



## **Impact des éléments naturels sur l'évolution du littoral d'Azemmour (Maroc)**

**Hassan AYAD<sup>1</sup>, Mohamed CHAGDALI<sup>1</sup>**

1. Université Hassan II Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'Sik, LPPPC, Av. Driss El Harti, BP 7556, Sidi Othman, Casablanca, Maroc.

*ayadhassan01@gmail.com ; chagdalinomohamed@gmail.com*

### **Résumé :**

Le littoral d'Azemmour, situé sur la façade atlantique du Maroc, est une zone particulièrement intéressante pour l'étude et la compréhension de l'influence des processus naturels sur la dynamique sédimentaire et l'évolution du trait de côte. Il constitue un bon exemple d'une évolution problématique de l'ouverture de la rivière "Oum Errabii" sur l'Océan Atlantique. Cette ouverture varie dans l'espace et dans le temps d'une manière oscillatoire. Plusieurs éléments physiques semblent intervenir dans ce phénomène : le transit littoral, le débit fluvial et les mouvements hydrodynamiques sur le site.

Sur la façade atlantique marocaine, il est admis que le transit littoral a une direction principale du Nord vers le Sud. En effet, la houle dominante a une direction remarquable et permanente du Nord-Ouest. Les barrages sur le fleuve d'Oum Errabii (Maroc) qui impactent le débit fluvial, ne peuvent expliquer la dissymétrie de l'évolution du trait de côte. La zone ne connaît pas d'activité industrielle ou d'urbanisation croissante qui peuvent conduire à des modifications dans la distribution des sédiments ou à une dégradation de l'environnement naturel de certaines plages.

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'évolution du trait de côte sur une grande période par la synthèse des photographies aériennes et des images satellitaires afin de mieux illustrer le comportement du littoral. L'analyse du débit sédimentaire du transit littoral par l'intermédiaire des formules théoriques va repositionner le problème en termes d'érosion/ensablement du littoral. Enfin, on va analyser la réfraction de la houle à l'entrée de l'embouchure pour mieux cerner le transit littoral.

### **Mots Clés :**

Transport sédimentaire, Evolution du trait de côte, Hydrodynamique côtière, Embouchure, Estuaire.

### **1. Introduction**

Le secteur étudié concerne l'estuaire d'Oum Rabiaa. Cet estuaire est situé sur la façade atlantique marocaine à proximité de la ville d'Azemmour (33°19' 50"N, 8° 20' 10"W). La zone a subi au cours des trente dernières années, de profonds bouleversements

## *Thème 2 – Dynamique sédimentaire*

hydrodynamiques et morphologiques, qui ont affecté les équilibres écologiques du système.

Ce littoral peut être composé de deux domaines :

- Les plages de sables et de galets, situées au sud et au nord et de l'embouchure.
- L'estuaire, dont les bordures montrent une alternance de barres sableuses et de barres caillouteuses parallèles au trait de côte (figure 1).



*Figure 1. Situation de l'embouchure en 2015 (référence Google Earth).*

Dans cette zone, la direction dominante de la houle au large est celle du Nord et du Nord-Ouest. Les vagues déferlent juste à l'embouchure, ce qui explique la formation des barres et des bancs de sable et des galets. Lorsque les houles sont obliques à la ligne de rivage, un courant prend naissance et se dirige parallèlement à la côte formant un "fleuve littoral", susceptible de transporter des masses considérables de sédiments apportés du large par le courant de translation sur les fonds ou arrachés à la côte par la houle. La topographie des fonds conduit à la concentration de la houle au niveau de l'embouchure, ce qui amène à la création d'un courant d'expansion latérale qui peut être à l'origine de colmatage de l'embouchure. Les vagues en face de l'embouchure sont énergétiques, ce qui explique l'existence de galets apportés de la mer et déposés à la côte. Les bancs de galets, une fois déposés, jouent le rôle d'un dissipateur de l'énergie de la houle ce qui favorise la fermeture de l'embouchure par la diminution de l'échange entre l'Océan et l'Oued et ne permettent pas l'expansion de la houle.

D'un point de vue hydrodynamique, on constate que trois éléments physiques déterminent la situation du côté marin :

- L'existence de galets qui a accentué les phénomènes naturels de la houle, en particulier les courants induits par déferlement et les courants d'expansion.
- L'existence des grandes quantités de galets consolidés
- Le faible débit du fleuve provoqué par la construction des différents barrages.

La synthèse des données bibliographiques (CHAIBI & SEDRATI, 2009) et des images satellitaires téléchargées du serveur de GOOGLE EARTH montre que l'ouverture de l'embouche est unique et qu'elle oscille entre une ouverture vers le nord qui reste dominante et une ouverture vers le sud qui semble être bloquée par l'avancée du secteur sud. On constate que la tendance à la fermeture fait évoluer le côté sud de l'embouchure vers le côté nord. La dynamique de dépôts des sédiments n'est pas encore connue d'une manière précise puisqu'elle est en contradiction avec l'hypothèse admise du transport sédimentaire du nord vers le sud.

Pour étayer cette problématique et apporter une explication au fonctionnement de l'embouchure, on va commencer par à la redéfinition de la houle dans la zone côtière afin d'estimer le débit potentiel du transit littoral dans différents secteurs du littoral. Le choix des secteurs est effectué sur la base des variations des caractéristiques. Nous calculons aussi l'évolution du trait de côte

## **2. Environnement naturel et océanographique**

Les vents forts (1 à 16 m/s) proviennent de l'Ouest (NW à SW). Plus de 80% du temps, les vents sont faibles (vitesses inférieures ou égales à 5 m/s). La marée est de type semi diurne. L'amplitude moyenne enregistrée est de 2,6 m. Le zéro Hydrographique est situé à 2,17 m au-dessous du zéro NGM (Nivellement Général Marocain). Le régime de houle au large de la zone d'étude se caractérise par des hauteurs dépassant 1,5 m près de 50% du temps et des périodes longues supérieures à 10 s plus de 50% du temps. Des directions de houles de provenance du secteur NW (N315°) à NNW (N340°) apparaissent être prédominantes avec une direction moyenne au N330°. Le climat de houle révèle aussi que plus de 41,66 % des houles ont une hauteur significative comprise entre 1 m et 1,5 m. Cette fréquence est suivie par la classe comprise entre 1,5 et >2 m qui correspond à 26,41 % des observations puis par la classe de 2 à 4 m avec 17,87 % (65 jours/an). Les fortes (>4 m) et les très fortes (4-7 m) houles représentent 7,28 %.

Le régime de houle à la côte est déterminé par modélisation numérique. On subdivise le domaine d'étude en trois sous domaines; le large, le cône de déjection et l'estuaire (figure 2). Ce choix est effectué sur la base de la pertinence des phénomènes physiques relatifs à la houle. La bathymétrie est considérée jusqu'à des profondeurs de plus de 100m. Ces profondeurs correspondent à la zone où la houle n'interagit pas avec le fond. Le code SWAN (Simulating WAVes Nearshore), développé à L'université de technologie de Delft (Pays-Bas), permet de calculer de façon réaliste les paramètres décrivant la houle au niveau des zones côtières à partir de données de vent, de

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire

bathymétrie et de courants. Ce code a été exploité avec une grille de calcul régulière d'environ 25 m de résolution.

Les surcotes, notée  $S_c$ , se produisent de manière aléatoire, sous forme d'événements individuels qui durent entre une demi-journée et un jour, avec un maximum du niveau d'eau qui se situe à peu près à la moitié de la durée (BONNEFILLE, 1992). D'après la carte du LEGOS (2011) on peut évaluer entre 2.5 et 5.0 mm/an la surélévation sur les côtes, notée CC, au voisinage de la zone du projet. Il n'est donc pas insensé d'évaluer entre 12 et 25 cm la surélévation du niveau de la mer pendant les 50 prochaines années.

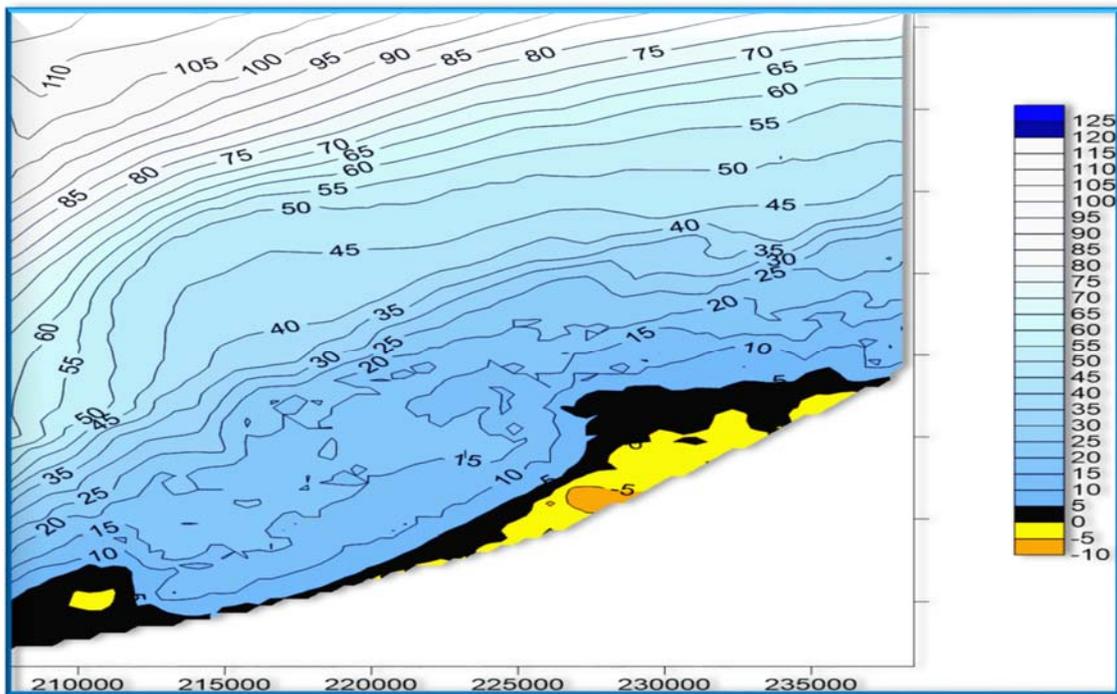


Figure 2. Bathymétrie composée de la carte marine 6621, du cône de déjection et de l'estuaire.

Tableau 1. Etat de mer simulé dans les trois zones.

	$T_p$ (s)	$H_s$ (m)	$\theta^\circ$	NM/ZH	$S_c$ (m)	CC(m)
Large	8	1,5	330	0. BM	0,57	0,2
Entrée du cône de déjection	8	0,98	349	0 BM	0,37	0,15
Entrée de l'embouchure	8	0,94	353	0 BM	0,35	0,15
Large	12	4	330	3,8 PM	1,52	0,2
Entrée du cône de déjection	12	2,14	348	3,8 PM	0,81	0,15
Entrée de l'embouchure	12	1,8	352	3,8 PM	0,68	0,15

Note :  $T_p$ , période de pic ;  $H_s$ , hauteur significative des vagues ;  $\theta$ , direction pic ; NM, niveau moyen ;  $S_c$ , surcote ; CC, changement climatique.

Lorsque la houle aborde obliquement les plages de l'embouchure, elle tend à déplacer latéralement une partie du stock sableux. Un transport identique se produit par les courants qui caractérisent cette zone littorale. Deux types de situations peuvent alors se présenter :

- Le sable est exporté latéralement vers le large.
- Le sable reste dans le site et se dépose à une extrémité de l'accumulation, ce qui provoque l'ensablement de l'embouchure.

La dynamique sédimentaire a une conséquence directe sur le fonctionnement de l'estuaire et plus particulièrement sur la fermeture de l'embouchure. Un certain nombre de formules empiriques sont données dans la littérature pour pouvoir estimer le débit des sédiments transportés par transit littoral. L'ensemble de ces formules utilise les paramètres suivants :

- Les caractéristiques de la houle au déferlement. Ces caractéristiques sont fournies par la modélisation numérique.
- Les caractéristiques de la houle au large. Ces caractéristiques sont fournies par des bases de données satellitaires.
- Le diamètre médian des grains dans la zone de déferlement est 0.6 mm. Ce paramètre est fourni lors de l'étude sédimentologique.
- La pente moyenne du profil est 1 %. Ce paramètre est fourni lors de la synthèse de la bathymétrie.

On a retenu la formulation du CERC pour le calcul du débit potentiel par transit littoral :

$$Q = 0,014 c_0 H_0^2 K_{R,b}^2 \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (1)$$

avec :  $c_0$ , la célérité en eau profonde;  $H_0$ , la hauteur d'onde en eau profonde;  $K_{R,b}$  le coefficient de réfraction à la limite extérieure de la zone de déferlement;  $\alpha_b$ , l'angle au déferlement, (IDRISSI *et al.*, 2004).

On a subdivisé le domaine littoral en 10 zones sur la base des résultats de la houle. Le passage d'un  $Q > 0$  vers  $Q < 0$  (ou l'inverse) montre qu'il y a des points de divergence (érosion) ou de convergence (engraissement ou ensablement) selon la notation. Pour chaque  $H_{s0}$  et chaque zone nous avons calculé le débit en  $m^3/an$ . Ainsi, pour trouver le débit des sédiments qui transitent dans la zone 1 par la formule du CERC, nous avons calculé le débit par la formule pondérée par la fréquence pour les trois hauteurs  $H_s$  :

$$Q = \sum f_i * Q_i \quad (2)$$

Le passage d'un  $Q > 0$  vers  $Q < 0$  (ou l'inverse) montre qu'il y a des points de divergence (érosion) ou de convergence (engraissement ou ensablement), (figure 3).

- Les zones 1, 2, 3, 4 et 5 montrent que le sens de déplacement des sédiments est vers l'embouchure. C'est-à-dire un déplacement dans le sens de fermeture de l'embouchure. (La rive gauche se rapproche de la rive droite du fleuve Oum Rabiaa).
- Les zones 6, 7, 8 montrent que le sens de déplacement des sédiments est vers le nord ou bien vers le large.

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire

- Les zones 9 et 10 montrent que le sens de déplacement des sédiments est vers l'ensablement et l'échange dans le profil.

Le bilan de la plage d'Azemmour est un engraissement de  $144637\text{m}^3/\text{an}$ . Les résultats obtenus, vont être confrontés à l'évolution du trait de côte.

Le suivi de l'évolution du trait de côte au niveau d'Azemmour est fait par traitement d'images :

- Images aérienne (1982).
- Images satellitaires (2004, 2009, 2016).

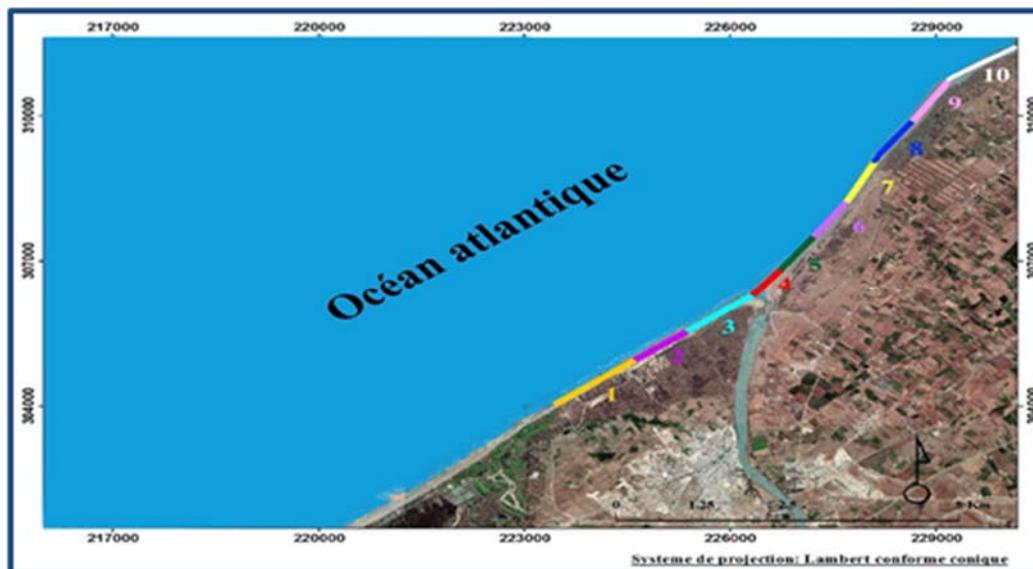
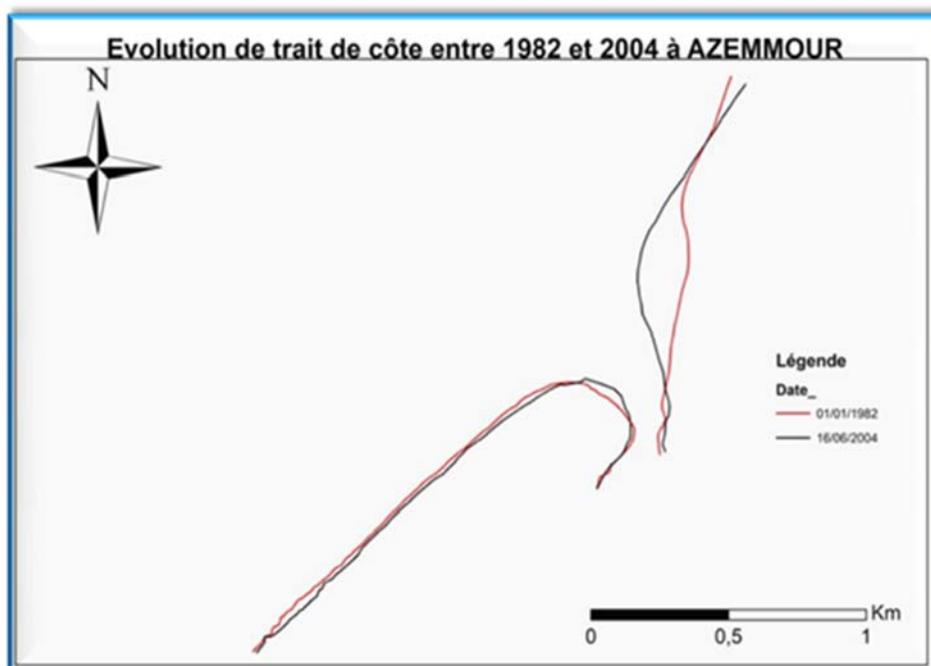


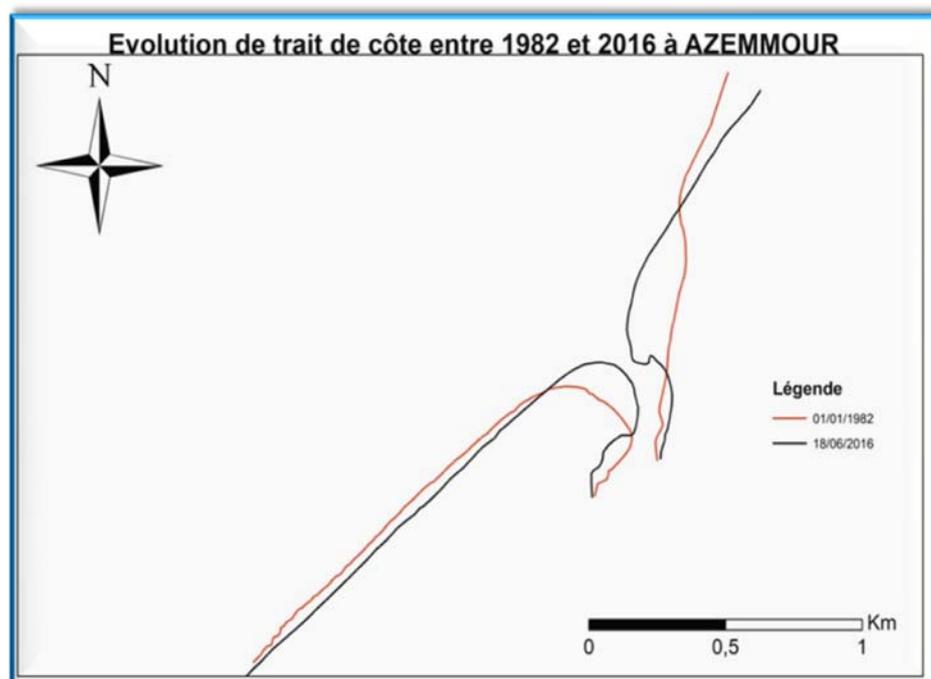
Figure 3. Schémas localisation des zones d'érosion et des zones.

Les images aériennes sont récupérées du cadastre (Rabat) et les images satellitaires sont téléchargées du serveur de GOOGLE EARTH avec une très haute résolution spatiale. On a traité les images utiles pour les années 2004, 2009, 2014 et 2016. Le choix du type d'images satellitaires est exigé par la très haute résolution (64 cm).

Sur les figures respectives 4 et 5, on présente une évolution de trait de côte entre 1982-2004 et entre 1982-2016.



*Figure 4. Evolution du trait de côte entre 1982 et 2004 à Azemmour.*



*Figure 5. Evolution du trait de côte entre 1982 et 2016 à Azemmour.*

On constate que le côté situé au Sud-ouest évolue sous forme d'une flèche littorale. Cette évolution au Sud-ouest de l'embouchure s'effectue aussi bien verticalement qu'horizontalement et elle met en évidence une accrétion importante favorisée par une disponibilité des sédiments. Cette évolution est couplée à une érosion, au recul de la

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire

ligne de rive située au nord et à l'embouchure. , pourrait faire évoluer l'estuaire de l'Oum Errabia vers un estuaire déplacé par transit littoral. Le trait de côte de la rive gauche de l'oued d'Oum Er Rbiaa enregistre d'importantes évolutions. Dans ce secteur apparaît une tendance à la pro gradation. Son association avec le secteur en érosion situé au sud-ouest témoigne du transit sédimentaire Sud-Nord dans cette zone. Les sédiments mis à disposition par les courants de la dérive littorale, provenant des secteurs en érosion, s'accumulent sur la plage de la rive gauche de l'oued d'Oum Rbia pour former la flèche sableuse. Cette dynamique sédimentaire a favorisé l'avancée du trait de côte.

### 3. Conclusions

La progression de la flèche sableuse vers le Nord Est s'est poursuivie au cours de la période de 1982 à 1996 et le trait de côte a continué à progresser lui aussi vers la mer. Le rythme de l'évolution de cette flèche même s'il s'est affaibli, n'a pas empêché la mise en place d'un crochet sur la partie interne de la flèche et le rétrécissement de l'embouchure de l'Oued d'Oum Rabia. Les résultats actuels entre 1982 et 2016 confirment ces tendances.

Une question reste posée pour cerner le fonctionnement de l'embouchure : Y a-t-il un facteur environnemental qui contribue à l'inversion du sens du transit littoral ?

L'analyse de la réfraction de la houle du côté sud de l'embouchure a confirmé que la bathymétrie contribue à l'inversion de la direction de la houle au déferlement. Ce changement entraîne l'inversion de la tendance du transit littoral.

### 4. Références bibliographiques

- BONNEFILLE R. (1992). *Cours d'hydraulique maritime*. Masson, Paris, 208 p.
- CERC -Coastal Engineering Research Center- (1984). *Shore protection manual*. Fourth ed. U.S. Army Corps of Engineers, Washington.
- CHAIBI M, SEDRATI M. (2009). *Coastal Erosion Induced by Human Activities: The Case of two Embayed beaches on the Moroccan Coast*. Journal of Coastal Research SI 56, pp 1184-1188.
- IDRISSI M., HOURIMECHE A., REY V., CHAGDALI M. (2004). *Impact des installations côtières sur l'évolution du littoral de Mohammedia (Maroc)*. VIII<sup>ème</sup> Journées Nationales Génie Côtier–Génie Civil, pp 789-796, Compiègne, France.  
<https://doi.org/10.5150/jngcgc.2004.086-I>
- LEGOS. (2011). 23/08/2011. URL : <http://www.legos.obs-mip.fr>.
- SWAN III. *VERSION 40.20, user manual (not the short version)*. L.H. Holthuijsen, N. Boiij, R. C. Ris *et al.* URL : <http://fluidmechanics.tudelft.nl/SWAN/index.htm>