Évaluation des impacts de l'élévation du niveau de la mer sur la lagune de Nador, Méditerranée marocaine.

Assessment of impacts of sea level rise on the Nador's lagoon in Morocco (Mediterranean Sea).

NIAZI S*., RAJI O*., SNOUSSI M*, and KHOUAKHI A*

Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre.

Groupe de Recherche en Environnements Côtiers et Changements Climatiques.

Avenue Ibn Battouta, B.P. 1014, Rabat

Emails : saidaniazi@hotmail.com, otmaneraji@gmail.com, snoussi@fsr.ac.ma , abdouu2005@hotmail.com

RESUME

Durant le 21ème siècle, le changement climatique et notamment l'élévation du niveau de la mer auraient des impacts biogéophysiques sur les écosystèmes côtiers qui ne pourront pas s'adapter aux nouvelles conditions. L'érosion côtière, la submersion et la salinisation des eaux souterraines sont les principaux effets prévus de la remontée du niveau de la mer (ENM).

Cette étude présente une évaluation des impacts d'une élévation du niveau marin de 1 mètre, prévue d'ici 2100, sur la lagune de Nador. La vulnérabilité aussi bien physique que socio-économique, ont été estimées.

La lagune de Nador est l'une des plus grandes lagunes marocaines. Elle présente une superficie d'environ 115 Km² et une profondeur moyenne de 8 m. Ce milieu paralique est séparé de la mer par une étroite barrière de 25 kilomètres de long et communique avec la Méditerranée par une passe de 250m. La circulation est principalement dominée par les forces induites par le vent. Cet écosystème est un site d'intérêt biologique et écologique, et présente un aquifère (nappe de Bou Areg) d'une grande importance. Environ 200 400 habitants vivent autour de la lagune. Les principales activités sont l'agriculture, l'élevage, et la pêche. Cependant, les pressions croissantes de l'urbanisation et des multiples activités économiques, dans et autour de la lagune, peuvent affecter l'évolution de cet écosystème et augmenter sa vulnérabilité aux changements futurs.

La cartographie des zones vulnérables, basée sur l'utilisation du système d'information géographique, a permis l'identification des zones situées en dessous du niveau marin de 1 m. Trois indices de vulnérabilité (côtier, socio-économique et intrusion saline dans l'aquifère) ont été estimés.

Les résultats montrent que pour une élévation du niveau de la mer de 1 mètre d'ici 2100, 7 km² des terres seraient inondés. La représentation graphique des différents indices indique que : (i) pour l'indice côtier de vulnérabilité, 22% de la longueur totale du littoral étudié présenteraient une vulnérabilité élevée à très élevée à la remontée du niveau marin (ii) 36 % du rivage auraient une vulnérabilité socio-économique élevée à très élevée; et (iii) 16% de la superficie de la nappe serait fortement vulnérable à une intrusion saline.

Ainsi, l'ENM prévue pourrait fortement augmenter la vulnérabilité de la lagune de Nador. Par conséquent, l'étude a analysé plusieurs options de stratégies d'adaptation pour faire face aux effets d'une remontée du niveau marin inévitable, sur le moyen et le long terme.

Mots-clés : Élévation de niveau de la mer - lagune de Nador - inondation - intrusion saline - indices de la vulnérabilité - stratégie d'adaptation

ABSTRACT

During the 21st century, it is generally believed that climate change and sea level rise will cause biogeophysical impacts in the coastal ecosystems which will not be able to adapt to new conditions. Coastal erosion, flooding, and ground water salinisation are the main impacts expected from accelerated sea-level rise (SLR).

This study presents an assessment of the impacts of one meter SLR on the Nador's lagoon by 2100. The physical and socio-economic vulnerability of the lagoon was evaluated.

The lagoon of Nador is Morocco's largest coastal lagoon. The surface area is about 115 km² with an average depth of 8 m. The lagoon is separated from the sea by a narrow barrier (25 km length) and opens into the Mediterranean through a narrow inlet. The circulation is mainly dominated by wind induced forces. It's a Site of Biological and Ecological Interest, presenting an important unconfined aquifer. About 200 400 inhabitants live around the lagoon. The main activities are agriculture and stock farming, and fisheries. However, the increasing pressures of urbanization and multiple economic activities in and around the lagoon may affect the evolution of this ecosystem and increase its vulnerability to future change.

Mapping vulnerable zones using geographic information system allowed an identification of the areas that fall below sea level of 1 m. Three vulnerability indexes (coastal, socio-economic and saltwater intrusion into aquifer) were estimated.

Results show that 7 Km² would be flooded if the sea level rose 1m. The mapped values of different indexes indicated that: (i) for the coastal vulnerability index, 22% of the mapped shoreline is classified as being at very high risk due to future sea-level rise; (ii) for the socio-economic sub-index, 36 % of the shoreline is at high to very high risk; and (iii) 16% of the aquifer would be contaminated due to the intrusion of salt water.

In summary, the expected SLR might highly increase the vulnerability of the Nador's lagoon. Therefore, the study analysed several options of adaptation strategies to cope with the effects of SLR on the mid and long-term.

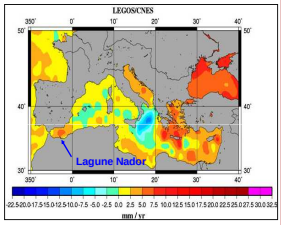
Keywords: Sea level rise - lagoon of Nador - inundation - salt intrusion - index of Vulnerability - Adaptation strategy

INTRODUCTION

La question de la vulnérabilité des zones côtières face aux risques naturels, notamment à l'élévation du niveau marin, corollaire au réchauffement planétaire est actuellement le point focal de nombreuses recherches en zones côtières. Un réchauffement global de 2 à 3°C entraînerait, selon certains scénarios, une perte supérieure à 50% des zones côtières méditerranéennes dus à l'élévation du niveau de la mer et à l'augmentation des tempêtes marines. Les lagunes et les deltas se trouveraient en première ligne au niveau de cette perte (EEA, 2006).

Selon les dernières données de l'Institut Espagnole d'Océanographie, le niveau de la mer Méditerranée augmente de 2,5 à 10 millimètres par an depuis les années 1990.Si la tendance se poursuit, il pourrait augmenter de 12,5 à 50 centimètres dans les 50 prochaines années (IEO, 2008) et atteindrait 1 mètre d'ici 2100. Les mesures satellitaires (Topex Poseidon & Jason), indiquent qu'en Méditerranée marocaine orientale, la vitesse de l'élévation du niveau de la mer est de l'ordre de 3 mm/an. Si la remontée du niveau de la mer s'accélérait, les impacts sur la lagune de Nador seraient importants. Ses rives présentent de fortes concentrations humaines et l'économie y est tributaire des ressources naturelles. De nombreux problèmes (intrusion saline, inondation due aux crues…), observés et vécus par les populations sont déjà la signature d'une sensibilité de la zone. Les effets risquent de s'aggraver avec les changements futurs.

Dans la perspective d'une hausse accélérée du niveau marin, il s'avère donc important, d'élaborer, pour la région de Nador, une cartographie des zones les plus vulnérables à une élévation du niveau de la mer, afin de faciliter le suivi des modifications physiques et les impacts potentiels d'un scénario hypothétique mais très plausible.

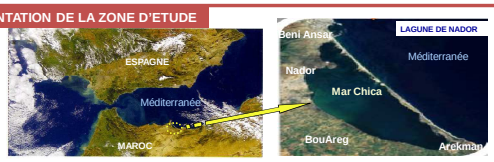


Carte de la distribution géographique des vitesses de variation du niveau marin (1993-2006) d'après Topex/Poseidon et Jason-1. (http://www.legos.obs-mip.fr).

METHODOLOGUE :

- Simulation à l'aide du SIG en croisant l'altimétrie (MNT) et le niveau marin de 1mètre et estimation des superficies des zones à risque d'inondation. .
- Superposition sur une carte d'occupation du sol et représentation des unités cartographiques à risque de submersion.
- Évaluation de la vulnérabilité :
  - * (i) physique et (ii) socioéconomique basée sur le calcul d'indices dont les variables sont relatives au risque d'inondation avec un niveau marin de 1m.
  - **de la nappe de Bou Areg à une intrusion saline pour une remontée du niveau marin de 0,50m basée sur le calcul d'indice dont les facteurs sont relatifs aux caractéristiques physiques de la nappe phréatique.
- Proposition d'options d'adaptation à mettre en place pour répondre à ce phénomène dans les années à venir .

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE



La lagune de Nador appelée aussi *Mar Chica* est située au Nord-Est du littoral méditerranéen marocain entre le cap des trois fourches et le cap de l'eau. Elle occupe une bande côtière longue de 25 km correspondant à la partie centrale de la baie de Nador. Allongé parallèlement à la côte, cet écosystème est d'une superficie de 115 km² et une profondeur moyenne de 8m. C'est l'une des plus importantes lagunes de la Méditerranée. Ce système lagunaire est séparé de la mer par le lido, un cordon dunaire orienté NW-SE, et sa communication avec la Méditerranée est assurée par une passe de 250 m de largeur. Ce milieu paralique présente une grande diversité biologique, écologique et paysagère (Site RAMSAR et SIBE). L'hydrologie de la lagune dépend de trois types de ressources hydriques aux caractéristiques hydrodynamiques et physico-chimiques très différentes : (i)- les eaux marines (la marée et les houles), (ii)- les eaux courantes et les eaux usées urbaines, (iii)- les eaux de la nappe de Bou Areg. Malgré l'exiguïté de la passe, le bilan hydrologique de ce système montre une prédominance des eaux marines (MATEE, 2005).

La lagune et son proche bassin versant constitue le milieu de vie d'une population d'environ 200 400 habitants (RGPH ,2004), représentant des communes urbaines (Nador, Beni Ansar) et rurales (Kariat Arkemane, Bouareg). Ces agglomérations exercent une forte pression sur cet écosystème. Vu son état avancé de pollution, le site est classé « Hotspot » par le Programme d'Action en Méditerranée..

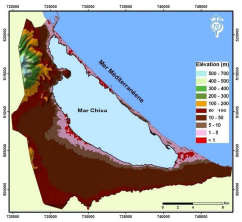
L'espace du pourtour de la lagune dispose de nombreuses potentialités qui lui permettent d'être à la fois une zone agricole, industrielle et minière, et avoir une importante activité commerciale. Il est en pleine mutation socio-économique (programme de construction d'unités touristiques Marchica Med, développement du port de pêche et de commerce de Beni Ansar, création d'une zone franche, développement de la ligne ferroviaire et de la rocade méditerranéenne, …..). Tous ces grands projets structurants engendreront de profonds bouleversements, tant sur le plan socioéconomique qu'environnemental, auxquels devraient s'ajouter d'autres défis : le changement climatique et la remontée du niveau marin.

Dans cette perspective, l'étude s'intéresse plus particulièrement aux effets de l'élévation du niveau de la mer sur la région, dans le but d'identifier les zones les plus vulnérables et de contribuer à la réflexion sur l'adaptation des aménagements à venir en périphérie de la lagune.

RESULTATS

TERRES A RISQUES D'INONDATION DUS A UNE ELEVATION ACCELEREE DU NIVEAU DE LA MER

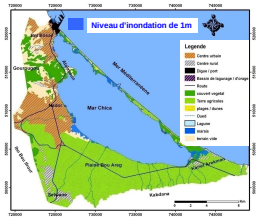
Le phénomène d'inondation est la première menace que fait peser l'élévation accélérée du niveau marin sur les zones côtières dont la vulnérabilité dépendrait étroitement des altitudes des régions exposées.



Modèle numérique de terrain de la lagune de Nador

La zone d'étude correspond globalement à une zone basse avec toutefois des reliefs qui culminent à des altitudes élevées

La lagune de Nador, de par sa morphologie en tant qu'écosystème lagunaire en communication avec la mer, et sa situation dans la plaine basse de Bou Areg, réunit toutes les caractéristiques pouvant exposer ce littoral au risque .d'inondation marine.

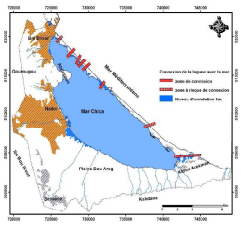


Zones inondables avec un niveau de submersion de 1m dans la région de Nador.

En cas d'une élévation du niveau de la mer de 1 m, 7 Km² (3,2% de la superficie totale de la zone d'étude) risquent d'être affectées par une submersion permanente,.

Les unités cartographiques à risque seraient :

- Les marais, les bassins de lagunage et les digues, le port de Beni Ensar.
- 0,5% des zones représentant le bâti et les terres agricoles
- Les unités installées au niveau du lido;
- 40 % des plages sableuses du lido…



Zones à risque de connection de la lagune avec la mer en cas d'une hausse du niveau de la mer

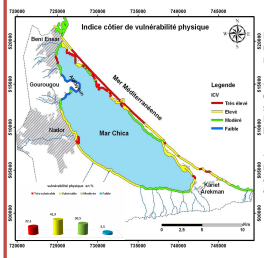
Élargissement de la passe et ouverture de plus en plus de brèches lors des houles de tempêtes entraîneraient la mise en place de passes permanentes et la transformation du lido en îles barrières.

RIsques majeurs à la fois écologiques et socioéconomiques

EVALUATION DE LA VULNERABILITE DE LA LAGUNE DE NADOR A L'ELEVATION ACCELEREE DU NIVEAU MARIN

Vulnérabilité physique

Le calcul est basé sur les variables physiques relatives aux risques.



Indice côtier de la vulnérabilité physique du littoral de Nador.

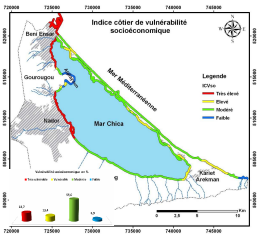
La zone d'étude présenterait globalement une vulnérabilité élevée à très élevée à la remontée du niveau de la mer:

-22 % de la longueur totale du littoral étudié ont un degré de vulnérabilité très élevé : les secteurs du lido situés particulièrement au Nord de la passe, et les plages localisées à l'immédiat du goulet.

- 42% sont à risque élevé: zones situées au niveau de la plaine de Bou Areg, de Nador et au niveau du cordon dunaire particulièrement au Nord de kariat Arkeman ;

Vulnérabilité socioéconomique

Le paramètre socio-économique est un élément essentiel dans la détermination de tout indice de vulnérabilité.



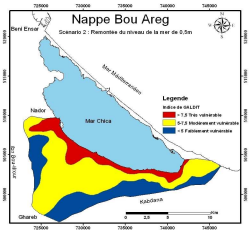
Indice de la vulnérabilité socioéconomique de la lagune de Nador.

Sur la base des données socioéconomiques actuelles, 23% du littoral au pourtour de la lagune de Nador présenterait une vulnérabilité socio économique très élevée. L'étendu des secteurs vulnérables risque d'augmenter avec l'ampleur des projets programmés à proximité de la lagune:

Projets MarChica Med

Intrusion saline dans la nappe Bou areg

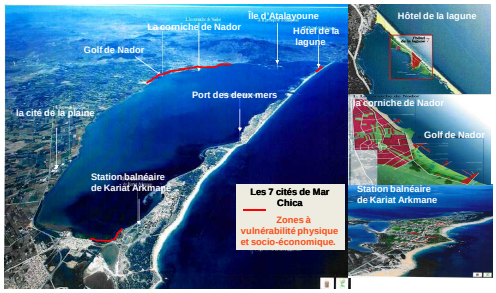
La place des nappes phréatiques côtières dans les enjeux socioéconomiques impose la nécessité d'évaluer leur vulnérabilité à l'intrusion saline.



Vulnérabilité de la nappe de Bou Areg à une intrusion saline due à une hausse du niveau marin.

La nappe de Bou Areg présente une vulnérabilité à l'intrusion saline sur l'ensemble de l'aquifère avec un fort risque de contamination le long du rivage et des oueds. L'état de salinisation déjà entamé dans cet aquifère (Elmandour et al. 2007), risque de s'étendre à 21km² de la superficie de la nappe et serait corollaire à l'intrusion saline due à une élévation accélérée du niveau de la mer. En outre, une sécheresse et une surexploitation provoqueraient un appel d'eau salée, et mettrait l'aquifère dans une situation irréversible.

ORIENTATION D'OPTIONS D'ADAPTATION



Bien que les impacts seront relativement lents puisque les estimations sont de l'ordre du mètre en un siècle, il faut développer des interventions humaines raisonnées pour contrer efficacement les effets prévus. Les orientations de gestion proposées pour les sites à risque, se résument en un ensemble de projets d'ingénierie côtière et maritime. Pour:

- ***Le littoral de Nador*** : Élaboration d'un plan de protection axé entre autres sur la construction des murs en enrochements pour protéger la ville de Nador et maîtriser un risque de débordement du système lagunaire.
- ***La station balnéaire de Kariet Arkemane*** :Travaux de réhabilitation des dunes destinés à contrecarrer les effets de submersion de l'élévation du niveau marin.
- ***L'hôtel de la lagune*** : Adoption de mesures de lutte anti-érosive par la construction de brises lames et l'alimentation des plages en sédiments.
- ***Les ports:*** Surélévation de la crête des digues d'une valeur légèrement supérieure à l'élévation des pleines mers.
- ***La nappe phréatique*** : Rechargement artificiel de la nappe par les eaux douces pour atténuer la salinisation des eaux, des terres agricoles et des prairies du golf de Nador.

Il importe que la mise en oeuvre des mesures techniques s'inscrive dans une stratégie participative guidée par une prise de conscience des principaux groupes d'acteurs qui évoluent dans cette zone côtière .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-EEA, (2006): The changing faces of Europe's coastal areas. European Environmental Agency, Report N°6, Luxembourg, 107 p. URL : http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2006_6/en/eea_report_6_2006.pdf

-Elmandour, A., El Yaouti, F., Fakir, Y., Zarhloule, Y., et Benavente, J., (2007) : Evolution of groundwater salinity in the unconfined aquifer of Bou-Areg, Northeastern Mediterranean coast, Morocco. Rev. *Environmental Geology*, 491-503pp.

-IEO, (2008): INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA, Cambio climatico en el Mediterraneo espanol, temas de Oceanografia. Ministerio de Educación y Ciencia . ISBN: 84 95877 39 2, 159p. URL : version complète : http://www.ieo.es/apartar/varios/libro_cambio_climatico.pdf

-MATEE, 2005: Rapport sur le diagnostique de la lagune de Nador, Version provisoire. 68p.

-Raji O. 2008: Vulnérabilité de la lagune de Nador à l'élévation accélérée du niveau de la mer: Impacts physiques et socio-économiques. Mémoire de Master Sciences de la Terre , de la Mer et de l'Environnement, Univ. Mohammed V, Fac. Des Sciences, Agdal Rabat, 80p.

-RGPH ,2004: Rapport National sur le Recensement Général de la population et de l'Habitat au Maroc. Haut commissariat au plan, Royaume du Maroc.

Cette étude a été réalisée dans le cadre du Master des Sciences de la Terre , de la Mer et de l'Environnement, Options Océanologie et Gestion Intégrée du littoral , Faculté des Sciences - Rabat.