

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

1. KHALDIA ZERROUKI

2. WAHIDA BOUDALI

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN HYDROBIOLOGIE MARINE ET CONTINENTALE

Spécialité: (Bioressources Marines) ou (Ressources Halieutiques)

THÈME

*Suivi de l'étendue d'eau du site Ramsar de la zone
humide des marais de la Macta*

DEVANT LE JURY

Président	M ^{me} BENAMAR Nardjess	Professeur	U. Mostaganem
Encadreur	M. TAIBI Nasr-Eddine	Professeur	U. Mostaganem
Examinatrice	M ^{elle} . OULHIZ Aicha	MCB	U. Mostaganem
Co-encadreur	M. FARAH Tahar	MAA	U. Mostaganem

Thème réalisé au Laboratoire de Pédologie (Université de Mostaganem)

Année universitaire 2019/2020

Remerciement

Après avoir rendu grâce a Dieu le tout puissant et le miséricordieux nous tenons a remercier vivement tout ceux qui, de près ou de loin ont participé à la rédaction de ce document, il s'agit plus particulièrement de :

1. Le professeur, encadreur monsieur Taibi Nasr-Eddine,
2. Le maitre assistant, enseignant chercheur et co-encadreur, monsieur Farah Tahar,

pour la qualité de l'enseignement qu'ils m'ont prodigués au cours de ces trois années passées au sein du département des sciences de la mer et de l'aquaculture, à la faculté des sciences de la nature et de la vie - Université de Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem.

Nous remercie aussi l'ensemble des nos proches qui nous ont soutenu durant la réalisation de ce présent travail.

Nous remercions également les familles **BOUDALI** et **ZEROUKI**

Résumé

Les zones humides sont des espaces à forts enjeux écologique, économique et social. En Méditerranée, elles présentent de fortes spécificités et couvrent 18,5 ($\pm 3,5$) millions d'hectares ce qui correspond à 1,5 % des zones humides de la planète. L'Algérie compte plus de 1 500 zones humides dont 50 sont déjà classées en sites Ramsar entre 1982 et 2011 par la direction générale des Forêts. Leur superficie totale est estimée à près de trois (03) millions d'hectares. Au nord ouest du pays, se localise la *zone humide des marais de la Macta*, classée comme étant un écosystème spécifique du littoral Ouest algérien. Après identification, cette zone humide a été intégrée dans la liste mondiale des sites Ramsar d'importance internationale. La présente étude avait pour objectif d'apprécier ses valeurs physiques, écologiques et environnementales. À l'aide d'outils de la géomatique, nous avons réalisé un diagnostic diachronique relevant des périodes de référence 1958, 2015 et 2020 pour la partie Est de la Macta, localisée dans la Wilaya de Mostaganem. La zone couvre 37 km² soit 7% de la surface totale de la grande Macta (532.5 km²). L'approche utilisée a nécessité l'exploitation de plusieurs données multisources (cartes topographiques et thématiques de l'année 1952, 1958, 1985 et 2008, images satellites de 2015 à 2020 fournies par Landsat-8 et Sentinel-2, NDVI et NDWI, Google Earth Pro (2020), Bing de Microsoft (2018), données de *Corine Land Cover*, *OpenStreetMap* et fiches descriptives Ramsar et validation terrain). L'application des méthodes se basant sur le système d'information géographique (SIG) et de télédétection ont permis d'établir une cartographie validée à 97% à partir de laquelle plusieurs indices ont été générés et analysés. L'analyse a montré qu'entre 1958 et 2020, une surface totale de 6.5 km² correspondant à 18% de la surface totale du site étudié a été impactée par le changement spatiotemporel survenu en 62 ans. Les forêts et la végétation halophile sont les plus impactées ; elles ont perdu respectivement 3.4 km² et 3.1 km². Les pertes en surfaces ont été converties en eau de surface (libre) s'étendant sur 3.1 km², en milieux agricoles (1.69 km²) et en milieux urbanisés (1.7 km²). Pour l'agriculture, 5.30 km² de cultures et 3.29 km² de viticulture ont été converties en cultures maraichères irriguées (sous serre et en plein air) et vergers arboricoles (oliviers et agrumes). Pour l'eau de surface (libre), la surface totale des plans d'eau temporaires cartographiée par satellites est passée de 4.1 km² en 2015 à 0.9 km² en 2020, soit une régression de 3.2 km² en 5 ans, ce qui correspond à une perte moyenne annuelle de 0.64 km² (64 ha/an). Cela montre que la surface et la durée d'inondation ont été réduites. Cette évolution s'explique par l'effet naturel lié principalement aux nouvelles conditions climatiques et anthropiques. Les résultats obtenus apportent donc une base de données actuelle, à jour et utile à la gestion, l'aménagement et la prise de décision afin d'assurer la conservation et la préservation de ce milieu dont l'équilibre écologique est très fragile.

Mots clés : zone humide, Ramsar, étendue d'eau, télédétection, SIG, Macta, Algérie.

Abstract

Wetlands are areas with high ecological, economic and social stakes. In the Mediterranean, they have strong specificities and cover (18.5 (\pm 3.5) million hectares, which corresponds to 1.5% of the world's wetlands. Algeria has more than 1,500 wetlands, 50 of which have already been classified as Ramsar sites, between 1982 and 2011 by the Directorate General of Forests. Their total surface area is estimated at nearly three (03) million hectares (2,991,013.00 ha). In the northwest of the country, the Macta Marshes wetland is located, classified as a specific ecosystem on the west coast of the country, qualifying it to be identified and included in the world list of Ramsar sites of international importance. The objective of this study is to assess its physical, biological, ecological and environmental values. Using the tools of geomatics, we carried out a diachronic diagnosis referring to the reference periods 1958, 2015 and 2020 for the eastern part of the Macta belonging to Mostaganem. The zone covers 37 km² or 7% of the total surface area of Grande Macta (532.5 km²). The approach used required the exploitation of several multisource data (topographic and thematic maps "1952, 1958, 1985 and 2008", satellite images "2015 to 2020 provided by Landsat-8 and Sentinel-2, NDVI and NDWI, Google Earth Pro (2020), Microsoft Bing (2018), Corine Land Cover data, OpenStreetMap and Ramsar data sheets and field validation). The application of GIS and remote sensing methods produced a 97% valid map from which several indices were managed and analyzed. The analysis showed that between 1958 and 2020 a total surface area of 6.5 km² or 18% of the total surface area of the site studied (37 km²) was impacted by the spatial and temporal change that occurred in 62 years. Forests and halophilic vegetation are the most impacted, they have lost respectively 3.4 km² and 3.1 km². Surface losses have been converted into "free" surface water (3.1 km²), agricultural (1.69 km²) and urbanized (1.7 km²) water. For agriculture, 5.30 km² of cultivated land and 3.29 km² of farmland have been converted into irrigated market gardening (greenhouse and open air) and tree orchards (olive and citrus trees). For surface (free) water, the total surface area of temporary water bodies mapped by satellites has decreased from 4.1 km² in 2015 to 0.9 km² in 2020, a regression of 3.2 km² in 5 years, which corresponds to an average annual loss of 0.64 km² (64 ha/year). This shows that the area and duration of flooding have been reduced. This evolution can be explained by the natural effect mainly related to new climatic conditions and anthropogenic factors linked to agriculture, livestock farming and urbanization. The results obtained therefore provide a current, up-to-date and useful database for management, planning and decision-making to ensure the conservation and preservation of this ecologically balanced environment.

Keywords: wetland, Ramsar, water body, remote sensing, GIS, Macta, Algeria.

ملخص : (الي اللغة العربية): الأراضي الرطبة هي مناطق ذات تحديات بيئية واقتصادية واجتماعية قوية. في البحر الأبيض المتوسط ، يقدمون خصائص قوية ويغطي (18.5 ± 3.5) مليون هكتار ، وهو ما يعادل 1.5 ٪ من الأراضي الرطبة في العالم. يوجد في الجزائر أكثر من 1500 منطقة رطبة ، تم تصنيف 50 منها بالفعل على أنها مواقع رامسار ، بين عامي 1982 و 2011 من قبل المديرية العامة للغابات، تقدر مساحتها الإجمالية بحوالي ثلاثة (03) ملايين هكتار (2,991,013.00 هكتار). في الشمال الغربي من البلاد ، تقع الأراضي الرطبة في مستنقعات المقطع ، مصنفة كنظام بيئي محدد على الساحل الغربي للبلاد ، مما يؤهلها باعتبارها مدرجة في القائمة العالمية لمواقع رامسار. هدف دراستنا الحالية إلى تقييم قيمها الفيزيائية والبيولوجية والبيئية. باستخدام أدوات الجيوماتكس ، أجرينا تشخيصًا غير متزامن يشير إلى الفترات المرجعية 1958 و 2015 و 2020 للجزء الشرقي من مكا الذي ينتمي إلى مستغانم. تغطي المنطقة 37 كم² أي 7 ٪ من إجمالي مساحة المقطع (532.5 كم²). تطلب النهج المستخدم استخدام العديد من البيانات متعددة المصادر (الخرائط الطبوغرافية والمواضيعية "1952 و 1958 و 1985 و 2008" ، صور الأقمار الصناعية "2015 إلى 2020 المقدمة من Landsat-8 و Sentinel-2 و NDVI و NDWI و Google Earth Pro و (2020) Bing من 2018) Microsoft ، بيانات من صحائف الوقائع Corine Land Cover و OpenStreetMap و Ramsar (والتحقق الميداني). تاح تطبيق أساليب نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد إنتاج خريطة صالحة بنسبة 97٪ تم من خلالها إدارة وتحليل العديد من المؤشرات. أظهر التحليل أنه بين عامي 1958 و 2020 ، تأثرت مساحة إجمالية قدرها 6.5 كم² أي 18٪ من إجمالي مساحة موقع الدراسة (37 كم²) بالتغير الزمني المكاني الذي حدث في 62 عامًا. تعتبر الغابات والنباتات المحبة للملوحة هي الأكثر تضررًا ، فقد فقدت 3.4 كم² و 3.1 كم² على التوالي. تم تحويل الفاقد السطحي إلى مياه سطحية "حرة" (3.1 كم²) ، في البيئات الزراعية (1.69 كم²) وفي المناطق الحضرية (1.7 كم²). بالنسبة للزراعة ، تم تحويل 5.30 كم² من المحاصيل و 3.29 كم² من زراعة الكروم إلى زراعة الحدائق المسقية والبساتين (أشجار الزيتون والحمضيات). بالنسبة للمياه السطحية ، انخفض إجمالي مساحة المسطحات المائية المؤقتة التي تم كشفها بواسطة الأقمار الصناعية من 4.1 كم² في عام 2015 إلى 0.9 كم² في عام 2020 ، أي انخفاض قدره 3.2 كم² في 5 سنوات ، وهو ما يتوافق مع معدل الخسارة السنوية 0.64 كم² (64 هكتار/ سنة). هذا يدل على أن مساحة ومدة الفيضانات قد انخفضت، يفسر هذا التطور من خلال التأثير الطبيعي المرتبط بشكل أساسي بالظروف المناخية والبشرية المرتبطة بالزراعة ، تربية الماشية والتعمير. النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة تشكل قاعدة بيانات حديثة ومفيدة للإدارة ، التطوير واتخاذ القرارات الناجمة من أجل الحفاظ على منطقة المقطع الرطبة.

الكلمات المفتاحية: المناطق الرطبة ، موقع رامسار ، المسطح المائي ، الاستشعار عن بعد ، الأنظمة المعلوماتية الجغرافية ، الجزائر .

Tables des matières

Chapitre I: Synthèse bibliographique.....	4
1 Hydrologie	4
1.1 Introduction	4
1.2 Origine des eaux	4
1.3 Cycle des eaux.....	4
1.4 Qualité des eaux.....	4
1.5 Réseaux hydrographique	5
1.6 Conclusion sur l'hydrologie.....	6
2 Classement des zones humides.....	6
2.1 Définition.....	6
2.2 Critères de classement des zones humides	8
2.2.1 Groupe A des critères Sites contenant des types de zones humides représentatifs, rares ou uniques.....	8
2.2.2 Groupe B des critères Sites d'importance internationale pour la conservation de la diversité biologique	8
2.2.2.1 Critères tenant compte des espèces ou des communautés écologiques.	8
2.2.2.2 Critères spécifiques tenant compte des oiseaux d'eau	9
2.2.2.3 Critères spécifiques tenant compte des poissons	9
2.2.2.4 Critères spécifiques tenant compte d'autres taxons	9
2.3 Répartition géographique des zones humides	9
2.3.1 A l'échelle globale	9
2.3.2 A l'échelle régionale	10
2.3.3 A l'échelle nationale.....	11
2.3.4 A l'échelle locale.....	14
2.3.5 Conclusion	15
2.4 Causes de dégradation des zones humides	16
2.4.1 Causes d'origine naturelle	16
2.4.2 Causes d'origine humaine (anthropique)	16
2.4.2.1 Pressions de types agricoles	17
2.4.2.2 Pressions de types industriels et urbains	17

2.5	Rôles des zones humides	18
2.6	Conclusion.....	18
Chapitre II: Approche méthodologique		20
2.1	Matériels.....	20
2.2	Application des méthodes SIG	21
2.2.1	Présentation de la zone d'étude (Marais de la Macta)	21
2.2.1.1	Localisation géographique	22
2.2.1.2	Localisation administrative	23
2.2.2	Caractéristiques topographiques (milieu marin de proximité)	27
2.2.2.1	Zone du littoral.....	27
2.2.2.2	Conclusion sur le milieu marin de proximité.....	28
2.2.3	Caractéristiques topographiques (milieu continental)	28
2.2.3.1	Orographie	28
2.2.3.2	Hypsométrie	29
2.2.4	Calcul des indices topographiques.....	31
2.2.4.1	Pentes du terrain.....	31
2.2.4.2	Expositions du terrain	33
2.2.5	Ressources en eau	35
2.2.6	Réseau hydrographique	35
2.2.7	Géologie et lithologie	38
2.2.8	Ressources en sols	41
2.2.9	Voies d'accès.....	43
2.2.10	Milieu biotique.....	45
2.2.10.1	Habitats naturels terrestres (agricoles).....	47
2.2.10.2	Elevage.....	48
2.2.11	Habitats naturels terrestres (forêts)	48
2.2.12	Habitats humides naturels (végétation halophile).....	49
2.2.13	Habitats humides naturels (surfaces d'eau libre).....	50
2.2.14	Milieus artificiels.....	50
2.2.14.1	Réseaux routiers et ferroviaires.....	50
2.2.14.2	Milieus urbanisés	52
2.2.15	Conclusion	53
2.2.16	Milieu socio-économique.....	53
2.3	Utilisation des données météorologiques.....	56

2.3.1	Facteurs thermiques (température)	56
2.3.2	Facteurs hydriques (précipitation)	56
2.3.3	Facteurs mécaniques (vent)	57
2.3.4	Conclusion sur le climat	57
2.4	Conclusion sur le physique	57
2.5	Application des méthodes de la télédétection.....	59
2.5.1	Caractéristiques techniques des capteurs utilisés	59
2.5.2	Méthodes de traitement des images satellites	62
2.5.2.1	Composition colorée et fusion des bandes multispectrales.....	62
2.5.2.2	Correction géométrique et radiométrique	62
2.5.2.3	Interprétation des images satellites	65
2.5.2.4	Segmentation des images satellites	65
2.5.2.5	Application de la nomenclature des classes d'occupation du sol.....	66
2.5.2.6	Création des zones d'entraînement au sol	66
2.5.2.7	Calcul des indices spectraux	66
2.5.2.8	Application de l'algorithme adapté et classification des images satellites	71
2.5.2.9	Cartographie de l'occupation et de la couverture des sols	71
2.5.2.10	Cartographie de l'inondation de la zone humide.....	71
2.5.2.11	Post- classification et validation sur le terrain	72
Chapitre III : Résultats et discussions		75
3.1	Résultats graphiques et statistiques.....	75
3.1.1	Occupation et couverture des sols entre 1958 et 2020	75
3.1.2	Evolution entre 1958 et 2020 de l'occupation et de la couverture du sol	79
3.1.3	Dynamique de l'inondation de la zone humide entre 2015 et 2020.....	81
3.1.3.1	Niveau d'inondation de la zone en 2015	81
3.1.3.2	Niveau d'inondation de la zone en 2020	83
3.1.4	Evolution entre 2015 et 2020 de l'inondation de la zone.....	84
3.2	Discussion	85
3.2.1	Traitement des images satellites	86
3.2.2	Analyse de l'évolution entre 1958 et 2020 de l'occupation du sol.....	86
3.2.2.1	Surfaces impactées par le changement entre 1958 et 2020.....	87
3.2.2.2	Diminution des superficies des habitats naturels terrestres	87
3.2.2.3	Conversion des habitats naturels terrestres en milieux agricoles.....	88
3.2.2.4	Conversion des vocations agricoles	88

3.2.2.5 Conversion des habitats naturels terrestres en milieux artificialisés.....	88
3.2.2.6 Variation des superficies des habitats humides naturels (surfaces d'eau).....	89
3.2.3 Analyse de la dynamique de l'inondation de la zone entre 2015 et 2020	90
Chapitre IV : Conclusion générale.....	92
4.1 Suggestion et recommandations.....	95
Références bibliographiques	98
Annexes.....	104

Liste des figures

Fig. 1: Répartition des zones humides (en %) dans le monde (d'après Davidson et al., 2018).....	10
Fig. 2: Localisation de la zone humide des marais de la Macta - Nord Ouest algérien (D'après Ghodbani T. et Amokrane K., 2013) source : Cartes INC Sig et Mohammadia au 1/50 000 (INC, 2010)	15
Fig. 3: Localisation géographique de la zone d'étude adaptée sur image Bing Microsoft (2018) (d'après Farah et al., 2020).	22
Fig. 4: Situation géographique de la zone d'étude.	23
Fig. 5: Situation administrative du site Ramsar de la zone humide des Marais de la Macta (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).	24
Fig. 6: Carte des surfaces administratives et de zone tampon du site Ramsar de la zone humide des marais de la Macta (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).	26
Fig. 7: Carte de localisation géographique et administrative de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).	27
Fig. 8: Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem). (adapté sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).	29
Fig. 9: Carte hypsométrique de la zone humide des marais de la Macta (Wilaya de Mostaganem), (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).	30
Fig. 10: Carte de pentes de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).	32
Fig. 11: Carte d'expositions de terrain de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).	34
Fig. 12: Carte du réseau hydrographique de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).	36
Fig. 13: Schéma de synthèse et d'analyse topographique utilisé	38
Fig. 14: Carte géologique de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap (OSM)) (D'après Farah et al., 2020).	40
Fig. 15: Carte des sols de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).	42
Fig. 16: Carte des voies d'accès de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).	44
Fig. 17: Carte de l'occupation des sols de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).	45
Fig. 18: Photos prises le 03.06.2020 sur les habitats humides naturels terrestres observés sur le terrain (clichés: Zerouki et Boudali, 2020).	47
Fig. 19: Photos prises le 03.06.2020 sur les habitats naturels agricoles (ex. verger d'oliviers: oliveraie) (clichés: Zerouki et Boudali, 2020).	48
Fig. 20: Photos prises le 03.06.2020 sur les habitats naturels terrestres (groupements de Tamarix et Retam) (clichés: Zerouki et Boudali, 2020).	50
Fig. 21: Photos prises le 03.06.2020 sur les habitats humides naturels et terrestres (cratère rempli d'eau permanente) (clichés: Zerouki et Boudali, 2020).	50

Fig. 22: Photos prises le 03.06.2020 sur les habitats naturels convertis en infrastructures routières, ferroviaires, équipements hydrauliques et espaces associés (clichés: Zerouki et Boudali, 2020).	52
Fig. 23: Photos prises le 03.06.2020 sur les habitats naturels convertis en zones urbanisées (clichés: Zerouki et Boudali, 2020).	53
Fig. 24: Histogramme de répartition des précipitations moyennes mensuelles enregistrées durant la période (2003-2014).....	57
Fig. 25: Composition colorée des bandes spectrales des images saisonnières (hiver) acquises par Landsat-8 et Sentinel-2.	63
Fig. 26: Composition colorée des bandes spectrales des images saisonnières (printemps) acquises par Landsat-8 et Sentinel-2.	63
Fig. 27: Composition colorée en fausse couleur des bandes spectrales des images saisonnières (été) acquises par Landsat-8 et Sentinel-2.....	64
Fig. 28: Composition colorée des bandes spectrales des images saisonnières (automne) acquises par Landsat-8 et Sentinel-2.	64
Fig. 29: Images de l'indice de végétation calculés à partir des images de référence (2015).....	68
Fig. 30: Images de l'indice de végétation calculés à partir des images récentes (2020).	69
Fig. 31: Image de l'indice de l'eau de surface (NDWI) calculé à partir des images de référence (2015).	70
Fig. 32: Image de l'indice de l'eau de surface (NDWI) calculé à partir des images récentes (2020). ..	70
Fig. 33: Points de validation sur le terrain des classes <i>CLC</i> d'occupation et de couverture des sols de la zone humide des marais de la macta de Mostaganem (adaptée sur image Bing Microsoft).	73
Fig. 34: Carte de l'occupation des sols de la zone humide des marais de la Macta de Mostaganem (1958) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM").	76
Fig. 35: Carte de l'occupation des sols de la zone humide des marais de la Macta de Mostaganem (2020) (adaptée sur OpenStreetMap "OSM").	77
Fig. 36: Histogramme de l'évolution entre 1958 et 2020 de l'occupation des sols de la zone humide des marais de la Macta de Mostaganem.....	80
Fig. 37: Carte de l'inondation de la zone humide des marais de la Macta de Mostaganem (2015) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OMS").....	82
Fig. 38: Carte de l'inondation de la zone humide des marais de la Macta de Mostaganem (2020) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OMS").....	83
Fig. 39: Histogramme de l'évolution entre 2015 et 2020 de l'inondation de la zone humide des marais de la Macta de Mostaganem.	85
Fig. 40: Localisation de déssalement de l'eau de mer et la sablière à proximité de la zone.	89

Liste des tableaux

Tab. 1: Caractéristiques des types de zones humides selon la classification Ramsar (d'après Ramsar, 2007a).....	6
Tab. 2: Liste des zones humides d'importance internationale en Afrique (D'après J. Skinner, N. Beaumond et J-Y. Pirot, 1994).....	11
Tab. 3: Pourcentage et surface des marais de la Macta par wilaya.....	25
Tab. 4: Pourcentage et surfaces des classes d'altitudes de la zone de la Macta (wilaya de Mostaganem).....	30
Tab. 5: Surfaces et pourcentage des classes d'Expositions de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem).....	34
Tab. 6: Ressources en eau dans le bassin versant de la Macta (D'après Beddal D., 2016).....	35
Tab. 7: Longueur et pourcentage de l'ordre d'écoulement du réseau hydrographique de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem).....	37
Tab. 8: Surfaces et pourcentage des formations géologiques de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem).....	40
Tab. 9: Surfaces et pourcentage des types de sols de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem).....	42
Tab. 10: Liste des familles floristiques remarquables de la zone humide de la Macta (d'après Souidi Z., 2016).....	49
Tab. 11: Répartition de la population de la wilaya de Mostaganem occupée par secteur d'activité (source: ANAT, 2010).....	53
Tab. 12: Répartition de la population de la wilaya de Mostaganem occupée par secteur d'activité (source: ANAT, 2010).....	55
Tab. 13: Températures moyennes mensuelles et annuelle (2003-2014).....	56
Tab. 14: Pluviométries moyennes mensuelles et annuelles enregistrées pendant la période (2003-2014).....	56
Tab. 15: Correspondance entre les bandes spectrales des capteurs de satellites utilisés (d'après El Atilah A., El Morjani Z-EA., Souhassou M., 2018).....	60
Tab. 16: Liste des images satellites utilisés (Landsat-8 et Sentinel-2).....	60
Tab. 17: noms et équations des indices spectraux utilisés dans la classification des images satellites (d'après Taconet p., 2019).....	67
Tab. 18: Surfaces et pourcentage des unités d'occupation du sol de la zone humide de la Macta de Mostaganem (1958).....	76
Tab. 19: Surfaces et pourcentage des classes <i>CLC</i> d'occupation du sol de la zone humide de la Macta de Mostaganem (2020).....	78
Tab. 20: Evolution entre 1958 et 2020 de l'occupation et de la couverture du sol de la zone humide des marais de la Macta de Mostaganem.....	79
Tab. 21: Surface et pourcentage des classes d'inondation de la zone humide de la Macta de Mostaganem (2015).....	82
Tab. 22: Surface et pourcentage des classes d'inondation de la zone humide de la Macta de Mostaganem (2020).....	83

Tab. 23: Evolution entre 2015 et 2020 de l'inondation de la zone humide des marais de la macta de Mostaganem.	84
Tab. 24: Points de validation sur le terrain des classes CLC d'occupation et de couverture des sols de la zone humide des marais de la Macta.	104

liste des abréviations

ANAT: Agence Nationale d'Aménagement du Territoire

BNEDER: Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural,

CW: Chemin de Wilaya

DGF : Direction Générale des Forêts

DSA : Direction des Services Agricoles

GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat

IFN: Inventaire Forestier National,

MAATE: Ministère Algérien de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement

MAO: Mostaganem- Arzew et Oran

MNT: Modèle Numérique de Terrain

OZHM : Observatoire des Zones Humides Méditerranéennes

OSM: OpenStreetMap

ONS: Office Nationale des Statistiques

PPDRI : Petits Projets de Développement Rural Intégré

RN: Route Nationale

Dédicace

A ma très chère **mère**

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, la bienveillance me guide et ta présence à mon côté a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon cher **mari Abdellah Belguendouz**

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que se travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mes très chers frères et mes belles sœurs.

A mes amies et mes camarades et plus particulièrement mon ami et mon binôme **Khaldia Zerrouki**

BOUDALI WAHIDA

Je dédie ce mémoire,

A mes chers parents ma **mère** et mon **père** pour leur patience, leur amour, leur soutien et leur encouragements.

A mes frères et mes sœurs, la plus particulièrement **Fatima**

A **Yousef**

A mes amies et mes camarades surtout **Wahida Boudali**

ZERROUKI KHALDIA

Introduction

Les zones humides sont des milieux complexes, composés d'une grande diversité d'habitats naturels et artificiels. Les zones humides du Bassin méditerranéen présentent de fortes spécificités et que leurs inventaires ne sont pas encore exhaustifs (Beltrame et al., 2015). Une telle étude scientifique sur la zone humide pourra faire l'objet d'une lecture complète des effets du changement sur leur faune et flore. La gestion de la zone humide repose sur la maîtrise de sa cartographie, sa caractérisation et l'évolution de la dynamique de leurs habitats. Dans notre présente étude nous allons cartographier, caractériser et détecter les changements qui ont affectés les sols du site Ramsar de la zone humide des marais de la Macta de Mostaganem. La Macta représente un écosystème spécifique sur le littoral ouest de l'Algérie, par sa position et la richesse de sa biodiversité. La Macta, est classée en 2001 comme zone humide de valeur d'importance internationale à protéger dans le cadre de la convention de Ramsar. La Macta est parmi les 42 zones humides Algériennes qui ont été identifiées et intégrées dans la liste mondiale des sites Ramsar. Cependant, mis à part le site d'El Kala (à l'Est du pays), qui est géré comme parc national et reconnu par un décret exécutif (Décret n° 83-462 du 23 juillet 1983 – JORA, n°31, 1983), aucune autre zone humide n'a été officiellement classée en Algérie. Ce classement intègre, avec des niveaux de protection différents, les quatre zones composant ce milieu : les zones de marais, les zones de végétation naturelle, les zones agricoles et les espaces artificialisés. La superficie totale intégrant les quatre secteurs est de 45 000 ha (Ghodbani et al., 2013).

Par notre présent travail, nous allons présenter une approche géomatique visant à cartographier, caractériser et analyser la zone à l'aide des techniques d'observation de la terre. Par une composante télédétection, nous allons étudier l'occupation du sol, la détection des changements, la durée d'inondation et une composante SIG pour quantifier les indicateurs d'états et de suivi. Pour hiérarchiser les étapes de travail, nous avons scindé l'étude en quatre chapitres. Dans le chapitre I; nous avons présenté une synthèse bibliographique à partir des documents multisources traitant l'identification, le classement, l'inventaire écologique et l'interaction de la zone avec les effets naturels (climat) et anthropiques (les riverains). Dans le chapitre II; nous avons opté pour une approche méthodologique basée principalement sur l'emploi des outils d'investigation de la haute technologie (SIG, GPS et télédétection spatiale) pour observer, cartographier l'évolution spatitemporel de l'occupation du sol et de la durée d'inondation. Dans le chapitre III; nous discutons nos résultats et les comparons avec d'autres obtenus dans le cadre de la thématique. Dans le dernier chapitre, nous tirons une conclusion générale par laquelle nous confirmons l'utilité et les points

forts des moyens et méthodes engagés dans l'approche. A la suite des constats et analyse poussés, nous dégagerons un plan d'actions et de recommandations utiles à la sauvegarde du site Ramsar. Enfin; nous allons présenter aux gestionnaires du site une copie de ce document pour leur apporter une aide et assistance à la gestion, l'aménagement et la prise de décision.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Chapitre I: Synthèse bibliographique

1 Hydrologie

1.1 Introduction

L'eau est une ressource essentielle pour les zones humides comme pour les sociétés humaines, l'information sur l'eau et les zones humides sera synthétisée en relation avec l'analyse des services écologiques et de la biodiversité. L'objectif est de mettre en place un suivi de quelques composantes - clés de l'eau, qui soit compatible avec les systèmes coordonnés mondialement comme UN Water et le World Water Council, ou qui se dessinent actuellement (Ramsar, CBD) et qui permet de plus des analyses explicatives croisées avec les données de l'OZHM (Observatoire des Zones Humides Méditerranéennes) sur la biodiversité et les services écologiques (Tour du Valat, 2016).

1.2 Origine des eaux

L'eau est la clé du fonctionnement des zones humides et sa source principale est la pluie, ce qui explique que le climat joue un rôle essentiel dans la formation des zones humides. Cependant, une fois la pluie tombée, divers paramètres exercent une influence sur le devenir de cette eau, en particulier la topographie, le type de sol et la végétation (Skinner et al., 1994).

1.3 Cycle des eaux

Les zones humides jouent un rôle de premier plan dans le cycle de l'eau; elles reçoivent de l'eau, la stockent et la restituent au fil du temps ; elles servent aussi à réguler les débits d'eau et à apporter l'eau nécessaire à la vie. Le régime hydrologique est une mesure des niveaux, du volume, du moment et de la fréquence à laquelle l'eau s'écoule à l'intérieur et à l'extérieur d'une zone humide. Il aide à établir la structure et les fonctions des zones humides, influe sur la biodiversité et la productivité primaire, et contribue à différents services écosystémiques comme la maîtrise des crues et l'amélioration de la qualité de l'eau. La gestion des ressources hydriques et l'élévation du niveau des océans modifient le régime hydrologique de nombreuses régions, par exemple, dans le delta du Mékong où la salinité et les niveaux d'eau augmentent, ce qui entraîne des changements dans la structure et les fonctions des zones humides (ERWIN K-L., 2009).

1.4 Qualité des eaux

Si la qualité de l'eau est un enjeu majeur pour le bien-être humain (Horwitz et al., 2012), son évolution reste globalement négative. La baisse de la qualité de l'eau entraîne une dégradation des zones humides, bien qu'à l'inverse, les zones humides améliorent la qualité de l'eau grâce aux

services de régulation des écosystèmes qu'elles procurent (Russi et al. 2013). Les eaux usées non traitées, les rejets industriels, le ruissellement agricole, l'érosion et la modification du régime de sédimentation figurent parmi les principales causes de dégradation. Depuis les années 1990, la pollution de l'eau s'est aggravée dans presque tous les cours d'eau d'Amérique latine, d'Afrique et d'Asie (WWAP, 2017). Cette détérioration devrait s'intensifier à mesure que les changements climatiques, le développement économique, l'expansion et l'intensification de l'agriculture se poursuivront, ce qui sera source de menaces croissantes pour la santé humaine, les zones humides et le développement durable (Veolia & IFPRI, 2015).

La salinité est un autre facteur déterminant de la qualité de l'eau. Sous l'effet du défrichage et de l'irrigation de sols salinisés, le sel peut être emporté et, l'eau d'irrigation s'infiltrant dans le sol, une augmentation de la salinité des eaux souterraines peut survenir (OCDE, 2012a). L'élévation des nappes phréatiques entraîne la salinisation des sols et des zones humides. Dans les régions côtières, la surexploitation des ressources en eaux souterraines et la montée du niveau des océans contribuent à l'intrusion d'eau salée (OCDE., 2015a ; Werner et al., 2013). La salinité des eaux souterraines et la salinisation des sols sont en grande partie irréversibles (Bennett et al., 2009).

1.5 Réseaux hydrographique

Le bassin versant de la Macta s'étend sur une superficie de 14 390 km². Il est drainé par deux principaux cours d'eau : l'Oued Mebtouh , à l'Ouest, et l'Oued El Hammam à l'Est . Les marais de la Macta se trouvent pratiquement sur la partie aval de ce bassin, notamment dans l'unité désigné de basse plaine littorale. Celle-ci est séparée de la mer par un cordon dunaire et présente des altitudes le plus souvent inférieures à 9 m, ce qui favorise la présence de plans d'eau, de marais et de steppes plus ou moins humides. Vers l'amont, elle se prolonge au Sud-est par les vallées des oueds Sig et Habra.

La dépression de la Macta est alimentée par les oueds Sig, Habra et Tinn surtout en période pluvieuse, en plus des infiltrations de la mer Méditerranée. La dépression de la Macta reste un exutoire des oueds Sig, Habra et Tinn qui l'alimentent généralement en période pluvieuse permettant la présence d'une humidité quasi annuelle en plus des infiltrations de la mer Méditerranée.

L'Oued Sig alimente davantage la basse plaine que les deux autres qui sont partiellement canalisés jusqu'à la rivière de la Macta, qui se jette directement dans la méditerranée. La situation topographique basse de cette plaine ne lui permet pas de drainer facilement les eaux de pluie ramenée par un réseau hydrographique dense, ce qui facilite une submersion de la partie Nord ou l'altitude est très faible (Belgherbi et Benabdeli, 2010).

1.6 Conclusion sur l'hydrologie

Au terme de cette contribution à l'étude hydrologique menée sur le bassin versant de la Macta qui présente une superficie de 14 389 km². Ce dernier est drainé par deux principaux cours d'eau, à savoir : l'oued Mekerra, et l'oued El-Hammam.

2 Classement des zones humides

2.1 Définition

L'expression "zones humides" regroupe toute une gamme d'écosystèmes de transition entre le milieu terrestre et le milieu aquatique. De nombreuses définitions ont été proposées pour préciser ce qu'elle recouvre réellement, mais on retiendra ici la plus large, celle de la Convention de Ramsar, qui définit les zones humides comme étant "des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée (Skinner et al., 1994).

Plusieurs travaux menés dans le cadre de différents projets de classement des zones humides, en prenant en considération un certain nombre de paramètres et caractéristiques de classement. Parmi les travaux, nous citons la classification de Ramsar (TINER, 1999).

L'actuelle classification adoptée par la convention Ramsar couvre les types des zones humides du monde entier. Elle est basée sur la classification développée aux États-Unis (COWARDIN et al., 1979). Cette classification se divise en trois classes principales et chaque classe est subdivisée en types (RAMSAR, 2007a).

Tab. 1: Caractéristiques des types de zones humides selon la classification Ramsar (d'après Ramsar, 2007a).

Zones humides marines / côtières :			Code
Eau salée	Permanente	- 6 m de profondeur	A
		Végétation submergée	B
		Récifs coralliens	C
	Rivage	Rocheux	D
		Sable fin. grossier ou galets	E
eau salée ou soumâtre	Étendue intertidale	Vasière, banc de sable ou terre salée	G
		Marais	H
		Zone boisée	I
	"Suite tableau"		
	Lagunes		J

	Eaux estuariennes			F
eau salée saumâtre ou douce	Souterraine			Zk(a)
Eau douce	Lagunes			K
Zones humides continentales				
Eau douce	Eau courante	Permanente	Rivières, d'eau, ruisseaux	M
			Deltas	L
		Sources, oasis	Y	
		Saisonniers, intermittents	Rivières, cours ruisseaux	N
	Lacs et mares	Permanents	>8ha	0
			<8ha	Tp
		Saisonniers/intermittents	>8ha	P
			<8ha	Ts
	Marais sur sols inorganiques	Permanents	Dominés par plantes herbacées	Tp
			Dominés par des buissons	W
		Saisonniers/intermittents	Dominés par des arbres	Xf
			Dominés par plantes herbacées	Ts
	Marais sur sols tourbeux	Permanents	Non boisés	U
			Boisés	Xp
	"Suite tableau"			
	Marais sur sols	Haute altitude (alpins)		

	inorganiques ou tourbeux	Toundra	Vt
Eau salée, saumâtre ou alcaline	Lacs	Permanents	0
		Saisonniers/intermittents	R
	Marais & mares	Permanents	Sp
		Saisonniers /intermittents	Ss
Eau douce, salée, saumâtre ou alcaline	Géothermique		ZH
	Souterraine		Zk(b)

2.2 Critères de classement des zones humides

Le choix des zones humides à inscrire sur la liste devrait être fondé sur leur importance internationale au point de vue écologique, botanique, zoologique, limnologique ou hydrologique et ajoute : « Devraient être inscrites, en premier lieu, les zones humides ayant une importance internationale pour les oiseaux d'eau en toutes saisons » (Ramsar, 2013).

2.2.1 Groupe A des critères Sites contenant des types de zones humides représentatifs, rares ou uniques

Critère 1; une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle contient un exemple représentatif, rare ou unique de type de zone humide naturelle ou quasi naturelle de la région biogéographique concernée.

2.2.2 Groupe B des critères Sites d'importance internationale pour la conservation de la diversité biologique

2.2.2.1 Critères tenant compte des espèces ou des communautés écologiques.

Critère 2; une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite des espèces vulnérables, menacées d'extinction ou gravement menacées d'extinction ou des communautés écologiques menacées.

Critère 3; une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite des populations d'espèces animales et/ou végétales importantes pour le maintien de la diversité biologique d'une région biogéographique particulière.

Critère 4; une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite des espèces végétales et/ou animales à un stade critique de leur cycle de vie ou si elle sert de refuge dans des conditions difficiles.

2.2.2.2 Critères spécifiques tenant compte des oiseaux d'eau

Critère 5 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite, habituellement, 20 000 oiseaux d'eau ou plus.

Critère 6: Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite, habituellement, 1% des individus d'une population d'une espèce ou sous-espèce d'oiseau d'eau.

2.2.2.3 Critères spécifiques tenant compte des poissons

Critère 7; une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite une proportion importante de sous-espèces, espèces ou familles de poissons indigènes, d'individus à différents stades du cycle de vie, d'interactions interspécifiques et/ou de populations représentatives des avantages et/ou des valeurs des zones humides et contribue ainsi à la diversité biologique mondiale.

Critère 8; une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle sert de source d'alimentation importante pour les poissons, de frayère, de zone d'alevinage et/ou de voie de migration dont dépendent des stocks de poissons se trouvant dans la zone humide ou ailleurs.

2.2.2.4 Critères spécifiques tenant compte d'autres taxons

Critère 9; une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite régulièrement 1 % des individus d'une population d'une espèce ou sous-espèce animale dépendant des zones humides mais n'appartenant pas à l'avifaune (Ramsar, 2013).

2.3 Répartition géographique des zones humides

2.3.1 A l'échelle globale

D'après les dernières estimations, la superficie des zones humides intérieures et côtières dépasse 12,1 millions de km², soit une étendue supérieure à celle du Canada. Sur l'ensemble de ces zones humides, 54% sont inondées en permanence et 46% de façon saisonnière. On estime que 5,2 millions de km² supplémentaires sont inondés de manière intermittente ou occasionnelle, mais cette

étendue comprendrait d'anciennes zones humides transformées sous l'effet de phénomènes météorologiques extrêmes. Près de 93% des zones humides sont des systèmes intérieurs et 7% des systèmes marins et côtiers, bien que les estimations sur les zones humides côtières ne tiennent pas compte de certaines catégories comme les zones humides subtidales littorales, lesquelles entrent aussi dans la définition de la Convention de Ramsar.

En comparaison, les zones humides artificielles sont très peu étendues à l'échelle mondiale : les réservoirs présentent une superficie d'environ 0,3 million de km² et les rizières d'1,3 million de km² (Davidson et al., 2018). Si les estimations faites principalement par les méthodes de télédétection et de cartographie sur l'étendue mondiale des zones humides ont considérablement augmenté depuis les années 1980, elles ne traduisent pas pour autant une hausse réelle de la superficie des zones humides (Davidson et al., 2018). C'est l'Asie qui abrite la plus vaste étendue de zones humides (32% de la superficie mondiale), suivie de l'Amérique du Nord (27%) et de l'Amérique latine et des Caraïbes (16%). La superficie totale des zones humides est moins importante en Europe (13%), en Afrique (10%) et en Océanie (3%) (Davidson et al., 2018).

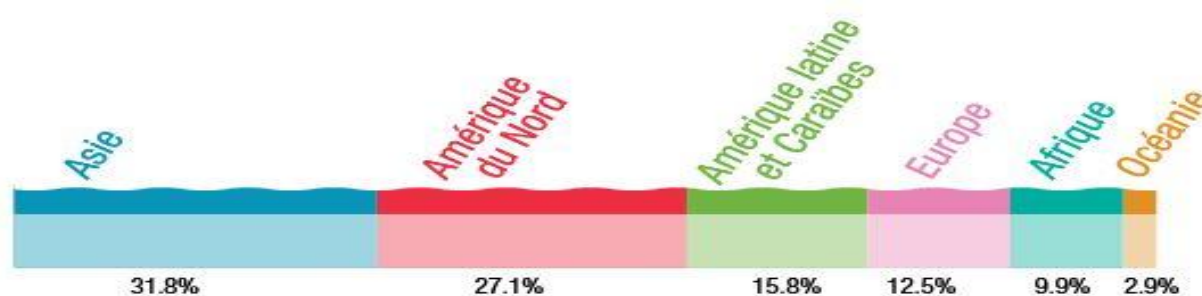


Fig. 1: Répartition des zones humides (en %) dans le monde (d'après Davidson et al., 2018)

2.3.2 A l'échelle régionale

Selon la définition Ramsar accordée aux zones humides, on trouve des zones humides dans toute l'Afrique. Elles sont réparties comme suit :

1. Des lagunes et mangroves sur le littoral, comme dans l'Archipel des Bijagos en Guinée-Bissau et au Banc d'Arguin en Mauritanie;
2. Des plaines d'inondation le long des fleuves et des cours d'eau, comme celles du delta intérieur du Niger au Mali et de Waza-Logone au Cameroun. (Skinner et al., 1994).

Les zones humides africaines sont réparties en date de classement et superficie dans chaque pays dans le tab. 2 suivant:

Tab. 2: Liste des zones humides d'importance internationale en Afrique (D'après Skinner et al., 1994)

Paye	Zone humide	Date	Superficie (ha)
Algerie	Lac Oubeïra	04/11/83	2.200
Borkina faso	La Mare d'Oursi	27/06/90	45.000
Tchad	Lac Fitr	13/06/90	195.000
Egypte	Lake Bardawi	09/09/88	59.500
Gabon	Wongha-Wonghé	30/12/86	380.000
Ghana	Owabi	22/02/88	7.260
Guinee	Ile Alcatraz	18/11/92	85.000
Guinee bissau	Lagoa de Cufada	14/05/90	39.098
Kenya	Lake Nakuru	05/06/90	18.800
Mali	Walado Debo / Lac Debo	25/05/87	103.100
Mauritanie	Banc d'Arguin	22/10/82	1.173.000
Maroc	Merja Zerga	20/06/80	3.500
Niger	Parc National du "W"	30/04/87	220.000
Senegal	Djoud	11/07/77	16.000
Afrique du sud	De Hoop Vlei	12/03/75	750
Tunisie	Ichkeul	24/11/80	12.600
Ouganda	Lake George	04/03/88	15.000
Zambie	Kafue Flats: Lochinvar and Blue Lagoon	28/08/91	83.000

2.3.3 A l'échelle nationale

L'Algérie, de part sa configuration physique, la diversité de son climat et l'immensité de son territoire, recèle d'importantes zones humides. Selon la Direction Générale des Forêts, (DGF, 2001), les zones humides se répartissent à l'échelle du pays comme suit:

1. Au Nord - Est de l'Algérie, nous trouvons de nombreux lacs d'eau douce, des marais de ripisylves et des plaines d'inondation,
2. Dans la frange Nord –Ouest et les hauts plaines steppique, on trouve des plans d'eau salés tels que Chotts, sebkhas et non salée (Dayas),.
3. Au niveau du Sahara, il y a les oasis et des réseaux hydrographiques souterrains dont certains sites sont exceptionnels et alimentés par des sources permanentes appelées Gueltas.

Dans le cadre du classement des zones humides en sites Ramsar, l'Algérie, ayant ratifié dès 1982 la convention de Ramsar, a adopté une démarche volontariste pour le classement, la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources.

La chronologie d'inscription des zones humides d'importance internationale sur la liste de Ramsar pour l'Algérie a abouti à un nombre de 50 sites inscrits chronologiquement comme suit :

1. 1982 : 02 sites inscrits,
2. 1999 : 01 site inscrit,
3. 2001 : 10 sites inscrits,
4. 2002 : 13 sites inscrits.
5. 2004 : 16 sites inscrits,
6. 2009 : 05 sites inscrits,
7. 2011 : 03 sites inscrits,

Selon le PADER (2013), l'Algérie compte aujourd'hui plus de 1 500 zones humides où sur un laps de temps d'une trentaine d'années, cinquante (50) sites sont déjà classés dans la liste des zones humides d'importance internationale de Ramsar et englobant une superficie totale de près de trois (03) millions d'hectares (2 991 013,00 ha). Parmi les sites, dix (10) sites prioritaires sont retenus par le Ministère Algérien de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement (MAATE) et de la Ville, pour être dotés d'un plan de gestion assurant leur gestion rationnelle et durable. Les sites retenus sont identifiés comme suit:

1. le lacTonga,
2. l'Oasis de Tamantitet Oueld Ahmed Timmi,
3. le Chott El Hodna,
4. le Chott Timerganine,
5. la Dayet Morsli (wilaya d'Oran),
6. le barrage Bougara,
7. le Chott Zahrez Chergui,
8. les Gueltates Afilal,
9. l'Oued Mazafran,
10. le lac de Ménéa.

Tab. 3: Liste des 50 zones humides Algériennes classées Ramsar (d'après DGF, 2004)

Nom des sites	Année d'inscription	Wilaya	Superficie (ha)
La réserve intégrale du lac Tonga	1982	El Tarf	2.700
La réserve intégrale du lac Oubeira		El Tarf	2.200
La réserve naturelle du lac des Oiseaux	1999	El Tarf	170
Le chott Ech-Chergui		Saïda, Nâama, El Bayadh	855.500
Le complexe de zone humide de Guebes-Sanhaja		Skikda	42.100

"Suite Tab.3"			
Le chott El Hodna	2001	M'Sila et Batna	362.000
La vallée d'Iherir		Illizi	6.500
Les Gueltats Dissakarassene		Tamanrasset	35.100
Le chott Merouene et Oued Khrouf		El Oued et Biskra	37.700
Les marais de la Macta		Mascara, Oran, Mostaganem	44.500
Les Oasis de Ouled Said		Adrar	25.400
La sebkha d'Oran		Oran	56.870
Les oasis de Tamentit et Sid Ahmed Timmi		Adrar	95.700
Les oasis de Maghara et Tiout		2002	Nâama
Le chott de Zahrez Chergui	Djelfa		50.985
Le chott de Zahrez Gharbi	Djelfa		52.500
Les Gueltats d'Afilal	Tamanrasset		20.900
La grotte kartistique de Ghar Boumâza	Tlemcen		20.200
Le maris de la Mekhada	El Tarf		8.900
Le chott Melghir	El Oued et Biskra		551.500
La réserve naturelle du lac de Reghaia	Alger		842
La réserve intégrale de la tourbière de lac Noir	El Tarf		05
Les aulnaies Ain Khier	El Tarf		170
La réserve naturelle du lac de Beni Belaid	Jijel		600
Le crique de Ain Ouarka	Nâama		2.350
Le lac de Fetzara	Annaba		20.680
Sebkhet El Hamiet	Sétif		2.509
Sebkhet Bazer	Sétif		4.379
Chott El Beïdha-Hammam Essoukhna	Sétif		12.223
Garaet Annk Djemel-El Merhssel	Oum El Bouaghi	18.140	
Garaet Guellif	Oum El Bouaghi	24.000	
Chott Tinsilt	Oum El Bouaghi	2.154	
Garaet El Taref	Oum El Bouaghi	33.460	
Dayet El Ferd	Tlemcen	3.323	
Oglat Edaira (Ain Ben Khelil)	Nâama	23.430	
Les Salines d'Arzew	Oran	5.778	
Le lac de Tellamine	Oran	2.399	
Le Lac Mellah	El Tarf	2.257	
Sebkhet El Meleh (Lac d'El Goléa)	Ghardaïa	18.947	
Chott Oum Raneb	Ouargla	7.155	
Chott Sidi Slimane	Ouargla	616	
Chott Ain El Beïda	Ouargla	6.853	
Sebkhet Bazer	Sétif	4.379	
Garaet Timerganine	Oum El Bouaghi	1.460	
Marais de Bourdim	El Tarf	11	
Sebkhet Ezzmoul	Oum El Bouaghi	6.765	
"Suite Tab.3"	2009		
Lac Boulhilet		Oum El Bouaghi	856
Vallée d'Oued Soummam		Béjaïa	12.453
Oum Lâagareb	2011	Annaba	729
Lac du barrage de Boughezoul		Médéa	09
Ile de Rachgoun		Aïn Témouchent	66

2.3.4 A l'échelle locale

Au nord ouest algérien et en particulier au niveau de la limite géographique commune entre la wilaya de Mostaganem, Oran et Mascara, se localise le site Ramsar de la zone humide des Marais de la Macta. Ce site représente un écosystème spécifique sur le littoral ouest de l'Algérie par sa position géographique, sa richesse biologique mais fragilisée par l'action anthropique. Les marais de la Macta ont été classés en 2001, dans le cadre de la convention de Ramsar, zone humide. La Macta est parmi les 42 zones humides algériennes qui ont été identifiées et intégrées dans la liste mondiale des sites Ramsar. Ce classement intègre, avec des niveaux de protection différents, les zones composant le milieu : les zones de marais, les zones de végétation naturelle et les zones agricoles sont représentées par la fig.2 suivante:

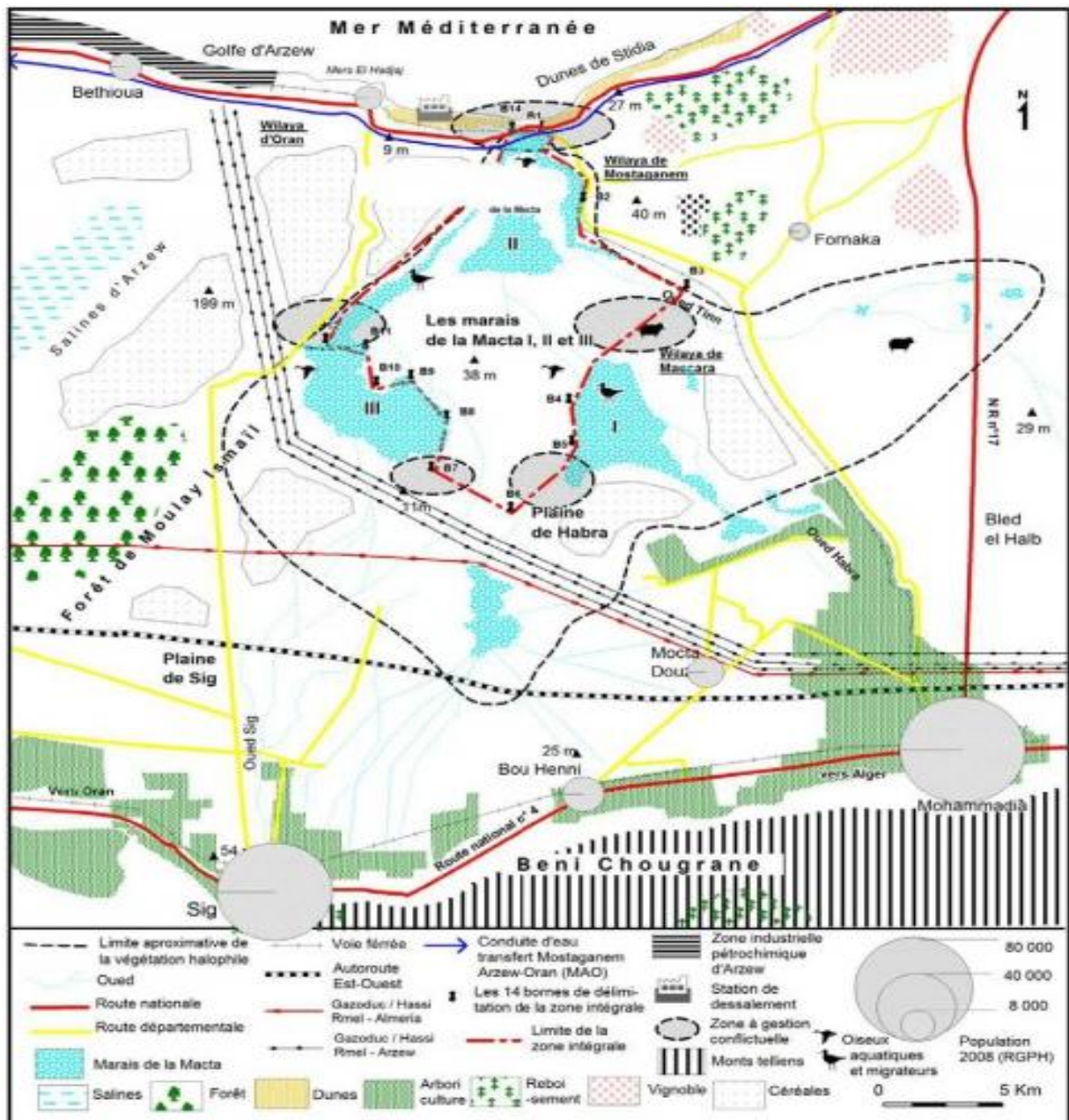


Fig. 2: Localisation de la zone humide des marais de la Macta - Nord Ouest algérien (D'après Ghodbani T. et Amokrane K., 2013) source : Cartes INC Sig et Mohammadia au 1/50 000 (INC, 2010)

2.3.5 Conclusion

La conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides sont essentielles à la subsistance des populations. Du fait du très large éventail de services écosystémiques qu'elles procurent, les zones humides jouent un rôle crucial dans le développement durable. Or, il est fréquent que les décideurs politiques sous-estiment la valeur des avantages qu'elles offrent aussi bien à l'humanité qu'à la nature. Mieux connaître ces valeurs et l'état des zones humides est fondamental pour assurer leur conservation et leur utilisation rationnelle. Les perspectives mondiales des zones humides rendent

compte de l'étendue, de l'évolution, des moteurs de changement et des mesures à prendre pour préserver ou rétablir les caractéristiques écologiques de ces milieux naturels.

2.4 Causes de dégradation des zones humides

2.4.1 Causes d'origine naturelle

Le GIEC a estimé en 2014 que le changement climatique réduirait considérablement les ressources en eau de surface et en eau souterraine dans les régions subtropicales sèches, intensifiant ainsi la concurrence pour l'eau ; augmentant le risque d'extinction des espèces d'eau douce (Moomaw et al. 2018). Les réponses peuvent être à la fois négatives et positives pour les zones humides. L'augmentation de la production d'hydroélectricité ou de biocarburants peut entraîner une perte de zones humides, tandis que le rôle des zones humides dans le stockage du carbone peut en favoriser la conservation et la restauration (Moomaw et al. 2018). Les zones humides jouent un rôle clé dans d'autres types de régulation des risques naturels. Les habitats humides peuvent freiner les pressions naturelles et anthropiques contribuant à la salinisation des sols et à la propagation des incendies de forêt. Cependant, les relations entre les différents facteurs modulant les impacts des événements extrêmes sont complexes et souvent mal comprises (Guenni et al., 2005).

L'introduction d'espèces envahissantes peut perturber la structure trophique, les flux d'énergie et la composition en espèces ; c'est par exemple le cas avec les écrevisses envahissantes dans le delta de l'Okavango, au Botswana (Nunes et al., 2016). Le nombre d'espèces exotiques d'eau douce établies a augmenté, comme en Europe où elles ont suivi une croissance continue, en particulier au cours des 60 dernières années (Nunes et al., 2015). Les zones humides sont vulnérables aux espèces envahissantes, car la combinaison des sédiments, des nutriments et de l'eau crée des conditions favorables – parfois aidées par les perturbations – pour que ces espèces opportunistes prospèrent (Zedler & Kercher 2004).

2.4.2 Causes d'origine humaine (anthropique)

L'excès de nutriments provenant des eaux usées, des déchets industriels, de l'agriculture ou de l'aquaculture entraîne une eutrophisation, et modifie la diversité biologique, la qualité de l'eau, la biomasse ainsi que les niveaux d'oxygène. En 2018, l'utilisation d'engrais dans le monde dépassera probablement 200 millions de tonnes par an, soit environ 25% de plus qu'en 2008 (FAO, 2015).

Les dépôts atmosphériques d'azote ont des incidences sur les systèmes aquatiques et augmentent rapidement dans les pays ayant des économies à croissance rapide (Liu et al., 2011).

L'enrichissement en nutriments stimule la croissance des algues et d'autres plantes ; et lorsque les plantes meurent, leur décomposition réduit la concentration en oxygène dans l'eau. Cela affecte de

nombreuses zones humides (Smith et al., 2006); par exemple lors des proliférations de cyanobactéries dans les lacs (Paerl & Otten, 2013). L'hypoxie (manque d'oxygène) dans les écosystèmes côtiers a augmenté (Rabalais et al., 2010) ; et plus de 500 « zones mortes » côtières sont actuellement recensées (UNEP, 2014a). Les systèmes récifaux sont affectés par l'augmentation des concentrations en sédiments ou en nutriments, provenant souvent de l'agriculture ou des infrastructures urbaines et portuaires (Wenger et al., 2015).

2.4.2.1 Pressions de types agricoles

Le secteur de la production de nourriture et de fibres a une influence sur les zones humides à travers les politiques agricoles, la demande du marché et les changements dans l'utilisation des terres. En Asie, l'augmentation de la production provient de l'intensification et de l'utilisation accrue de produits agrochimiques; en Amérique du Sud, elle repose davantage sur la mécanisation ; tandis qu'en Afrique, elle découle principalement de l'expansion des superficies agricoles, affectant souvent les zones humides (OCDE/FAO, 2016). L'aquaculture modifie le régime physique des zones humides et y introduit des nutriments, des substances chimiques et des espèces envahissantes, mais les impacts dépendent du système utilisé (par exemple, l'aquaculture en étang ou l'utilisation de cages flottantes) (FAO, 2016b).

2.4.2.2 Pressions de types industriels et urbains

Le secteur de l'énergie hydraulique crée des barrages, des réservoirs, des digues et des infrastructures pour le stockage de l'eau, la prévention des inondations, l'hydroélectricité et l'irrigation. L'agriculture en est de loin le principal utilisateur, suivie par l'hydroélectricité, l'industrie et les usages domestiques. Les biocarburants et l'hydroélectricité sont de moins en moins considérés comme des énergies respectueuses du climat, en partie en raison de la forte utilisation d'eau qui leur est associée (Delucchi, 2010).

L'urbanisation crée des pressions sur les zones humides, en particulier sur les zones côtières et les deltas des fleuves. D'ici à 2050, les deux tiers de la population mondiale devraient vivre dans des zones urbaines (UN, 2015a). Dans les pays en développement, la population urbaine doublera probablement, en raison des possibilités économiques qu'offrent les villes, de la mécanisation agricole qui réduit l'emploi rural et de la dégradation de l'environnement qui raréfie les moyens d'existence en milieu rural (EEA, 2015). Alors que l'urbanisation offre un potentiel d'utilisation efficace des ressources, la rapidité de la croissance urbaine entraîne souvent un développement mal réglementé des zones périurbaines, avec des incidences sociales et environnementales préjudiciables (McInnes, 2013). L'urbanisation altère les zones humides en raison de la

modification de la connectivité hydrologique, de la dégradation des habitats, de l'altération des nappes phréatiques et de la saturation des sols, de la pollution et, finalement, en affectant la richesse et l'abondance des espèces (Faulkner, 2004).

2.5 Rôles des zones humides

Les zones humides sont indispensables à la survie de l'humanité. Elles renferment certains des écosystèmes les plus productifs de la planète et fournissent des services écosystémiques aux innombrables avantages. Elles comprennent des habitats d'eau douce inondés de façon permanente ou saisonnière, depuis les lacs et les cours d'eau jusqu'aux marais, ainsi que des zones côtières et marines comme les estuaires, les lagunes, les mangroves ou les récifs. Le cycle global de l'eau permet la production primaire et le recyclage des nutriments, tout en étant source d'eau douce et d'aliments pour les populations. Les zones humides sont utilisées pour le transport et la production d'énergie hydraulique. Elles fournissent également des matières premières et des ressources génétiques, y compris des médicaments. Elles contribuent aussi à maîtriser les crues, à protéger les côtes et à stocker et piéger le carbone. Enfin, nombre d'entre elles sont une source d'inspiration, un lieu de loisirs et présentent une grande valeur sur le plan culturel ou spirituel (EM., 2005 ; Russi et al., 2013).

2.6 Conclusion

Il ressort de notre étude bibliographique que partout dans le monde, les zones humides connaissent de graves difficultés. Leur étendue diminue, la qualité de l'eau se dégrade et elles sont soumises à une pression croissante. Par chance, la planète présente encore de vastes réserves de zones humides, source de nombreux services écosystémiques. Le plan stratégique de la Convention de Ramsar établit une feuille de route pour un nouvel avenir dans lequel la conservation et l'utilisation rationnelle de ces espaces permettrait d'enrayer et d'inverser cette détérioration et où les zones humides joueraient un rôle clé dans la réalisation des objectifs de développement durable.

Chapitre II: Approche méthodologique

Chapitre II: Approche méthodologique

2.1 Matériels

Les données disponibles pour la réalisation des traitements nécessaires à l'étude, étaient :

1. Carte géologique de l'Algérie, au 1:500 000^e géoréférencée et découpé à l'emprise de la zone d'étude (INCT, 1952),
2. Carte des sols d'Algérie, au 1:500 000^e géoréférencée et découpé à l'emprise de la zone d'étude (INCT, 1952),
3. Carte de la végétation de l'Algérie (Bosquet - Mostaganem), au 1:200 000^e géoréférencée et découpé à l'emprise de la zone d'étude (INCT, 1958),
4. Un fond de cartes topographiques au 1:50 000^e géoréférencé et découpé à l'emprise de la zone d'étude (INCT, 1985),
5. Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) d'une résolution de 30 m (acquis en date de 11/02/2000) (<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>),
6. Fiches descriptives sur les zones humides Ramsar (DGF, 2001),
7. Le fichier vectoriel de type Shapefile de découpage administratif des communes et wilaya d'Algérie (Comgeo Algérie),
8. L'inventaire Forestier National (IFN) de la wilaya de Mostaganem (IFN, 2008),
9. Un fichier de type vectoriel fournit sous format Shapefile portant deux limites fixes dans le temps (Bonino E. et al., 2012). La limite administrative et la limite de la zone tampon du site Ramsar de la zone humide des marais de la Macta utilisées dans le projet "*Globwetland*" 1 et 2 (Sébastien Lebaut, & Luc Manceau., 2015),
10. Série temporelle de haute résolution spatiale acquises par le satellite Landsat 5,7 et 8 (Glovis: <http://glovis.usgs.gov/>) et Sentinel 2A (sentinel.esa.int/web/sentinel/sentinel-data-access).
11. Les données OpenStreetMap (OSM) (<https://extract.bbbike.org>),
12. Base de donnée terrain des classes d'occupation et de couverture de sol avec nomenclature en 5 niveaux (CLC Corine et Ramsar),
13. Un logiciel SIG (ArcGis 10.0 et QGIS),
14. Un GPS de marque Garmin 78c,
15. Appareils photos,
16. Fiches descriptives de validation sur le terrain (2020).

L'ensemble des données d'entrées et les résultats sont ici présentés dans la référence spatiale WGS 84 UTM 30N.

L'objectif de l'étude qui vise principalement la production cartographique sur un milieu humide et complexe, nous oblige à consulter et exploiter tous les documents multisources et acquises avec des outils différents et sous conditions atmosphériques différentes dont il faudra les traiter pour les rendre exploitables et utilisables.

2.2 Application des méthodes SIG

2.2.1 Présentation de la zone d'étude (Marais de la Macta)

La plaine de la Macta est une dépression triangulaire séparée du golfe d'Arzew par un cordon dunaire bordé au Nord-Ouest par le massif des salines d'Arzew et au Nord-Est par la retombée sud du plateau de Mostaganem, la plaine de Sig et de l'Habra, et atteint au sud les contreforts de l'Atlas Tellien, les Monts de Ouled Ali et des Beni chougrane à Mohammadia (wilaya de Mascara). La plaine de la Macta comporte à la fois des plans d'eau des marais et des steppes plus ou moins humides situées en général dessous de la cote des 9 mètres (Boumezbeur A., 2002).

2.2.1.1 Localisation géographique



Fig. 3: Localisation géographique de la zone d'étude adaptée sur image Bing Microsoft (2018) (d'après Farah et al., 2020).

Pour élaborer une cartographie de base pour la zone d'étude, trois cartes topographiques (Arzew-NI-30-XXIV-2, Sig-NI-30-XXIV-4-Est, Mohamadia-NI-31-XIX-3-Ouest) à l'échelle 1:50 000^e (INCT, 1985) ont été géo-référencées à l'aide du logiciel ArcGis (version 10.0) en se basant sur la version de projection *Transverse de Mercator* (UTM-WGS-84, zone 30 Nord). A l'aide du logiciel SIG, les 3 cartes géo référencées ont été mosaïquées en une seule carte en reconstituant un fond topographique pour la zone. Sur ce fond topographique nous avons inséré à l'aide du logiciel SIG le fichier vectoriel Shapefile de découpage administratif des communes et wilaya d'Algérie (Comgeo Algérie). La méthodologie a permis d'élaborer une carte de localisation géographique de la zone d'étude, comme la montre la Fig.4 suivante:

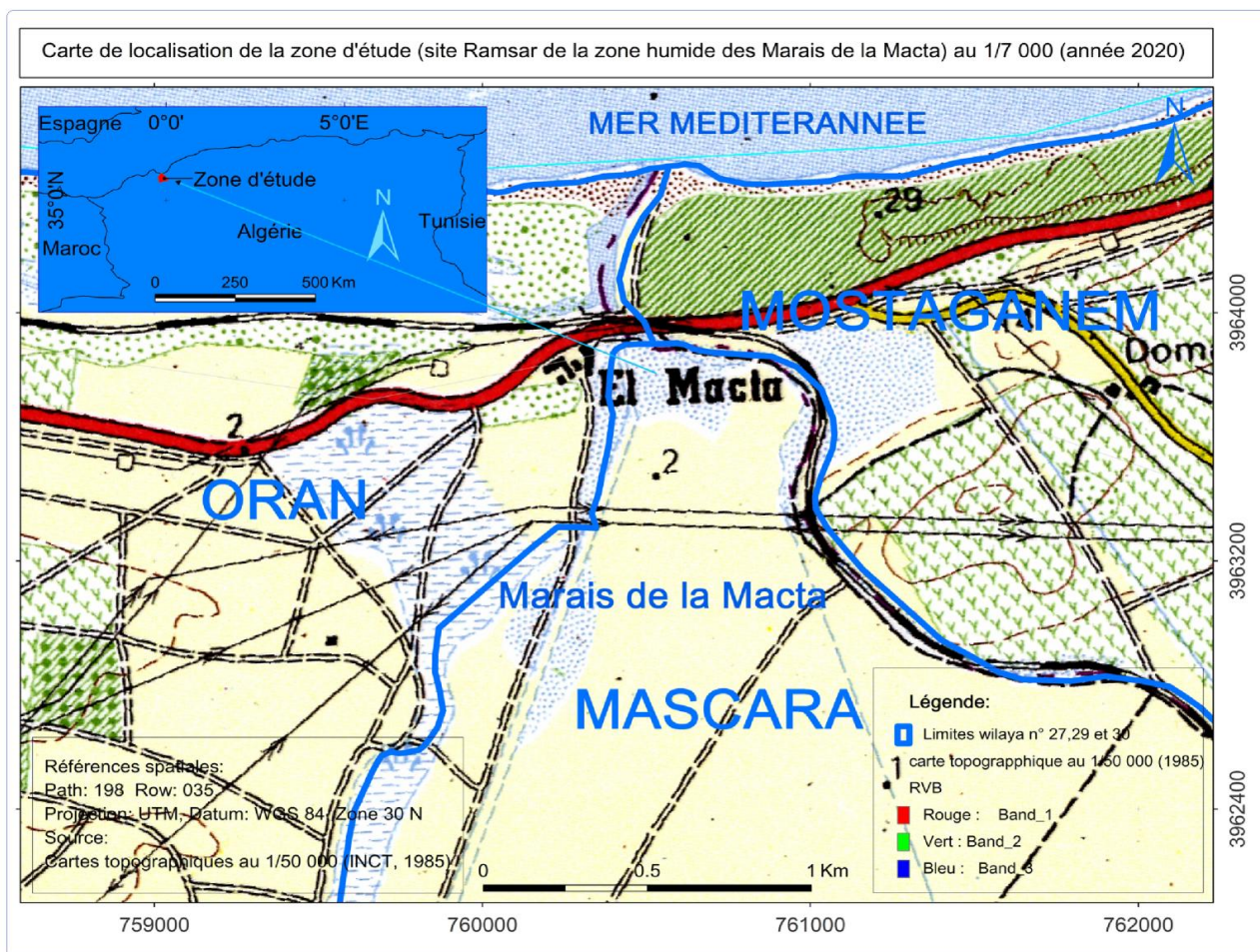


Fig. 4: Situation géographique de la zone d'étude.

La Fig.4 montre que la zone d'étude est située dans le nord-ouest Algérien entre les latitudes $35^{\circ} 81'$ et $35^{\circ} 58'N$ et les longitudes $0^{\circ}23'$ et $0^{\circ}06'O$; leur coordonnées métriques sont équivalentes à $X1=751\,540m$, $Y1 = 3\,964\,448m$ et $X2 = 776\,892m$, $Y2 = 3\,935\,322m$. La zone est limitée au nord par la mer méditerranéenne, elle borde sur 4 km.

2.2.1.2 Localisation administrative

Pour délimiter la zone d'étude, nous avons utilisé les limites administratives de la zone humide définies par la convention Ramsar. Il s'agit d'un fichier de type vectoriel fourni sous format shapefile. Ces données vectorielles de délimitation ont été générées à partir des données de télédétection (images Landsat et Spot) et utilisées dans l'identification des limites, suivi de changement des habitats des zones humides méditerranéennes (Sébastien L. & Manceau L., 2015). Deux limites ont été générées pour la zone humide des marais de la Macta. La première limite est dite administrative et la seconde delimite la zone tampon, cette dernière a été crée sur une bande de 1km de largeur autour et à partir de la limite administrative. Ces données de limites ont été utilisées

dans le cadre du projet "Globwetland" lancé depuis l'année 2012 pour suivre le changement des zones humides littorales méditerranéennes car ces limites englobent toutes les zones classées en classes représentant les types de zones humides (Fitoka E., 2011). Ces limites géographiques ont été jugées géoréférencées, stables et fixes dans le temps (Bonino E. et al., 2012).

Pour situer administrativement notre zone d'étude classée site Ramsar depuis 2001, nous avons appliqué les limites Ramsar dans la cartographie de la zone. Pour ce faire, nous avons importé dans un environnement SIG, les fichiers des limites Ramsar et celles des wilaya voisines (Mostaganem, Oran et Mascara) puis avons superposé toutes les limites sur la carte géo référencée. La méthode a permis d'élaborer une carte de délimitation officielle et administrative de la zone par rapport au territoire des trois wilaya voisines comme la montre les fig.5 et 6 suivantes:

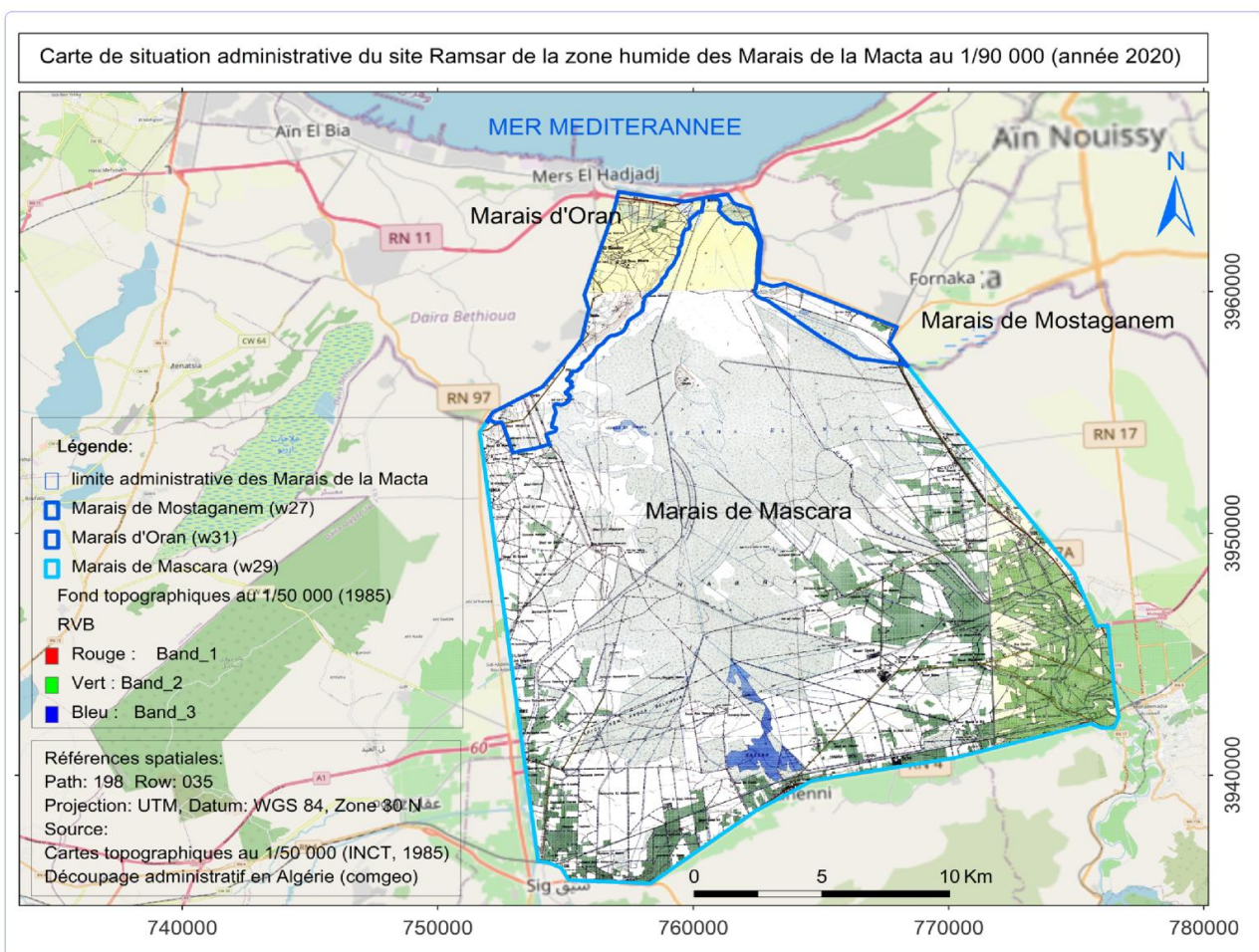


Fig. 5: Situation administrative du site Ramsar de la zone humide des Marais de la Macta (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).

La fig.5 montre que la zone d'étude s'étend sur un territoire qui relève de la compétence juridique de trois wilaya (Mostaganem, Oran et Mascara). La zone est limitée à l'Est par la commune de Fornaka (Mostaganem), à l'ouest par la commune de Marsat El Hadjadj (Oran) et au sud par les communes

de Mactadouz, Sidi Abdelmoumen, Alaimia, Ras El Ain Amirouche, Mohammadia et Sig (Mascara).

Pour cartographier et estimer les superficies pour chaque wilaya, nous avons utilisé deux outils ("decouper" et "calculer la géométrie") du logiciel SIG. Les surfaces obtenues pour chaque wilaya sont exprimées en Km², ha et % dans le tab.3 suivant:

Tab. 3: Pourcentage et surface des marais de la Macta par wilaya

Marais de la Macta	Mostaganem			Oran			Macara			Total	
	Superficie (ha)	superficie (Km ²)	taux (%)	Superficie (ha)	superficie (Km ²)	taux (%)	Superficie (ha)	superficie (Km ²)	taux (%)	total (ha)	total (Km ²)
	934	9.34	2	2 229	22.29	5	40 955	409.55	93	44 118	441.18

L'analyse du tab.3 montre que les marais de la Macta occupent une surface totale de 441.18 km² (44.118 ha) dont 93% sont situées dans la wilaya de Mascara. Le reste (7%) est réparti entre la wilaya d'Oran (5%) et de Mostaganem (2%).

A cela s'ajoute d'autres surfaces qui ont été créés sur 1 km autour de la limite administrative de la zone pour delimitier sa zone tampon, comme la montre la fig.6 suivante:

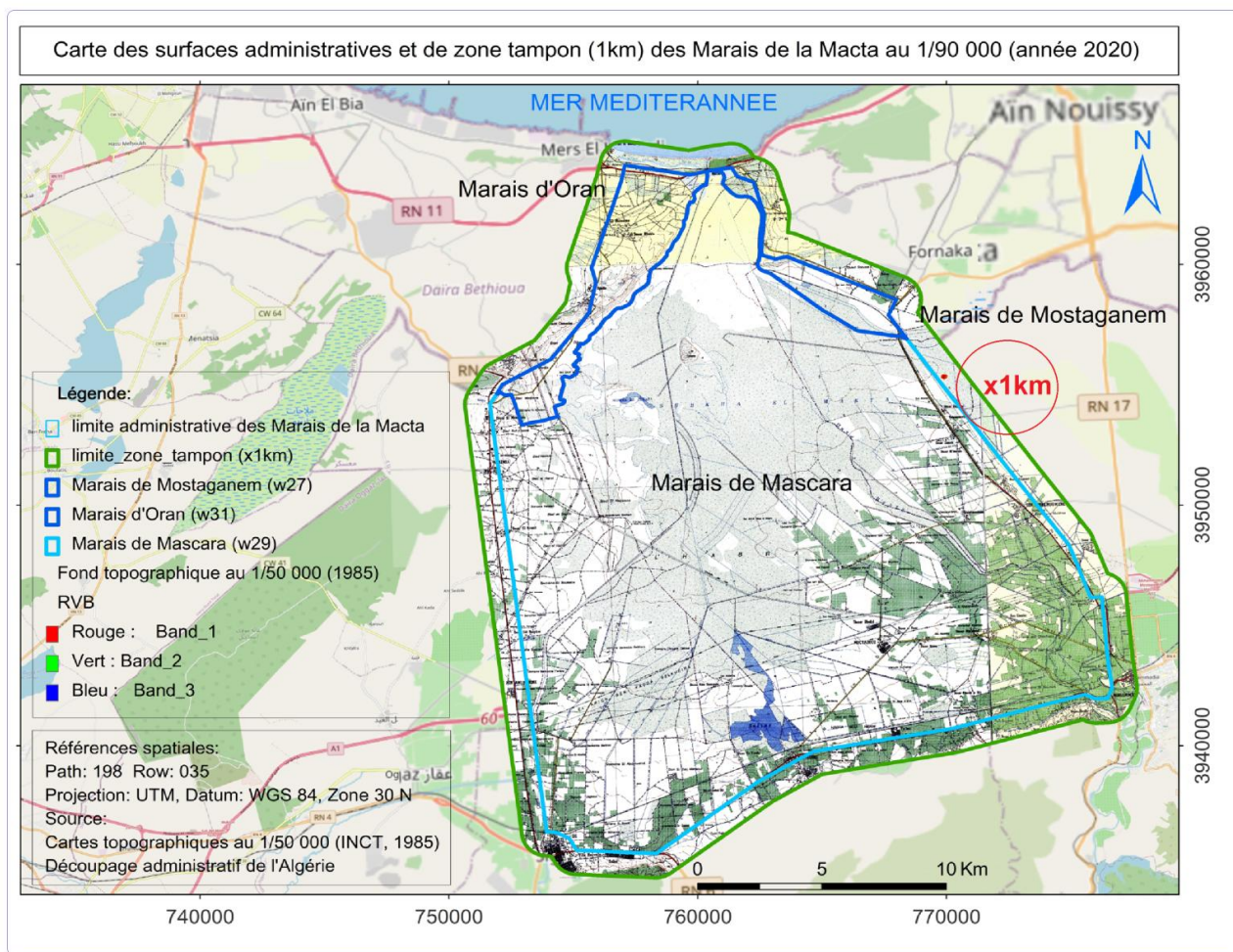


Fig. 6: Carte des surfaces administratives et de zone tampon du site Ramsar de la zone humide des marais de la Macta (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).

La fig.6 montre que la zone tampon couvre une surface de 91.32 Km^2 (9 132 ha). La surface totale de la zone d'étude (limite administrative + zone tampon) occupe donc 532.5 km^2 (53 250 ha).

L'étude se limite donc à l'intérieure de ces deux surfaces (administrative et zone tampon).

La zone humide des marais de la Macta située à l'intérieure du découpage administratif de la wilaya de Mostaganem, fait partie de l'entité morphologique nord des vallées basses de l'ouest de la région du plateau de Mostaganem. Les dunes, les forêts et les maquis de la Macta sont cartographiées dans la carte du littoral ouest et y sont classées comme étant zone d'extension touristiques (ZET) (ANAT, 2011).

A partir de la carte élaborée précédement pour la zone entière, nous avons utilisé les méthodes SIG de "decoupage et d'extraction par masque" à l'emprise de la limite administrative de la wialaya de Mostagenem. Les methodes ont permis d'établir une carte de localisation géographique et administrative de la zone humide des marais de Mostaganem comme la montre la fig. 7 suivante:

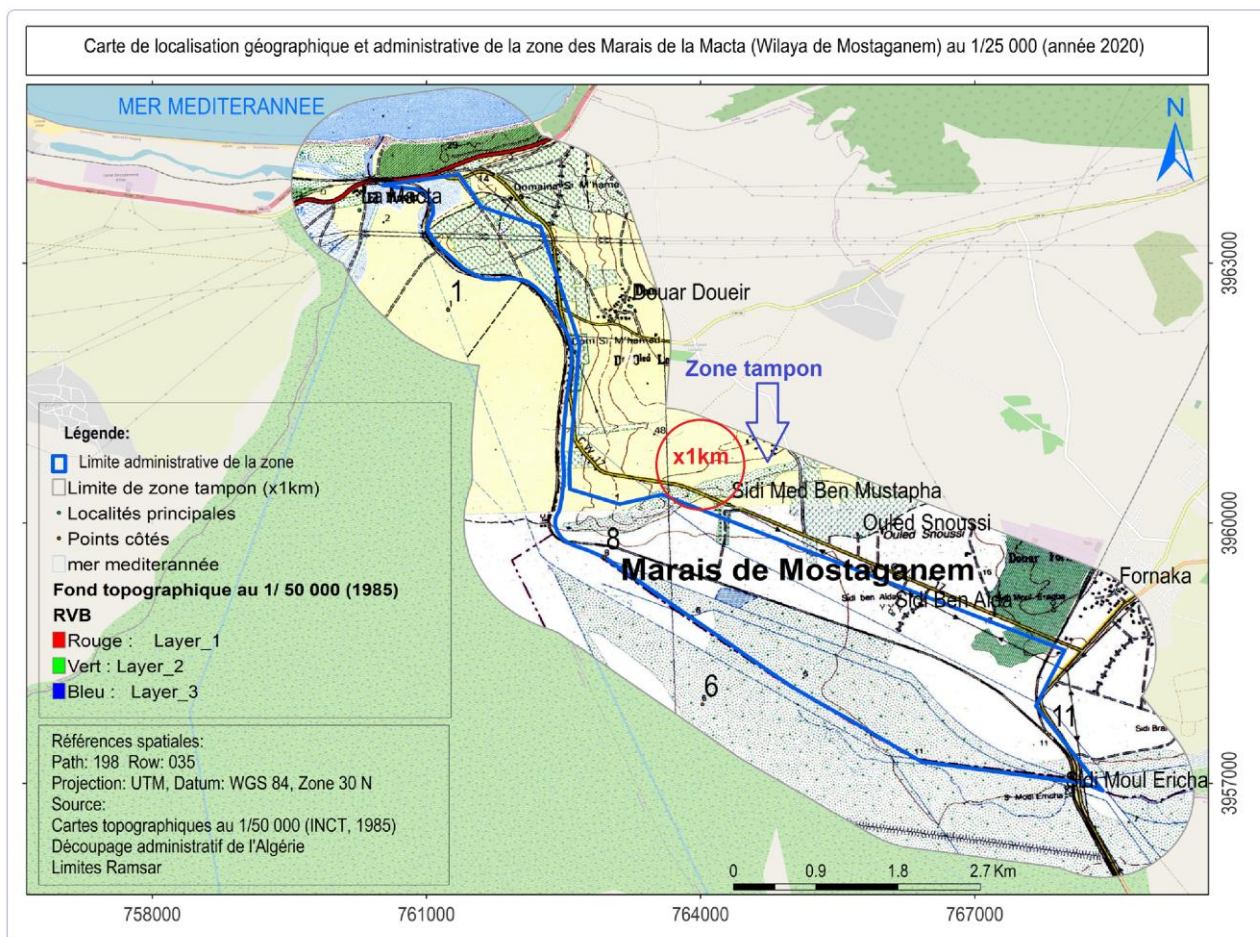


Fig. 7: Carte de localisation géographique et administrative de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).

La fig.7 montre que la surface de la limite administrative et la zone tampon occupe respectivement 9.34 Km^2 (934 ha) et 27.74 Km^2 (2 774 ha). La surface totale de la zone d'étude couvre donc 37 km^2 (3 700 ha).

2.2.2 Caractéristiques topographiques (milieu marin de proximité)

Séparée de la mer par un cordon dunaire et présente des altitudes les plus faibles (inférieures à 9 m), ce qui favorise la présence de plans d'eau, du marais et de steppes plus ou moins humides (Beddal D., 2015). La largeur moyenne de ce cordon dunaire varie de l'Est à l'ouest entre 400 et 500 m. La zone borde la mer sur environ de 1 km.

2.2.2.1 Zone du littoral

Les marais de la Macta sont une zone humide qui fait partie des hotpost de la biodiversité méditerranéenne qui sont classées parmi les écosystèmes les plus riches de la région, elle héberge

en particulier de nombreux habitats et une flore très riche. Les marais de la Macta se situent dans une dépression triangulaire parallèle au littoral méditerranéen (Ouest de l'Algérie).

2.2.2.2 Conclusion sur le milieu marin de proximité

La Macta est parmi les rares zones humides du littoral à proximité de la mer. La Macta, en arabe, signifie lieu de croisement ; il s'agit, en effet, d'un espace où convergent plusieurs oueds. En plus de sa position côtière, la zone humide de la Macta a la particularité d'offrir un paysage diversifié. Une plage à base de sable, autorisée et surveillée, les voies d'accès (route nationale + voies ferrées) qui desservent toutes les localités des wilaya voisines, les petits accès aux plages de la Macta et de Sidi Mansour ainsi que les équipements (revetement des placettes panoramiques, des parking, et autres voies associées à la route nationale n°11) aménagés récemment par la wilaya de Mostagenem, ceux-ci attirent plus d'usagers de ces milieux en longueur d'année, ce qui exerce une pression anthropique sur la zone humide et la mer de proximité.

2.2.3 Caractéristiques topographiques (milieu continental)

Avec l'apparition de nouveaux outils tels que les SIG et la télédétection, il est devenu facile de déterminer les paramètres de forme et de relief d'une zone. L'emploi de ces outils permet de répondre aux exigences de la protection et la prévention contre les risques d'inondation. Les caractéristiques morphologiques de la zone (surfaces, périmètres, altitudes, pentes et expositions) sont des paramètres du relief sont purement géométriques ou physiques et qui peuvent être extrait par les méthodes SIG appliquées sur le Modèle Numérique de Terrain (MNT) (Laabidi et al., 2016).

2.2.3.1 Orographie

Pour caractériser le relief, nous avons utilisé le Modèle Numérique de Terrain (MNT). Le MNT est un terme générique couvrant les données numériques de la topographie (altimétrie pour les secteurs émergés ou bathymétrie pour les secteurs submergés) d'une zone terrestre ou d'une planète tellurique. On parle de MNT pour une grille d'altitude ne contenant que le relief naturel sans végétation ou de bâtiments (Roullé et al., 2010). Le MNT est une représentation numérique du relief donc des valeurs d'altitude qui sont exprimées en mètres par rapport au niveau moyen de la mer (Gregory K-L., 2012). Le MNT permet d'avoir une représentation en 3 dimensions (3D) de la zone. Il permet de réaliser une analyse spatiale représentative car il reflète des informations relatives à la structure morphologique sur l'ensemble de la zone (Zhou, 2009 in Laabidi et al., 2016). Pour ce faire, nous avons appliqué la méthode de lissage sur le MNT (SRTM30) en utilisant l'outil

"statistiques focales" du logiciel SIG paramétré en moyenne sur un cercle de 3 cellules a fin d'atténuer le bruit qui cause des défauts sur la pente et le réseau hydrographique générées par le MNT (Manière L., 2019). Après avoir afficher, observer et vérifier la qualité de l'image du MNT traité (lissé), nous avons découpé le MNT sur l'emprise de la zone d'étude (polygones des limites) en utilisant l'outil "Extraction par masque" du logiciel SIG. La méthode a permis de générer un MNT pour la zone comme la montre la fig.8 suivante:

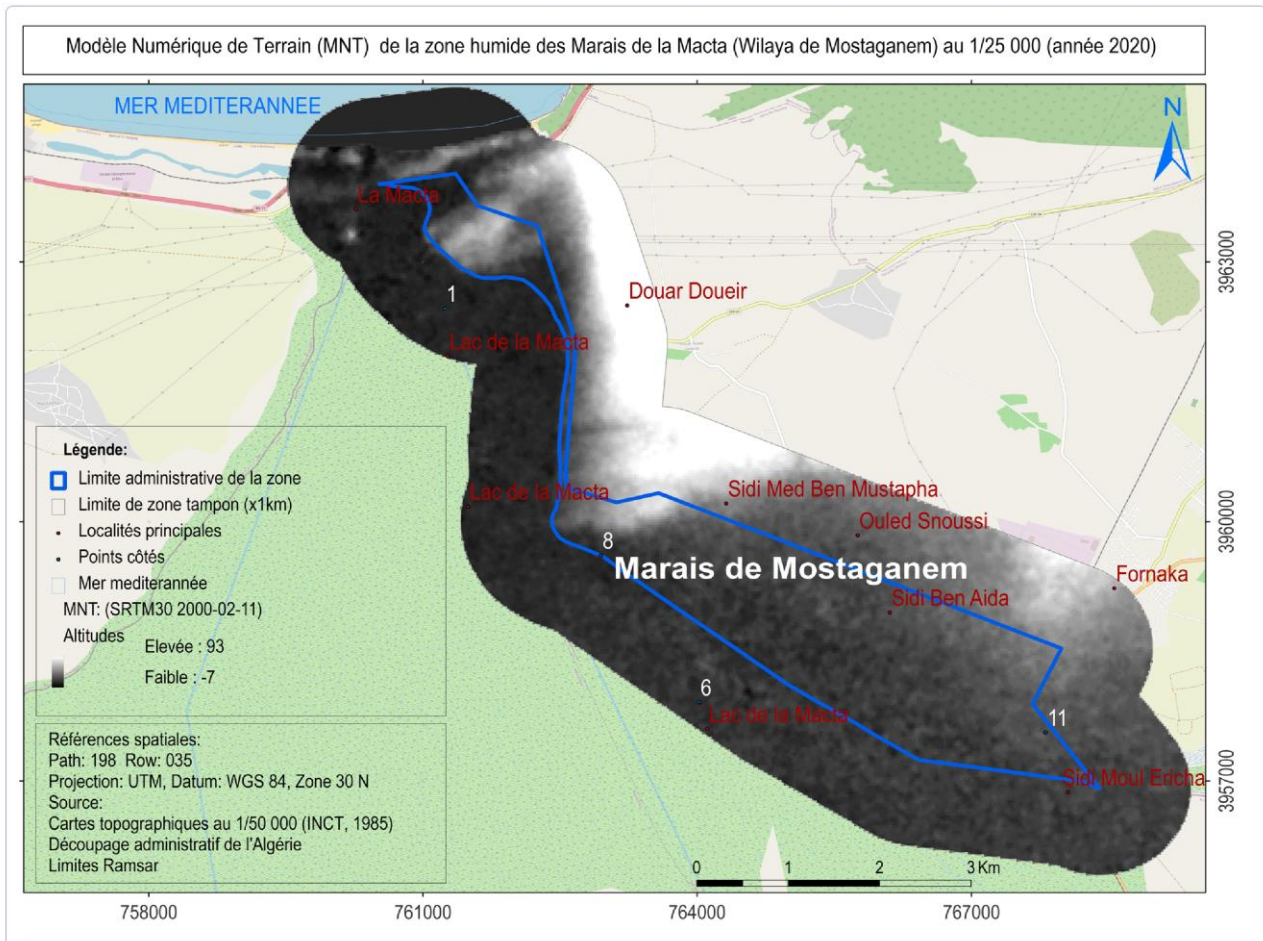


Fig. 8: Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem). (adapté sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).

L'analyse de la fig.8 montre que le relief de la zone varie entre -7 et 93 m d'altitude.

2.2.3.2 Hypsométrie

Pour caractériser la configuration du terrain de la zone, nous avons subdivisé le MNT en tranches d'altitudes a fin de permettre de dégager les différents paramètres du relief (Laabidi et al., 2016). Pour ce faire, nous avons traité à l'aide de logiciel SIG, le MNT de 30*30m de résolution en huit (8)

principales classes d'altitudes. Les résultats obtenus, ont permis d'élaborer la carte hypsométrique, représentée par la fig.9 suivante:

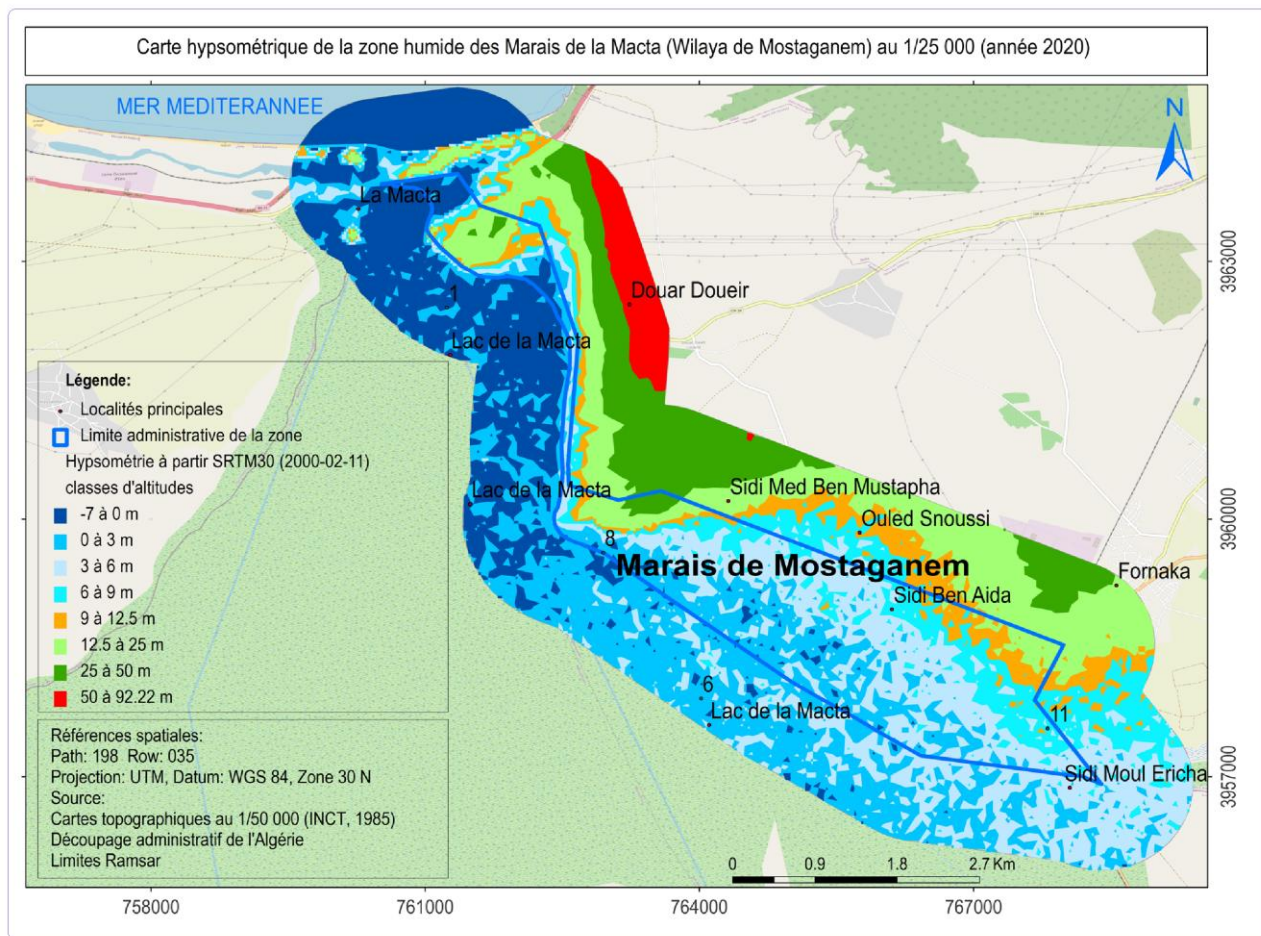


Fig. 9: Carte hypsométrique de la zone humide des marais de la Macta (Wilaya de Mostaganem), (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).

La fig.9 présente les différentes formes géométriques ou physiques de la zone. Morphologiquement, la zone présente une topographie avec une dénivelée assez faible (-7 à 92,22m). Les zones de basses altitudes (-7 à 9m) couvrent une grande surface et elles figurent dans le Nord (coté mer), centre et l'Ouest, et les zones de moyennes et hautes altitudes (9 à 92.22m) dans l'Est (périmètre de Fornaka). Les surfaces et les pourcentages des classes d'altitudes sont exprimées respectivement en (Km², ha) et % dans le tab.4 suivant:

Tab. 4: Pourcentage et surfaces des classes d'altitudes de la zone de la Macta (wilaya de Mostaganem).

N°	Tranches d'altitudes	surfaces		Taux (%)
		(km ²)	(ha)	
1	(-7 - 0m)	6.31	631	17

"Suite Tab.4"				
2	(0 - 3m)	8.75	875	24
3	(3 - 6m)	7.24	724	19
4	(6 - 9m)	3.52	352	9
5	(9 - 17m)	2.11	211	6
6	(17 - 50m)	4.9	490	13
7	(50 - 107m)	3.19	319	9
8	(107 - 235m)	0.98	98	3
Total		37.00	3 700	100

L'analyse du tab.4 montre que la classe des basses d'altitudes (-7 à 0m) occupe une surface de 6.31 Km² (631ha) ce qui correspond à 17% de la surface totale. La surface des classes (0 à 9m) couvre 19.51 Km² (1 951 ha) ce qui correspond à 53% de la surface totale. La classe de 0 à 10 m couvre près de la moitié de la surface totale de la zone entière de la Macta (TINTHOIN et SIMONNEAU, 1952). Le reste (30%) est occupé par les classes supérieurs (9 à 92.22m) sur la périphérie à l'Est de la zone.

2.2.4 Calcul des indices topographiques

2.2.4.1 Pentés du terrain

Pour caractériser la pente c'est-à-dire l'inclinaison du terrain, nous avons généré un raster (image) de pentés à partir du MNT à l'aide de l'outil "pente" (ou *Slope* en anglais) du logiciel SIG car cette méthode présente une meilleure correspondance avec les données de terrain (Rodríguez & Suárez, 2010 in Manière L., 2019). Ensuite nous avons traité et analysé le raster en cinq (5) principales classes exprimées en pourcentages (0%-3%, 3%-6%, 6%-9%, 9%-12% et 12%-16.33%). La méthode a permis d'élaborer une carte de pentés, comme la montre la fig.10 suivante:

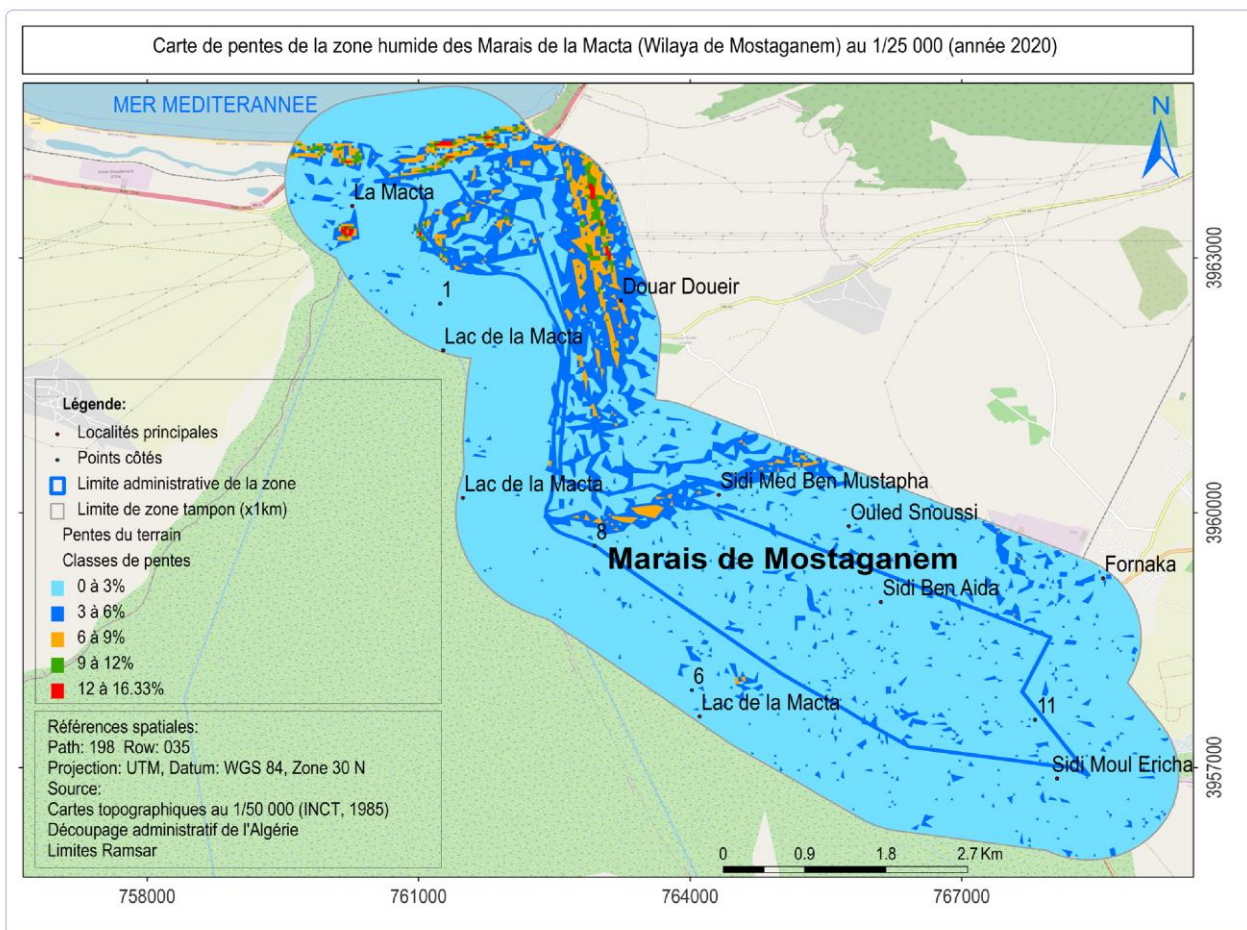


Fig. 10: Carte de pentes de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).

La fig.10 montre que la surface des faibles pentes (Nulle à faible "0 à 3%") domine largement la surface totale de la zone. Cette classe de pentes occupe presque la totalité de la zone sauf à l'exception de quelques configurations de pentes éparpillées dans le Nord et le Nord-Est. Les surfaces et le pourcentage des types de pentes sont exprimées respectivement en (Km² , ha) et % dans le tab.5 suivant:

Tab. 5 : Surfaces et pourcentage des classes de pentes de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem)

N°	Classes	Type de pentes	surfaces		Taux (%)
			(km ²)	(ha)	
1	1	(0-3%)	30.95	3 095	84
2	2	(3%-6%)	4.9	490	13
3	3	(6%-9%)	0.9	90	2.4
4	4	(9%-12%)	0.2	20	0.5

"Suite Tab.5"					
5	5	(12%-16.33%)	0.05	5	0.1
		Total	37	3700	100

Le tab. 5 montre que la surface des classes de faibles pentes (0-3%) couvre 30.95 km² (3 095ha) ce qui correspond à 84% de la surface totale. Dans cette classe les oueds coulent en des lits bien définis, parfois même encaissés (TINTHOIN et SIMONNEAU, 1952). La classe modérée (3 à 12%) occupe une surface de 6 km² (600 ha) ce qui correspond à 16% de la surface totale. La surface des classes supérieures (>12%) couvrent 0.05 km² (5 ha) ce qui correspond à 0.1% de la surface totale de la zone.

2.2.4.2 Expositions du terrain

Pour caractériser l'exposition c'est-à-dire l'orientation de terrain, nous avons généré un raster d'expositions à partir du MNT à l'aide de l'outil "exposition" (ou *Aspect* en anglais) du logiciel SIG. Ensuite nous avons traité le raster résultant en huit (9) principales classes d'orientation exprimées en degré comme suit: Nord (N: 0°-22.5°), Nord-Est (NE: 22.5° - 67.5°), Est (E: 67.5° - 112.5°), Sud-Est (SE: 112.5° - 157.5°), Sud (S: 157.5° - 202.5°), Sud-Ouest (SO: 202.5° - 247.5°), Ouest (O: 247.5° - 292.5°), Nord-Ouest (NO: 292.5° - 337.5°) et Nord (N: 337.5° - 360°). Les classes (0°-22.5° et 337.5° - 360°) ont été fusionnées entre elles car elles représentent la même orientation Nord. La méthode a permis d'élaborer une carte d'expositions, comme la montre la fig.11 suivante:

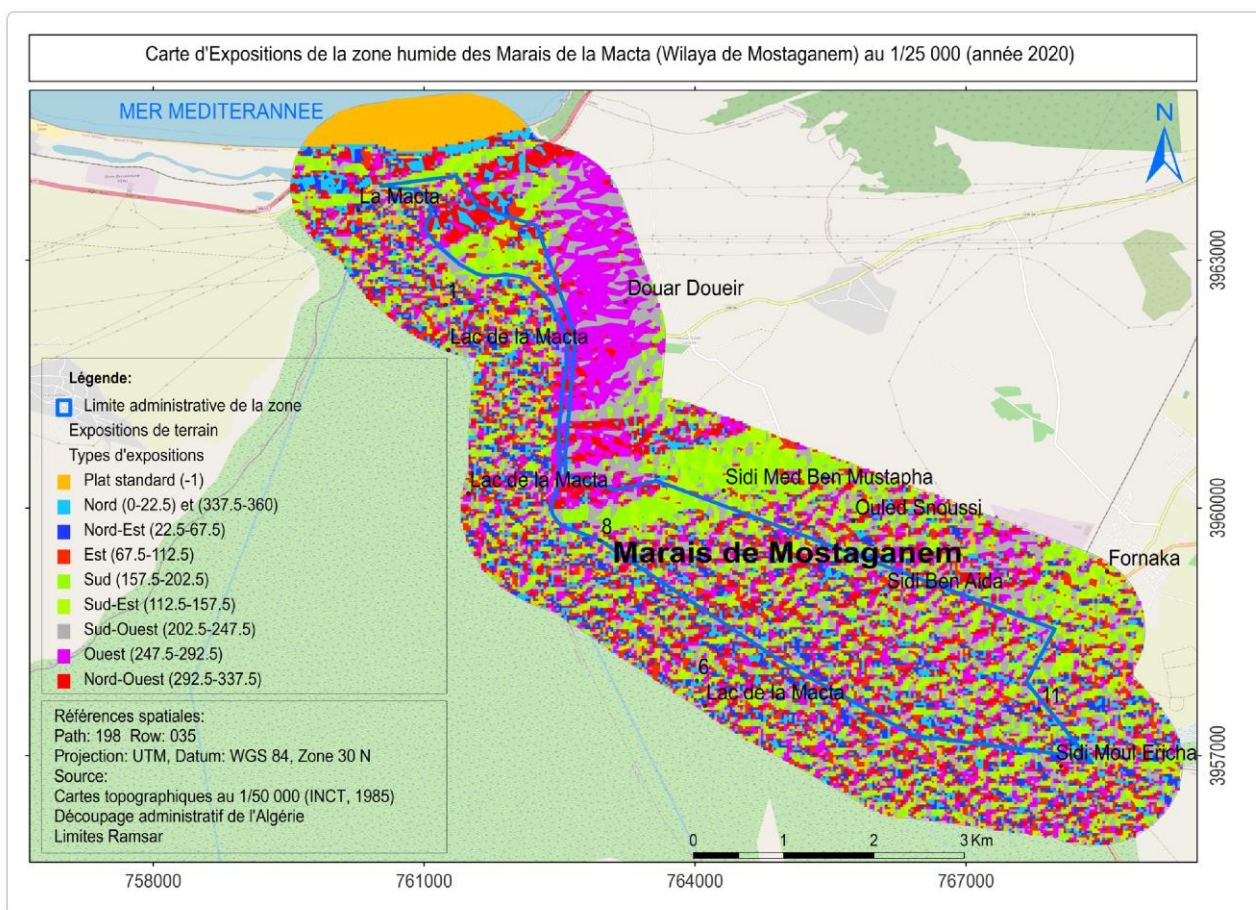


Fig. 11: Carte d' expositions de terrain de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).

La fig.11 montre que les expositions ouest, sud et sud-ouest dominant largement la zone. Le pourcentage et les surfaces des types d'expositions sont respectivement exprimés en (km² , ha) et (%) dans le tab.5 suivant:

Tab. 6: Surfaces et pourcentage des classes d'Expositions de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem)

N°	Classes	Type d'expositions (degré)	surfaces		Taux (%)
			(km ²)	(ha)	
1	1	Plat (-1)	2.05	205.00	5
2	2	Nord (0-22.5), (337.5 - 360)	3.21	321.00	8
3	3	Nord-Est (22.5 - 67.5)	2.71	271.00	8
4	4	Est (67.5 - 112.5)	3.34	334.00	10
5	5	Sud-Est (112.5 - 157.5)	4.25	425.00	11
6	6	Sud (157.5 - 202.5)	5.48	548.00	15

"Suite Tab.6"					
7	7	Sud-Ouest (202.5 - 247.5)	5.74	574.00	15
8	8	Ouest (247.5 - 292.5)	6.18	618.00	17
9	9	Nord-Ouest (292.5 - 337.5)	4.04	404.00	11
Total			37.00	3 700	100

L'analyse du tab.5 montre que la toute exposition (ou terrains plats) occupe 2 Km² (200 ha) ce qui correspond à 5% de la surface totale. Les taux de couverture des autres types d'expositions varient entre (8 à 17%) dont l'exposition ouest domine, elle occupe 17% de la surface totale.

2.2.5 Ressources en eau

Beddal (2016) a montré que les nappes aquifères se concentrent dans la partie centrale et au nord du bassin versant de la Macta dont leur capacité mobilisée est de 76,74 hm³. Les volumes (mobilisées et mobilisables) des ressources en eau (superficielles et souterraines) sont exprimés en hm³ dans le tab.6 suivant:

Tab. 7: Ressources en eau dans le bassin versant de la Macta (D'après Beddal D., 2016)

N°	Ressources en eau	Mobilisables (hm ³)	Mobilisées (hm ³)
1	Superficielle	295	227.41
2	Souterraine	217	76.74
3	Total	512	304.15

Le tab.6 montre que les ressources en eau superficielles et souterraines ont été mobilisées à hauteurs respectives de 57% et 75% du volume total des ressources en eau, ce qui montre que 3/4 du volume total des ressources en eau superficielle est déjà mobilisé.

Quatre (4) barrages ayant une grande capacité initiale de stockage d'eau ont été construit à l'amont (bassin versant de Macta sud) ce qui a entraîné la diminution du ruissellement des eaux vers les marais de la Macta (MEDDI *et al.*, 2009 in Beltrame *et al.*, 2015).

2.2.6 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est influencé par quatre facteurs principaux, à savoir: la géologie, le climat, la pente du terrain et l'intervention humaine (Hallouche B., 2017).

Pour caractériser le réseau hydrographique de la zone d'étude, nous avons généré un réseau d'éléments hydrographiques à partir du SRTM30 après plusieurs traitements. A l'aide des outils "hydrologie" du logiciel SIG ("Direction d'écoulement", "Sens d'accumulation", "Expression Con (méthode Strahler)"), nous avons déterminé le nombre, l'ordre et la direction des écoulements des eaux (Manière L., 2019) au sein de la zone comme la montre la fig.12 suivante:

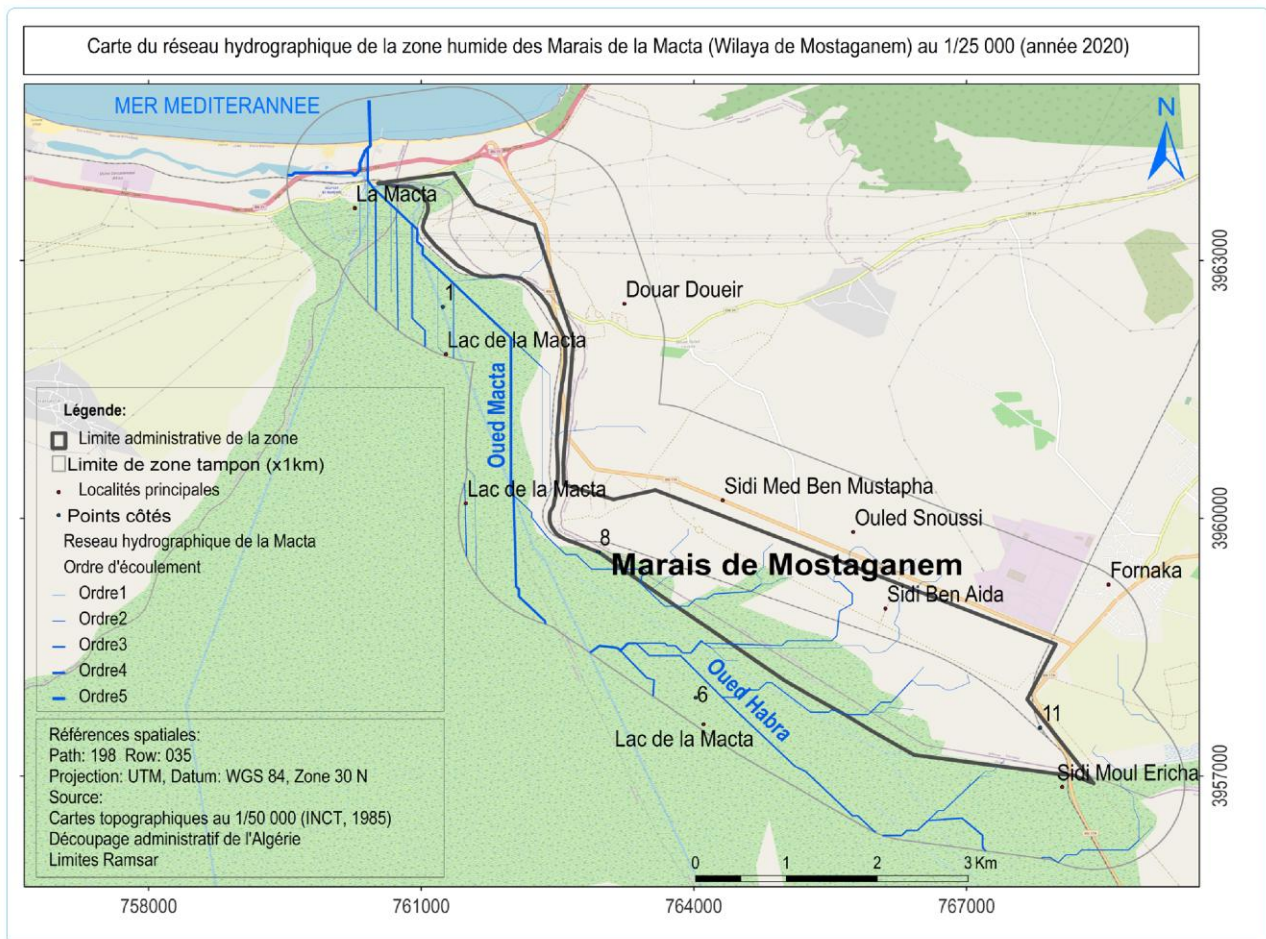


Fig. 12: Carte du réseau hydrographique de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).

La fig.12 montre que l'ouest de la zone tampon est sillonnée par un réseau hydrographique moyennement faible à cause du relief. Le cours d'eau principal est l'oued Macta. L'ordre d'écoulement 4 et 5 sont les principaux collecteurs des eaux, ils sont dirigés tous vers le nord pour déverser dans la mer méditerranéenne. Ce sont des espaces de collecte des eaux vers les milieux aquatiques (Manière L., 2019). La longueur et le pourcentage de chaque ordre d'écoulement sont exprimés en (m) et (%) dans le tab.7 suivant:

Tab. 8: Longueur et pourcentage de l'ordre d'écoulement du réseau hydrographique de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem)

N°	Numéro d'ordre d'écoulement	Longueur (m)	Taux (%)
1	1	23 823	42
2	2	14 093	26
3	3	9 467	17
4	4	6 919	12
5	5	1 697	3
Total		55 999	100

Le tab. 7 montre que les ordres d'écoulement (1,2,3,4 et 5) du réseau hydrographique se concentrent à l'ouest et parcourent du sud au nord, une longueur totale de 56 km dont l'ordre d'écoulement 1 prend naissance à partir des monticules de l'Est et parcourt 24 km ce qui correspond à 42 % de la longueur totale.

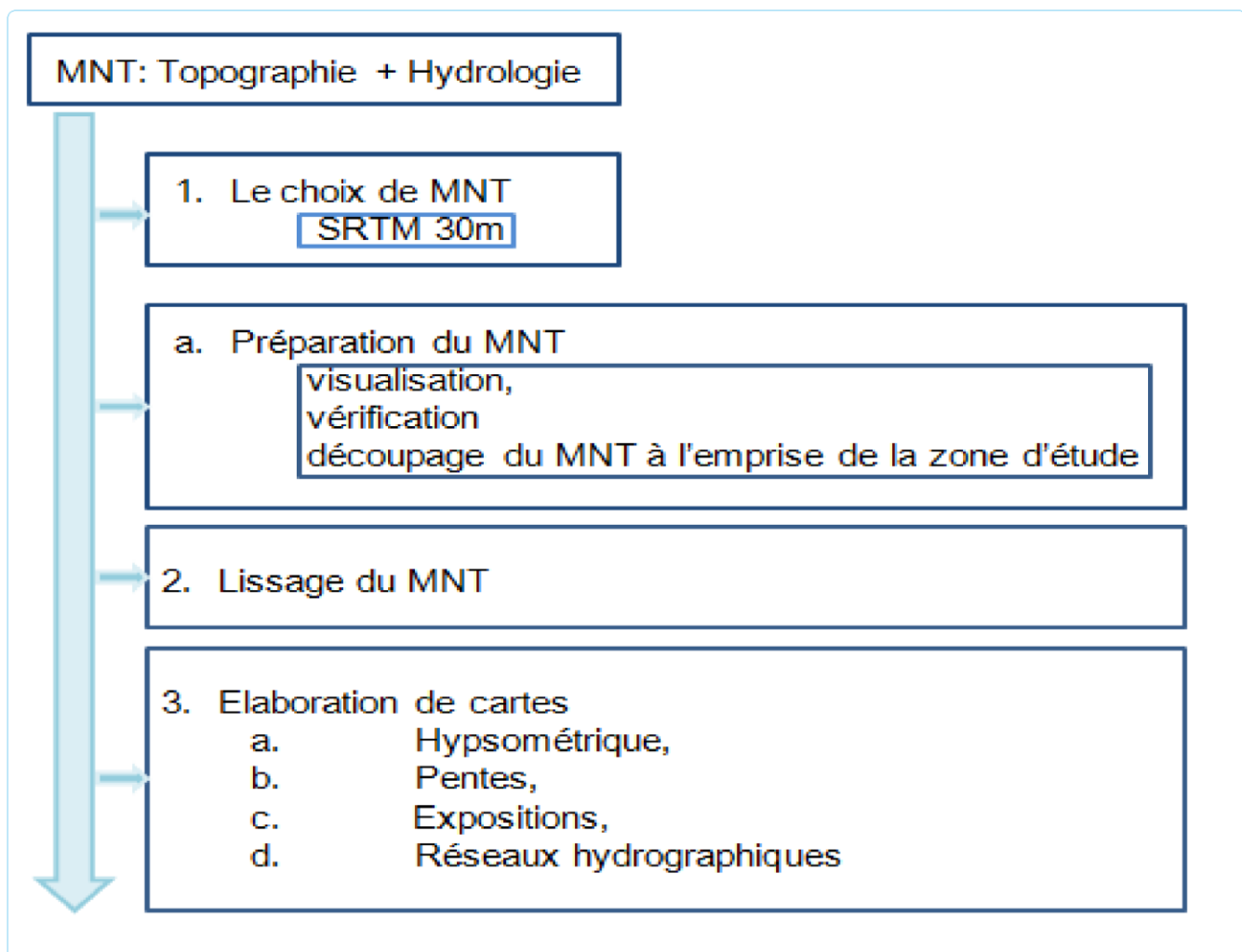


Fig. 13: Schéma de synthèse et d'analyse topographique utilisé

2.2.7 Géologie et lithologie

La géologie des terrains de toute la zone entière (3 wilaya) de la Macta est marquée par la présence des sédiments fins d'âge Quaternaire (Holocène) qui prédominent au centre et à l'est de la dépression. Il s'agit fondamentalement des dépôts alluvionnaires argilo-sableux à salinité variable, allant de très salées/très argileux à sableux/peu salés. Ils appartiennent au Rharbien/Chellifien (qA). Au Nord-ouest et au Nord-est prédominent les formations d'âge Pléistocène, surtout des terrains d'origine marine allant du Thyrrénien au Calabrien et constitués de calcaires à Lumachelle et dunes marines associées. Du côté Nord-ouest on peut trouver aussi des fenêtres de formations plus anciennes (Tertiaire) tels que les grès et marnes, les Tripolis, les gypses et calcaires à Lithoamniun. Dans la bordure Sud du marais et faisant la transition vers le bassin-versant, s'étalent des terrains plus anciens, âgés du Crétacé, essentiellement rocheux, surtout des grès et des marnes grises avec quelques calcaires et gypses. Cette vaste plaine, basse et marécageuse, est affectée depuis le

Miocène d'une active subsidence qui se poursuit de nos jours. Les alluvions sont apportées par les deux principaux Oueds l'Habra, le Tinn et le Sig, descendant des Béni Chougrane. Les parties les plus basses se maintiennent à quelques mètres seulement au-dessus de la mer, rendant l'évacuation des eaux partiellement difficile. Cette dépression sublittorale se trouve séparée du Golf d'Arzew par un cordon dunaire. Au Sud la surrection de l'Atlas Tellien durant le Miocène inférieur a provoqué un important charriage. On retrouve dans les Béni Chougrane la trace de ses mouvements avec la présence de séries du Crétacé au Miocène inférieur autochtone, sur des séries Triasiques à Miocènes. Durant la période allant du Miocène au Pliocène, on assiste à une sédimentation marine au Nord de ces nappes dans le large bassin subsident de l'Habra et des Béni Chougrane, compris entre les hautes plaines et le horst d'Arzew. Ces séries sont reprises par des plissements néogènes au Sud - ouest et Nord - est et les phénomènes tectoniques de bascule. Ainsi s'individualise le relief des Béni Chougrane et le plateau d'Arzew et celui de Mostaganem. La plaine subit dès lors une sédimentation lagunaire dont la dynamique est imputable aux alluvions quaternaires déversées dans l'énorme cône de déjection inférieur des piedmonts Nord des Béni Chougrane (TINTHOIN et SIMONNEAU, 1952).

Au niveau de la zone d'étude, les données de l'étude d'inventaire forestier national (IFN) élaboré par le Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural (BNEDER) en 2008 pour la conservation des forêts de Mostaganem, montrent que la lithologie de la zone de Mostaganem est formée principalement par les alluvions et les sables.

Pour cartographier et caractériser la géologie de la zone d'étude, nous avons géoréférencé la carte géologique de l'Algérie au 1:500 000^e éditée en date du 1952 à l'aide de logiciel SIG. La première lecture sur la carte géologique montre que la zone d'étude abritait des plans d'eau nommés réservoir de la Macta depuis les dates de son dressement (1933-1940) et d'édition (1951-1952). Cela montre que la zone humide est forte ancienne. A l'aide du logiciel SIG, nous avons découpé la carte à l'emprise de la zone d'étude, puis avons numérisé les couches des formations géologiques géoréférencées. La méthode a permis de réaliser une carte géologique comme la montre la fig.14 suivante:

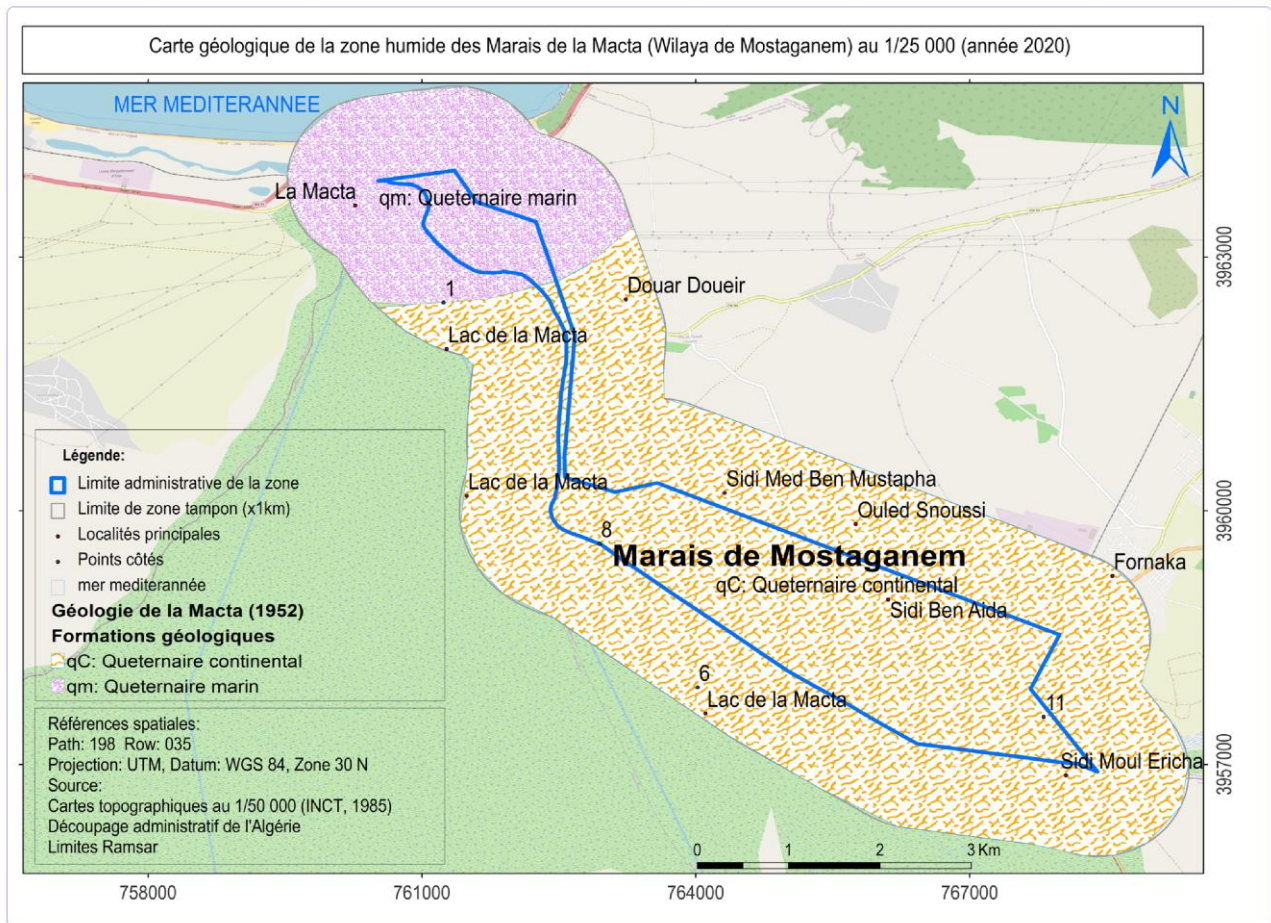


Fig. 14: Carte géologique de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap (OSM)) (D'après Farah et al., 2020).

La fig.14 montre que la zone repose sur deux grands types de formations géologiques à savoir le quaternaire continental (qt) et le quaternaire marin (qm). Le pourcentage et les surfaces de chaque formation sont exprimés respectivement en (%) et (km², ha) dans le tab.8 suivant:

Tab. 9: Surfaces et pourcentage des formations géologiques de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem)

N°	codes	Formations géologiques	surfaces		Taux (%)
			(km ²)	(ha)	
1	qt	Quaternaire continental	29.90	2 990.00	81
2	qm	Quaternaire marin	7.10	710.00	19
Total			37.00	3 700	100

Le tab.8 montre que la formation géologique du quaternaire continental (alluvions: a²) occupe une surface de 29.90 km² (2 990 ha) ce qui correspond à 81% de la surface totale.

2.2.8 Ressources en sols

La constitution géologique de la Macta est marquée par les sédiments fins qui prédominent sur les autres types lithologiques y trouvés. On y voit essentiellement des variations alluvionnaires des sols fins à très fins, les sols granulaires (sables fins) étant subsidiaires. Certains sols sont constitués par des alluvions argileuses salifères, les marais proprement dit montrant plutôt des alluvions limono argileux. Dès la fin du Pliocène une alternance capricieuse de couches argileuses et sableuses, déposées tant en milieu terrestre qu'en milieu lacustre ou lagunaire, a donné naissance à une plaine basse, dont la partie aval se trouve à peu près au niveau de la mer (TINTHOIN et SIMONNEAU, 1952).

Pour cartographier et caractériser les ressources en sols de la zone, nous avons géoréférencé la carte des sols d'Algérie au 1:500 000^e éditée en date de 1952, à l'aide de logiciel SIG. La première lecture sur la carte des sols montre que la zone d'étude est composée de sols de marais et sols salins. Cela montre que la salinité au niveau de la zone est forte ancienne. A l'aide du logiciel SIG, nous avons découpé la carte à l'emprise de la zone d'étude, puis avons numérisé les couches de types de sols. La méthode a permis de réaliser une carte des sols comme la montre la fig.15 suivante:

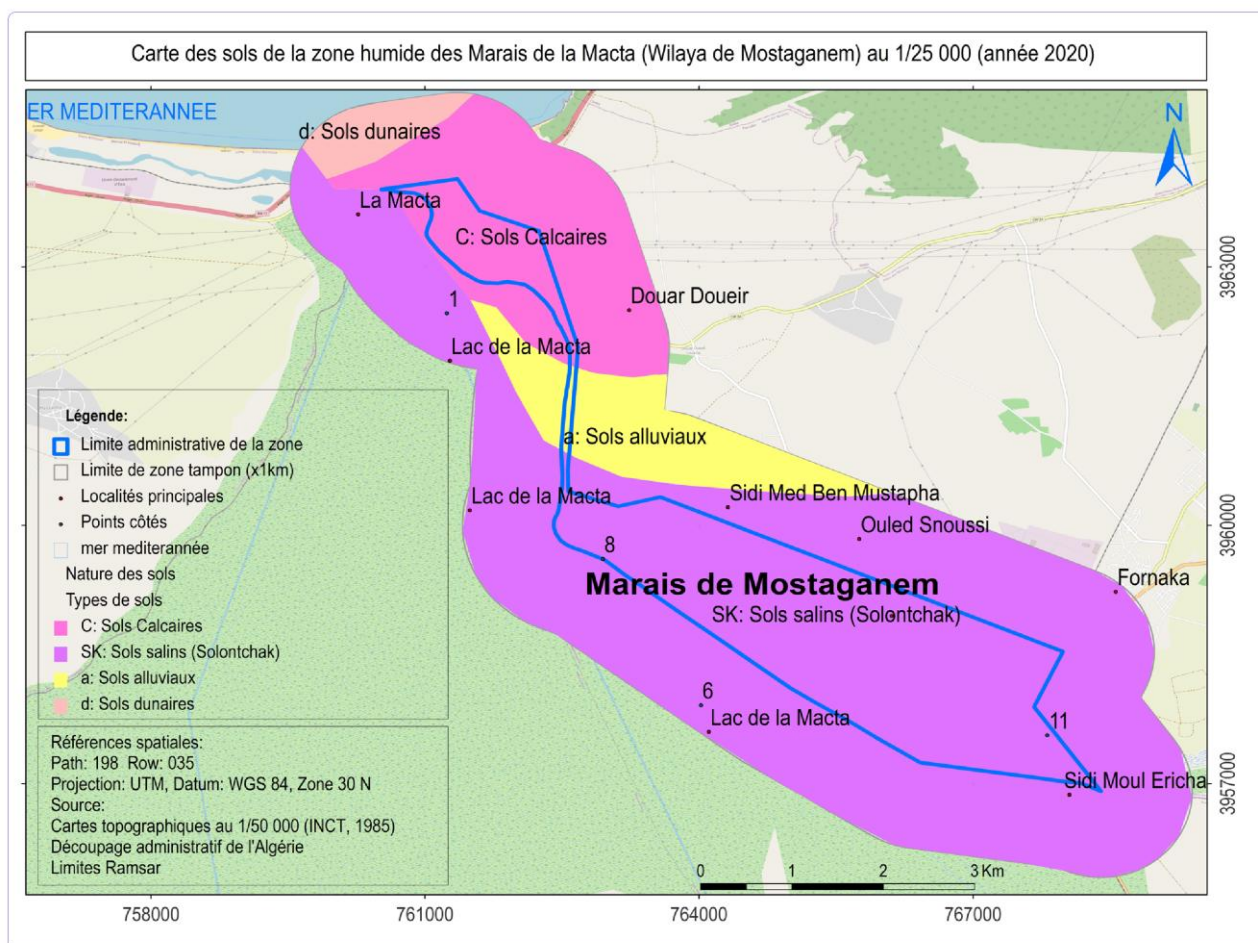


Fig. 15: Carte des sols de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).

La fig. 15 montre que la zone présente quatre types de sols. Ce sont des sols de marais entourés par les sols salins (Solontchak), alluviaux, calcaires et dunaires. Le pourcentage et les surfaces de chaque type de sols sont exprimés respectivement en (%) et (km², ha) dans le tab.9 suivant:

Tab. 10: Surfaces et pourcentage des types de sols de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem)

N°	Codes	Types de sols	surfaces		Taux (%)
			(km ²)	(ha)	
1	d	Sols dunaires	0.95	95	3
2	sK	Sols salins (Solontchak)	26.78	2 678.00	72
3	a	Sols alluviaux	3.15	315.00	8
5	C	Sols calcaires	6.12	612.00	17
Total			37.00	3 700	100

Le tab.9 montre que les sols salins (Solontchak) occupe 26.78 km² (2 678 ha) ce qui correspond à 72% de la surface totale. Les sols calcaires, alluviaux et dunaires couvrent respectivement 17%, 8% et 3% de la surface totale.

2.2.9 Voies d'accès

Pour cartographier et caractériser les voies d'accès présentes sur le terrain d'étude, nous avons téléchargé les données d'OpenStreetMap (OSM) à partir du site (<https://extract.bbbike.org>). OSM a été créé en 2006 dans le Royaume-Unis, il dispose une base de données géographiques vectorielles à grande échelle couvrant l'ensemble de la planète. Les données sont composées de réseau routier et de points d'intérêt (occupation du sol et réseau hydrographique). Elles sont librement utilisables et éditables. Elles présentent une bonne précision géométrique et sémantique (PETIT et al., 2012). Parmi les données téléchargées, nous avons utilisé le réseau routier fourni sous format shapefile. Ensuite, avons découpé le réseau à l'emprise de la zone d'étude à l'aide du logiciel SIG, puis avons inséré, croiser et visualiser le réseau à l'écran. La visualisation montre que les tronçons des voies d'accès téléchargés sont nettement superposables sur les cartes produites. Les tronçons de voies d'accès téléchargés sont codifiés en Routes Nationales (RN) et pistes. Pour compléter les informations manquantes sur ce réseau, avons appliqué les méthodes de digitalisation sur les données exogènes ou externes (cartes topographiques et thématiques géoréférencées, images Bing de Microsoft et les données terrain restituées par le GPS). La méthode de numérisation a permis d'apporter un complément à la cartographie par le report des tronçons des voies ferrées et pistes d'accès aux sites. Ceux-ci ont permis d'élaborer une carte de réseau de voies de communication comme la montre la fig. 16 suivante:

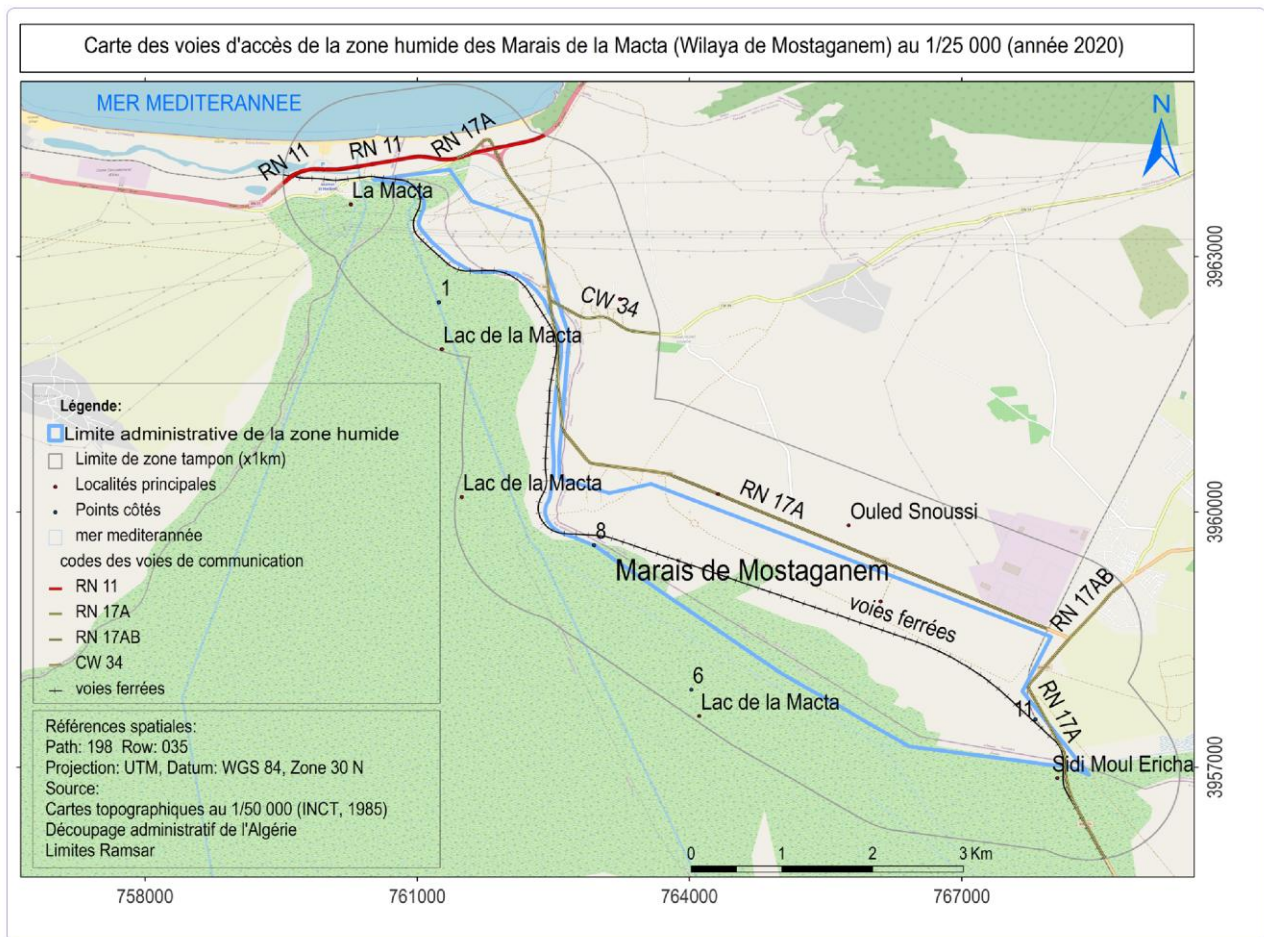


Fig. 16: Carte des voies d'accès de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).

La fig.16 montre que la zone d'étude est desservie par un réseau de voies d'accès composées de Routes nationales (RN), Chemin de wilaya (CW), voies ferrées et pistes agricoles carrossables. La RN11 reliant Mostaganem avec Oran, parcourt une longueur de 1 km le long de la limite Nord de la zone. La RN17 reliant la Macta avec Mohammadia, parcourt une longueur totale de 14 km le long de sa limite Est. La RN4 reliant Mohammadia avec Sig, et parcourt une longueur de 25 km le long de sa limite Sud.

L'accès à l'intérieur de la zone est assurée par quelques pistes agricoles et sentiers pédestres qui prennent leur tenant à partir de la route nationale et chemin de wilaya.

La voie ferrée reliant Mers El Hadjadj (Oran) avec Mohammadia longe à peu près la RN17 et elle parcourt une longueur totale de 14 km. C'est une ancienne voie ferrée qui traverse la zone humide tout près de l'embouchure de la Macta. Un projet de liaison ferroviaire entre Mostaganem et mers El Hadjaj est en phase d'étude, son tracé mesure sur plan une longueur de 27 km, reliant aussi cette agglomération à Mohammadia (Adnane et Bensta, 2007).

2.2.10 Milieu biotique

Pour élaborer une carte thématique de base, nous avons géoréférencé la carte de la végétation de l'Algérie (Bosquet - Mostaganem), au 1:200 000^e (INCT, 1958), réalisée par photointerprétation par Simonneau en 1958. A l'aide de logiciel SIG, avons découpé la carte géoréférencée à l'emprise de la zone d'étude puis avons digitalisé manuellement tous les habitats écologiques naturels et artificiels qui couvrent les sols. La méthode a permis d'élaborer une carte d'occupation du sol qui remonte de l'année 1958 comme la montre la fig.17 suivante:

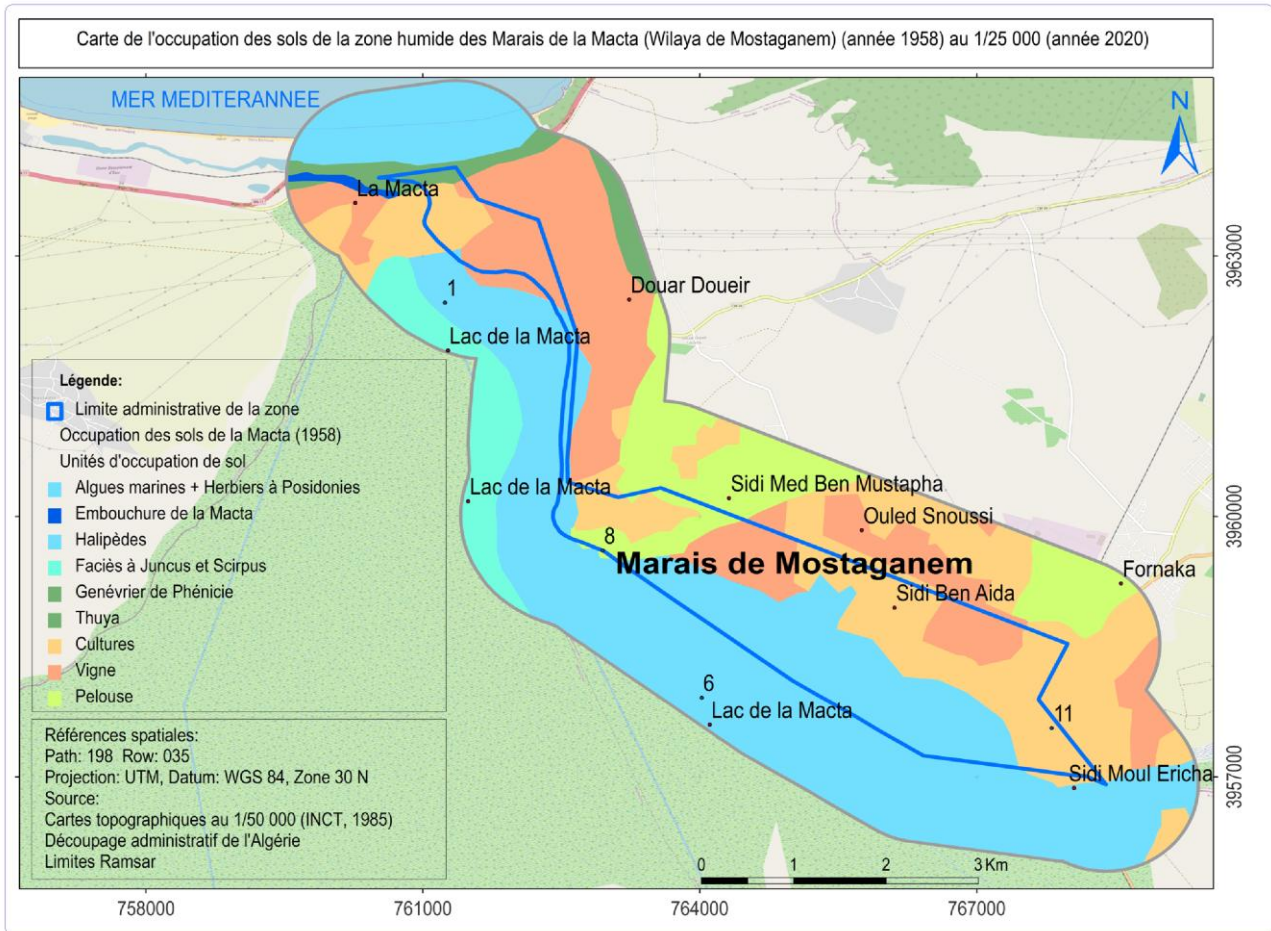


Fig. 17: Carte de l'occupation des sols de la zone humide des marais de la Macta (wilaya de Mostaganem) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM") (D'après Farah et al., 2020).

La fig.17 montre quatre types de végétation présents dans la zone. La végétation halophile à base de Juncus, Scirpus, Tamarix et Halipèdes, couvre le nord, ouest et le sud de la zone. La végétation forestière composée principalement des résineux (Gènevrier de Phénicie et Tamarix) et une végétation marine sur fond marin de proximité (Algues marines et herbiers de Posidonies). La végétation de types agricoles (céréaliculture, arboriculture, viticulture et pelouse) occupe toute la partie Est et sud-Est, Sud et l'ouest. Les eaux de surface qui viennent du bassin versant de Sig et

Mohammadia alimentent la zone puis la traversent à travers le canal de l'embouchure de la Macta pour se déverser dans la mer.

Le pourcentage et les surfaces des types d'occupation du sol ont été estimés en km², ha et (%) dans le tab. 10 suivant:

N°	Types d'occupation du sol	Nature de l'occupation du sol	surfaces		Taux (%)
			(km ²)	(ha)	
1	Végétation marine	Algues marines + Herbiers à Posidonies	1.94	194.00	5
2		Total	1.94	194	5
3	Végétation halophile	Halipèdes	13.91	1 391.00	37
4		Faciès à Juncus et Scirpus	1.76	176.00	5
5		Total	15.68	1 568.00	42
6	Végétation forestière	Thuya	0.35	35.00	1
7		Genévrier de Phénicie	0.64	64.00	2
8		Total	0.99	99	3
9	Végétation agricole	Cultures	7.77	777.00	21
10		Vigne	6.98	698.00	19
11		Pelouse	3.55	355.00	9
12		Total	18.30	1 830.00	54
13	Surface d'eau	canal de la Macta	0.10	10.00	0.1
14		Total	0.1	10	0.1
Total			37.00	3 700	100

Le tab.10 montre que la végétation halophile couvre 42 % de la surface totale de la zone dont les Halipèdes dominent la surface (37%). Cette couverture végétale assure la transition entre les zones humides et les zones cultivées, elle sert de lieux de nidification aux oiseaux et de pâtures pour le bétail (Tedjani K., 2010). La végétation marine occupe 5% de la surface totale. Les formations forestières couvrent 3% de la surface. Les surfaces agricoles sont repertoriées dans tout le périmètre Est de la zone et à l'intérieure de la limite administrative. L'agriculture occupe plus de la moitié (54%) de la surface totale. Cela montre que les pratiques agricoles exercent depuis long temps une pression sur la zone.

Notre sortie sur le terrain a permis d'observer et de prendre des photos sur les habitats humides naturels (par ex. surface d'eau permanente et temporaire), terrestres (végétation halophile, agriculture et forêts) et artificiels (infrastructures et espaces urbanisés). Les photos ont été sélectionnées et présentées selon leurs qualités représentatives comme suit:



Fig. 18: Photos prises le 03.06.2020 sur les habitats humides naturels terrestres observés sur le terrain (clichés: Zerouki et Boudali, 2020).

2.2.10.1 Habitats naturels terrestres (agricoles)

La wilaya de Mostaganem dispose une surface agricole utile (S.A.U) s'élève à 132 268 Ha, et une superficie en irriguée qui représente 12 % de la S.A.U, soit 21 013,5 Ha. La production végétale est très diversifiée, céréales, fourrages, maraîchage, légumes secs, arboriculture et viticulture (ANAT, 2011).

Les champs de céréales et de vignobles se rencontrent sur les plateaux et dans les plaines qui ne sont pas atteintes par la salent c'est-à-dire là où la nappe phréatique saumâtre n'est pas trop proche de la surface que ce soit naturellement ou par drainage (Metzmacher M., 1979).



Fig. 19: Photos prises le 03.06.2020 sur les habitats naturels agricoles (ex. verger d'oliviers: oliveiraie) (clichés: Zerouki et Boudali, 2020).

2.2.10.2 Elevage

Le potentiel de la production animale à l'échelle de la wilaya de Mostaganem s'articule essentiellement sur l'élevage du bovin laitier (5 612 têtes), soit une production moyenne de 131 litres / jour (ANAT, 2011).

C'est l'élevage qui est l'activité principale aussi bien autour de la zone qu'à l'intérieur même de celle-ci. Ce sont, généralement, en plus des éleveurs riverains ceux qui sont en provenance d'autres régions (Laghouat, Djelfa, Tiaret El Bayadh, en particulier) qui s'y installent pendant une longue période de l'année. Les animaux d'élevage, nous citons les ovins, les bovins, les caprins et les poulets de chaires. Ce phénomène de pâturage est observé même sur les dunes au nord de la Macta conduit à la réduction du couvert végétal et à la disparition des espèces les moins résistantes. Les oiseaux sont fréquemment dérangés par ce facteur qui est considéré comme limitant sérieux à l'installation et à la réussite des oiseaux nidificateurs (Fahim, 2016).

L'aviculture à Mostaganem dispose d'une capacité installée de 6 000 000 unités pour la ponte et 720 000 unités pour la viande blanche (ANAT, 2011).

2.2.11 Habitats naturels terrestres (forêts)

Les zones boisées sont essentiellement constituées de Pin d'Alep (*pinus halepensis*) sur les contreforts des collines de Sig et de genévrier (*juniperus Sp.*) sur les dunes de la Macta. Les forêts de tamaris qui occupaient de grandes superficies ont été régressées en petits bosquets (Tedjani K., 2010).

2.2.12 Habitats humides naturels (végétation halophile)

Les conditions du milieu des marais de la Macta, zone humide, écosystème palustre, ont favorisé l'installation d'une flore spécifique ; cette flore particulièrement adaptée aux conditions aquatique et terrestre, hydrophiles et halophiles (sols salés). Les espèces végétales faisant la richesse de cette flore et associant par affinité en groupement végétaux mal connus, présentent des adaptations morphologiques, anatomiques et physiologiques originales (Souidi Z., 2016). La flore remarquable du site de la Macta est définie et structurée en noms botanique et familles floristiques dans le tab. 10 suivant:

Tab. 11: Liste des familles floristiques remarquables de la zone humide de la Macta (d'après Souidi Z., 2016).

N°	Nom français	Nom latin	N°	Nom français	Nom latin
1	Astéracées	Asteraceae	16	Iridacées	Iridaceae
2	Fabacées	Fabaceae	17	Oxalidacées	Orobanchaceae
3	Renonculacées	Ranunculaceae	18	Orobanchacées	Oxalidaceae
4	Poacées	Poaceae	19	Ruppiacees	Ruppiaceae
5	Aizoacées	Aizoaceae	20	Tamaricacées	Tamaricaceae
6	Areceae	Areceae	21	Cypéracées	Cyperaceae
7	Asparagacées	Asparagaceae	22	Convolvulacées	Convolvulaceae
8	Amaranthacées	Amaranthaceae	23	Cynomoriacées	Cynomoriaceae
9	Apiacées	Apiaceae	24	Boragacées	Boraginaceae
10	Polygonacées	Polygonaceae	25	Géraniacées	Geraniaceae
11	Caryophyllacées	Caryophyllaceae	26	Euphorbiacées	Euphorbiaceae
12	Plantaginacées	Plantaginaceae	27	Zygophyllacées	Zygophyllaceae
13	Malvacées	Malvaceae	28	Joncacées	Juncaceae
14	brassicacées	Brassicaceae	29	Solanacées	Solanaceae
15	Linacées	Linaceae	30	Primulacées	Primolaceae

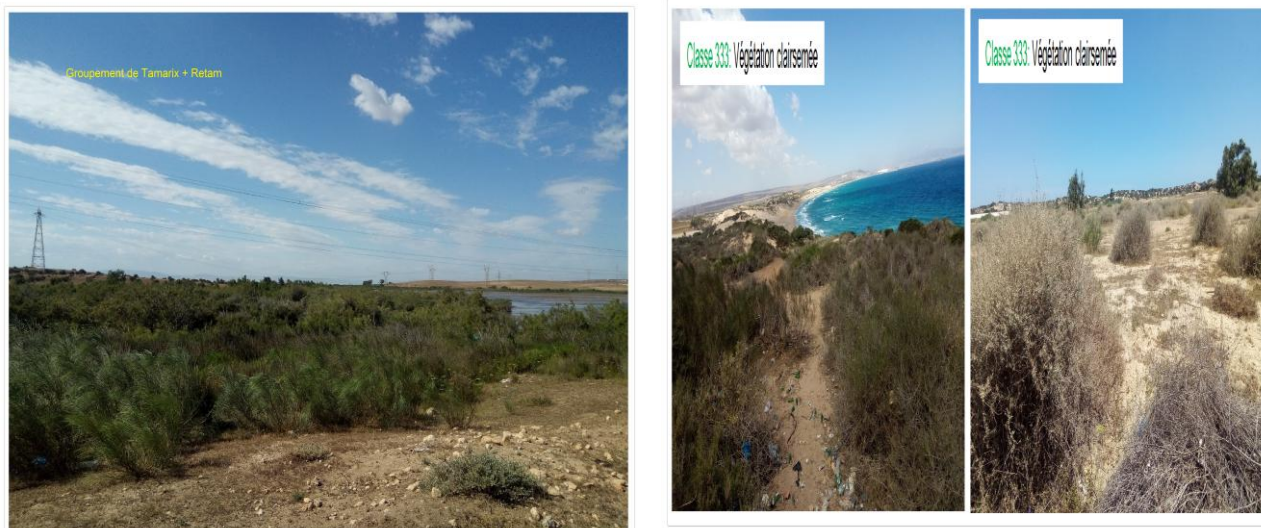


Fig. 20: Photos prises le 03.06.2020 sur les habitats naturels terrestres (groupements de Tamarix et Retam) (clichés: Zerouki et Boudali, 2020).

2.2.13 Habitats humides naturels (surfaces d'eau libre)



Fig. 21: Photos prises le 03.06.2020 sur les habitats humides naturels et terrestres (cratère rempli d'eau permanente) (clichés: Zerouki et Boudali, 2020).

2.2.14 Mileux artificiels

2.2.14.1 Réseaux routiers et ferroviaires

Les infrastructures routières qui contournent et traversent la zone sont, la route nationale (RN), le chemin de wilaya (CW) et la voie ferrée. Les données montrent que la réalisation de divers projets se fait sans étude d'impact préalable. L'exemple le plus frappant est le dédoublement et l'échangeur de RN11 qui relie Mostaganem avec Oran, réalisé sur le cordon dunaire de la Macta. L'ancienne

voie ferrée qui relie Mers El Hadjadj avec Mohammadia, traverse la zone humide tout près de l'embouchure de la Macta. Une liaison ferroviaire entre Mostaganem et mers El Hadjadj est prévue sur une longueur de 27 km, reliant aussi cette agglomération à Mohammadia (Zair B & EL-Filali O., 2016). Une nouvelle voie ferrée se trouvant actuellement aussi en projet reliant Hassi Mefsoukh (Oran) avec Mostaganem (sur 50 km). D'après les variantes (V1 et V2) proposées, le tracé projeté sur plan, fait la parallèle avec la RN11 et traverse la zone (projet de l'Agence Nationale d'Etudes et de Suivi de la réalisation des Investissements Ferroviaires (ANSERIF, 2011). Une conduite d'amenée d'eau potable réalisée dans le cadre du projet Mostaganem- Arzew et Oran (MAO) qui traverse aussi la zone au nord. Ces types de voies d'accès (RN, CW et voies ferrées) vont contribuer dans la destruction de la flore, dérangement de la faune et l'artificialisation des sols. La réalisation des infrastructures dans la région été de façon indéterminé et négligeable de la conservation de l'environnement, où le cordon dunaire endurer une désagrégation et des altérations intense ces derniers années et surtout par les différentes infrastructures. Les équipements et les infrastructures associées (accotements routiers, places panoramiques, parkings, accès aux plages,...etc) vont exercer une pression supplémentaire sur la zone comme la montre la fig. 30 suivante:



Fig. 22: Photos prises le 03.06.2020 sur les habitats naturels convertis en infrastructures routières, ferroviaires, équipements hydrauliques et espaces associés (clichés: Zerouki et Boudali, 2020).

2.2.14.2 Milieux urbanisés



(a) agglomération



(b) station de dessalement de l'eau de mer MAO

Fig. 23: Photos prises le 03.06.2020 sur les habitats naturels convertis en zones urbanisées (clichés: Zerouki et Boudali, 2020).

2.2.15 Conclusion

La Macta représente un écosystème spécifique sur le littoral ouest de l'Algérie par sa position et la richesse de sa biodiversité. Les marais de la Macta sont une zone humide faisant partie des hotpost de la biodiversité méditerranéenne. Classée parmi les écosystèmes les plus riches de la région.

2.2.16 Milieu socio-économique

La Wilaya de Mostaganem compte à fin 2010 une population de 768 942 hab avec une densité de 339 hab/km². La population ayant un âge inférieur à 15 ans représentant 28% du total de la population. En 2010, la population active et occupée a été estimée respectivement à 332 007 hab et 303 099 hab (ANAT, 2011).

Tab. 12: Répartition de la population de la wilaya de Mostaganem occupée par secteur d'activité (source: ANAT, 2010)

N°	Secteur d'activité	Nombre d'emplois	Taux (%)
1	Agriculture	66.335	21,92
2	Industrie	10.286	3,40
3	BTP	48.963	16,18
4	Administration	45.655	15,09

"Suite Tab.12"			
5	commerce et services	101.672	33,60
6	transport	12.876	4,26
7	tourisme	3.264	1,08
8	pêche	483	0,16
9	autres	13.104	4,33
Total		302.638	100%

Le tab. 11 montre que les secteurs de l'agriculture et l'industrie emploient respectivement 66 335 et 10 286 habitants ce qui correspondent à 21.92 % et 3.40 % du total de la population occupée. La commune de Fornaka dont fait partie la zone d'étude abrite une zone industrielle d'une surface totale de (31.52 + 74.20 ha). Les activités à l'intérieur des zones d'activité de la wilaya sont variées. Les matériaux de construction et les travaux publics sont les plus représentatifs avec un taux de 84% , l'industrie agro alimentaire avec 5%, le textile 0,5% , le cuir 0,5%, le bois 1,5%, le plastique 1,3% et autres 1,3% (ANAT, 2011).

La région de la Macta présente des potentialités économiques importantes, basées essentiellement sur l'agriculture et l'élevage. La zone agricole de la Macta est la première région oléicole et agrumicole de l'Ouest algérien, malgré les difficultés que connaissent ces activités depuis l'indépendance. À titre d'exemple, 3000 tonnes d'olives de table ont été exportées vers les autres régions d'Algérie en 2009. Le développement agricole n'est pas très ancien. Il a plutôt suivi les travaux d'assèchement et de drainage, et la mise en place par les colons français de réseaux d'irrigation et de drainage au début du siècle dernier.

À côté de l'activité agricole, le pastoralisme tient une place privilégiée, avec des mouvements de transhumance de plus en plus importants. Un cheptel d'environ 50 000 têtes d'ovins, détenu par une population nomade (environ 200 personnes) des régions du sud de l'Oranie, fréquente régulièrement la plaine de la Macta (DSA- Mostaganem, 2009). Le secteur primaire est organisé autour d'une économie traditionnelle, qui participe au maintien d'une population, rurale et agglomérée, de l'ordre de 78 000 habitants (ONS, 2008). Cependant le développement économique basé sur une exploitation incontrôlée des ressources naturelles pose actuellement beaucoup de problèmes quant à l'équilibre écologique de cette zone humide (GHODBANI T. & AMOKRANE K., 2013).

La Wilaya de Mostaganem compte à fin 2010 une population de 768.942 HAB avec une densité de 339 HAB / km². La population ayant un âge inférieur à 15 ans représentant 28% du total de la population. En 2010, la population active et occupée a été estimée respectivement à 332 007 hab et 303 099 hab (ANAT (Agence Nationale d'Aménagement du Territoire), 2011).

Tab. 13: Répartition de la population de la wilaya de Mostaganem occupée par secteur d'activité (source: ANAT, 2010)

N°	Secteur d'activité	Nombre d'emplois	Taux (%)
1	Agriculture	66.335	21,92
2	Industrie	10.286	3,40
3	BTP	48.963	16,18
4	Administration	45.655	15,09
5	commerce et services	101.672	33,60
6	transport	12.876	4,26
7	tourisme	3.264	1,08
8	pêche	483	0,16
9	autres	13.104	4,33
Total		302.638	100%

Le Tab. 11 montre que les secteurs de l'agriculture et l'industrie emploient respectivement 66.335 et 10 286 habitants ce qui correspondent à 21.92 % et 3.40 % du total de la population occupée. La commune de Fornaka de proximité de la zone humide de la Macta abrite une zone industrielle d'une surface totale de (31,52 + 74,20 ha). Les activités à l'intérieur des zones d'activité de la wilaya sont variées. Les matériaux de construction et les travaux publics sont les plus représentatifs avec un taux de 84% , l'industrie agro alimentaire avec 5%, le textile 0,5% , le cuir 0,5%, le bois 1,5%, le plastique 1,3% et autres 1,3% (ANAT, 2011).

La région de la Macta présente des potentialités économiques importantes, basées essentiellement sur l'agriculture et l'élevage. La zone agricole de la Macta est la première région oléicole et agrumicole de l'Ouest algérien, malgré les difficultés que connaissent ces activités depuis l'indépendance. À titre d'exemple, 3000 tonnes d'olives de table ont été exportées vers les autres régions d'Algérie en 2009. Le développement agricole n'est pas très ancien. Il a plutôt suivi les travaux d'assèchement et de drainage, et la mise en place par les colons français de réseaux d'irrigation et de drainage au début du siècle dernier.

À côté de l'activité agricole, le pastoralisme tient une place privilégiée, avec des mouvements de transhumance de plus en plus importants. Un cheptel d'environ 50000 têtes d'ovins, détenu par une population nomade (environ 200 personnes) des régions du sud de l'Oranie, fréquente régulièrement la plaine de la Macta (Direction de l'Agriculture, 2009). Le secteur primaire est organisé autour d'une économie traditionnelle, qui participe au maintien d'une population, rurale et agglomérée, de l'ordre de 78000 habitants (ONS, 2008). Cependant le développement économique basé sur une

exploitation incontrôlée des ressources naturelles pose actuellement beaucoup de problèmes quant à l'équilibre écologique de cette zone humide (Ghodbani T. et Amokrane K., 2013).

2.3 Utilisation des données météorologiques

Le climat de la wilaya de Mostaganem est semi aride a hiver tempéré. La pluviométrie varie entre 350 mm sur le plateau et 400 mm sur les piémonts du Dahra. Au nord, le bassin versant de la Macta est soumis à un climat méditerranéen. Vers le sud, une tendance continentale s'affirme, qui se traduit par une aridité marquée, des hivers froids et des étés particulièrement chauds (ANAT, 2011).

2.3.1 Facteurs thermiques (température)

Les valeurs de températures moyennes mensuelles se répartissent dans le tab. 13 suivant:

Tab. 14: Températures moyennes mensuelles et annuelle (2003-2014)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
T Max	31,2	27,1	21,8	17,2	17,1	18,9	20,6	23,1	25,9	29,8	33,6	34,6
T min	17,88	13,7	10,09	5,67	5,49	6,2	6,58	10,02	13,04	16,6	19,42	20,38
T(M+m)/2	24.54	20.40	15.94	11.43	11.29	12.55	13.59	16.56	19.47	23.20	26.51	27.49

Le tab.13 montre que la température moyenne mensuelle des 5 mois (juin à octobre) dépasse 20 °C dont le mois d'août est le plus chaud avec 27.49 °C. Cette chaleur prolongée augmente l'évaporation ce qui provoque l'assèchement des plans d'eau et le désèchement des végétaux.

2.3.2 Facteurs hydriques (précipitation)

Les valeurs de précipitations enregistrées par la station de Sidi Abd El Moumen durant 10 ans sont représentées dans le tab. 14 suivant:

Tab. 15: Pluviométries moyennes mensuelles et annuelles enregistrées pendant la période (2003-2014)

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
Sidi Abd El Moumen	17,60	17,80	39,00	24,30	32,00	28,30	33,90	23,80	18,60	4,00	1,70	2,00	243

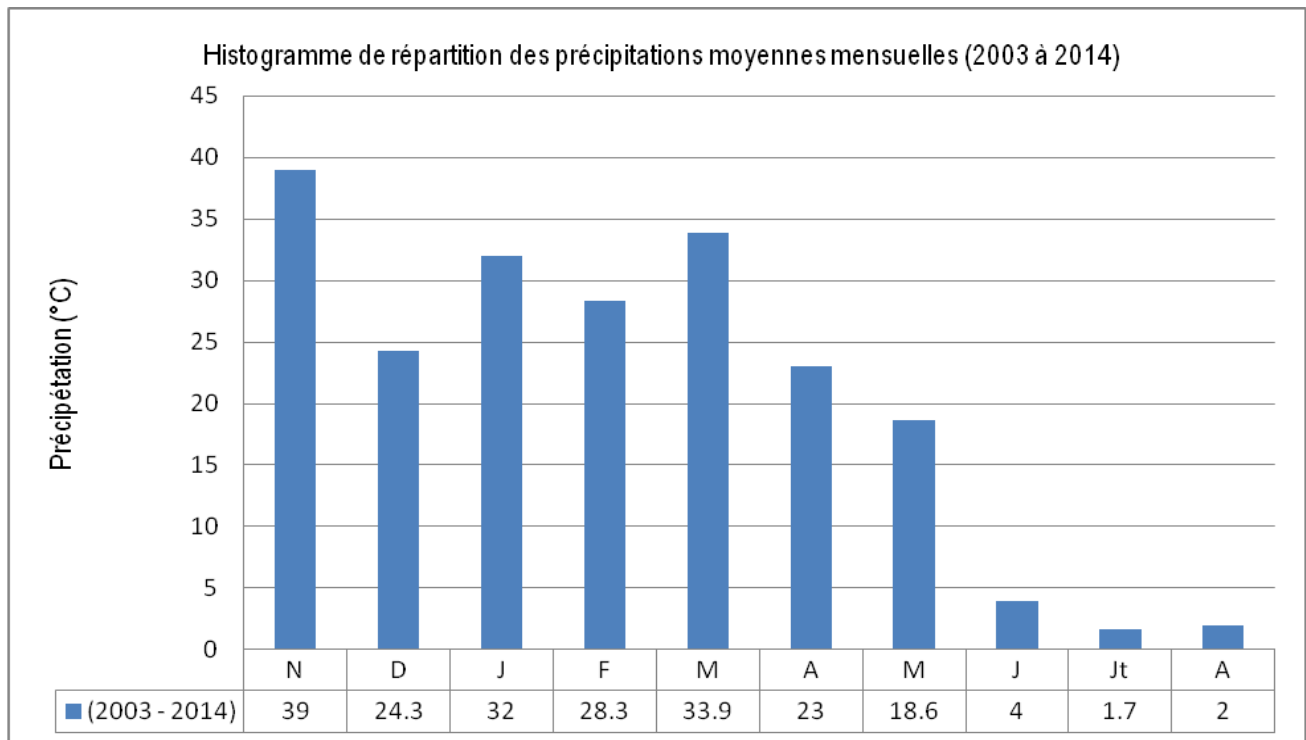


Fig. 24: Histogramme de répartition des précipitations moyennes mensuelles enregistrées durant la période (2003-2014)

L'analyse de la fig. 31 montre que la pluviométrie moyenne annuelle ne dépassait pas 243 mm. Les pluies s'abattent sur la zone pendant l'automne, l'hiver et le printemps avec des volumes moyens mensuels faibles et variables. Les volumes varient entre 17.76 mm (septembre) et 39 mm (Novembre). Les pluies durant la saison estivale (juin à juillet) sont presque négligeables.

2.3.3 Facteurs mécaniques (vent)

Les vents soufflent dans des directions instables avec une intensité en fonction des saisons. Les vents dominants, presque toute l'année sont celles de l'Ouest et du Nord-Ouest. Les vents chauds et secs (Sirocco) soufflent généralement à partir du mois de Mai. La vitesse du vent de la station varie entre 11.2 m/s et 23 m/s durant toute l'année.

2.3.4 Conclusion sur le climat

La faiblesse des précipitations se traduisant par un déficit en humidité constitue le second facteur limitant. La zone présente une grande sensibilité au climat à cause de la grande variabilité des pluies saisonnières et annuelles.

2.4 Conclusion sur le physique

L'application des méthodes SIG a permis de cartographier les milieux de la zone d'étude. Les produits cartographiques montrent que la surface administrative couvre 9.34 km² ce qui correspond à 0.4% de la surface totale de la wilaya de Mostaganem (2 269 km²). La cartographie montre que la zone est cotière et séparée par un cordon dunaire ayant une largeur moyenne de 400 m et elle borde la mer méditerranéenne sur environ de 1 km. La zone est donc pas endreique.

Le milieu physique est caractérisé par un relief plat dont l'altitude moyenne varie entre -7 et 93 m. Plus de la moitié (53%) de la surface totale, est située sur une classe d'altitude comprise entre 0 et 10m. Les indices topographiques montrent que les pentes faibles (0 à 3%) et l'exposition ouest dominant largement la zone, elles couvrent respectivement 84% et 17% de la surface totale. La zone repose sur une formation géologique du quaternaire continental (alluvions: a²) et marin. Les sols sont de types calcaires, alluviaux, dunaires et salins. La zone est alimentée par l'oued Sig à l'ouest et l'oued Habra à l'Est. La zone est desservie par la RN11, 17 et 4. Le milieu biotique est formé d'une végétation basse de type halophile composée principalement par les espèces (halophytes et hydromorphes) résistantes à la salinité et l'inondation permanente et saisonnière. Au-delà, on rencontre la végétation forestière et agricole (céréaliculture, arboriculture, viticulture et terrain de parcours) et les espaces artificialisés (urbanisation, infrastructure et industrie). Le climat de la zone est semi aride dont la pluviométrie a fortement régressée et demeure actuellement insuffisante vis-à-vis des besoins des milieux de la zone.

La gestion de la zone humide paraît compliquée, car elle est handicapée par la faiblesse des instruments de protection face aux enjeux fonciers et aux conflits d'usage. Dans cette situation, la protection ne peut être appréciée qu'à travers une stratégie globale intégrant tous les acteurs aux différentes échelles du territoire. Cette stratégie, nous l'envisageons au travers de trois thèmes : l'approbation de nouveaux instruments de gestion ; l'intégration de tous les acteurs dans le projet de protection ; enfin, la mise en œuvre sur le terrain de solutions techniques efficaces. La protection durable de cet espace n'est pas chose facile, mais elle est toujours possible si elle utilise des instruments mieux adaptés aux enjeux réels, si elle intègre tous les acteurs concernés par la gestion du territoire et si elle prend en charge les interactions environnementales entre les écosystèmes de la zone humide et tout le bassin versant de la Macta.

Pour détecter et suivre les changements ayant probablement affectés la zone, nous allons appliquer les nouvelles méthodes de la télédétection car la télédétection a déjà présenté de nombreux avantages pour l'inventaire et le monitoring des zones humides (Davranche A., 2008), elle offre des potentialités extrêmement intéressantes pour la prédiction des changements, d'origines naturelle et anthropique, opérés dans les espaces naturels (Kerr et Ostrovsky, 2003 in Davranche A., 2008) et

permet d'évaluer les constats de perte générale de la biodiversité (Turner et al., 2003 in Davranche A., 2008).

2.5 Application des méthodes de la télédétection

Nous avons téléchargé à partir de deux sites de libre d'accès et gratuit (<http://glovis.usgs.gov/>) et (sentinel.esa.int/web/sentinel/sentinel-data-access), vingt sept (27) images satellites saisonnières et temporelles, acquises entre 2015 et 2020 par les capteurs passifs (ou optiques) du satellite Landsat-8 et Sentinel-2. Les images sont composées de pixels dont les valeurs représentent la réflectance mesurée par le capteur du satellite. Cette dernière représente la quantité de lumière réfléchiée par la surface observée (objets thématiques au sol). Parmi les principales caractéristiques liées à chaque image, nous citons la taille de l'image, les pixels et le nombre de bandes ou canaux, le temps de revisite du satellite sont toutes des caractéristiques techniques importantes. Le temps représente la durée (ou révolution ou revisite) nécessaire au satellite pour imager à nouveau la même scène.

2.5.1 Caractéristiques techniques des capteurs utilisés

L'agence spatiale américaine diffuse gratuitement depuis quelques années les images acquises par les satellites Landsat. Les satellites ont été lancés entre 1972 et 2013 dont deux sont encore en orbite (Landsat-7 et 8). Leur dernier capteur *Operational Land Imager* (OLI8), qui équipe Landsat-8, fournit des images à une résolution de 30 mètres pour huit bandes spectrales avec un temps de revisite de seize jours (16 jours).

Le satellite Européen Sentinel-2 (*European Space Agency "ESA"*) compte treize bandes spectrales allant du visible au moyen infra-rouge à une résolution de 10, 20 et 60 mètres sur une fauchée de 290 kilomètres (Pelletier C.,2017). Quatre bandes spectrales (490, 560, 670 et 850 nm) sont fournies à 10 m de résolution, 3 bandes spectrales (440, 940 et 1370 nm) destinées aux corrections atmosphériques ayant une résolution de 60 m, les autres (6 bandes) sont fournies à 20 m de résolution (Dupuy S. ; Gaetano R.. 2014). L'instrument permettra d'observer une largeur de 290 km (Drusch *et al.*, 2012). Le satellite Sentinel-2 permet des observations de toutes les terres émergées tous les 5 jours. Les produits Sentinel-2 peuvent être utilisées dans les domaines de l'agriculture, la sylviculture, la détermination de l'occupation des sols, la caractérisation des habitats et la biodiversité, et serviront aussi à l'observation et la prévention des catastrophes naturelles, comme les inondations, éruptions volcaniques, affaissements et glissements de terrains (Dupuy S. ; Gaetano R., 2014). Un autre avantage c'est que les données sont libres d'accès, comme toutes les données du programme Sentinel. Il existe de multiples manières de récupérer les images Sentinel 2. Une des plus simples est de passer par le Copernicus Open Access Hub , un portail dédié avec une interface

utilisateur permettant de rechercher et télécharger des images du programme Sentinel (Taconet P., 2019). Les bandes spectrales des satellites utilisées (Landsat-8 et Sentinel-2) sont résumées dans le Tab. 15 suivant:

Tab. 16: Correspondance entre les bandes spectrales des capteurs de satellites utilisés (d'après El Atillah A., El Morjani Z-EA., Souhassou M., 2018).

N°	Bandes L8 LDCM OLI / TIR	Sentinel 2 A
1	Bande 1 : 30 m, Coastal /Aerosol, 0.433–0.453 μm	B01 : 60 m
2	Bande 2 :30 m, Blue, 0.450–0.515 μm	B2:10 m 0.4575 – 0.5225
3	Bande 3 :30 m, Green, 0.525–0.600 μm	B3:10 m 0.5425 – 0.5775
4	Bande 4 :30 m, Red, 0.630–0.680 μm	B4:10 m 0.65 – 0.68
5	Bande 5 :30 m, Near-IR, 0.845–0.885 μm	B8:10 m 0.7845 – 0.8995 B08A: 20 m
6	Bande 6 :30 m, WWIR-1, 1.560–1.660 μm	B11: 1.565 – 1.655
7	Bande 10 :100 m, LWIR-1, 10.30–11.30 μm	
8	Bande 7 :300 m, SWIR-2, 2.100–2.300 μm	B12: 2.1 – 2.28
9	Bande 8 :15 m, Pan, 0.500–0.680 μm	
10	Bande 9 :30 m, Cirrus, 1.360–1.390 μm	B10: 60 m
11	Bande 11 :100 m, LWIR-2, 11.50–12.50 μm	

Lors de l'opération de téléchargement des images, nous avons sélectionné et choisi les images temporelles de niveau de correction qualité 2A pour les images du Sentinel-2 car ces images sont corrigées (Taconet P., 2019), 1C pour les images du Landsat sans couvertures nuageuses. Les images téléchargées ont été décompressées et identifiées selon la norme ISO puis listées par type de capteur et date d'acquisition dans le Tab.16 suivant:

Tab. 17: Liste des images satellites utilisés (Landsat-8 et Sentinel-2).

N°	Landsat (Capteur OLI8) Dates d'acquisition (jj/mm/aa)	Sentinel-2 (Capteur MSI) Dates d'acquisition (jj/mm/aa)
1	08/02/2015 (OLI8)	25/08/2015 (MSI)
2	03/08/2015 (OLI8)	20/11/2015 (MSI)
3	17/10/2019 (OLI8)	29/01/2016 (MSI)
4		23/01/2018 (MSI)
5		07/07/2018 (MSI)
6		06/08/2018 (MSI)

"Suite Tab.17"		
7		05/10/2018 (MSI)
8		04/11/2018 (MSI)
9		09/12/2018 (MSI)
10		14/03/2019 (MSI)
11		23/05/2019 (MSI)
12		22/06/2019 (MSI)
13		12/07/2019 (MSI)
14		21/08/2019 (MSI)
15		30/09/2019 (MSI)
16		29/11/2019 (MSI)
17		08/01/2020 (MSI)
18		28/01/2020 (MSI)
19		17/02/2020 (MSI)
20		08/03/2020 (MSI)
21		07/04/2020 (MSI)
22		27/04/2020 (MSI)
23		20/05/2020 (MSI)
24		30/05/2020 (MSI)
Total	3	24

Le tab.16 montre que trois (03) images satellites saisonnières de 30 m de résolution spatiale et de 16 jours de répétitivité acquises en 2015 et 2019 par le capteur *Operational Land Imager* (OLI8) du satellite Landsat (USGS). Les bandes spectrales utilisées (Landsat-8) sont 2,3,4 (visible) ,5 (proche infrarouge) et 6 (infrarouge moyen). Vingt quatre (24) images saisonnières de 10 m de résolution spatiale et 5 jours de répétitivité acquises entre 2015 et 2020 par le capteur *MultiSpectral Imager* (MSI) du satellite Sentinel2 (ESA) ont été utilisées. Les bandes spectrales utilisées (Sentinel-2) sont 2,3,4 (visible) ,8 (proche infrarouge) et 11 (infrarouge moyen). Nous avons utilisé un grand nombre d'images de Sentinel-2 car ce dernier présente une meilleure précision sur le plan résolution spatiale (10 m), une richesse spectrale (canaux dans le proche et moyen infrarouge) et un temps de revisite de 5 jours sur la zone d'étude ce qui permet d'avoir un échantillonnage de la zone à une fréquence élevée et d'avoir des images à faibles ou sans couverture nuageuse. Ceux-ci permettent d'observer et analyser les réponses spectrales de l'eau, la végétation et l'environnement de la zone. Nous avons utilisé toute la série qui permettra d'assurer la complémentarité entre les données utiles à l'analyse thématique.

2.5.2 Méthodes de traitement des images satellites

2.5.2.1 Composition colorée et fusion des bandes multispectrales

A l'aide de l'outil " composite band" du logiciel SIG, nous avons appliqué la méthode de la composition colorée en vraie et fausse couleur en combinant les bandes spectrales (2,3,4 et 5) des images Landsat-8 et (2,3,4 et 8) du Sentinel-2 et ce dans le but d'avoir un bon résultat. A l'aide de l'outil "Extraction par masque" du logiciel SIG, avons découpé toutes les images à l'emprise de la zone d'étude afin de réduire le temps de calcul le volume de stockage. Les images composites en fausses couleurs c'est-à-dire la couleur de la chlorophylle est colorée en rouge et non pas en vert et ce dans le but de différencier entre la couleur verte naturelle (chlorophylle) et non naturelle.

2.5.2.2 Correction géométrique et radiométrique

Parmi les images composites, nous avons choisi deux images de référence. Une image acquise en date du 27/04/2020 et la seconde acquise en date du 21/08/2019 par le Sentinel-2. Ces deux images sont corrigées, géoréférencées et prises durant les bonnes conditions (soleil a une bonne position géographique et atmosphère dégagée), ce sont des images saines et sans bruits (sans nuage). Avec ces 2 images, avons corrigé géométriquement et radiométriquement les images satellites afin de rendre les images sur la même géométrie, ayant un numéro de pixels et des coordonnées géographiques par rapport aux images de référence. La méthode a permis de rendre les pixels des images temporelles parfaitement superposables, spectralement comparables et exploitables (Bonino E. et al., 2012). Les images composites ont été mises en formes spectrales (3 canaux) et ordonnées temporellement par saison comme les montrent les fig. 33, 34,35, et 36 suivantes:

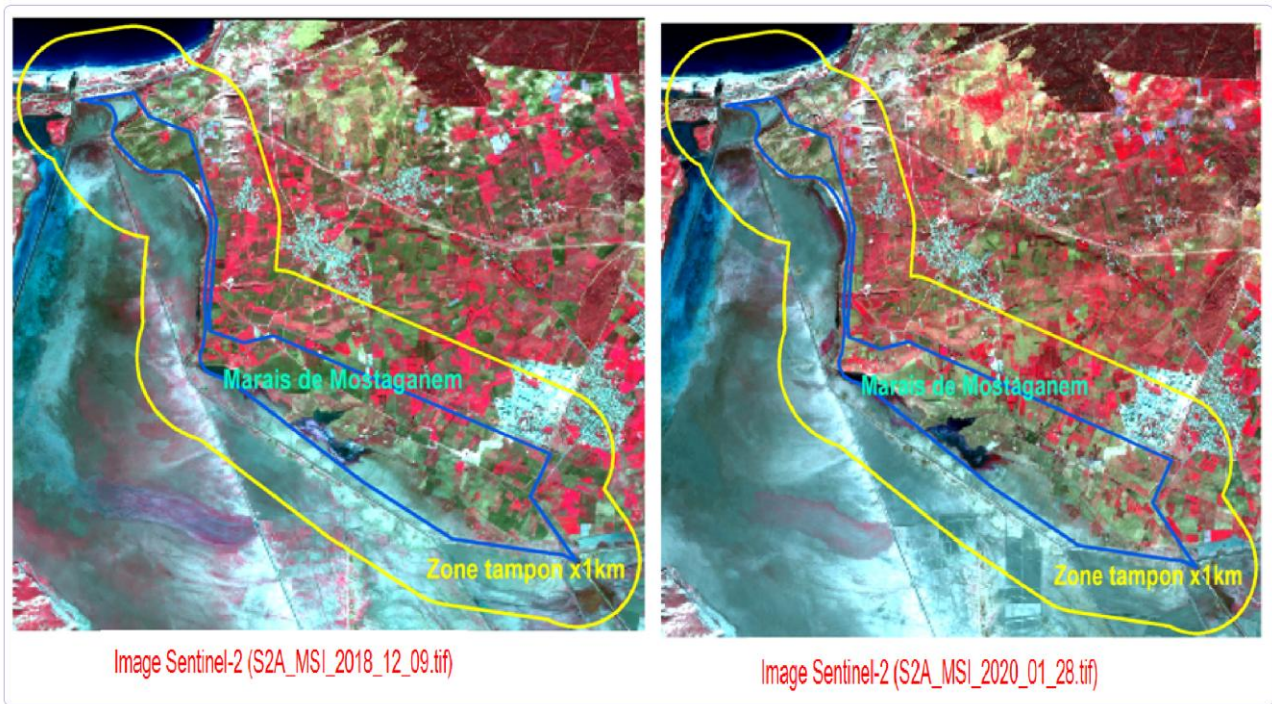


Fig. 25: Composition colorée des bandes spectrales des images saisonnières (hiver) acquises par Landsat-8 et Sentinel-2.

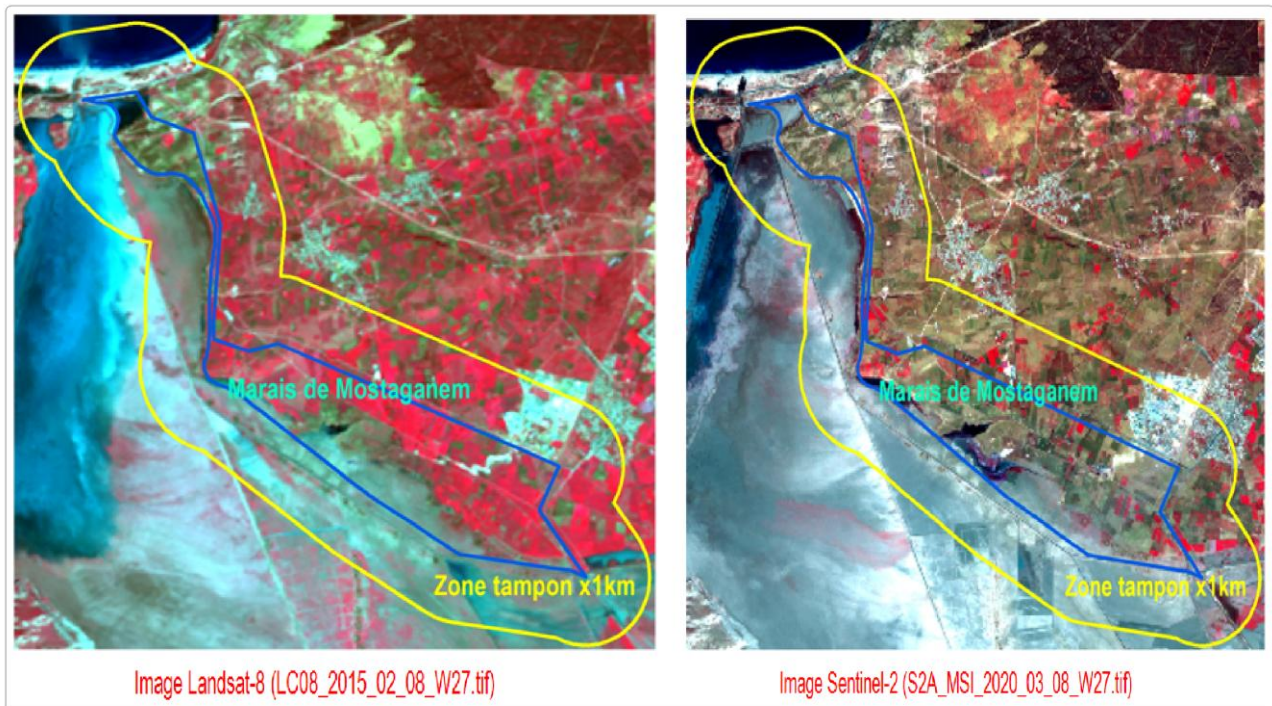


Fig. 26: Composition colorée des bandes spectrales des images saisonnières (printemps) acquises par Landsat-8 et Sentinel-2.

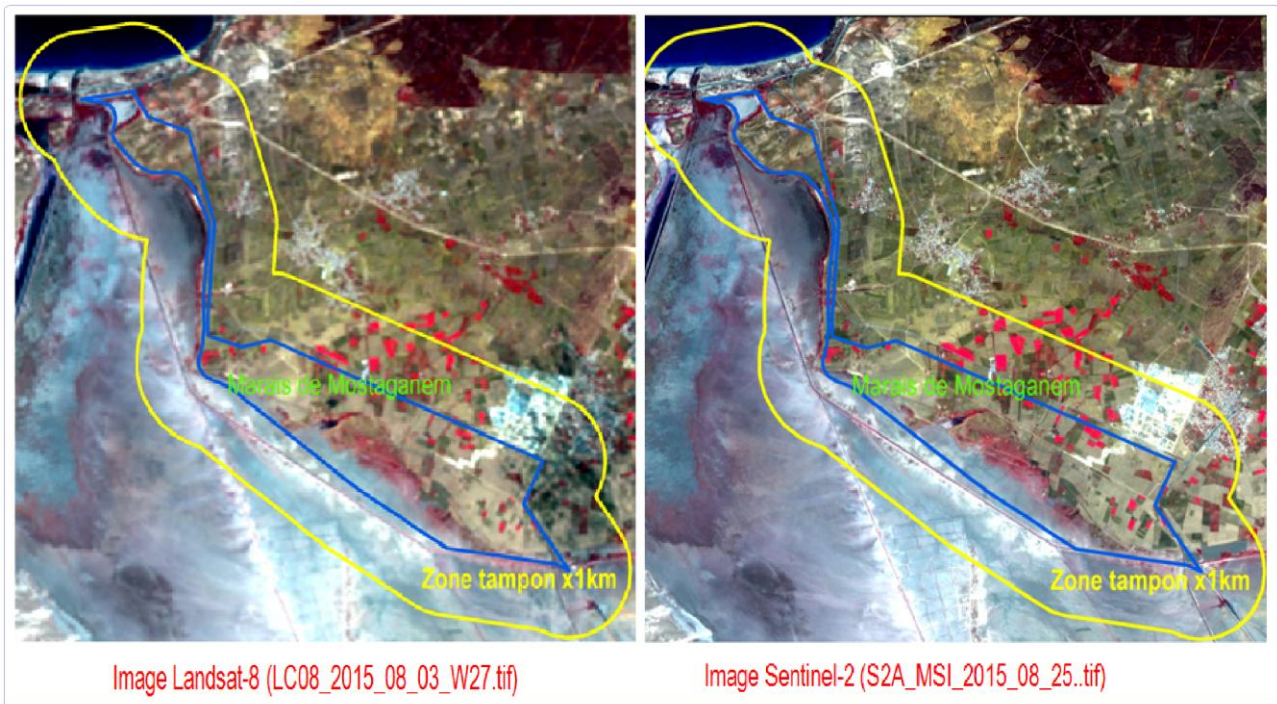


Fig. 27: Composition colorée en fausse couleur des bandes spectrales des images saisonnières (été) acquises par Landsat-8 et Sentinel-2.

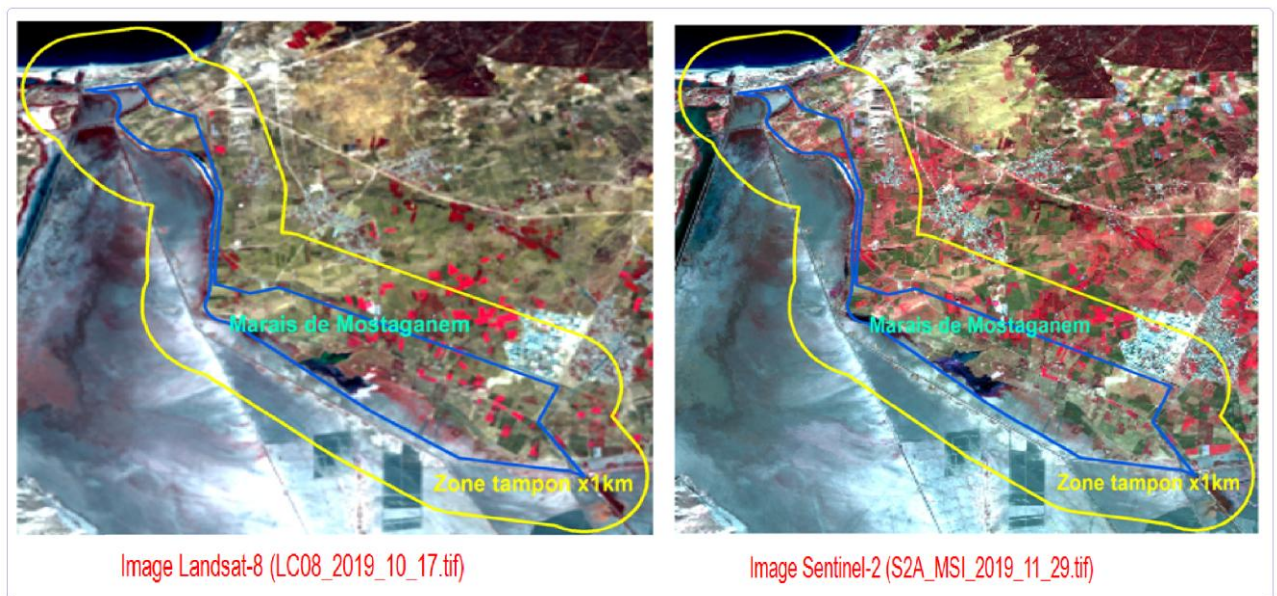


Fig. 28: Composition colorée des bandes spectrales des images saisonnières (automne) acquises par Landsat-8 et Sentinel-2.

Les fig. 33,34,35 et 36 montrent que les habitats humides naturels terrestres et artificiels sont visibles sur les images mensuelles, saisonnières, annuelles et temporelles (2015 à 2020). Cela montre que l'observation, la mesure et le suivi des habitats écologiques de la zone est possible.

2.5.2.3 Interprétation des images satellites

L'observation sur les images affichées à l'écran à l'aide du logiciel SIG montre que le centre et l'Est de la zone sont couverts par une végétation très variée en structure et colorée en rouge de teintes aussi variables sur l'image à cause de la réflectance du chlorophylle dans le proche infrarouge (bande 5 du Landsat-8 et 8 du Sentinel-2). A l'Est de la zone, la végétation est très faible à cause de la présence de la salinité et de l'humidité des sols. Au nord de la zone, la végétation est aussi faible et absente à cause de la réflectance du sable (dunes) et l'absorption totale des rayonnement par la profondeur de l'eau de mer de proximité. L'image montre aussi la présence de surfaces d'eau au Sud - Ouest de la zone, colorée en bleu sur l'image à cause de la réflectance de l'eau dans la bande 2 (bleu) des capteurs utilisés. Cette surface d'eau s'évolue spatialement pendant les 3 saisons de l'année (automne, hiver et printemps) à cause des eaux pluviales et se rétrécit durant la saison estivale à cause de l'évaporation. L'image montre aussi quelques tronçons de structures linéaires naturelles (rivières avec berges végétalisées) et artificiels (RN11 et RN17) qui relie la zone avec l'agglomération du douar Doueir (commune de Fornaka) située au sud-Est de la zone. Cette agglomération est nettement visible par sa couleur grise sur l'image à cause de la taille de la surface et sa réflectance dans la bande du proche infrarouge de l'image. Pour affiner l'interprétation des images satellites, nous avons calculé l'indice de l'eau et de végétation afin de permettre de renseigner les segments et de préparer une bonne classification.

2.5.2.4 Segmentation des images satellites

L'étape segmentation des images consiste en la partition des séries d'images corrigées en segments ou polygones de mêmes caractéristiques géométriques et spectrales. Le principe de la segmentation se base sur une méthode ascendante de croissance de région (Sparfel et al, 2008) son but c'est d'isoler au mieux les objets qui partagent les mêmes caractéristiques. A de l'outil « segmentation multirésolution » implémenté sur le logiciel SIG, nous avons appliqué la méthode de segmentation d'images, avec l'insertion du masque ayant la valeur nulle (0) pour tous segments situés à l'extérieur de la zone d'intérêt. Ce masque a été créé lors de la correction des images. La tolérance retenue est 100 pour les images Sentinel-2 et 500 pour les images Landsat-8 car les images sont de 16 bits. La méthode de segmentation a permis d'obtenir deux images, une image sous forme raster (format.tif) et la seconde sous forme vectorielle (format.Shp) dont chaque vecteur ou polygone correspond à une classe thématique au sol. L'affichage de l'image vectorielle à l'écran montre que les segments obtenus ont une taille moyenne et pourra servir de support d'échantillonnage ou d'entraînement pour une bonne classification. Pour ce faire, tout d'abord, avons redoublé ce fichier vectoriel puis l'avons

renommer avec un nom différent afin de le différencier du fichier d'origine. Puis avons créé une nouvelle colonne pour pouvoir saisir et enregistrer les classes d'occupation du correspondantes.

2.5.2.5 Application de la nomenclature des classes d'occupation du sol

Afin de caractériser l'occupation du sol de la zone, la typologie appliquée de l'inventaire écologique est *Corine Land Cover* car la nature et la caractérisation des classes thématiques méditerranéennes sont identiques. La typologie utilisée est une base de données géographique issue de l'interprétation visuelle d'images satellitaires (Oncea, 2014) et de la méthode de classification de Corine et Ramsar appliquée aux catégories thématiques présentes dans le bassin méditerranéen (Beltram et al, 2015). L'application de la typologie dans le présent travail consiste à identifier les habitats humides naturels et artificiels observés sur le terrain en *Classes Land Cover (CLC)* aux niveaux (1 à 5). Chaque classe identifiée est notée par son code *CLC* (par ex. *CLC*: 523 désigne les Mers et océans). Pour simplifier l'analyse thématique (Beltrame et al., 2015) puis avons regroupé les classes élémentaires d'occupation du sol en quatre grands types d'habitats suivants:

- ✓ Les habitats humides naturels incluent les cours d'eau, rivages marins, plans d'eau tels que lacs permanents ou temporaires,
- ✓ Les habitats naturels terrestres incluent les forêts et végétation halophile et clairsemis,
- ✓ Les milieux agricoles terrestres recouvrent les cultures permanentes, arboriculture, agrumes et viticulture,
- ✓ Les milieux urbanisés terrestres incluent les zones urbanisées, industrielles ou commerciales (réseaux de transport, décharges et espaces verts urbains).

2.5.2.6 Création des zones d'entraînement au sol

Pour renseigner les segments, nous avons utilisé plusieurs données externes (images des indices spectraux (2015 et 2020), images Bing Microsoft (2018), image Google Earth (2020), MNT (2000), cartes d'inventaires écologiques (2008) et cartes des voies d'accès (OSM, 2012)).

2.5.2.7 Calcul des indices spectraux

Pour affiner l'interprétation des images et d'augmenter la chance d'obtenir une bonne classification, nous avons utilisé les images des indices spectraux calculées à partir des images corrigées. Les indices font parties des méthodes de traitement que l'on appelle les transformations multispectrales. Ils consistent à convertir les luminances mesurées au niveau du capteur satellitaire en grandeurs ayant une signification dans le domaine de l'environnement. Basés sur le caractère multispectral des

données satellitaires, ils permettent de décrire l'état d'un phénomène. Un indice de végétation par exemple, peut rendre compte du stade de croissance végétale à un moment donné. Les indices de végétation sont très utilisés d'une part, pour identifier et suivre la dynamique de la végétation. Les indices sont obtenus à partir d'équations appliquées à la valeur des pixels dans de bandes différentes, dans le but de tirer profit des particularités du comportement radiométrique de différents types d'objets (Taconet P., 2019). Par exemple l'indice normalisé de végétation ou *Normalized Difference vegetation Index* (NDVI) en anglais, utilise la haute réflectance de la végétation dans le proche infrarouge (PIR) et sa basse réflectance dans le rouge (R) ; il fournit des informations sur la verdure et l'état de la végétation, plus dense et vigoureuse est la végétation, plus cette tendance s'accroît.

Le choix des indices dépend des classes que l'on souhaite discriminer. Dans notre cas, nous avons utilisé les indices, dont les noms et équations sont donnés dans le tab. 17 suivant:

Tab. 18: noms et équations des indices spectraux utilisés dans la classification des images satellites (d'après Taconet p., 2019).

N°	Indices spectraux	Type	Equation
1	NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	Végétaion	$\frac{PIR - R}{PIR + R}$
2	NDWI (Normalized Difference Water Indice)	Eau	$\frac{G - R}{G + PIR}$
3	Indice du Sol par différence normalisée (NDSI)	Sol	$NDSI = \frac{(SWIR - PIR)}{(SWIR + PIR)}$
4	NDBI (Normalized Difference Built-up Index)	Bâti	$\frac{SWIR - PIR}{SWIR + PIR}$

Pour suivre la dynamique de la végétation et le niveau d'inondation de l'eau au niveau de la zone, nous avons calculé les indices à partir des images de la saison hivernale, printanière et estivale afin de permettre de caractériser la croissance des végétaux, l'hydrologie du cycle de l'eau et de la sécheresse estivale. Avons utilisé l'Indice de végétation NDVI proposé par Rouse et al en 1973. La normalisation par la somme des deux bandes (Rouge et Proche infrarouge) permet de réduire les effets d'éclairement. Le NDVI conserve une valeur constante quelle que soit l'éclairement global, contrairement à la simple différence entre la bande PIR et Rouge (indice de végétation simple), qui

est très sensible aux variations d'éclairement. L'indice normalisé est sensible à la vigueur et à la quantité de la végétation. Cet indice est le plus connu en télédétection car il fournit des valeurs estimées de «l'intensité de vert» des végétaux, c'est un indicateur de la vigueur de croissance et de la santé végétale. Le NDVI est un indice sans dimension, aussi sa valeur est-elle comprise entre -1 et $+1$. Les valeurs situées en dessous de $0,1$ (ou couleur noir) correspondent aux étendues d'eau et aux sols nus, tandis que les valeurs plus élevées $0,1$ à $0,7$ (couleur blanc) indiquent une forte activité de photosynthèse (Meneses-Tovar C.L., 2011). Les images de l'indice NDVI calculé pour la saison de croissance végétale et de secheresse (2015 et 2020), sont représentées par les fig. 37 et 38 suivantes:

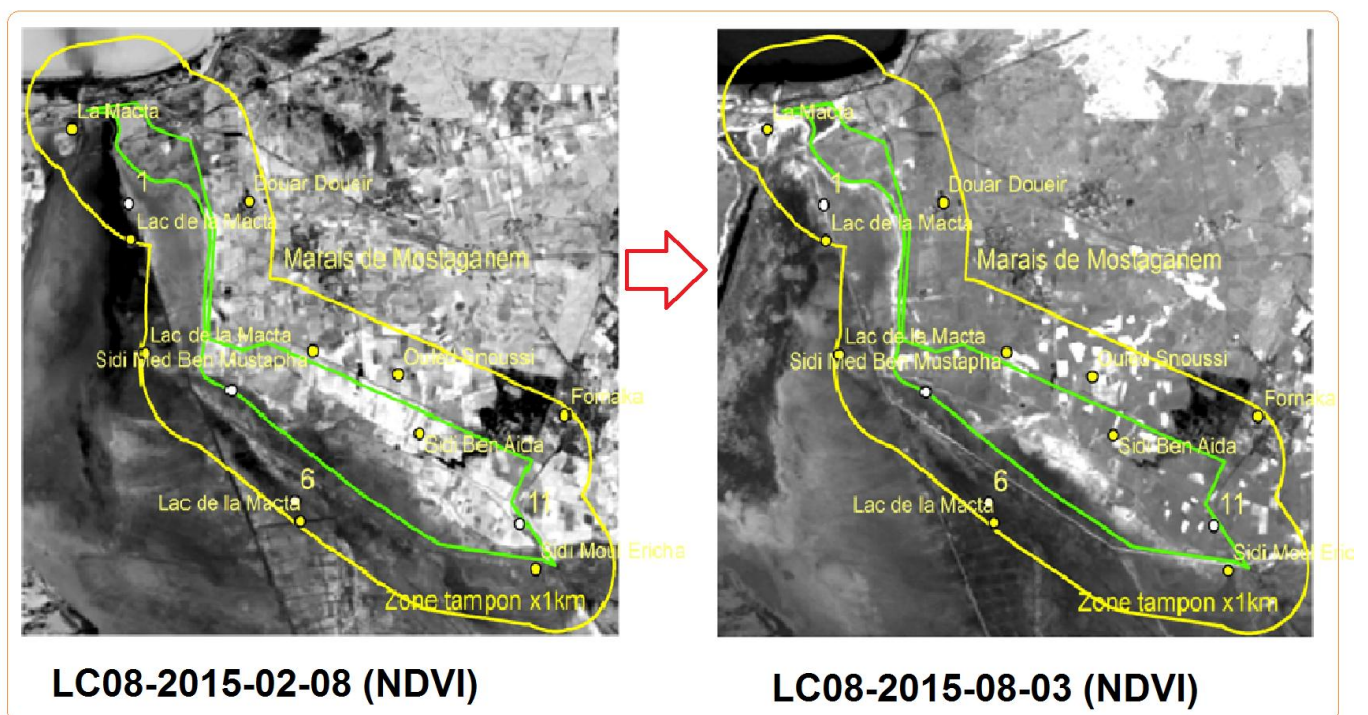


Fig. 29: Images de l'indice de végétation calculées à partir des images de référence (2015).

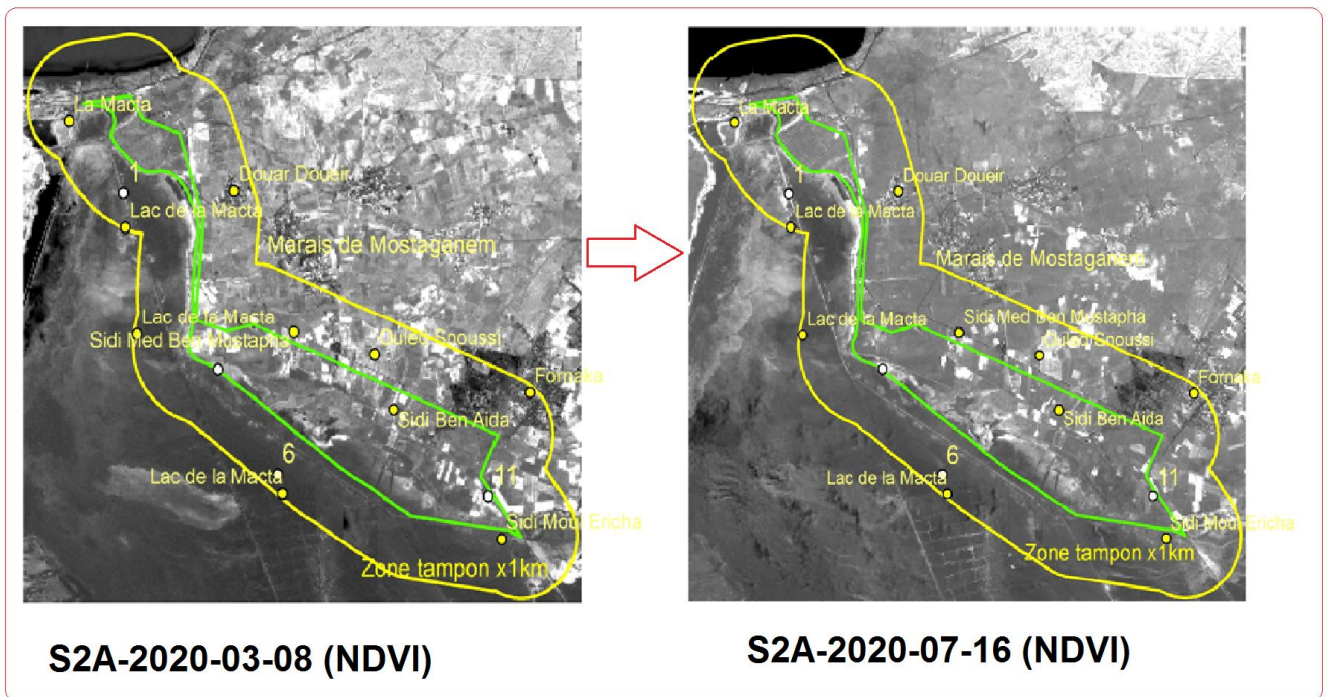


Fig. 30: Images de l'indice de végétation calculées à partir des images récentes (2020).

Les fig. 37 et 38 représentent le NDVI c'est-à-dire l'état de l'activité chlorophyllienne durant les saisons des périodes étudiées (2015 et 2020). Les images de NDVI sont géoréférencées, superposables et riches en informations relatives à la présence/absence de la végétation (couleur blanc sur l'image) et non végétation (couleur noir). Ces deux teintes de couleur (blanc/noir) permettent d'affiner l'interprétation, aider à l'échantillonnage et renseigner les segments pour une bonne classification.

Pour cartographier les surfaces de l'eau, nous avons utilisé l'indice normalisé de différence d'eau connu sous le nom anglophone *Normalized Difference Water Index* (NDWI) car cet indice est souvent utilisé pour identifier les surfaces aquatiques (McFeeters, 1996 in Davranche A., 2008). L'indice permet de combiner les informations des canaux vert et proche infrarouge respectivement liés à la variation de densité et de profondeur de submersion des herbiers aquatiques (Lieutand et Puech, 1996 in Davranche A., 2008). Les zones d'eau libre ont des valeurs positives (couleur blanc) tandis que les zones de sol et de végétation terrestre ont des valeurs inférieures ou égales à 0 (couleur noir) (Davranche A., 2008), cela permet d'estimer l'évolution des superficies des eaux en comparant une série des images à différentes périodes du temps (Rafik A. & Oughriss M., 2016). Les images de NDWI calculées pour 2015 et 2020 sont représentées par les fig. 39 et 40 suivantes:

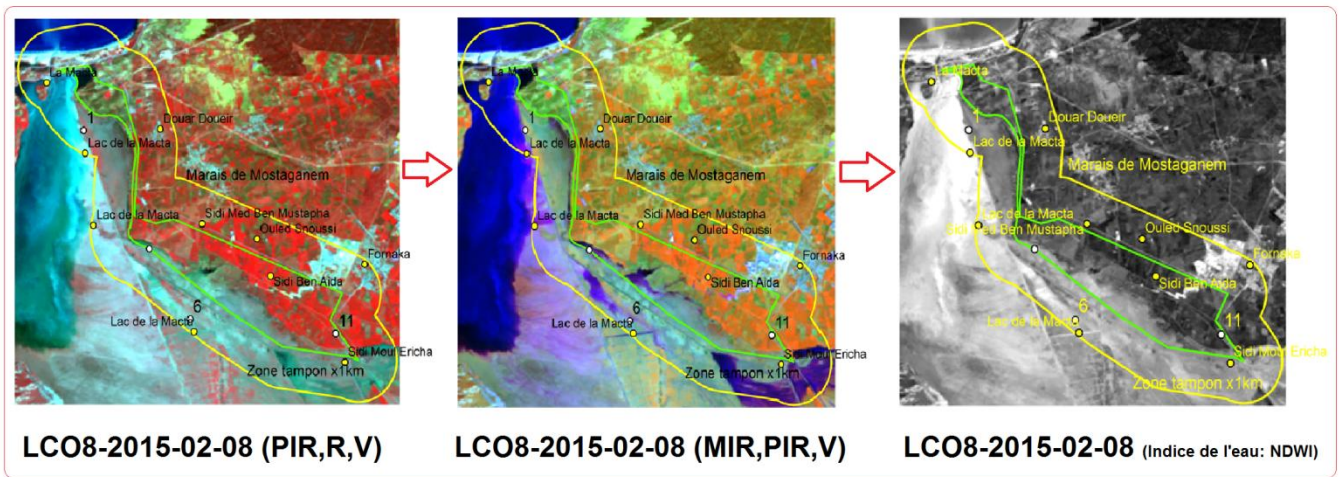


Fig. 31: Image de l'indice de l'eau de surface (NDWI) calculé à partir des images de référence (2015).

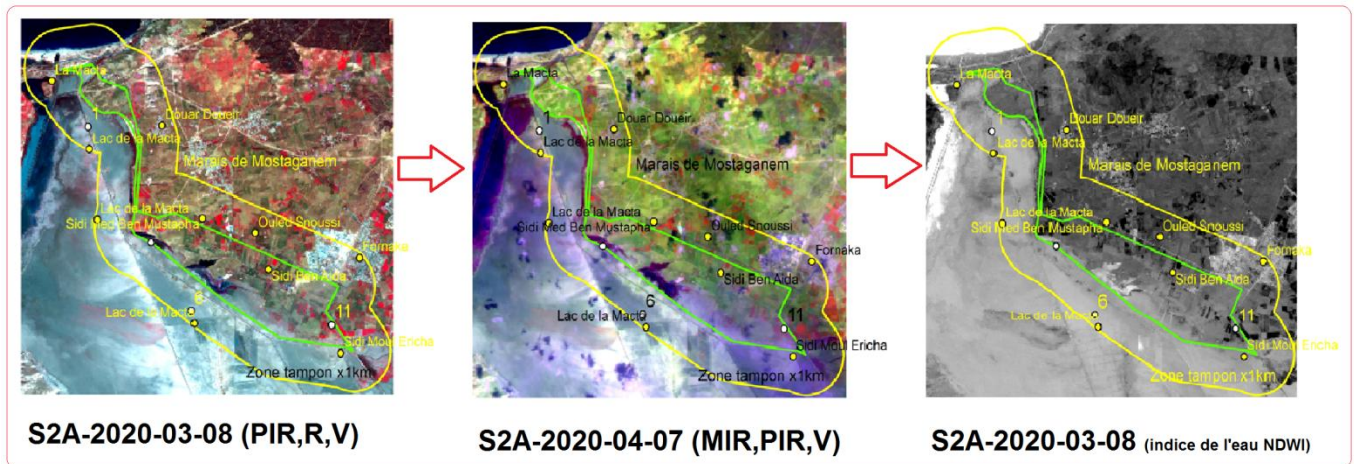


Fig. 32: Image de l'indice de l'eau de surface (NDWI) calculé à partir des images récentes (2020).

Les fig. 39 et 40 représentent l'indice de l'eau de surface (libre) calculé à partir des images saisonnières des périodes (2015 et 2020). Les images de NDWI sont géoréférencées, superposables et riches en informations relatives à la présence/absence d'eau en surface (couleur blanc) et non eau (couleur noir). Les images d'indices ont permis d'affiner l'interprétation et contribuent dans la classification.

Pour identifier les sols, avons utilisé l'indice du sol connu sous le nom anglophone par Indice du Sol par différence normalisée (NDSI) (Takeuchi and Yasuoka, 2004 in Rafik A. & Oughriss M., 2016). Les valeurs de NDSI varient selon la signature spectrale de la bande infrarouge moyen et le proche infrarouge. Les valeurs de cet indice sont comprises entre -1 et 1. Les couleurs claires (valeurs positives) symbolisent les sols et les couleurs sombres (valeurs négatives) symbolisent autres éléments du paysage. Il est utile dans la cartographie des entités pédologiques, mais aussi

certaines éléments de constructions environnantes. L'indice du sol NDSI est en corrélation étroite avec NDVI, les sols réfléchissent mieux dans l'infrarouge moyen (MIR) et contrairement à la végétation il absorbe une grande partie de proche infrarouge (PIR). Ces deux entités sont toujours liées les unes aux autres, ce qui explique la variation synchronisée entre eux (Rafik A. & Oughriss M., 2016). Dans notre étude, avons calculé les indices du sol et du bâti à partir des images annuelles car leurs changement spatiotemporel est moins rapide que celui de la végétation et de l'eau.

2.5.2.8 Application de l'algorithme adapté et classification des images satellites

2.5.2.9 Cartographie de l'occupation et de la couverture des sols

La classification d'image est une interprétation assistée par ordinateur d'images satellitaires, et se définit comme l'opération qui regroupe au mieux de leur ressemblance spectrale les divers objets de la surface de la zone. Autrement dit c'est une méthode d'analyse des données qui permet de ranger des pixels de l'image dans des classes homogènes. Il existe deux approches pour la classification d'images, une est dite non supervisée ou automatique, qui est utilisée dans le cas où l'information qu'on dispose est faible sur la zone d'étude (le logiciel définit lui-même les classes) ; l'autre est dite supervisée (par apprentissage) et nécessite une bonne connaissance du terrain (l'utilisateur définit lui-même les classes à produire (nombre, caractéristique spectrale,...) (EL Morjani, 2015 in El Atillah et al., 2018). L'algorithme classificateur étudié la signature spectrale des zones d'apprentissage et regroupe les objets qui ont des signatures spectrales similaires aux signatures d'apprentissages.

Dans notre cas d'étude, avons utilisé les échantillons sous forme de segments renseignés pour entraîner l'algorithme de classification supervisée. L'algorithme est basé sur la méthode de maximum de vraisemblance implémenté sur le logiciel SIG. Pour appliquer la classification, avons inséré la série d'images corrigées (2020), l'image raster (segmentée), l'image vectorielle renseignées ou échantillonnées et le fichier de masque. A la fin, la méthode a permis d'obtenir deux images. une image raster et une image vectorielle. L'image vectorielle renferme une base de données géométriques (segments) et attributives (numéro ou codes *CLC*). Les attributs ou détails représentent les classes d'occupation du sol codifiées en *CLC*.

2.5.2.10 Cartographie de l'inondation de la zone humide

Pour caractériser l'inondation des sols de la zone, nous avons utilisé les bandes spectrales de l'infrarouge moyen (IRM) qui correspondent aux numéro 5 (Landsat-7), 6 (Landsat-8) et 11 (Sentinel-2) car ces canaux sont sensibles à la teneur en eau et à l'humidité du sol. Pour ce faire,

avons choisi les images saisonnières qui représentent dans l'année, la saison hydrologique, de croissance et de sécheresse afin de permettre de mesurer les différents niveaux de l'eau de surface. Avons appliqué une composition colorée basée sur 5 bandes (bleu, verte, rouge, proche infrarouge et infrarouge moyen). Les images composites ont été prétraitées (correction géométrique, radiométrique et redimensionnement). A l'aide du logiciel SIG, avons segmenté les images avec une tolérance de 25. Ensuite, avons renseigné les segments obtenus avec trois classes d'échantillonnage définies par la nomenclature appliquée aux zones humides méditerranéennes. La méthode consiste à affecter la classe 1 aux zones inondées en permanence (ex. terres couvertes en longueur d'année par l'eau de rivière, de lac et de la mer de proximité), la classe 2 aux zones inondées saisonnièrement pendant au moins 6 semaines durant la saison de croissance (ex. substrats humides couverts de végétation halophile) et la classe 3 aux zones dites rigoureuses ou jamais été inondées par l'eau (ex. terres agricoles, forestières et urbaines) (Wolf B., 2011). Avec cette méthode d'échantillonnage, avons lancé la classification (supervisée) sur les images des périodes étudiées (2015 et 2020).

2.5.2.11 Post- classification et validation sur le terrain

Dans l'étape post-classification qui consiste à minimiser les erreurs de confusion entre les classes *CLC* d'occupation des sols, nous avons appliqué la méthode de classification manuelle pour intégrer les classes dites reconnaissables (ex. *CLC*:122, 331, 5113 et 523). Pour évaluer la qualité de la classification définitive, avons réalisé l'étape de validation sur le terrain. La validation consiste à comparer les classes thématiques classifiées par les méthodes de la télédétection avec la réalité de terrain c'est-à-dire avec les classes observées sur le terrain. Pour préparer la mission de terrain, avons choisi 5 échantillons de types ponctuels et aléatoires au niveau de chaque segment de classe *CLC*. Pour les 18 sites choisis, la méthode d'échantillonnage a permis de générer 90 points connus par leurs coordonnées GPS, géoréférencés et accessibles via des voies d'accès. Sur le terrain, avons procédé au repérage des points à l'aide de GPS, à l'observation, description et la notation de tous les points d'échantillonnage sur la fiche préparée préalablement. La méthode de notation appliquée est inspirée du protocole de validation appliqué par l'institut de recherche (Tour du Valat-France) sur les zones humides méditerranéennes. La méthode consiste à noter les classes observées par 1 à 5 comme note du Niveau de Certitude (NC) et de 0 à 8 comme note de référence (voir annexe). A la fin, avons appliqué un traitement statistique sur les notes. Le rapport des totaux du niveau de certitude (445) sur ceux de la note de référence (458) donne un pourcentage de 97% ce qui signifie que les classes *CLC* ont été très bien classifiées par la méthode de classification adoptée. Cela confirme que les résultats de la classification se rapprochent de la réalité et peuvent

être intégrés dans un environnement SIG pour être interprétés (Thomlison *et al.*, 1999 in Beltrame *et al.*, 2015).

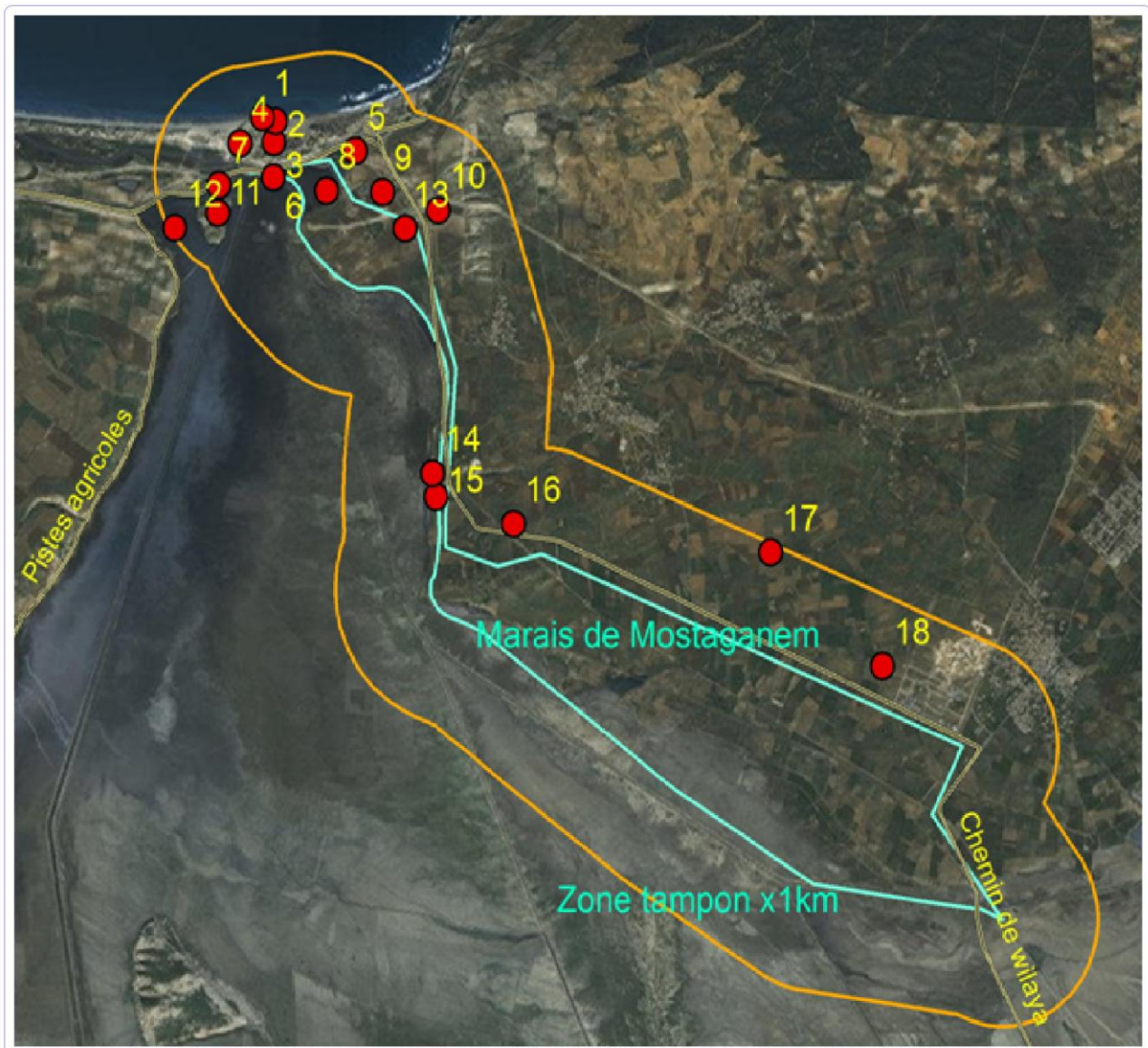


Fig. 33: Points de validation sur le terrain des classes *CLC* d'occupation et de couverture des sols de la zone humide des marais de la macta de Mostaganem (adaptée sur image Bing Microsoft).

La fig.41 montre que les 18 sites d'échantillonnage sont bien répartis sur l'ensemble de la zone ce qui montre que les points sont représentatifs.

Chapitre III: Résultats et Discussion

Chapitre III : Résultats et discussions

3.1 Résultats graphiques et statistiques

Parmi les principaux résultats obtenus par l'étude diachronique, nous présentons les indicateurs d'état et de suivi suivants:

- ✓ la superficie des habitats humides naturels en 1958 et 2020;
- ✓ la superficie des habitats naturels terrestres en 1958 et 2020;
- ✓ la conversion d'habitats en milieux agricoles entre 1958 et 2020 (62 ans);
- ✓ la conversion d'habitats en milieux urbanisés entre 1958 et 2020 (62 ans);
- ✓ la superficie des zones inondées en permanence, saisonnièrement ou rigoureuses en 2015;
- ✓ la superficie des zones inondées en permanence, saisonnièrement ou rigoureuses en 2020;
- ✓ la dynamique et la durée de l'inondées entre 2015 et 2020 (5 ans).

3.1.1 Occupation et couverture des sols entre 1958 et 2020

Deux cartes diachroniques d'occupation et de couverture des sols se référant aux périodes de références 1958 (fig. 42) et 2020 (fig. 43) ont été réalisées respectivement par photointerprétation et spatio-cartographie (télé-détection). Leur analyse montre que les sols ont subi un changement spatiotemporel dans leurs affectations.

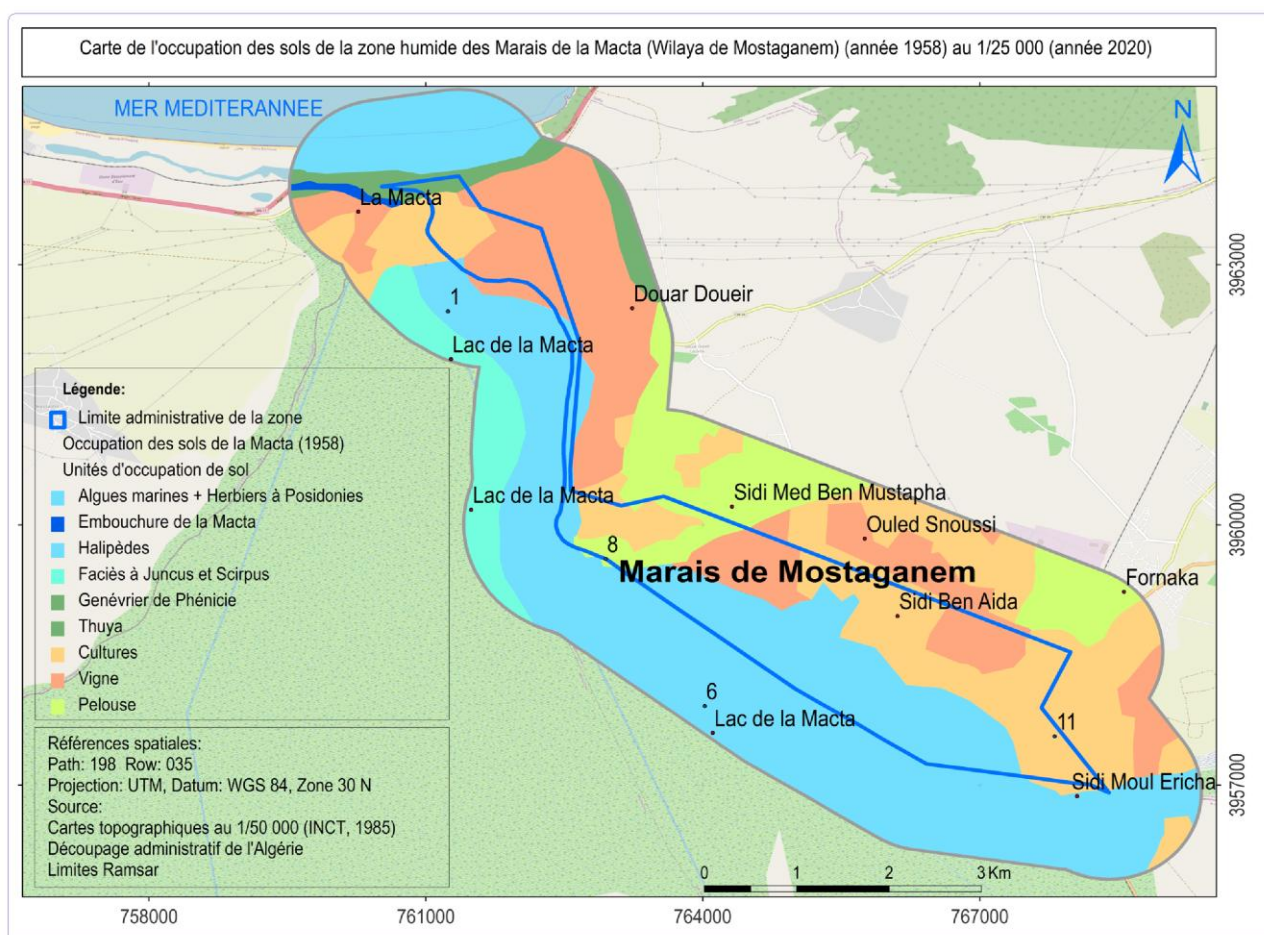


Fig. 34: Carte de l'occupation des sols de la zone humide des marais de la Macta de Mostaganem (1958) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OSM").

Tab. 19: Surfaces et pourcentage des unités d'occupation du sol de la zone humide de la Macta de Mostaganem (1958).

N°	Types d'occupation du sol	Nature de l'occupation du sol	surfaces		Taux (%)
			(km ²)	(ha)	
1	Végétation marine	Algues marines + Herbiers à Posidonies	1.94	194.00	5
2		Total	1.94	194	5
3	Végétation halophile	Halipèdes	13.91	1 391.00	37
4		Faciès à Juncus et Scirpus	1.76	176.00	5
5		Total	15.68	1 568.00	42
6	Végétation forestière	Thuya	0.35	35.00	1
7		Genévrier de Phénicie	0.64	64.00	2
8		Total	0.99	99	3
9	Végétation agricole	Cultures	7.77	777.00	21
10		Vigne	6.98	698.00	19
11		Pelouse	3.55	355.00	9

		"Suite Tab.19"			
12		Total	18.30	1 830.00	54
13	Surface d'eau	canal de la Macta	0.10	10.00	0.1
14		Total	0.1	10	0.1
Total général			37.00	3 700	100

L'analyse des données 1958 (fig.42 et tab.18) montre que la surface des habitats humides naturels c'est-à-dire les terres humides couvertes par les plans d'eau permanents et temporaires couvre 2 km² ce qui correspond à 5% de la surface totale. La surface des habitats naturels terrestres c'est-à-dire les terres forestières et végétation halophile occupe 17 km², ce qui correspond à 46% de la surface totale. La surface des habitats naturels terrestres de types agricoles occupe 18 km² ce qui correspond à 49% de la surface totale.

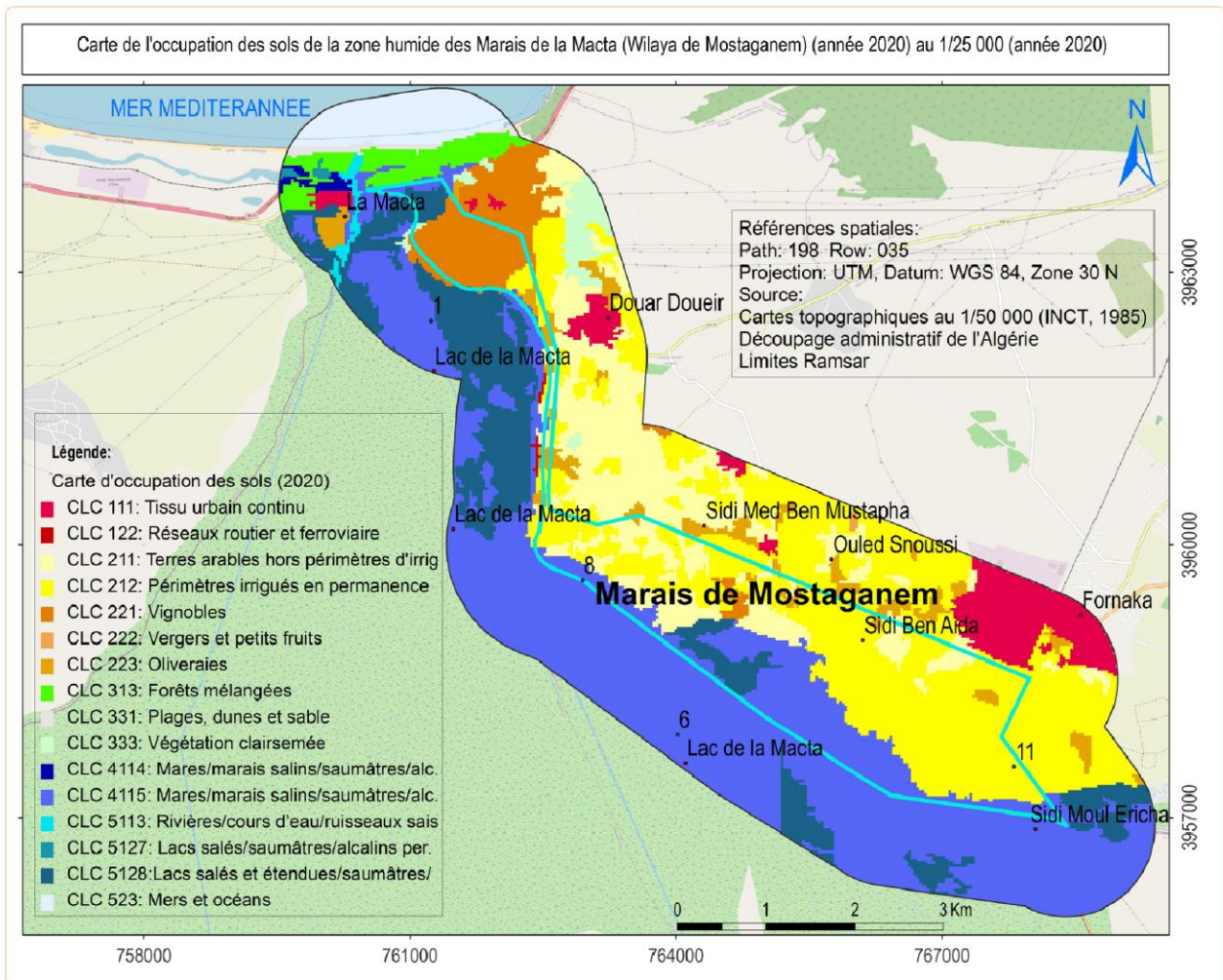


Fig. 35: Carte de l'occupation des sols de la zone humide des marais de la Macta de Mostaganem (2020) (adaptée sur OpenStreetMap "OSM").

Tab. 20: Surfaces et pourcentage des classes CLC d'occupation du sol de la zone humide de la Macta de Mostaganem (2020).

N°	Types d'occupation du sol	Classes CLC d'occupation du sol	Superficie (Km²)	Taux (%)
1	Territoires artificialisés	Tissu urbain continu (CLC111)	1.67	4
3		Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés (CLC122)	0.03	0.1
8		Total	1.7	5
9	Territoires agricoles	Terres arables hors périmètres d'irrigation (CLC211)	4.48	12
10		Périmètres irrigués en permanence (CLC212)	9.17	25
11		Vignobles (CLC221)	1.68	4.5
12		Vergers et petits fruits (CLC222)	0.02	0.05
13		Oliveraies (CLC223)	1.09	3
14		Total	16.44	44
15	Forêts et milieux semi-naturels	Forêts mélangées (CLC313)	0.79	2
16		Plages, dunes et sable (CLC331)	0.14	0.4
17		Végétation clairsemée (CLC333)	0.5	1.35
18		Total	1.43	4
19	Zones humides	Mares/marais salins/saumâtres/alcalins permanents (CLC4114)	0.1	0.3
20		Mares/marais salins/saumâtres/alcalins saisonniers/intermittents (CLC4115)	12.2	33
21		Total	12.3	33
22	Surfaces en eau	Rivières/cours d'eau/ruisseaux saisonniers/intermittents/irréguliers (CLC5113)	0.14	0.4
23		Lacs salés/saumâtres/alcalins permanents avec végétation benthique (CLC5127)	0.04	0.1
24		Lacs salés et étendues/saumâtres/alcalins saisonniers/intermittents avec végétation benthique (CLC5128)	3.87	10
25		Mers et océans (CLC523)	1.08	3
26		Total	5.13	14

L'analyse des données 2020 (fig.43 et tab.19) montre que la surface des habitats humides naturels couvre 5 km² ce qui correspond à 14% de la surface totale. La surface des habitats naturels terrestres occupe 14 km², ce qui correspond à 38% de la surface totale. La surface des habitats naturels terrestres de types agricoles occupe 16 km² ce qui correspond à 43% de la surface totale. La surface des habitats artificiels (infrastructures et urbanisation) couvre 2 km² ce qui correspond à 5% de la surface totale.

3.1.2 Evolution entre 1958 et 2020 de l'occupation et de la couverture du sol

Tab. 21: Evolution entre 1958 et 2020 de l'occupation et de la couverture du sol de la zone humide des marais de la Macta de Mostaganem.

N°	Types d'occupation du sol	Classes CLC d'occupation du sol	1958 Superficie (Km2)	2020 Superficie (Km ²)	Evolution entre 1958 et 2020 (Km2)
1	Territoires artificialisés	Tissu urbain continu (CLC111)	/	1.67	1.67
3		Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés (CLC122)	/	0.03	0.03
8		Total	/	1.7	1.70
9	Territoires agricoles	Terres arables hors périmètres d'irrigation (CLC211)	7.77	4.48	-3.29
10		Périmètres irrigués en permanence (CLC212)	/	9.17	9.17
11		Vignobles (CLC221)	6.98	1.68	-5.30
12		Vergers et petits fruits (CLC222)	/	0.02	0.02
13		Oliveraies (CLC223)	/	1.09	1.09
14		Total	14.75	16.44	1.69
15	Forêts et milieux semi-naturels	Forêts mélangées (CLC313)	/	0.79	0.79
16		Plages, dunes et sable (CLC331)	/	0.14	0.14
17		Végétation clairsemée (CLC333)	4.54	0.5	-4.04
18		Total	4.54	1.43	-3.11
19	Zones humides	Mares/marais salins/saumâtres/alcalins permanents (CLC4114)	/	0.1	0.10
20		Mares/marais salins/saumâtres/alcalins saisonniers/intermittents (CLC4115)	15.68	12.2	-3.48
21		Total	15.68	12.3	-3.38

"Suite Tab.21"					
22	Surfaces en eau	Rivières/cours d'eau/ruisseaux saisonniers/intermittents/irréguliers (CLC5113)	0.09	0.14	0.05
23		Lacs salés/saumâtres/alcalins permanents avec végétation benthique(CLC5127)	/	0.04	0.04
24		Lacs salés et étendues/saumâtres/alcalins saisonniers/intermittents avec végétation benthique (CLC5128)	/	3.87	3.87
25		Mers et océans (CLC523)	1.94	1.08	-0.86
26		Total	2.03	5.13	3.10

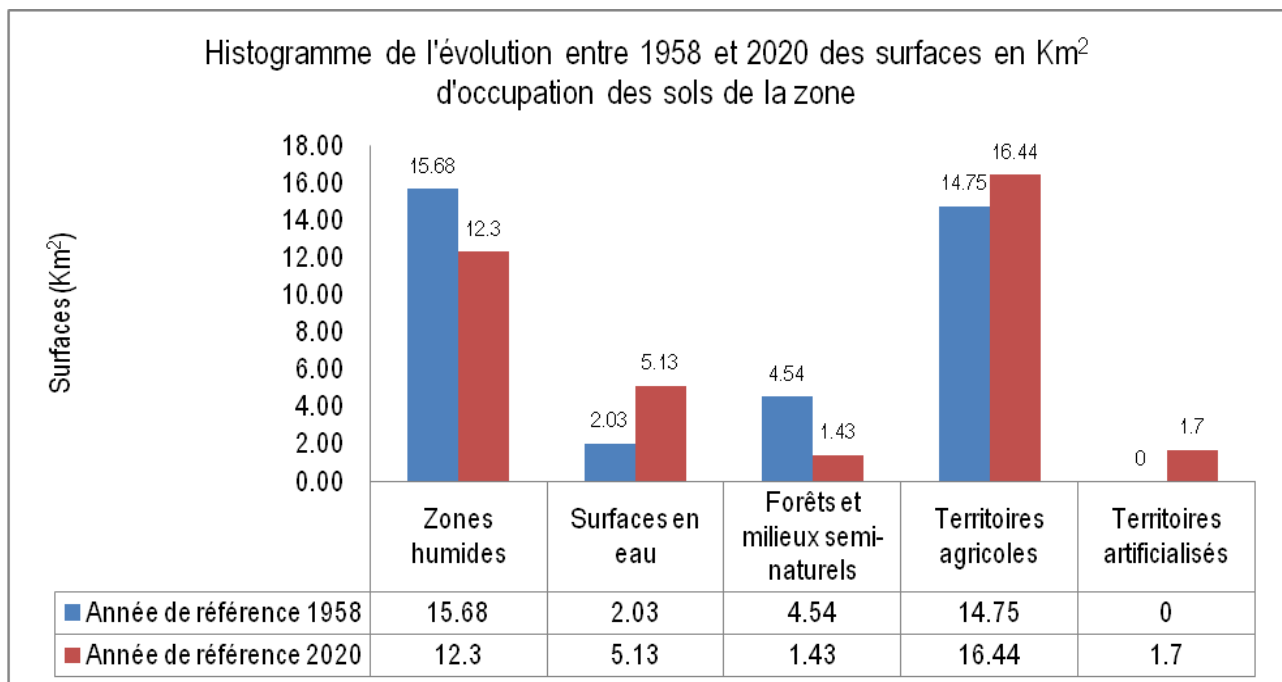


Fig. 36: Histogramme de l'évolution entre 1958 et 2020 de l'occupation des sols de la zone humide des marais de la Maqta de Mostaganem.

L'analyse statistique comparative des habitats écologiques (fig.44 et tab.20) montre que les surfaces impactées par le changement spatiotemporel entre 1958 et 2020 (62 ans) ont été estimées à 6.5 km² ce qui correspond à 18% de la surface totale. Les surfaces des habitats naturels terrestres (par ex. la végétation halophile et les forêts) sont les plus impactées. La végétation halophile et les forêts ont été régressées respectivement de 3.4 km² et 3.1 km², ce qui correspond à une perte moyenne annuelle de 0.10 km² (ou 10 ha/an).

L'analyse du suivi de changement montre que les pertes en surfaces ont été converties en habitats humides naturels (3.10 km²), milieux agricoles (1.69 km²) et espaces urbanisés (1.7 km²). L'analyse montre que le changement a affecté les terres à vocations agricoles (cultures et viticulture), 5.30 km² de cultures céréalières et 3.29 km² de viticulture ont été converties en cultures maraichères (sous serre et en plein air) et vergers arboricoles (oliviers et agrumes).

3.1.3 Dynamique de l'inondation de la zone humide entre 2015 et 2020

L'analyse de la carte 1958 montre que l'hydrologie a été limitée uniquement sur les principaux éléments hydrographiques de la zone (Embouchure de la Macta et réseau hydrographique). Pour cartographier les étendues d'eau de surfaces, nous avons utilisé l'imagerie satellitaire (Landsat-8 et Sentinel-2) acquises entre 2015 et 2020.

3.1.3.1 Niveau d'inondation de la zone en 2015

Deux cartes diachroniques d'inondation de la zone se référant aux périodes de références 2015 (fig. 45) et 2020 (fig. 46) ont été réalisées par la spatiocartographie. Leur analyse montre que les habitats humides naturels ont subi un changement spatiotemporel dans leurs niveaux d'inondation.

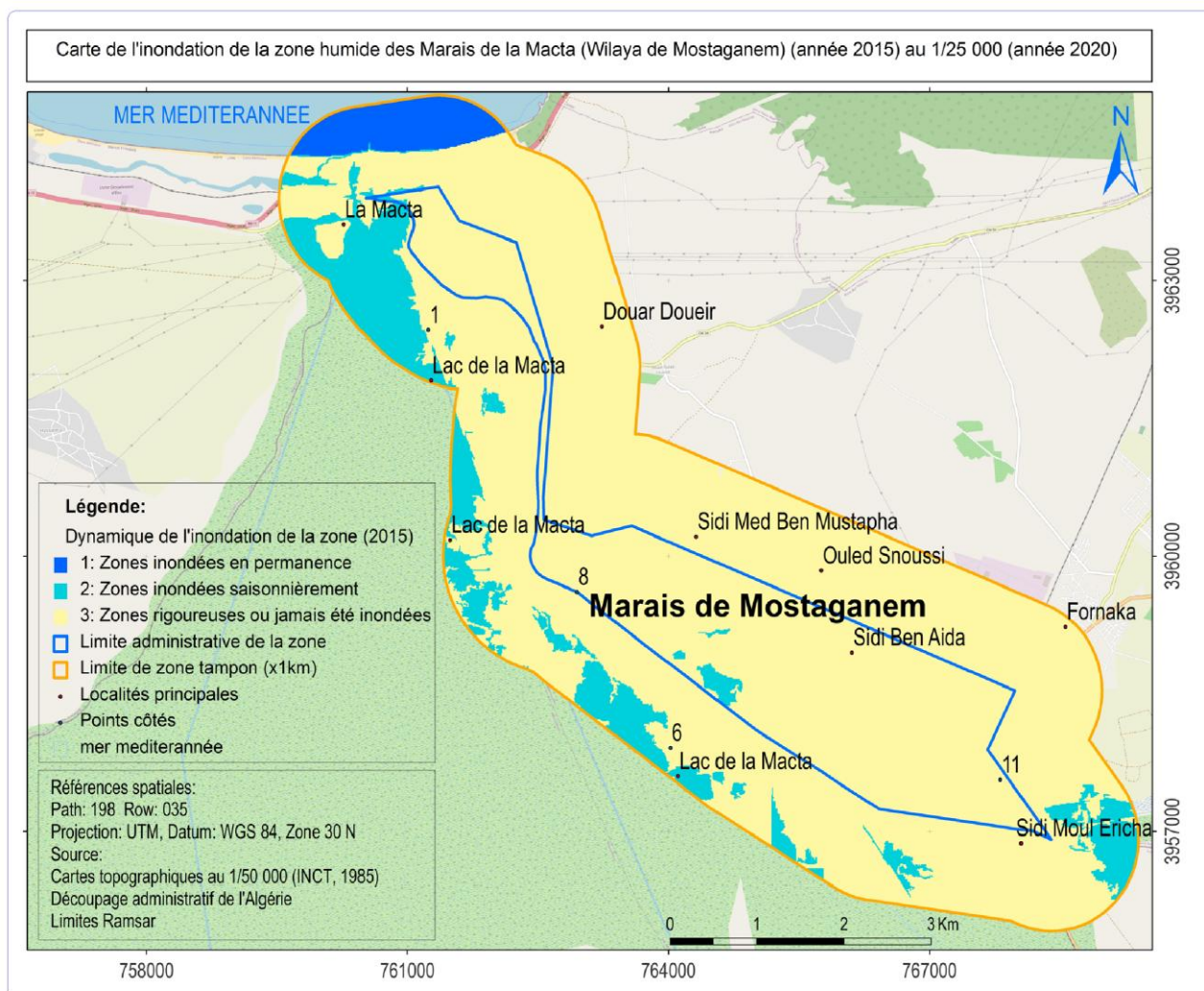


Fig. 37: Carte de l'inondation de la zone humide des marais de la Macta de Mostaganem (2015) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OMS").

Tab. 22: Surface et pourcentage des classes d'inondation de la zone humide de la Macta de Mostaganem (2015).

N°	Types d'occupation du sol	Classes d'inondation	Superficie (Km ²)	Taux (%)
1	Surfaces en eau	Zones inondées en permanence (1)	1.1	3
2		Zones inondées saisonnièrement (2)	4.1	11
3		Zones rigoureuses ou jamais été inondées (3)	31.8	86
4		Total	37	100

L'analyse des données 2015 (fig.45 et tab.21) montre que la surface des substrats inondés en permanence par l'eau de mer couvre 1.1 km² ce qui correspond à 3% de la surface totale. Cette zone inondée est située dans le nord de la zone. La surface des mares et marais (sols nus et végétation halophile) inondée saisonnièrement pendant 6 semaines (mars-avril 2015), occupe 4.1 km² (11%) dont 0.21 km² (0.6%) sont situées à l'intérieur de la limite administrative. La surface des zones

rigoureuses ou jamais été inondées couvrent 31.8 km² ce qui correspond à 86 % de la surface totale. Cette classe englobe les habitats naturels terrestres (forêts et agriculture) et artificiels (espaces urbains).

3.1.3.2 Niveau d'inondation de la zone en 2020

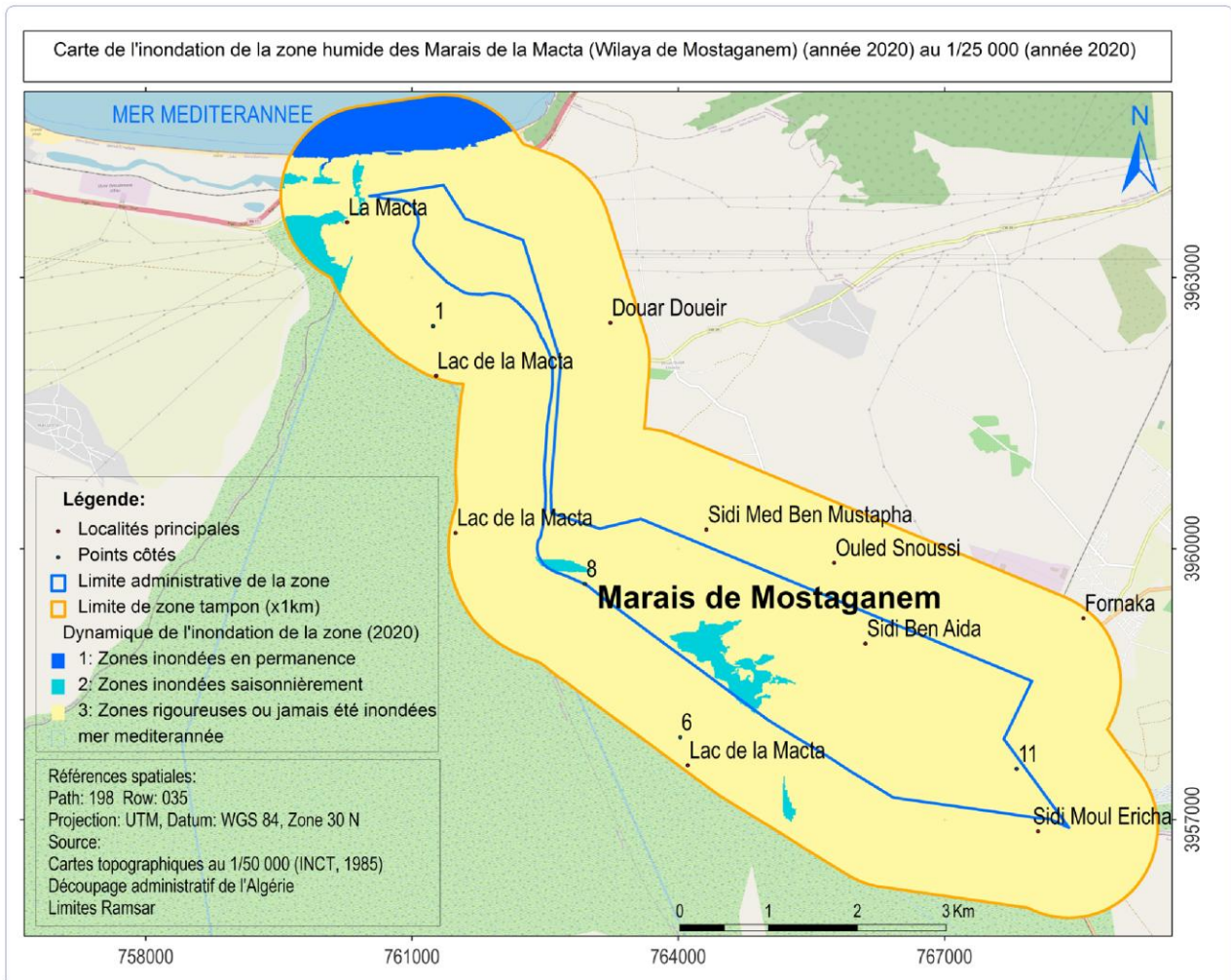


Fig. 38: Carte de l'inondation de la zone humide des marais de la Macta de Mostaganem (2020) (adaptée sur fond de carte OpenStreetMap "OMS").

Tab. 23: Surface et pourcentage des classes d'inondation de la zone humide de la Macta de Mostaganem (2020).

N°	Types d'occupation du sol	Classes d'inondation	Superficie (Km ²)	Taux (%)
1	Surfaces en eau	Zones inondées en permanence (1)	1.1	3
2		Zones inondées saisonnièrement (2)	0.9	2
3		Zones rigoureuses ou jamais été inondées (3)	35	95
4		Total	37	100

L'analyse des données 2020 (fig.46 et tab.22) montre que la surface des substrats inondés en permanence par l'eau de mer couvre 1.1 km² ce qui correspond à 3% de la surface totale. La surface des mares et marais inondée saisonnièrement occupe 0.9 km² (2%) dont 0.5 km² (1%) sont situées à l'intérieure de la limite administrative. La surface des zones rigoureuses ou jamais été inondées couvre 35 km² ce qui correspond à 95 % de la surface totale.

3.1.4 Evolution entre 2015 et 2020 de l'inondation de la zone

Les surfaces inondées entre 2015 et 2020 ont estimées en km² dans le tab.23 suivant:

Tab. 24: Evolution entre 2015 et 2020 de l'inondation de la zone humide des marais de la macta de Mostaganem.

N°	Types d'occupation du sol	Classes d'inondation	Année 2015		Année 2020		Evolution entre 2015 et 2020
			Superficie (Km ²)	Taux (%)	Superficie (Km ²)	Taux (%)	Superficie (Km ²)
1	Surfaces en eau	Zones inondées en permanence (1)	1.1	3	1.1	3	0
2		Zones inondées saisonnièrement (2)	4.1	11	0.9	2	-3.2
3		Zones rigoureuses ou jamais été inondées (3)	31.8	86	35	95	3.2
Total			37	100	37	100	

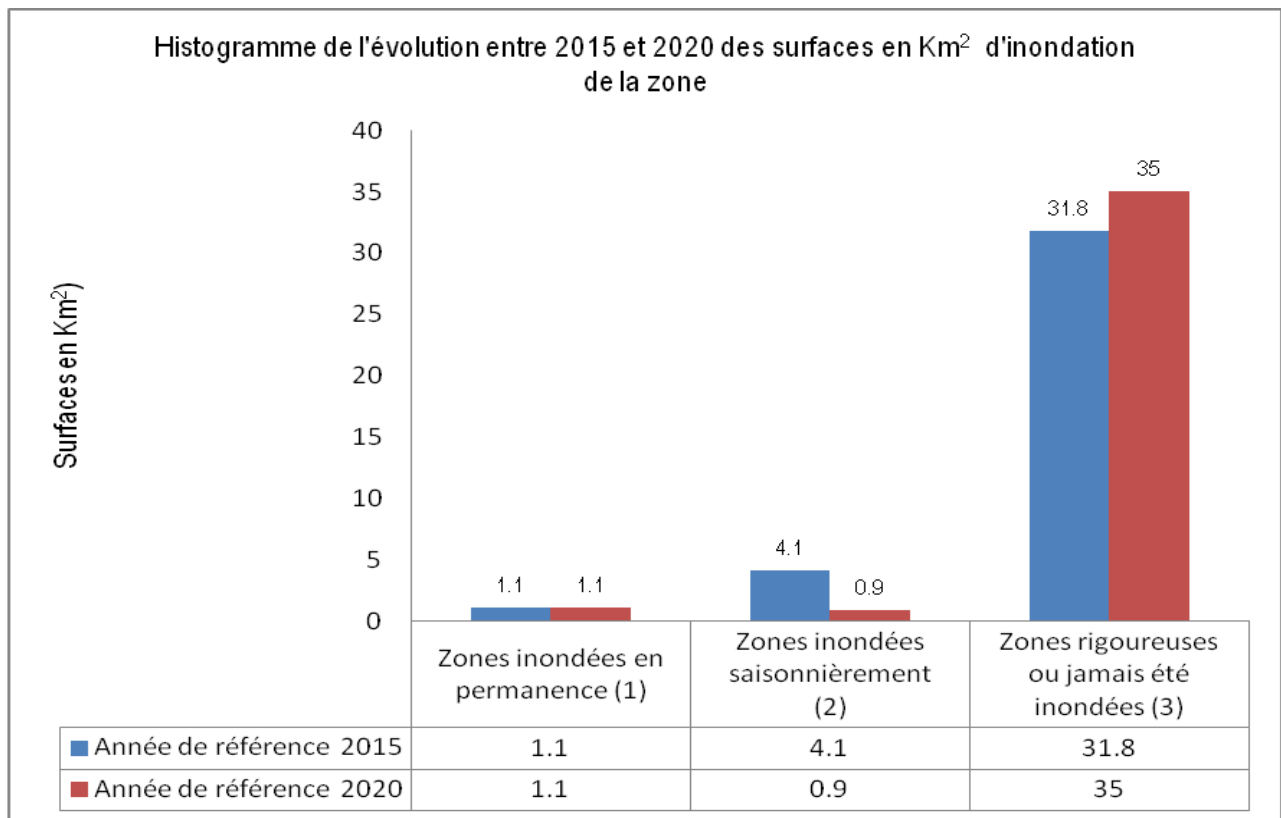


Fig. 39: Histogramme de l'évolution entre 2015 et 2020 de l'inondation de la zone humide des marais de la Macta de Mostaganem.

L'analyse des résultats (fig. 47 et tab.23) montre que la surface totale des plans d'eau temporaires cartographiée par satellites durant les années 2015 a subi une forte régression durant ces dernières années. La surface totale inondée est passée de 4.1 km² à 0.9 km², soit une perte en surface de 3.2 km² en 5 ans, ce qui correspond à une perte moyenne annuelle de 0.64 km² (64 ha/an).

3.2 Discussion

Les résultats obtenus montrent qu'il est possible d'observer, cartographier et de suivre la zone humide avec l'utilisation des anciennes cartes (1958) et les images satellites combinées aux SIG. Ces moyens sont d'une grande utilité (Sitayeb T., Benabdeli K. (2008). L'imagerie multispectrale et multitemporelle utilisée améliore l'observation. 27 images mensuelles, saisonnières, annuelles et sans couverture nuageuse ont été acquises entre 2015 et 2020 par le satellite Landsat-8 et Sentinel-2. Les images ont été téléchargées avec un niveau de correction qualité 2A et L1C, jugées corrigées et acceptables (Taconet P., 2019). L'interprétation et le traitement des images satellites ont nécessité d'utiliser plusieurs données externes (images Google Earth (2020), image Bing Microsoft (2018), données *CORINE Land Cover*, images des indices NDVI et NDWI (2015 à 2020), données d'inventaire écologique (2008), cartes de végétation (1958), sol (1952), géologie (1952), cartes

topographiques (1989), MNT (2000), fiches descriptives de Ramsar et de validation terrain). Les images ont été traitées par l'outil geoclassifier, lequel est implémenté sur logiciel SIG et adapté aux zones humides méditerranéennes. L'outil a été utilisé avec succès dans l'observation et le suivi de 214 zones humides littorales méditerranéennes (Beltrame et al., 2015). Avec cette possibilité, nous avons mis en application plusieurs méthodes de télédétection (observation, interprétation, composition colorée, segmentation, échantillonnage, classification automatique supervisée de type orientée objet, calcul des indices spectraux, comparaison et validation sur le terrain).

3.2.1 Traitement des images satellites

Les images satellites ont été classifiées à hauteur de 97% de la réalité terrain ce qui montre que les erreurs de confusion ont été minimisées. Cela montre que la cartographie produite est précise car toute précision de classification qui avoisine 80% est jugée acceptable (Congalton, 1991 ; Girard et Girard, 1999 in Jean-Luc K., 2014). Cette précision cartographique corrobore celles obtenues par d'autres auteurs tel que:

- ✓ Beltrame et al., (2015), lors de l'étude de l'évolution de l'occupation du sol dans 214 zones humides littorales méditerranéennes de 1975 à 2005, le taux global de validation a été estimé à 87,7 %.
- ✓ Jean-Luc K., (2014), dans une étude de suivi de la dynamique de l'occupation du sol à l'aide de l'imagerie satellitaire et des SIG en Côte d'Ivoire, les précisions globales des classifications des images ont été estimées respectivement à 96,20 % pour 1987 ; 95,03 % pour 2002 et 94,80 % pour 2012.

La comparaison confirme que notre taux global de précision (97%) est comparable, se rapproche de la réalité et les produits cartographiques peuvent être intégrés dans un environnement SIG pour être interprétés (Thomlison *et al.*, 1999 in Beltrame et al., 2015). Les méthodes d'intégration ont permis d'élaborer quatre cartes diachroniques. Deux cartes numériques se référant à la période de 1958 (fig.42) et 2020 (fig.43) ayant trait à l'évolution de l'occupation et la couverture du sol en 62 ans. Les autres cartes se référant à la période 2015 (fig.45) et 2020 (fig.46) ont permis de spatialiser la dynamique et la durée de l'inondation de la zone humide pendant 5 ans.

3.2.2 Analyse de l'évolution entre 1958 et 2020 de l'occupation du sol

Les statistiques appliquées (calcul de géométrie, superficie, sommation, moyenne, variance et comparaison) sur les produits cartographiques validés à 97% ont permis d'élaborer une base de données alphanumérique (tab.18, 19 et 20 et fig.44). L'analyse statistique a permis de déterminer les indicateurs d'état et de suivi de la zone humide.

3.2.2.1 Surfaces impactées par le changement entre 1958 et 2020

Les surfaces impactées par le changement spatiotemporel entre 1958 et 2020 (62 ans) ont été estimées à 6.5 km² ce qui correspond à 18% de la surface totale.

3.2.2.2 Diminution des superficies des habitats naturels terrestres

- ✓ Les surfaces des habitats naturels terrestres (par ex. les forêts) ont été régressées de 3.4 km² en 62 ans ce qui correspond à une perte moyenne annuelle de 0.055 km² (5,5ha/an). Le rythme de régression des forêts est fort ancien et continue sans cesse. Entre 1882 et 1949 (67ans), La forêt de Tamarix à l'échelle de la grande Macta a subi une perte de 14.42 km², soit une perte moyenne annuelle de 0.22 km²(22ha/an) (Belgherbi B., & Benabdeli K., 2010). Entre 1958 et 2005, les formations végétales arborescentes de *Tamarix africana* et *Juniperus phoenicea* ont aussi subies une forte régression (Sitayeb T., Benabdeli K., 2008). Les pertes en surfaces forestières ont été constatées sur tout le bassin méditerranéen. Entre 1975 et 2005, les surfaces des habitats naturels terrestres à l'échelle de la méditerranée ont été diminués de 19% ce qui correspond à une perte de 1 472 km² (Beltrame et al., 2015).
- ✓ Les surfaces de la végétation halophile composée principalement des Halipèdes, faciès à *Juncus* et *Scirpus* ont été régressées de 3.1 km² en 62 ans ce qui correspond à une perte moyenne annuelle de 0.05 km² (5ha/an). Entre 1975 et 2005, les pertes en surfaces humides de la grande Macta (3 wilaya) ont été estimées à 29% de la surface totale.

Plusieurs facteurs expliquent cette évolution régressive. Tout d'abord, entre 1970 et 1992, trois nouveaux barrages (Fergoug, Quizert et Chorfa) sont construits à l'amont de la Macta, en plus des deux déjà existants (Bouhanifia et Serno). À cela s'ajoute la période de sécheresse annuelle de plus en plus longue qui a entraîné une diminution du ruissellement vers les marais et un assèchement progressif des sols. Les précipitations ont diminué selon les années en moyenne entre 30 et 45 mm dont la tranche pluviométrique annuelle est passée de 466,6 mm en 1953 à 191,3 mm en 1999 et la température est élevée en parallèle de l'ordre de 1.5°C, ce qui favorise l'évaporation des sols et plans d'eau avec un impact significatif sur la végétation (Belgherbi B., & Benabdeli K., 2010). À cela s'ajoute l'action anthropique liée à l'élevage. Le surpâturage apparaît comme l'un des facteurs de régression les plus importants de la végétation, le prélèvement intense de la biomasse et le tassement du sol par le cheptel augmentant les surfaces dénudées et soumises à la stérilisation (Sitayeb T. & Benabdeli K. (2008). Cette régression peut avoir un impact négatif sur le

fonctionnement hydrologique et écologique de la zone humide (MEDDI *et al.*, 2009 in Beltrame et al., 2015).

3.2.2.3 Conversion des habitats naturels terrestres en milieux agricoles

1.69 km² de surfaces d'habitats naturels ont été converties en milieux agricoles ce qui correspond à une progression moyenne annuelle de 0.03 km² (3ha/an). La conversion des habitats est due à l'action anthropique liée principalement à la sédentarisation des populations nomades qui pratique l'élevage et l'arboriculture (marais situés dans la première région oléicole et agrumicole de l'Ouest algérien). La partie de la forêt située au sud de la zone a été remplacée par des vergers d'orangers (Belgherbi B., & Benabdeli K., 2010). L'étude de 214 zones humides littorales méditerranéennes a montrée qu'entre 1975 et 2005, une surface totale de 876 km² d'habitats humides naturels méditerranéens ont été converties en milieux agricoles (Beltrame et al., 2015).

3.2.2.4 Conversion des vocations agricoles

Les surfaces des cultures céréalières et viticoles converties entre 1958 et 2020 en cultures maraichères irriguées (sous serre et en plein air) et vergers arboricoles (oliviers et agrumes) ont été estimées respectivement à 5.30 km² et 3.29 km² ce qui correspond à une conversion en surface moyenne annuelle de 0.13 km² (13ha/an) en 62 ans. Cela montre que le défrichement des forêts, le drainage et l'irrigation ont transformés la physionomie du couvert végétal sur de grandes surfaces (Metzmacher M., 1979). Entre 1958 et 2005 (47 ans), la surface totale des cultures céréalières à l'échelle de la grande Macta (3 wilaya) est diminuée de 120 km² ainsi que les surfaces viticoles ont connues aussi une forte régression (Sitayeb T. & Benabdeli K., 2008).

3.2.2.5 Conversion des habitats naturels terrestres en milieux artificialisés

Les superficies converties en milieux artificialisés (urbanisation et équipements associés) ont été augmentées de 1.7 km² ce qui correspond à une progression moyenne annuelle de à 0.03 km² (3ha/an). L'augmentation des surfaces urbanisées est causée principalement par la mise en œuvre des programmes etatiques de l'urbanisation, de logements, de l'habitat rural, des voies de communication et desenclavement des localités de proximité. Entre 1975 et 2005, 95 km² d'habitats humides naturels littoraux méditerranéens ont été convertis en milieux urbanisés et 22 km² de terres agricoles consommées par l'urbanisation. Cette action d'artificialisation des sols au niveau de la zone est jugée nocive pour la faune et la flore car elle favorise l'eutrophisation, la pollution et la perturbation thermique (Beltrame et al., 2015).

3.2.2.6 Variation des superficies des habitats humides naturels (surfaces d'eau)

Les pertes en surfaces des habitats humides naturels (rivage marin et eau permanente) ont été regressée de 0.86 km² ce qui correspond à une perte moyenne annuelle de 0.013 km² (1.3ha/an), par contre la surface totale des plans et cours d'eau temporaires a été progressée de 3.96 km² ce qui correspond à une progression moyenne annuelle de 0.06 km² (6ha/an). L'analyse des données optiques (images) montre que les surfaces d'eau au niveau de l'embouchure de la Macta ont été perturbées d'une part, par l'écoulement de l'eau entre la mer et le cratère créé par la sablière (fig.26) et par le rejet des eaux de la station de désalement de l'eau de mer (fig.31) dans l'embouchure de la Macta obstrué à son aboutissement, d'autre part, comme la montre la fig.48 suivante:

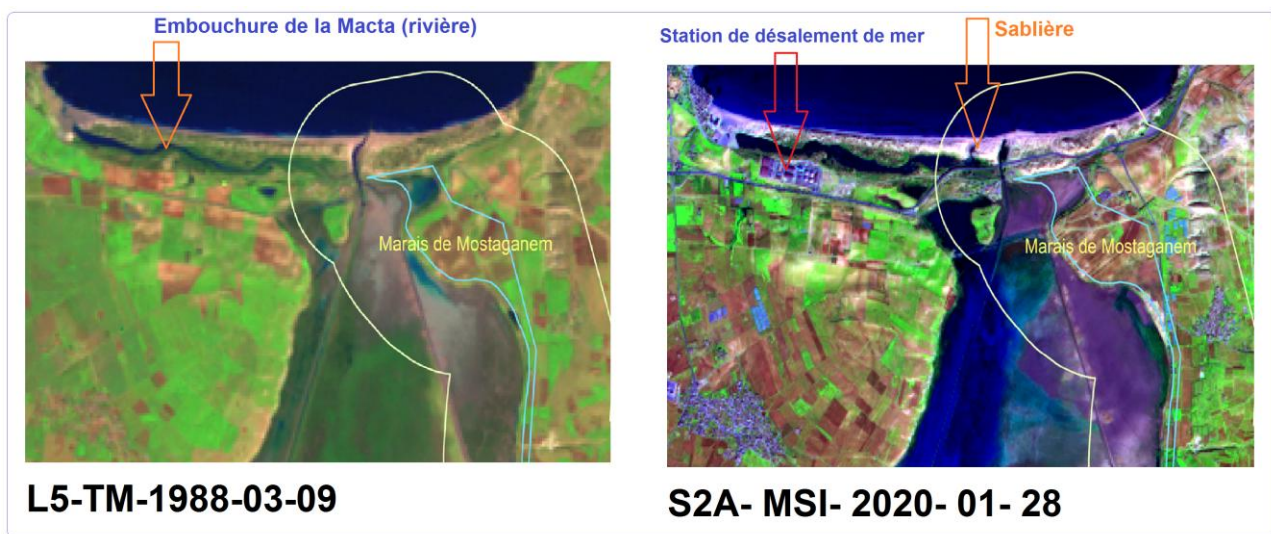


Fig. 40: Localisation de désalement de l'eau de mer et la sablière à proximité de la zone.

La fig.48 montre que la construction de l'unité de désalement de l'eau de mer et la sablière ont eu lieu après les années 1988 (absence de sites sur l'image de gauche 09/05/1988). L'image de droite (28/01/2020) montre la présence des deux sites. La dynamique de l'eau est due donc aux actions anthropiques nettement visibles sur le terrain. Premièrement, le site de prélèvement et d'extraction abusive de sable à partir du cordon dunaire de Mers El Hadjadj qui sépare et protège la mer est transformée en cratère à bord de mer rendant le site inondé en permanence. Deuxièmement, les eaux inutilisées de la station de désalement de l'eau de mer de capacité de production journalière de 500 000 m³/jour sont connectées et jetées directement dans l'embouchure (rivière) de la Macta ce qui a provoqué plus d'inondation de la rivière de proximité.

3.2.3 Analyse de la dynamique de l'inondation de la zone entre 2015 et 2020

La surface totale des plans d'eau temporaires cartographiée par satellites entre 2015 et 2020 a subi une forte régression, estimée à 3.2 km² en 5 ans. La surface de l'eau libre est passée de 4.1 km² (2015) à 0.9 km² (2020) ce qui correspond à une perte moyenne annuelle de 0.64 km² (64 ha/an). A l'échelle globale (3 wilaya), la zone humide a perdu plus de 85% de son eau (Belgherbi B., & Benabdeli K., 2010). Entre 1975 et 2005 (30 ans), Les surfaces des habitats humides naturels de 214 zones humides littorales méditerranéennes ont été diminuées de 10 % , soit une perte en surface totale de 1 329 km² (Beltrame et al., 2015). Les surfaces d'eau libre ont été impactées par les nouvelles conditions climatiques.

Chapitre IV : Conclusion générale

Chapitre IV : Conclusion générale

Les outils de la géomatique (SIG, GPS et la télédétection) ont permis d'élaborer un premier bilan chiffré de l'évolution entre 1958, 2015 et 2020 du site Ramsar de la zone humide de la Macta de Mostaganem. La synthèse bibliographique montre que la faune de zone a été étudiée en 1979 par Metzmacher M. et l'occupation du sol en 1958, 1975 et 2005 par Sitayeb T., Benabdeli K. (2008) et par Beltrame et al. (2015). Le site étant un milieu complexe et dynamique et son inventaire n'est pas encore exhaustif (Beltrame et al., 2015). Nos résultats obtenus dans la présente étude apportent un complément de cartographie et de caractérisation actuel et à jour. L'approche méthodologique utilisée est basée principalement sur l'emploi des nouveaux outils d'investigation de la haute technologie à savoir les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), le Système de Géolocalisation par Satellite (GPS), la télédétection spatiale et les logiciels appropriés (ArcGis, QGIS, Mapinfo, Global Mapper, ...etc.). Ces outils constituent les moyens indispensables et nécessaires à la réalisation des méthodes SIG et de télédétection. Parmi les méthodes SIG, nous avons appliqué les techniques de géo-référencement, mosaïquage et découpage sur les documents cartographiques (fonds de cartes raster et vecteur) dans la référence spatiale *WGS 84 UTM 30N*. L'application des méthodes SIG ont permis d'élaborer une cartographie numérique de reconnaissance et de caractérisation des milieux de la zone d'étude. Deux principales cartes thématiques ont été établies, une carte complète de situation géographique et administrative. Elle décrit la géographie de la zone en montrant qu'elle est formée d'une dépression triangulaire séparée du golfe d'Arzew par un cordon dunaire bordé au Nord-Ouest par le massif des salines d'Arzew et au Nord-Est par le plateau de Mostaganem. La carte montre que le site Ramsar comme il a été classé, il s'étend sur une superficie totale de 532.5 km² dont 441.18 km² situées à l'intérieure de la limite administrative et 91.32 Km² à l'extérieure c'est-à-dire la zone tampon. Le site s'étend sur un grand territoire qui relève de la compétence juridique de trois wilaya voisines à savoir Mostaganem (2%), Oran (5%) et Mascara (93%). Nous avons limité notre étude à la limite administrative de la wilaya de Mostaganem et ce conformément aux orientations de notre université. Notre zone d'étude couvre donc une superficie totale de 37 km² dont 9.34 Km² est située à l'intérieure de la limite administrative et 27.74 Km² à l'extérieure en formant la zone tampon.

Les méthodes SIG appliquées sur le Modèle Numérique de Terrain (MNT) acquis par le satellite *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) en date de 11/02/2000 avec 30 m de résolution et téléchargé à partir du site (<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>), ont permis d'apprécier le relief de la zone. Le calcul des indices topographiques a permis de générer quatre principales cartes thématiques (hypsométrie, pentes, expositions et réseau hydrographique). L'analyse des indices topographiques montre que l'altitude du terrain varie entre -8 et 107 m dont la classe (-8 à 9m)

couvre 44% de la surface totale. Les pentes sont généralement faibles dont la classe (0 à 3%) est dominante, elle occupe 92% de la surface totale. Les directions de pentes de terrain sont exposées à l'Est (21%), au Nord (22%), au Sud (23%) et à l'Ouest (34%) dont la toute exposition (ou terrain plat) couvre 3% de la surface totale. Le réseau hydrographique est formé principalement par Oued Sig, Habra et Tinn. Le réseau sillonne la zone du sud au nord en parcourant une longueur totale de 780 km dont l'ordre d'écoulement 1 parcourt plus de la moitié (52%) de la longueur totale. Ce réseau assure l'alimentation et la circulation d'eau à travers la zone. Cinq barrages ont été construits à l'amont du bassin versant de la wilaya de Mascara.

Avec les méthodes SIG, nous avons élaboré une carte des voies d'accès à la zone à partir des données OpenStreetMap (OSM) de l'année 2012. Les données ont été téléchargées à partir du site (<https://extract.bbbike.org>) et découpées sur l'emprise de la zone d'étude. La carte résultante montre que la zone est desservie par un réseau de routes (RN11, 4, 17 et 97) et chemin de wilaya (Cw82) praticables rendant la zone accessible. Une voie ferrée qui longe la zone pour relier la localité de Mers El Hadjadj (Oran) avec Mohammadia (Mascara).

Les méthodes SIG appliquées sur les documents cartographiques de la région (carte géologique (1952), des sols (1952) et de la végétation (1958)) ont permis de géo-référencer, numériser, cartographier et caractériser les milieux biotiques et abiotiques de la zone. Trois principales cartes thématiques ont été élaborées en montrant comment l'assise de la zone a été formée et recouverte sur le plan géologique, pédologique et biotique. Les cartes montrent que la zone repose sur une formation géologique de type quaternaire continentale et marine dont le continental domine largement la surface de la zone, il couvre par conséquent 96% de la surface de la zone. Sa lithologie est à base d'alluvions et de sables. Les sols sont de types salins, alluviaux et de marais, ils occupent respectivement 64%, 24% et 10% de la surface totale. Son milieu biotique est composé de végétation halophile qui s'est développée sur les sols salés, elle occupe 41% de la surface totale de la zone. Au-delà, une végétation de type agricole et forestière s'est installée et elles occupent respectivement 54% et 4% de la surface totale. Les espaces non végétaux, occupés principalement par l'eau de surface (libre) et l'artificialisation (urbanisation) couvrent 1% de la surface totale. Les cartes utilisées malgré qu'elles sont très anciennes (1952 et 1958), mais elles ont généré des données utiles à l'étude dont il faudra les actualiser, c'est ce que nous avons fait avec les méthodes de la télédétection dans la partie qui suit.

L'application des méthodes de la télédétection sur les images satellites Landsat-8 et Sentinel-2 (téléchargées à partir du site USGS), ont permis d'observer la zone d'étude dans trois types de résolutions très développées. Dans la résolution dite spatiale les pixels au sol mesurent 10m et 30m

de côté, dans la résolution spectrale les pixels s'observent dans 11 et 12 bandes spectrales et en fin dans la résolution temporelle le même pixel est réobservé et cartographié tous les 5 (Sentinel-2) à 16 jours (Landsat-8), ceux-ci permettaient d'observer, suivre, surveiller et de mettre à jour les informations sur les habitats écologiques de la zone.

Les méthodes de prétraitement appliquées sur les images satellites acquises par deux capteurs différents, dans de différentes conditions atmosphériques et avec de grandes tailles, ont permis de rendre les images de tailles supportables, géométriquement superposables, spectralment comparables et exploitables.

Les méthodes de traitement d'images (segmentation, intégration des indices spectraux, données externes, création de zones d'entraînement au sol et leur apprentissage par les données de Corine Land Cover) ont abouties à la réussite de la classification automatique supervisée de type orientée objet. Les méthodes de post-classification ont permis de valider 90 points d'échantillonnage sur le terrain ce qui a permis de valider les produits cartographiques avec un taux global de précision de 97% ce qui a permis de valider quatre principales cartes. Deux cartes d'occupation du sol se référant à la période 1958 et 2020 et deux autres cartes de suivi de l'inondation de la zone se référant à la période de référence 2015 et 2020. L'analyse des cartes d'occupation du sol montre qu'entre 1958 et 2020, 6.5 km² ont été impactées par le changement ce qui correspond à un impact qui touche 18% de la surface totale. Les forêts de *Tamarix africana* et *Juniperus phoenicea* ont été régressées de 3.4 km² ce qui correspond à une perte moyenne annuelle de 0.055 km² (5,5ha/an). La végétation halophile composée principalement des Halipèdes, faciès à *Juncus* et *Scirpus* ont diminuées de 3.1 km² ce qui correspond à une perte moyenne annuelle de 0.05 km² (5ha/an). Les pertes en surfaces totales (6.5 km²) ont été converties en 3.10 km² d'habitats humides naturels (rivage marin, cours et plans d'eau), 1.69 km² de terres agricoles et 1.7 km² de sols artificialisés (urbanisation et infrastructures associées). L'analyse du changement qui a impacté l'agriculture montre que 5.30 km² de viticulture et 3.29 km² de céréaliculture ont été converties en cultures marichères irriguées et arboriculture (oliviers et agrumes). Entre 2015 et 2020 (5 ans), la zone a perdue une surface totale de 3.2 km² de plans d'eau temporaires ce qui correspond à une perte moyenne annuelle de 0.64 km² (64 ha/an). L'évolution s'explique par l'effet naturel lié principalement au changements climatiques. Notre approche méthodologique a apporté une actualisation des documents et références déjà existantes. Elle a permis la mesure des indicateurs d'états et de suivi. Il s'agit d'un diagnostic par lequel il a été possible de prendre connaissance de la région dans sa globalité spatiale, physique et thématique.

Le présent travail a permis a) l'élaboration d'une spatio-cartographie de reconnaissance des milieux biotiques, abiotiques et environnementaux, un archivage d'une base de données temporelles

(géographiques et alphanumériques) à jour, une compréhension rétrospective du fonctionnement et de l'évolution du milieu, la dynamique, la durée d'inondation et la relation qu'entretient l'homme avec son environnement, et b) des analyses prospectives utiles à la prise de décision quant à l'aménagement et la gestion durable de la zone. Dans ce sens, les pouvoirs publics peuvent être alertés afin de prendre plus de conscience et de remédier aux problèmes relatifs à la perte des habitats écologiques. Dans ce contexte, il serait utile de mettre à la disposition des gestionnaires de la zone une copie du présent document ; pour leur apporter un complément d'informations quant à la sensibilisation, la planification, l'aménagement et la prise de décision.

Ce travail a permis, de démontrer l'importance et l'apport de la géomatique (SIG, GPS et télédétection) dans le suivi et la surveillance de la zone humide. Il serait très intéressant de continuer d'étudier la zone afin de lever certaines contraintes ou limites liées en particulier à la spécificité du milieu aquatique car la contribution de l'eau hors sol et sous le couvert végétal (par ex. sous un roseau bien développé) vis-à-vis de la réflectance est mal connue. Cela montre que le NDWI trouve ses limites quand l'eau sous-jacente est cachée par la végétation. Il est aussi souhaitable d'utiliser les données multi temporelles de la très haute résolution des satellites commerciaux afin de pouvoir mesurer les indices physico-chimiques (salinité, pollution et la température de surface) signalés par Metzmacher, en 1979 en montrant que les déchets d'oliviers, les pesticides d'origines agricoles et le développement urbain et industriel ont provoqués la pollution des oueds de la Macta. Il a montré aussi que la remontée saline est due aux mauvaises pratiques culturelles en stérilisants certains terrains.

4.1 Suggestion et recommandations

Les zones humides jouent le rôle dans la régulation des cycles de l'eau, fournissant ainsi des avantages lorsqu'il s'agit, par exemple, de faire face à l'élévation du niveau de la mer, notamment de protéger les côtes contre les tempêtes et les eaux de surface et souterraines contre l'intrusion saline, et reconnaissant aussi que le méthane et l'oxyde nitrique, émis dans le cadre du cycle de l'azote lors de la dénitrification des zones humides. Les zones humides Ramsar jouent un rôle en matière de piégeage et de stockage du carbone; sachant que la dégradation et la perte des zones humides entraînent la libération de grandes quantités de carbone stocké, ce qui aggrave les changements climatiques. La rapidité des changements climatiques attendus, cumulée à d'autres stress et à des effets rétroactifs envisagés, risquent d'impacter profondément le fonctionnement des zones humides et la biodiversité qu'elles accueillent. La dégradation et la perte des zones humides sont plus rapides que celles d'autres écosystèmes, et que les changements climatiques mondiaux aggraveront probablement la perte et la dégradation de nombreuses zones humides, entraînant une réduction des services écosystémiques

fournis par les zones humides qui sont essentiels à l'adaptation aux changements climatiques et à leur atténuation. Parmi les principales causes de la régression des zones humides Algériennes, on cite les pressions d'origines agricoles et urbaines (Medouni, 1996). Les pressions anthropiques qu'elles subissent actuellement limitent fortement leur capacité d'adaptation. A l'inverse, la résilience des zones humides au changement climatique pourra être améliorée si un maximum de contraintes est levé dès à présent. La levée des contraintes exige un plan de gestion et d'aménagement. La gestion de la zone humide repose sur la maîtrise de sa cartographie, sa caractérisation et l'évolution de la dynamique de leurs habitats. Nos résultats obtenus dans ce document, peuvent répondre favorablement aux besoins de la zone. Dans un premier temps, nous recommandons aux gestionnaires de la zone humide (conservation des forêts de Mostaganem) de mettre en œuvre en urgence un plan d'actions suivantes:

1. matérialiser sur le terrain les limites administratives Ramsar de la zone humide,
2. mise en œuvre des programmes de sensibilisation pour les autorités locales, le citoyen et les touristes en particulier les estivants,
3. mise en place des panneaux de signalisation en interdisant toute pratique agricole, élevage, défrichage de sols, industrielle, d'urbanisation et d'équipements ou d'infrastructures à l'intérieure de la limite administrative du site,
4. mise en place des panneaux de signalisation en interdisant tout dépôt d'ordures ménagères,
5. contrôler les pratiques agricoles de proximité (respect de la pente, contrôle de drainage, application des intrants respectueux de l'environnement, la jachère, les terrains de parcours, la pêche et la chasse),
6. mise en œuvre des programmes sectoriels de développement à l'amont pour lutter contre l'érosion et inondation des terres (reboisement des terrains pentus et nus, correction torrentielle par des procédés mécaniques et fixation des berges par les plantations),
7. implication et mise en œuvre des programmes communaux de développement pour une prise en charge par la commune concernée,
8. impliquer la population riveraine dans les programmes de protection et développement du site,
9. contracter un contrat cadre et de recherche avec les universités locales pour valoriser la flore, la faune et l'environnement du site,

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ANAT (Agence Nationale d'Aménagement du Territoire). (2011). *Schema directeur d'aménagement et de développement touristique de la wilaya de Mostaganem. Etat des lieux—Diagnostic prospectif de la wilaya de Mostaganem. Rapport N° 2*. Mostaganem ' Algérie: (s.n.).
- Belgherbi B., & Benabdeli K. (2010). Contribution à l'étude des causes de la dégradation de la forêt de Tamarix de la zone humide de la Macta (Algérie occidentale). *forêt méditerranéenne*. XXXI, n° 1, mars 2010, XXXI(01), 55-62. Disponible sur: <https://www.researchgate.net/publication/329984340>. (Consulté le 25/05/2020).
- Beltrame, C., Perennou, C., & Guelmami, A. (2015). Évolution de l'occupation du sol dans les zones humides littorales du Bassin méditerranéen de 1975 à 2005. *Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranéens/Journal of Mediterranean geography*, (125), 97-111. Repéré à http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=MEDI_125_0097 (Consulté le 25/03/2020).
- BNEDER (Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural). (2008). *Etude d'inventaire forestier national—Rapport sur le schema directeur d'aménagement—Wilaya de Mostaganem*. (Direction Générale des Forêts Ben Aknoun Alger). Alger: (s.n.).
- Bonino E. et al., 2012. (2012). Globwetland. Un projet régional pilote de la convention Ramsar sur les zones humides. Agence spatiale européenne (ESA).
- Boumezbeur A., (2002). *Atlas des 26 zones humides d'importance internationale*. Direction de la protection de la faune et la flore. p13/89. Direction Générale des Forêts (DGF)- Ben Aknoun - Alger - Algerie.
- Davidson et al. (2018). *Perspectives mondiales des zones humides : État des zones humides à l'échelle mondiale et des services qu'elles fournissent à l'humanité* (Secrétariat de la Convention de Ramsar). Gland, Suisse: Secrétariat de la Convention de Ramsar. Repéré à https://static1.squarespace.com/static/5b256c78e17ba335ea89fe1f/t/5b9ffd8e032be41de53e998e/1537211835843/Ramsar+GWO_FRENCH_WEB.pdf (Consulté le 02/03/2020).
- Davranche A. (2008). *Suivi de la gestion des zones humides camarguaises par télédétection en référence à leur intérêt avifaunistique*. (Université de Provence-Aix-Marseille I, 2008. Français.). France: Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/293585/filename/thesead2.pdf> (Consulté le 22/04/2020).
- El Atillah, A., El Morjani, Z. E. A., & Souhassou, M. (2018). Utilisation De L'image Multispectrale Pour L'exploration Et La Recherche Des Ressources Minérales : État Des Connaissances Et Proposition D'un Modèle De Traitement., pp. p353-354. Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/327484069_Utilisation_De_L'image_Multispectrale_Pour_L'exploration_Et_La_Recherche_Des_Ressource

s_Minerales_Etat_Des_Connaissances_Et_Proposition_D'un_Modele_De_Traitement#:~:text=full%2Dtext%20PDF-
,Utilisation%20De%20L'image%20Multispectrale%20Pour%20L'exploration%20Et%20La,D'un%20Mod%C3%A8le%20De%20Traitement&text=
Multiband%20space%20remote%20sensing%20is,for%20prospecting%20the%20Earth's%20surface.(Consulté le 20/05/2020)

Gregory K. Lee. (2012). *Modèles Numériques de Terrain à l'échelle de la Mauritanie – SRTM et ASTER. Second Projet de Renforcement Institutionnel du Secteur Minier de la République Islamique de Mauritanie (PRISM-II), Phase V.* Mauritanie: (s.n.). Disponible sur: https://pubs.usgs.gov/of/2013/1280/Final_Reports_French/Livable_65%E2%80%93Mod%C3%A8les_Num%C3%A9riques_de_Terrain_SRTM_et_ASTER.pdf. (Consulté le 02/05/2020).

Jean-Luc K. (2014). *Suivi de la dynamique de l'occupation du sol à l'aide de l'imagerie satellitaire et des Systèmes d'Informations Géographiques : Cas de la Direction Régionale des Eaux et Forêts de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire)* (Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Cote d'Ivoire). Cote d'Ivoire: Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA) (Cycle des Ingénieurs de Conception. Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/270276991_Suivi_de_la_dynamique_de_l'occupation_du_sol_a_l'aide_de_l'imagerie_satellitaire_et_des_Sytemes_d'Informations_Geographiques_Cas_de_la_Direction_Regionale_des_Eaux_et_Forets_de_Yamoussoukro_Cote_d'Iv (consulté le 01/04/2020)

Laabidi A., El Hmaidi A., Gourari L., & El Abassi M. (2016). Apports Du Modele Numerique De Terrain Mnt A La Modelisation Du Relief Et Des Caracteristiques Physiques Du Bassin Versant Du Moyen Beht En Amont Du Barrage El Kansera (Sillon Sud Rifain, Maroc). *European Journal of Scientific Research*, p. p259. Disponible sur: <https://www.researchgate.net/publication/309583291>. (Consulté le 01/05/2020).

Manière L. (2019). Extraction d'informations topographiques et hydrologiques à partir d'un modèle numérique de terrain – Cas pratique sur le MNT du projet Desert Networks. *CNRS, HiSoMA, Lyon—France*. Disponible sur: <https://desertnetworks.hypotheses.org/920> (Consulté le 10/05/2020).

McInnes R-J. (2013). Recognising wetland ecosystem services within urban case studies. *Marine and Freshwater Research (MAR FRESHWATER RES)*, 65(7), 575-588. <https://doi.org/10.1071/MF13006> (Consulté le 12/04/2020).

Medouni. (1996). *Chapitre 1 : Aperçu générale sur les zones humides Algériennes* (Université de M'sila Algérie). Algérie: Université de M'sila Algérie. Disponible sur: <http://dspace.univ-msila.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/10862/Chapitre1.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consulté le 01/02/2020).

Meneses-Tovar C.L. (2011). L'indice différentiel normalisé de végétation comme indicateur de la dégradation. *Unasyva*, 62(238). Repéré à <http://www.fao.org/3/i2560f/i2560f07.pdf> (Consulté le 19/05/2020).

Metzmacher M. (1979). Les oiseaux de la Macta et de sa région (Algérie) : Non passereaux. *Aves*, 16(3-4/1979), 89-123. Disponible sur: [https://www.aves.be/index.php?id=article_bulletin&tx_natbulletin_pi1\[uid\]=443](https://www.aves.be/index.php?id=article_bulletin&tx_natbulletin_pi1[uid]=443) (Consulté le 16/02/2020).

- ONCEA (Observatoire Nationale de la Consommation des Espaces Agricoles). (2014). Panorama de la quantification de l'évolution nationale des surfaces agricoles. Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt—France. *Observatoire Nationale de la Consommation des Espaces Agricoles*. Repéré à http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/140514-oncea_rapport_cle0f3a94.pdf (Consulté le 20/04/2020)
- Pelletier C. (2017). *Cartographie de l'occupation des sols à partir de séries temporelles d'images satellitaires à hautes résolutions Identification et traitement des données mal étiquetées* (Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier) France). France: Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier) France. Disponible sur: <thesesups.ups-tlse.fr › 2017TOU30241PDF> (Consulté le 20/05/2020).
- Rafik A. & Oughri M. (2016). *Suivi de la couverture terrestre par télédétection, exemple de la ville de Marrakech entre 1995 et 2016, Maroc* (Facultés des sciences et techniques Département des Sciences de la Terre Licence Sciences et Techniques Eau et Environnement Marrakeche Maroc). Maroc: Université Cadi Ayad Maroc. Repéré à <http://saidi.ma/memoires/RAFIK-OUGHRISS.pdf> (Consulté le 01/05/2020).
- Roullé A., Auclair S., Dewez T., Hohmann A., Lemoine A., Rey J. (. (2010). *Cartographie automatique des classes de sol à l'échelle régionale à partir d'un modèle numérique de terrain ou de surface. Rapport final. BRGM/RP-58853-FR, 66 p., 29 fig., 11 tabl.* France, Lourdes, Mulhouse, Haut-Rhin, Bouchesdu- Rhône: (s.n.). Disponible sur : http://www.planseisme.fr/IMG/pdf/rapport_cartographie_automatique_des_classes_de_sol_-_vs30.pdf (Consulté 01/05/2020).
- Sébastien Lebaut, & Luc Manceau. (2015). Potentialités des images Landsat pour l'identification et la délimitation de zones humides à l'échelle régionale : L'exemple de l'Est de la France, 9, 125-140. Disponible sur: <https://doi.org/10.4000/physio-geo.4563>. (Consulté le 02/05/2020).
- Sitayeb T., Benabdeli K. (2008). Contribution à l'étude de la dynamique de l'occupation des sols de la plaine de la Macta (Algérie) à l'aide de la télédétection et des systèmes d'information géographique Contribution to the study of land-use dynamics in the plains of Macta (Algeria) with the aid of remote sensing and GIS. *Elsevier, 331*(C. R. Biologies 331 (2008).), 466-474. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.03.010> (Consulté le 10/05/2020).
- Skinner, J., Beaumont, N., & Pirot, J. Y. (1994). Manuel de formation à la gestion des zones humides tropicales. Dans *Manuel de formation à la gestion des zones humides tropicales* (Vol. 272, p. 272 p.). Gland, Switzerland: UICN. Repéré à <https://www.ecolex.org/fr/details/literature/manuel-de-formation-a-la-gestion-des-zones-humides-tropicales-mon-054794/> (Consulté le 02/03/2020).

- Souidi Z. (2016). *Etude de la dynamique végétale et de la diversité floristiques des marais de la Macta (Algérie). Application à la conservation et à la préservation de la biodiversité. 1^{er} Semaine de la conservation des plantes méditerranéenne 24-29 Octobre 2016* (Université de Mascara Algérie). Mascara Algérie: Université de Mascara / Association Verte de Mascara. Disponible sur: http://www.medplantsweek.uicnmed.org/public_html/medplantsweek/wp-content/uploads/2016/11/14_WSP1_Souidi_Zahira.pdf (Consulté le 19/02/2020).
- Sparfel L., Gourmelon F., et Le Berre I. (2010). Approche orientée-objet de l'occupation des sols en zone côtière. *RevueTélétection*, 2008, 8(4), 237-256. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00559730/> (Consulté le 25/03/2020).
- Taconet P.,. (2019). *Tutoriel d'initiation à la télédétection spatiale sur logiciel libre*. (S.l.): (s.n.). Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/337649764_Tutoriel_d'initiation_a_la_teledection_spatiale_sur_logiciel_libre (Consulté le 10/06/2020).
- Tarik Ghodbani et Khélifa Amokrane. (2013). La zone humide de la Macta : Un espace à protéger sur le littoral ouest de l'Algérie. *Geographie physique et environnement*, 7, 139-155. Disponible sur ; <https://doi.org/10.4000/physio-geo.3228> (Consulté le 20/05/2020).
- Zair B & EL-Filali O. (2016). *Contribution à la gestion conservatoire de la zone humide de la Macta* (Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem-Algérie). Mostaganem ' Algérie: Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem- Faculté des Sciences et Sciences de la Nature et de la Vie Département des Sciences Agronomiques. Disponible sur <http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/6649/memoire%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consulté le 12/05/2020).

Sites internet:

1. Site de téléchargement de l'image du Shuttle Radar Topography Mission (SRTM-30) : (<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>),
2. Site de téléchargement d'OpenstreetMap (OSM): (<https://extract.bbbike.org/>),
3. Site de téléchargement des images du satellite Landsat: (<http://glovis.usgs.gov/>),
4. Site de téléchargement des images du satellite Sentinel: (sentinel.esa.int/web/sentinel/sentinel-data-access),
5. https://www.researchgate.net/publication/329984340_Contribution_a_l'etude_des_causes_d_e_la_degradation_de_la_foret_de_Tamarix_de_la_zone_humide_de_la_Macta_Algerie_occidentale
6. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631069108000851>
7. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/162282/1/les_oiseaux_des_marais_de_la_Macta.pdf

8. <https://journals.openedition.org/mediterranee/8046>
9. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00292694v2>
10. https://www.researchgate.net/publication/337649764_Tutoriel_d'initiation_a_la_teledetection_spatiale_sur_logiciel_libre

Annexes

Annexes

Tab. 25: Points de validation sur le terrain des classes CLC d'occupation et de couverture des sols de la zone humide des marais de la Macta.

N°	Classe/Code/Segment	Points	X_UTM	Y_UTM	Classe CLC de l'habitat observée sur le terrain	Niveau de Certitude (NC) de 1 => 5 (élevé)	Classe CLC de l'habitat de la classification	Notes de référence ou niveau de Certitude (NC) de 0 =>8 (élevé)
1	111	1	767177	3959172	111	5	111	5
2	111	2	767257	3959204	111	5	111	5
3	111	3	767164	3959223	111	5	111	5
4	111	4	767218	3959264	111	5	111	5
5	111	5	767144	3959286	111	5	111	5
6	222	1	766027	3960267	222	5	222	5
7	222	5	765992	3960305	222	5	222	5
8	222	2	766040	3960307	222	5	222	5
9	222	3	766023	3960346	222	5	222	5
10	222	4	765973	3960347	222	5	222	5
11	211	1	763355	3960541	211	5	211	5
12	211	3	763420	3960576	211	5	211	5
13	211	4	763506	3960603	211	5	211	5
14	211	2	763276	3960617	211	5	211	5
15	211	5	763528	3960689	211	5	211	5
16	122	5	762429	3960762	122	5	122	6

"Suite Tab.25"								
17	122	4	762424	3960823	122	5	122	6
18	223	4	762564	3960863	223	5	223	6
19	223	3	762468	3960871	223	5	223	6
20	122	3	762431	3960897	122	5	122	6
21	223	5	762591	3960912	223	5	223	6
22	223	2	762471	3960938	223	5	223	6
23	223	1	762576	3960948	223	5	223	6
24	122	2	762434	3960971	122	5	122	6
25	122	1	762435	3961092	122	5	122	6
26	212	1	762403	3963342	212	5	212	6
27	221	3	762212	3963344	221	5	221	6
28	221	4	762295	3963375	221	5	221	6
29	221	2	762143	3963377	221	5	221	6
30	5128	5	759727	3963382	5128	5	5128	5
31	212	2	762434	3963435	212	5	212	5
32	221	5	762253	3963440	221	5	221	5
33	221	1	762205	3963475	221	5	221	5
34	212	4	762495	3963491	212	5	212	5
35	212	3	762406	3963493	212	5	212	5
36	5128	4	759664	3963505	5128	5	5128	5
37	223	5	760179	3963525	223	5	223	6

"Suite Tab.25"								
38	223	3	760017	3963531	223	5	223	6
39	223	4	760101	3963538	223	5	223	6
40	212	5	762490	3963550	212	5	212	6
41	223	1	760170	3963577	223	5	223	6
42	223	2	760071	3963580	223	5	223	6
43	5128	2	759593	3963602	5128	5	5128	5
44	5128	3	759665	3963602	5128	5	5128	5
45	111	3	761905	3963719	111	5	111	5
46	111	4	761932	3963729	111	5	111	5
47	5128	4	761320	3963734	5128	5	5128	5
48	111	5	762020	3963744	111	5	111	5
49	111	2	761921	3963752	111	5	111	5
50	111	2	760218	3963759	111	5	111	5
51	111	1	761951	3963761	111	5	111	5
52	111	1	760149	3963768	111	5	111	5
53	111	4	760194	3963787	111	5	111	5
54	111	5	760159	3963791	111	5	111	6
55	4115	4	760781	3963818	4115	5	4115	5
56	5128	3	761303	3963820	5128	5	5128	5
57	111	3	760218	3963822	111	5	111	5
58	5128	5	761384	3963832	5128	5	5128	5

"Suite Tab.25"								
59	4115	3	760711	3963834	4115	5	4115	5
60	4115	5	760846	3963850	4115	5	4115	5
61	4115	2	760765	3963854	4115	5	4115	5
62	5128	2	761258	3963883	5128	5	5128	6
63	4115	1	760725	3963885	4115	5	4115	6
64	5128	1	761342	3963897	5128	5	5128	5
65	333	5	761595	3964039	333	5	333	5
66	333	1	761508	3964055	333	5	333	5
67	333	2	761597	3964079	333	5	333	5
68	333	4	761653	3964090	333	5	333	5
69	333	3	761625	3964105	333	5	333	5
70	5113	1	760363	3964137	5113	5	5113	4
71	313	1	760497	3964141	313	5	313	4
72	313	2	760587	3964152	313	5	313	4
73	313	3	760658	3964161	313	5	313	4
74	5113	2	760411	3964175	5113	5	5113	4
75	5113	5	760451	3964181	5113	5	5113	4
76	313	5	760772	3964189	313	5	313	4
77	313	4	760710	3964199	313	5	313	4
78	5113	4	760451	3964250	5113	5	5113	4
79	5113	3	760402	3964256	5113	5	5113	4

"Suite Tab.25"								
80	331	1	760700	3964374	331	5	331	5
81	331	2	760744	3964375	331	5	331	5
82	331	5	760890	3964379	331	5	331	5
83	331	4	760831	3964380	331	5	331	5
84	331	3	760789	3964384	331	5	331	5
85	523	4	760704	3964417	523	5	523	5
86	523	3	760768	3964417	523	5	523	5
87	523	1	760874	3964417	523	5	523	5
88	523	2	760824	3964418	523	5	523	5
89	523	5	760647	3964421	523	5	523	5
Total						445		458
Moyenne						0.97112311		97%

