

Etude de l'évolution du trait de côte au niveau du port de Nouakchott (Mauritanie) à partir d'une chronique d'images SAR d'ENVISAT

Study of the evolution of the coastline at the port of Nouakchott (Mauritania) from chronic ENVISAT SAR images

Kamel HACHEMI⁽¹⁾, Yves-François THOMAS⁽¹⁾, Ahmed Ould-El-Moustapha SENHOURY⁽²⁾,
Maria ACHEK-YOUCHEF⁽³⁾, André OZER⁽⁴⁾ & Hacem Anis NOUACER⁽⁵⁾

Abstract: The coastal front of the city of Nouakchott, characterized by a straight, flat, sandy shore is exposed to northwest swells. It is marked by a strong north-south sediment transport. Construction in 1986, the "Port de l'Amitié" with a depth of -10 m induced: (i) significant coastline growth north of the port; (ii) significant erosion south of the port. This rapid coastline evolution produced weakening of coastal dunes in several sectors and led on several occasions, namely, December 1997, to seawater incursion. Given that much of the city is located below sea level, our job is to quantify and confirm the evolution of the coastline via a diachronic study employing ENVISAT satellite SAR radar imaging. For this, we produced 9 amplitude images at different dates (2004, 2005, 2008, 2009, 2010) calibrated and georeferenced (UTM, WGS84) to 20 meter resolution. We mapped the city and the coastline at these dates and followed its spread and evolution over a period of more than 6 years (January 2004-October 2010). We observed and measured an average accumulation of approximately 100 m north of the harbour and an average erosion of about 140 m south corresponding to a period of almost 7 years (January 2004-October 2010). This represents sand accumulation and encroachment of over 14 m/year and an erosion speed of over 20 m/year. These results were compared with those of an earlier study by one of the authors (SENHOURY, 2000) for 1980-1998. We found that between 2004 and 2010 the speed of sand encroachment on the north coast decreased by a factor of 3. On the contrary, the speed of costal retreat to the south seems to have remained constant.

Keywords : Mauritania, Nouakchott, Coastline, Cordon dune, Sediment Budget, Remote Sensing, SAR, ENVISAT.

Résumé : La façade littorale de la ville de Nouakchott, caractérisée par un rivage sableux, rectiligne et plat est fortement exposée aux houles de provenance du secteur Nord-Ouest. Elle est marquée par un très fort transit sédimentaire Nord-Sud. La construction, en 1986, du port de l'Amitié par profondeur de (-10 m) a induit : (i) un fort engraissement de la côte au nord du port ; (ii) une érosion importante au sud de ce dernier. Cette évolution rapide du trait de côte s'est traduite par une fragilisation du cordon dunaire littoral en différents secteurs et a permis des intrusions marines à plusieurs reprises (décembre 1997, par exemple). Sachant qu'une grande partie de la ville est située à un niveau inférieur au niveau de la mer. Notre travail consiste à quantifier et confirmer cette évolution du trait de côte à l'aide d'une étude diachronique à partir des images radar SAR du satellite ENVISAT. Pour cela, nous avons produit 9 images d'amplitude pour différentes dates (2004, 2005, 2008, 2009, 2010) calibrées et géoréférencées (UTM, WGS84) à 20 mètres de résolution. Nous avons observé et mesuré une accumulation moyenne d'environ 100 m au nord du port et une érosion moyenne d'environ 140 m au sud pour une période de presque de 7 ans (janvier 2004 à octobre 2010). C'est-à-dire une vitesse moyenne d'accumulation et d'avancée du sable estimée à plus 14 m/an et une vitesse moyenne d'érosion estimée à plus de 20 m/an. Ces résultats ont été comparés à ceux plus anciens obtenus par l'un des auteurs (SENHOURY, 2000) pour la période 1980 à 1998. Nous avons constaté que la vitesse d'avancée sableuse du trait de la côte au nord a diminué par un facteur 3 entre 2004 et 2010. Par contre, la vitesse de recul de la côte au sud semble rester constante.

Mots clés : Mauritanie, Nouakchott, Littoral, Cordon dunaire, Bilan sédimentaire, Télédétection, SAR, ENVISAT.

⁽¹⁾ Laboratoire de Géographie Physique (LGP), UMR 8591 CNRS, Bellevue, 1 Place Aristide Briand, 92195 Meudon, cedex, France. Université Paris-Est. Université Paris 1 -Panthéon-Sorbonne. Tel: +33145075556; Fax: +33145075830; E-mail: hachemi_kamel@yahoo.fr; kamel.hachemi@u-pec.fr; yves-francois.thomas@cnrsbellevue.fr

⁽²⁾ Faculté des Sciences et Techniques (FST), Université de Nouakchott, B.P : 5026, Nouakchott, Mauritanie. Tel: +2225251382; Fax: +2225253997; E-mail: senhoury@univ-nkc.mr

⁽³⁾ Laboratoire Architecture Ville Urbanisme Environnement (LAVUE) UMR7218 CNRS, Ecole Nationale Supérieure d'architecture Paris-Val de Seine, 3-15 Quai Panhard et Levasor, 75013 Paris. Tel : +33(0)172696370 ; Fax: +33(0)172696382; E-mail: maria.achek-youcef@paris-valdeseine.archi.fr

⁽⁴⁾ Géomorphologie et Télédétection, Département de Géographie, Université de Liège, Allée du 6 Août, 2/B11. B4000 Liège. Tél: +3243665446; Fax: +323665722; Email : aozer@ulg.ac.be

⁽⁵⁾ Faculté d'Electronique et d'Informatique, Département d'Informatique, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB), BP 32 EL ALIA 16111 BAB EZZOUAR ALGER. Tél./Fax : +213 21 24 76 07. Email : nouacer.h.a@gmail.com

INTRODUCTION

La ville de Nouakchott, située entre l'océan Atlantique à l'ouest et le désert à l'est, est entourée par plusieurs cordons dunaires successifs très mobiles d'une vingtaine de mètres d'altitude allongés dans le sens du vent du nord-est. Elle est construite sur une dépression (*sebkha* ou *chott*), d'où plusieurs quartiers situés en dessous du niveau de la mer (niveau zéro). En saison sèche, le niveau de la nappe phréatique (sub-affleurante et salée) varie en fonction de l'amplitude de la marée. À l'ouest, la ville est protégée des intrusions marines causées par d'éventuelles surcotes de tempêtes par un cordon dunaire littoral large en moyenne de 150 m, d'altitude inférieure à 6 m et faiblement végétalisé. La construction, en 1986, du "Port de l'Amitié" par une profondeur de -10 m a induit : (i) un fort engraissement de la côte au nord du port ; (ii) une érosion importante au sud de ce dernier. Cette évolution rapide du trait de côte s'est traduite par une fragilisation du cordon dunaire littoral en différents secteurs et a permis des intrusions marines à plusieurs reprises (décembre 1997, septembre 2009, 2010, août-septembre 2013). Le littoral de Nouakchott a fait l'objet de nombreuses publications ces dernières années : FAYE (2010), OULD EL GHASSEM (1987), OULD EL MOUSTAPHA SENHOURY *et al.* (2005, 2006, 2007), OULD SIDI CHEICK *et al.*, (2007), OZER *et al.* (2013), NIANG (2014), OZER (2014). Notre travail consiste à suivre et à quantifier l'évolution du trait de côte par une analyse diachronique à partir d'une série d'images radar SAR du satellite ENVISAT. L'évolution de ce littoral est affectée par l'élévation du niveau marin, par une urbanisation rapide et informelle, l'exploitation illégale du sable, l'intensification de la circulation de véhicules sur la plage et dans les dunes, les infrastructures routières et industrielles.

Les environnements urbains caractérisés par des coins réflecteurs fournissent un contexte particulièrement propice aux études historiques de suivi des évolutions de la radiométrie et de la géométrie des villes et leur périphérie grâce aux chroniques des données radar SAR (*Synthetic Aperture Radar*) : ERS-1/2, JERS, ENVISAT, RADARSAT-1/2. Les capteurs actifs de type SAR mesurent les deux composantes du signal rétrodiffusé (amplitude et phase). L'amplitude de signal est fonction des caractéristiques physiques et diélectriques de l'élément d'image. La phase dépend des caractéristiques géométriques et contient l'information de distance entre le radar et la cible, elle permet donc de mesurer les déplacements verticaux du sol de l'ordre de 1/2 longueur d'onde. Les images radar ont l'avantage de pouvoir être prises par tous temps, de jour comme de nuit, à la différence des plateformes qui opèrent dans le domaine du visible. Les images d'amplitude sont utilisables dans plusieurs domaines : la cartographie des dommages urbains dus aux catastrophes naturelles ou industrielles ; la classification des cultures (BRUNIQUEL & LOPES, 1994 ; LOPES & SERY, 1997) ; le suivi de la déforestation ; la détection et l'analyse des changements du paysage dans la région subcarpatique de Buzau, Roumanie (HACHEMI *et al.*, 2009 ; 2010) ; l'analyse de la mobilité de champs de dunes (BODART *et al.*, 2005 et 2010, HACHEMI & THOMAS, 2013) ; la mobilité du trait de côte (BA *et al.*, 2007).

LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est située dans le nord-ouest de la Mauritanie (Figure 1), entre l'océan Atlantique à l'ouest et le désert à l'est. Elle est délimitée par les coordonnées géographiques suivantes : 15,83° à 16,05° W et 17,17° à 17,93° N.

Ville de Nouakchott

La ville de Nouakchott (Figure 2), capitale de la Mauritanie depuis 1957, est située entre l'océan Atlantique à l'ouest et le désert à l'est. Elle est entourée par plusieurs cordons dunaires successifs allongés nord-est / sud-ouest avec des altitudes peuvent atteindre une vingtaine de mètres. Ces cordons dunaires sont très mobiles. Cette capitale s'est construite, en arrière d'un cordon dunaire littoral, sur une dépression de type *sebkha* ou *chott*. Elle est caractérisée par des altitudes proches du zéro marin, voire localement inférieures au niveau de la mer. Le sol se compose en surface soit de sables fins, soit de strates de faluns coquillers fossilisés. Le couvert végétal a subi une forte dégradation qui a été aggravée ces dernières années tant par la sécheresse que par l'exploitation intensive des ressources par

les populations (DEAR et PNUE, 1998). Les vents les plus fréquents dans cette région proviennent des secteurs nord 33 %, nord-ouest 22 % et nord-est 14 % (PIGEON, 2001).

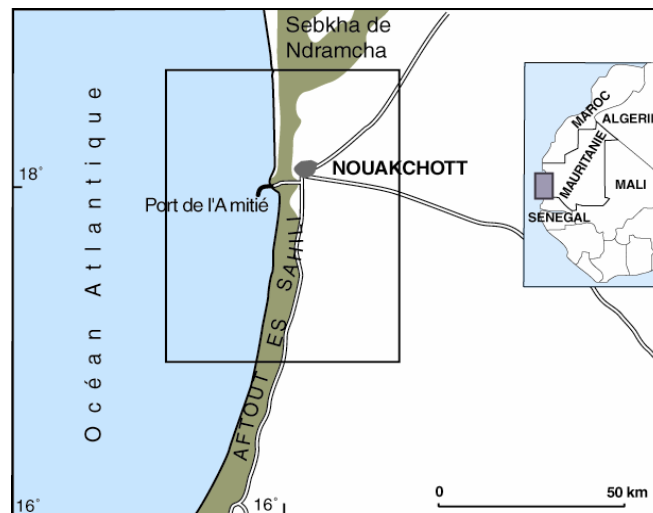


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (Encadré noir)

La ville connaît une urbanisation galopante, sa démographie est représentée dans le tableau ci-dessous (Tableau 1). Elle est passée de 2000 habitants en 1955 à près d'un million en 2010.

Tableau 1 : Evolution de la population de la ville de Nouakchott. Source : "*Mauritanies I*" n° 21.

Année	Population
1955	2 000
1977	134 700
1990	420 000
2000	610 000
2008	850 000
2010	~ 1 million
2012	> 1 million

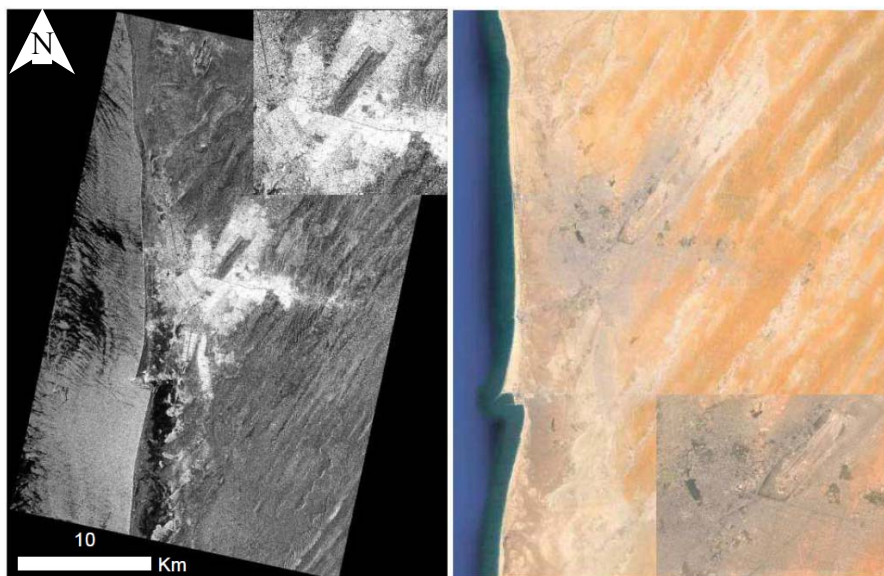


Figure 2 : Ville de Nouakchott : Image amplitude Envisat, 02/10/2010 (à gauche) et image Digital Globe (2014) en pseudo couleurs (à droite).

Sebkha

La partie occidentale de la ville de Nouakchott est bâtie sur la dépression *d'Aftout Es Saheli*. Cette sebkha est une vaste dépression de quelques kilomètres de large (Figure 3) caractérisée par des altitudes comprises entre +1 et -1 m et des terrains de sables argileux imperméables et saturés en eau salée (incapacité d'absorption et d'écoulement). Elle est limitée à l'ouest par le cordon dunaire littoral et à l'est par de nombreux cordons de dunes rouges de l'erg du Trarza orientés nord-est sud-ouest et caractérisés par des altitudes allant de 5 à 20 mètres et des largeurs de 1 à 2 kilomètres (CARUBA & OULD SIDATY, 1996). La nappe phréatique salée alimentée par l'océan sous le cordon littoral est généralement sub-affleurante avec des profondeurs de l'ordre de 2 à 4 m (DATAR, 2000). Son niveau varie en fonction de l'amplitude de la marée et de la vigueur des précipitations.

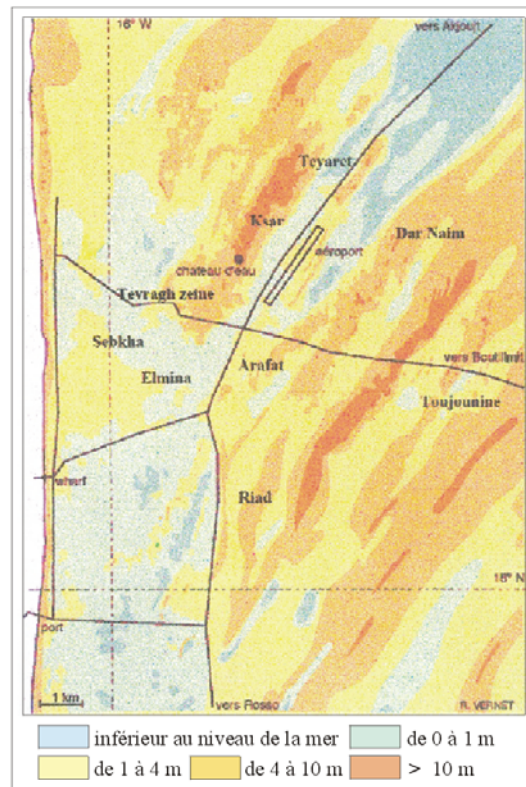


Figure 3 : Topographie de la ville de Nouakchott (VERNET, 1998, d'après la carte IGN 1980)

Cordon dunaire (littoral)

La façade littorale de la ville de Nouakchott qui est caractérisée par un rivage sableux, rectiligne et plat, est fortement exposée aux houles de provenance du secteur nord-ouest. Elle est marquée par un très fort transit sédimentaire nord-sud. Le cordon dunaire est caractérisé par une largeur relativement faible de l'ordre de 150 m en moyenne et des altitudes ne dépassant pas les 6 m. Il ne porte qu'une végétation de faible densité. Il constitue une digue protégeant la ville des intrusions de l'eau de l'océan causées par les surcotes de tempêtes.

Le cordon littoral de Nouakchott a subi depuis plusieurs années de nombreuses dégradations d'origine soit naturelles soit anthropiques. La construction, en 1986, du "Port de l'Amitié" par une profondeur de -10 m a induit un fort engraissement de la côte au nord du port et une érosion importante au sud de ce dernier. Cette évolution rapide du trait de côte s'est traduite par une fragilisation du cordon dunaire littoral en différents secteurs et a permis des intrusions marines à plusieurs reprises (décembre 1997, par exemple).

ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNEES

Les images SAR employées ont été fournies par l'ESA (*European Space Agency*) dans le cadre d'un projet sur l'étude de la mobilité du paysage dunaire en Mauritanie et au Sahara occidental.

Données radar SAR utilisées

Les données SLC (Single Look Complex) utilisées, ont été traitées par compression d'impulsion en direction radiale et par synthèse d'ouverture en direction azimutale. Dans ce type de produit, chaque pixel est représenté par un nombre complexe (partie réelle et partie imaginaire) d'où l'amplitude et la phase du signal sont extraites. Pour cette étude, nous avons utilisé 9 images SLC produites à partir de données du satellite ENVISAT. Ces images ont respectivement 26925 lignes et 5105 colonnes. Elles couvrent une surface de (100 km x 100 km) avec une résolution de 4 m (en azimut) et 20 m (en distance) et une polarisation verticale/verticale (V/V). Le tableau 2 synthétise les caractéristiques orbitales de ces images.

Tableau 2 : Données utilisées (ENVISAT)

N°	Date	Heure	Satellite	Orbite	Track	Centre (Lat°/Lon°)
1	17/01/2004	11:03:30.06	ENVISAT	9839	266	18.06/-15.95
2	05/06/2004	11:03:35.00	ENVISAT	11843	266	18.05/-15.86
3	10/07/2004	11:03:35.02	ENVISAT	12344	266	18.05/-15.85
4	12/03//2005	11:03:28.92	ENVISAT	15851	266	18.05/-15.85
5	06/12//2008	11:03:20.96	ENVISAT	35390	266	18.05/-15.85
6	14/02/2009	11:03:17.56	ENVISAT	36392	266	18.21/-15.81
7	21/03/2009	11:03:18.79	ENVISAT	36893	266	18.06/-15.86
8	28/08//2010	11:03:14.56	ENVISAT	44408	266	18.05/-15.85
9	02/10/2010	11:03:10.71	ENVISAT	44909	266	18.05/-15.85

Traitements effectués

A l'aide des images radar SLC obtenues, nous avons pu extraire 9 images d'amplitude (Figure 4). Nous avons calibré et géo-référencé ces images, étapes indispensables à une analyse diachronique. Le calibrage radiométrique consiste à mettre l'image produite (intensité) à sa représentation réelle (terrain). Cette étape a été assurée en englobant la correction de la perte de gain en distance radiale ; la correction de gain d'antenne et la correction des constantes de calibration recommandées par l'ESA (LAUR *et al.*, 2004 ; ROSICH & MEADOWS, 2004). Le géo-référencement permet d'avoir les images produites dans un même référentiel géographique : système géodésique WGS 84, projection cartographique UTM zone 28-N. Sur les images ainsi traitées, les constructions urbaines sont parfaitement identifiables et localisables. Elles apparaissent comme des taches de forte rugosité et rétrodiffusion (zones claires) sur un plancher de plus faible rétrodiffusion et rugosité (zones sombres). La côte est bien délimitée et bien distinguée de l'océan. Elle apparaît plus sombre (faible rugosité) par rapport à la mer de forte rugosité à cause du mouvement de la houle suite aux vents.

METHODOLOGIE ET RESULTATS

L'analyse multi-temporelle conduite par emploi d'images d'amplitude a montré la possibilité de cartographier la position du trait de côte de Nouakchott à différentes dates ; de déterminer leurs vitesses et directions de déplacement ; enfin de localiser les zones les plus touchées et les plus menacées par le processus d'érosion. Elle fournit une méthode utile pour répondre à la problématique de l'analyse du processus d'érosion côtière, elle permet d'appréhender l'évolution et la dégradation du milieu sur différentes périodes.

Les premiers résultats obtenus sont résumés ci-après :

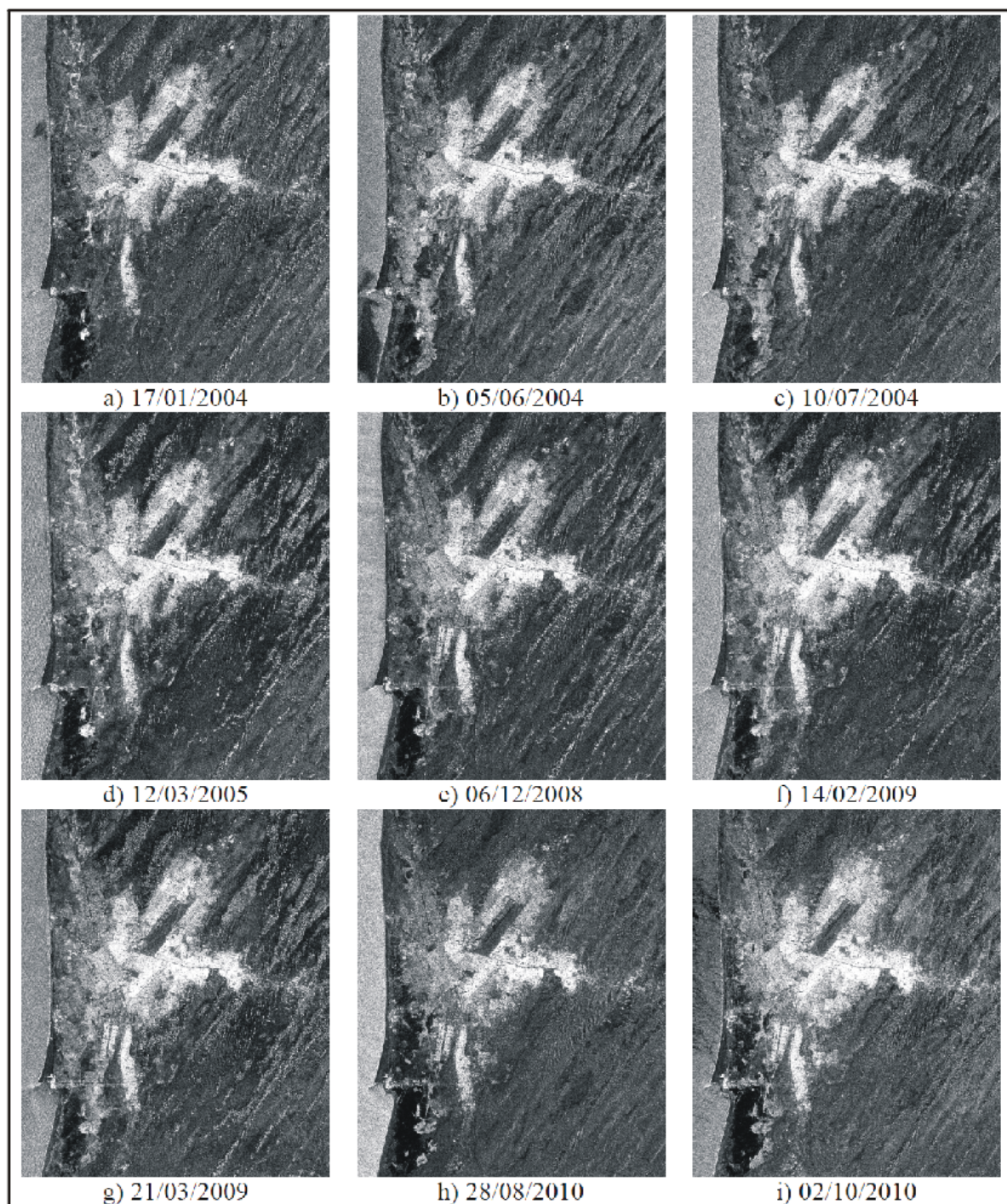


Figure 4 : Images d'amplitude radar SAR ENVISAT de la ville de Nouakchott à différentes dates.

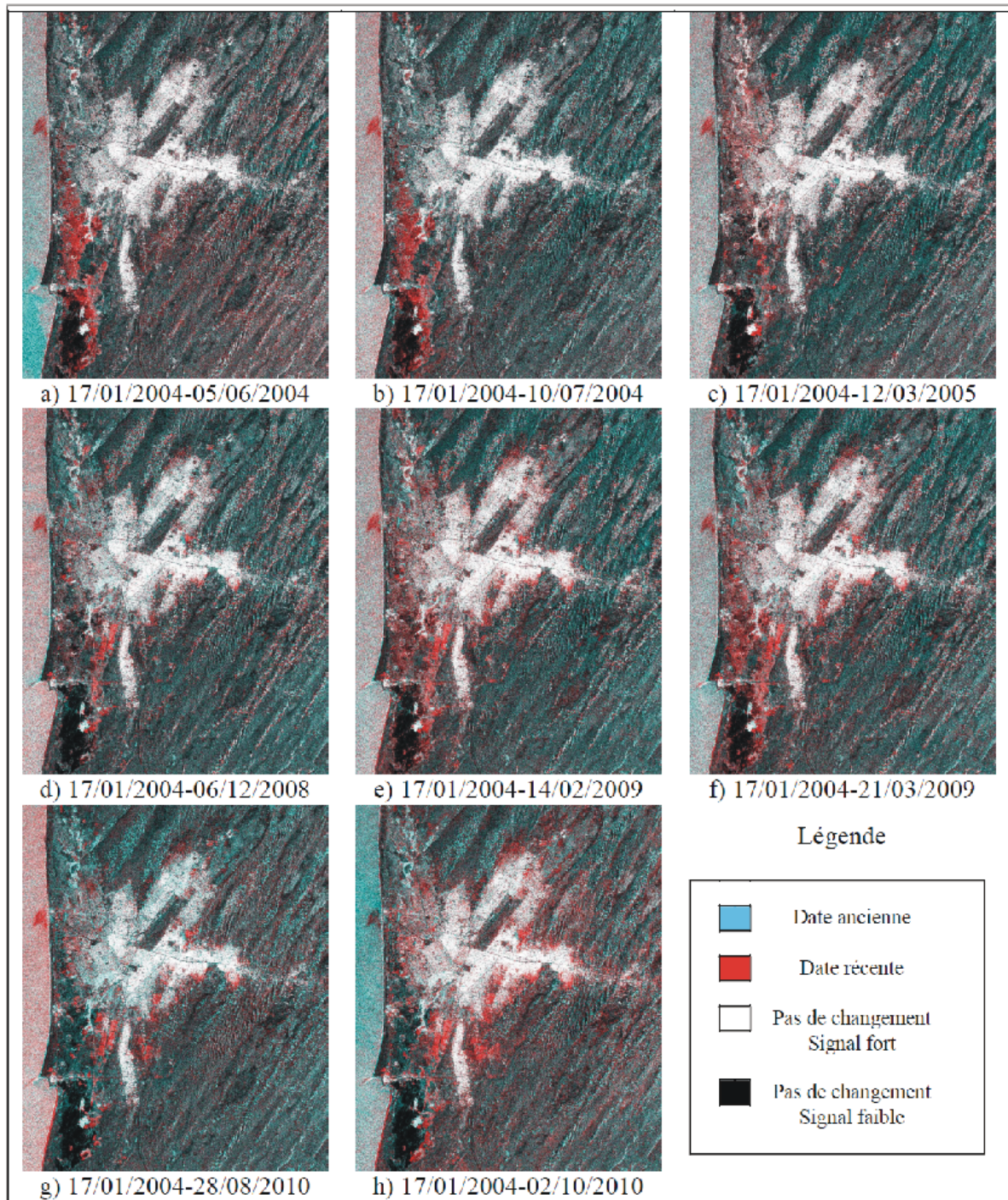


Figure 5 : Images de composition colorée de la ville de Nouakchott à différents intervalles.

(1) Production de 9 images d'amplitude à 20 mètres de résolution, calibrées et géo-référencées, pour les années 2004, 2005, 2008, 2009, 2010 et de 8 images en composition colorée à différents intervalles de temps montrant les changements (Figures 4 et 5).

(2) Cartographie du trait de côte à ces différentes dates avec suivi du déplacement sur cette période de plus de 6 ans. Ainsi, nous avons observé et mesuré une accumulation moyenne du trait de côte d'environ 100 m au nord du port et une érosion moyenne d'environ 140 m au sud pour une période de presque 7 ans (janvier 2004 à octobre 2010). C'est-à-dire une vitesse moyenne d'accumulation et d'avancée du sable estimée à plus de 14 m/an et une vitesse moyenne d'érosion estimée à plus de 20 m/an (Figure 6). Ces résultats ont été comparés à ceux plus anciens obtenus par l'un des auteurs (SENHOURY, 2000) pour la période 1980 à 1998. Nous avons constaté que la vitesse d'avancée sableuse du trait de côte au nord a diminué par un facteur 3 entre 2004 et 2010, par contre, la vitesse de recul de la côte au sud semble rester constante.

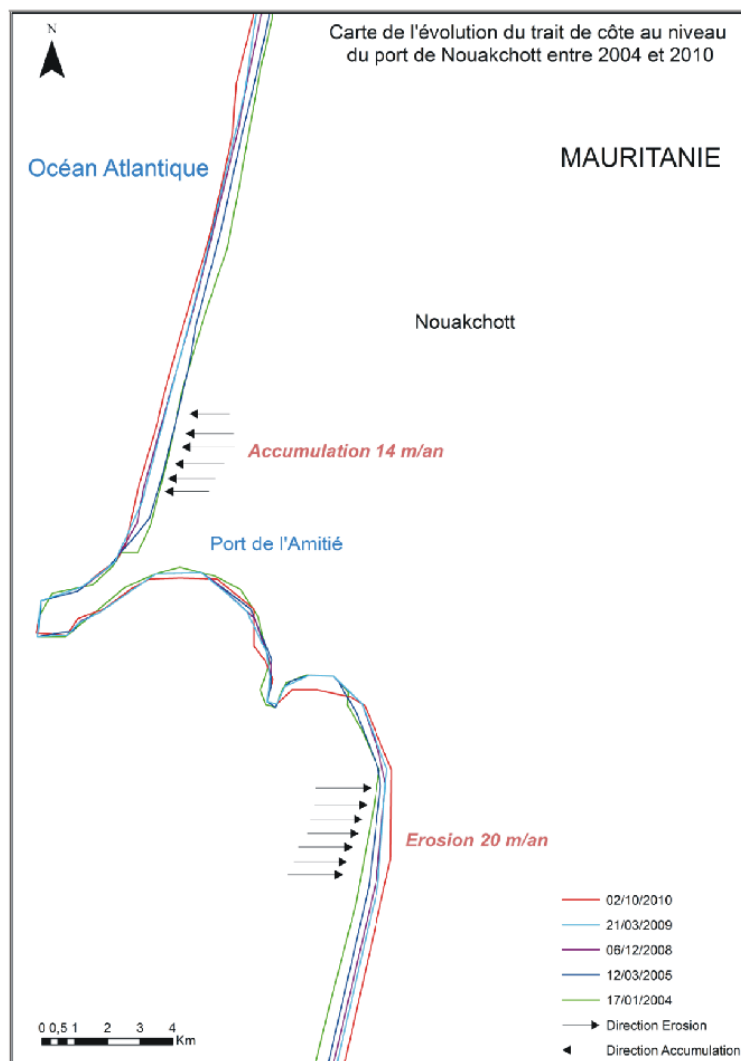


Figure 6. : Carte de mobilité du trait de côte près du Port de l'Amitié de la ville de Nouakchott (Mauritanie) entre 2004, 2005, 2008, 2009 et 2010.

CONCLUSION

Ce travail conduit par analyse multi-temporelle d'images SAR d'amplitude a permis d'analyser l'évolution du trait de côte au niveau du port de Nouakchott sur une période de plus de 6 ans. Grâce à l'analyse de changements, nous avons mesuré une accumulation moyenne du trait de côte d'environ 100 m au nord du port et une érosion moyenne d'environ 140 m au sud pour une période de presque de 7 ans (janvier 2004 à octobre 2010). C'est-à-dire une vitesse moyenne d'accumulation et d'avancée du sable estimée à plus 14 m/an et une vitesse moyenne d'érosion estimée à plus de 20 m/an. Ces résultats ont été comparés à ceux plus anciens obtenus pour la période 1980 à 1998. Nous avons constaté que la vitesse d'avancée sableuse du trait de la côte au nord a diminué par un facteur 3 entre 2004 et 2010 ; par contre, la vitesse de recul de la côte au sud semble rester constante. Cette situation inévitable causée par plusieurs facteurs concomitants naturels (élévation du niveau de la mer ; érosion du cordon dunaire le long de la côte ; augmentation de la fréquence et de l'intensité des fortes pluies, hausse de la nappe phréatique, etc.) ou anthropiques (augmentation constamment accentuée de la population, des espaces dédiés à l'habitat, aux infrastructures industrielles, routières, etc.) rend la ville de plus en plus vulnérable.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'Agence Spatiale Européenne pour nous avoir fourni les images SAR des satellites ERS et ENVISAT dans le cadre d'un projet de recherche (n° 11148) sur l'étude la mobilité du paysage dunaire en Mauritanie et au Sahara Occidental.

REFERENCES

- BA K., WADE S., NIANG I., TREBOSSON H. & RUDANT J.-P. (2007). Cartographie radar en zone côtière à l'aide d'images multitemporales RSO d'ERS-2 : Application au suivi environnemental de la langue de Barbarie et de l'estuaire du fleuve Sénégal. *Revue Télédétection*, 7 : 129-141
- BODART C., GASSANI J., SALMON M. & OZER A. (2005). Contribution of SAR interferometry (from ERS ½) in the study of aeolian transport processes : the cases of Niger, Mauritania, and Morocco. *FRINGE 2005 Workshop*, European Space Agency, Frascati, 6p
- BODART C., OZER A. & DERAUW D. (2010) Suivi de l'activité des dunes au Niger au moyen de la cohérence interférométrique ERS ½. *BSGLg*, 54 : 123-136.
- BRUNIQUEL J. & LOPES A. (1994). Analysis and Enhancement of multitemporal SAR data. *Image and Signal Processing of Remote Sensing*, 2315: 342-353.
- CARUBA R. & OULD SIDATY M. (1996) Nouakchott, des origines à nos jours. *IMRS, Nouakchott*, 101 p.
- DATAR (2000) Plan d'aménagement du littoral mauritanien. Phase 1, 34p..
- DEAR et PNUE (1998) Monographie nationale sur la diversité biologique de Mauritanie. *Nouakchott*, 264 p.
- DEMBA M. (1996) Contribution à l'étude géomorphologique des côtes mauritaniennes : du Cap Timiris à Ndiago, Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Tunis I, 227 p.
- FAYE I-B-N. (2010), Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes. Thèse de Doctorat d'Université de Bretagne Occidentale, Mention : Géographie École Doctorale des Sciences de la Mer : 321 p.
- HACHEMI K., ABDELLAOUI A., OZER A., GRECU F. & VISAN G. (2009). Apport de l'imagerie radar SAR (Images d'amplitude) pour l'analyse du changement dans la région de Buzau (Roumanie). *Revista de Geomorfologia*, 11 : 63-72.
- HACHEMI K., ABDELLAOUI A., GRECU F., OZER A. & VISAN M., (2010). Association d'images diachroniques avec un MNA pour une meilleure interprétation des changements de paysage dans la région de Buzau (Roumanie). *Revista de Geomorfologia*, 12 : 53-65.
- HACHEMI K. & THOMAS Y-F. (2013). Analyse de la mobilité d'un champ de barkhanes (Mauritanie) à partir des images SAR. *Conférence internationale de Géomatique et d'Analyse Spatiale SAGEO (Spatial Analysis and GEomatics)*, IUEM, Brest 23-26 septembre 2013 : 273-286.
- LAUR H., BALLY P., MEADOWS P., SÁNCHEZ J., SCHÄTTLER B., LOPINTO E. & ESTEBAN D. (2004). ERS SAR Calibration: Derivation of σ_0 in ESA ERS SAR PRI Products. *ESA/ESRIN, ES-TN-RS-PM-HL09*,

- Issue 2, Rev. 5f, November 2004.
- LOPES A. & SERY F. (1997). Optimal Speckle reduction for the production model in Multilook Polarimetric data and the complex Wishart distribution. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35 : 632-647.
- MAURITANIES1 (2012). Démographie de la ville de Nouakchott (données de la cellule études et projets de la Communauté Urbaine de Nouakchott). Source : *Mauritanies1 n°21* du mars au 10 avril 2012.
- NIANG, A.J., 2014. La résilience aux changements climatiques : cas de la ville de Nouakchott. *Geo-Eco-Trop*, 38: 155-168.
- OULD el GHASSEM D. (1987) Le littoral mauritanien au sud de Nouakchott. Evolution morphologique au voisinage du Port de l'Amitié. Mémoire de fin d'études, Ecole Normale Supérieure de Nouakchott, 51p.
- OULD el MOUSTAPHA SENHOURY A., CISSOKO B., OULD EL BAH M., OULD ABIDINE OULD MAYF M., FAVENNEC J., LE RHUN J. & BENEDITTINI H. (2005) Rapport sur les risques d'inondation de la zone littorale de Nouakchott. Rapport Ministère des pêches et de l'économie maritime / Ambassade de France, UICN, Nouakchott, 30 p.
- OULD el MOUSTAPHA, SENHOURY A. & LEVOY F. (2006) Impact des aménagements sur les côtes sableuses : l'exemple du port de Nouakchott (Mauritanie). In (SYMOENS J.-J., Ed.) Les écosystèmes côtiers de l'Afrique de l'Ouest. SBWOA / PRCM, Bruxelles, 147 - 157.
- OULD el MOUSTAPHA SENHOURY A., LEVOY F., MONFORT O. & KOUTITONSKY V.G. (2007) A numerical forecast of shoreline evolution after harbour construction in Nouakchott, Mauritania. *Journal of Coastal Research*, 23: 1409 - 1417.
- OULD SIDI CHEIKH M-A., OZER P. & OZER A. (2007) Risques d'inondation dans la ville de Nouakchott (Mauritanie), *Geo-Eco-Trop*, 31 : 19-42.
- OZER, P., 2014. Catastrophes naturelles et aménagement du territoire: de l'intérêt des images Google Earth dans les pays en développement. *Geo-Eco-Trop*, 38: 209-220.
- OZER P., OULD SIDI CHEIKH M-A. & OZER A. (2013) Etalement urbain des villes en Afrique subsaharienne et vulnérabilité croissante face au risque d'inondation : l'exemple de Nouakchott (Mauritanie). Colloque international-Territoires périurbains : développement, enjeux et perspectives dans les pays du Sud, Gembloux, Belgique, 19-déc-2013.
- ROSICH B & MEADOWS P. (2004). Absolute calibration of ASAR Level 1 products. *ESA/ESRIN, ENVI-CLVL -EOPG-TN-03-0010*, Issue 1, Revision 5, October 2004, p. 26.
- PIGEON J.-L. (2001). Étude sur la stratégie de développement des villes de Nouakchott, Nouadhibou et Kaédi. Etude d'impact sur l'environnement du programme de développement urbain (rapport provisoire), *Amextipe, Rim*, 145 p.
- SENHOURY OULD el MOUSTAPHA A. (2000) Influence d'un ouvrage portuaire sur l'équilibre d'un littoral soumis à un fort transit sédimentaire. L'exemple du port de Nouakchott (Mauritanie). Thèse de Doctorat d'Université, spécialité Terre solide et enveloppe superficielle, Université de Caen / Basse Normandie, Caen, 162 p.
- VERNET R. (1998) Compte rendu de la table ronde sur l'évolution du littoral de Nouakchott, Université de Nouakchott, 25-26.