

# **Suivi par SIG et télédétection de l'évolution spatio-temporelle de la frange littorale Nabeul-Hergla (Golfe de Hammamet, Tunisie)**

**Abdelrraouf Hzami <sup>a</sup>, Oula Amrouni <sup>b</sup>, Thouraya Benmoussa <sup>c</sup>, Kamel Regaya <sup>a</sup>**

*(a) Unité de Recherche Géomatique & Géosystèmes 02 UR11ES41, Campus universitaire B.P.95 2010 Mannouba Tunisie, Email : [AbderraoufHzami@gmail.com](mailto:AbderraoufHzami@gmail.com) ; [regayakamel@yahoo.fr](mailto:regayakamel@yahoo.fr).*

*(b) Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, Laboratoire du Milieu Marin, 28, rue 2 mars 1934 Salammbô, 2025, Tunisie, Email: [oula.amrouni@rnrt.instm.tn](mailto:oula.amrouni@rnrt.instm.tn).*

*(c) Campus Universitaire Tunis El Manar, Faculté des Sciences de Tunis, Laboratoire des Ressources Minérales et d'Environnement, Rommana 1068, Tunisie, Email : [benmoussa\\_thouraya@yahoo.fr](mailto:benmoussa_thouraya@yahoo.fr).*

## Résumé

La zone littorale de du Golfe de Hammamet, a connu depuis la dernière décennie, d'énormes transformations dans son paysage, avec notamment une désorganisation des noyaux urbains et une occupation disproportionnée des espaces naturels. La résultante du forçage naturel et/ou humain est une perturbation de l'écosystème côtier. L'objet de notre étude consiste à l'utilisation des outils de télédétection, notamment les images satellitaires Landsat5, Landsat8 et ETM+ multitudes (2001-2015) et des documents cartographiques (cartes topographiques, missions 1981, échelles 1/25000), pour le suivi et la quantification, des modifications de la frange littorale. La méthodologie consiste à une série de prétraitements, des traitements et des analyses statistiques (des variantes étudiées). Trois composantes ont fait l'objet de l'étude : le couvert végétal, l'occupation anthropique et le trait de côte. Le secteur d'étude, la baie de Hammamet, se situe entre le Cap Ras Maâmour vers le nord et le Cap Hergla vers le sud. La baie a été découpée en 5 cellules hydro-sédimentaires distinctes en fonction de la morphologie littorale et des infrastructures humaines. Le résultat de la superposition des imageries satellitaires, montre que la surface végétalisée a diminué de 30% entre 1985 et 2015 ( $\pm 1\%$ ). La superficie des paysages anthropisés a augmenté de 120 Km<sup>2</sup> (1985) à 1400 Km<sup>2</sup> (2015) ( $\pm 1\%$ ). Par contre, la ligne de rivage a considérablement régressé par endroit (soient 1 m/an au nord de la baie et 1,2 m/an ( $\pm 0,5\%$ ) au centre de la baie (port Yasmine Hammamet). L'implantation croissante des infrastructures touristiques impliquant la construction des ports et des hôtels a perturbé la distribution spatiale des sédiments côtiers, en fragilisant son édifice naturel.

**Mots Clés:** ligne de côte, SIG, imagerie satellitaire, Golfe de Hammamet.

## Summary

The coastal zone of the Gulf of Hammamet, is subject since the last decade, of disproportionate and increasing occupation of natural spaces. The resultant of natural and/or human pressure is a perturbation of the coastal ecosystem. The purpose of this study is to use geospatial data sets from the satellite imageries to assess and quantify the shoreline, vegetation and anthropic occupation evolution. The methodology is based on the treatment of multitudes (2001-2015) Landsat5, Landsat8 satellite imagery and ETM+ data set. Cartographic documents (mission 1981:1/25000) data were completed in order to monitor and to quantify, the temporal scale evolution of the coastal areas. Three components has been the object of the study: green space, human occupation and the coastline level. The sector of study, the bay of Hammamet, is located in the north by the Cape Ras Maâmour and the Cape Hergla towards the south. The result of the treatment of the satellite imagery shows that surface green decreased by 30% between 1985 and 2015 ( $\pm 1\%$ ). Beside, the human landscapes increased from 120 km<sup>2</sup>(1985) to 1400 km<sup>2</sup> (2015) ( $\pm 1\%$ ). The coastline regressed on several part as 1 m/an in northern bay and 1.2 m/an ( $\pm 0,5\%$ ) in the center (Yasmine Hammamet harbour). The human infrastructures i.e the harbour and the tourism growth disturbed sediment distribution of the coastal zones leading to the shoreline retreat. Green lands are therefore highly vulnerable to increases in human pressures.

**Keywords:** shoreline, SIG, Satellite imagery, Hammamet.

## 1 INTRODUCTION

Le système littoral, milieu de transition entre le continent et la mer est un milieu fragile et instable. Il abrite environ 70% de la population mondiale. Une telle pression démographique qui s'associe à l'importance des enjeux industriels et économiques nécessite une prise de conscience de la fragilité des façades littorales. En effet, 80% du linéaire côtier mondial est en cours d'érosion à des taux de l'ordre de centimètre à la dizaine de

mètres par an (Pilkey & Hume, 2001). La vulnérabilité des côtes est aussi sujette à l'influence de la remontée du niveau marin. A cette tendance naturelle causée par la poursuite de la transgression Holocène débutée voila une quinzaine de milliers d'années, s'ajoute l'impact des activités humaines qui modifient les équilibres climatiques (Bird, 1986 ; Paskoff, 1987 ; Pirazolli, 1989 ; Duplessy, 1990).

La vulnérabilité de la côte se manifeste par une régression de la ligne du rivage. Des études ont révélé l'effet conjugué du changement climatique et de la pression anthropique sur la sensibilité du littoral notamment la régression de la ligne de rivage (Leatherman et al., 2000a ; Paskoff, 2000a ; 2000b ; Paskoff, 2001 ; Leatherman et al., 2003 ; Zhang et al., 2004).

En effet, selon le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC, 2014), les preuves scientifiques sont claires : les Changements Climatiques associés à une élévation du Niveau Marin sont au plus haut niveau d'élévation. Avec l'élévation actuelle et future du niveau de la mer, ces problèmes d'érosion devraient s'aggraver surtout sur les côtes sableuses tunisiennes (Halouani, 2012 ; Saidi, 2014 ; Amrouni, 2014 et Ouesleti, 2004)

L'apport des SIG à la connaissance de l'environnement côtier commence réellement à se faire sentir au cours de cette décennie. Les lignes de rivage instantanées impliquent la mise en œuvre de traitements importants (Pestre et Verger, 1980). En les combinant au sein d'un SIG à un modèle de marée, elles peuvent conduire à la construction de modèles numériques d'estran (Cuq, 1984c). Partout dans le monde, la télédétection spatiale et particulièrement l'extraction d'objets géographiques par des méthodes de classification automatisée, deviennent un enjeu scientifique important dans le vaste champ des sciences de l'environnement (Harralick, 1979). C'est dans cette logique que s'inscrit la thèse de Cuq (1983) concernant le traitement géométrique et les classifications

automatiques d'images Landsat MSS. L'occupation du sol en zone côtière grossièrement extraite des images correspond à l'idée répandue que l'image doit pouvoir fournir l'ensemble de l'information nécessaire à la connaissance et à la gestion. À cette époque, les résultats sont souvent obtenus sans pré-traitements atmosphériques, pourtant nécessaires mais peu développés dans les logiciels commercialisés.

## 2 DESCRIPTION DU SITE

Le golfe d'Hammamet est une large baie située au nord-est de la Tunisie, au sud de la péninsule du cap Bon. Le secteur d'étude est délimité au nord par le cap Ras Mâmoura (36°27'21.50"N-10°48'26.10"E), près de la ville de Béni Khair, et au sud par le cap de Hergla (36°1'55.33"N-10°30'35.54"E) La ville de Hammamet. (Fig. 1).

La baie est logée par un linéaire côtier de 65Km, largement ouverte et bordée par quelques lagunes côtières ou Sebchas sporadiquement asséchées. Le golfe de Hammamet est alimenté par un réseau hydrographique très condensé.

### 2.1 Cadre géologique

L'arrière pays du Golfe de Hammamet est caractérisé par des affleurements géologiques d'âge Messinien, Pliocène et Quaternaire (Fig. 2). Les séries géologiques côtières montrent une lithologie dominée par des faciès sablo-argileux. Les séries du Messinien et du Pliocène du Golfe du Hammamet affleurent au Nord, dans le Cap Bon, et à l'Ouest au Sahel (Mridekh, 1994). Les séries du Messinien et du Pliocène du Golfe du Hammamet affleurent au Nord, dans le Cap Bon, et à l'Ouest au Sahel

(Mridekh, 1994). Le Pliocène dans la région de Nabeul Hammamet est organisé en quatre formations lithostratigraphiques, argiles de potiers, sables jaunes de Nabeul, argiles de L'Oued Meleh et les sables et les grès de Hammamet (Colleuil, 1976). Les subdivisions stratigraphiques reconnues pour le Pléistocène sont le Calabrien, le Sicilien, le Tyrrhénien et le Versilien (Bonifay, 1975 in Mersri, 1996). Le sahel est caractérisé par des affleurements importants du Tyrrhénien (Kamoun, 1982) existe et qui représente un stock sédimentaire pour alimenter la frange littorale du Golfe de Hammamet. Au niveau du Golfe de Hammamet, les dépôts du tyrrhénien sont de faible épaisseur. Ils sont formés par un grès entrecroisé, faible à la base et consolidé au sommet. Le tyrrhénien affleure aussi entre oued Moussa et oued Charchar (Pomel, 1984).

## 2.2 Géomorphologie littorale

La variation des caractères géomorphologiques permet de subdiviser la côte du Golfe de Hammamet du Nord vers le Sud en trois zones différentes ; Zone I : De Mâmoura à Hammamet où la côte est caractérisée par la prédominance de pointements rocheux gréseux, intercalés par endroits par des plages sableuses de quelques mètres de largeur *pocket beach* (Oueslati, 2004) ; Zone II : De Hammamet à Nfidhaou la côte est formée par des plages sableuses larges. Néanmoins, la côte nord au voisinage de l'hôtel Sindbad fait exception avec en occurrence un haut de plage est très réduit et secteur III : La côte rocheuse de Hergla, peu développée longe un linéaire d'environ 6 km et large de 250 à 500 m (Fig. 3).

Le cordon littoral se développe à Maamoura (Zone I) et Hergla (zone 3). Les

dunes sont plus développées en hauteur (3 à 5 m d'altitude) et en large (200 à 300 m), en particulier dans la plage de Medfoun, Hergla (Boujarra, 1999). Une série de lagunes et de sebkhas, asséchées en été et inondées en hiver, de forme allongée, s'individualisent parallèlement au rivage de la baie (Zarâa, 1996).

## 2.3 Cadre hydrologique

### 2.3.1 Hydrologie de surface

Le réseau hydrographique de la région de Nabeul-Hammamet, représente une aire nourricière dans l'alimentation du Golfe de Hammamet et plus particulièrement des plages et dans le comblement de Sebkhas qui longent la côte (Fig. 4). Les principaux cours d'eau qui caractérisent le secteur d'étude se trouvent au nord du Golfe de Hammamet (Nabeul) et qui sont Oued Lebna et Chiba. 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 sources sur les hauteurs collinaires et viennent se jeter dans des sebkhas ou se perdre dans les fonds de plaines sans atteindre la mer. Les bassins versants couvrent quelques dizaines de km (Tab.1).

### 2.3.2 Les ouvrages anthropiques

Dans le secteur d'étude deux barrages ont été construits en amont des Oued Lebna et Chiba. 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 (Oueslati, 2004). La zone d'étude est aussi 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).

## 2.4 Cadre climatique

Les côtes de la Tunisie bénéficient dans l'ensemble d'un climat méditerranéen. Les grands traits de ce climat sont définis par un hiver relativement froid et humide et un été chaud et sec. L'influence maritime est souvent régulatrice, mais elle est limitée à la frange littorale.

### 2.4.1 La température

La température moyenne mensuelle de la région, varie de 10 à 28°C dans la station de Nabeul (I.N.M, 2014). La variation de la température d'une saison à un autre est important et elle est de l'ordre de 8 à 10°C. Les températures enregistrées dans la station de Nabeul sont légèrement élevées par rapport aux autres stations par le fait qu'elle est plus éloignée de la mer.

### 2.4.2 La Pluviométrie

Dans la station de Nabeul, la précipitation varie entre 350 à 500 mm/an, avec une moyenne de 400 mm/an (INM, 2014). Le régime des pluies est très contrasté. Il est caractérisé par une saison pluvieuse qui s'étale du mois de Septembre au mois d'Avril avec un maximum de 180 mm enregistré pendant le mois d'octobre. La saison sèche est comprise entre les mois de Mai et d'Août.

### 2.4.3 Le Vent

Le Golfe de Hammamet est la région la plus ventée de la Tunisie avec une moyenne de 300 jours de vents par an. Les vents dominants de l'année 2014 sont issus

du secteur Nord-ouest et atteignent fréquemment des vitesses de 60 à 120 Km/h (Tab.2).

Dans la partie Nord du Golfe de Hammamet, le vent dominant est du secteur Nord-Ouest. Dans la partie Sud, la direction du vent varie en fonction de la saison. Il est du secteur Nord, Sid et Sud-Est.

Au large du Golfe de Hammamet, les vents qui engendrent les houles significatives, sur les côtes de Hammamet Hergla, ont des directions Nord-Est, Est, Sud-Est et Sud-Sud-Est.

## 3 METHODOLOGIE

### 3.1 Analyse spatiale

Les scènes Landsat utilisées pour cette étude datent des missions 1985, 2001 et 2015. Les données exploitées permettront l'analyse locale de l'évolution de l'occupation du sol des plages sableuses du golfe de Hammamet (Tab. 3). Les images Landsat sont disponibles et téléchargeables gratuitement via les sites GLCF : *Global Land Cover Facility* (<http://glcfapp.glcfc.umd.edu/>). Les outils appropriés du système Envi.4.5 sont utilisés pour préparer et traiter les scènes Landsat.

#### 3.1.1 Prétraitement d'images

Le prétraitement des images sera effectué par une correction radiométrique, géométrique afin de minimiser les effets d'altération au niveau des valeurs radiométriques générés par l'interpolation pendant la correction géométrique. En premier lieu, Envi dispose de l'outil FLAASH (ATMOSPHERIC Correction) qui permet d'atténuer l'effet atmosphérique en fournissant le modèle de

soustraction d'objet foncé (Chavez, 1996), de compenser les différences des conditions de prise de vues, et de calibrer les capteurs. Les paramètres additionnels nécessaires (angles d'élévation solaire et de visée, Offset/Gain...) sont fournis par les métadonnées accompagnant l'acquisition des scènes Landsat. En ce qui concerne les effets topographiques, il est connu que, d'une part, ces effets sont minimisés dans le cas des secteurs à faible relief (Teillet et al., 1982 ; Lillesand et al., 2000 ; Mather et Koch, 2011). Or, telle est la situation du secteur d'étude, où les altitudes sont faibles. D'autre part, les ratios présentent une sensibilité réduite à la variabilité des conditions topographiques (Dewidar, 2000 ; Singh, 2010). En second lieu, la correction géométrique a commencé par l'image Landsat5-TM du 5 août 1985 qui a été géoréférencée avec le datum Carthage et la projection UTM (32) en se basant sur les cartes topographiques (au 1/25.000) des années 1980. Ensuite, cette image maîtresse fut utilisée comme référence pour géoréférencer les scènes Landsat restantes. Lors de chaque géoréférencement, on a identifié plus de 40 points amers et utilisé une transformation polynomiale du premier ordre et un rééchantillonnage du type le plus proche voisin, préservant mieux les valeurs originales des pixels. L'erreur RMS est comprise entre 0,31 et 0,43 pixels.

### **3.1.2 Télédétection : occupation du sol**

Les approches automatiques de production de cartes d'occupation du sol à partir d'images de télédétection sont souvent basées sur des méthodes de classification d'images (Fig. 5). On va choisir la composition colorée qui est très nécessaire non seulement pour l'efficacité de

l'interprétation visuelle au niveau de la différenciation des entités, mais aussi au niveau de l'identification de la formation végétale ; ensuite, une classification automatique non supervisée suivant la méthode « K.Means ». Si le résultat de cette classification ne permet pas l'identification des classes recherchées, on effectue une classification dirigée (supervisée) suivant la méthode « maximum de vraisemblance ». Cette classification a été utilisée compte tenu de la connaissance du terrain. Elle consiste à identifier visuellement un certain nombre d'éléments ou objets naturels ou artificiels qui peuvent être ponctuels, linéaires ou surfaciques sur l'image. Contrairement au cas précédent il est nécessaire de définir au préalable le nombre précis de classes ainsi que leur nature. La technique de la comparaison de classifications d'images permet de localiser et d'identifier les changements d'occupation du sol.

La réalisation d'une classification supervisée nécessite l'acquisition de données de terrain pour affiner notre mode de classification. Les visites de terrain se sont déroulées entre février 2014 et décembre 2014. Plusieurs photos de terrains numériques ont été prises le long du littoral du golfe de Hammamet.

L'évaluation de la performance des classifications des images Landsat 1985 et 2015 a été effectuée statistiquement, soit par les matrices de confusion qui permet de vérifier si les pixels tests ont été affectés à la bonne classe de sortie, « c'est-à-dire que des pixels correspondant à une unité paysagère se retrouvent classés dans une classe représentative d'une autre unité paysagères » (Robin, 2002), soit par le calcul des statistiques des classes qui

affichent le nombre de pixels de chaque classe ainsi que le pourcentage de chaque classe. Ces valeurs sont à comparer entre les deux types de classification. Si on s'en éloigne trop, il sera nécessaire de modifier l'apprentissage des régions d'intérêt.

### **3.2 Cartographie du Trait de côte**

#### **3.2.1 Le choix de la ligne de référence**

Il existe plus d'une douzaine de lignes de référence matérialisant la position du trait de côte (Robin, 2002 ; Boak & Turner, 2005). Dans le cadre d'une étude diachronique fondée sur la photo-interprétation, le choix et l'extraction d'une ligne commune aux différentes images utilisées est nécessaire. Nous avons admis la limite entre la mer et la terre comme ligne de référence car la masque mer nous a permis de délimiter le contact de terre/mer. Les cartes de synthèse obtenues ont été réalisées avec la limite terre/mer comme ligne de référence, d'une part à partir de traitement des images Landsat. Dans le cadre de synthèses diachroniques, tous ces éléments sont des facteurs de décalages supplémentaires qu'il convient d'évaluer avant de tirer des conclusions sur la cinématique littorale (Anders et Byrnes, 1991 ; Crowell et al., 1991; Thieler et Danforth, 1994a ; Durand, 1998; Gaillot et Chaverot, 2001 ; Robin, 2002).

#### **3.2.2 La création du masque mer**

Le masque mer est créé suivant la résolution de la bande 8 du capteur ETM+ et Landsat8, qui est de 15 m. Ces derniers sont très sensibles à l'eau. En utilisant le Logiciel Envi 4.5, on est capable d'assembler les valeurs de la bande par classe. Le logiciel Envi4.5 produit huit classes dans des surfaces homogènes. Par

une analyse visuelle, on remarque que les deux premières classes identifient des surfaces aquatiques. Ces deux groupes sont fusionnés par modifications des valeurs du seuil autant de fois qu'il est nécessaire pour obtenir un masque mer satisfaisant, tandis que les autres sont supprimés. Par la suite, on enregistre l'image obtenue sous un format lisible par le logiciel Arc GIS 10.2.

#### **3.2.3 Mesures d'évolution du trait de côte**

Les degrés d'évolution du trait de côte mesurés à partir de documents satellitaires comportent toujours une certaine part d'incertitude qu'il est nécessaire d'évaluer pour juger du degré de représentativité des résultats. Dans cette recherche, les erreurs peuvent provenir du calcul des modèles polynomiaux par le logiciel et des oscillations à court terme dans la position de la ligne de rivage. D'abord, le fait que les images Landsat sélectionnées étaient prises pendant la période estivale et dans des conditions de mer calme néglige l'erreur liée aux changements saisonniers dans la position de la ligne de rivage instantanée et/ou liés à des conditions climatiques. Ensuite, tenant compte des résolutions spatiales des images Landsat allant de 30 x 30 m à 60 x 60 m, il est possible, comme l'indique Guariglia et al. (2006) par exemple, d'analyser l'évolution de la ligne de rivage instantanée à partir des images Landsat, sans l'interférence de la marée astronomique.

Enfin du compte, l'erreur semble provenir seulement du géo-référencement dont l'erreur RMS n'ayant pas dépassé 0,5 pixel. Elle est ainsi de  $\pm 13$  m sur la période d'étude (2001-2015), soit  $\pm 1$  m/an. En ce qui concerne les mesures proprement dit, la

régression linéaire simple est la méthode utilisée. Cette méthode, d'usage très répandu dans la littérature, est considérée statistiquement comme la meilleure méthode.

Le traitement d'images satellite Landsat a permis récemment de déterminer certaines caractéristiques moyennes des barres en croissant (Lafon et al., 2002).

## 4 RESULTATS

### 4.1 Evolution du trait de côte

La comparaison des traits de côte de 2001 et de 2015 témoigne d'une érosion du littoral intervenue entre ces deux dates, en accord avec les conclusions d'Oueslati, (2004) et Zaara (1996). Le taux moyen de recul est de -2 m/an si on tient compte de toutes les mesures.

L'analyse de l'évolution de la ligne de rivage de la côte sableuse du Golfe de Hammamet durant la période entre 2001 à 2015, à partir des images Landsat, a permis de révéler une nette variabilité spatiale. Le rivage situé entre le port de Béni Khiar et la falaise de Hammamet recule de  $48 \pm 10$  m, soit une vitesse de  $-3.69 \pm 1$  m/an (Fig. 6).

Dans la partie centrale de la baie, la plage Hammamet Sud sur laquelle est bâti le port de plaisance de Yasmine Hammamet, on constate qu'aux Sud de ce port, la plage était en état démaigrissement ( $-6.15 \pm 1$  m/an) entre 2001 et 2015 causé par l'action agressive de la houle et une faible action de la dérive littoral surtout dans la partie sud à cause l'implantation du port de Yasmine Hammamet qui s'oppose au sens de la dérive littorale principale (NE /SW). Dans la partie nord, la dérive littoral fonctionne d'une manière stable et rythmique ce qui engendre un

engraissement ( $4.6 \pm 1$  m/an) du trait de côte en arrière du port (N-S) (Fig. 7).

L'embouchure de l'oued Sad au sud de Yasmine Hammamet montre une évolution normale avec une dynamique active et un engraissement de part et d'autre des rives (Fig. 8). L'engraissement est prononcé sur la rive nord compte tenu de l'action de la dérive littorale (NE /SW) et de la vague. L'engraissement de la rive nord est maintenu par l'effet de la houle qui répartit les sédiments du saillant qu'elle a érodé. Cet engraissement est égal à  $2.8 \pm 1$  m/an.

La plage de Bouficha, montre un recul de  $30 \pm 10$  m soit une vitesse annuelle de  $2.3 \pm 1$  m/an (Fig. 9). Au sud, la plage de Nfidha est caractérisé par un cordon dunaire très développé de largeur 300 à 400 m ce qui permet une stabilité du trait de côte. La forêt de Madfoun au sud de Nfidha assure le développement de ce cordon dunaire depuis des dizaines d'années.

### 4.2 Les cartes d'occupation du sol

Les cartes résultantes du traitement par télédétection sont présentées sur la figure 10. Nous pouvons constater que les classes les plus répandues sont l'espace minéral et la végétation qui occupaient plus du 75% de la surface totale ; tandis que les classes qui présentent les proportions les plus petites sont : le sol nu, et les dépôts sablonneux. Toutes les deux représentent moins de 20 % du total de la surface.

L'analyse visuelle de ces deux cartes (Fig.11) nous permet de constater que les principaux changements sont : a) la croissance des zones de l'espace minéral entre 1985 et 2015 ; b) la régression de la végétation et c) des fluctuations des

classes « dépôts sablonneux » et les « sols nus ».

L'évaluation de nos résultats à partir des matrices de confusion **Fig 12 et 13**, nous permet de constater que les indices Kappa (0.93 pour l'image Landsat5 1985 et 0.95 pour l'image Landsat8 2015) et la mesure d'exactitude (95 % et 96.18 %) pour les deux cartes, indiquent que les classifications sont de bonne qualité.

### **4.3 Evolution de l'occupation du sol**

La détection des changements pour une classe thématique entre les deux dates (1985 et 2015) est possible grâce à une comparaison des statistiques des classes **Fig. 14**, le diagramme ci-après est reproduit pour une meilleure interprétation des différences des superficies des unités d'occupation entre 1985 et 2015.

D'après le diagramme ci-dessus, on note une diminution des superficies de la végétation et une augmentation du secteur bâti ou sol nu en 2015 par rapport à 1985. Au cours de cette période, 203 km<sup>2</sup> des unités d'occupation de la végétation qui ont régressé et 357 km<sup>2</sup> du « secteur bâti ou sol nu » qui ont progressé. Cependant, nous pouvons noter que la classe « sol nu » montre une progression de 40% au cours de cette période, pour les restes des classes n'ont pas subi une grande modification c'est-à-dire qui sont restés stables.

D'après cette étude socioéconomique on peut remarquer que le couvert végétal le long du littoral du Golfe de Hammamet est caractérisé par une forte dégradation qui est due aux actions anthropiques. Face à cette situation dont la conséquence directe est la disparition de plusieurs espaces verts qui sont remplacés par des constructions humaines et c'est le cas de

l'implantation de Yasmine Hammamet. Du fait de la forte densité humaine au bord de la mer décrite par Oueslati en 2004, les territoires artificialisés tiennent une place importante dans le Golfe de Hammamet et croissante dans l'occupation du sol.

## **5 DISCUSSION ET CONCLUSION**

D'après ces cartes on peut remarquer que la végétation classée du Golfe de Hammamet est caractérisée par une forte dégradation qui est due aux actions anthropiques. Face à cette situation dont la conséquence directe est la disparition de plusieurs espaces verts qui sont remplacés par des constructions humaines et c'est le cas de l'implantation de Yasmine Hammamet. Du fait de la forte densité humaine au bord de la mer décrite par Oueslati en 2004, les territoires artificialisés tiennent une place importante dans le Golfe de Hammamet et croissante dans l'occupation du sol.

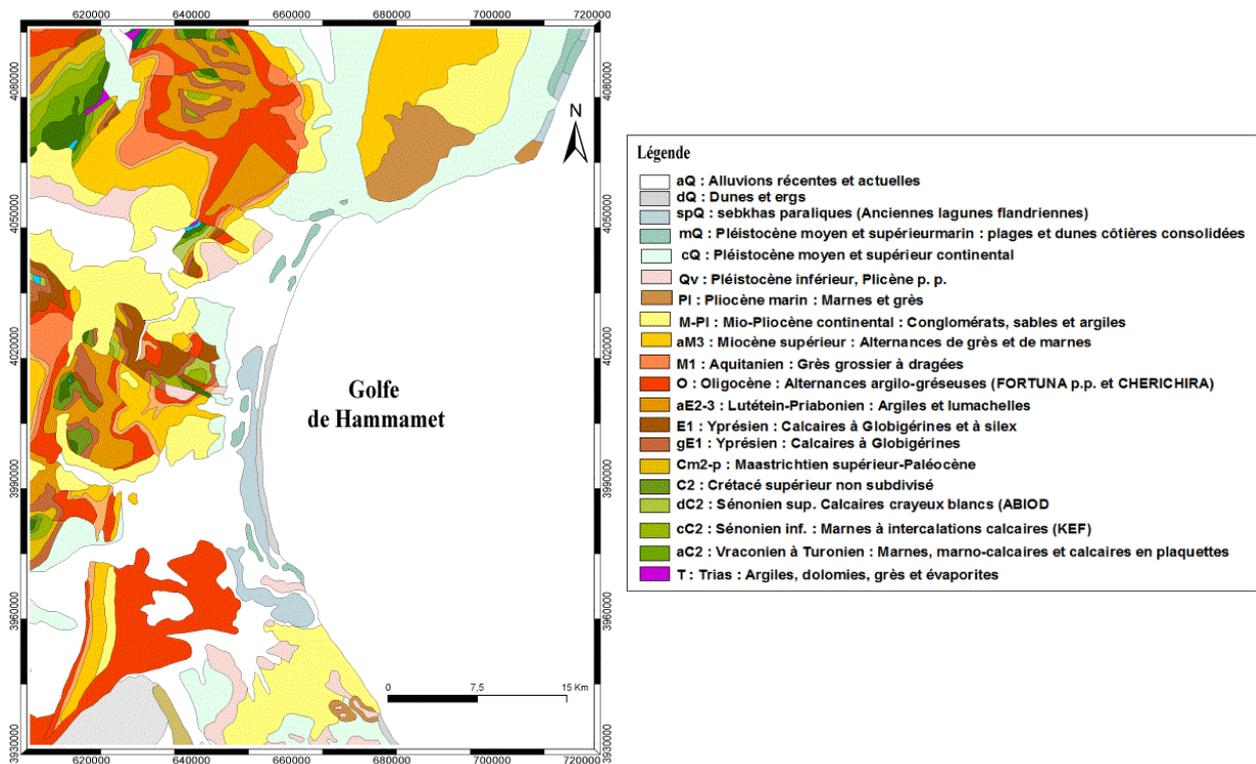
La constitution de notre base de données géoréférencées (cartes topographiques, cartes géologiques, images satellitaires) nous a permis d'élaborer des cartes de synthèse illustrant la cinématique du trait de côte par une étude multitemporelle, tout en soulignant les limites de la méthode en ce qui concerne le choix des lignes de référence et l'estimation des erreurs. La reconstitution du trait de côte a aussi été pénalisée par la résolution spatiale trop faible des images Landsat (15 m) à notre disposition. Il sera plus intéressant à l'avenir d'utiliser des images à haute résolution spatiale.

Les possibilités offertes par l'approche des systèmes d'information géographiques et celle de la télédétection permettent de

mieux appréhender les caractéristiques des milieux côtiers, en particulier le golfe de Hammamet. Le traitement et l'interprétation des images satellitaires (Landsat5 en 1985 et Landsat8 en 2015) nous a permis d'identifier l'évolution de l'occupation du sol au bord de notre zone d'étude. La classification de ces images montre une diminution de 7% du couvert végétal et une augmentation de la partie minérale (secteur bâti et sol nu) de 9%. Cela est dû à une forte anthropisation du golfe de Hammamet surtout l'implantation des hôtels et des ports dès 1980. Le suivi de l'évolution du trait de côte à partir des traitements des images satellitaires ETM+ (2001) et Landsat8 (2015) a permis de montrer l'ampleur du phénomène d'érosion. En effet entre 2001 et 2014, on enregistre un important recul de trait de côte, essentiellement au niveau des plages de Nabeul-Hammamet. En face des Oueds le rivage montre un engraissement surtout au niveau des embouchures sous l'action de la dérive littoral.

Notre étude de cas, à l'échelle du golfe de Hammamet, a eu pour but d'examiner les différents processus qui se manifestent, de prévoir leurs conséquences. Il pourra constituer une base technique pour la préconisation de solutions et une aide à la décision pour les aménageurs et les décideurs.





**Fig. 2 : Affleurements géologiques aux environs du golfe de Hammamet (à partir de la carte géologique 1/500000).**



**Fig. 3: Les plages sableuses et les pointes rocheuses (Zone1-Pointement rocheux de Mâmoura, Zone 2-Plage sableuse de Hammamet et zone 3- Falaise de Hergla).**

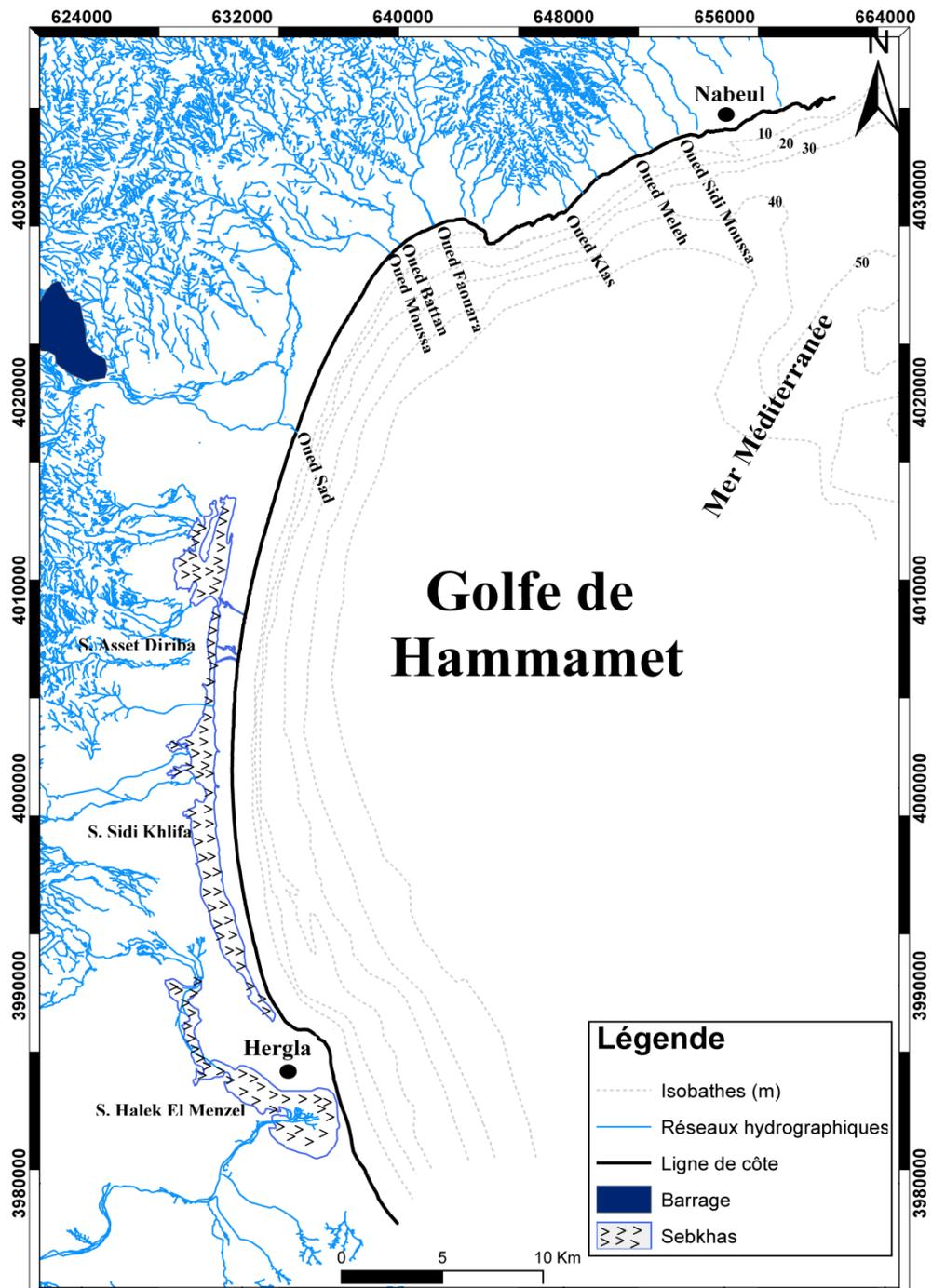
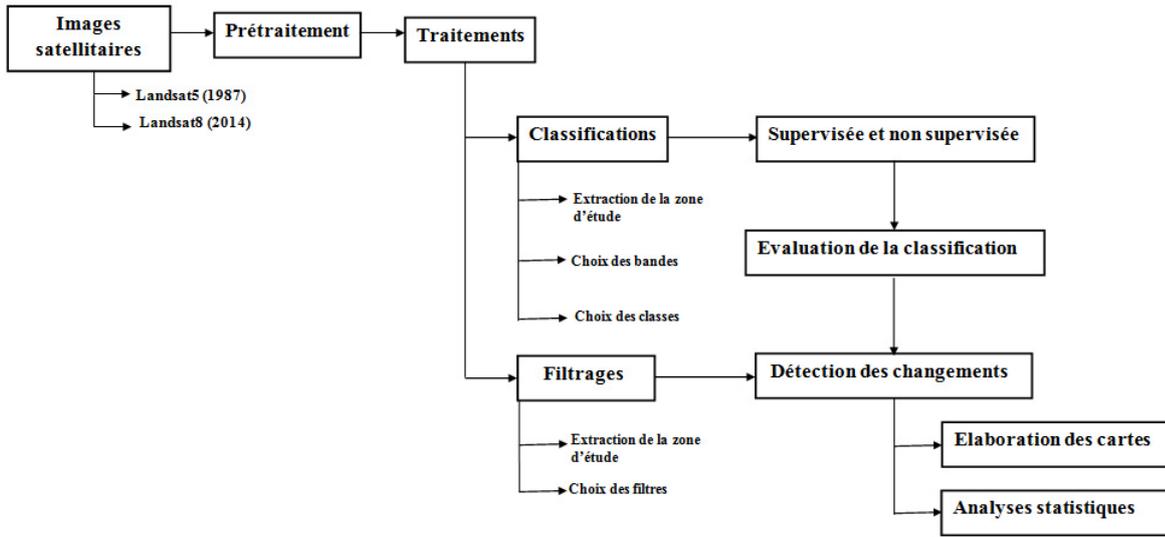
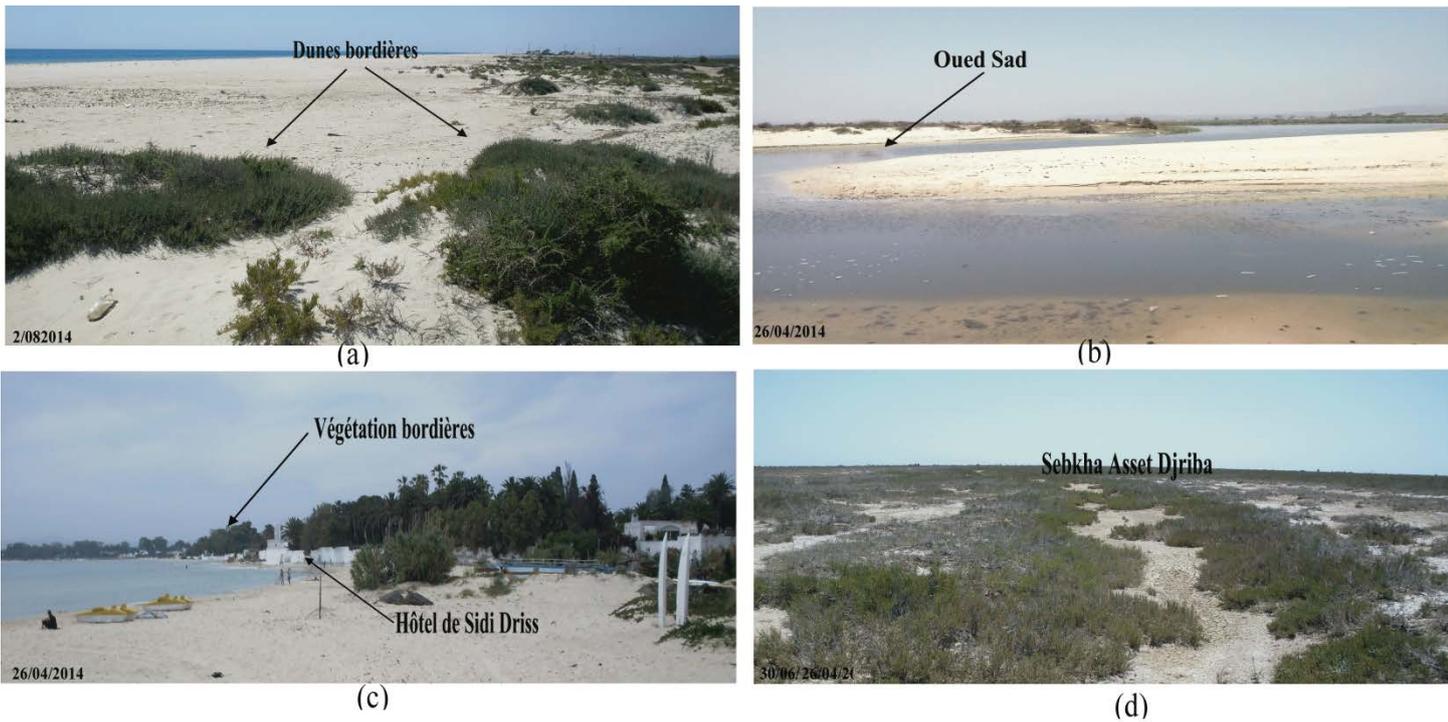


Fig. 4: Réseaux Hydrographique à partir de la numérisation des cartes topographiques (Cartes topographiques 1/25000, mission 1962).



**Fig. 5: Organigramme méthodologique.**



**Fig. 6: Observation du terrain (a : dunes bordière à Bouficha, b : Oued Sad à Hammamet Sud, c : Végétation bordière au niveau de l'hôtel Sidi Driss à Hammamet Nord et d : Sebkhha Asset Djriba à Bouficha).**

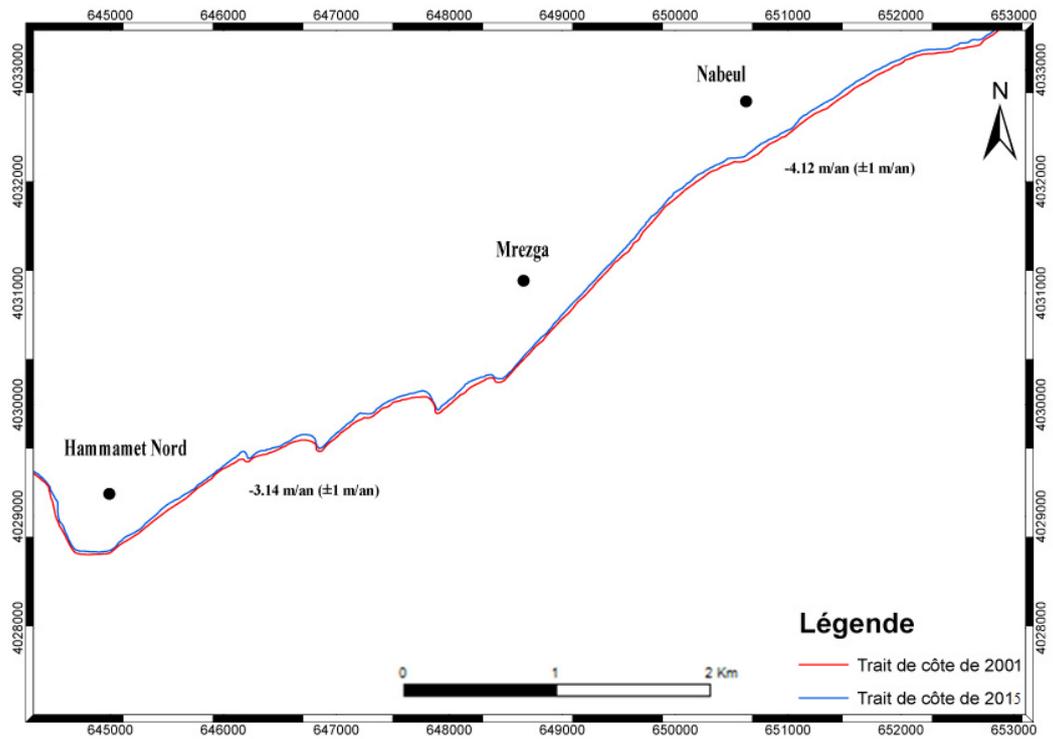
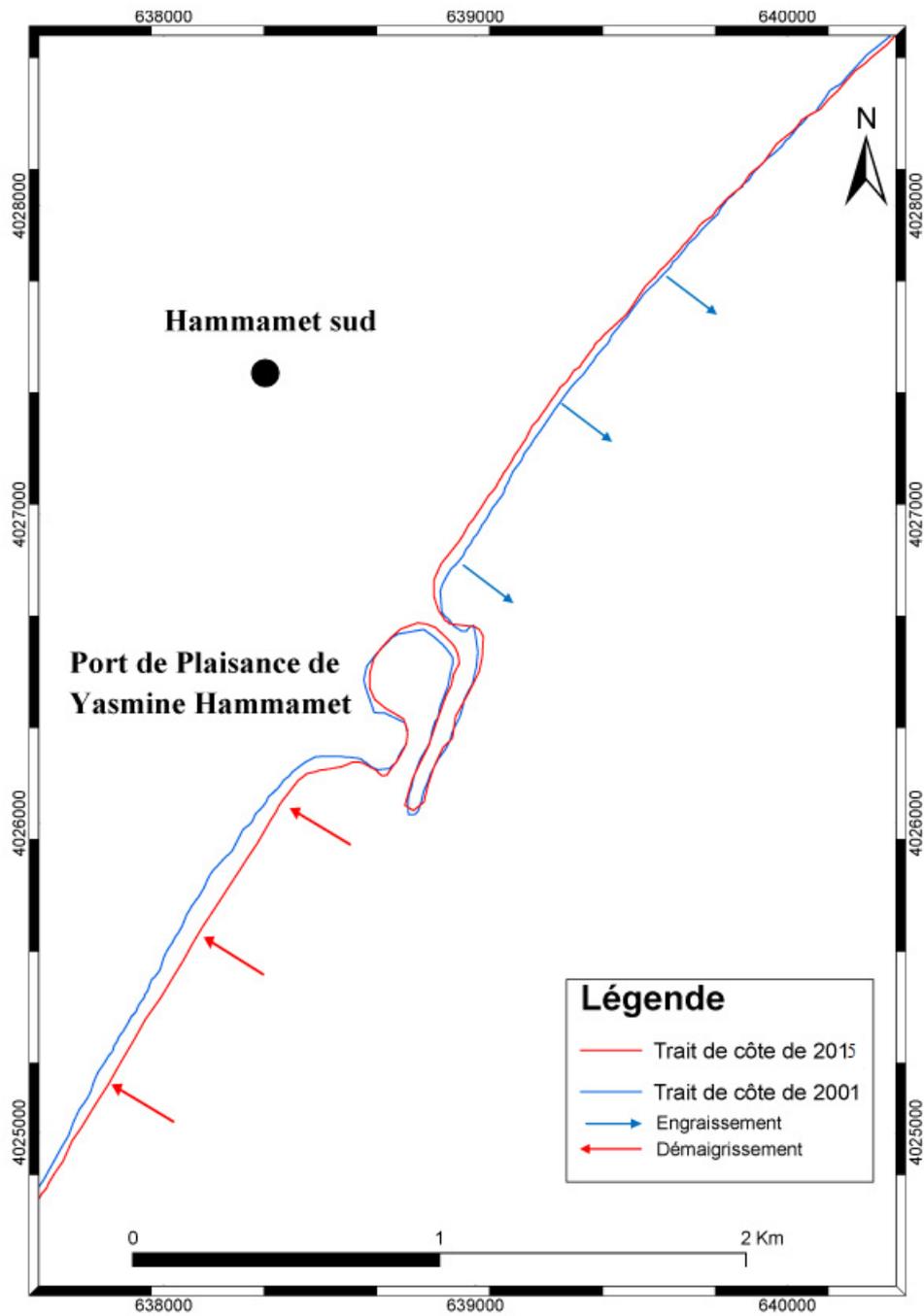


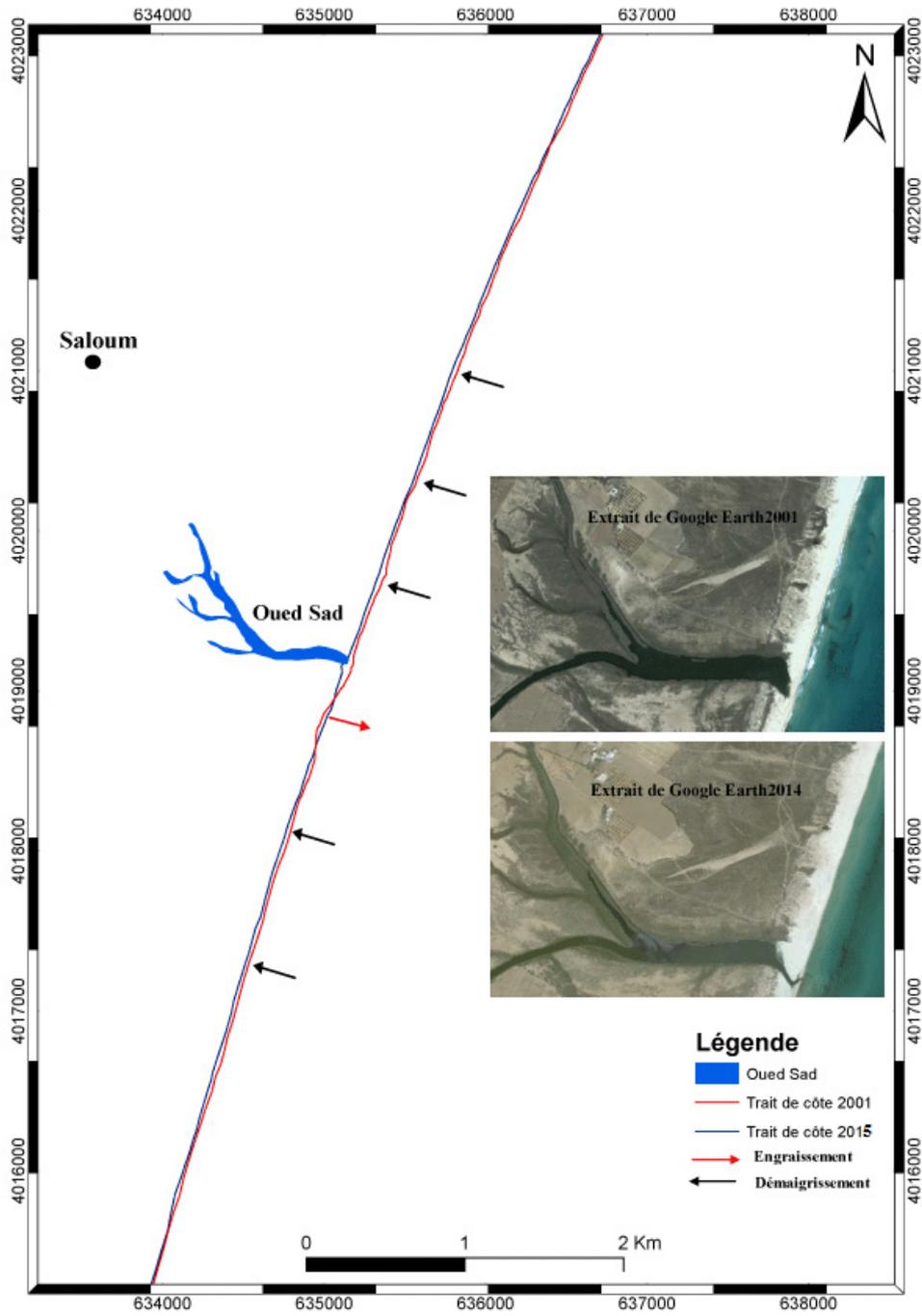
Fig. 7: Evolution du trait de côte du secteur Nabeul-Mrezga (2001-2015).



Fig. 8: Indicateurs d'ordre anthropique témoignant du recul du trait de côte dans le secteur Nabeul-Hammamet



**Fig. 9: Démaigrissement du trait de côte d'Yasmine Hammamet (2001-2015).**



**Fig. 10: Evolution du trait de côte en face de l'Oued Sad (2001-2015).**

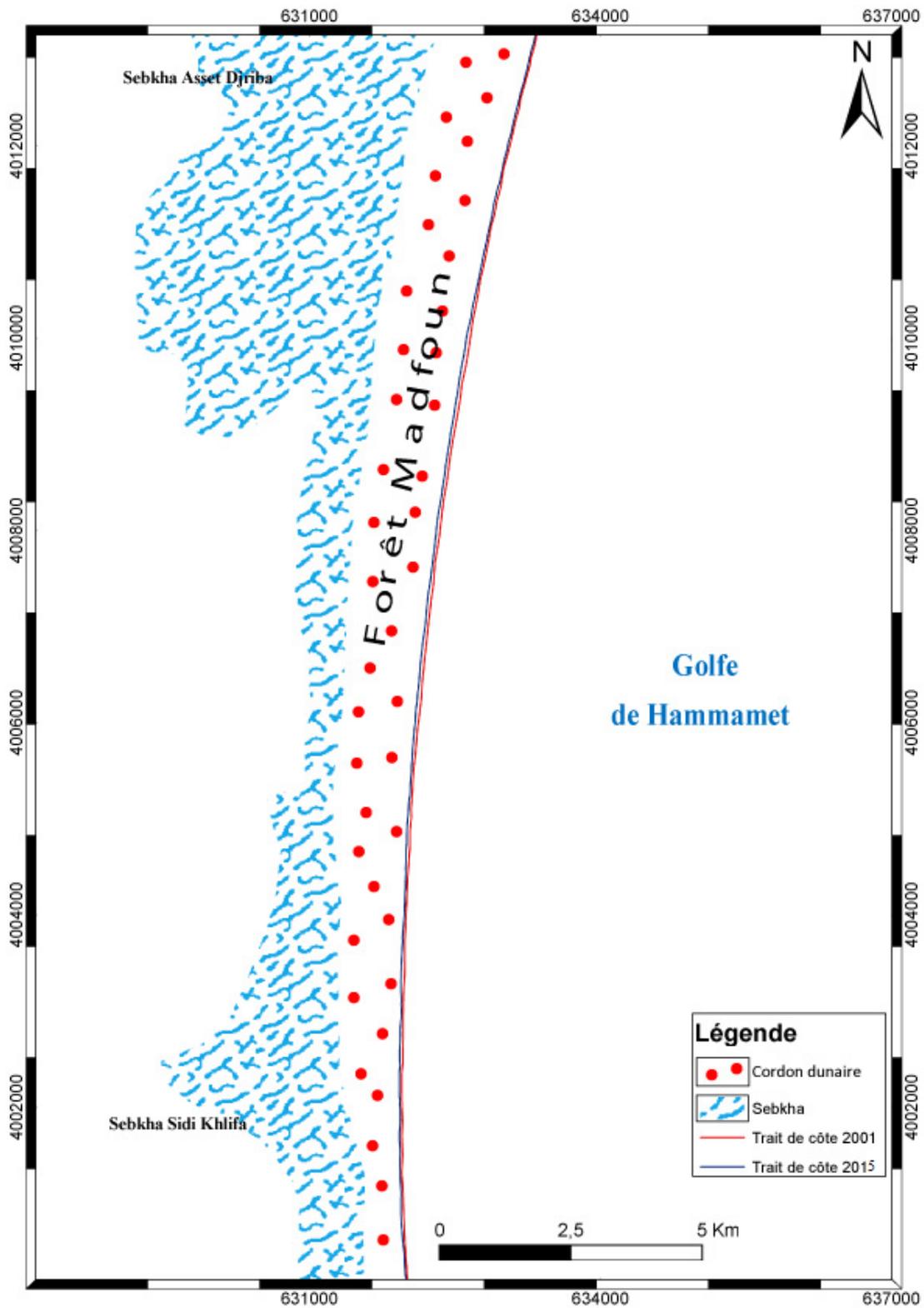
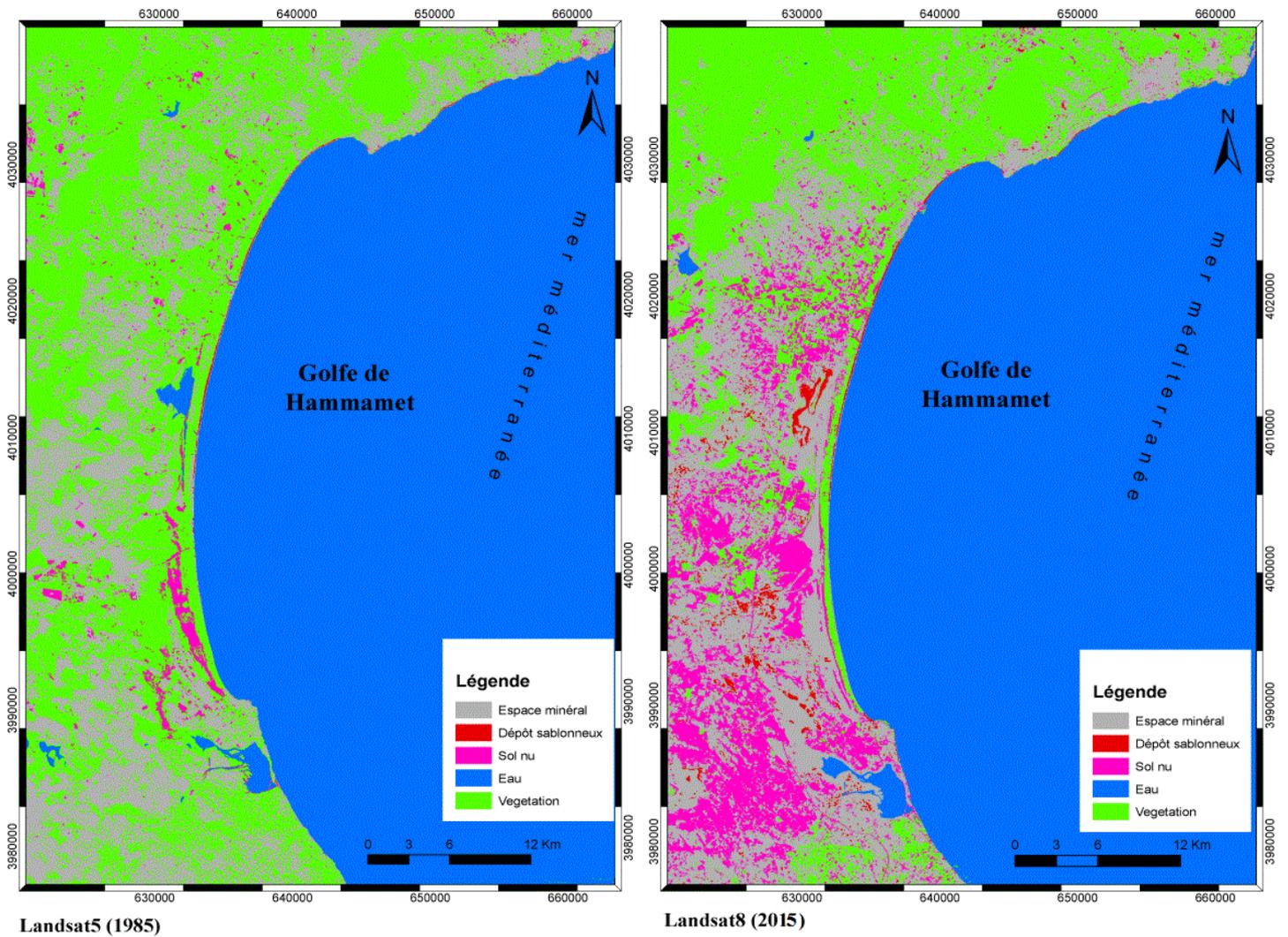
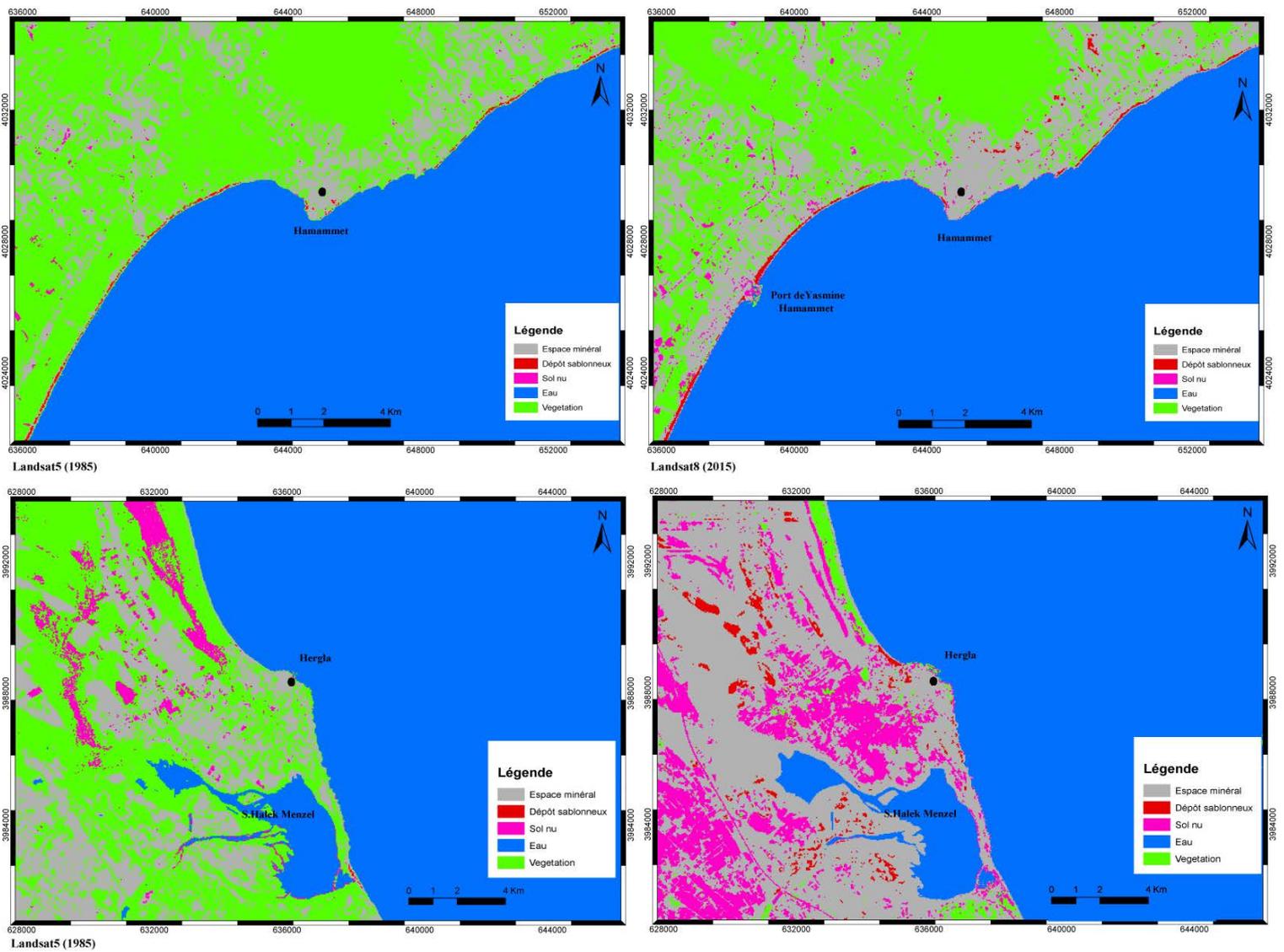


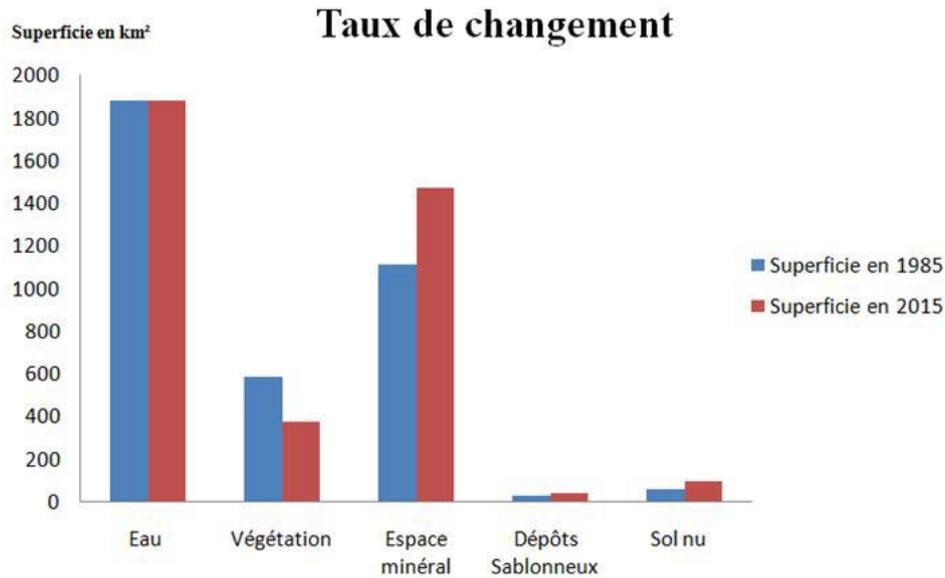
Fig. 11: Stabilité du trait de côte du secteur Bouficha-Hergla (2001-2015).



**Fig. 12: Classification supervisée des images par la méthode de «maximum de vraisemblance» au niveau de la zone d'étude (Nabeul-Hergla, Golfe de Hammamet. Tunisie).**



**Fig. 13: Détection des changements de l'occupation du sol à partir de la classification supervisée entre 1985 et 2015 (Image Landsat5 (1985) et Landsat8 (2015)).**



**Fig. 14: Diagramme des superficies des unités d'occupation de sol du Golfe de Hammamet entre 1985 et 2015.**

## Liste des figures

Fig. 1: Localisation de la zone d'étude (a-Hergla, b-Nfidha, c-Bouficha, d-Hammamet et e-Nabeul).

Fig. 2: Affleurements géologiques aux environs du golfe de Hammamet (à partir de la carte géologique 1/500000).

Fig. 3: Les plages sableuses et les pointes rocheuses (Zone1-Pointement rocheux de Mâamoura, Zone 2-Plage sableuse de Hammamet et zone 3- Falaise de Hergla).

Fig. 4: Réseaux Hydrographique à partir de la numérisation des cartes topographiques (Cartes topographiques 1/25000, mission 1962).

Fig. 5: Organigramme méthodologique.

Fig. 6: Observation du terrain (a : dunes bordière à Bouficha, b : Oued Sad à Hammamet Sud, c : Végétation bordière au niveau de l'hôtel Sidi Driss à Hammamet Nord et d : Sebkhâ Asset Djriba à Bouficha).

Fig. 7: Evolution du trait de côte du secteur Nabeul-Mrezga (2001-2015).

Fig. 8: Indicateurs d'ordre anthropique témoignant du recul du trait de côte dans le secteur Nabeul-Hammamet.

Fig. 9: Démaigrissement du trait de côte d'Yasmine Hammamet (2001-2015).

Fig. 10: Evolution du trait de côte en face de l'Oued Sad (2001-2015).

Fig. 11: Stabilité du trait de côte du secteur Bouficha-Hergla (2001-2015).

Fig. 12: Classification supervisée des images par la méthode de «maximum de vraisemblance » au niveau de la zone d'étude (Nabeul-Hergla, Golfe de Hammamet. Tunisie).

Fig. 13: Détection des changements de l'occupation du sol à partir de la classification supervisée entre 1985 et 2015 (Image Landsat5 (1985) et Landsat8 (2015)).

Fig. 14: Diagramme des superficies des unités d'occupation de sol du Golfe de Hammamet entre 1985 et 2015.

## **Les tableaux**

**Tab. 1: Apports des oueds du Golfe de Hammamet (APAL, 2012).**

| <b>Oueds</b> | <b>Bassin versant</b> | <b>Apports/an</b>    |
|--------------|-----------------------|----------------------|
| Oued Laâbid  | 81,0 km <sup>2</sup>  | 6,0 km <sup>3</sup>  |
| Oued Hajjar  | 80,2 km <sup>2</sup>  | 6,3 km <sup>3</sup>  |
| Oued Lebna   | 205,0 km <sup>2</sup> | 30,0 km <sup>3</sup> |
| Oued Chiba   | 204,0 km <sup>2</sup> | 13,4 km <sup>3</sup> |

**Tab. 1: Historiques des tempêtes de l'année 2014 au niveau du Golfe de Hammamet (<http://www.infoclimat.fr/> (Source)).**

| <b>Date</b>        | <b>Direction du vent</b> | <b>Vitesse du vent km/h</b> |
|--------------------|--------------------------|-----------------------------|
| <b>26/01/2014</b>  | <b>Nord- Est</b>         | <b>90</b>                   |
| <b>02/ 02/2014</b> | <b>Sud-Ouest</b>         | <b>77</b>                   |
| <b>26/ 03/2014</b> | <b>Sud-Est</b>           | <b>85</b>                   |
| <b>25/ 04/2014</b> | <b>Sud-Est</b>           | <b>75</b>                   |
| <b>03/ 05/2014</b> | <b>Sud-Ouest</b>         | <b>75</b>                   |
| <b>03/ 06/2014</b> | <b>Sud-Est</b>           | <b>66</b>                   |
| <b>29/ 07/2014</b> | <b>Sud-Ouest</b>         | <b>68</b>                   |
| <b>28/ 08/2014</b> | <b>Sud-Est</b>           | <b>70</b>                   |
| <b>24/ 09/2014</b> | <b>Nord- Est</b>         | <b>116</b>                  |
| <b>22/ 10/2014</b> | <b>Sud-Est</b>           | <b>75</b>                   |
| <b>07/ 11/2014</b> | <b>Sud-Est</b>           | <b>81</b>                   |
| <b>28/ 12/2014</b> | <b>Nord- Est</b>         | <b>88</b>                   |

**Tab. 3 : Caractéristiques des scènes Landsat utilisées**

| <b>Satellite</b> | <b>Capteur</b>                     | <b>Résolution spatiale</b> | <b>Date d'acquisition</b> |
|------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Landsat 5        | TM<br>(Thematic Mapper)            | 30 x 30 m                  | 13/07/1987                |
| Landsat 7        | ETM+<br>(Enhanced Thematic Mapper) | 30 x 30 m                  | 12/08/2001                |
| Landsat 8        | TM<br>(Thematic Mapper)            | 30 x 30 m                  | 09/06/2015                |

**Tab. 4: Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat5 (1985) couvrant le Golfe de Hammamet.**

| <b>Sites de vérif.<br/>classification</b> | <b>Eau</b> | <b>Sol nu</b> | <b>Végétation</b> | <b>Dépôts<br/>sablonneux</b> | <b>Espace<br/>Minéral</b> | <b>Erreur<br/>d'excédents</b> | <b>Précision<br/>pour<br/>l'utilisateur</b> |
|---|------------|---------------|-------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---|
| <b>Eau</b>                                | <b>100</b> | <b>0</b>      | <b>0</b>          | <b>0</b>                     | <b>0</b>                  | <b>0</b>                      | <b>100</b>                                  |
| <b>Sol nu</b>                             | <b>0</b>   | <b>100</b>    | <b>0</b>          | <b>0</b>                     | <b>0</b>                  | <b>0</b>                      | <b>100</b>                                  |
| <b>Végétation</b>                         | <b>0</b>   | <b>0</b>      | <b>100</b>        | <b>0</b>                     | <b>0</b>                  | <b>0</b>                      | <b>100</b>                                  |
| <b>Dépôts<br/>sablonneux</b>              | <b>0</b>   | <b>0</b>      | <b>0</b>          | <b>84</b>                    | <b>7</b>                  | <b>6,86</b>                   | <b>93,14</b>                                |
| <b>Espace<br/>Minéral</b>                 | <b>0</b>   | <b>0</b>      | <b>0</b>          | <b>16</b>                    | <b>93</b>                 | <b>13,45</b>                  | <b>86,55</b>                                |
| <b>Erreur de<br/>déficits</b>             | <b>0</b>   | <b>0</b>      | <b>0</b>          | <b>14,41</b>                 | <b>6,36</b>               | <b>%</b>                      |   |
| <b>Précision pour<br/>le réalisateur</b>  | <b>100</b> | <b>100</b>    | <b>100</b>        | <b>85,59</b>                 | <b>93,64</b>              |                               |   |

**Tab. 5: Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat8 (2015) couvrant le Golfe de Hammamet**

| Sites de vérif.<br>classification | Eau | Sol nu | Végétation | Dépôts<br>sablonneux | Espace<br>Minéral | Erreur<br>d'excédents | Précision<br>pour<br>l'utilisateur |
|-----------------------------------|-----|--------|------------|----------------------|-------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Eau                               | 100 | 0      | 0          | 0                    | 1                 | 0,9                   | 99.1                               |
| Sol nu                            | 0   | 100    | 0          | 0                    | 0                 | 0                     | 100                                |
| Végétation                        | 0   | 0      | 95         | 4                    | 0                 | 0                     | 100                                |
| Dépôts<br>sablonneux              | 0   | 0      | 5          | 96                   | 0                 | 3,67                  | 96,63                              |
| Espace<br>Minéral                 | 0   | 0      | 0          | 0                    | 99                | 4,55                  | 95.5                               |
| Erreur de<br>déficits             | 0   | 0,91   | 0          | 4,55                 | 3,64              | <b>%</b>              |                                    |
| Précision pour<br>le réalisateur  | 100 | 99,09  | 100        | 95,45                | 96,36             |                       |                                    |

#### Liste des tableaux

Tab. 1: Tab. 1: Apports des oueds du Golfe de Hammamet (APAL, 2012).

Tab. 2: Historiques des tempêtes de l'année 2014 au niveau du Golfe de Hammamet (<http://www.infoclimat.fr/> (Source)).

Tab. 3: Caractéristiques des scènes Landsat utilisées.

Tab. 4: Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat5 (1985) couvrant le Golfe de Hammamet.

Tab. 5: Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat8 (2015) couvrant le Golfe de Hammamet.

## Liste bibliographique

- Added, A., Ben Mammou, A., Abdeljaouad, S., Essonni, N., Fernex, F., 2003.** Caractérisation géochimique des sédiments de surface du golfe de Tunis. Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô, Vol. 30, Tunisie, pp. 135-142.
- Amrouni, O., Hermassi, T., Adbdeljaouad, S., Messaoudi, S., 2014.** Contribution of grain-size trend to sediment of a microtidal beach .Case of the Gulf of Tunis bay (Cape Ferina – Cape Gammarth, Tunisia). Research Journal of Environmental Sciences .Volume 8, Number 4, pp 161-177.
- Anders, F.J., Byrnes, M.R., 1991.** Accuracy of shoreline change rates as determined from map and aerial photographs. Shore and Beach, vol. 59, n°1, p. 17 – 26
- Belhédi, A., 1999.** L'espace touristique en Tunisie, communication au cours d'été de l'université de Girona, Institut supérieur des études touristiques, Espagne.
- Bird, E.C.F., 1986.** Submerging coasts. Wiley & Sons Ltd, Chichester, 184p.
- Boak, E. H., Turner, I. L., 2005.** Shoreline definition and detection: A review. Journal of Coastal Research, vol. 21, n°4, p. 688 - 703.
- Bonifay, E., 1975.** « L'ère Quaternaire » - Définitions, limites et subdivisions sur la base de la chronologie méditerranéenne. Bull. Soc. Géol. France, XVII, n°3 ; pp 380-393.
- Bougarra, A., 1999.** Archéologie et géomorphologie : le paysage du Sahel Nord depuis l'Antiquité. 30p.
- Chavez, P.S. Jr., 1996.** Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 62, pp 1025-1036.
- Colleuil, P., 1976.** Etude stratigraphique et néoectonique ds formations néogènes et quaternaires de la région de Nabeul-Hammamet (Cap-Bon Tunisie). Mémoire de D.E.S. Univ. Nice, p34.
- Cowell, P.J & Thom, B.G., 1994.** Morphodynamics of coastal evolution. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33-86.
- Crowell, M., Leatherman, S., Buckley, M.K., 1991.** Historical shoreline change: Error analysis and mapping accuracy. Journal of Coastal Research, vol. 7, n°3, p. 839 - 852.
- Cuq, F., 1983.** Télédétection du littoral saintongeais : méthodes de traitement et interprétation d'images satellitaires, doctorat de Géographie, Montrouge, collection ENSJF, n° 23, 192 p.
- Cuq, F., 1984c.** « Constitution d'un modèle hypsométrique par analyse diachronique de trois simulations Spot », dans Actes eighteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Paris, p. 1955-1960.
- Dewidar, K., 2000.** Landfilling detection of Hurghada, North Red Sea, Egypt, by using Thematic Mapper. International Journal of Remote Sensing 23, 939-948.
- Duplessy, J.R., 1964.** Gros temps sur la planète. Odile Jacos, Paris, 296p.
- Durnand, P., 1998.** Cinématique d'un littoral sableux à partir de photographies aériennes et de cartes topographiques. Exemple du littoral d'Argelès - Plage à Saint - Cyprien (Roussillon - France). Géomorphologie : relief, processus, environnement, n°8, p. 155 - 166.
- Gaillot, S., & Chaverot, S., 2001.** Méthode d'étude des littoraux à faible évolution. Cas du delta du Golo (Corse) et du littoral du Touquet (Pas - de - Calais) en France. Géomorphologie : relief, processus, environnement, n°1, p. 47 - 54.
- Guariglia, A., Buonamassa, A., Losurdo, A., Saladino, R., TrivignoR, M. L., Zaccagnino, A., Colangelo, A., 2006.** A multisource approach for coastline mapping and identification of shoreline changes. Annals of Geophysics, vol. 41, n°1, p. 295 - 304.

- Halouani, N., Fathallah, S. & Gueddari, M., 2012.** Beach and Nearshore Morphodynamic Changes of The Tabarka Coast, Northwest of Tunisia. *Environmental Earth Sciences*, Volume 66, No. 4, June:1059-1069.
- Harralick, R. M., 1979.** Statistical and structural approaches to texture, inproceedingIEEE, n° 67, p. 786-804.
- IPCC, 2001.** Climate Change 2001: The scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, Cambridge University Press, 2001.
- Lafon, V., Dupuis, H., Howa, H., Froidefond, J.-M., 2002.** Mesure du déplacement des barres et baïnes parallèlement au trait de côte à l'aide de l'imagerie spatiale Spot. *Oceanologica Acta*, vol. 25, n°3-4, p.149 - 158.
- Leatherman, S.P., Zhang, K., Douglas, B.C., 2000a.** Sea level rise shown to drive coastal erosion. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, vol. 81, n°6, p. 55 - 67.
- Leatherman, S.P., 2003.** Shoreline change mapping and management along the US East Coast. *Journal of Coastal Research*, Special Issue n°38, p. 5 - 13.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., 2000.** Remote sensing and image interpretation. 4 th ed., Wiley, New York, 724 p.
- Kamoun, Y., 1980.** Etude néotectonique de la région de Monastir-Mahdia (Tunisie orientale). Thèse 3ème cycle, Univ. Paris Sud. 185p. 46 fig., 12pl.
- Mather, P., Koch M., 2011.** Computer Processing of Remotely-Sensed Images. An Introduction. 4 th Ed., Wiley-Blackwell, London, 462 p.
- Mridekh, A., 1994.** Structuration tectonique et séquentielle des séries plio-quadernaire de subsurface du Golfe de Hammamet (Tunisie Nord-Orientale). Mémoire de D.E.A., Univ. Tunis II, 83p.
- Ouesalti, A., Charfi, F., Baccar, F., 2004.** Presentation of the Tunisian site : la basse vallée de Oued Medjerda et la lagune de Ghar El Melh. Water Demand Integration (WADI project), Fifth International Meeting INCO-CT-2005-015226, 6-9 December, 26 p.
- Oueslati, A., 1993.** Les côtes de la Tunisie. Géomorphologie et environnement et aptitudes à l'aménagement » Série 2, Publication de la Faculté des Sciences humaines et sociales de Tunis, Géographie, Université de Tunis I.
- Oueslati, A., 2004.** Littoral et aménagement en Tunisie, *Orbis*, Tunis, 534 p.
- Paskoff, R., 1987.** Les variations du niveau de la mer. *La recherche*, 191 (18), 1010-1019.
- Paskoff, R., 2000a.** Les plages et l'élévation du niveau de la mer : risques et réponses. In (PASKOFF R., Ed) *Le changement climatique et les espaces côtiers. L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses. Actes du colloque d'Arles 12 et 13 octobre 2000. La documentation française*, p. 14 - 19.
- Paskoff, R., 2000b.** Le changement climatique, l'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers : synthèse et perspectives. In (PASKOFF R., Ed.) *Le changement climatique et les espaces côtiers. L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses. Actes du colloque d'Arles 12 et 13 octobre 2000. La documentation française* p. 88 - 91.
- Paskoff, R., 2001.** L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers. *Le mythe et la réalité. Institut Océanographique, collection «Propos»*, 190 p.
- Pestre, C. & Verger, F., 1980.** Géomorphologie de la baie du Mont-Saint-Michel par télédétection des lignes de rivage instantanées, dans *Actes 3<sup>e</sup> colloque international du GDTA, Toulouse*, p. 175-181.
- Phillips, J.D., 1992.** Nonlinear dynamical systems in geomorphology : revolution or evolution ? *Geomorphology*, 5(3) : 219–229.
- Pilkey, O.H & Hume, T.M., 2001.** The shoreline erosion problem: Lessons from the past. *NIWA Water & Atmosphere* 9(2): 22–3.

- Pirazolli, P.A., 1989.** Present and near future global sea level changes, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 75 241-258.
- Robin, M., 2002.** Télédétection ; des satellites aux SIG », publications NATHAN, 2ème édition, 246 p.
- Pomel, A., 1984.** Géologie de la côte orientale de la Tunisie et de la petite Syrte. *Bull. Ec. Sup. sciences, Alger*, 1ér fasc., 105p.
- Saidi, H 2014.** Etude sédimentologique et morphodynamique des côtes sableuses du golfe de Tunis (Tunisie nord-orientale). Thèse de doctorat. Faculté des Sciences de Tunis, 217 p.
- Singh, A., 2010.** Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing* 10(6), 989-1003.
- Teillet, P.M., Guindon, B., Goodenough D.G., 1982.** On the slope-aspect correction of multispectral data. *Canadian Journal of Remote Sensing* 8, 84-106.
- Thieller, E.R., & Danforth, W.W., 1994a.** Historical shoreline mapping (I): Improving techniques and reducing positioning errors. *Journal of Coastal Research*, vol. 10, n°3, p. 549 - 563.
- Zaara, C., 1996.** Etude de la stabilité du littoral du Golfe de Hammamet, impact de la dynamique sédimentaire sur la morphologie côtière. Mémoire de DEA, Fac. Sci. De Tunis ; pp. 5-31.
- Zhang, K., Douglas, B.C., Leatherman, S.P., 2004.** Global warming and coastal erosion. *Climate change*, n°64, p. 41 – 58.