

Article

Une étude de système d'analyse numérique du littoral (DSAS) : Cas de la baie de Hammamet (Tunisie)

Mnasri Karim

Post-doc-L.R.21ES07 "Gouvernance et développement Territorial" ; Université de Tunis ;

* Correspondence: mnasrikarim.fshst@gmail.com

Résumé : L'érosion du littoral est un phénomène qui se matérialise par la disparition des sédiments et le recul du trait de côte. Ce recul du trait de côte engendre l'attaque des constructions et des biens publics et privés, ainsi que la dégradation de l'environnement ce qui nécessite donc une lutte efficace contre le phénomène. Les côtes meubles sont des milieux très dynamiques, mobiles et en perpétuelle évolution. Cette dynamique ne peut être appréciée sans l'identification de la ligne de rivage qui matérialise la limite terre/mer. Grâce à cette ligne, on peut suivre la tendance évolutive des plages et d'apprécier leur dynamique à des échelles temporelles différentes. Les SIG et la télédétection fournissent ainsi des outils et des données d'une grande utilité en la matière. L'application de l'indice NDVI et de land/Water sur des images satellitaires de différentes dates associées à l'utilisation du DSAS (Digital Shoreline Analysis System) sous Arcgis nous a permis de caractériser la dynamique des plages sableuses de la baie de Hammamet. Les différentes investigations ont mis en évidence deux principaux secteurs dont les dynamiques sont contrastées: des secteurs d'engraissement, et des secteurs d'alternance engraissement/amaigrissement.

Mots clés : Ligne de rivage ; plage sableuse ; SIG; télédétection; littoral; accrétion; érosion côtière; DSAS.

Received: 24 February 2023

Accepted: 04 June 2023

Citation: Mnasri, K. Une étude de système d'analyse numérique du littoral (DSAS) : Cas de la baie de Hammamet (Tunisie). *Journal Algérien des Régions Arides* 2023, 16 (1) : 17–29.

Publisher's Note: ASJP is an electronic publishing platform for Algerian scientific journals managed by CERIST, that is not responsible for the quality of content posted on ASJP.



Copyright: © 2022 by the CRSTRA. Algerian Journal of Arid Regions is licensed under a Creative Commons Attribution Non Commercial 4.0 (CC BY NC) license.

1. Introduction

Dans les pays du Maghreb, la proportion de la population totale vivant près de la côte varie de 65% au Maroc à 85% en Tunisie, et ses habitants dépendent souvent de côtes et de plages intactes pour leur subsistance, en l'occurrence le tourisme. Bien que les zones côtières de la Tunisie soient fortement dépendantes de ses plages et des services récréatifs associés pour attirer les touristes nationaux et étrangers, compte tenu de leur importance pour le tourisme ailleurs, plus d'un tiers de ses plages de sable sont menacées par une moyenne de 0.64 mètre d'érosion côtière par an, environ 35% du littoral sablonneux est érodé à un rythme de plus de 0.5 m/an. Dans ce cas, le littoral d'une même région est très variable, comme en Tunisie où 85% du littoral est déterminé sableux (Banque mondiale, 2021).

Ainsi, à l'échelle de la Tunisie, l'évolution des littoraux est un processus universel qui se produit dans presque toutes les régions en contact avec la mer, mais la dynamique spécifique de ces processus varie d'une région à l'autre. Les rivages et les plages peuvent s'accrétionner ou s'éroder (gain/diminution de la surface) ou rester stables au fil du temps. Il est donc clair que les indicateurs d'érosion côtière peuvent masquer une grande partie de l'hétérogénéité, de sorte que certaines zones sont érodées tandis que d'autres s'accroissent.

Sur la côte tunisienne, si une forte érosion se produit dans les zones septentrionales, notamment sur les plages de la baie de Hammamet et d'Utique (Bizerte) et de Korba (Nabeul), en revanche, les zones d'accrétion les plus importantes se trouvent à Sfax, Gabès et Médenine, il semble donc y avoir plus d'érosion au nord, alors qu'il y a plus d'accrétions au centre et sud tunisien.

Afin de suivre la dynamique de la côte sableuse et l'érosion de la plage de Hammamet, cela ne peut être compris sans identifier la ligne de rivage. C'est donc grâce à cette ligne que l'on peut suivre l'évolution des plages et apprécier leur dynamique à différentes échelles de temps. Le SIG et la télédétection fournissent des outils et des données précieuses à cet égard. L'utilisation du DSAS (Digital Shoreline Analysis System) sous ArcGis, nous a permis de caractériser la dynamique de la plage de sable de la baie de Hammamet.

1.1. Localisation de la zone d'étude, méthode et données

1.1.1. Cadre géographique

La zone d'étude du golfe de Hammamet fait partie au nord-est de la Tunisie et plus précisément au sud de la péninsule du cap Bon (Abdelrraouf Hzami et al, 2015). Il fait partie de la mer Méditerranée. Il est délimité au nord par le cap Ras Maâmoura, près de la ville de Béni Khiair, et au sud par la ville de Hergla (Figure 1). Il est largement ouvert et bordé par quelques lagunes côtières ou Sebkhass sporadiquement asséchées qui s'échelonnent d'environ 67 km de côte.

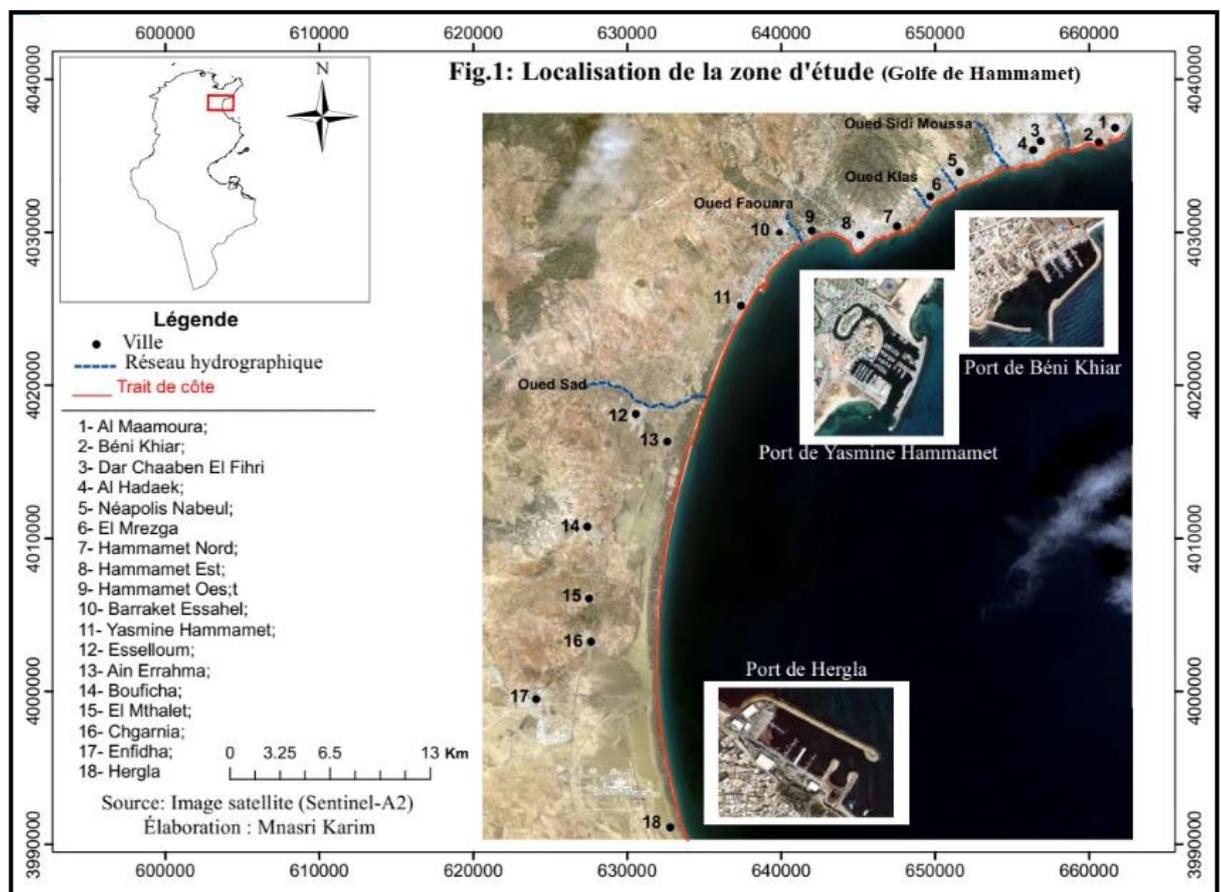


Figure 1. Le golfe de Hammamet est alimenté par un réseau hydrographique très condensé

1.1.2. Le trait de côte

La côte du golfe de Hammamet, comprise entre la citadelle de Hammamet et Hergla, est constituée par des plages continues (Zaara, 1996). Elles sont caractérisées par un littoral festonné, formant des baies de plusieurs dizaines de long, qui sont continuellement reliées les unes aux autres le long du bord de la côte (Figure 1).

Le littoral du golfe de Hammamet se caractérise par une morphologie monotone, principalement caractérisée par de larges rivages sableux qui séparent un ensemble de sebkhas et des lagunes de la haute plage. Dans cette zone, à l'exception de la partie sud du golfe de Hammamet (Hergla), le type de côte rocheuse est de faible extension.

1.1.3. Cadre hydrologique

Le réseau hydrographique de la région de Nabeul-Hammamet représente la zone nutritive alimentée par la baie de Hammamet, notamment les plages et les remblais de Sebkhas qui s'étendent le long de la côte (Figure 1). Les principaux cours d'eau de la zone d'étude sont situés au nord de la baie de Hammamet (Oued Sidi Moussa, Oued Klass et Oued Faouara), à l'exception de l'Oued Sad à la partie sud la baie.

Le réseau hydrographique au sud du golfe de Hammamet (Bouficha à Hergla) est marqué par des cours d'eau modestes à écoulement temporaire qui prennent leur source dans les hauts plateaux vallonnés puis pénètrent dans les sebkhas ou se perdent au fond de la plaine sans atteindre la mer. Leurs longueurs varient de quelques kilomètres à plusieurs dizaines de km. Quant à leurs bassins-versants, ils s'étendent de quelques km² à plusieurs dizaines de km. En raison d'une pluviométrie moyenne faible et d'un réseau hydrographique peu développé, l'apport annuel moyen des cours d'eau est modéré et parfois moyen.

1.1.4. Les ouvrages anthropiques

Dans le secteur d'étude, deux barrages ont été construits sur les Oueds (Lebna et Chiba) dont l'objectif est de régulariser les débits liquides surtout en période de crues. Le stock sédimentaire disponible aux embouchures de ces cours d'eau pour être déplacé et reparti sous l'action des courants littoraux est sensiblement réduit après la construction des barrages. Cette réduction entraînera, à plus ou moins brève échéance, un recul du trait de côte (Zaara, 1996).

La zone d'étude est limitée par deux ports de pêche, au nord le port de Béni Khiar (Nabeul) et au sud par le port de Hergla (Sousse). Un troisième port de plaisance se trouve au centre du golfe de Hammamet, c'est le port de Yasmine Hammamet (Nabeul).

2. Matériels et Méthodes

2.1. Matériels

Pour mettre en place une base de données géographique sur l'évolution des côtes du golfe de Hammamet, nous avons ainsi utilisé le logiciel (ArcGIS), qui nous permet de créer une réelle plateforme pour le traitement des images satellitaires et la réalisation des cartes vectorielles.

La démarche adoptée pour atteindre les objectifs de cette contribution est la réalisation d'une base de données gérée par le système d'information géographique résultant de l'intégration et l'exploitation de nos données (images satellitaires, cartes géologiques, cartes topographiques). L'étude de l'évolution du golfe de Hammamet dépend de l'échelle spatiale des cartes et de la résolution spectrale des images satellitaires.

En effet, la variation d'échelle a des conséquences sur la résolution spatiale par exemple sur la détermination de la position de la ligne de référence (Baseline).

2.2. Méthodes

- Étape (1) : construction d'une base de données géospatiale : L'utilisation du SIG et de la télédétection pour surveiller la dynamique du littoral est un sujet largement débattu dans l'environnement. Ces outils sont non seulement essentiels pour caractériser la dynamique du littoral, mais sont également essentiels pour quantifier les taux d'accrétion et de recul des plages. La détermination et le suivi de la dynamique du littoral le long de la côte du golfe d'Hammamet s'appuient principalement sur l'imagerie satellitaire de Landsat (4 et 5) et Sentinel 2A, ainsi que sur l'imagerie de Google Earth (Tableau 1).

Tableau 1. Données récapitulatives exploitées pour la détermination et le suivi de la ligne de rivage de la baie de Hammamet

Données	date	résolution	Bande spectrale
Image Landsat (4 et 5)	17/09/2010	30m	(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)
Image sentinel-A2	17/09/2022	10m et 60 m	(B4, B3, B1)
Google Earth	11/11/2016		

- Étape (2) : la détermination de la ligne de rivage (Shoreline) pour les trois dates de référence (2010, 2016, 2022) : Cette étape repose sur la combinaison des bandes spectrales (Figure 2). Pour l'imagerie sentinel-A2, nous avons ainsi utilisé une bande bathymétrique basée sur une combinaison de la bande rouge (B4), de la bande verte (B3) et de la bande côtière (B1). Au contraire, pour l'imagerie satellite Landsat (4-5), la combinaison des bandes proche infrarouge (B4), moyen infrarouge (B5) et la bande rouge (B3) fournit une définition supplémentaire des limites terre/eau et met en évidence des détails subtils qui ne sont pas facilement apparents dans les bandes visibles seules. Dans ce cas, les lacs et les cours d'eau peuvent être localisés plus précisément, en particulier lorsque davantage de longueurs d'onde infrarouges sont utilisées.

Pour étudier l'évolution des traits des côtes, nous avons créé un masque mer qui nous a permis de délimiter le contact de terre/mer pour les trois dates (2010, 2016 et 2022), cependant le choix de la ligne de référence (Baseline) est simplifié. Puisque les trois images sont géoréférencées dans le même système de projection, le logiciel Arc GIS permet de superposer les trois traits de côte pour identifier la variation effectuée pendant la période 2010 et 2022.

- Étape (3) : La détermination des transects : Ce procédé nous permet d'obtenir des lignes perpendiculaires (*Transects layer*) à la ligne de référence (*Baseline*) et les traits des côtes.

Pour déterminer ces transects, nous avons choisi une distance de 50 mètres entre chaque transects (*Transects Spacing*) et une longueur maximum de 600 mètres (*Transect Length*) entre la ligne de référence et la ligne de rivage (Shoreline). Cette méthode, et sur une longueur de 66.5 km de Béni Khiar à Hergla, nous permet d'obtenir 1350 transects.

Dans la plage de Nabeul, nous avons identifié 26 transects (de 1 à 26) pour la plage d'El Maâmoura, 63 transects (27 à 93) pour la plage de Béni Khiar, 32 transects (94 à 125)

pour la plage de Dar Chaâben El Fehri, 32 transects (126 à 157) pour la plage d'Al Hadaek et 100 transects (158 à 257) pour la plage de Néapolis-Nabeul.

Au niveau de la plage de Hammamet, nous avons identifié 81 transects (entre 258 à 338) pour la plage d'El Mrezga, 20 transects (339 à 358) pour la plage de Hammamet Nord, 78 transects (359 à 436) pour la plage de Hammamet Est, 67 transects (437 à 503) pour la plage de Hammamet Ouest, 143 transects (504 à 646) au niveau de la plage Barraket Essahel, alors que 111 transects (647 à 757) à la plage de Yasmine Hammamet.

Vers la partie centre du golfe du Hammamet, et au niveau de la plage de Bouficha, nous avons identifié 88 transects dans la plage d'Esselloum (758 à 845), et 216 transects (759 à 1061) pour la plage d'Ain Errahma, et seulement douze transects (1062 à 1073) à la plage d'El Mthalet. Alors que vers l'extrémité sud du golfe de Hammamet, la perpendicularité des transects à la ligne des rivages pour les trois dates mentionnées précédemment permettent de mesurer la position du trait de côte par rapport à sa disposition initiale en 2010. Ces transects sont numérotés de 1074 à 1350, dont 79 transects (1074 à 1152) concernant la plage Chgarnia, 104 transects (1153 à 1256) pour la plage de Nfidha et 94 transects (1257 à 1350) concernant la plage de Hergla.

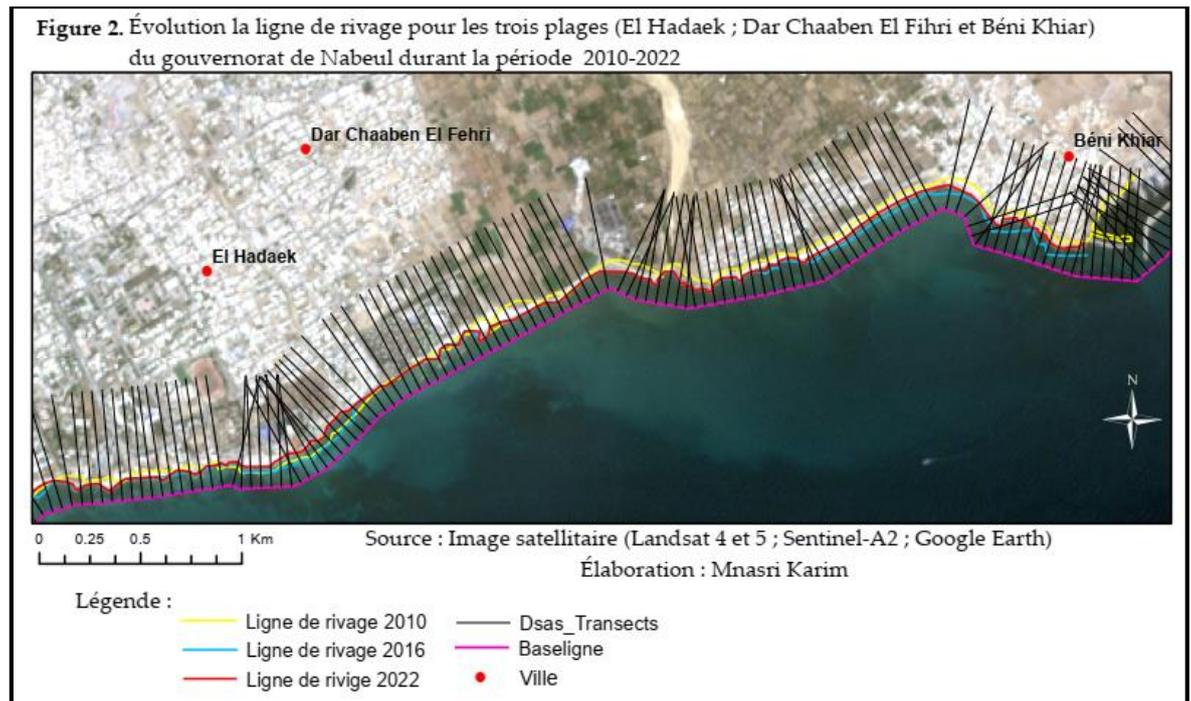
- Étape (4) : calcule le coefficient d'érosion et d'engraissement : L'utilisation de l'extension DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) sous Arcgis 10.3 a assuré le calcul des statistiques relatives au taux des changements du littoral sur une série chronologie de plusieurs positions différentes (USGS 2005). Elle a servi à la création des profils automatique en se basant sur une ligne de référence (Baseline). Le contact de ses profils avec les différents traits de côte va permettre de calculer plusieurs paramètres. Dans cette étude, nous nous sommes focalisés seulement sur deux paramètres :
- ❖ Indice de NSM (*Net Shoreline Measurement*) : cet indice exprime la distance en mètres entre le trait de côte le plus ancien (2010) et le trait de côte le plus récent (2022).^[1]
- ❖ Indice de EPR (*End Point Rate*) : cet indice exprime la distance en mètres entre le trait de côte le plus ancien (2010) et le trait de côte le plus récent (2022) divisé sur le temps de deux traits.^[2]

En effet, l'application de ce paramètre sur les lignes extraites des images nous a permis d'identifier les secteurs d'engraissement et les secteurs d'amaigrissement et de quantifier l'ampleur de ces phénomènes.

Research manuscripts reporting large datasets that are deposited in a publicly available database should specify where the data have been deposited and provide the relevant accession numbers.

¹ - Index (NSM) : Distance (m) between oldest and youngest shorelines.

¹ - Index (EPR) : NSM/time between oldest and most recent shoreline



3. Résultats et discussion

Dans notre exemple d'étude, toutes les plages n'ont pas pour autant un comportement identique au cours de temps. Si l'érosion affecte certaines plages, d'autres peuvent au contraire passer par une d'engraissement. La détermination du trait de côte pour les trois dates (2010, 2016, 2022) révèle la tendance générale des plages sableuses de la baie de Hammamet. Cependant, l'application du DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) permet de quantifier l'état d'accrétion et d'érosion de ces plages. En effet, les résultats obtenus nous ont permis d'identifier quatre secteurs distincts.

3.1. Les secteurs d'engraissement

Les plages qui enregistrent un état d'engraissement sont celles de la plage d'El Maâmoura (Figure 2a) et Béni Khiair (Figure 2b). Cet état d'engraissement qui s'étend sur une longueur de 4.63 km varie entre les deux plages ; il prend son ampleur maximale sur la plage de Béni Khiair où elle atteint +12.7m et +6.5m sur la plage d'El Maâmoura (Tableau 2). En effet, l'accrétion de ces deux plages est s'explique par deux facteurs, notamment l'action anthropique par l'installation du port Béni Khiair est due aussi à sa localisation sur la rive gauche de l'oued Kbir, qui assure un apport possible de sédiments terrigènes.

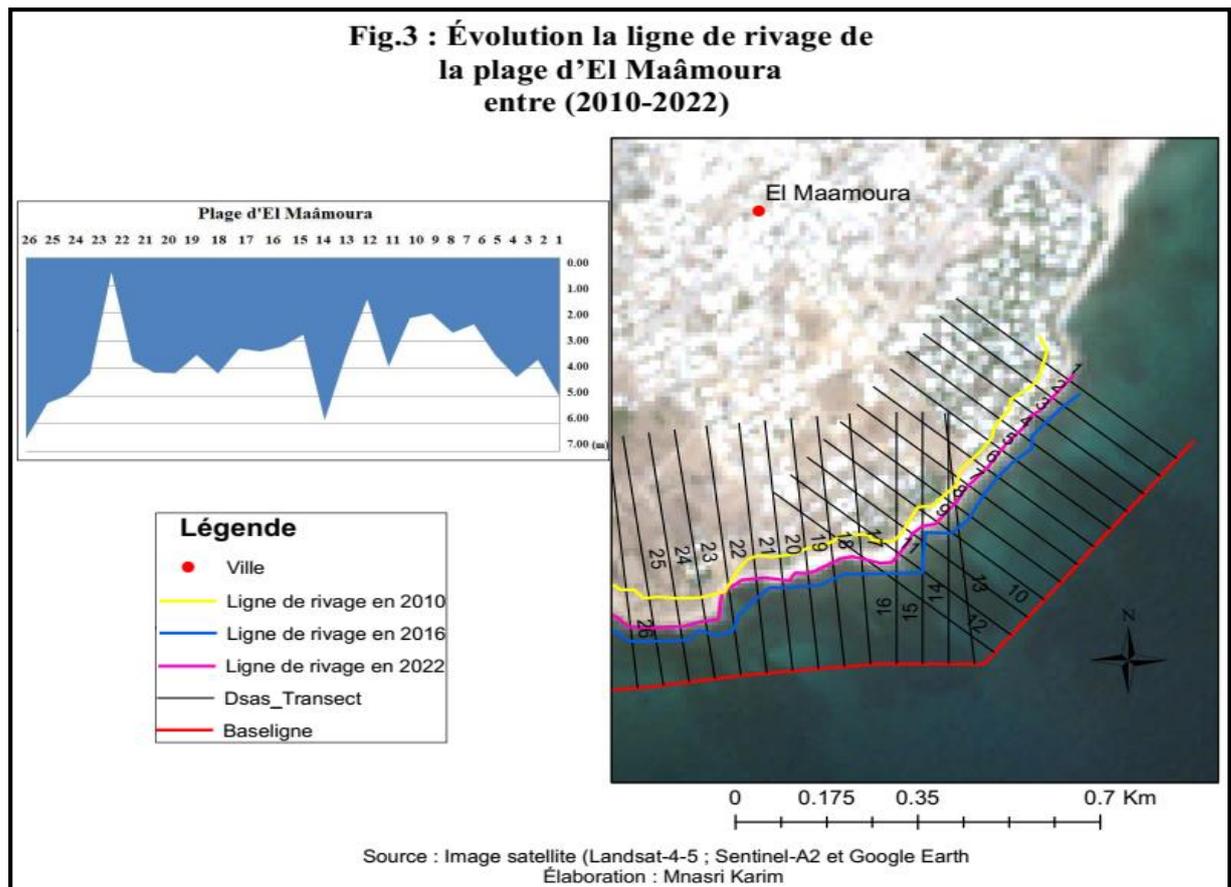
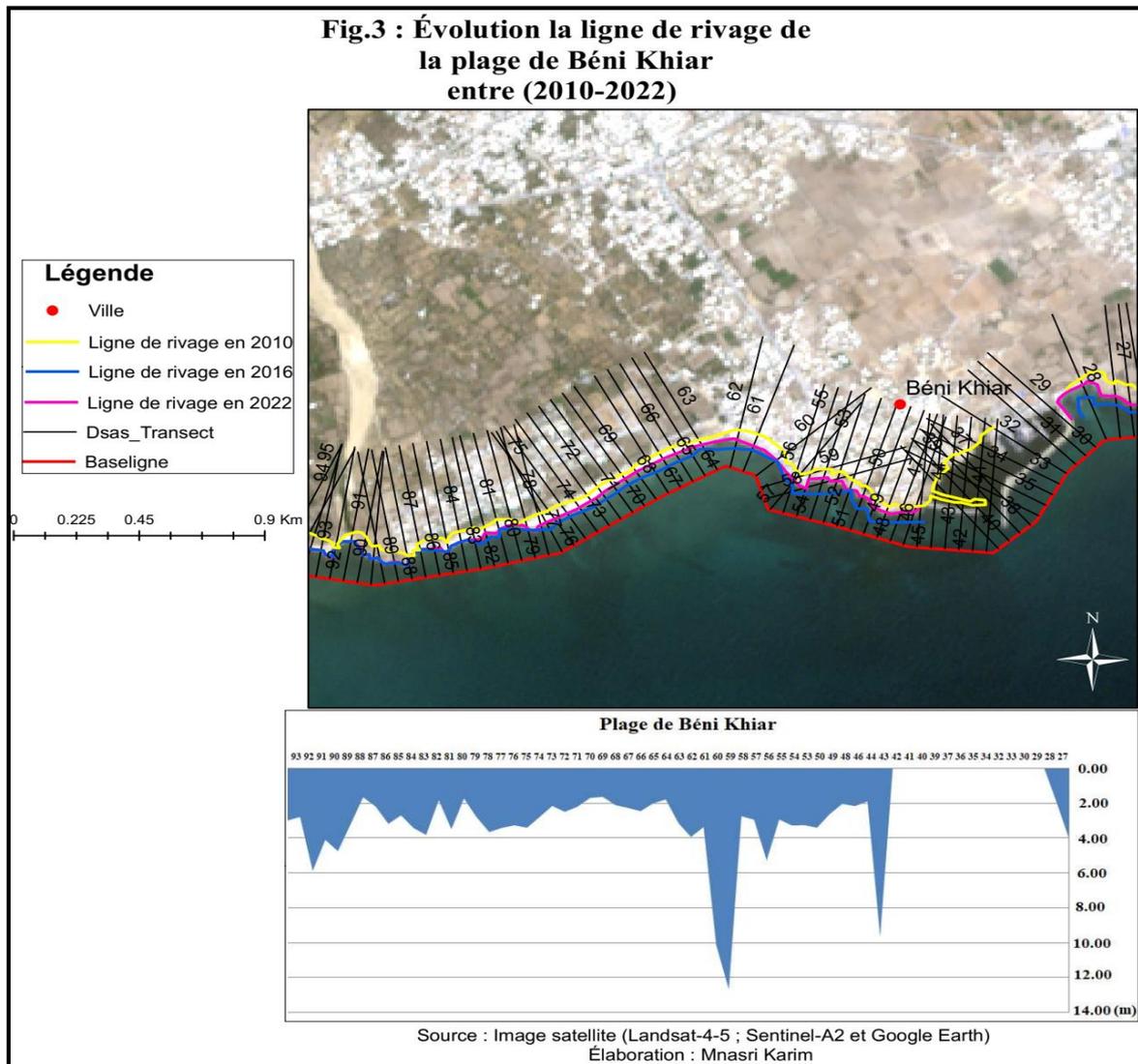


Tableau 2. Classification des plages d'engraissement et d'amaigrissement au golfe de Hammamet durant la période (2010-2022)

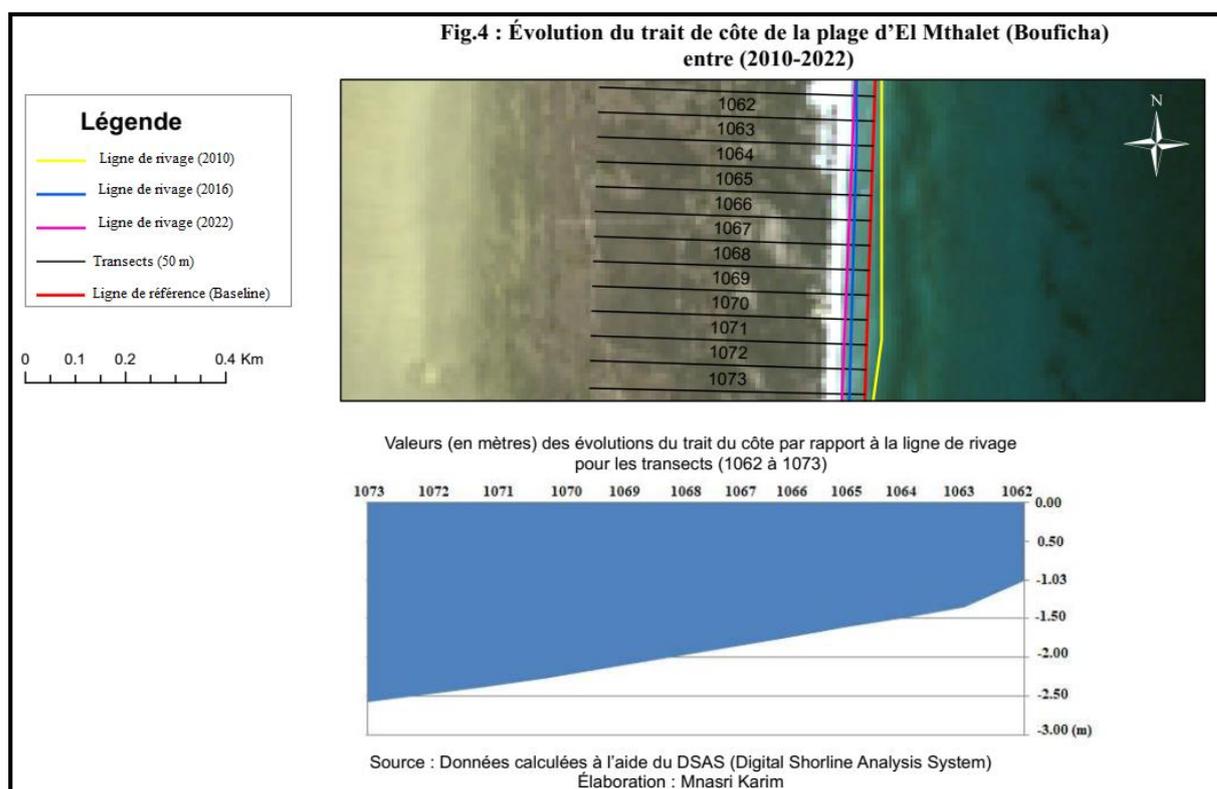
Gouvernorat	Secteur d'engraissement			Secteur d'amaigrissement		
	Nom de la plage	Valeur min (m/an)	Valeur max (m/an)	Nom de la plage	Valeur min (m/an)	Valeur max (m/an)
Nabeul	El Maâmoura	0.54 m/an	6.56 m/an			
	Béni Khiair	1.67 m/an	12.72 m/an			
Sousse				El Mthalet (délégation Bouficha)	-1.01 m/an	-2.58 m/an

Source : Données calculées personnellement par le système DSAS (*Digital Shoreline Analysis Système*)



3.2. Les secteurs d'amaigrissement

Les plages qui enregistrent un état d'amaigrissement sont celles d'El Mthalet de la délégation de Bouficha (gouvernorat de Sousse) (Figure 4). Cet état d'engraissement qui s'étend sur longueur de 0.633 km avec un seuil d'érosion varie entre (-1.01 m) dans la partie nord et (-2.58 m) dans la partie sud. L'érosion côtière de ce type de plage est en grande partie causée par l'extension du foret national qui empêche les sédiments naturels provenant de sebkha sisi khalifa à la partie ouest. En revanche, l'action répétée des vagues dans la partie est de la plage surtout lors de grandes marées et de fortes tempêtes a pour effet d'accélérer l'érosion d'une grande partie de la plage en front de mer.



3.3. Les secteurs en alternance

La comparaison entre les deux figures (5 et 6) montre que le rythme et la localisation de cette érosion ne sont pas constants à l'échelle spatiale ou temporelle. Cependant, sur une même plage, l'ensemble des transects analysés montre des alternances comparables même si l'amplitude des avancées et des reculs diffère d'un transect à l'autre.

3.3.1. Les secteurs d'engraissement suivi par un seuil d'amaigrissement

Les modifications du littoral sont très variées au sein d'une même plage, pour laquelle 85% du littoral a été identifié comme étant sableux (Banque mondiale, 2021). Dans le golfe de Hammamet, nous avons identifié six plages (Tableau 3) d'un état d'accrétion varie entre 8.79 m/an et 7.19 dans la plage d'El Mrezga et Dar Chaâbane El Fehri et entre 5.2 m/an et 6.3 m/an dans la plage de Ain Errahma de la délégation de Bouficha (gouvernorat de Sousse) et la plage de Néapolis de Nabeul, et seulement deux plages avec une valeur d'accrétion moins de 4.4 m/an se produit dans les deux plages de Hammamet Nord et Ouest.

Ces différentes plages, suivies d'un seuil d'érosion relativement moins intensive avec un taux de recul, varient de -2.6 à -2.8m/an dans la plage de Dar Chaâbane El Fehri et de Hammamet Ouest et des valeurs inférieures de -2m/an dans la plage de Néapolis et Hammamet Ouest et -3.5m/an dans la plage d'Ain Errahma (Figure 5).

Tableau 3. Classifications les plages en alternance au golfe de Hammamet selon les nombres et les sens des transects durant la période (2010-2022)

Tableau (a). Secteur en alternance (engraissement/ amaigrissement)

Nombre des valeurs (+) > (-)

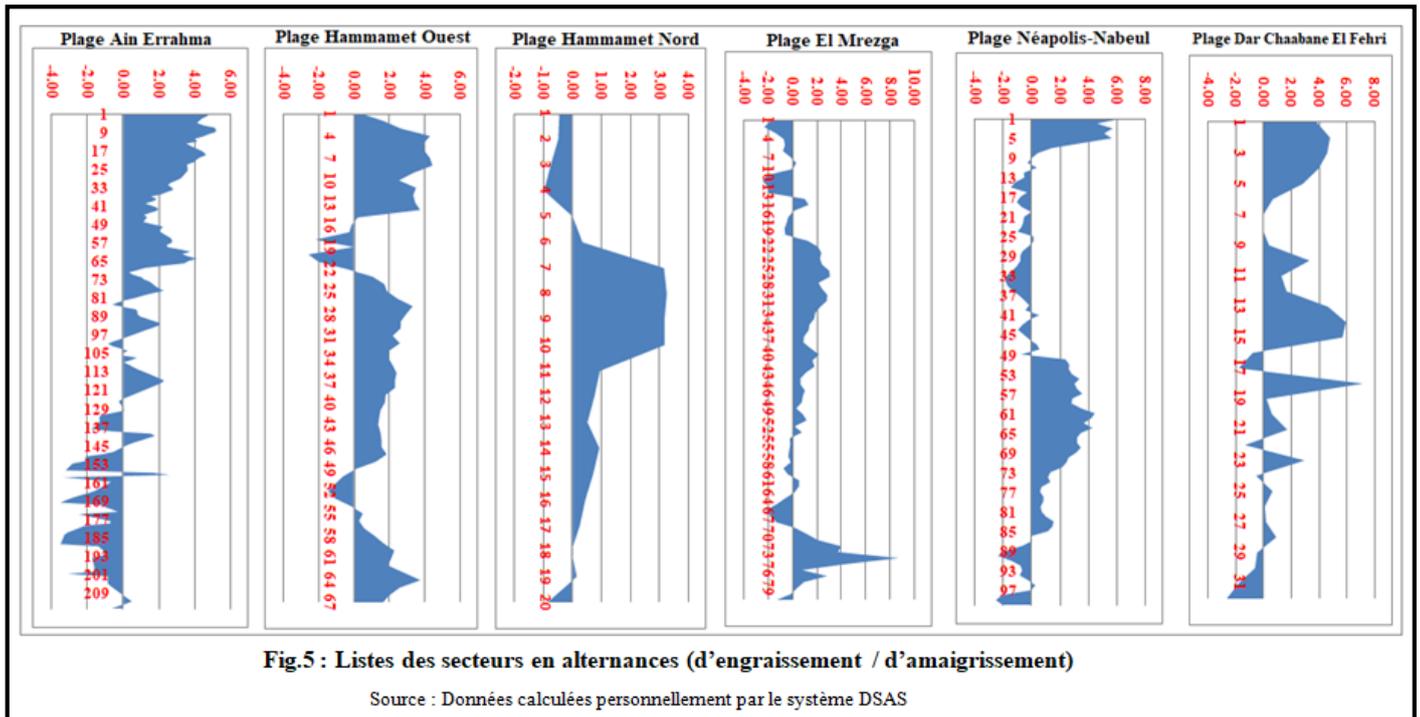
Gouvernorat	Nom de plage	Nombre des valeurs (+) (Les transects)	Valeur max (+) (m/an)	Nombre des valeurs (-) (Les transects)	Valeurs max (-) (m/an)
Nabeul	Dar Chaâbane El Fehri	23	+7.19m	9	-2.62m
	Néapolis	57	+6.34m	43	-1.88m
	El Mrezga	52	+8.79m	29	-2.44m
	Hammamet Nord	14	+3.25m	6	-1.71m
	Hammamet Ouest	56	+4.45m	11	-2.82m
	Sousse	Ain Errahma	129	+5.20m	87

Tableau (b). Secteur en alternance (amaigrissement / engraissement)

Nombre des valeurs (-) > (+)

Gouvernorat	Nom de plage	Nombre des valeurs (+) (Les transects)	Valeur max (+) (m/an)	Nombre des valeurs (-) (Les transects)	Valeurs max (-) (m/an)
Nabeul	Al Hadaek	15	+5.06m	17	-4.59m
	Hammamet Est	38	+14.24m	40	-7.53m
	Barraket Essahel	65	38.24m	78	-15.61m
	Yasmine Hammamet	33	+0.86m	78	-8.86m
Sousse	Esselloum	29	+8.72m	59	-8.05m
	Chgarnia	14	+1.79m	65	-4.5m
	Nfidha	36	+2.54m	68	-5.14m
	Hergla	26	+4.03m	68	-5.06m

Source : Données calculées personnellement par le système DSAS



3.3.2. Les secteurs d'amaigrissement suivi par seuil d'engraissement

Les comparaisons locales dans la baie de Hammamet masquent une certaine hétérogénéité dans le recul des rivages (tab.3). Parmi les plages présentant des réductions importantes de surface de plage, nous avons identifié huit zones avec un recul moyen de rivage sableux d'environ 9.14 m/an sur la côte de Nabeul et 5.68 m/an sur la côte de Sousse.

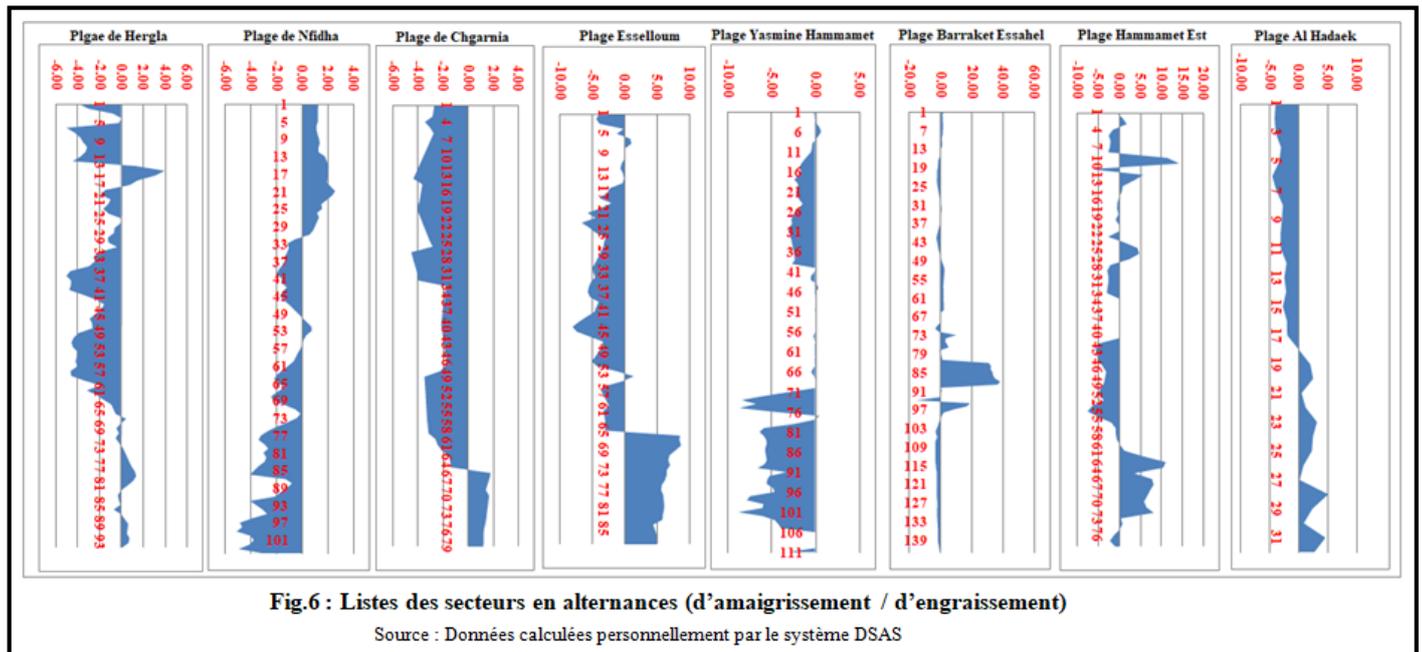
Dans ce type de secteur, l'expansion importante des villes et la multiplication des zones touristiques et l'occupation accélérée du front de mer ont entraîné différentes formes de pression et de dégradation sur les plages sableuses.

Cette contradiction entre étalement urbain et fragilité des plages, en particulier dans les villes et les zones touristiques, montre clairement l'attrait manifeste des différentes formes d'aménagement du littoral aujourd'hui. Dans le golfe de Hammamet, l'évolution de ce phénomène ne connaît pas toujours le même rythme ni les mêmes caractéristiques.

Dans la partie nord du golfe de Hammamet, l'étalement de l'espace bâti en direction de la mer, et les aménagements portuaires des zones touristiques (port de Béni Khiair, port de Yasmine Hammamet), ainsi que les aménagements réalisés au bord des cours d'eau et qui ont entraîné une réduction sensible de l'alimentation des plages en sédiments, montre clairement que les trois plages de Hammamet (Hammamet Est, Barraket Essahel et Yasmine Hammamet) à connaît un démaigrissement net distinct, dont -15.61 m/an ont été marqués au niveau de la plage de Barraket Essahel (Figure 6).

Au contraire, dans la partie centre et sud du golfe de Hammamet, et niveau du secteur Bouficha-Nfidha-Hergla (plage Esselloum, Chgarnia, Nfidha, Hergla), même que les côtes de ce secteur ont connu, une érosion moins intensive que le secteur précédent s'exprime, par le rôle de la forêt de Madfouna qui assure la formation d'un cordon dunaire,

cependant nous avons marqué un recul annuel de 4 à 5m/an au niveau du secteur Nfida-Hergla et 8m/an au niveau du secteur de Bouficha (Esselloum).



5. Conclusions

L'analyse des images satellites à haute résolution nous a permis d'évaluer les conditions côtières de la baie du golfe de Hammamet afin d'identifier les points chauds de l'érosion et d'accrétion.

Il existe de nombreux facteurs à l'origine de l'évolution du littoral, qui est souvent divisé en facteurs anthropiques (affaissement du littoral, protections côtières, infrastructures touristiques ou remises en état des terres...etc.) et en facteurs de forçage physique naturel (par exemple ; événements de tempête, élévation du niveau de la mer, transport de sédiments...etc.) (Sytnik et al., 2018). Les régions côtières telles que notre cas d'étude présentant des dynamiques de marée et des incidences d'énergie des vagues différentes démontre une morphologie côtière unique (Hayes & Fitzgerald, 2013). Les transports sédimentaires fluviaux et littoraux sont des processus morpho-dynamiques majeurs qui déterminent la forme des côtes.

Les interventions anthropiques dans les processus hydrodynamiques le long du littoral, tels que les aménagements portuaires, peuvent avoir un impact significatif et potentiellement durable sur le taux de changement des côtes. Ils stabilisent généralement les zones en accumulant des sédiments à un endroit, mais les affament ailleurs et exacerbent les taux d'érosion dans d'autres endroits côtiers.

À l'échelle régionale du golfe de Hammamet, les évolutions du littoral sont très variées. Sur les dix-sept zones identifiées, 47% étaient fortement érodées, avec des reculs des plages de plus de 4.5 mètres par an se produisant principalement dans huit zones côtières. À l'inverse, les zones d'accrétions la plus importantes se situent le long de la côte de Nabeul, qui connaît souvent une accrétion extrême (7.1 m/an) ou sévère (12.9 m/an).

Alors que l'état des changements du littoral est mitigé (avancement/recul), il semble clairement qu'il y ait plus **d'érosion** dans les parties centrales et méridionales de la baie de Hammamet, avec plus **d'accrétions** dans les secteurs septentrionales.

Références

1. Aouiche, I., Daoudi, L., Anthony, E.J., Sedrati, M., Ziane, E., Harti, A., Dussouillez, P. Input from a multi-method analysis, Agadir Bay, Morocco. *Anthropogenic effects on shoreface and shoreline changes* **2016**, *Geomorphology*, 254, 16-31.
2. Apal- Pnud. Étude de la carte de la vulnérabilité du littoral tunisien due aux changements climatiques 2012. Rapport final Phase (1), 402 p.
3. Boak, E.H., Turner, I.L. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research* **2015**, 21 (4), 688–703.
4. Denegre, J. Nouvelles technologies au service de l'investigation géographique : le rôle de la télédétection spatiale et des systèmes d'information géographique, *SIGAS* **1992**, vol. 2, n° 2, 139-149.
5. Choral, D., Mahapatra, M., 2020. Extracting Shoreline from Satellite Imagery for GIS Analysis. *Remote Sensing in Earth Syst. Sci* 3, 23.
6. Klein, J. Protéger le littoral dans les départements français d'outre mer, Thèse de doctorat de géographie sous la direction de J.B. Pitte, Université Paris IV, Sorbonne, 2003, 545p.
7. Louati, M., Zargouni, F. Modélisation topo-bathymétrique et transit sédimentaire. Exemple des plages sableuses de la baie de Tunis, Nord-Est de la Tunisie *Géomorphologie : relief, processus, environnement* **2009**, n° 3, 211-222.
8. Masri, A. Étude d'impact de la dynamique sédimentaire sur la stabilité du littoral de la baie de Bizerte. Mémoire de DEA, Fac. Sci. De Tunis 1996. 104p.
9. Mignot, C. La défense des côtes. Érosion et sédimentation en mer, les causes et les moyens d'action. *Bull. Ponts et chaussées*, 1981, 88 p.
10. Oueslati, A. Les îles de la Tunisie. Pub. CERES, 1995, 368 p.
11. Oueslati, A. Littoral et aménagement en Tunisie. *ORBIS*, 2004, 534p.
12. Oueslati, A., El Aroui, O., Sahtout, N. Sur la grande vulnérabilité du lido du complexe lagunaire de Ghar El Melh et de ses terres humides (Tunisie septentrionale) : érosion, risque de maritimisation et menaces sur le terroir original Ramli. *Rev. Médit* **2015**.
13. Paskoff, R. Les littoraux - Impacts des aménagements sur leur évolution, 3ème édition. Masson et Armand Colin Éditeurs. Paris, 1985, 260p.
14. Paskoff, R. Côtes en danger. Coll. Masson, 1993, 247 p.
15. Paskoff, R. L'érosion des côtes. Presses universitaires de France, 1981, 3-123.
16. Slim H., Troussset P., Oueslati A. et Paskoff R. Le Littoral de la Tunisie : étude géo-archéologique et historique. Éd. CNRS, France, 2004, 308 p.
17. USGS. User Guide and Tutorial for the Digital shoreline Analysis system, 2005, 33 p.