fonctionnement, contrôle naturel et provoqué, scénarii d'évolution future : 5.13*

- BLOUNDI M.K. (2005). *Etude géochimique de la lagune de Nador (Maroc oriental) : Impact des facteurs anthropiques*. Thèse de Doctorat en co-tutelle : Univ. Louis Pasteur, France et Univ. Mohammed V-Agdal, Maroc. 238 p.
- BRETHES J.C., TESSON M. (1978). *Observations hydrologiques sur la Sebkhia Bou Areg (la lagune de Nador Maroc) Bilan d'automne 76 et d'hiver 77*. Trav. Doc. Pêches Maroc, n° 24, Casablanca, 17 p.
- DAFIR J.E. (1996). *Organisation et fonctionnement des écosystèmes aquatiques (gestion et préservation). Application de la dynamique du phosphore (flux de fixation /relargage à l'interface eau sédiment, spéciation des différentes fractions mobilisables)*. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences, Univ. Hassan II, Casablanca. 320 p.
- EL-ALAMI M., MAHJOUBI R., DAMNATI B., KAMEL S., ICOLE M., TAIEB M. (1998). *Sédimentologie et géochimie organique des sédiments superficiels de la lagune de Nador (Maroc nord oriental)*. Journal of African Earth Sciences Vol. 26, Issue 2, pp 249-259. doi:10.1016/S0899-5362(98)00008-6
- ERIMESCO P. (1961). *La Mar Chica de Melilla*, Bull. Int. Pêche Marit. Maroc, n° 7, pp 3-11.
- GUILLEMIN M., HOUZAY J.P. (1982). *Le Néogène post-nappes et le Quaternaire du Rif nord oriental. Stratigraphie et tectonique des bassins de Mellila, du Kert, de Boudinar et du piedmont des Kbdana. Etudes géologiques sur la chaîne du Rif*. Notes et Mem. Serv. Géol., n° 314, Rabat, Maroc.
- HAMOUMI N. (2011). *Le complexe lagunaire de Nador (Maroc) : fonctionnement, contrôle naturel et provoqué, scénarii d'évolution future*. Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, Tanger, Maroc, pp 173-176. doi:10.5150/cmcm.2011.037
- HAMOUMI N., HOURIMECHE A., CHAFIK M., HAZIM M. E., TERHZAZ L., KHARBAOUI R., LOUAYA A. (2011a). *Contrôle et évolution des milieux sédimentaires de la lagune de Nador (littoral méditerranéen oriental, Maroc)*. Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, Tanger, Maroc, pp 177-180. doi:10.5150/cmcm.2011.038
- HAMOUMI N., HSSAIDA T., TERHZAZ L., HAZIM M.E. (2011b). *Contrôle et évolution des milieux écologiques de la lagune de Nador (Maroc)*. Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, Tanger, Maroc, pp 181-184. doi:10.5150/cmcm.2011.039
- HERNANDEZ J. (1983). *Le volcanisme miocène du Rif oriental (Maroc): Géologie, pétrologie et minéralogie d'une province shoshonitique*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Univ. Paris VI, 458 p.
- 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 de Doctorat, Fac. Sc. Ben Msik, Casablanca 183 p.
- INANI I. (1995). *Dynamique sédimentaire et état de la pollution dans la lagune de Nador*. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Mohammed V-Agdal, Rabat. 200 p.

- IOUZZI N., MAGOUA M., HAMOUMI N. (2005). *Etude de la qualité des eaux de la lagune de Nador durant la période 2003-2005*. Rapport scientifique du Partenaire P3 (Maroc), Projet COLASU/ ICA3-2001-10029.
- IRZI Z. (2002). *Les environnements du littoral méditerranéen oriental du Maroc compris entre l'oued Kiss et le Cap des Trois Fourches ; Dynamique sédimentaire et étude d'impact des sites aménagés et l'analyse des associations de foraminifères benthiques de la lagune de Nador en relation avec leur écologie*. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Mohammed I, Oujda, 279 p.
- LEFEBVRE A., GUELORGET O., PERTHUISOT J.-P., DAFIR J. (1996). *Evolution biogéologique de la lagune de Nador (Maroc) au cours de la période 1982-1993*. Oceanologica Acta, 20, 2, pp 371-385.
- LOUAYA A., HAMOUMI N. (2006). *Application de la télédétection à l'étude de la géomorphologie et de la morphodynamique du complexe lagunaire de Nador*. Bull. Geo Observateur, n° 15, pp 51-65.
- LOUAYA A., HAMOUMI N. (2010). *Etude morphostructurale de la région de Nador (Maroc nord-oriental)*. Africa Géosciences Review, Vol. 17, n° 2, pp 107-127.
- LOUAYA A. et HAMOUMI N. (2011). *Impact des aménagements sur la morphodynamique du complexe lagunaire de Nador, Maroc* Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, Tanger, Maroc, pp 211-214.  
doi:10.5150/cmcm.2011.045
- MAHJOUBI R. (2001). *Nature et origine du flux de matières particulaires et son enregistrement dans un milieu paralytique microtidal : cas de la lagune de Nador (Maroc nord oriental)*. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences, Univ Moulay Ismail, Meknès. 273 p.
- RAHOUTI M (2004). *Apport de la télédétection spatiale et des systèmes d'information géographique à la cartographie des écosystèmes lagunaire et au suivi de leur évolution. Cas des lagunes de Moulay Bousselham et de Nador*. Thèse de doctorat, Univ. Mohammed V, Rabat, Maroc.
- SAUBADE A.M. (1979). *La malacofaune actuelle (Bivalves et Gastéropodes) de la lagune de Nador (côte méditerranéenne du Maroc)*. Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, n° 26, pp 69-90.
- TESSON M. (1977). *Etude hydrologique et hydrodynamique de la Sebkhha Bou Areg (lagune de Nador, Maroc : bilan du printemps 1976*. Trav. Doc. ISPM, Casablanca, 21, pp 1-68.
- TESSON M., GENSOUS B. (1978). *Les sédiments superficiels de la lagune de Nador (sebkhha de Bou Areg) principales caractéristiques et répartition*. Bull. Inst. Pêches Maroc, 24 p.