

# APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION À L'ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE AU SEIN DE LA LAGUNE OUALIDIA (MAROC)

*Taghia Yamna, PhD*  
*Algouti Abdellah, Dr.*  
*Algouti Ahmed, Dr.*  
*Kheir Addine Azzaoui*  
*Ali Aydda, PhD*

Département de Géologie, Laboratoire GEOBASSMA  
(Géologie des Bassins Sédimentaires Marocains),  
Faculté des Sciences, Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech

---

## Abstract

To study sedimentary dynamics in the Oualidia lagoon and to explain its morphological evolution in time, analysing aerial photos and Landsat imagery was carried out since 1962 up to 2013.

The study reveals a formation of the erosional zones and sedimentary accretions, evolving in time, thus, the position of the main channel and that of the “sand area” changes permanently and progressively, according to the form channel and the hydrodynamic parameters reigning in the lagoon.

---

**Keywords:** lagoon, sedimentary dynamics, remote sensing, Oualidia, Morocco

---

## Résumé

Pour étudier la dynamique sédimentaire au sein de la lagune Oualidia et pour expliquer son évolution morphologique dans le temps, un traitement d'images a été effectué sur des photos aériennes ainsi que sur des prises satellitaires Landsat depuis 1962 jusqu'à 2013.

L'étude révèle la formation de zones d'érosion et d'accrétion sédimentaire évolutive dans le temps, ainsi, la position du chenal principal et celle de la sablière change d'une façon permanente et progressive, en fonction de la forme du chenal et en fonction des paramètres hydrodynamiques régnant au sein de la lagune.

---

**Mots Clefs :** lagune, dynamique sédimentaire, télédétection, Oualidia, Maroc

## Introduction

Durant plusieurs années, nous avons effectué des missions de terrain annuelles pour étudier la côte atlantique entre les embouchures des oueds Tensift et Oum Rbia. Nous avons constaté une dynamique sédimentaire active dans les différents milieux côtiers et plus particulièrement les baies et les lagunes et notamment celle de Oualidia. Pour mieux cerner cette dynamique et pour comprendre les évolutions observées dans le temps, nous avons procédé, en plus des autres études sédimentologiques et morphogénétiques (Azzaoui, 1988), à un traitement de photos aériennes et d'images satellitales Landsat prises depuis 1962 jusqu'à 2013.

L'arrière- pays de la côte atlantique entre Eljadida et Safi (Figure 1) est représenté par un grand bassin endoréique formant le grand domaine du sahel. Il correspond à une plate-forme alpine avec une couverture méso-cénozoïque, épaisse, sub-tabulaire, sur un socle calédono-hercynien pénéplané (Michard, 1976). Les dépôts quaternaires prennent toute leur importance avec des biocalcarénites dunaires en cordons anciens, consolidés, orientés NE-SW ouest, parallèlement à la côte (Oudiaa 1998) (Figure 2).

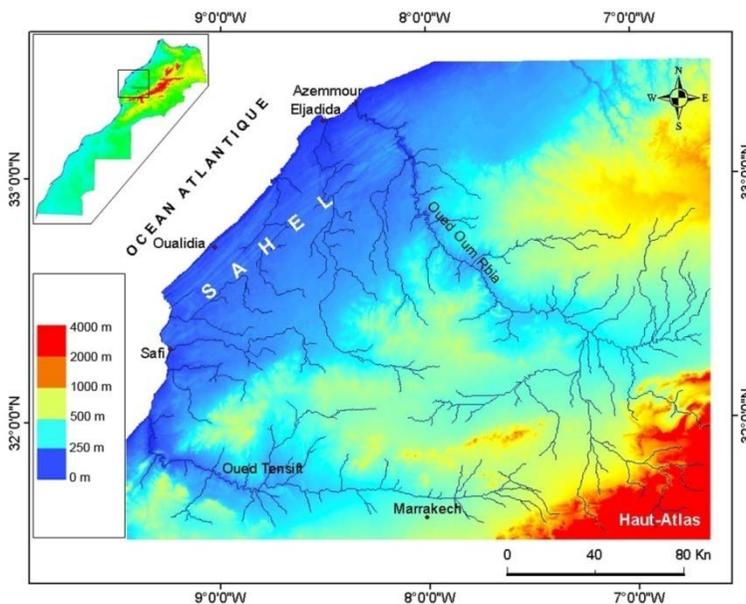


Fig. 1.- Carte hypsométrique générée à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) (UTM, Zone 29, Hémisphère Nord, Datum WGS84, Projection: Transverse Mercator)

Ces formations correspondent à d'anciennes lignes de rivages de mers quaternaires, organisées actuellement en falaises étagées à la suite du soulèvement du domaine mésetien (Guigout, M., 1951). La géomorphologie montre trois composantes fondamentales : vers la mer, une barrière rocheuse représentée par un ancien cordon dunaire consolidé, de 5 m de hauteur et 100

m de large en moyenne; vers le continent, une falaise morte de 100 m de hauteur au dénivelé maximum qui correspond aussi à un cordon dunaire marin consolidé daté de l'Ouljien et entre ces deux unités, une dépression appelée "oulja" représentant la plateforme d'abrasion du niveau marin quaternaire "ouljien". Sa formation a débuté depuis le recul de la mer postérieurement à la transgression du dernier interglaciaire. Quant à son remplissage, il a commencé pendant la transgression "mellahienne" (Carruesco *et al.*, 1984 et Ballouche et Carruesco, 1986 et Carruesco 1989).

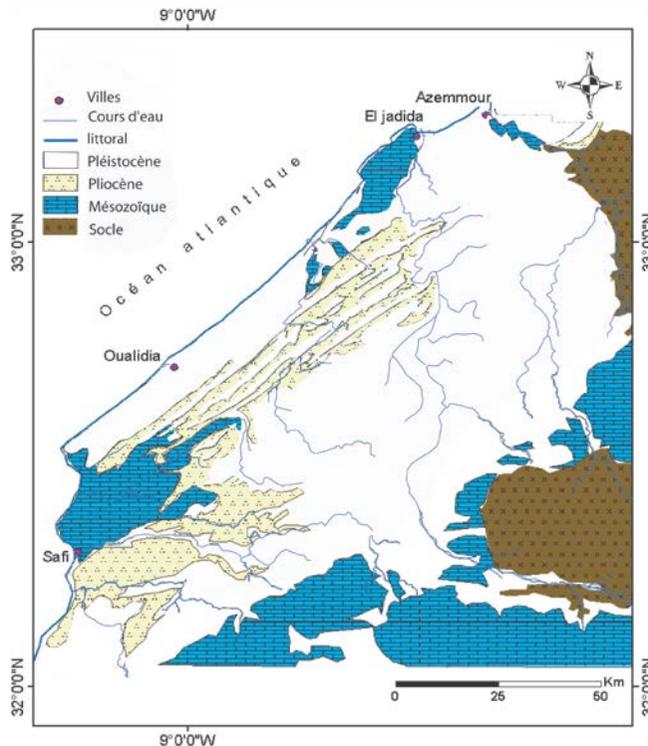


Fig. 2.- Carte géologique simplifiée du Sahel

Les sédiments sur ce littoral montrent un faciès constitué de sables bioclastiques, moyens à grossiers, formés seulement de la fraction biogénique. Ce faciès s'étend d'El Jadida à Safi au niveau des baies, marais et lagunes littorales. L'absence de la fraction terrigène découle d'un cadre hydrologique très pauvre de l'arrière pays (Figure 1).

La lagune de Oualidia (32°44'05''N- 32°46'38''N et 9°02'38''W - 8°58'56''W), objet de cette étude représente l'un des environnements littoraux les plus étudiés (Jaidi, 1981) (Carruesco, 1989) (Hilmi *et al.*, 2005a). Etant une lagune de type estuarien (Hilmi *et al.*, 2005b), elle s'étend sur une longueur de 7 km avec une largeur de 0,5 km. Elle est séparée de la mer par un cordon dunaire consolidé et communique avec elle par 3 passes.

En arrière du cordon, se développe la dépression ouljienne encadrée vers le continent par la falaise morte ouljienne (Figure 3).

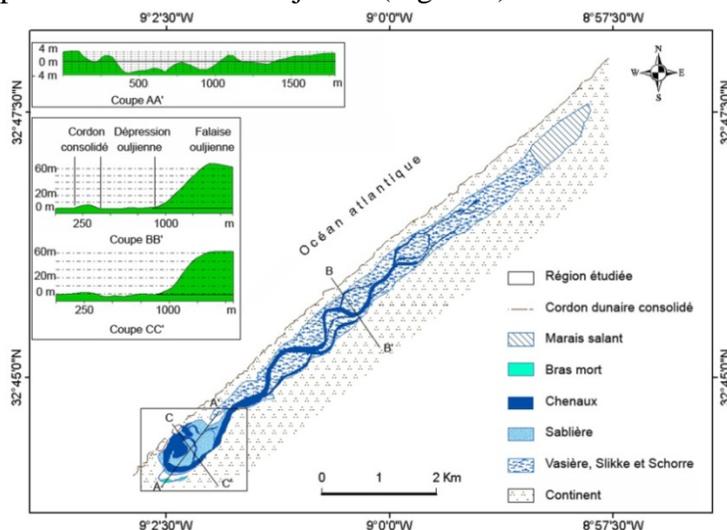


Fig. 3.- La lagune Oualidia et profils topographiques tracés à partir d'un MNT daté de 2004 (UTM, Zone 29, Hémisphère Nord, Datum WGS84, Projection: Transverse Mercator)

L'hydrodynamisme marin, généralement, observé au niveau de la côte atlantique marocaine est marqué par une houle dominante forte du nord-ouest vers le sud-est avec une origine entre les Açores et le Portugal (Gain, 1918). Les marées sont de type semi-diurne avec 2,1 à 3,4m de marnage et viennent du sud. Les courants marins côtiers, ceux de surface et ceux de la circulation générale (courant des Canaries), sont permanents et coulent du nord-est vers le sud-ouest (Lacaze, 1954).

Au sein de la lagune Oualidia, le marnage diffère légèrement, par une asymétrie des courants qui dépend de la forme de la lagune et de la position de son chenal principal. La sédimentation, fine dans la partie interne et sableuse dans la partie externe, est fortement liée à ce hydrodynamisme asymétrique (Koutitonsky *et al.* 2006).

## Methodes

Le matériel utilisé dans cette étude comprend des images satellitales de 1984 à 2012 (Landsat ETM<sup>+</sup> et Landsat TM), des images satellitales de la région issues de Google Earth (satellites Geoye, Ikonos) (2003, 2011 et 2013) et des photos aériennes (missions : 1962, 1981, 1989, 1993 et 1996). La carte géologique du Maroc au 1/500 000 et la cartes topographiques datées de 1953 (1/100 000) et 1985 (1/50 000) sont nécessaires pour la cartographie thématique. Les images satellitales, de 30 m de résolution

spatiale, ont été traitées avec le logiciel ENVI. Des corrections géométriques ont été apportées à certaines images et, pour d'autres, des rectifications ont été nécessaires pour palier aux distorsions ayant eu lieu, lors des prises de vue. Pour qu'ils soient superposables, tous les fichiers géoréférencés et corrigés sont projetés sur un seul et unique système géospatial de référence: UTM Zone 29 Hémisphère Nord, Datum WGS84.

L'outil géomatique permet l'acquisition d'une information de bonne qualité et actualisée pour aider à mieux comprendre le fonctionnement des zones littorales. Ceci donne une importance particulière à la gestion de l'information dans la prise de décision dans les zones côtières (Nakhli & Ghazi 2008).

## **Resultats**

L'analyse des images satellitales et des photos aériennes traitées nous a permis de repérer une certaine évolution morphogénique de la zone à l'aval de la lagune Oualidia (Figure 4), (Figure 5). Durant nos investigations, nous avons constaté un engraissement du deltat de marée interne et une érosion de la plage de sable de la rive gauche. Chaque année, la surface de la « plage » diminue progressivement avec un énorme désablage qui peut conduire dans certains endroits à un déchaussement de la base des constructions (Planche 1). Mais, cette évolution s'avère répétitive et cyclique, en effet, d'après nos observations sur le terrain, le dernier cycle a commencé en 1996 et le cycle qui l'a précédé a débuté en 1971 (Carruesco, 1989). Cette constatation, avec la comparaison des différentes positions du chenal principal au sein du delta de marée interne, nous a poussés à déduire une durée d'environ 25 années pour chaque cycle.

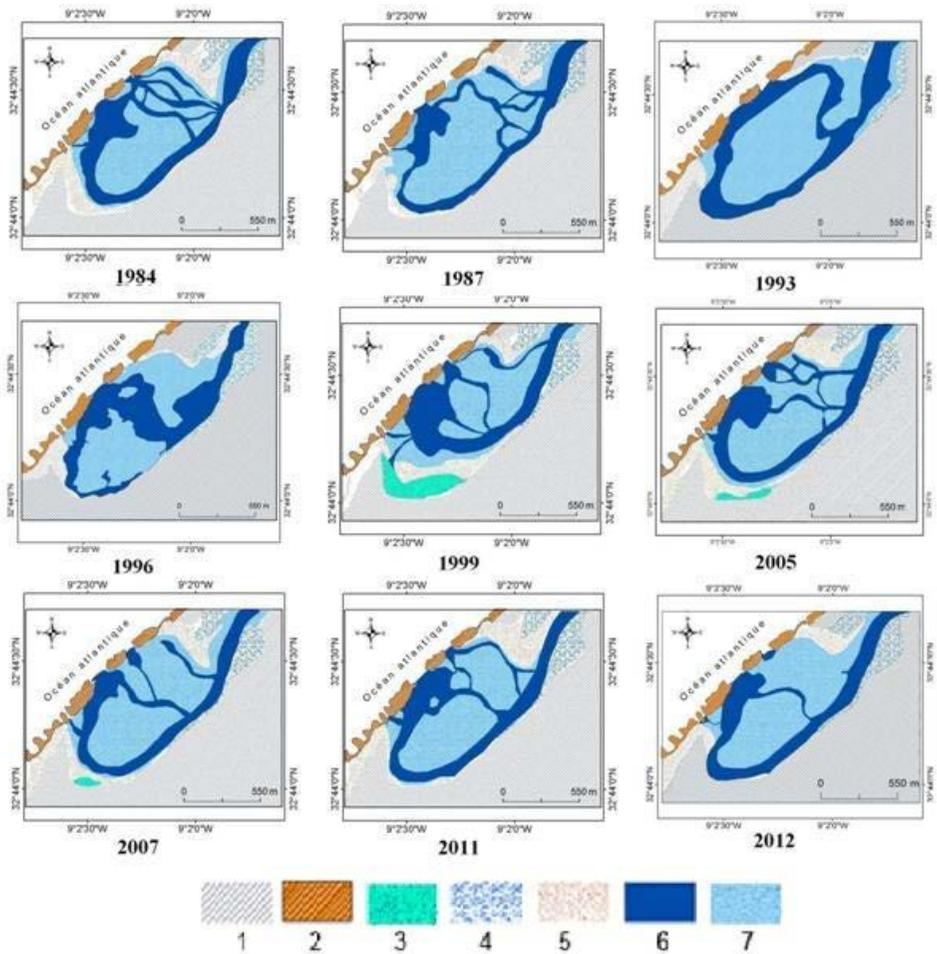


Fig. 4.- Evolution de la partie à l'aval de la lagune Oualidia en fonction des images satellitales Landsat traitées sous ENVI et ArcGis et des photos aeriennes corrigées, datées de 1996 et 1993 traitées sous ArcGis .1 : Continent ; 2 : Cordon dunaire consolidé ; 3 : Ancienne position du chenal principal ; 4 : Slikke et Schorre ; 5 : Dépôt éolien ; 6 : Chenal principal et chenaux de marées ; 7 : Plage de sable.

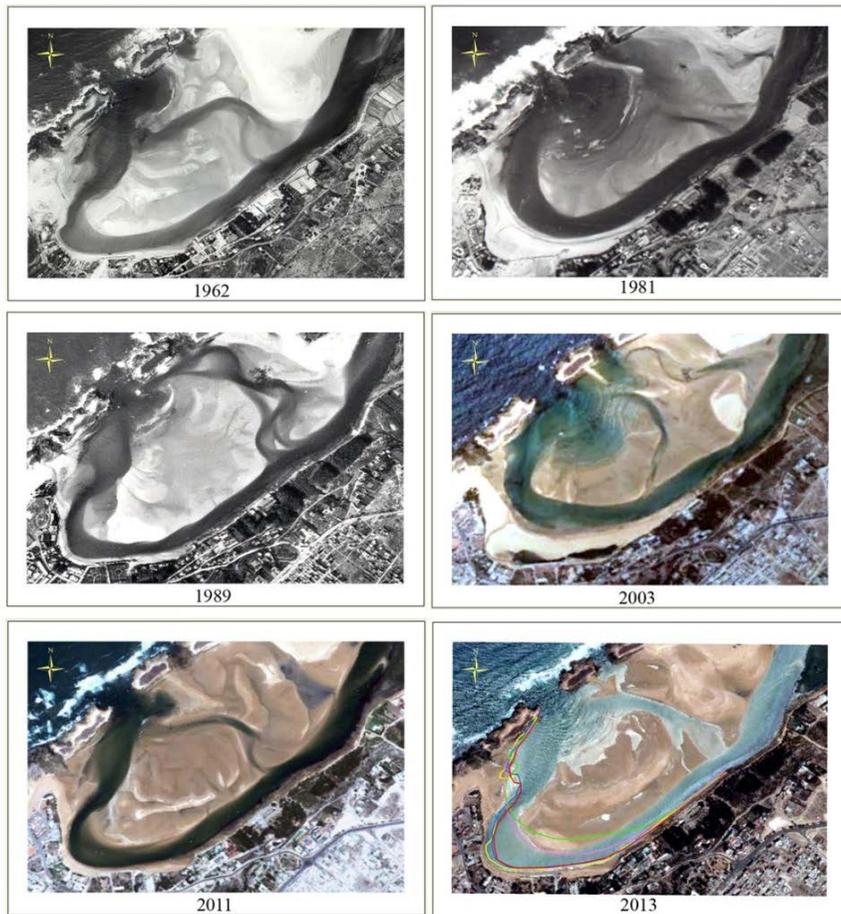


Fig. 5.- Evolution de la partie aval de lagune Oualidia en fonction de l'étude des photos aériennes (1962, 1981 et 1989) et d'images de Google Earth (2003, 2011 et 2013).

## Discussion

La cyclicité de la forme de la lagune est gérée, en plus grande partie, par la dynamique sédimentaire au sein de la partie à l'aval de la lagune. Cette dynamique est conditionnée par l'hydrodynamisme de la houle et les vagues et surtout par l'effet du marnage. Les actions éolienne et anthropique peuvent, aussi, avoir une répercussion considérable sur le façonnement des berges de la lagune. D'autres facteurs conjugués à l'hydrodynamisme contribuent énormément pour favoriser la création des aires d'érosion ou de sédimentation sableuse. Parmi ces facteurs, on peut distinguer les trois passes, le cordon dunaire consolidé et la courbure du chenal principal.

Au niveau de la berge droite de la passe 1, le cordon dunaire forme un obstacle contre la houle et les vagues ce qui favorise un dépôt de sable dans sa partie abritée. Cette sédimentation est engraisée par les apports éoliens.

Entre les passes 1 et 2, le cordon forme un rocher dont la partie interne protégée est soumise à une sédimentation sableuse sous forme de barre allongée ou oblique et parfois même sous forme de tombolo. Ces différentes constructions ne sont pas stables et peuvent changer de formes ou s'éroder en fonction de l'énergie hydrodynamique. La passe 2 est la principale ouverture qui permet la communication de la lagune avec l'océan Atlantique. L'hydrodynamisme y est très fort, les flots, les jusants, la houle et les vagues sont omniprésents et leur action érosive est très bien sentie ce qui confère la forme de croissant à la plage de sable.

La passe 3 est la plus petite des ouvertures. A cause de son exigüité, elle subit une érosion continue et intense lors des montées des eaux marines. En relation avec cette érosion, une sédimentation, relativement grossière, est observée sur l'extrémité à aval du rivage gauche de la lagune (Figure 6).

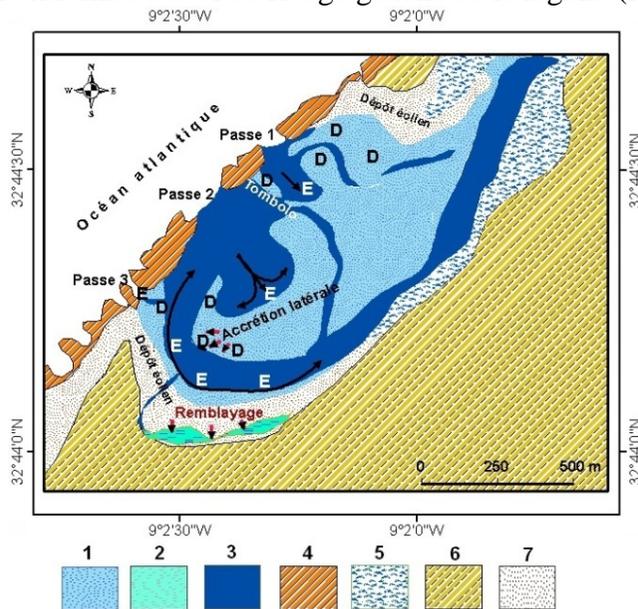


Fig. 6.- Dynamique sédimentaire dans la partie aval de la lagune Oualidia. (La digitalisation a été faite sur la forme de la lagune en 2003). E : Erosion ; D : Dépôt1 : Plage de sable ; 2 : Ancienne position du chenal principal ; 3 : Chenal principal et chenaux de marées ; 4 : Cordon dunaire consolidé ; 5 : Slikke et Schorre ; 6 : Continent ; 7 : Dépôt éolien

La courbure du chenal principal, en aval de la lagune, est le facteur le plus important et le plus déterminant dans les changements morphogéniques de la lagune. En effet, la sinuosité très prononcée du chenal permet l'individualisation de deux zones : convexe et concave. Dans la zone convexe, la sédimentation s'effectue par accrétion latérale de prismes

sableux. Au contraire, la zone concave est le siège d'une érosion continue de la rive gauche. Ces deux processus sédimentaires couplés vont permettre l'accentuation de la sinuosité et par conséquent le changement de l'emplacement de l'écoulement principal et l'avancée du chenal vers le continent.



Planche 2.- (A) et (B) Dégradation de la plage de sable de la rive gauche entre décembre 2009 et février 2013 et entre juin 2010 et juillet 2013. (C) Déchaussement des constructions sur la rive gauche en juillet 2013

Arrivé au niveau de la berge continentale, l'érosion diminue d'intensité par rapport à la sédimentation continue au niveau de la zone convexe. Avec le temps, cette inégalité du processus érosion/ sédimentation va entraîner l'obturation du chenal principal. Ainsi, les courants de marées, très forts au

niveau de la passe principale, vont emprunter un autre chemin en creusant un chenal au centre de du delta de marée interne: c'est le commencement d'un autre cycle sédimentaire (Figure 4) et (Figure 5). En changeant d'écoulement, le chenal peut laisser un « bras mort » ou un petit lac relictuel qui tend à se combler par accrétion latérale lors des montées des très hautes marées, ainsi que, par les sédiments éoliens.

Les chenaux secondaires et l'action éolienne contribuent au façonnement morpho-sédimentaire par le biais de l'appauvrissement ou de l'engraissement en sable de certaines zones. L'expansion de l'urbanisation de la ville Oualidia, cette dernière décennie, a participé, énormément, à la modification de certaines formes sédimentaires surtout les dunes vives de la rive gauche de la lagune. En effet, avant l'antropisation le fonctionnement de la lagune témoigne d'un équilibre naturel. Pendant la période estivale, les vents dominants évacuent le sédiment sec vers le sud. Ainsi, les masses de sable transportées par le vent survolent le chenal principal et forment des dunes vives sur la rive gauche.

Les anciennes photos aériennes font apparaître de très grandes accumulations de sable de part et d'autre de la zone à l'aval de la lagune. Ces accumulations témoignent d'une grande activité du transport éolien.

## **Conclusion**

La cyclicité morphosédimentaire de la partie aval de la lagune Oualidia a été confirmée par d'anciens travaux (Carruesco, 1989) et (Zourarah, 2002). Notre étude a montré l'intérêt de l'outil de télédétection pour comprendre la dynamique sédimentaire au sein de ce milieu littoral et a permis de revaloriser la durée du cycle en 25 années. Les images satellitales Landsat, les photos aériennes et les images à haute résolution de Google Earth nous ont permis de suivre l'évolution morphogénique de la lagune sur plusieurs années. Avec cette analyse, le suivi sur le terrain, nous a aidés à donner une interprétation à la dynamique régissant les processus sédimentaire. Les fluctuations de la position du chenal principal sont des changements réversibles conditionnés, surtout, par la courbure de l'écoulement des eaux de marées.

## **Référence:**

- Azzaoui, K.A., 1988. Etude morphostructurale de la meseta côtière marocaine entre l'oued Oum Rbiaa et l'oued Tensift et sédimentation actuelle sur le littoral atlantique correspondant. Marrakech: Thèse Université Cadi Ayyad, 119p.
- Ballouche A. et Carruesco Ch., 1986 Evolution holocène d'un écosystème lagunaire: la lagune Oualidia (Maroc atlantique). Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys. Paris, 27, 113-118.

- Carruesco, Ch., 1989. Genèse et évolution à l'holocène de trois lagunes de la façade Atlantique: Moulay Bouselham, Oualidia (Maroc) et Arcachon (France). Bordeaux: Thèse Université de Bordeaux, 485 p.
- Carruesco, Ch. Raynal J.P., Texier J.P., et Ballouche A. (1984) Formation et évolution holocène du système lagunaire de Oualidia (Côte atlantique marocaine). 10<sup>ème</sup> Réun. Annu. Sci. Terre. Bordeaux. P. 121.
- Gain, L. 1918. sur de la prediction de la houle au Maroc Ann. Hydrogr. Service Hydrographique 3<sup>ème</sup> ser, 2.65-74, 4 cartes.
- Guigout, M., 1951. Etude géologiques sur la Méséta marocaine occidentale (arrière pays de Casablanca, Mazagan et Safi). Trav. Inst. Sc Chérifien, 3, et Not. Mém. Serv.Géol., Maroc, n 86, 507 p
- Hilmi, K.; Koutitonsky, V.G.; Orbi, A.; Lakhdar, J.I. & Chagdali, M., 2005b. Oualidia lagoon (Morocco): an estuary without a river. African Journal of Aquatic Science, 30(1), 1-10.
- Hilmi, K.; Orbi, A.; Lakhdar, J.I. & Sarf, F., 2005a. Etude courantologique de la lagune de Oualidia (Maroc) en automne. Bulletin de l'Institut Scientifique, section Sciences de la Vie, 26-27, 67-71.
- Jaidi, E., 1981. Les environnements sédimentaires actuels et pléistocènes du plateau continental atlantique marocain entre Larache et Agadir. Bordeaux: Thèse Université de Bordeaux, 189p.
- Koutitonsky, V.G.; Orbi, A.; Ouabi, M. et Ibrahimi, 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.
- Lacaze, A., 1954. Origine des fortes houles au Maroc. (Littoral atlantique nord). Comité d'Océanographie et d'Études des Côtes du Maroc. Bulletin d'information, 6(8), 349-355.
- Michard, A., 1976. Eléments de géologie marocaine. Notes et Mémoires du Service Géologique (Maroc, Rabat). 252, 420p
- Nakhli S., Ghazi A. (2008). Quels outils pour un développement durable des zones côtières marocaines. Actes du Coll. Int. "Le littoral : subir, dire, agir", Lille, France, pp 1-7.
- Oudiaa .M, 1998 Les formations plio-quaternaires dans le domaine mesetien occidental du Maroc entre Casablanca et Safi : géomorphologie, sédimentologie, paléoenvironnements quaternaires et évolution actuelle. Thèse de Doctorat d'Etat es Sciences, Université Mohamed V Rabat, 277pp. 69 fig., 13 tabl. 6pl.
- Zourarah, B., 2002. Les processus côtiers actuels et leur impact sur l'environnement littoral des Doukkala (côte atlantique marocaine): Approche hydrodynamique, morphologique, sédimentologique et géochimique. Eljadida: Université Chouaïb Doukkali, 232 p.