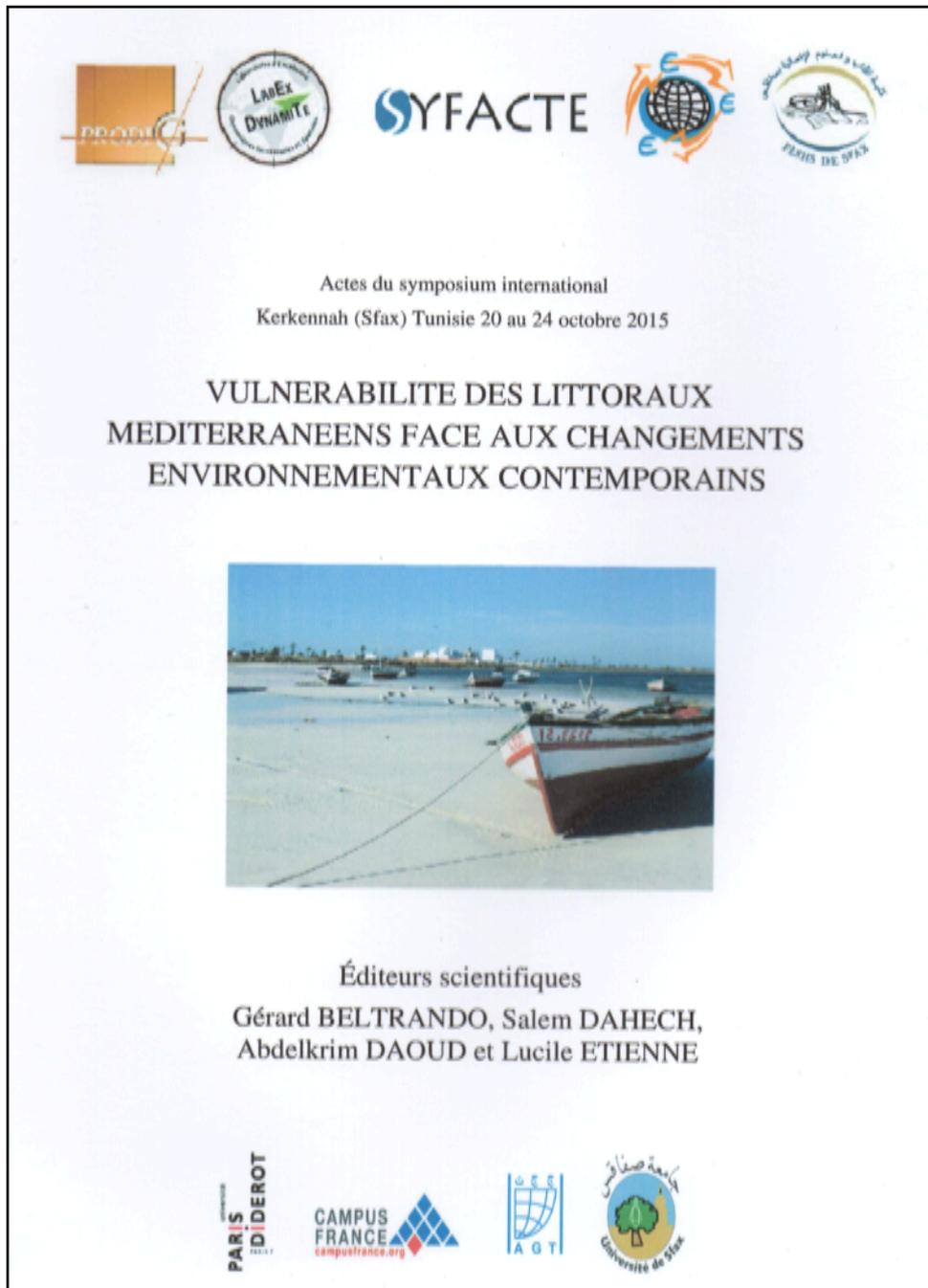


Médail F., Charrier L., Charrier M., Doxa A., Pasta S. & Chaïeb M., 2015.

Vulnérabilité de la biodiversité végétale face à l'élévation du niveau marin : le cas des petites îles et îlots de Tunisie orientale.

In : Beltrando G., Dahech S., Daoud A. & Etienne L. (eds.), *Vulnérabilité des littoraux méditerranéens face aux changements environnementaux contemporains*. Actes du symposium international, Kerkennah (Tunisie) du 20 au 24 octobre 2015, Sfax : pp. 227-236.



VULNERABILITE DE LA BIODIVERSITE VEGETALE FACE A L'ELEVATION DU NIVEAU MARIN : LE CAS DES PETITES ILES ET ILOTS DE TUNISIE ORIENTALE

MEDAIL F.¹, CHARRIER L.², CHARRIER M.³, DOXA A.¹, PASTA S.⁴, CHAIEB M.⁵

¹Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie (IMBE), UMR Aix Marseille Université - CNRS - IRD - AU, Technopôle Arbois-Méditerranée, B.P. 80, F-13545 Aix-en-Provence cedex 04, France. emails : frederic.medail@imbe.fr ; aggeliki.doxa@imbe.fr

²Muséum d'histoire naturelle de Toulon et du Var, 737 chemin du Jonquet - Jardin du Las, 83200 Toulon, France. email : luchARRIER@cgvar.fr

³FloraConsult, 13100 Aix-en-Provence, France. email : m.charrier@floraconsult.net

⁴Conseil national de la recherche (C.N.R.) d'Italie, Institut de biosciences et bio-ressources (I.B.B.R.), Corso Calatafimi n° 414, I-90129 Palermo, Italie. email : salvatore.pasta@ibbr.cnr.it

⁵Université de Sfax, Faculté des Sciences, U.R. Biologie & écophysologie des milieux arides, BP 802, 3030 Sfax, Tunisie. email : mchaieb133@gmail.com

Résumé – La remontée actuelle du niveau marin fait peser de lourdes menaces sur la biodiversité terrestre des petites îles sédimentaires de faible altitude. Ce travail examine les conséquences des profondes modifications eustatiques qui affectent la flore et la végétation de petites îles et îlots des archipels de Kerkennah et Kneiss (Tunisie orientale). Depuis 2000 ans, la configuration topographique de ces îles a été bouleversée et la tendance à la salinisation des terres induit une progression significative des communautés et espèces halophiles. Nous identifions un "point de basculement écologique" pour une surface insulaire de ca. 4 ha (à expliquer car cela n'apparaît pas dans le texte) en deçà de laquelle la flore ne se compose que de taxons halophiles ou halorésistants.

Mots-clés : Changement global, Dynamique de la végétation, Flore vasculaire, Petites îles de Méditerranée (PIM).

Abstract – Present-day sea-level rise induces strong threats to the terrestrial biodiversity of small and low altitude sedimentary islands. This study examines the consequences of deep eustatic changes that threaten the flora and vegetation of small islands and islets of the Kerkennah and Kneiss archipelagos (Eastern Tunisia). Since 2000 years ago, the topographic contour of these islands was shaken up and the trend towards land salinization induces a significant advance of halophilous plant communities and species. We identify a "ecological tipping point" for an insular area of ca. 4 ha below which the flora includes only halophilous and haloresistant taxa.

Keywords: Global change, vegetation dynamics, vascular flora, Mediterranean small islands (PIM).

1. Introduction

Les divers modèles de simulation climatique synthétisés par le GIEC suggèrent, pour les prochaines décennies, une élévation significative et rapide du niveau marin de l'océan mondial (Church et al., 2013). En effet, à l'échelle planétaire, si le taux d'élévation du niveau marin s'était stabilisé à environ 0,5 mm/an durant les trois derniers millénaires, il a cependant connu une accélération depuis la fin du XIXe siècle. L'analyse des données marégraphiques sur la période 1901-2010 indique un taux moyen d'élévation du niveau de la mer de $1,7 \pm 0,2$ mm/an (Church & White, 2011). Pour la période 1993-2014, les données altimétriques suggèrent, quant à elles, que le niveau marin mondial s'est élevé en moyenne de $3,2 \pm 0,4$ mm/an (Cazenave et al., 2014). Au cours du XXe siècle, les activités humaines ont engendré une élévation d'1 mm/an du niveau des océans, soit plus de la moitié de la hausse observée durant cette période (Becker et al., 2014). Toutefois, cette accélération demeure encore délicate à estimer précisément aux échelles régionale et locale, en raison de la variabilité multi-décennale du niveau marin.

Dans le bassin méditerranéen, le Golfe de Gabès, au sud-est de la Tunisie, constitue l'une des zones parmi les plus affectées par cette hausse du niveau marin, beaucoup plus rapide que la moyenne mondiale, puisque estimée localement à 5,7 mm par an (Pirazzoli, 1986). De fait, le liseré côtier sablonneux et les petites îles et îlots de Tunisie orientale (archipels des Kerkennah, Kneiss et Djerba) sont l'un des territoires de Méditerranée où se manifestent avec

le plus d'intensité les conséquences de cette remontée marine. Elle s'explique par la combinaison de puissants changements eustatiques et d'une topographie plutôt basse des côtes facilement érodables car formées de roches sédimentaires friables. La magnitude de ces changements survenus au moins depuis l'Antiquité est aussi bien documentée par les études géo-archéologiques qui mettent en évidence une submersion importante des terres et vestiges littoraux, pouvant atteindre deux mètres de hauteur depuis le début de notre ère (Paskoff & Sanlaville, 1983 ; Oueslati, 1995 ; Slim et al., 2004).

Les conséquences de l'élévation du niveau marin commencent seulement à être envisagées pour certains points-chauds (hotspots) de biodiversité mondiale, notamment en situation insulaire (Wetzel et al., 2013 ; Bellard et al., 2014 ; Courchamp et al., 2014). Mais aucune étude n'a encore examiné l'impact de la remontée marine sur la biodiversité insulaire en région méditerranéenne, l'un des plus vastes archipels mondial, composé d'environ 10 000 îles et îlots (Médail, 2013). Les îles constituent aussi des territoires très affectés par l'anthropisation, leurs paysages et écosystèmes étant souvent profondément modifiés dès les premières colonisations (ex. Blondel, 2008 ; Rick et al., 2013).

La biodiversité terrestre des petites îles de faible altitude, composées de substrats friables, apparaît comme la plus vulnérable face à ces menaces. Tel est le cas des îles sédimentaires de la Tunisie orientale, où la remontée du niveau marin a engendré de multiples impacts environnementaux et écologiques depuis l'Antiquité (Oueslati, 1995 ; Fehri, 2011 ; Etienne et al., 2012 ; Médail et al., 2015 a, b) : modifications de la configuration physiographique des îles, rétraction significative des terres émergées, vulnérabilité accrue face à l'érosion et l'incursion marines, extension des zones de sebkhas au détriment des terres peu ou pas salées, remontée du biseau salé entraînant la salinisation des terres. L'archipel est-tunisien constitue donc un site-atelier de première importance pour étudier, à une échelle locale, les conséquences écologiques fonctionnelles de cet impact eustatique sur la biodiversité et les écosystèmes littoraux.

Le présent travail a pour objectif d'analyser la composition floristique et la dynamique de la végétation de la quinzaine d'îles et d'îlots des archipels Kerkennah et Kneiss, afin d'estimer la magnitude des changements phytodynamiques et la vulnérabilité de cette diversité végétale. Il se base sur les résultats de diverses missions conduites dans le cadre de l'Initiative pour les Petites îles de Méditerranée (Initiative PIM, Conservatoire du Littoral / APAL). Si la plus grande de ces îles (El Bessila ou Grande Kneiss) mesure 436 ha de superficie, la plupart de ces îles ou îlots ont une surface inférieure à 10 ha. Ces territoires insulaires auparavant méconnus ont fait, pour la première fois, l'objet d'inventaires floristiques les plus exhaustifs possibles (Médail et al., 2015 a, b), qui serviront de référentiel à des études comparatives diachroniques ultérieures. Ces résultats sont discutés à la lumière des impacts induits par la forte remontée du niveau marin et par les usages multiséculaires de l'homme et de ses troupeaux.

2. Cadre géographique : une topographie micro-insulaire très changeante

2.1. Cadre géographique actuel

L'archipel des Kerkennah se situe à une vingtaine de kilomètres de la côte tunisienne à la hauteur de Sfax. Il se compose de deux îles principales de 147 km² de superficie : l'île Gharbi (48 km²) au sud-ouest, et l'île Chergui (99 km²) au nord-est. Cette dernière est entourée d'une douzaine de petites îles et d'îlots assez proches. Ces îles satellites sont de superficies variées, les plus grandes îles étant Gremdi (196 ha), Roumadiya (167 ha), et Sefnou (53 ha) (Tableau 1). La structure géologique de l'archipel des Kerkennah est constituée par une épaisse formation d'argiles gypseuses datant de l'ère Tertiaire (Mio-Pliocène), surmontée soit par des

bancs peu épais de grès calcaire oolithique datant du Pleistocène supérieur, soit par une croûte calcaire villafranchienne (2,5 – 0,7 Ma) (Delteil, 1982).

L'archipel des îles Kneïss, composé de cinq petites îles et îlots, se situe à quelques encablures de la côte au sud de Maharès et au nord-est de la Skhira. Avec une superficie d'environ 440 hectares, l'île principale, El Bessila (ou Grande Kneïss), se démarque des quatre îlots (El Hajar, El Laboua, El Garbia Nord, El Garbia Sud) de surfaces très réduites, inférieures à un hectare (Tableau 1). Ces îles et îlots sont formés de grès marin typique de la formation Rjiche attribuée à l'Eutyrrhénien (environ 120 000 ans B.P.), dernier interglaciaire au cours duquel le niveau de la mer était supérieur à l'actuel d'une dizaine de mètres (Gueddari & Oueslati, 2002). L'ensemble de ces lambeaux de terre et leur vaste zone marine adjacente ont été inclus dans une Réserve naturelle de 5580 hectares environ, créée en 1993.

Ces deux archipels se caractérisent par une topographie très basse puisque ces lambeaux de terre n'émergent que de quelques mètres au-dessus des hauts-fonds présents dans la majeure partie du golfe de Gabès (Oueslati, 1995). Les précipitations annuelles moyennes avoisinent 200 mm par an, ce qui correspond à l'étage bioclimatique méditerranéen aride, sous-étage supérieur. Le régime saisonnier est du type AHPE et, aux Kerkennah, l'automne concentre 44,5 % du total pluviométrique annuel (Fehri, 2011). Pour les températures, la moyenne annuelle est d'environ 19°C, et les variations sont plus faibles que ceux du continent en raison de l'effet tampon joué par la mer.

2.2. Une configuration topographique bouleversée depuis l'Antiquité

Les recherches géo-archéologiques réalisées sur ces archipels démontrent les profonds changements dans l'étendue et la configuration de ces petites îles. Aux Kerkennah, les îles satellites n'étaient pas encore clairement détachées des deux îles principales il y a deux mille ans car, avec un niveau marin sans doute plus bas d'un à deux mètres, la topographie de l'archipel était bien différente (Slim et al., 2004). Ainsi, la majeure partie des hauts-fonds entourant les Kerkennah et situés actuellement entre 0 et -2 m était émergée dans l'Antiquité (Oueslati, 1995 ; Troussset, 2005). Plusieurs structures antiques submergées, parfois à plusieurs centaines de mètres de la ligne de rivage actuel, témoignent de cette remontée marine. Cette submersion importante, atteignant jusqu'à deux mètres depuis le début de notre ère, s'expliquerait surtout par une tendance à la subsidence active de la partie nord du Golfe de Gabès (Oueslati, 1995), exacerbée par la remontée générale du niveau marin depuis plus d'un siècle.

Un processus similaire a été mis en évidence dans l'archipel des Kneïss (Troussset, 2008). Les quatre îlots du sud, aujourd'hui entourés de très faibles profondeurs plus au moins découvertes par la marée, ne formaient encore au Moyen Âge qu'une île unique de forme allongée, abritant vers l'an 500 un édifice religieux assez important, le monastère de Fulgence de Ruspe, à l'emplacement de l'îlot actuel d'el Laboua (Troussset et al., 1992). D'après notre reconstitution basée sur l'isobathe -2 m, la superficie de la "paléo-île el Laboua" avoisinait alors 205 ha.

3. Matériel et méthodes

Au total, seize îles et îlots de la côte tunisienne orientale ont fait l'objet de prospections botaniques durant les deux missions de l'Initiative PIM : (i) onze des treize îles satellites des Kerkennah ont été inventoriées du 27 au 30 mars 2014 ; (ii) les cinq îles et îlots composant l'archipel des Kneïss ont été prospectés les 11 et 12 avril 2015. Chaque île a fait l'objet de prospections fouillées, effectuées en parcourant l'ensemble de la surface et en fonction des divers habitats recensés. On estime que plus de 90% de la flore vasculaire visible à cette

période de l'année a été échantillonné pour les îles de plus grande taille (Gremdi et Sefnou aux Kerkennah, et la Grande Kneiss), et que la totalité de la flore exprimée a pu être recensée sur les îlots de superficie plus réduite. Seule l'île de Roumadiya ne fut prospectée qu'en partie, mais un échantillonnage assez complet des divers habitats présents permet de dresser un inventaire sans doute représentatif de 75% de la diversité floristique de l'île.

La période d'inventaire a été adéquate sur le plan phénologique en raison des précipitations favorables survenues durant les hivers 2013-2014 et 2014-2015 qui ont occasionné une bonne expression de la flore vasculaire annuelle. Seuls les taxons de rang d'espèce ou de sous-espèce ont été considérés dans les inventaires et les bilans. Pour chacun des 301 taxons recensés au total dans ces seize îles ou îlots, a été distinguée sa prévalence écologique vis-à-vis de la salinité afin de calculer un taux relatif de glycophytes par île (Tableau 1).

4. Richesse floristique et aspect biogéographique

Les onze îles et îlots satellites des Kerkennah abritent 266 espèces ou sous-espèces de plantes vasculaires dont 257 taxons indigènes et 9 xénophytes au moins naturalisés, sur une superficie totale de 448,4 ha (Tableau 1). Cela correspond à 57% de la richesse floristique totale de l'archipel des Kerkennah sur seulement moins de 3% des terres émergées. Cette richesse se concentre sur les trois plus grandes îles (Gremdi, Roumadiya et Sefnou dont la superficie cumulée est de 415,8 ha) qui totalisent à elles seules 261 taxons. Une plus grande hétérogénéité de la relation aire-espèces se manifeste pour les îles de surface plus réduite : Lazdad (22 ha) ne comporte que 48 taxons, alors que Ramadiya (4 ha) moins affecté pour le moment par la remontée marine et dont le sol est moins salin totalise 53 taxons, et l'îlot Gharsa (1,6 ha) en recèle 43. Ces disparités s'expliquent par les variations topographiques et surtout pédologiques liées à l'influence de la salinité des sols. Lazdad, presque entièrement transformée en sebkhas où dominent les sansouires à salicornes, s'avère pauvre en espèces végétales.

Bien plus affectés historiquement par la remontée du niveau marin, les cinq îles et îlots des Kneïss ne comportent à l'heure actuelle que 75 espèces ou sous-espèces de plantes vasculaires sur une superficie terrestre cumulée d'environ 437 ha, soit une richesse 3,7 fois moindre que celle des petites îles Kerkennah. Cette diversité végétale se concentre sur l'île principale (El Bessila) qui comporte actuellement 74 taxons, mais de nombreux taxons cités par Chaieb (2003) n'ont pas été revus. Cependant, la richesse floristique de El Bessila reste faible comparativement à sa superficie. La monotonie du modelé topographique très bas de l'île explique la grande extension des sansouires et sebkas, et le turn-over floristique mesuré en une douzaine d'années (cf. infra). Les quatre îlots méridionaux, fortement altérés par la remontée marine depuis l'Antiquité, ne comportent plus que 12 taxons au total (Tableau 1), uniquement des halophytes ou des rudérales (*Arthrocnemum macrostachyum*, *Malva aegyptia*, *Mesembryanthemum nodiflorum*, *Suaeda vermiculata*, etc.)

Ces deux archipels occupent une position biogéographique intéressante, dans un secteur de transition caractérisé par la présence de végétaux d'origine nord-ouest méditerranéenne, sud-est méditerranéenne et saharienne. Le contingent des espèces sahariennes, en limite septentrionale de distribution, est le plus remarquable. Aux Kerkennah, il comporte 24 taxons dont 17 présents sur les îles et îlots satellites, tandis que les îles Kneïss, pourtant en situation plus méridionale, n'abritent que 11 taxons sahariens ou saharo-arabiques (Médail et al., 2015a, b).

Tableau 1. Caractéristiques topographiques, bilans de la richesse floristique (= nombre d'espèces et de sous-espèces de plantes vasculaires) et taux relatif de glycophytes (= nombre de végétaux non halophiles / nombre total de végétaux d'une île) pour les 16 îles et îlots satellites des archipels Kerkennah et Kneiss inventoriés durant les missions PIM de mars 2014 et avril 2015. Pour l'île El Bessila, le nombre entre parenthèses inclut aussi les taxons inventoriés par Chaieb (2003).

Île ou îlot	Surface (ha)	Altitude (m)	Richesse floristique totale	Richesse en xénophytes	Taux relatif de glycophytes
Archipel KERKENNAH					
Gremdi	196,2	3	187	8	0,44
Roumadiya	166,9	4	139	2	0,51
Sefnou	52,7	4	170	3	0,59
Lazdad	22,1	1	48	0	0,25
Ramadiya	4,1	2	53	0	0,39
El Oula	2,2	1	6	0	0
Gharsa	1,6	1	43	0	0,18
Jebliya	1,4	1	15	0	0
Kebliya	1	1	12	0	0
Hjar el Ouest	0,13	1	8	0	0,12
Chehimi	0,06	1	6	0	0
Archipel KNEISS					
El Bessila	436,2	7	74 (119)	1	0,43
El Garbia Sud	0,530	4	7	0	0
El Laboua	0,227	3	9	0	0
El Garbia Nord	0,191	3	6	0	0
El Hajar	0,017	3	3	0	0,33

5. Végétation actuelle et estimation de la végétation potentielle

La végétation dominante est formée de fourrés arbustifs bas composés de nombreuses espèces d'Amaranthacées (genres *Arthrocnemum*, *Atriplex*, *Halimione*, *Halocnemum*, *Salsola*, *Sarcocornia*, *Suaeda*, etc.). Ces formations uniformes et paucispécifiques de sansouires occupent les vastes étendues de sols argileux et marécageux salés, et recouvrent l'ensemble des petits îlots des Kneiss. En mosaïque avec ces formations, les zones ouvertes argileuses-sableuses sont occupées par des steppes salées pionnières d'halophytes annuelles (*Limonium avei*, *Frankenia pulverulenta*, *Salicornia europaea*, *Sphenopus divaricatus*, etc.). Dans les secteurs plus élevés, se développent des communautés herbacées xérophiles, dominées par les graminées comme le sparte (*Lygeum spartum*) ou *Stipa capensis*. Diverses autres types de végétations herbacées steppiques ont été individualisées sur les plus grandes îles satellites des Kerkennah (Médail et al., 2015a).

Mais quelle fût la végétation potentielle post-glaciaire des îles de Tunisie orientale, avant que l'action de l'homme et la remontée du niveau marin ne conduisent à des modifications sans doute irrémédiables de la structure et composition des communautés végétales non halophiles ? En l'absence de données paléoécologiques locales, la grande rareté des espèces ligneuses indigènes actuellement présentes sur les îles de Tunisie orientale rend délicate toute évaluation précise. Toutefois, en considérant que ces îles avaient autrefois une plus vaste superficie, il est raisonnable d'estimer qu'une végétation arbustive - voire arborée - à base de ligneux sclérophylles et xérophiles tels que *Lycium schweinfurthii*, *Periploca angustifolia*, *Rhus tripartita* ait pu se développer, tout comme à Djerba il y a 4200-4300 ans B.P. (Damblon & Vanden Berghen, 1993) ou jusqu'à présent dans la partie centrale de la grande île Kuriate en face de Monastir. En plus des changements du niveau marin qui vont affecter ces espèces ne tolérant pas le sel (glycophytes), les coupes et prélèvements récurrents de bois par l'homme

ont dû aussi profondément altérer les populations de ces phanérophytes caractéristiques des bioclimats aride et semi-aride au Maghreb.

Sur les îles satellites des Kerkennah, l'observation à Gremdi d'un unique individu rabougri de *Periploca angustifolia* et l'ancienne mention sur Roumadiya de quelques individus – non revus en mars 2014 – de *Rhus tripartita* suggèrent l'existence d'une végétation arbustive plus développée dans le passé et composée de ces deux arbustes caractéristiques, avec *Lycium schweinfurthii* qui reste encore assez commun sur les plus grandes îles. À ce stade, le lyciet représente l'un des derniers arbuste clé-de-voûte de cet écosystème steppique, en formant parfois de petits "fourrés de nucléation" qui facilitent la persistance d'autres espèces animales ou végétales abritées de la dent du troupeau.

Le cas de la présence ancienne du genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata*) reste plus hypothétique, car ce taxon n'est également pas mentionné sur les deux îles principales de l'archipel. Toutefois, certains végétaux indicateurs de ce que Le Houérou (1955) nomme la "végétation primitive" dans la région de Gabès, et qui serait une forêt xérophile à genévrier de Phénicie, sont bien présents sur les plus grandes îles satellites des Kerkennah : *Globularia alypum* (Sefnou), *Fumana thymifolia* (Gremdi et Sefnou), *Phagnalon rupestre* (Gremdi, Roumadiya et Sefnou). Ces taxons faisaient d'ailleurs partie du cortège du maquis à périploca et genévrier détruit et disparu sur l'île de Lampedusa (au nord-est des Kerkennah), il y a à peu près 150 ans (Pasta & La Mantia, 2004). En outre, une des rares études paléoécologiques disponibles sur les îles de Tunisie orientale montre, dans un dépôt tourbeux de l'île de Djerba, la présence de bois de *Juniperus phoenicea* et de *Pistacia lentiscus* datés de 4200-4300 BP (Damblon & Vanden Berghen, 1993) ; les spectres polliniques fossiles suggèrent la présence à cette période d'une formation pré-forestière ouverte à genévrier, filaire, lentisque, olivier, rhus et pin d'Alep, soit autant de ligneux méditerranéens qui n'existent plus de nos jours sur Djerba à l'état spontané. Selon Damblon et Vanden Berghen (1993), "*la disparition de ces végétations arbustives à Djerba est imputable aux effets cumulés négatifs des actions humaines et d'une dégradation climatique locale au cours de la seconde moitié de l'Holocène*". Remarquons aussi qu'un sondage palynologique effectué sur l'île de Pantelleria (Canal de Sicile), relativement proche des Kerkennah, montre encore la présence au Moyen Âge d'une formation forestière xérophile à genévrier de Phénicie, pistachier, chêne vert et olivier concomitante à la "période chaude médiévale" (MWP), et ce jusqu'aux environs de l'an 1000, avant que des conditions plus humides ne favorisent dans ce cas une végétation plus mésophile (Calò et al., 2013).

Ce faisceau de données régionales montre qu'il n'est pas exclu d'imaginer, au moins sur les plus grandes îles du Golfe de Gabès, la présence d'une formation forestière plus ou moins clairsemée de type juniperaie littorale, composée de divers ligneux sclérophylles, voire du pin d'Alep, qui auraient peuplé les affleurements les plus élevés sur les dalles calcaires des grandes îles. Ces formations arborées auraient été totalement décimées par l'action conjuguée de l'homme et de ses troupeaux, d'une péjoration climatique liée à la baisse des précipitations et de la remontée du biseau d'eau salée sur les vastes surfaces plus basses.

6. Impacts écologiques actuels et vulnérabilité de la diversité végétale face à l'élévation du niveau marin

6.1. Conséquences globales

Les conséquences écologiques de la remontée du niveau marin sur les îles de Tunisie orientale sont très marquées. Il se produit une salinisation des terres basses qui a pour origine la remontée du toit de la nappe phréatique de plus en plus salée, et les remontées capillaires liées à l'évaporation intense. Ces zones basses se transforment alors en *sebkhas*, dépressions

creusées par déflations hydro-éoliennes et abritant des formations arbustives plus ou moins clairsemées, dominées par les végétaux halophiles. La salinisation continue des biotopes terrestres a induit la progression des communautés végétales composées par les espèces halophiles (*Arthrocnemum*, *Limonium*, *Sarcocornia*, *Suaeda*, etc.) qui forment un pool régional de végétaux très abondants sur les côtes du Golfe de Gabès (Le Houérou, 1955). L'extrême raréfaction ou l'extinction locale des petits ligneux ou espèces herbacées thermo-xérophiles steppiques sur ces petites îles doit en partie s'expliquer par ces changements eustatiques.

Pour l'archipel kerkénien, une approche de télédétection conduite sur des images datant de 1984 et de 2011 montre bien la progression des surfaces de sebkhas qui ont augmenté d'environ 20% durant les trente dernières années (Etienne et al., 2012). Ces zones inondées par les eaux de ruissellements lors de la saison pluvieuse, ou par les intrusions marines, se dessèchent en été, en étant alors soumises à une déflation éolienne qui induit l'apparition de buttes sableuses (*nebkhas*) sur les marges. Le stade ultérieur est la progression des marais littoraux aux dépens des *sebkhas* et une indentation du littoral par des chenaux (Slim et al., 2004), processus très marqué sur la Grande Kneiss. En parallèle, s'observe une mortalité accrue des palmiers situés en bordure des sebkhas car le niveau piézométrique de la nappe phréatique salée est voisin de la surface du sol (Fehri, 2011) ; de fait, entre 1984 et 2011, les palmeraies et sols nus des Kerkennah ont régressé de 27%, soit un recul conséquent de 26 km² (Etienne et al., 2012).

Les projections futures des divers modèles de simulation climatique suggèrent une élévation significative du niveau marin mondial durant le XXI^e siècle (Church et al., 2013). Si l'on simule les conséquences d'une élévation marine d'un mètre pour l'archipel kerkénien, plus de la moitié des terres encore émergées seraient recouvertes par la mer (Figure 1). Ce phénomène entraînera une cascade supplémentaire de changements environnementaux et écologiques, et des conséquences délétères pour de nombreux compartiments de la biodiversité terrestre, notamment le contingent déjà très amoindri des végétaux steppiques.

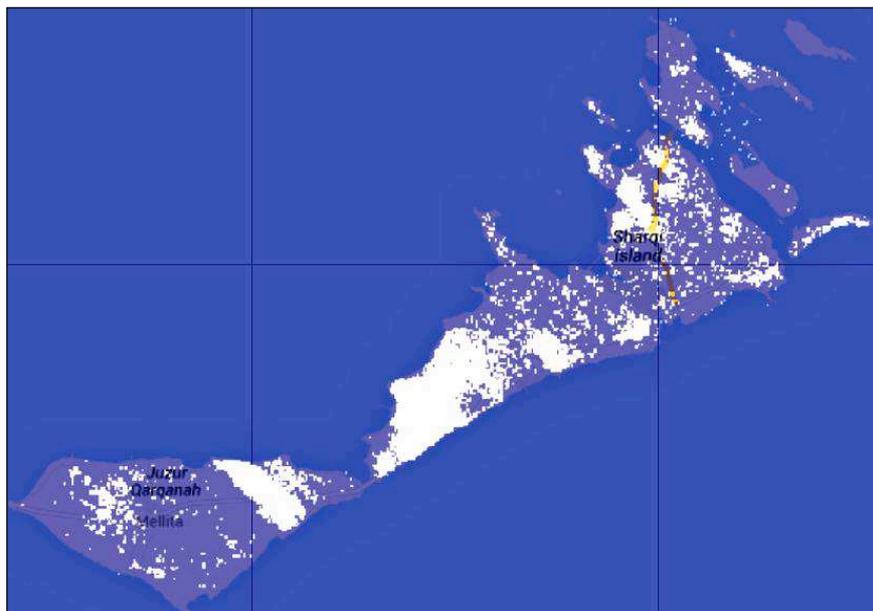


Figure 1. Modélisation de la physiographie possible des îles Kerkennah dans le cas d'une élévation de 1 mètre du niveau marin (F. Médail, d'après <http://flood.firetree.net/>) ; seuls les secteurs en blanc correspondraient aux terres restant émergées.

6.2. Vulnérabilité de la flore

La vulnérabilité définit la magnitude par laquelle un changement environnemental peut affecter un système écologique ; elle dépend non seulement de sa sensibilité mais aussi de son adaptabilité face à ces nouvelles conditions. Pour les îles de Tunisie orientale, il est bien délicat d'estimer la vulnérabilité des écosystèmes terrestres ou de leurs végétaux clé-de-voûte car très peu de travaux sont disponibles sur leurs capacités d'adaptation ou de résilience. Ainsi, l'index de vulnérabilité SIVVA mis au point par Reece et Noss (2013) pour les espèces menacées par l'augmentation du niveau marin n'est pas applicable faute de données disponibles. Nous avons ainsi simplement estimé pour chaque île le taux relatif de végétaux non halophiles (glycophytes) (Tableau 1). Le taux le plus élevé concerne deux des grandes îles (Roumadiya et Sefnou) des Kerkennah, et il reste assez important jusqu'à une surface de 4 ha (Ramadiya). En deçà de celle-ci, se manifeste la quasi-dominance des espèces halophiles ou halorésistantes, montrant que le "point de basculement écologique" vers des conditions généralisées de salinité est atteint, dans le cas de ces îlots plats et aux côtes basses. Remarquons que les quatre îlots méridionaux des Kneiss, actuels lambeaux de terre de moins d'un hectare total, n'abritent aucune glycophyte, hormis *Malva aegyptia*. Le bouleversement écologique survenu depuis 1500 ans, quand ils ne formaient qu'une seule vaste île d'environ 205 ha, a dû être considérable et prélude à ce qu'il pourrait advenir sur d'autres îles du golfe de Gabès soumises à la remontée du niveau marin.

Faute de données anciennes sur la diversité végétale de ces îles satellites, il n'est en général pas possible d'estimer précisément le *turn-over* de composition floristique pour chaque île. Toutefois, un profond *turn-over* floristique a été mis en évidence sur l'île El Bessila, en une douzaine d'année (2003–2015) (Médail et al., 2015b). En effet, 51 taxons cités par Chaieb (2003) n'ont pas été revus en 2015, tandis que 30 taxons recensés en avril 2015 n'avaient pas été inventoriés précédemment. Au final, seulement 36 taxons sont communs aux deux inventaires, soit seulement 30 % de la flore totale de l'île. Ce *turn-over* est principalement lié aux espèces annuelles (thérophytes) caractérisées par une grande stochasticité de développement sous conditions bioclimatiques arides, mais aussi à la raréfaction de plus en plus accentuée des espèces ligneuses. Il reste à analyser quelle est la part de la salinisation accrue des terres et celle des changements d'usage de terres par l'homme et ses troupeaux dans l'importante modification du cortège floristique d'El Bessila.

7. Conclusion

Depuis environ deux mille ans, la flore et la végétation des archipels Kerkennah et Kneiss ont été profondément altérées par la remontée du niveau marin qui a induit de spectaculaires changements dans les configurations topographiques insulaires. De plus, l'action multi-séculaire de l'homme et de ses troupeaux, sur des écosystèmes par nature fragile, a occasionné une exploitation généralisée des maigres ressources ligneuses locales, jusqu'à leur quasi épuisement. La spectaculaire expansion des communautés et espèces halophiles au sein des *sebkhas* explique la diminution du recouvrement des végétations thermo-xérophiles originelles. Les "points de basculements écologiques" identifiés sur ces îlots de topographie très plate et de moins de 4 ha de superficie, menacent aussi les plus grandes îles, comme le montre le cas de la Grande Kneiss. Malgré ces fortes altérations, résultant des conséquences environnementales et anthropiques, ces îles et îlots présentent un intérêt majeur pour la conservation de la biodiversité végétale du littoral est-tunisien, sérieusement menacée par ce changement global si rapide. Les résultats obtenus par ailleurs (Médail et al., 2015a, b) permettent d'appuyer une démarche en vue de la préservation durable de ce patrimoine naturel original qui devrait jouer un rôle de pivot dans une stratégie de conservation de la biodiversité littorale à l'échelle du golfe de Gabès.

8. Remerciements

Ce travail résulte des missions d'inventaires de la biodiversité des îles et îlots de Tunisie orientale, financées et organisées par l'Initiative pour les Petites îles de Méditerranée (Initiative PIM) du Conservatoire du littoral (France), avec la coopération de l'Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral (APAL, Tunisie).

Nous remercions particulièrement Sami Ben Haj, Fabrice Bernard, Céline Damery et Vincent Rivière (Initiative PIM), ainsi que Anis Zarrouk et Morsi Feki (APAL) pour l'organisation efficace de ces missions de terrain effectuées en mars 2014 et avril 2015.

9. Bibliographie

- Bellard C., Leclerc C. & Courchamp F., 2014 : Impact of sea level rise on the 10 insular biodiversity hotspots. *Global Ecology and Biogeography*, **23**, 203-212.
- Becker M., Karpytchev M. & Lennartz-Sassinek S., 2014 : Long-term sea level trends: Natural or anthropogenic? *Geophysical Research Letters*, **41**, 5571-5580.
- Blondel, J. 2008 : On humans and wildlife in Mediterranean islands. *Journal of Biogeography*, **35**, 509-518.
- Calò C., Henne P.D., Eugster P., van Leeuwen J., Gilli A., Hamann Y., La Mantia T., Pasta S., Vescovi E. & Tinner W., 2013 : 1200 years of decadal-scale variability of Mediterranean vegetation and climate at Pantelleria Island, Italy. *The Holocene*, **23**, 1477-1486.
- Cazenave A., Dieng H.-B., Meyssignac B., von Schuckmann K., Decharme B. & Berthier E., 2014 : The rate of sea-level rise. *Nature Climate Change*, **4**, 358-361.
- Chaieb M., 2003 : *Caractéristiques floristiques des Iles Kneïss*. Projet de préservation de la biodiversité dans la Réserve naturelle des Iles Kneïss. Projet de micro financement TUN/98/G52/13. Rapport APNES, GEF & UNDP, 38 p.
- Church J.A. & White N.J., 2011 : Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. *Surveys in Geophysics*, **32**, 585-602.
- Church J.A., Clark P.U., Cazenave A. *et al.*, 2013 : Sea level change. In : Stocker T.F. *et al.* (eds.). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1135-1216.
- Courchamp F., Hoffmann B.D., Russell J.C., Leclerc C. & Bellard C., 2014 : Climate change, sea-level rise, and conservation: keeping island biodiversity afloat. *Trends in Ecology & Evolution*, **29**, 127-130.
- Damblon F. & Vanden Berghen C., 1993 : Etude paléo-écologique (pollen et macrorestes) d'un dépôt tourbeux dans l'île de Djerba, Tunisie méridionale. *Palynosciences*, **2**, 157-172.
- Delteil J., 1982 : Le cadre néotectonique de la sédimentation plio-quadernaire en Tunisie centrale et aux îles Kerkennah. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7^{ème} série, **24**, 187-193.
- Etienne L., Dahech S., Beltrando G. & Daoud A., 2012 : Dynamiques récentes des sebkas littorales de l'archipel des Kerkennah (Tunisie centro-méridionale) : apport de la télédétection. *Revue Télédétection*, **11**, 273-281.
- Fehri N., 2011 : La palmeraie des îles Kerkennah (Tunisie), un paysage d'oasis maritime en dégradation : déterminisme naturel ou responsabilité anthropique ? *Physio-Géo*, **5**, 167-189.
- Gueddari M. & Oueslati A., 2002 : Le site des Kneïss, Tunisie : géomorphologie et aptitudes à l'aménagement. In : Scapini F. (ed.), *Recherche de base pour une gestion durable des écosystèmes sensibles côtiers de la Méditerranée*. Istituto Agronomico per l'Oltremare, pp. 63-71.
- Le Houérou H.-N., 1955 : Contribution à l'étude de la végétation de la région de Gabès. Notice détaillée de la carte des groupements végétaux de Gabès-Sidi Chemmakh. *Annales du Service botanique et agronomique de Tunisie*, **28**, 141-179 + 7 planches et 1 carte h.-t.
- Médail F., 2013 : The unique nature of Mediterranean island floras and the future of plant conservation. In : Cardona Pons E., Estaún Clarisó I., Comas Casademont M. & Fraga i Arguimbau P. (eds.). *Islands and plants: preservation and understanding of flora on Mediterranean islands. 2nd Botanical Conference in Menorca*. Recerca 20. Consell Insular de Menorca. Institut Menorquí d'Estudis. Maó (Menorca), pp. 325-350.
- Médail F., Pasta S. & Chaieb M., 2015a : *Flore et végétation des îles et îlots satellites de l'archipel des*

- Kerkennah (Tunisie orientale). Bilan de la biodiversité végétale terrestre, impacts environnementaux et recommandations de gestion.* Note naturaliste PIM, Aix-en-Provence, 66 p. [www.initiative-pim.org/sites/default/files/fichier/documents/0000304W.pdf]
- Médail F., Charrier M., Charrier L. & Chaieb M., 2015b : *Flore et végétation des îles Kneiss (Tunisie sud-orientale). Bilan de la biodiversité végétale terrestre, impacts environnementaux et recommandations de gestion.* Note naturaliste PIM, Aix-en-Provence, in prep.
- Oueslati A., 1995 : *Les îles de la Tunisie. Paysages et milieux naturels.* Centre d'Etudes et de Recherches Economiques et Sociales (CERES). Série géographique, n° 10, Tunis, 368 p.
- Pasta S. & La Mantia T., 2004 (2003) : Note sul paesaggio vegetale delle isole minori circumsiciliane. II. La vegetazione pre-forestale e forestale nelle isole del Canale di Sicilia. *Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali*, **52**, 77-124.
- Paskoff R. & Sanlaville P., 1983 : *Les côtes de la Tunisie. Variations du niveau marin depuis le Tyrrhénien. Travail réalisé dans le cadre de l'ERA 345 du CNRS.* Collection de la Maison de l'Orient et de la Méditerranée, 14. Série géographique et préhistorique, 2. Maison de l'Orient, Lyon, 192 p.
- Pirazzoli P.A., 1986 : Secular trends of relative sea level (RSL) changes indicated by tide-gauge record. *Journal of Coastal Research*, special issue, **1**, 1-26.
- Reece J.S. & Noss R.F., 2013 : Prioritizing species by conservation value and vulnerability: A new index applied to species threatened by sea-level rise and other risks in Florida. *Natural Areas Journal*, **34**, 31-45.
- Rick T.C., Kirch P.V., Erlandson J.M. & Fitzpatrick S.M., 2013 : Archeology, deep history, and the human transformation of island ecosystems. *Anthropocene*, **4**, 33-45.
- Slim H., Troussset P., Paskoff R. & Oueslati A., 2004 : *Le littoral de la Tunisie. Étude géoarchéologique et historique.* CNRS Editions, Paris, 308 p.
- Troussset P., 2005 : Kerkena/Kerkennah (îles). In : *Encyclopédie berbère*, vol. 27 (Kairouan – Kifan Bel Ghomari). Edisud, Aix-en-Provence, pp. 4159-4166. [URL : <http://encyclopedieberbere.revues.org/1338>]
- Troussset P., 2008 : Kneiss (îles). In : *Encyclopédie berbère*, vol. 28-29 (Kirtēsii – Lutte). Edisud, Aix-en-Provence, pp. 4251-4254. [URL : <http://encyclopedieberbere.revues.org/99>]
- Troussset P., Slim H., Paskoff R. & Oueslati A., 1992 : Les îles Kneiss et le monastère de Fulgence de Ruspe. *Antiquités africaines*, **28**, 223-247.
- Wetzel F.T., Beissmann H., Penn D.J. & Jetz W., 2013 : Vulnerability of terrestrial island vertebrates to projected sea-level rise. *Global Change Biology*, **19**, 2058-2070.