DYNAMIQUES RÉCENTES DES SEBKHAS LITTORALES DE L'ARCHIPEL DES KERKENNAH (TUNISIE CENTRO-MÉRIDIONALE) : APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION

Lucile ÉTIENNE [1], Salem DAHECH [2], Gérard BELTRANDO [1], Abdelkarim DAOUD [3]

[1] Université Diderot - Sorbonne Paris Cité, UMR PRODIG du CNRS, (c.c. 7001) 75205 Paris; beltrando@paris7.jussieu.fr; lucileetienne@hotmail.com;
[2] Université de Sfax, Faculté des lettres et Sciences Humaines, Département de géographie. Laboratoire SYFACTE Sfax 3000. Tunisie. salem.dahech@gmail.com;
[3] Université de Sfax, Faculté des lettres et Sciences Humaines, Département de géographie. Laboratoire Eau, Énergie, Environnement. B.P.553 Sfax 3000. Tunisie. daoudabdelkarim@yahoo.fr

Soumis le 25 mars 2011 ; accepté le 12 janvier 2012 - © *Revue Télédétection*, 2012, vol. 11, n° 1, pp. 273-281

Résumé :
Les observations de l'évolution climatique depuis les années 1950 en Méditerranée montrent des modifications du régime des précipitations, une tendance à l'élévation du niveau de la mer et des températures ainsi que de l'évapotranspiration. Dans ce contexte de changements environnementaux, deux images Landsat 5 TM, datées du 18/06/1984 et du 29/06/2011, ont été traitées afin d'estimer les tendances de l'évolution des états de surface dans l'archipel des Kerkennah (Tunisie centro-orientale). Les classifications dirigées (Logiciel ENVI) sur l'ensemble des bandes ont permis, grâce à une bonne connaissance du terrain, de définir 7 classes pour l'image de 1984 et 8 classes pour celle de 2011. Les cartes d'occupation du sol ainsi obtenues ont ensuite été croisées afin de détecter une éventuelle tendance d'évolution. Parmi les différents types de terrain observés, l'accent a été mis sur les sebkhas, zones basses et salées influencées par la mer, dont l'évolution était très marquée. Entre 1984 et 2011, celles-ci ont montré une nette tendance à l'extension (+20%). Enfin nous discuterons des impacts probables du changement climatique et de l'action anthropique sur l'évolution des conditions environnementales de l'archipel.

Mots clés : Sebkha, étude diachronique, états de surface, Kerkennah

RECENT DYNAMICS OF SEABOARD SEBKHAS IN THE KERKENNAH ARCHIPELAGO (TUNISIA) : CONTRIBUTION OF REMOTE SENSING

Abstract:
Observations of climate change since the 50's in the Mediterranean area show modifications of the precipitation's pattern (inter and intra annual variability is more important), an elevation of the sea level, and a rise of temperatures and ETR. In this context of environmental changes, two Landsat 5 TM images, recorded in 18/06/1984 and 29/06/2011, have been studied to estimate land cover changes in Kerkennah islands. Supervised classifications (software ENVI) on all spectral bands allowed the definition of 7 identical classes for the 1984 image and 8 for 2011. Maps of the surfaces thus obtained have been crossed to detect a potential evolution tendency. Among the different types of land observed, we focused on the sebkhas, low and salty areas under the influence of the sea and which show a significant evolution. Between 1984 and 2011, they have indeed shown a strong increase tendency concerning surface (+20%). Finally, we will discuss the impact of climate change and human action on the archipelago's environment.

Keywords : Sebkha, diachronic evolution, land use, Kerkennah

1. INTRODUCTION

Les évolutions des conditions environnementales et climatiques touchent la plupart des espaces méditerranéens et sont observés et mesurés depuis le milieu du XX^{e} siècle (IPCC, 2007) et les conséquences de ces modifications sur les milieux influencent la vie de la population locale.

Sur les côtes tunisiennes, nous savons avec certitude que le niveau absolu de la mer s'est élevé depuis les années 1950 sous l'effet majeur de l'augmentation de la température de l'eau, que ce soit en surface ou en profondeur, entrainant une dilatation de son volume par effet stérique (Moron, 2003 ; Xoplaki, 2004 ; Lejeusne *et al*, 2009 ; Tsimplis, 2009). Les modèles et les études d'altimétrie spatiale récentes ont cependant démontré qu'il aurait stagné en Méditerranée occidentale depuis 1995 (Cazenave *et al.*, 2002 ; Fenoglio-Marc, 2002 ; Criado-Aldeanueva *et al.*, 2008 ; Calafat et Gomis, 2009) sous l'effet d'autres paramètres en particulier les cycles décennaux de types AMO et NAO (Vargas-Yanez *et al.,* 2008 ; Lejeusne *et al.*, 2009). Cependant, des indices d'érosion côtière et de recul du trait de côtes sont toujours visibles sur l'archipel de Kerkennah. Ceci s'explique par le jeu de la subsidence qui peut, comme c'est le cas sur l'ensemble des côtes tunisiennes, le Golfe de Gabès en particulier, provoquer une élévation du niveau relatif de la mer. Les indices prouvant l'existence de ce phénomène sur les côtes kerkenniennes ont été mis en évidence par Oueslati qui a, en 1986 puis en 1995 et 1996, observé des vestiges de l'époque romaine à 2 mètres sous la surface de l'eau et jusqu'à 200 mètres du rivage.

A Sfax, station météorologique la plus proche de Kerkennah (20km), dans le centre est de la Tunisie, les températures estivales et l'évapotranspiration ont augmenté depuis le milieu des années 1980, de même que la fréquence des vagues de chaleur impliquant une durée et une intensité plus importante des périodes estivales. En effet, en étudiant les températures depuis 1950, Dahech (2007) a montré que les décades dont les températures dépassent les 28°C en moyenne, qui n'étaient qu'exceptionnelles avant 1983, sont de plus en plus fréquentes à partir de cette date. Il met en évidence l'augmentation des températures minimales et maximales des mois de mai et septembre qui peuvent alors être considérés parmi les mois estivaux. Le régime des précipitations s'est modifié sur l'ensemble de l'Afrique du Nord et les précipitations de faibles intensités ont diminué lors de la saison humide. Les précipitations estivales sont particulièrement faibles dans la région et elles n'ont pas significativement évolué depuis 1950 (Norrant et Douguédroit, 2006).

Enfin, les niveaux piézométriques de la nappe profonde de Sfax qui s'étend sous l'archipel des Kerkennah semblent baisser, ce qui pourrait être un facteur d'intrusion marine et donc de salinisation (Trabelsi, 2005) de cette nappe constituée avant l'Holocène (Takrouni *et al*, 2003, Maliki, 2000).

L'objectif de cette étude est de comprendre l'impact des changements précités sur les états de surface naturels d'un archipel fragile comme celui des Kerkennah, en particulier sur l'extension des sebkhas.

2. TERRAIN D'ÉTUDE

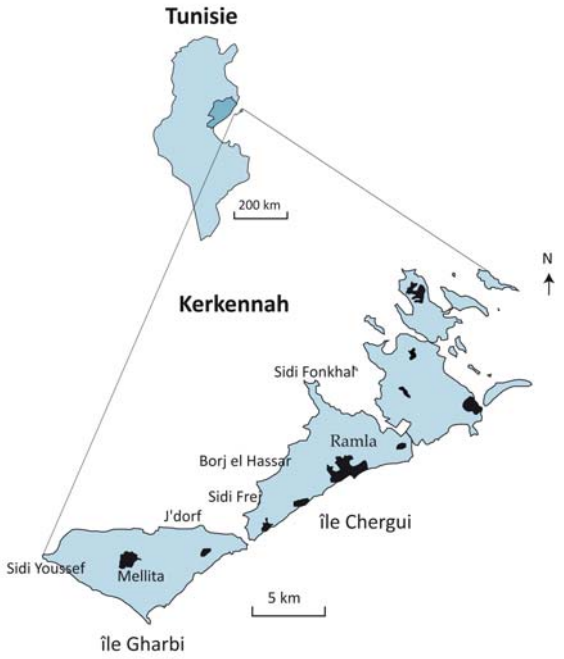


Figure 1 : Localisation de l'archipel des Kerkennah (source : Google Earth).
Kerkennah archipelago's localization (source: Google Earth)

Les îles Kerkennah se situent dans le Golfe de Gabès à 20 km au large des côtes sfaxiennes (34°42N 11°10E). L'archipel est composé d'une dizaine d'îles dont les deux principales sont l'île Gharbi et l'île Chergui (figure 1). La topographie y est très peu marquée, le point le plus haut culmine à 13 mètres d'altitude seulement et les sols sont facilement érodables (Oueslati, 1994). Comme le montre la figure 2, une grande partie des terres ne dépasse pas 2 mètres d'altitude. Ces terres basses ou cuvettes, abritant une végétation sporadique et halophile, majoritairement reliées à la mer, sont composées de sebkhas littorales. Il s'agit de dépressions ouvertes vers la mer recueillent les eaux de ruissellement, d'intrusion marine lors de grandes marées ou de tempêtes, et celles remontant de la nappe de surface par capillarité. Ces eaux, lorsqu'elles s'évaporent, laissent sur place une croûte de sel qui, remaniée par les vents, contraint la croissance végétale à des plantes halophiles sur les marges tandis que le cœur reste stérile comme l'ont décrit Georges et Verges (2009). Les parties végétalisées des sebkhas s'appellent chotts. Dans cette étude nous les associons aux sebkhas. Ces terres basses seront donc les premières affectées par une élévation du niveau de la mer ou par un changement des conditions environnementales.



Figure 2 : Localisation des zones basses situées entre 0 et 2 mètres d'altitude d'après Oueslati (1996)
Localisation of the lower zones between 0 and 2 metres from Oueslati (1996)

En hiver, l'archipel compte 14 500 habitants (contre plus de 100 000 en été) regroupés majoritairement dans les villages. L'extension urbaine s'est développée, dans certains endroits, aux dépens de zones de sebkhas. Des aménagements comme la construction de digues/routes pourraient avoir un impact considérable sur le comportement des systèmes de sebkhas.

En hiver, les eaux de pluies ou marine (lors de un phénomène de surcote) se trouvent bloquées en amont de la digue sans pouvoir s'écouler vers la mer. Leur infiltration est faible car le relief est très faible (certains espaces sont situés sous le niveau de la mer) et que des nappes de surface sont très près de la surface (parfois même affleurantes). Elles seront alors évaporée et le sel laissé dans la sebkha. En été, le même phénomène se produit lorsqu'il pleut mais c'est surtout l'effet des déplacements par le vent, des sels accumulés en hiver, qui favorisera l'extension des sebkhas.

Dans un contexte d'évolution climatique attestée depuis les années 1950 et de modification de l'espace par les activités anthropiques, les impacts environnementaux sur les états de surface et la vie des habitants peuvent être très importants. L'étude présentée ici s'attache à expliquer, par télédétection et observations de terrain, l'évolution des sebkhas depuis 1984. L'hypothèse principale est que l'extension des sebkhas est due à des processus physiques déclenchés et/ou aggravés par des actions anthropiques. Nous chercherons donc à connaître les facteurs explicatifs de ces processus qu'ils soient naturels, liés au changement climatique observé depuis les années 1950 et/ou directement anthropiques. Par cette étude, nous poursuivons le travail initié par Oueslati (1986, 1995, 1996) et plus tard également abordé par Fehri (2011) en y ajoutant une approche utilisant l'imagerie satellitaire, qui a permis une meilleure évaluation de la dimension spatiale de ce phénomène.

3. MATÉRIEL ET MÉTHODE

Pour cette étude diachronique, deux images satellites Landsat TM 5 de 30x30 m de résolution (disponibles via Glovis ; http://glovis.usgs.gov/) ont été utilisées, la première datant du 18 juin 1984 (à 9 :17GMT ; élévation solaire : 62,06), la seconde datant du 29 juin 2011 (à 9 :38GMT ; élévation solaire : 65,6). Ces images ont subi avant leur mise en ligne, des corrections radiométriques et géométriques de niveau L1T (http://edcsns17.cr.usgs.gov/helpdocs/landsat/product_descriptions.html#terrain_l5_l1t). Ces images ont été choisies en fonction des conditions climatiques précédant la prise de vue. Les conditions météorologiques étaient similaires aux deux dates de prise de vue et caractérisées par un temps anticyclonique (1015hPa aux deux dates), avec une couverture nuageuse nulle et des températures maximales de 27°C (www.wetterezentral.de et Institut National de la Météorologie), une bonne visibilité (10km), une humidité relative faible (entre 59 et 61% en 1984 et 2011 respectivement) au moment de la prise de vue et un vent de 6m/s et 4m/s ce qui correspond très certainement à une situation de brise littorale (Dahech, 2007). Les mois de mai et juin 1984 et 2011 ont été particulièrement secs puisque seulement 4,9 mm sont

tombés le 10 mai 1984 tandis qu'aucune précipitation n'est tombée à la station de Sfax durant cette période en 2011. Nous avons opté pour des images prises durant la saison estivale, après une longue période de sécheresse, pour échapper aux confusions que prête la végétation naturelle aux cultures irriguées.

Les dates de prise de vue sont suffisamment éloignées pour laisser voir les évolutions des modes d'occupation du sol dans l'archipel.

Afin de minimiser au maximum les effets de l'atmosphère, nous avons corrigé les images grâce au module SMAC. Les conditions de marées restant inconnues aux deux dates, elles sont considérées ici comme équivalentes.

Les traitements ont été réalisés à partir des bandes spectrales 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 et 7. Les compositions colorées et l'étirement des contrastes (amélioration visuelle) sont la première étape avant les traitements sur les images (Bonn, 1992 ; Robin, 1995 ; Girard et Girard, 1999) et ont permis de définir différents types de surfaces, similaires sur les deux images (figure 3). A partir de ces interprétations visuelles mais aussi et surtout d'une bonne connaissance du terrain, nous avons pu définir 7 (1984) et 8 classes (en 2011) d'occupation du sol par classification dirigée en procédant avec une méthodologie identique pour les deux dates de prise de vue, selon le protocole suivant:

Définition de ROI (region of interest) définissant les classes aux deux dates. Lancement de classifications dirigées selon la méthode de maximum de vraisemblance. Réajustements de ces ROI en fonction de nos connaissances du terrain et des réponses spectrales des pixels. Pour les deux dates nous avons pu définir 3 classes pour l'élément marin et 4 pour l'élément terrestre dont une pour les sebkhas. Les types de plantes présentes sur le terrain n'ont pu être définis par télédétection car, dans la palmeraie en particulier, les arbres sont très espacés et leur réponse spectrale est très faible. En 2011, une réponse très particulière apparait, correspondant aux salines en cours d'assèchement dont le sel n'a pas été récolté et qui étaient sèches en 1984. Leur réponse à cette date correspondait à celle des sebkhas.

A partir des 7 et 8 classes définies précédemment, les cartes ont été croisée sous le logiciel ArcGis ce qui nous permet d'observer les dynamiques d'extensions ou de recul des différentes classes d'occupation du sol.

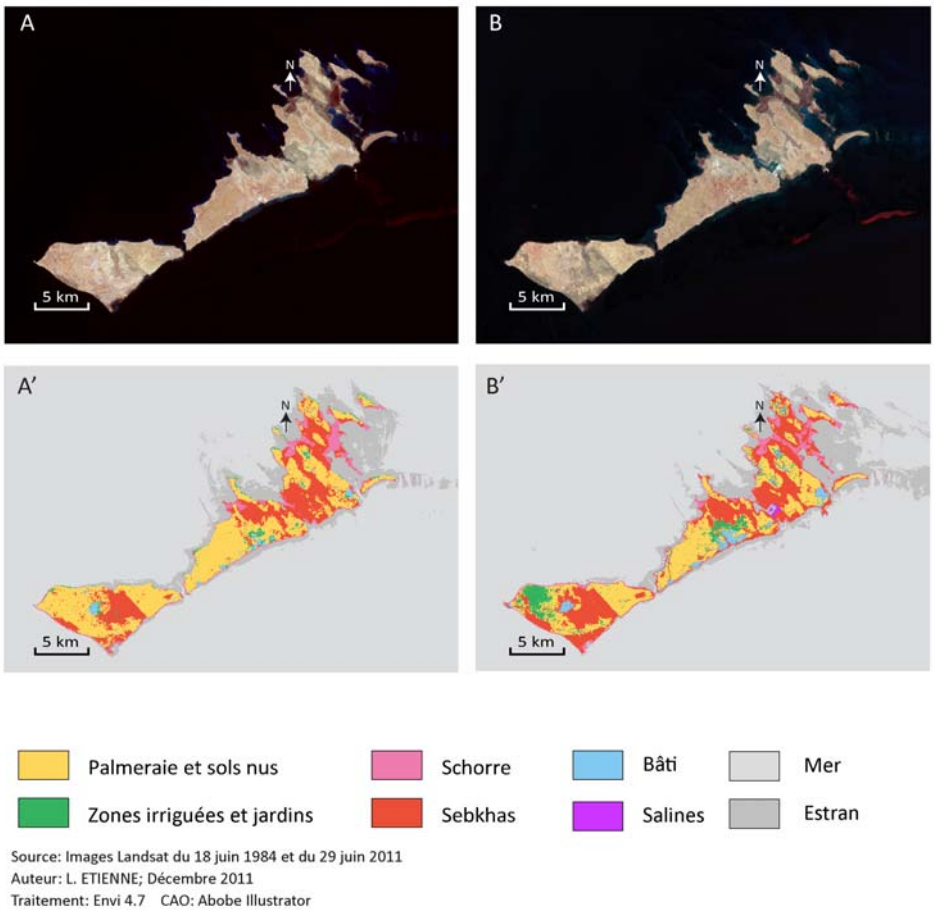


Figure 3 : Compositions colorées standard de 1984 (A), 2011 (B) et classes d'occupation du sol en 1984 (A') et en 2011 (B')
Color composite of 1984 (A), 2011 (B) and land use classification in 1984 (A') and 2011 (B').

4. RÉSULTATS

4.1 Comparaison des états de surfaces en 1984 et 2011

L'analyse visuelle des compositions colorées de type infrarouge fausses couleurs (R=4, V=3, B=2) et la comparaison des cartes thématiques d'occupation du sol (figure 4) ont permis la mise en évidence d'une évolution des différents types de substrats entre 1984 et 2011. Un des changements les plus visibles concerne les surfaces de palmeraie ou de sol nu (figure 4 B) qui représentaient la surface la plus importante de l'archipel en 1984 (100,8km²) et qui a subi un recul très important (-27% ou 26 km²) au profit de l'extension d'autres états de surface comme les sebkhas (Figure 5 ; +20% ou 8,32 km²), les surfaces irriguées (Figure 4 D ; +95% ou 1,7 km²) et le bâti (Figure 4 A ; +23% ou 0,65 km²). La très forte croissance des espaces irrigués s'explique par la création, en 1997, de zones irriguées à Ramla et à Melitta ce qui a amené à l'abandon des jardins présents près des espaces urbains. Ces derniers ont eux-mêmes connu une extension et recouvert partiellement les anciens jardins. Sur le pourtour de l'archipel, nous avons remarqué l'apparition d'espaces de schorres plus étendus sur les côtes en 2011 qu'en 1984 (figure 4 C). Ce résultat, bien que peu probant par le manque de données sur les horaires et intensité de marée, va dans le sens d'une hypothèse forte du recul du trait de côte posée par Oueslati en 1994 et nos observations en 2010 et 2011. Ces dernières ont permis de démontrer l'évolution récente de la physionomie de la végétation en bordure de sebkha ou d'estran selon un gradient associant la mort des palmiers et leur proximité aux sebkhas et à l'estran des plages de l'archipel (photo 1). De plus certains indices, de nature morphologique (photo 2 A) et botanique (photo 2 B) ont été relevé le long des plages et falaises de l'archipel (éléments déjà observés par Oueslati, en 1996) et renforcent l'hypothèse selon laquelle un recul du trait de côte est probablement en cours.

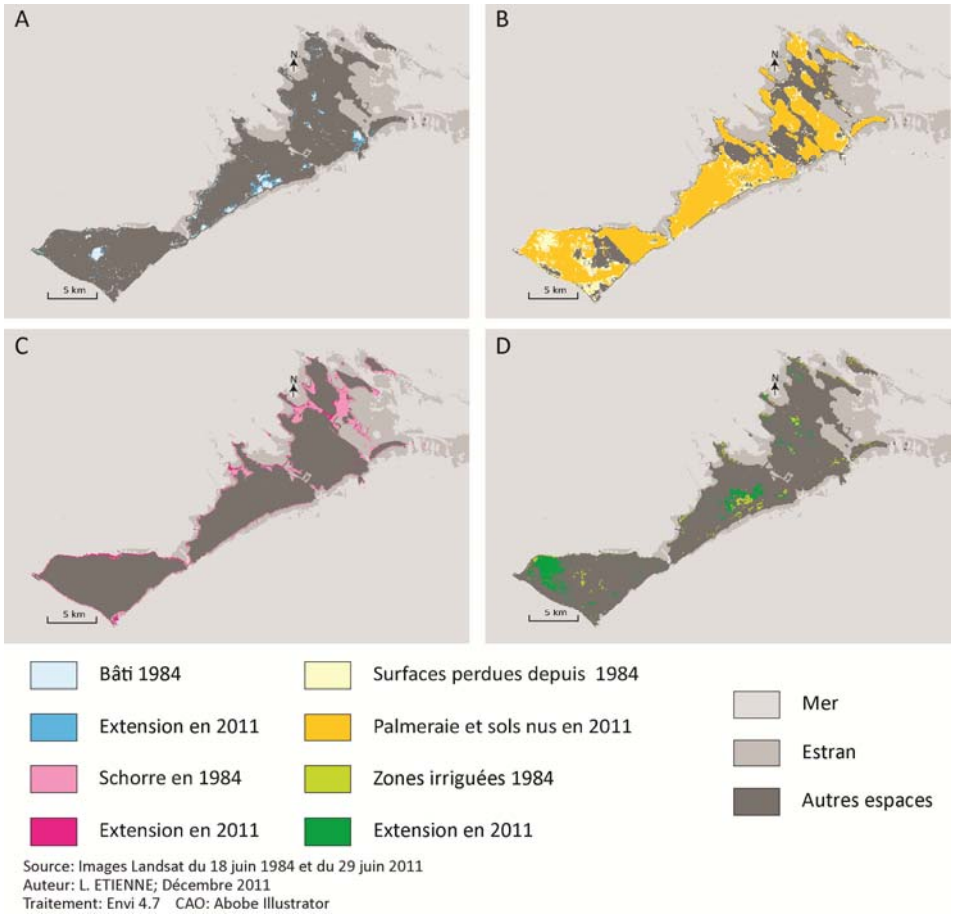


Figure 4 : Cartes thématiques d'occupation du sol ; A : évolution du bâti ; B : évolution de la palmeraie et des sols nus ; C : évolution des surfaces de schorres ; D : évolution des surfaces irriguées ou jardins. Image satellite prises le 18 juin 1984 et le 29 juillet 2011 (Source : Images satellites TM Landsat). *Thematic maps of land use; A: buildings evolution; B: palm grove and soil; C: Schorre evolution; D: irrigated aeras evolution. Satellite scenes of the 29. June 1984 and 29. June 2011 (Source: TM Landsat scene)*

4.2 Dynamique d'évolution des sebkhas

4.2.1 Extension des surfaces de type sebkha

La grande majorité des sebkhas (figure 5) préexistantes en 1984, sont soit restées stables, soit se sont étendues, le plus souvent vers l'ouest, comme on peut l'observer particulièrement bien dans la sebkha Henchir Salem, au nord-est de la localité de Melitta. La mort des palmiers situés en bordure de Sebkha indique leur extension (photo 1). Les sebkhas ne

laissant se développer qu'une végétation basse et halophile, l'étalement de ce type de surfaces correspond donc à une perte de terres potentiellement arables et nourricières, augmentant la vulnérabilité alimentaire et économique de la population. Les indices récoltés sur le terrain ainsi que les résultats obtenus par télédétection montrent une extension des Sebkhas. Cette dynamique s'explique par plusieurs facteurs dont l'évolution récente des conditions climatiques et environnementales régionales comme l'élévation du niveau de la mer, l'augmentation des températures, la modification du régime pluvieux mais également la modification du régime de vents. Les vents d'été (de mai à septembre) sont en effet majoritairement d'est (Dahech, 2007). Ces vents estivaux, prennent en charge les sels et autres particules concentrées dans les sebkhas pour les déplacer sur leurs bordures occidentales entrainant une augmentation des surfaces majoritairement vers l'ouest (Fehri, 2011). En effet, la sebkha Marset Essendouk (Sud-ouest de la localité de Melitta) s'est particulièrement étendue vers le nord, s'accolant quasiment à la zone irriguée de Melitta, elle-même protégée par sa situation légèrement plus élevée. La localité de Melitta se trouve aujourd'hui rejointe par la sebkha Henchir Salem par le sud et par le nord, favorisant une faible croissance urbaine vers l'ouest et vers l'est le long de la route principale. Concernant la sebkha Henchir Salem, son extension vers le nord-est est limitée par une rupture de pente situé sur une ligne de faille et constituant la transition entre un horst et un graben (Oueslati, 1995). Cette rupture, de 7 à 8 m de dénivelé, fait office d'obstacle naturel à l'extension de la sebkha. Notons également l'extension urbaine des localités de Ramla et d'Ouled Bou Ali, séparées par une sebkha aujourd'hui rongée par l'urbanisation. Le cas est également observé à Kellabine au nord de Ramla (photo 3). Rappelons que ces terres sont incultes, salées et potentiellement inondables lors des grandes marées ou tempêtes.

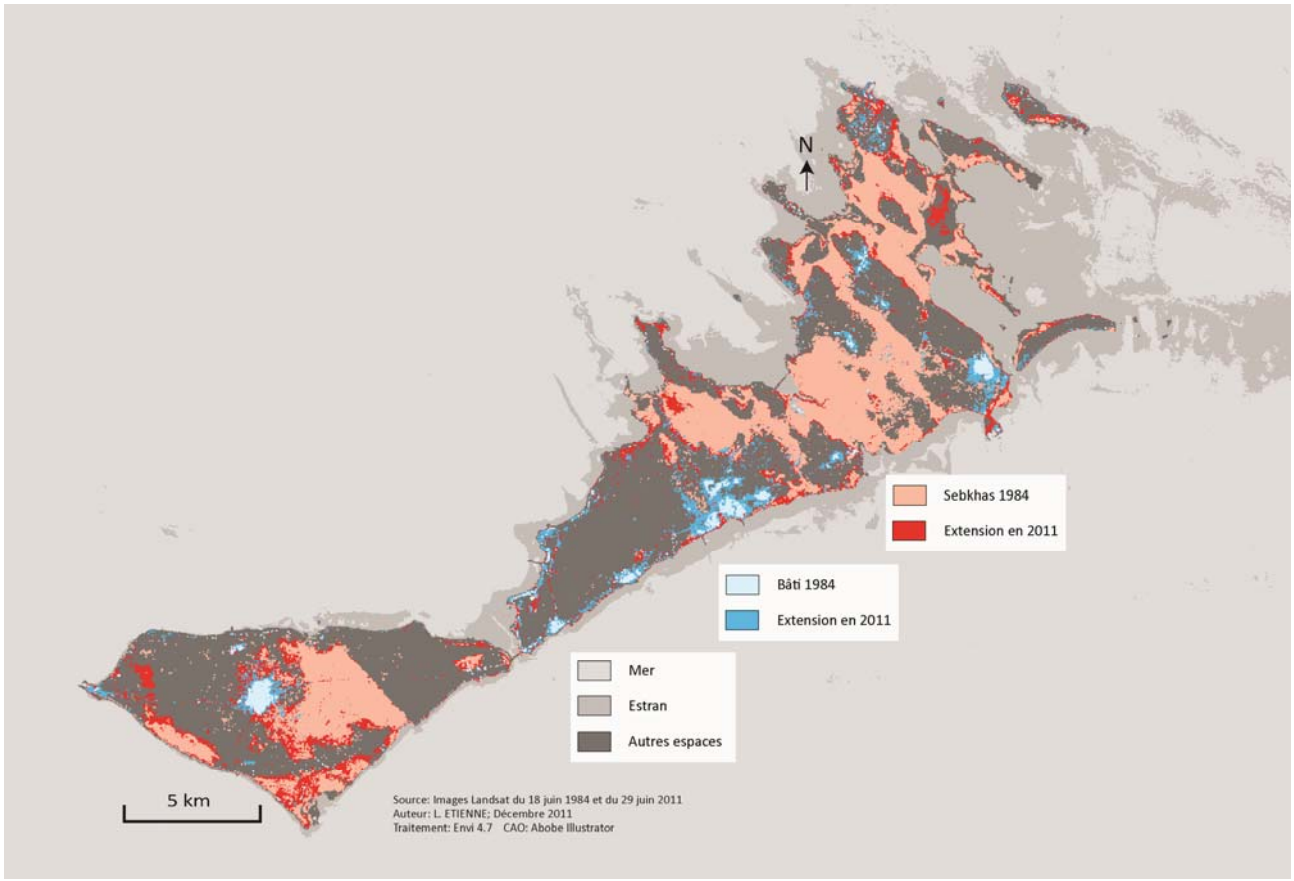


Figure 5 : Extension des sebkhas et du bâtis entre 1984 et 2011 les deux dates (source : Images satellites TM Landsat)
Extension of the sebkha and buildings between 1984 and 2011 (source: TM Landsat scene)

4.2.2 Conséquences des activités anthropiques sur la dynamique des sebkhas

L'Homme, en adaptant son environnement à ses besoins a modifié le comportement de certaines sebkhas. Ce phénomène minoritaire est visible par télédétection au sud de Sidi Fonkhal. La zone correspond à une sebkha, le 18 juin 1984, qui a été asséchée depuis par la construction d'une digue/route (photo 4) empêchant une relation naturelle avec la mer et provoquant la mort de la végétation halophiles dans la zone amont de la digue. Ceci s'explique probablement par un blocage des eaux de ruissellement salées qui, ne pouvant être évacuées vers la mer, laisserons du sel après évaporation (Fehri, 2011). La fermeture de la sebkha Henchir Salem est plus ancienne. Les effets néfastes de sa fermeture liés aux blocages des transferts d'eaux entre la terre et la mer se sont ajoutés à ceux de l'évolution climatique récente qui ont conduit à une extension de cette sebkha. La fermeture des sebkhas par l'action anthropique semble n'avoir d'influence positive que sur le développement touristique à court terme. A l'inverse, la perturbation du milieu naturel est importante

et la régression des terres potentiellement arables face à l'avancée de terres salées et stériles représente un véritable risque pour la population locale.

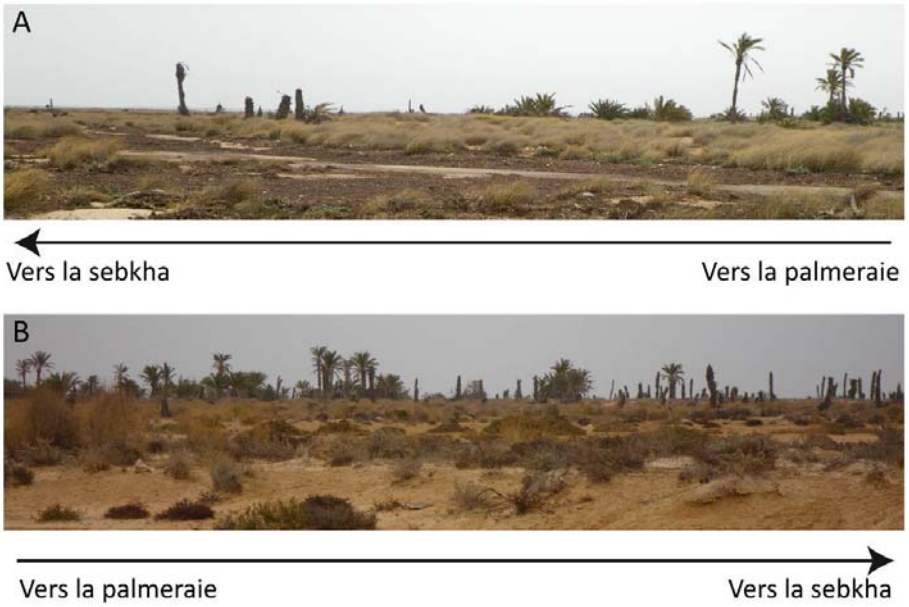


Photo 1 : Evolution de la physionomie de la végétation en fonction de son éloignement des zones les plus basses : les sebkhas
Evolution of the vegetation physiognomies defined by the distance from the lower zones: the sebkha



Photo 2 : Indice de l'évolution du trait de côte par recul des falaises (A) ou par recul de la végétation (B).
Evolution signs of the shoreline by cliff backward (A) or by vegetation backward (B)



Photo 3 : Chantier de construction d'une habitation dans une sebkha in Kellabine. *Construction site into a sebkha in Kellabine*



Photo 4 : Digue/route récente bloquant les échanges d'eau entre terre et mer donc le fonctionnement de la sebkha
Sea-wall/road blocking the water exchange between land and sea and the sebkha

5. CONCLUSION / DISCUSSION

Les surfaces de sebkhas ont augmenté d'environ 20 % entre l'été 1984 et l'été 2011. Ces surfaces, dispersées dans les zones basses à l'intérieur de l'archipel, subissent l'influence des variations climatiques et marines régionales (élévation du niveau de la Méditerranée et chaleur estivale plus marquée) mais également les effets du développement touristique et urbanistique de l'archipel. La perturbation de ces systèmes exoréiques et leur transformation en systèmes endoréique entraîne la perte rapide de l'écosystème de schorre et l'installation de la sebkha. Les sebkhas continentales, fermés, sont bien plus salés que les sebkhas littorales. La fermeture de ces sebkhas littorales entraînera peut être une salinisation plus rapide des espaces contigus. L'apport de la télédétection quant à l'évolution des états de surfaces et de l'occupation des sols a d'abord permis de traiter efficacement des surfaces conséquentes qu'il aurait été difficile de traiter par simple analyse de terrain. Elle a ensuite été indispensable pour l'étude diachronique et les traitements de l'image de 1984 pour laquelle nous n'avions pas de « vérité terrain » sur l'ensemble de l'archipel. Enfin l'apport de la télédétection a permis de quantifier l'évolution des types de surfaces ce qui n'avait jamais été réalisé pour l'archipel de Kerkennah. Cependant, malgré ces atouts la télédétection n'est pas suffisante et la qualité des traitements dépend de la résolution spatiale des images. A 30 mètres de résolution, les observations et connaissances du terrain restent indispensables afin de qualifier les classes issues des traitements.

Bibliographie :

Bonn, F., Rochon, G (1992) Précis de télédétection Vol. 1 Principes et méthodes. AUPELF-UREF, Collection Presses Universitaires du Quebec, Montréal

Calafat, F-M., Gomis, D (2009) Reconstruction of Mediterranean sea level fields for the period 1945-2000. Global and Planetary Change, n° 66, pp. 225-234.

Cazenave, A., Bonnefond, P., Mercier, F., Dominh, K., Toumazou, V., (2002) Sea level variations in the Mediterranean Sea and Black Sea from satellite altimetry and tide gauges. Global and Planetary Change, n° 34, pp. 59–86.

Criado-Aldeanueva, F., Del Rio Vera, J., Garcia-Lafuente, J., (2008) Steric and mass-induced Mediterranean sea level trends from 14 years of altimetry data. Global and Planetary Change, n° 60, pp. 563-575.

Dahech, S., (2007) Le vent à Sfax (Tunisie), impacts sur le climat et la pollution atmosphérique. Thèse de doctorat de l'université Paris VII, 351 p.

Eastman, J.R., (2006) IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing. 328p.

Fehri, N., (2011) La palmeraie des îles Kerkennah (Tunisie), un paysage d'oasis maritime en dégradation: déterminisme naturel ou responsabilité anthropique ? Physio-geographie, n° 5, pp. 167-189

Fenoglio-Marc, L., (2002) Long term sea level change in the Mediterranean Sea from multi satellite altimetry and tide gauges. Physics and Chemistry of the Earth, n° 27, pp. 1419-1431.

Girard, M.C., Girard, C.M. (1999) Traitement des données de télédétection. Dunod, 530 p.

George, P., Verges, F., (2009) Dictionnaire de la géographie. PUF, 480 p.

IPCC, (2007) Summary for policymakers. A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 18 p.

Lejeusne, C., Chevaldonne, P., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C.F., Perez, T., (2009) Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. TREE n°1204, 11 p.

Maliki A., (2000) Étude hydrologique, hydrochimique et isotopique des eaux de la nappe profonde de Sfax (Tunisie), thèse, université Tunis-2 311 p.

Moron V., (2003) L'évolution séculaire des températures de surface de la mer Méditerranée (1856-2000). C. R. Geoscience, n° 335, pp. 721-727.

Norrant, C., Douguédroit, A., (2006) Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950-2000). Theor. Appl. Climatol., n° 83, pp. 89–106

Oueslati, A., (1994) Les côtes de la Tunisie. Publication de la faculté des sciences humaines et sociales de Tunis, 402 p.

Oueslati A. (1986) Jerba et Kerkna : leur évolution géomorphologique au cours du Quaternaire. Édit. Université de Tunis, série Géographie, vol. 21, 210 p.

Oueslati, A., (1995) Les îles de la Tunisie. Centre d'Etudes et de Recherches Economiques et Sociales TUNIS, 355 p.

Oueslati, A., (1996) Formes de dégradation du milieu naturel et de l'environnement dans les îles kerkna (Tunisie orientale). Revue tunisienne de géographie, n° 27, pp. 183-195.

Robin, M., (1995) La télédétection : des satellites aux SIG, Paris, Nathan, 320 p.

Takrouni, M., Michelot, J.L., Maliki, A., Zouari, K., (2003) Relation entre aquifère profond, nappes superficielles et intrusion marine dans le Bassin de Sfax (Tunisie). Hydrology of the Mediterranean Regions, n° 278, pp. 515-524

Trabelsi, R., Zaïri, M., Smida, H., Ben Dhia, H., (2005) Salinisation des nappes côtières : cas de la nappe nord du Sahel de Sfax, Tunisie. C. R. Géoscience, n° 337, pp. 477-483.

Tsimplis, M.N., Marcos, M., Colin, J., Somot, S., Pascual, A., Shaw, A.G.P., (2009) Sea level variability in the Mediterranean Sea during the 1990s on the basis of two 2d and one 3d model. Journal of Marine Systems, n° 78, pp. 109-123.

Vargas-Yanes, M., Garcia, J., Salat, J., Garcia-Martinez, M.C., Pascual, J., Moya, F., (2008) Warming trends and decadal variability in the Western Mediterranean shelf. Global and Planetary Change, n° 63, pp. 177–184.

Xoplaki, E., Gonzalez-Rouco, J.F., Luterbacher, J., (2004) Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large scale dynamics and trends. Climate dynamics, n° 23, pp. 63–78.