

APPORT DE LA TELEDETECTION TRES HAUTE RESOLUTION POUR L'ETUDE DIACHRONIQUE DES PLAGES DE LA REGION CENTRE ALGERIENNE

Karima REMMACHE^{1*}, N.E.I. BACHARI² et F. HOUMA¹

¹Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL),
Campus Dely Ibrahim Bois des Cars, Alger, Algérie.

² Faculté des sciences biologiques, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB),
PO Box 32, El Alia, Bab Ezzouar, 16111 Alger, Algérie.)

* karimaremmache@gmail.com

ملخص

يعد تحليل وفهم التغيرات على الخط الساحلي إحدى القضايا التي تهم صناع القرار بالنسبة لدراسة الساحل من أجل دمج إدارة المناطق الساحلية وتنفيذ الإجراءات السريعة التي تهدف إلى استعادة التوازن الساحلي. تحقيقاً لهذه الغاية، الهدف من هذه المقالة هو المراقبة الزمانية المكانية للخط الساحلي وشواطئ المنطقة المحلية التي أنشأت عليها أعمال بحرية مختلفة على مدى 15 عاماً. لهذا استخدمنا صور الأقمار الصناعية من Google Earth بدقة مكانية 0.6 متر. تستند المنهجية التي تم تطويرها لاستغلال أفضل لصور الأقمار الصناعية في Google Earth مقارنة بطرق التنزيل إلى ثلاث طرق إما مباشرة عبر GoogleEarth، أو بواسطة برامج أخرى بما في ذلك Smart GIS و Offline Map Maker. سمحت لنا تقنيات نظم المعلومات الجغرافية المستخدمة في معالجة الصور التي تم تنزيلها بإجراء تصحيح لصور Google Earth من خلال إزالة الفجوة بين خلفياتها الواسعة بسبب التراكم بين التواريخ القديمة والحديثة. وذلك من أجل إجراء دراسة للشواطئ على مدى سلسلة زمنية وتشخيص التطورات التاريخية للخط الساحلي. تمت مقارنة التغيرات في المساحة السطحية للشواطئ لتحديد التطور بين عامي 2002 و 2017. تتحكم طاقات الموجة في انكسار وحبوب الأمواج وتركيز هذه الطاقة في مناطق معينة، لذلك استخدمنا نموذج SWAN العالي الدقة. وفقاً للنتائج التي تم الحصول عليها، لاحظنا وجود تآكل / تراكم على الشواطئ المتجاورة، كذلك لاحظنا وجود توافق بين توزيع طاقات الأمواج وتطور الخط الساحلي. تمثل كل من الخرائط المنجزة بلدية على ساحل الجزائر وتضم معلومات أساسية لمراقبة، تعزيز وتأهيل الشواطئ.

الكلمات المفتاحية: الساحل، الشواطئ، نظم المعلومات الجغرافية، قاعدة البيانات، الديناميكا المائية.

RESUME

L'analyse et la compréhension d'évolutions du rivage est l'une des questions préoccupantes pour les décideurs du littoral afin d'une gestion intégrée des zones côtières et la mise en œuvre des mesures rapides visant à restaurer l'équilibre côtier. A cet effet, l'objectif de cet article est le suivi spatiotemporel du trait de côte et des plages d'une région locale qui contient différents ouvrages maritimes sur une série temporelle de 15ans. Pour cela nous avons eu recours aux images satellites issues de Google earth avec une résolution spatiale de 0.6 m. La méthodologie développée permet une exploitation meilleure des images satellitaires Google earth par rapport aux méthodes de téléchargements et repose sur trois méthodes soit directement via Google earth, ou par d'autres logiciels dont Offline Map Maker et Smart GIS. Les techniques du SIG utilisées pour le traitement des images téléchargées nous ont permis de faire une rectification des images Google earth par l'élimination du décalage entre ses fonds spacieux causé par la superposition des dates anciennes et récentes afin de faire une étude diachronique des plages et un diagnostic sur les variations historiques du trait de côte. Les changements de superficie des plages ont été comparés pour déterminer l'évolution entre 2002 et 2017. Les énergies des vagues régissent la réfraction-diffraction des vagues et la concentration de cette énergie sur certaines zones, pour cela nous avons utilisé le modèle SWAN à haute résolution. Selon les résultats obtenus, nous avons constaté la présence d'érosion/ accréation sur des plages voisines, ainsi nous avons remarqué une concordance entre la distribution des énergies des vagues et l'évolution du trait de côte. Les cartes élaborées représentant chacune une commune de la côte algéroise constitueront des informations clés pour surveiller, valoriser et qualifier les plages.

Mots clés : Trait de côte, Plages, SIG, base de données, hydrodynamisme.

ABSTRACT

Contribution of satellite images at very high resolution for the diachronic study of the beaches in the central Algerian region: The analysis and understanding of shoreline changes is one of the issues of concern for coastal decision-makers to achieve integrated coastal zone management and the implementation of rapid measures to restore the coastal equilibrium. To this end, the objective of this article is the spatiotemporal monitoring of the coastline and beaches of a region containing various maritime structures over a 15-year time series. For this purpose, we used satellite images from Google earth with a spatial resolution of 0.6 m. The methodology developed to make better use of Google earth satellite images compared to downloading methods is based on three methods either directly via Google earth, or by other software including Offline Map Maker and Smart GIS. The GIS techniques used for the processing of the downloaded images have allowed us to make a rectification of Google earth images by the elimination of the shift between its spacious backgrounds caused by the superposition of old and recent dates. In order to make a diachronic study of the beaches and a diagnosis on

the historical variations of the coastline. The changes in beaches were compared to determine the evolution between 2002 and 2017. Wave energies govern the refraction-diffraction of waves and the concentration of this energy on certain areas, for which we used the high-resolution SWAN model. According to the results obtained, we found the presence of erosion/accretion on adjacent beaches, so we noticed a concordance between the distribution of wave energies and the evolution of the coastline. The maps elaborated, each representing a commune of the Algerian coast, will constitute key information to monitor, valorise and qualify the beaches.

Keywords: coastline, beaches, GIS, database, hydrodynamics.

INTRODUCTION

Les littoraux sont menacés par la combinaison d'une multitude de facteurs parfois naturels et le plus souvent anthropiques. Afin de mieux comprendre le changement du trait de côte le plus souvent vulnérable et son évolution dans le temps et devant le besoin de prévenir les risques côtiers vu le réel danger que présente cette érosion par ses conséquences économiques et environnementales (Ozer, Hountondji, and Longueville 2017). Nous avons choisis une zone touristique qui connaît une pression anthropique importante, un oued qui apporte une quantité considérable des sédiments et l'installation des ouvrages de protection sur la côte de cette région. La présente contribution est dans le but d'une planification territoriale et de développement durable de cette zone côtière. L'objectif primordial de cet article est l'étude diachronique de la dynamique spatio-temporelle de la ligne de rivage ainsi que l'évolution des plages de la région centre de la côte algérienne. Pour ce faire il est devenu évident le recours aux images satellites. Dans la littérature plusieurs travaux ont utilisé des images telles que photo-aérienne et images des différents satellites avec

des caractéristiques différentes (TM, ETM+, OLI, Sentinel, Landsat MSS ect). Pour cette partie nous nous sommes intéressés à répondre aux questions qui suivent :

- Peut-on transformer les images Google Earth en trait de côte afin de réaliser une étude diachronique ?
- Ainsi peu de travaux ont été réalisés pour approfondir la compréhension des réponses du littoral à l'égard des facteurs hydrodynamiques qui influent cette évolution diachronique. En essayant de répondre sur la question :
- peut-on exploiter les résultats de quantification de la célérité et la hauteur significative des vagues pour expliquer l'évolution du trait de côte ?

ZONE D'ETUDE

La zone d'étude constitue le secteur centre, spatialement elle se localise entre les longitudes 2°20'00''E à l'ouest jusqu' à 3°50'00''E à l'est. Notre zone comprend : la baie de Zemmouri, la baie d'Alger, le littoral rocheux, la baie d'el Djamila et la baie de Bou Ismail (Figure 1).

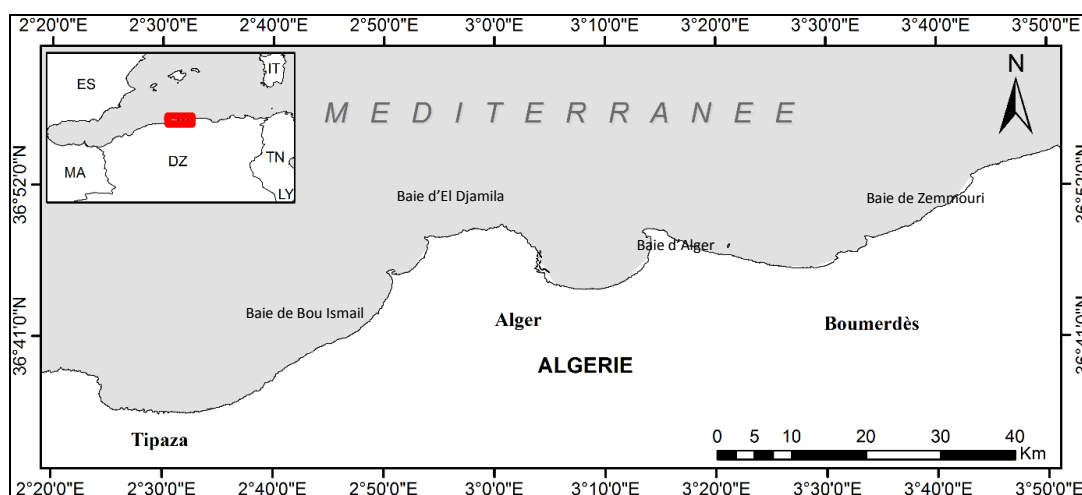


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude.

Le présent article se propose d'approfondir les connaissances sur le littoral de la commune de Zeralda pour plusieurs raisons :

- Zone socio-économique et touristique importante.
- Reçoit un nombre important de citoyens qui s'intéressent aux plages en saison estivale.

- Forte concentration d'habitations.
 - La présence de l'oued Mazafran qui apporte une quantité considérable en eau et en sédiments.
 - La mise en place des ouvrages de protection sur la période allant de 2002 jusqu'au 2017.
- Elle présente les différents phénomènes étudiés.

METHODOLOGIE

Dans ce travail nous avons essayé de réaliser une carte d'érosion côtière à partir des images Google Earth. Pour ce faire nous avons développé deux (02) volets :

Dans le premier volet, nous avons cherché à trouver la meilleure méthode de téléchargement des images de Google Earth. Pour ce fait, nous avons exploré trois méthodes. Une méthode via le logiciel Offline Map Maker 7.535 (OMM), une autre directement via Google Earth et une dernière méthode à l'aide du logiciel Smart GIS Map Editor 18.001.

Tandis que dans le deuxième volet, nous avons décrit et expliqué les différentes techniques du SIG appliquées ; d'une part, pour le traitement des images téléchargées en utilisant les outils de gestionnaire des données du logiciel ArcGIS et d'autre part, pour l'extraction du trait de côte et le calcul numérique des données par l'extension Digital Shoreline Analysis System (DSAS) intégrée sous ArcGIS.

1 Création de la base de données

La première étape de notre étude consiste à la création d'une base de données des images de haute résolution et qui répond à trois critères :

- Elle doit être géo référencée.
- De haute résolution spatiale (échelle centimétrique).
- Et d'une résolution temporelle (images de différentes dates)

Choix et téléchargement des images satellitaires

Plusieurs sources d'images satellitaires peuvent être exploitées pour extraire la ligne du rivage à savoir : les images Landsat de Google Earth Pro, qu'est un logiciel open accès en offrant un historique sur quinze (15) ans environ des images satellitaires de haute résolution. Ainsi, nous avons fixé les principes de téléchargement suivants :

- Pour chaque zone, on s'intéresse dans l'historique aux images parmi les plus récentes et d'autres parmi les plus anciennes.
- On sélectionne l'image là où l'état de la mer est calme. Pour chaque image, on prend de préférence celle prise en mois de Septembre, Août ou Octobre car c'est la période là où les plages sont en état d'équilibre (Paskoff 2010).
- Toutes les images doivent être soumises au même zoom (même résolution).

Notre objectif consiste à créer une base de données constituée d'images satellitaires de toute la zone côtière de la région centre du littoral algérien qui comprend la baie de Bou-Ismaïl, la baie d'El-Djamila, le littoral rocheux, la baie d'Alger et la baie de Zemmouri.

2. Traitement de la base de données

Dans cette partie, nous avons procédé à décrire les différentes outils et techniques du SIG utilisés pour

un meilleur traitement des données. Ce dernier est réparti en trois (03) niveaux. Dans un premier temps, un traitement au niveau des images brutes téléchargées. Puis, l'extraction du trait de côte et des surfaces des plages par digitalisation des images traitées. Ensuite, le calcul numérique des paramètres statistiques d'évolution des plages.

Traitement des images brutes

Ce traitement consiste à rassembler les images brutes en une seule image par mosaïcage, puis la rectification de l'une d'eux. Les images téléchargées sont géo référencées et bien unis entre eux. Cela nous permet une digitalisation correcte en passant d'une image à l'autre de même date. Mais, le problème se pose lors de la superposition des images des dates anciennes et récentes. Un décalage remarquable entre ses fonds spatiaux allant jusqu'à les quinze mètre (15 m). Le présent traitement sert à éliminer ce décalage.

Mosaïquage des images

Le Mosaïquage consiste à assembler l'ensemble des images raster de chaque zone littorale en une seule image. Pour se faire nous avons utilisé l'outil "Mosaic To New Raster".

Rectification des images mosaïquées

Cette rectification a été effectuée afin d'éliminer le décalage spatial entre l'ancienne et la récente image. L'une des images doit être choisie comme référence à l'autre (il est préférable qu'elle soit la plus récente). Dans notre cas, nous avons choisi l'image de l'année 2017 pour recaler les images anciennes. Du fait que notre application s'intéresse à l'étude du trait de côte le choix des points de calage est extrêmement important, dont, on doit sélectionner des vecteurs projetés sur le niveau 0 m.

Digitalisation du trait de côte

Le tracé du trait de côte que nous avons suivi varie d'un secteur à l'autre. C'est la limite de la laisse mer instantanée pour les zones calmes et son milieu pour les secteurs agités. Les données numérisées sont stockées dans une géodatabase.

Mode de traitement et mesure de la cinématique du trait de côte

Après l'acquisition des levés du trait de côte, nous avons procédé à une analyse diachronique pour évaluer la dynamique des plages et son évolution entre 2002 et 2017. Cette analyse consiste à déterminer les distances d'évolution (Avancement/Recul) du trait de côte, et du linéaire affecté par plage puis par commune littorale. Pour ce faire, nous avons eu recours à l'extension (DSAS) intégrée dans l'environnement ArcGIS 10.2. Cet outil permet de réaliser un calcul statistique des distances et des taux d'évolution à partir des différents traits de côte. (Thieler et al. 2009). Les évolutions ont été mesurées automatiquement grâce à ce programme (Thieler et al. 1994) suivant des transects perpendiculaires aux lignes à comparer. Ces transects

terre/mer, espacés de 20 m pour la présente étude sont générés à partir d'une ligne de base.

Les paramètres que nous avons calculés sont le NSM (Net Shoreline Movement), Il reporte la distance (en mètres) entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent au niveau de chaque transect.(Thieler. et al. 2009). Ensuite le DSAS restitue les résultats sous forme de tables attributaires. L'estimation de la cinématique du trait de côte et la cartographie des taux d'évolution sont basées sur l'analyse de ces tables attributaires.(Faye, Hénaff, and Gourmelon 2008). La valeur négative de NSM indique le déplacement du littoral vers la terre, tandis que la valeur positive indique migration vers la mer (Kermani et al. 2016).

Visualisation des résultats

La cartographie nous permet une visualisation simple et efficace de nos résultats, dont nous avons procédé à une cartographie d'érosion côtière. Ensuite, nous avons défini des classes qui représentent l'état d'érosion, d'accrétion et de stabilité du trait de côte.

3. Hydrodynamisme

L'activité hydrodynamique marine est un phénomène très complexe qui nécessite la connaissance de plusieurs paramètres physiques. La hauteur des vagues dépend généralement de la vitesse du vent et de sa persistance.

Les données de sortie obtenues par le modèle SWAN ont été cartographiées avec ArcGIS10.3 afin de

réaliser une analyse spatiale, ce qui a permis de comprendre la propagation des ondes le long de la côte. Une analyse spatiale entre les différents paramètres de vagues effectués par les cartes a permis d'effectuer une première sélection des zones les plus dynamiques. L'énergie des vagues du large est plus importante que celle des vagues côtière (Shin et al. 2013), mais les zones côtières n'ont pas le même potentiel énergétique(Amarouche et al. 2019), (Amarouche et al. 2020) la distribution de cette énergie hydrodynamique dépend de plusieurs facteurs, dont la morphologie côtière (Amarouche et al. 2017).

RESULTATS ET INTERPRETATION

Les résultats d'analyse des changements de la position du rivage de notre zone d'intérêt ont été effectués le long de 5326 transects sous l'environnement ArcGIS et l'extension DSAS 4.3 intégrée dans ce logiciel sur une série temporelle entre 2002 et 2017, ces transects espacés de 20 mètres et répartis sur 126 pages ont abouti à la réalisation des cartes d'érosion côtière de la côte centre algérienne (Figure 2).

Les distances linéaires d'évolution du trait de côte pour chaque plage ont montré sur une distance totale de 126 km, soit une récession, soit une accrétion, les parties stables sont des parties où il n'y pas eu d'évolution du trait de côte.

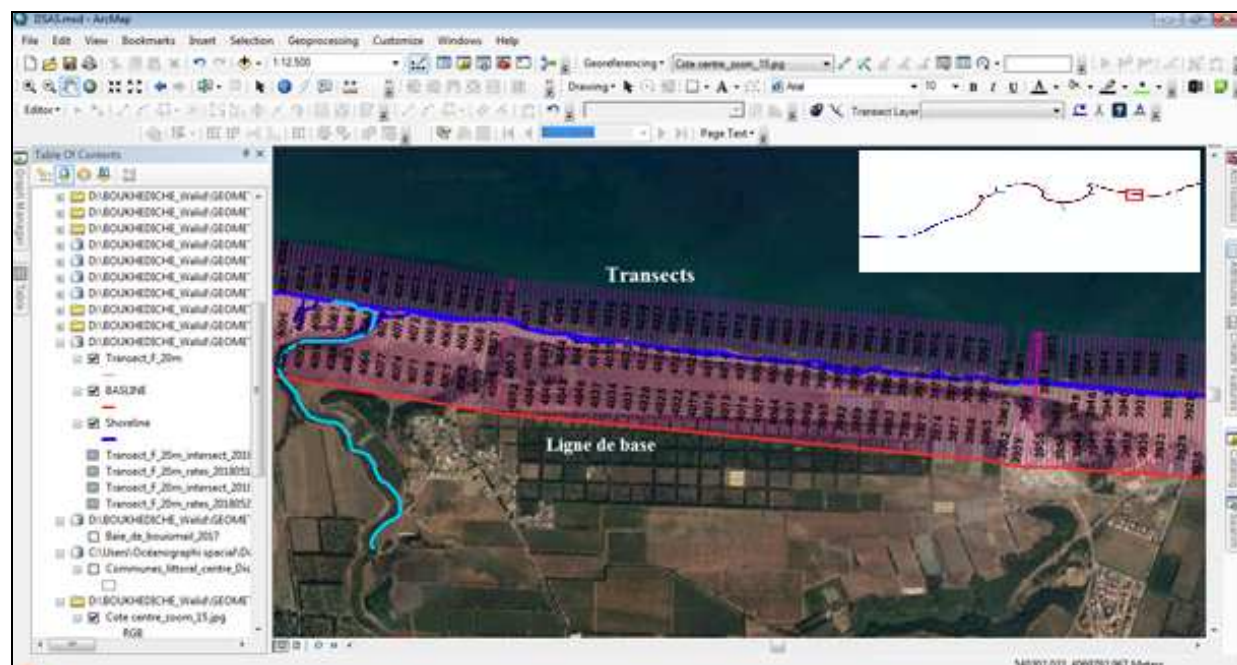


Figure 2 : Répartition des transects générée par le DSAS.

Nous avons développé les résultats concernant le littoral de la commune de Zeralda (Tableau I), située à l'Ouest de la zone étudiée en termes de recul et d'avancée du trait de côte, leur réponse aux

changements des conditions hydrodynamiques et d'estimer les impacts des aménagements et les apports de l'oued Mazafran sur l'évolution des plages.

Tableau I : Distances linéaire de l'évolution du trait de côte de la commune Zeralda (2002-2017)

plage	Erosion (m)	Accrétion (m)	Stable (m)	Totale (m)
Khaloufi 1	560	0	0	560
Khaloufi 02	740	0	0	740
Familiale	800	120	680	1600
Champ de Tir	600	0	240	840
Complexe touristique	0	520	180	700
CRF	0	200	120	320
Commune de Tipaza	2700	840	1220	4760

Les résultats statistiques obtenus au cours de cette période (15 ans) sur l'ensemble de la commune de Zeralda montrent que le littoral oscille entre un

maximum d'érosion de - 44.16 m / an sur la plage Khaloufi 2 et un maximum d'accrétion de 40.2 m/an sur la plage Complexe touristique. (Tableau II)

Tableau II : Moyennes d'évolution du trait de côte tout au long du linéaire côtier de la commune de Zeralda (2002-2017).

Plage	Transects limite	Nombre transect	NSMmin (m)	NSMmoy (m)	NSMmax (m)	Erosion NSMmoy	Accretion NSMmoy	Stable NSMmoy
Khaloufi 1	4093-4120	28	-35.63	-21.42	-11.59	-21.42	0	0
Khaloufi 2	4056-4092	37	-44.16	-22.84	-5	-22.84	0	0
Familiale	3976-4055	80	-22.47	-6.39	21.87	-13.85	12.52	-0.95
Champ de Tir	3934-3975	42	-14.71	-6.81	2.42	-9.18	0	-0.89
Complexe touristique	3897-3933	35	-3.7	13	40.2	0	17.39	0.31
CRF	3881-3896	16	-1.19	7.63	16.77	0	10.81	2.33

La plus part des rivages en érosion sont situés à l'Ouest, tandis que les rivages en accrétion sont observés sur les plages de la partie Est, près du ouvrages de protection.

Bilan d'évolution des surfaces

Le bilan surfacique de l'évolution des plages est représenté dans le tableau III et montre des surfaces

perdues représentées par des valeurs négatives, et des surfaces gagnées représentées par des valeurs positives ainsi que des surfaces stables ou il n'y pas eu de changements enregistrés sur la période entre 2002 et 2017. Les valeurs négatives des parties stables sont dues aux calculs des surfaces en prenant en considération les incertitudes (Tableau III).

Tableau III : Bilan surfacique d'érosion/accrétion des plages de la commune de Zeralda (2002-2017).

Plage	Surface perdu (m ²)	Surface gagnée (m ²)	Surface stable (m ²)	Bilan (m ²)
Khaloufi 1	-11996	0	0	-11996
Khaloufi 02	-16904	0	0	-16904
Familiale	-11083	1502	-652	-10233
Champ de Tir	-5511	0	-213	-5724
Complexe touristique	0	9046	55	9101
CRF	0	2163	280	2443
Commune de Zeralda	-45494	12711	-530	-33313

Selon nos résultats, nous observons que le secteur Ouest de la commune de Zeralda est dominée par une érosion progressive entre 2002 et 2017.

La partie Est est marquée par une alternance des surfaces stables, des surfaces gagnées et des surfaces

perdues, cette tendance est due probablement à un hydrodynamisme faible, avec une hauteur significative des vagues et une célérité moins importante par rapport au secteur Ouest. Les surfaces actuelles des plages de la commune de Zeralda (2017) sont représentées dans la (figures 3).

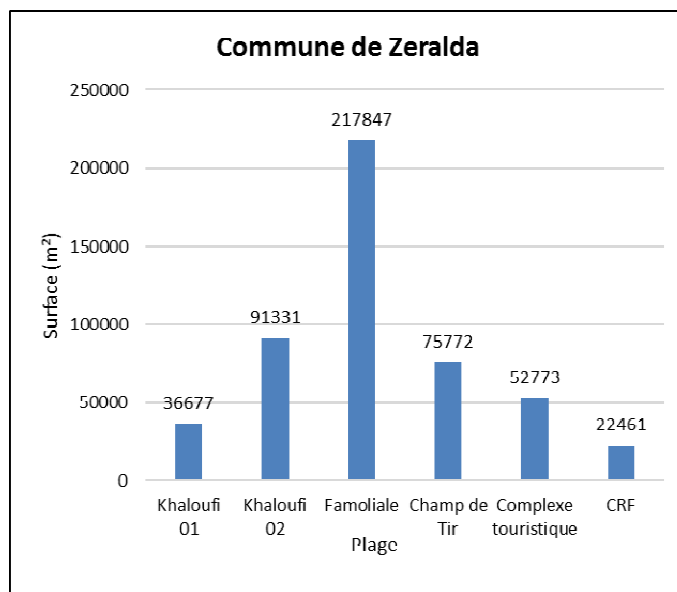


Figure 3. Surfaces actuelles des plages de la commune de Zeralda (2017).

Analyse d'évolution du trait de côte

Notre zone d'étude comporte plusieurs plages différentes par rapport à l'évolution du trait de côte.

Cette région se situe à l'Est de l'Oued Mazafran qui a une influence sur son évolution (Figure 4)

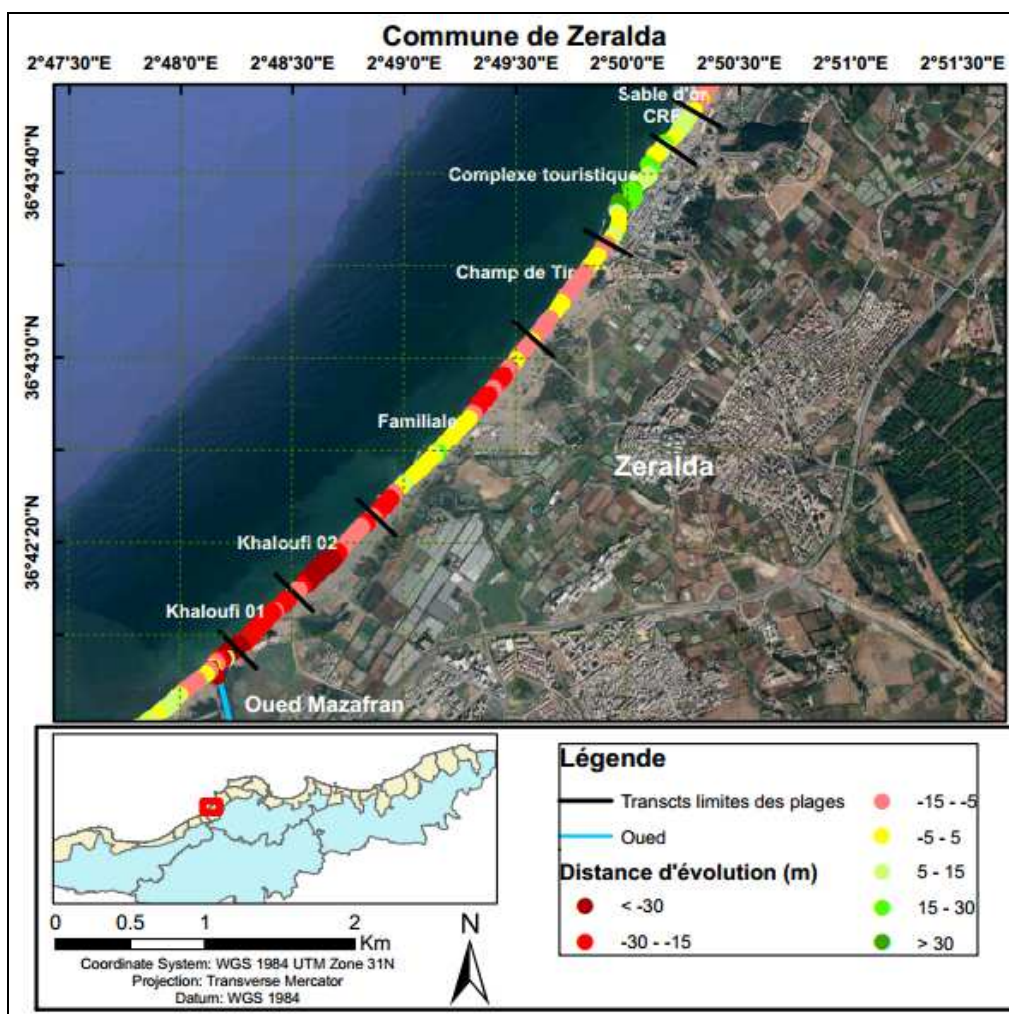


Figure 4. Evolution du trait de côte pour la commune de Zeralda (2002-2017).

La dynamique sédimentaire dans cette région est en fonction de trois facteurs essentiels :

- La dynamique (hydrologique et géomorphologique) de l'oued Mazafran;
- L'orientation côtière contribue à l'érosion en augmentant l'exposition aux ondes énergétiques par différentes directions.

- L'hydrodynamisme qui est représenté par deux paramètres la célérité et la hauteur significative des vagues. Les cartes élaborées avec une résolution de 3 km (figures 5, 6, 7 et 8).

Ainsi les conséquences de la mise en place des brise-lames et des épis au niveau des plages situées à l'Est de cette région se manifestent par l'apparition des zones d'accrétion artificielle.

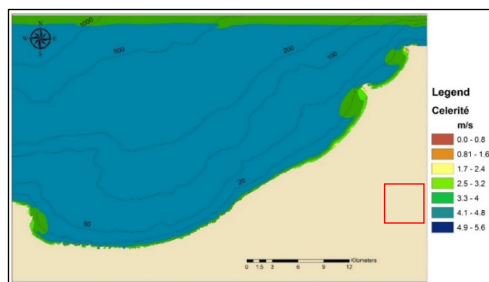


Fig. 5: carte célérité des vagues Février 2015.

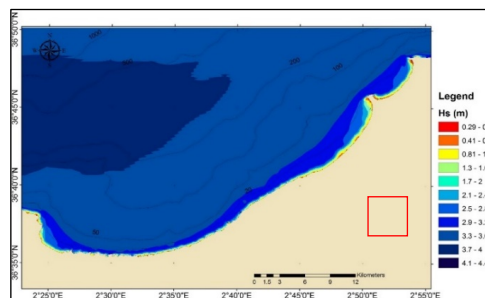


Fig. 6: hauteur significative des vagues. Février 2015.

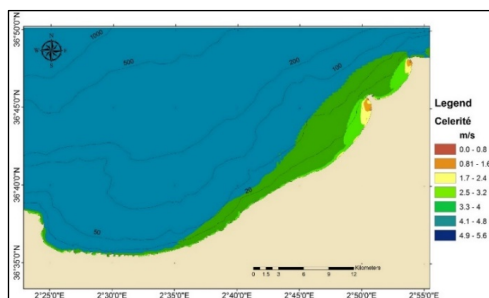


Fig. 7: Carte célérité des vagues. Septembre 2015.

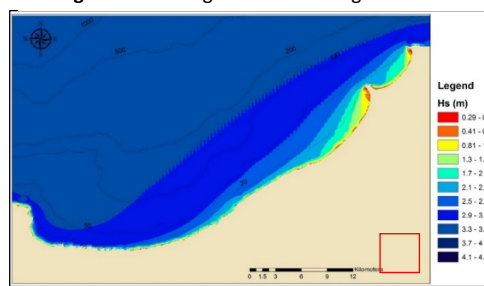


Fig. 8: hauteur significative des vagues Septembre 2015

DISCUSSION

La cartographie de l'érosion côtière à partir de l'analyse minutieuse des images Google Earth sous ArcGIS et l'extension DSAS 4.3 nous a permis de sélectionner les plages les plus dynamiques pour la zone étudiée. L'utilisation des SIG pour l'analyse des résultats du modèle hydrodynamique (SWAN) a permis de sélectionner les zones côtières les plus exposées à l'énergie marine. Ces zones peuvent être exposées à un risque élevé d'érosion. L'évolution des positions littorales sur une série temporelle entre 2002 et 2017 indiquent que toute la zone côtière étudiée est très dynamique. Mise à part quelques parties stables nous avons enregistré soit une récession, soit une accrétion. Les plages de cette région présentent différentes amplitudes de ces phénomènes d'une façon que nous avons une alternance des trois phénomènes parfois sur la même plage. Cela est due à l'exposition à la houle par différentes directions ainsi que la morphologie côtière et la rugosité du fond de chaque partie du trait de côte ou encore la profondeur de la mer près des côtes. Les changements du littoral le long de la côte étudiée sont contrôlés par les processus naturels et anthropiques.

En effet la baie de Bou Ismail, par sa configuration et son orientation ouverte vers le NW, et est principalement atteinte par des hauteurs significatives importantes. Les plages de la zone d'étude se situent à l'Est de l'oued Mazafran qui contribue de manière significative au bilan sableux des plages de cette région. Les apports considérables en sédiments de cet oued sont orientés et déposés près des plages situées vers l'Est. Dans les conditions de vagues du Nord-Ouest et le courant de dérive littorale, il est observé, sur une période de 15 ans des changements morphologiques du littoral sur une grande surface. D'autre part, l'embouchure de cet oued est très dynamique c'est pourquoi les plages présentent une érosion. Ces résultats confirment davantage qu'il existe une relation significative entre la dynamique des plages et les facteurs hydrodynamiques.

Outre les facteurs naturels, les activités anthropiques peuvent également influencer le changement du trait de côte. Autour de certaines côtes, des projets d'alimentation des plages et des structures de protection du littoral sont construits pour prévenir l'érosion du littoral (Morton, Miller, and Moore 2004). C'est le cas des plages situées près des ouvrages maritimes car les répercussions des

installations portuaires, épis et brise lames sur le transport sédimentaire et la modification de l'hydrodynamisme côtier se manifestent par l'apparition des zones d'accrétion artificielle sur le moyen et le long terme.

Selon les résultats obtenus, cette étude propose aux acteurs locaux, aux gestionnaires et décideurs côtiers un outil de décision fiable qui peut les aider à évaluer les changements côtiers pour les projets GIZC.

CONCLUSION

La méthodologie développée pour l'étude des changements du littoral le long de la côte étudiée entre 2002 et 2017 présentent un intérêt majeur pour la quantification numérique de l'érosion. Nous nous sommes intéressés également à caractériser chaque plage par sa capacité d'accueil représentée par la surface de la plage.

Au terme de ce travail, nous avons mis en place une base de données des images satellites de très haute résolution spatiale (0.6 m). Ensuite, nous nous sommes intéressés à digitaliser les images pour créer une base de données des traits de côte et de la géométrie de toutes les plages (126 plages) de notre zone d'intérêt. La superposition des traits de côte des dates différentes nous a permis de contribuer à la réalisation d'une carte d'érosion côtière qui comporte vingt et une (21) cartes d'érosion pour vingt et une (21) communes du littoral de notre zone d'intérêt.

Nous avons pu définir le problème d'exploitation des images Google Earth Pro dans notre application, et mettre une méthodologie pour les rectifiées en utilisant les outils du SIG. Cela nous a permis une transformation minutieuse du trait de côte en forme vecteur et la superposition des traits de côte des dates différentes. Ensuite l'outil DSAS nous a permis de faire un diagnostic sur la dynamique des plages. Cette étude a montré que ce littoral a connu une accrétion après 2002 due à la mise en place des ouvrages de protection. De plus l'activité hydrodynamique le long de cette côte a généré des impacts sur la dynamique côtière. En effet la vérification de la cartographie de l'érosion côtière par l'étude de la célérité et la hauteur significative des vagues nous a permis une interprétation de la dynamique du trait de côte et de l'évolution des plages par l'identification des zones à fort potentiel énergétique.

La méthodologie mise en œuvre dans cette étude répond à un réel besoin de faciliter le téléchargement des images Google Earth pour une meilleure cartographie du trait de côte. Elle constitue également un outil d'aide pour la réalisation des cartes permettant à la fois d'estimer la vulnérabilité des côtes, et de fournir les informations requises pour la définition des éventuelles stratégies d'aménagement et le dimensionnement des projets, afin de préserver ces géo systèmes.

BIBLIOGRAPHIE

- Amarouche, K., N. I. Bachari, F. Houma, and A. Boughrira. 2017. "Development of a Numerical Code to Simulate the Hydrodynamic Energy Potential, Applied at Bou Ismail Bay." *Revue Des Energies Renouvelables* Vol. 20(N°3):377–88.
- Amarouche, Khalid, Adem Akpınar, Nour El Islam Bachari, Recep Emre Çakmak, and Fouzia Houma. 2019. "Evaluation of a High-Resolution Wave Hindcast Model SWAN for the West Mediterranean Basin." *Applied Ocean Research* 84(December 2018):225–41.
- Amarouche, Khalid, Adem Akpınar, Nour El, Islam Bachari, and Houma Fouzia. 2020. "Wave Energy Resource Assessment along the Algerian Coast Based on 39-Year Wave Hindcast." *Renewable Energy*.
- Faye, Ibrahima B. Nd, Alain Hénaff, and Françoise Gourmelon. 2008. "Évolution Du Trait de Côte à Nouakchott (Mauritanie) de 1954 à 2005 Par Photo-Interprétation." *Noroi* 208:10–28.
- Kermani, Saci, Makhlof Boutiba, Mostefa Guendouz, Mohamed Said Guettouche, and Dalila Khelfani. 2016. "Detection and Analysis of Shoreline Changes Using Geospatial Tools and Automatic Computation: Case of Jijelian Sandy Coast (East Algeria)." *Ocean and Coastal Management* 132:46–58.
- Morton, R. A., T. L. Miller, and L. J. Moore. 2004. "National Assessment of Shoreline Change: Part 1: Historical Shoreline Changes and Associated Coastal Land Loss along the US Gulf of Mexico." *U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1043* 45.
- Ozer, Pierre, Yvon-carmen Hountondji, and Florence Longueville. 2017. "Evolution Récente Du Trait de Côte Dans Le Golfe Du Bénin . Exemples Du Tog et Du Bénin ." 529–41.
- Paskoff, Roland. 2010. *Les Littoraux Impact Des Aménagements Sur Leur Évolution*. 3e Edition. Colin, Armand.
- Shin, Sungwon, Kwang-ho Lee, Do-sam Kim, Kyu-han Kim, and Keyyong Hong. 2013. "A Study on the Optimal Shape of Wave Energy Conversion System Using an Oscillating Water Column." (65):1663–68.
- Thieler., Robert, Himmelstoss, Emily A., Zichichi, Jessica L., and Ayhan. Ergul. 2009. "The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0—an ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change." *Open-File Report*.
- Thieler, E. Robert, Danforth, and William W. 1994. "Historical Shoreline Mapping (I): Improving Techniques and Reducing Positioning Errors." *Journal of Coastal Research* 10(3):549–63.