

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Centre Universitaire Salhi Ahmed – NAAMA
Institut des Sciences et de Technologie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie



MEMOIRE

En vue de l'obtention du **diplôme de MASTER (Académique)**

En : (sciences agronomique)

Spécialité : (Agro-pastoralisme)

Présenté Par *Mr. Bentayeb Riyadh*

Mr. Harmel Adel

Intitulé

Apport de la télédétection spatiale et de la géomatique dans l'identification de la végétation & la cartographie de la Sabkha de Naâma :

Évaluation des indices NDVI, NDWI, EVI, SAVI, SPI et ETP grâce à l'analyse d'une série d'images satellitaires (Landsat_5, Landsat_8, Sentinel_2)

Soutenu, devant le jury composé de :

Président	<i>Dr Derdour Abdessamad</i>	MCA	Centre Universitaire de Naâma
Encadreur	<i>Dr Guerine Lakhdar</i>	MCA	Centre Universitaire de Naâma
Examineur	<i>Dr Bourahla Lame</i>	MCB	Centre Universitaire de Naâma

Session : Juillet 2021

Promotion : 2020/ 2021

Remerciements

Avant tout, nous remercions DIEU tout puissant de nous avoir donné la force, le courage, la persistance et nous a permis d'exploiter les moyens disponibles afin d'accomplir notre travail. Merci de nous avoir éclairé le chemin de la réussite.

*Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre encadrant **M.Guerine Lakhdar** d'avoir accepté de diriger avec beaucoup d'attention et de soin ce mémoire.*

Nous lui sommes très reconnaissants pour sa disponibilité, son soutien permanent, sa gentillesse, sa compréhension et surtout ses qualités humaines.

Nos profonds remerciements pour votre aide durant ces mois de travail.

Aux membres de jury, messieurs :

Dr. Derdour Abdessamed & Dr. Bourahla Lame

qui ont eu la gentillesse d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

<< Bentayeb.R & Harmel.A >>

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à :

Nos parents. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont

ils ne cessent de me combler.

Que dieu leur procure.

Bonne santé et longue vie.

*Nos chers frères : **Chiboub Mohammed, Bendimia Yassin, Aissaoui Aziz, Mekki***

Faycel.

Tous la famille.

*<< **Bentayeb.R & Harmel.A**>>*

ملخص

في هذه الدراسة ، نستخدم بيانات من **GEE (Google Earth Engine)** ومنصات **GLOVIS** لمراقبة التطور المكاني والزمني (1985-2020) في سبخة النعام. أشار حساب المؤشر المعياري للهطول (**SPI**) إلى أن نظام هطول الأمطار من النوع شبه الطبيعي للفترة من 1985 إلى 2020. وتتراوح قيم المؤشر المعياري للهطول (**SPI**) بين [0.28 و -0.94]. بالإضافة إلى ذلك ، فإن القيم التي تم الحصول عليها من مؤشر الغطاء النباتي **NDVI** تسلط الضوء على تطور الغطاء النباتي بقيم تتراوح من [0.0925] في عام 1985 و [0.1779] في عام 2020. النتائج المسجلة بواسطة **SAVI** و **EVI** تدعم النتائج المذكورة أعلاه. أظهر استخدام **NDWI** و **ETP** تأثير الجفاف ويمكن ملاحظته من خلال القيم المهمة لـ **ETP**.

الكلمات المفتاحية : السبخة – النعام – **NDVI** – **NDWI** – **EVI** – **ETP** – **SPI** – **GEE** – **GLOVIS**.

Summary

In this study, we use data from the **GEE (Google Earth Engine)** and **GLOVIS** platforms to monitor the spatio-temporal evolution (1985-2020) of the Naâma Sabkha. The **SPI** calculation indicated that the precipitation regime is of a near normal type for the period 1985 to 2020. The **SPI** values are between [0.28 and -0.94]. In addition, the values obtained from the **NDVI** vegetation index highlight an evolution of the vegetation cover with values ranging from [0.0925] in 1985 and [0.1779] in 2020. The results recorded by the **SAVI** and **EVI** support the results cited above. The use of **NDWI** and **ETP** have shown the effect of droughts and noticeable through the significant values of **ETP**.

KEYWORDS : Sabkha - Naâma - **NDVI** - **NDWI** - **EVI** - **ETP** - **SPI** - **GEE** - **GLOVIS**.

Résumé

Dans la présente étude nous utilisons des données issues des plateformes **GEE** (Google Earth Engine) et **GLOVIS** pour le suivi de l'évolution spatio-temporelle (1985-2020) de la Sabkha de Naâma. Le calcul du **SPI** a indiqué que le régime de précipitation est de type proche normal pour la période de 1985 à 2020. Les valeurs du **SPI** sont comprises entre [0,28 et -0,94]. Par ailleurs les valeurs obtenues de l'indice de végétation **NDVI** mettent en exergue une évolution du couvert végétal avec des valeurs allant de [0,0925] en 1985 et [0,1779] en 2020. Les résultats enregistrés par le **SAVI** et **EVI** appuient les résultats cités en haut. L'utilisation du **NDWI** et **ETP** ont montré que l'effet des sécheresses est perceptible à travers les valeurs importantes du **ETP**.

MOTS CLETS : Sabkha – Naâma – NDVI – NDWI – EVI – ETP - SPI – GEE – GLOVIS.

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	3
I.1 Généralité sur les zones humides.....	3
I.1.1 Définition des zones humides.....	4
I.1.2 Caractéristiques des zones humides.....	5
I.1.3 Les zones humides en Algérie.....	5
I.2 Généralité sur les lacs salés.....	6
I.2.1 Définition des lacs salés.....	6
I.2.2 Caractéristiques des lacs salés.....	7
I.2.3 Les lacs salés en Algérie.....	7
I.3 Généralité sur les Sabkhas et Chotts.....	8
I.3.1 Définition des Sabkhas.....	8
I.3.2 Formation des Sabkhas.....	9
I.3.3 Sabkha en Algérie.....	9
I.3.4 Biodiversité des Sabkhas.....	11
I.3.5 Salinité.....	11
I.3.5.1 La salinisation primaire.....	12
I.3.5.2 La salinisation secondaire.....	12
I.3.5.3 Effets de la salinité sur les plantes.....	13
Chapitre II : Présentation de la zone d'étude	15
II.1 Délimitation.....	15
II.1.1 Situation Géographique.....	15
II.1.2 Géomorphologie.....	16
II.1.3 Géologie et lithologie.....	18
II.1.3.1 Géologie.....	18
II.1.3.2 Lithologie.....	20
II.1.3.3 Pédologie.....	22
II.2 Situation géographique de la région d'étude.....	22

II.2.1 Altitude.....	23
II.3 Réseau hydrographique.....	24
II.4 Climat et bioclimat.....	25
II.4.1 Etude Climatique.....	25
II.4.2 Température.....	25
II.4.3 La pluviométrie.....	26
II.4.4 Les vents.....	27
II.4.5 Synthèse climatique.....	28
II.4.5.1 Indice d'aridité mensuel (i).....	28
II.4.5.2 Quotient thermique d'Emberger.....	28
II.4.5.3 Diagramme Ombrothermique.....	29
II.5 Biodiversité végétale de la Sabkha de Naâma :.....	31
II.6 Flore.....	31
II.6.1 Aristida Pungens.....	31
II.6.2 Salsola Vermiculata.....	31
II.6.3 Salicorne Glauque.....	31
II.6.4 Lygeum Spartum.....	32
II.6.5 Lavandula Stoechas.....	32
II.6.6 Tamaris Commun.....	32
II.6.7 Hammada Scoparia.....	33
II.6.8 Retama Retam.....	33
II.6.9 Atriplex Halimus.....	34
II.7 Le Pastoralisme.....	34
Chapitre III : Matériels et méthode.....	36
III.1 Télédétection.....	36
III.1.1 Systèmes d'observation.....	36
III.1.2 Les capteurs.....	37
III.1.3 Type d'acquisition.....	37
III.2 Principe.....	37
III.3 Utilisation.....	38

III.4 Programme Landsat.....	39
III.5 Programme Sentinel_2.....	40
III.6 Les indices spectraux	42
III.6.1 Indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).....	42
III.6.2 Indice NDWI (Normalized Difference Water Index).....	43
III.6.3 Indice de végétation EVI (Enhanced Vegetation Index)	44
III.6.4 Indice de végétation SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index).....	45
III.6.5 Indice de Précipitations Normalisé (SPI).....	45
III.6.6 Evapotranspiration potentielle (ETP).....	46
Chapitre IV : Résultats & Discussion	48
IV.1 Suivi de l'évolution de l'indice de végétation (NDVI).....	49
IV.1.1 Interprétation des résultats.....	50
IV.2 Suivi de l'évolution de l'indice de la teneur en eau (NDWI).....	53
IV.2.1 Interprétation des résultats.....	54
IV.3 Suivi de l'évolution de l'indice de végétation ajusté au sol et modifié (SAVI).....	57
IV.3.1 Interprétation des résultats.....	58
IV.4 Suivi de l'évolution de l'indice de végétation amélioré (EVI).....	61
IV.4.1 Interprétation des résultats.....	62
IV.5 Suivi de l'évolution de l'indice de précipitation standardisé (SPI).....	65
IV.5.1 Interprétation des résultats.....	67
IV.6 Suivi de l'évolution d'évapotranspiration potentielle (ETP).....	67
IV.6.1 Interprétation des résultats.....	67
V. Conclusion	69
Références Bibliographiques	72

<i>Liste des figures</i>		
Figures	Titre	page
Figure 1	Répartition des zones humides mondiales	3
Figure 2	Situation géographique des Chotts et Sabkhas en Algérie (Demnati F, 2014)	10
Figure 3	Situation géographique de la Wilaya de Naâma	15
Figure 4	Carte des caractéristiques physiques (Ceneap, 2009)	17
Figure 5	Carte géologique de la Wilaya de Naâma (Ceneap, 2009)	19
Figure 6	Carte de lithologie de la Wilaya de Naâma (Ceneap, 2009)	21
Figure 7	Situation géographique de la Sabkha de Naâma	22
Figure 8	Carte des altitudes de la Sabkha de Naâma	23
Figure 9	Carte du réseau hydrographique de la Sabkha de Naâma	24
Figure 10	Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	30
Figure 11	Organigramme illustrant l'approche suivie pour l'étude de la Sabkha de Naâma	47
Figure 12	Evolution de l'indice de végétation NDVI (1985 - 2020)	49
Figure 13	Evolution de l'indice de végétation NDVI de la Sabkha de Naâma de (1985 à 2000)	51
Figure 14	Evolution de l'indice de végétation NDVI de la Sabkha de Naâma de (2005 à 2020)	52
Figure 15	Evolution de l'indice de la teneur en eau NDWI (1985-2020)	53
Figure 16	Evolution de l'indice de la teneur en eau NDWI de la Sabkha de Naâma de (1985 à 2000)	55
Figure 17	Evolution d'indice de la teneur en eau NDWI de la Sabkha de Naâma de (2005 à 2020)	56
Figure 18	Evolution du SAVI (1985-2020)	57
Figure 19	Evolution de l'indice de végétation SAVI de La Sabkha de Naâma de (1985 à 2000)	59
Figure 20	Evolution de l'indice de végétation SAVI de La Sabkha de Naâma de (2005 à 2020)	60
Figure 21	Evolution de l'indice de végétation amélioré EVI (1985-2020)	61
Figure 22	Evolution de l'indice de végétation EVI de La Sabkha de Naâma de (1985 à 2000)	63
Figure 23	Evolution de l'indice de végétation EVI de La Sabkha de Naâma de (2005 à 2020)	64
Figure 24	Evolution de l'indice de précipitation standardisé SPI (1985-2020)	66

<i>Liste des Tableaux</i>		
Tableaux	Titre	page
Tableau 1	Température moyennes mensuelles et annuelles de la période (1996-2012) de la région de Naâma.	25
Tableau 2	Précipitations moyennes mensuelles et annuelle de la période (1996-2012) dans la région de Naâma.	26
Tableau 3	Direction et fréquence des vents de la région de Naâma.	27
Tableau 4	Valeur de l'indice d'aridité De Martonne	29
Tableau 5	Classification bioclimatique de la station de référence.	29
Tableau 6	Précipitations moyennes mensuelles et températures moyennes mensuelles de la période (1996-2012) de la région de Naâma.	30
Tableau 7	Satellites optiques Landsat.	40
Tableau 8	Principales caractéristiques des satellites Sentinel_2	41
Tableau 9	Evolution de l'indice de végétation NDVI (1985 - 2020)	49
Tableau 10	Evolution de l'indice de la teneur en eau NDWI (1985-2020).	53
Tableau 11	Evolution de l'indice de végétation ajusté au sol et modifié SAVI (1985-2020)	57
Tableau 12	Evolution de l'indice de végétation amélioré EVI (1985-2020)	61
Tableau 13	Régime de précipitation	65
Tableau 14	SPI moyen chaque 5 années	65
Tableau 15	Evolution de l'indice ETP annuelle moyenne.	67

Liste des abréviations

MEA : Millennium Ecosystem Assessment.

ETP : Evapotranspiration potentielle

SPI : Indice de Précipitations Normalisé

ONM : l'Office National de la Météorologie

SIG : Système d'information géographique.

NDVI : Indice de végétation par différence normalisée.

EVI : Indice de végétation amélioré.

SAVI : Indice de végétation ajusté au sol et modifié

NDWI : Indice de teneur en eau par différence normalisée.

WGS 84: World geodesic system Révision de 1984.

USGS : United States Geological Survey

T : Température.

P : Précipitation.

mm : Millimètre.

M : Température maximale.

m : Température minimale.

GEE : Google Earth Engine.



*INTRODUCTION
GENERALE*

Introduction générale

Au cours de ces dernières décennies, l'Algérie a connu une importante érosion qui a touché et marqué différentes zones humides (**Samraoui .2011 ; Bélair et al. 1994**). La destruction des zones humides conduit, non seulement à la disparition des espèces qui en dépendent, mais aussi à la perte des bénéfices sociaux et économiques des populations riveraines dont leur quotidien dépend. Il est clair que la conservation des zones humides nécessite la coopération entre les différents acteurs tels que les institutions et les usagés (**Bonnet et al. 2005 ; Samraoui et al. 2008**).

La région d'étude (la Sabkha de Naâma) fait partie de la Wilaya de Naâma, cette dernière se situe dans la partie occidentale des hauts plateaux, aux confins Algéro-Marocains. Elle se décompose en deux grandes zones : une zone steppique au Nord et une zone présaharienne au Sud.

Depuis quelques années la Sabkha de Naâma est menacée d'extension urbaine et de pollution du fait du déversement d'eaux usées et de déchets solides sur ce site qui revêt un caractère écologique et touristique d'une grande importance.

L'objectif principal de cette étude est de suivre l'évolution de la Sabkha de Naâma sur le plan spatial et temporel (1985-2020). A travers ce travail nous ferons appel à toute une panoplie d'indices spectraux tels que : **EVI** (Enhanced Vegetation Index), **SAVI** (Soil Adjusted Vegetation Index), **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index), **NDWI** (Normalized Difference Water Index), **ETP** (Evapotranspiration potentielle) et **SPI** (Standardized Precipitation Index) à partir d'une série d'images satellitaires Landsat_5, Landsat_8 et Sentinel_2.

CHAPITRE I :
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Généralités sur les zones humides

Les zones humides sont définies comme des espaces de transition entre terre et eau, elles constituent en effet une catégorie particulière de systèmes écologiques ou écosystèmes qui se différencient par leurs caractéristiques et leurs propriétés des deux autres grandes catégories représentées par les écosystèmes terrestres et les écosystèmes aquatiques (**Barnaud et Fustec, 2007**). Cette situation d'interface entre la terre et l'eau se rencontre dans de nombreuses situations : bords de lacs, d'étangs, de ruisseaux, rivières, fleuves, deltas ou baies, etc. Le terme générique « zones humides » désigne donc un ensemble de milieux naturels extrêmement différents mais possédant tous le point commun d'avoir un fonctionnement intimement lié à l'eau.



Figure 1 : Répartition des zones humides mondiales

Source : (Chekchki, 2012)

I.1.1 Définition des zones humides

Plusieurs définitions des zones humides existent dont quelques-unes sont présentées ci-après :

- La convention de **Ramsar (1971)** définit dans son article 1 : 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 ou saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres (**Zaafour, 2012**).
- Les scientifiques canadiens ont quant à eux proposé une définition basée sur les caractéristiques abiotiques ou biotiques du milieu, publiée en 1979 dans le Canadian Wetland Registry : Une zone humide est définie comme un terrain ayant un sol soit avec la nappe phréatique proche ou à la surface, soit saturé pendant une période assez longue pour permettre le développement de processus caractéristiques de zones humides ou aquatiques se traduisant par la présence de sols hydromorphes, d'une végétation d'hydrophytes et d'activités biologiques variées adaptées à un environnement mouillé (**Rapinel, 2012**).

Les zones humides ou milieux humides sont des écosystèmes particuliers : ce sont des intermédiaires entre les écosystèmes terrestres et les écosystèmes aquatiques. Il existe une grande variété de milieux humides sur la planète. L'eau qui les alimente peut-être douce, saumâtre ou salée. Les conditions climatiques et géologiques, le PH et les conditions d'hydromorphologie sont très variables (**Barnaud et Fustec, 2007**). Leur sol peut être submergé en permanence ou seulement lorsqu'il subit des battements de nappes ou les cycles

de marée. Les zones humides sont plus ou moins reliées entre elles et avec les autres écosystèmes aquatiques.

I.1.2 Caractéristiques des zones humides

Les caractéristiques des zones humides et leurs propriétés sont d'abord déterminées par les conditions climatiques, leur localisation et leur contexte géomorphologique. Cependant, les conditions, hydrologiques qui déterminent le fonctionnement écologique des zones humides et permettent de les différencier des milieux terrestres bien drainés et des écosystèmes aquatiques d'eau profonde (**Fustec et al., 2000**).

I.1.3 Les zones humides en Algérie

L'Algérie présente une gamme des zones humides de l'intérieures de différents types des marais, des barrages, des oueds, des dayas, des chottes et Sabkhas. Sont variables, permanentes ou temporaires.

L'Algérie possède une très grande superficie, une grande diversité de climat et une côte de qui lui permettent de jouir de cette large gamme de biotopes favorisant une faune et une flore remarquables (**Samraoui et al., 1997**). En Algérie, on parle plus volontiers de complexe de zones humides. En effet, dans la partie Nord-est de l'Algérie, la plus arrosée, renferme le complexe de zones humides d'El Kala, ainsi que celui des Hautes Plaines (appelé souvent "Constantinois" ou complexe de zones humides d'Oum El Bouaghi) d'une grande valeur écologique (**Jacobs et al., 1979**). La frange Sud-ouest moins arrosées, se caractérise par des plans d'eau salée tel que ; la Sabkha de Naâma.

I.2 Généralités sur les lacs salés

Les lacs salés sont des zones humides géographiquement très répandus, ils se trouvent dans toutes les régions continentales d'Asie, d'Amérique du Sud, d'Australie, aux États-Unis et en Afrique du Nord.

Ces milieux se limitent généralement dans les zones arides ($25 \leq P \leq 200$) à semi-arides ($200 \leq P \leq 500$) (Williams, 1998). Ils occupent environ 30% de terre émergée de la planète (Gratzfeld, 2004).

Ces lacs salés ont une importance riche au même titre que les zones humides d'eau douce, ils sont très reconnus pour le rôle qu'ils jouent pour la migration et la reproduction des oiseaux d'eau (Jellison, 2005).

Beaucoup d'activités humaines menacent les lacs salés, notamment le détournement des flux de surface, la salinisation, l'exploitation minière, la pollution et l'ensablement.

La sécheresse et le pompage excessif pour l'agriculture sont en train de provoquer l'assèchement accéléré des lacs salés. Cet état de fait, peut être la cause principale de la disparition de plusieurs lacs salés dans le futur (Williams, 2001 ; Timms, 2005 ; Jellison et al., 2008).

I.2.1 Définition des lacs salés

Un lac salé est une grande étendue d'eau salée entourée par des terres. Dans le monde, la plupart des lacs sont constitués d'eau douce, les lacs salés faisant exception.

Les lacs salés sont des zones humides géographiquement très répandues, qu'ils se trouvent dans toutes les régions continentales d'Asie, d'Amérique du Sud, d'Australie, aux États-Unis et en Afrique du Nord. Ils occupent environ 30% de terre émergée de la planète, Ces milieux se limitent généralement dans les zones arides à semi-arides (**Williams, 1998**).

I.2.2 Caractéristiques des lacs salés

La formation des lacs salés est généralement contrôlée en grande partie par les changements temporels des précipitations à l'intérieur du bassin (**Bryant, 1999**). En effet les eaux qui forment ces lacs peuvent provenir de deux sources principales : les précipitations directes (incluant les rivières et les apports de surface) et l'eau souterraine (**Bryant et Rainey, 2002**). Ces lacs salés ont une taille et une profondeur variable, de petits à très vastes et de peu profond à profond.

I.2.3 Les lacs salés en Algérie

La position géographique et stratégique de l'Algérie, on y compte plus de 254 zones humides (**Medouni, 1996**) sa configuration physique et la diversité de son climat lui confèrent d'importantes zones humides.

- La partie Nord-est : renferme de nombreux lacs d'eau douce, des marais et des plaines d'inondation.
- La frange Nord-Ouest et les hautes plaines steppiques se caractérisent par des plans d'eau : non salée : Dayas, et salé : chotts et Sabkhas.
- La Sahara : renferme les Oasis, Gueltas.

I.3 Généralités sur les Sabkhas et Chotts

Ces vastes dépressions endoréiques d'Afrique du Nord sont synonymes des Chotts ou Sabkhas, cependant en Afrique du Sud, aux Etats-Unis et en Australie c'est l'équivalent de Salt pans alors qu'en Amérique du Sud Salinas ou salures, au Mexique sont Playa, en Asie leur appellation diffère d'une région à une autre, à titre d'exemple en Iran sont appelés Kévin et en Mongolie Nor (**Joly, 2006**).

Selon (**Coque et al. 1972**) : Sabkha est assimilée à un lac salé (la mer morte est même citée en exemple) avant d'être correctement définie comme une cuvette (plus exactement un fond plat de cuvette) à inondation temporaire, sans végétation. Quant au terme de Chott, il représente seulement l'auréole plus ou moins large de steppe halophile qui entoure la Sabkha, exploitée comme pâturage à chameaux. Cependant (**Stone, 1967**) définit les Sebkhass comme lac salé.

I.3.1 Définition des Sabkhas

Sabkha est une dépression temporairement occupée par un lac, en général salé et où se déposent des évaporites. Les eaux proviennent du ruissellement, mais aussi des nappes phréatiques, qui constituent un espace fragile caractérisé par des contraintes climatiques et édaphiques, cette structure du sol aux alentours du chott a permis l'installation de plantes halophiles qui sont capables d'accomplir leur cycle de vie dans des conditions extrêmement contraignantes. Les différentes espèces végétales se distribuent de manière ordonnée par rapport au sel. Ils sont très reconnus pour le rôle qu'ils jouent pour la migration et la reproduction des oiseaux d'eaux (**Larafa, 2004**).

I.3.2 Formation des Sabkhas

La constitution des dépressions salées est liée à l'histoire géologique des hautes plaines algériennes. Elle est marquée par un substratum sédimentaire hérité des transgressions marines du secondaire et du tertiaire, aurait connu vers la fin de l'oligocène une phase d'orogénèse extrêmement active, coïncidant avec les plissements alpins qui a entraîné la surrection de l'Atlas Saharien (**Dresch, 1954**). Cependant à la fin du tertiaire, une phase d'érosion aboutit au façonnement des formes jurassiennes et au comblement des dépressions par des dépôts continentaux, aussi bien dans l'Atlas que le long piémont saharien et également vers le nord dans les hautes plaines. Au Villafranchien (limite tertiaire/ Quaternaire) résulte un ensemble homogène avec une allure de vaste plaine, qui va constituer le cadre des processus morphologiques du quaternaire. Ce dernier voit le remaniement des unités géologiques en place, à travers l'action combinée des mouvements tectoniques (soulèvement, subsidence, plissement) et du climat (érosion, dépôt).

I.3.3 Sabkha en Algérie

L'Algérie regroupe un nombre important de Chotts (**Samraoui, 2002 ; Samraoui et al., 2006**). En 2009, les sites inscrits dans le cadre de la convention de Ramsar en Algérie étaient au nombre de 42 et couvrent une superficie totale de 2, 959 millions d'hectare. 45,23% de ces sites protégés sont des lacs salés couvrant environ une superficie de 2,07886 millions d'hectares (**Koopmanschap et al., 2011**).

Leurs répartitions géographiques sont très étendues ils se situent entre les deux Atlas, l'Atlas Tellien au nord, l'Atlas Saharien au sud et Erg Occidental et Erg Oriental (**Figure 2**).

D'est en ouest, on, peut citer les Chotts qui constituent le complexe d'Oum El Bouaghi dans l'est des hauts Plateaux, le chott Hodna, le Zahrez Chergui et Gherbi au centre et chott Chergui, Sabkha de Naâma à l'ouest ; la Sabkha d'Oran et les salines d'Arzew dans les plaines littorales. Au Sahara septentrional., on compte également un nombre conséquent de Chotts, incluant le Grand Erg Oriental., au nord-est du Sahara le chott Melghir et le chott Merouane. Vers le sud, dans la région d'Ouargla, sont les chotts d'Ain Beida, Oum Raneb, Sidi Amrane et Safioune. D'autres sont situées dans la zone du Grand Erg Occidental., comme la Sabkha El Melah dans la région de Ghardaïa.

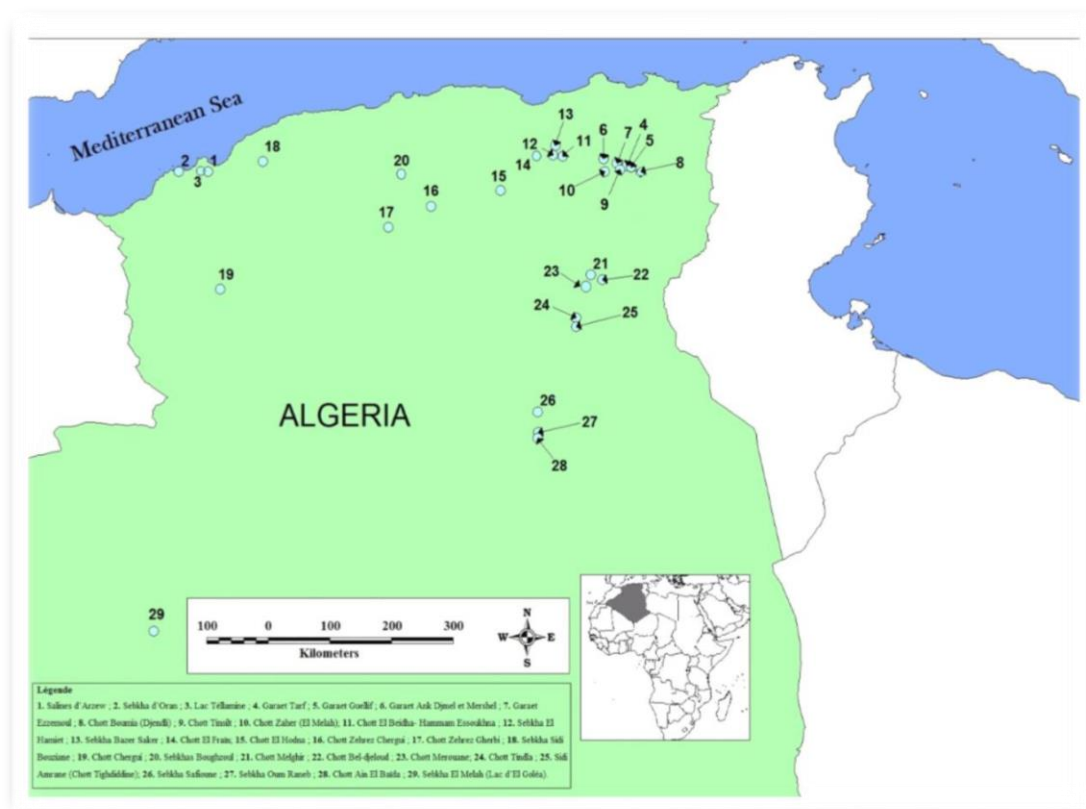


Figure 2 : Situation géographique des Chotts et Sabkhas en Algérie (Demnati F, 2014)

I.3.4 Biodiversité des Sabkhas

La biodiversité est un indicateur du nombre et de la qualité des espèces animales et végétales d'un site, elle est le témoin de la richesse d'un milieu. Ce concept de biodiversité, défini comme la diversité totale de la vie dans la biosphère. En regroupant la diversité biologique et les facteurs qui la maintiennent.

Deux grandes conférences mondiales lui ont été consacrées à savoir le cas des lacs salés qui abritent une biodiversité non négligeable à prendre en compte lorsque sont envisagées des mesures de conservation (**Williams, 2002**).

I.3.5 Salinité

La salinité est l'un des plus grands problèmes, dans les environnements arides et semi-arides du monde (**Navarro et al., 2007**). Elle est considérée comme l'une des principales contraintes environnementales auxquelles l'agriculture moderne est confrontée. Elle est reconnue comme l'une des menaces principales à la durabilité des périmètres irrigués de notre siècle (**Dounia, 1999**).

En Algérie, les facteurs qui contribuent à l'extension du phénomène de salinisation des terres sont liés à l'aridité du climat qui porte sur plus de 95% du territoire, la qualité médiocre des eaux d'irrigation, le système de drainage souvent inexistant ou non fonctionnel, et la conduite empirique des irrigations (**Daoud et Halitim, 1994**). Selon (**Saidi, 2004**), la production agricole, en Algérie est limitée par de faibles ressources hydrauliques, une mauvaise répartition des précipitations et par des teneurs élevées en sels solubles dans les sols et les eaux.

On définit en général deux types de salinisation, la salinisation primaire et la salinisation secondaire.

I.3.5.1 La salinisation primaire

Elle résulte de la présence initiale de sels dans le sol ou dans la nappe phréatique et peut affecter des milieux naturels sans qu'il y ait intervention directe de l'homme. L'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques ou magnésiques conduit à des sels souvent solubles, en particulier les chlorures, les sulfates, les carbonates, les bicarbonates et parfois les silicates de ces métaux (**Zahow et Amrhein, 1992**). Selon (**Aubert, 1976**) et de façon générale « les sols sodiques en Afrique du Nord proviennent principalement d'une action de la mer (pas actuelle) ou de la présence de dépôts lagunaires salés et gypseux répartis dans l'échelle stratigraphique depuis le Trias jusqu'au Quaternaire. En Algérie, les couches géologiques salifères, comme le gypse triasique; grès du Crétacé moyen; marnes sénoniennes dans le Sud-Constantinois; poudingues, grès et limons rougeâtres de l'Oligocène continental (Aquitaniens) ; poudingues et grès cartésiens; argiles, grès et poudingues helvétiques; gypse, marnes et calcaires du Sahélien; grès du Pliocène continental (bassins fermés des Hautes Plaines); formations quaternaires des plaines littorales, des basses plaines oranaises et des dépressions fermées (**Benchetrit, 1956**).

I.3.5.2 La salinisation secondaire

C'est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles causé par l'approvisionnement en eau pour l'irrigation et qui aboutit à la formation d'un sol salin. L'irrigation altère le bilan hydrique du sol en générant un apport d'eau supplémentaire ; cet apport est toujours associé à un apport de sels (**FAO, 2006**). Un excès d'eau entraîne la

remontée d'une nappe phréatique salée, tandis qu'un manque d'eau provoque une lixiviation insuffisante des sels (**Boivin et al., 2002**). Les sols affectés par salinisation secondaire est de 20% à 50% des terres irriguées en Algérie (**Douaoui et Hartani, 2007**).

I.3.5.3 Effets de la salinité sur les plantes

Les grandes concentrations en sels dissous dans la solution du sol ont des effets indirects sur les végétaux par leur action sur la structure du sol et la circulation des fluides et de l'oxygène. Elles ont des effets directs sur la croissance et le développement des plantes.

Les effets néfastes des sels sur les végétaux ont plusieurs causes :

- ✓ La pression osmotique élevée de la solution du sol qui limite la biodisponibilité de l'eau.
- ✓ La pression osmotique intercellulaire élevée due à l'absorption des sels et qui aurait des effets inhibiteurs sur la croissance.
- ✓ La toxicité propre de certains éléments chimiques liés à leur quantité excessive, comme le Sodium et l'anion chlorure (**Calvet, 2003**).
- ✓ Les halophytes dotées d'une pression osmotique élevée peut absorber de l'eau dans un sol salé jusqu'à une certaine limite au-delà de laquelle l'excès des sels bloque les cellules de la plante.

*CHAPITRE II :
PRESENTATION DE LA
ZONE D'ETUDE*

II.1 Délimitation

La zone d'étude fait partie de la région steppique ouest de l'Algérie qui se trouve au nord de la commune de Naâma, il s'agit de la Sabkha de Naâma.

II.1.1 Situation Géographique

La Wilaya de Naâma est une Wilaya steppique frontalière avec le royaume du Maroc, fait partie des hautes plaines du sud oranais qui s'étend de 32° 08' à 34° 22' latitude nord et de 0° 36' est à 0°46' ouest de longitude.

La Wilaya de Naâma est limitée (**Figure 3**) :

- Au nord : les Wilayas de Tlemcen et Sidi Bel Abbés.
- A l'est : la Wilaya d'El- Bayadh
- Au sud : la Wilaya de Béchar
- A l'ouest : le royaume marocain

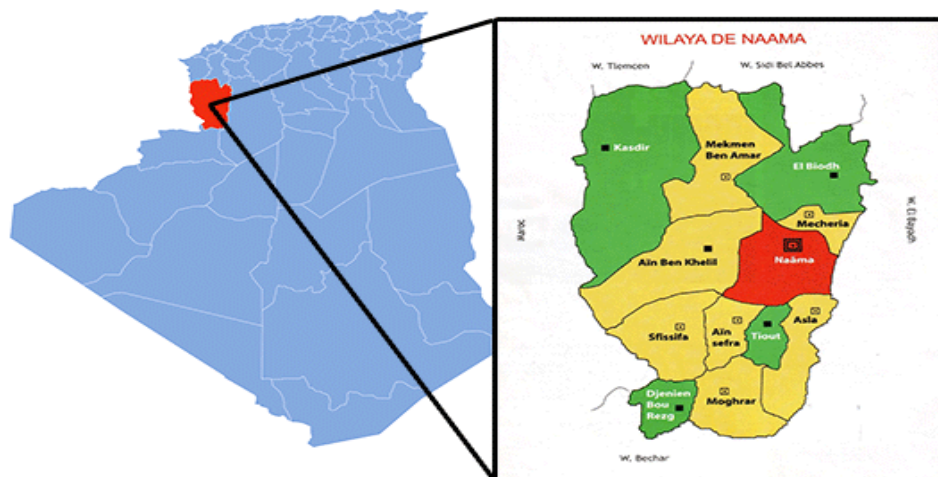


Figure 3 : Situation géographique de la Wilaya de Naâma

La Wilaya de Naâma se caractérise par trois zones géographiques homogènes

- Une zone steppique constituée par une vaste plaine occupant 74 % du territoire de la Wilaya soit 21840 km² dont l'altitude augmente sensiblement vers le Sud (1000 à 1300 m). Elle est caractérisée par la prédominance de l'activité pastorale. D'Ouest en Est, elle couvre l'espace compris entre les reliefs proches de la frontière Algéro-marocaine et la limite occidentale de la Wilaya d'EL Bayadh.

- Une zone montagneuse localisée dans la région sud-ouest atteignant les 2000 mètres d'altitude (Point culminant 2236 à Djebel Aissa) et occupant 12 % du territoire de la Wilaya soit 3542 km². Il s'agit d'une partie des monts des Ksour et des piémonts de l'Atlas Saharien. Elle est caractérisée par une agriculture de type oasisien.

- Une zone présaharienne localisée au Sud qui s'étend sur une superficie de l'ordre de 4132 km² soit 14% de la superficie totale de la Wilaya.

II.1.2 Géomorphologie

Les principaux cycles climatiques du Quaternaire ont donné à la région steppique une physionomie particulière en relation avec la nature du substrat géologique et la tectonique d'ensemble.

Selon (**Bensaid, 2006**), spatialement la Wilaya de Naâma est constituée par un ensemble d'unités différentes du point de vue de leur forme structurelle, leur genèse, leur lithologie et leur morphogenèse. Cependant, ces entités sont issues de l'interaction de processus physico-chimiques et de processus hydriques exercée sur les matériaux géologiques et lithologiques.

Les principales unités géomorphologiques de la Wilaya peuvent être énumérées comme suit :

- ✓ Les reliefs
- ✓ La plaine et surfaces plus ou moins planes
- ✓ Les dépressions
- ✓ Les accumulations éoliennes

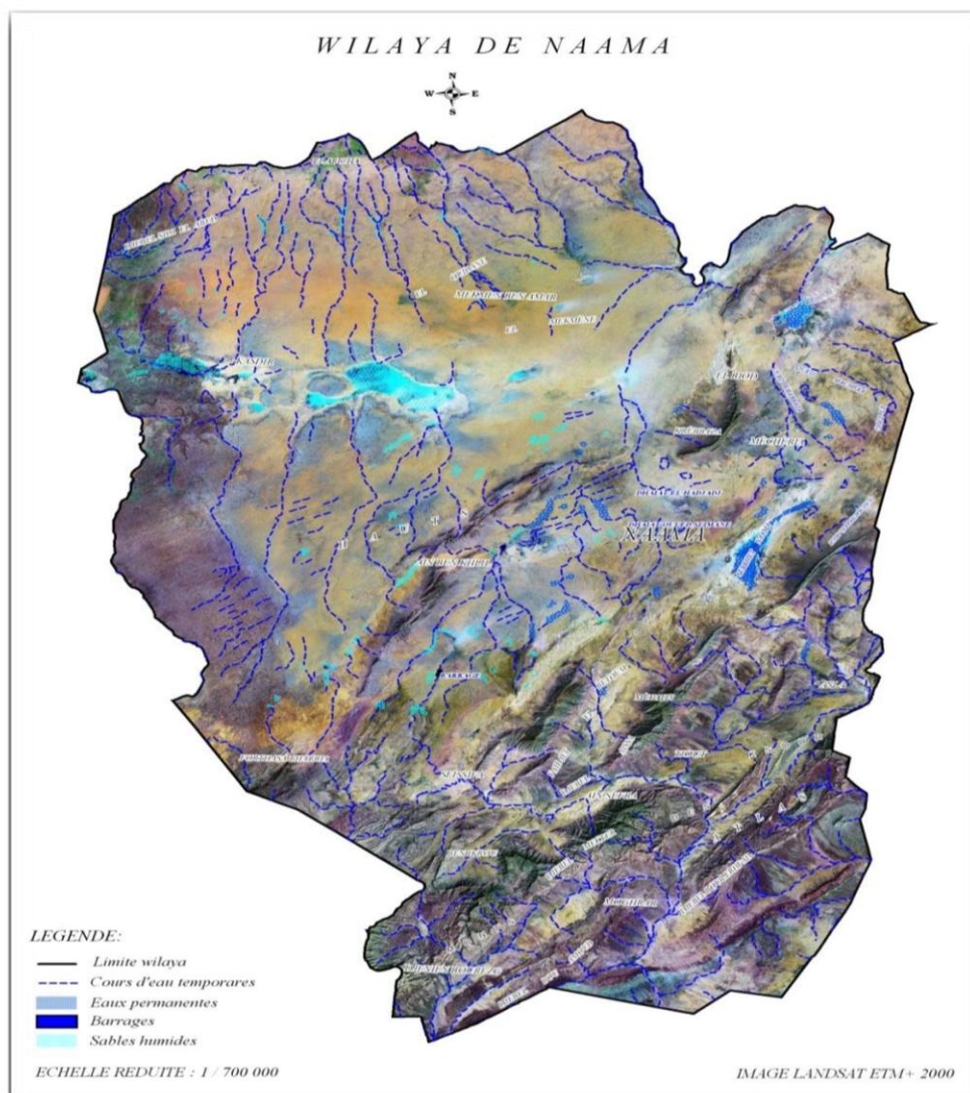


Figure 4 : Carte des caractéristiques physiques (Ceneap, 2009)

II.1.3 Géologie et lithologie

II.1.3.1 Géologie

Selon l'étude portant plane d'aménagement de Wilaya (**Figure 5**), sur les plans stratigraphique et structural, la Wilaya de Naâma est divisée en deux ensembles distincts.

La zone des hautes plaines : qui présente une structure stable à activité tectonique limitée et une stratigraphie caractérisée par des dépôts essentiellement continentaux (miocène, pliocène et quaternaire).

La zone montagneuse et présaharienne : qui fait partie de l'Atlas saharien, limitée au nord et au sud par les flexures nord et sud atlasiques, des failles qui sont à l'origine de la remontée des sels (Trias).

- Sur le plan structural, elle correspond à un ensemble de synclinaux et d'anticlinaux orientés sud-ouest nord-est, où les formes anticlinales constituent l'essentiel des monts des Ksour culminant à plus de 2.000 m.

- Sur le plan stratigraphique, deux grandes formations du secondaire affleurent dans cette Wilaya :

Le jurassique au niveau des anticlinaux et le crétacé au niveau des synclinaux. Les autres formations se présentent comme suit :

- Le miocène continental ne se rencontre que dans la partie nord-ouest du Djebel Talrhemt ;

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

- Le mio-pliocène n'est présent que dans la partie sud de la région et quelques plaques le long de l'oued El Rhouiba ;
- Le quaternaire couvre toutes les parties basses ;
- La dépression située entre Ain Sefra et Mécheria limitée au nord-ouest par un alignement de petits djebels (Djebel Gaaloul, Djebel El Arar, Djebel Kerrouch, Djebel Bou Rhenissa, Djebel Guetob El Hamara) dont les formations sont jurassiques, est occupée par des dépôts continentaux du pliocène et quaternaire.

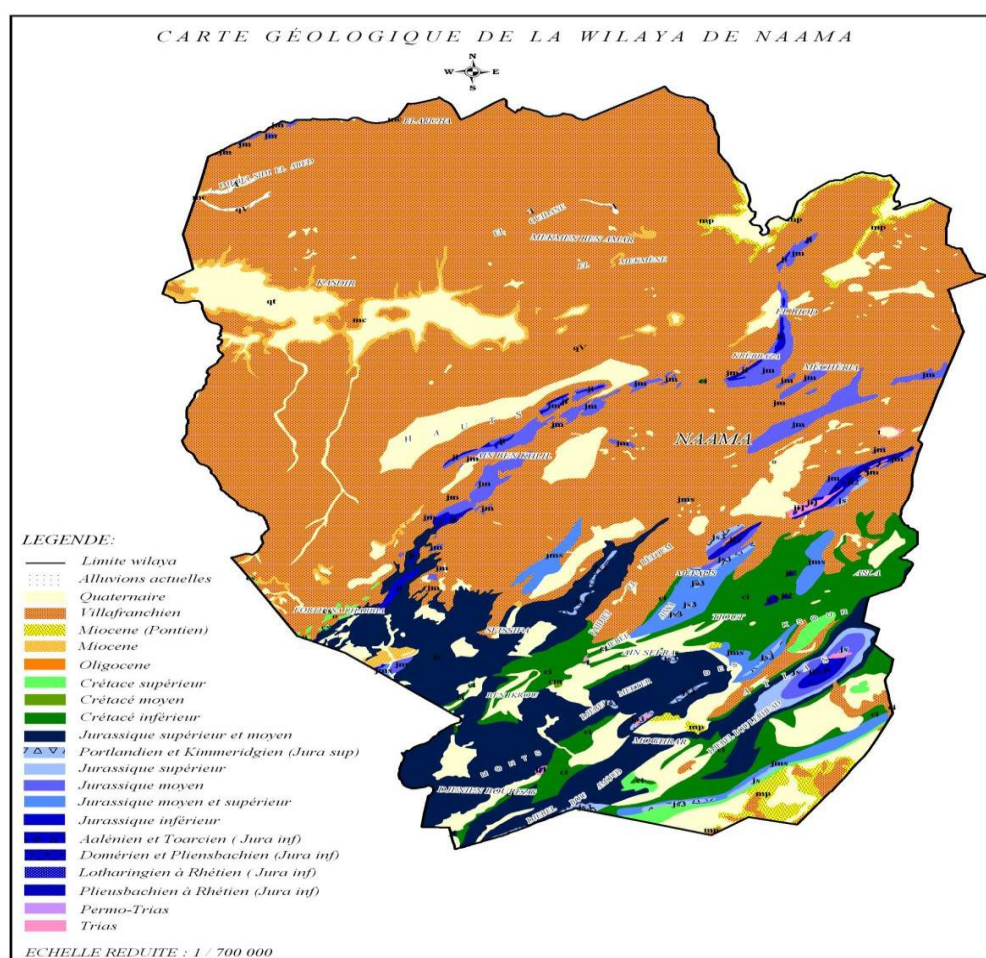


Figure 5 : Carte géologique de la Wilaya de Naâma (Ceneap, 2009)

II.1.3.2 Lithologie

La lithologie donne une indication sur la résistance des sols à l'érosion. Croisée avec d'autres facteurs des milieux physique et naturel (pente, intensité des pluies et occupation du sol), elle permet d'apporter une appréciation sur la sensibilité des sols à l'érosion et par conséquent elle constitue un critère déterminant quant à la définition de (ou des) l'option à prendre au titre d'une affectation et utilisation rationnelle et durable du sol.

Selon le **PAW**, la carte lithologique de la Wilaya de Naâma, présentée ci-après (**Figure 6**), montre que la répartition spatiale des différentes formations rencontrées est en rapport avec les caractéristiques morphologiques du territoire de la Wilaya :

La zone des hautes plaines (territoire nord de la Wilaya), se distingue par ses encroûtements calcaires, parsemés par des formations alluvionnaires. Les alluvions sont principalement rencontrées au niveau des dépressions (chotts et daïas).

La zone des monts des Ksour, est couverte de calcaires et dolomies dures (roches résistantes à l'érosion) associés à des encroûtements calcaires et alluvions dans sa partie ouest et à des marnes et alluvions dans sa partie est.

La zone présaharienne, quant à elle est couverte d'alluvions et marnes.

Tous les faciès présentés ci-dessus, à l'exception des calcaires et dolomies durs qui recouvrent une grande partie de la chaîne atlasique, sont des formations très sensibles à l'érosion, qu'elle soit hydrique ou éolienne. Par ailleurs, au regard de l'intensité des vents que connaît la Wilaya, le processus d'érosion s'accroît avec la dégradation du couvert végétal.

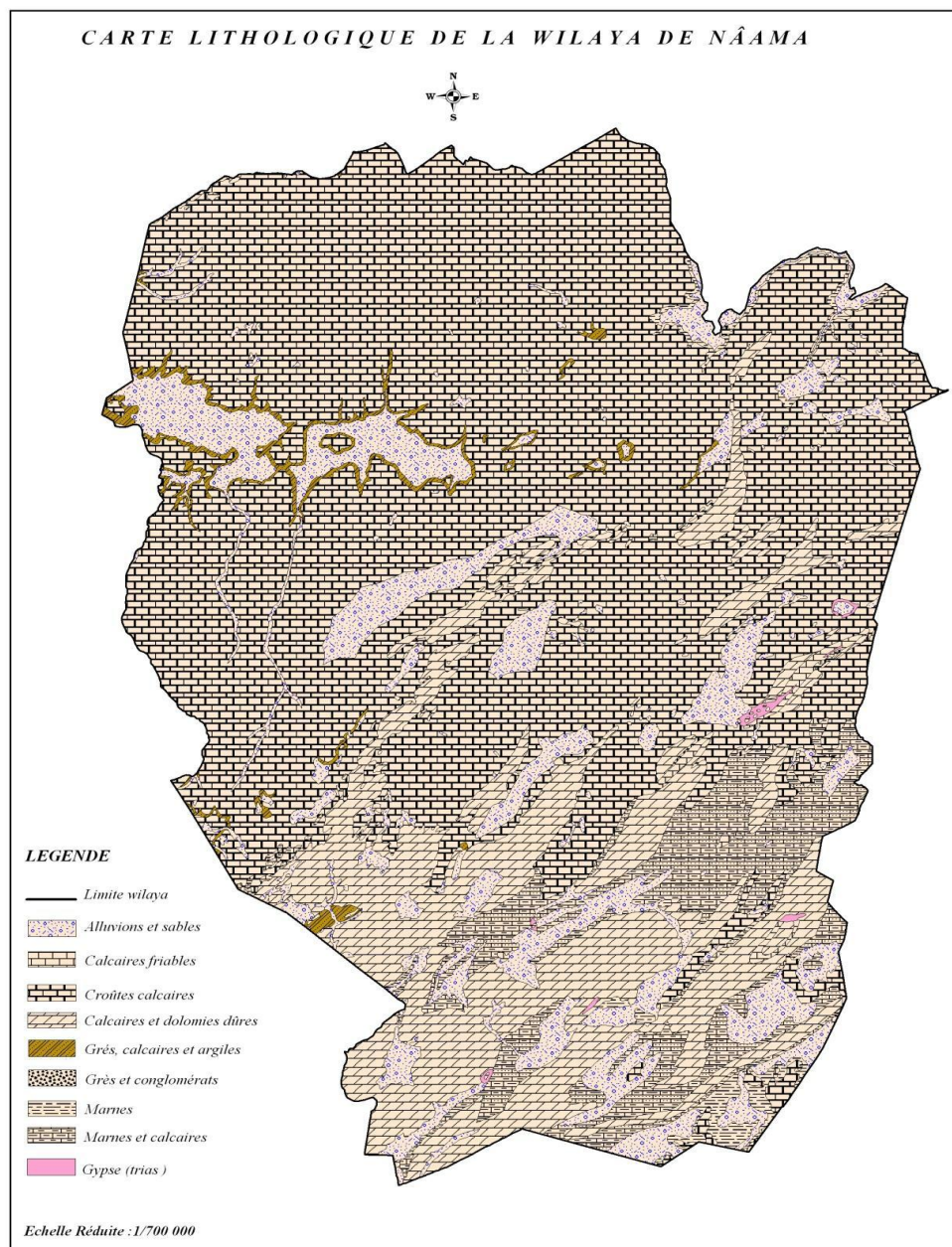


Figure 6 : Carte de lithologie de la Wilaya de Naâma (Ceneap, 2009)

II.1.3.3 Pédologie

La nature des sols et leur répartition selon (Bensaid, 2006) sont en étroite relation avec les unités géomorphologiques. Une plus grande superficie est occupée par les sols calcimagnésiques.

II.2 Situation géographique de la région d'étude

La Sabkha de Naâma fait partie du synclinal de Naâma. Ce dernier est situé dans la partie septentrionale des monts des Ksour, identifiés à la zone pré-atlasique. Il est limité au Nord par la ville de Mécheria, au Sud-ouest par l'anticlinal du Djebel Morhad, au Sud par le Djebel Mekther et la ville d'Ain Sefra et à l'Est par le Djebel Melah et le Djebel Souiga (Figure 7).



Figure 7: Situation géographique de la Sabkha de Naâma

II.2.1 Altitude

L'altitude est aussi une grandeur qui exprime un écart entre un point donné et un niveau de référence ; par convention, sur terre ce niveau est le plus souvent le niveau de la mer (ou « niveau zéro »). Notre région d'étude est caractérisée par des altitudes qui varient entre 1071m et 1211m (**Figure 8**). Le faible écart entre les différentes altitudes du terrain montre que notre région d'étude est caractérisée par une faible pente.

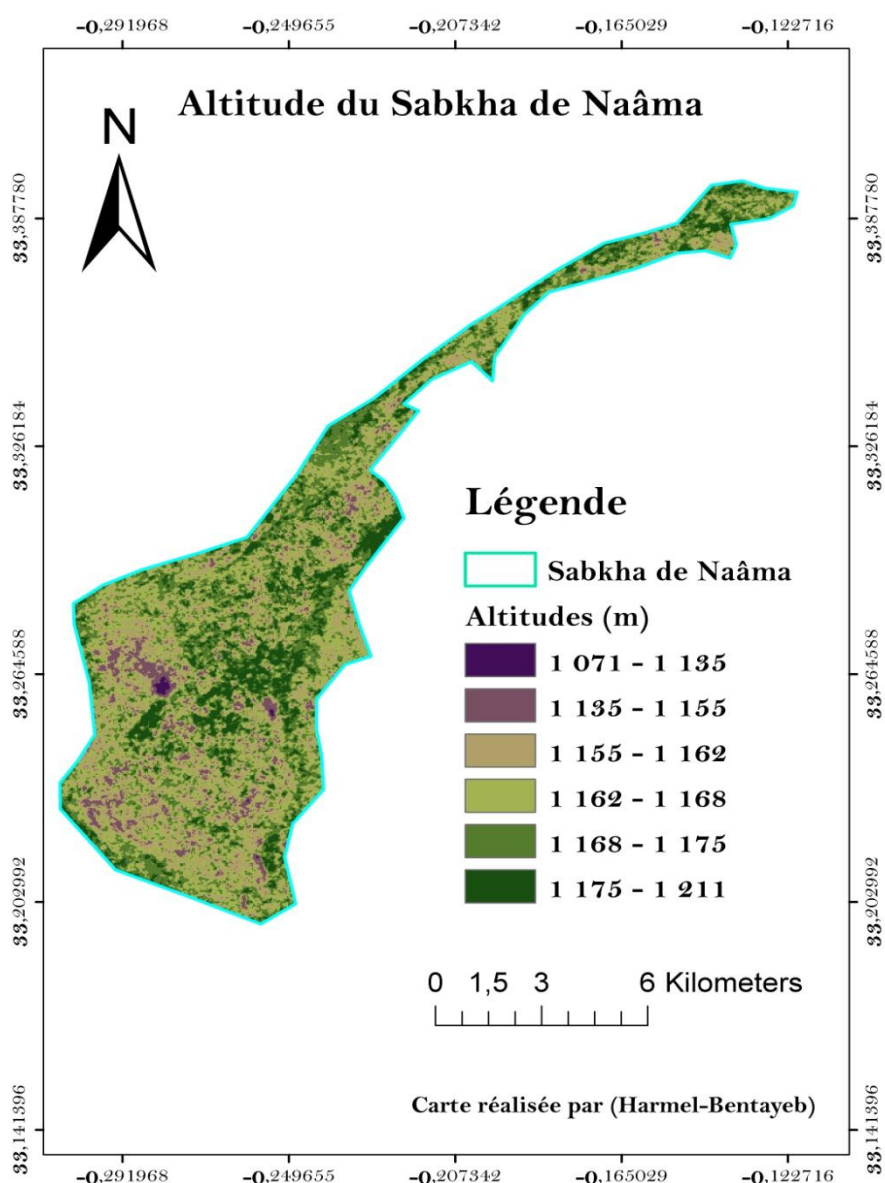


Figure 8 : Carte des altitudes de la Sabkha de Naâma

II.3 Réseau hydrographique

Notre région d'étude est caractérisée par un réseau hydrographique dendritique, il est ramifié comme des branches d'arbre de chêne.

Les ramifications sont bien développées (**Figure 9**) avec un espacement régulier de confluence. Les eaux superficielles sont temporaires, elles circulent à la direction sud-est de la Sabkha de Naâma.

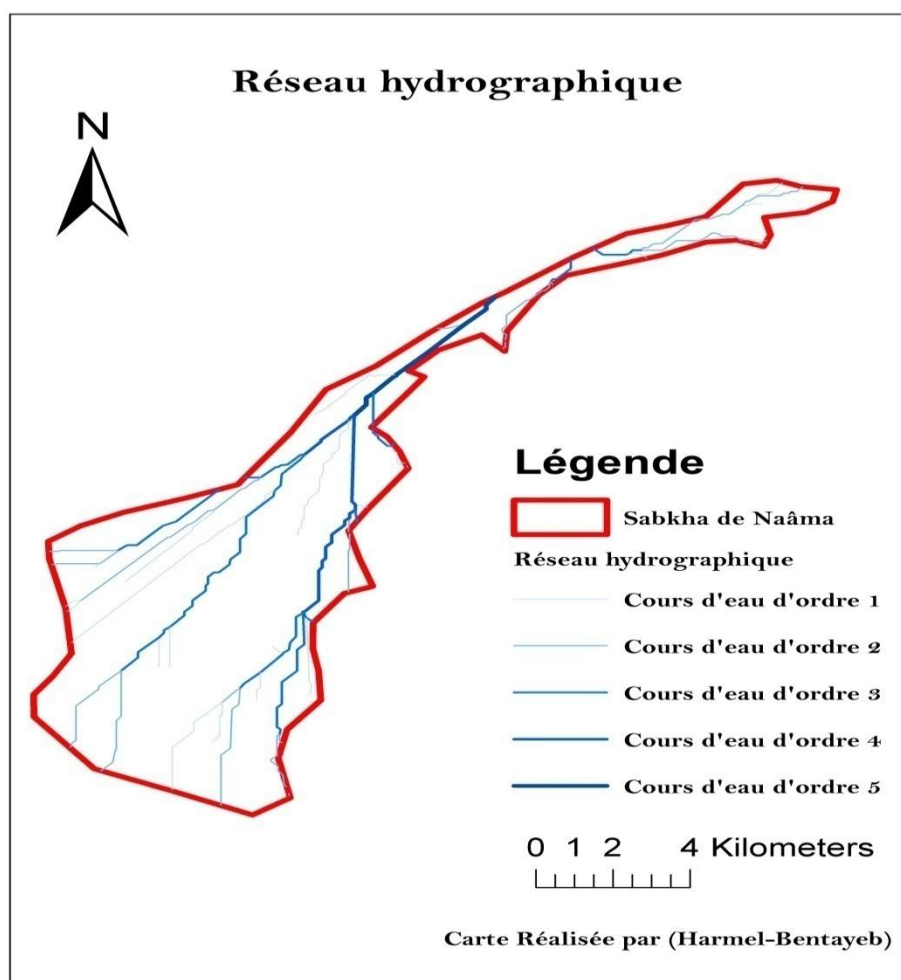


Figure 9 : Carte du réseau hydrographique de la Sabkha de Naâma

II.4 Climat et bioclimat

II.4.1 Etude Climatique

Plusieurs études climatiques sur cette région montrent que le climat de cette zone d'étude est de type steppique qui caractérise par une saison estivale sèche et froids avec une aridité croissante du nord au sud (Selzer, 1946 ; Dellonlin, 1981 ; Halimi, 1996 ; Bouzid, 2001).

II.4.2 Température

Dreux (1980), considère que la température est de tous les facteurs climatiques le plus important, c'est celui qu'il faut examiner en tout première lieu pour son action écologique sur les êtres vivants. Selon (Ozenda, 1982), ce facteur a une influence capitale sur le comportement des organismes vivants.

Tableau 1 : Température moyennes mensuelles et annuelles de la période (1996-2012) de la région de Naâma.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
M	26.4	15.3	19.6	22.1	27.4	33.8	38.13	36.8	30.4	25.9	17.8	13.2	24.47
m	2	2.7	6.53	9.3	13.2	18.2	21.7	20.6	19.9	12.55	6.7	3.14	11.13
M+m /2	7.6	9	13.07	15.7	20.3	26	29.92	28.7	23.65	19.23	12.25	8.17	17.80
M-m	11.2	12.6	13.07	12.8	14.2	15.6	16.43	16.22	13.5	13.35	11.12	10.06	13.34

Source :(ONM : 1996-2012)

Pour les températures moyennes les plus élevées, elles se situent au mois de juillet et Août dans la Wilaya de Naâma. Ces valeurs sont témoins d'un été chaud, Cela nous amène à définir la saison estivale, qui correspond aux mois les plus chauds et les plus secs : Juin, Juillet et Août. L'effet de ces températures est souvent renforcé par le sirocco qui ajoute son action desséchante à celle de la chaleur.

II.4.3 La pluviométrie

Djebaili (1978) a défini la pluviosité comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type de climat. En effet, celle-ci conditionne le maintien et la répartition du tapis végétal d'une part et la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosion d'autre part.

Selon **Barrault (1997)**, la disponibilité en eau du milieu et l'hygrométrie atmosphérique jouent un rôle essentiel dans l'écologie des organismes terrestres.

Tableau 2 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelle de la période (1996-2012) dans la région de Naâma.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle
P (mm)	17,6	20,45	25	21,34	14	9	5,85	9	26,25	28	33	29	238,49

Source :(ONM : 1996-2012)

- La moyenne annuelle des précipitations dans la région de Naâma est de 238.49 mm.
- Le régime pluviométrique est de type APHE (Automne, Printemps, Hiver, Eté) avec une longue période de sécheresse qui s'étale d'avril à octobre.
- L'année agricole peut être divisée en 2 périodes :
- Une période humide allant du mois de Novembre à Avril.
- Une période sèche allant de mai à Octobre.

II.4.4 Les vents

La direction, la vitesse et la fréquence des vents est variable au cours de l'année. La fréquence des vents est importante sur l'année avec une moyenne de 18 jours par mois. Le vent agit souvent sur les insectes en ralentissant les déplacements des espèces ptérygotes.

Tableau 3 : Direction et fréquence des vents de la région de Naâma.

Direction	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Fréquence	18	12	6	4	13	14	17	16

Source :(ONM : 1996-2012)

II.4.5 Synthèse climatique

II.4.5.1 Indice d'aridité mensuel (i)

Pour évaluer l'intensité de la sécheresse, l'indice de Martonne, calculé pour la station étudiée, nous offre plus de facilité et d'efficacité dans les calculs

$$I : P/(T+10)$$

P : précipitation mensuelle (mm)

T : température mensuelle (C°)

II.4.5.2 Quotient thermique d'emberger

Le quotient pluviométrique d'emberger permet de définir les étages et les sous étages bioclimatiques. Il est établi en fonction du m (°C) et du Q_2 . Cela est caractérisé par le quotient pluviométrique. Ce quotient pluviothermique « Q_2 » fait intervenir les précipitations, les températures maximales et minimales. Sa formule est la suivante :

$$Q = 200P/M_2 - m_2$$

P : pluviométrie moyenne annuelle (mm)

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chauds (K°)

m : moyenne de température minimale du mois le plus froids (K°)

Tableau 4 : Valeur de l'indice d'aridité De Martonne.

Station	Indice d'aridité	Bioclimat
Naâma	8,57	Aride

Source :(ONM : 1996-2012)

Tableau 5 : Classification bioclimatique de la station de référence.

Station	Quotient thermique d'Emberger	M	Etage bioclimatique
Naâma	22.52	2.0	Aride à hiver frais

Source : (ONM : 1996-2012)

II.4.5.3 Diagramme Ombrothermique

Il s'agit d'une représentation graphique de la fonction

$$P=2T$$

Bagnouls et Gausson aussi considéraient un mois sec quand la précipitation moyenne annuelle est deux fois inférieure à la température moyenne mensuelle. Les mois étant en abscisse et les deux axes d'ordonnées, l'un porte les valeurs de la température et l'autre celle de la pluviométrie.

Tableau 6 : Précipitations moyennes mensuelles et températures moyennes mensuelles de la période (1996-2012) de la région de Naâma.

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P (mm)	17,6	20,45	25	21,34	14	9	5,85	9	26,25	28	33	29
T C°	26,4	15,3	19,6	22,1	27,4	33,8	38,13	36,8	30,4	25,9	17,8	13,2

Source :(ONM : 1996-2012)

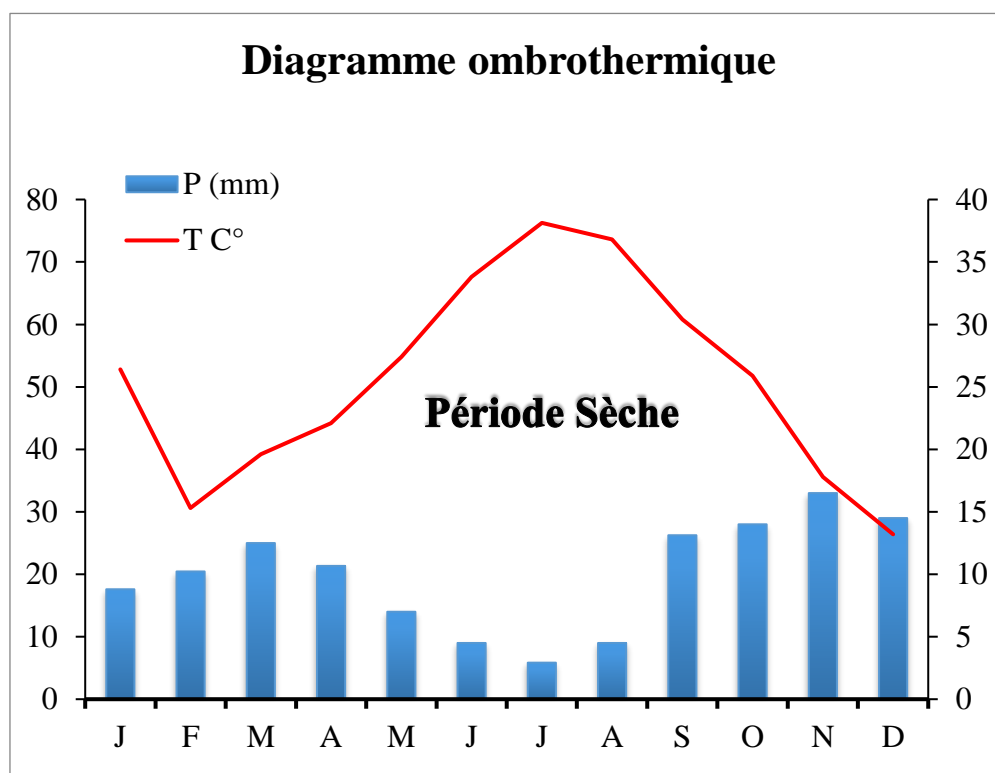


Figure 10 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

II.5 Biodiversité végétale de la Sabkha de Naâma

II.6 Flore

Les principales espèces constituant le couvert végétal de la région d'étude sont les suivantes :

II.6.1 *Aristida Pungens*

Plante cespiteuse vivace robuste (50 cm à 1 m), à long rhizome, reconnaissable aux inflorescences composées d'épillets, en panicules lâches et aérés. Commune dans l'ensemble du Sahara, le Drin est parfaitement adapté aux habitats sableux, représentés par les amas sableux profonds (dunes, ergs). La steppe à Drin constitue un pâturage essentiel pour les dromadaires (Guerine et al., 2020).

II.6.2 *Salsola Vermiculata*

Est un petit arbuste de la famille des Amaranthaceae grisâtre, très ramifié, dont la hauteur varie de 25 à 100 cm. Les branches elles-mêmes se ramifient à plusieurs reprises et sont raides et ligneuses à la base. Les feuilles sont minuscules et squameuses, serrant la tige et couvertes de minuscules poils. L'inflorescence est un épi feuille avec des fleurs solitaires dans les aisselles des feuilles. Les fleurs ont des sépales ailés persistants, rosés et sans pétales et ont un diamètre d'environ 10 mm (Guerine et al., 2020).

II.6.3 *Salicorne Glauque*

Plante vivace de la Famille des Amaranthaceae, de 30 cm à 1 mètre vert jaunâtre, dont les tiges sont formées d'articles charnus aussi longs que larges. Présentant des ébauches

de feuilles réduites à des écailles opposées en croix formant des buissons irréguliers, très fréquent dans les prairies maritimes de Méditerranée, supporter une salinité élevée (plus de 100 grammes par litre) (**Guerine et al., 2020**).

II.6.4 *Lygeum Spartum*

Est une espèce de plantes monocotylédones de la famille des Poaceae, qui tolère des conditions extrêmes de sécheresse, de salinité et de températures. Développe un touradon de 20 à 80 cm de hauteur, qui croît souvent par grosses touffes. Ses feuilles falciformes, à la pointe résistante, s'enroulent sur elles-mêmes et présentent une largeur de 1,5 mm. La ligule a une longueur de 7 mm. La floraison procède de la croissance d'un bractéole blanc, ovoïde, long de 3 à 4 cm (parfois jusqu'à 9 cm). Les balles, longues de 2 cm sont arrondies. À l'amoitié inférieure, elles se rattachent par un stipe. Les glumes sont longues de 3 à 4 cm. Les épillets tombent à maturité (**Guerine et al., 2020**).

II.6.5 *Lavandula Stoechas*

Sont un genre de plantes de la famille des lamiacées. Ce sont des arbrisseaux dicotylédones, à fleurs le plus souvent mauves ou violettes disposées en épis, dont la plupart des espèces, très odorantes, sont largement utilisées dans toutes les branches de la parfumerie. Elles poussent surtout sur les sols calcaires secs et ensoleillés, à l'exception de *Lavandula Stoechas*, qui préfère les sols siliceux (**Guerine et al., 2020**).

II.6.6 *Tamaris Commun*

Est un arbuste ou arbrisseau de la famille des Tamaricaceae, bien adapté au climat méditerranéen, où il pousse spontanément. Il résiste bien aux embruns et au sable. C'est une

plante idéale en bord de mer ou en situation venteuse. Il mesure de 1 à 8 m de haut. D'aspect plumeux, son écorce est brune à pourpre foncé.

Les feuilles caduques sont squami formes, pointues, se chevauchant étroitement de 1 à 3 mm, vertes ou gris vert (les plantes à feuillage gris vert étaient autrefois classées comme *Tamarix gallica* L (Guerine et al., 2020).

II.6.7 Hammada Scoparia

Est une espèce de la famille des Amaranthaceae. Cette espèce est originaire d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient. Ce buisson pérenne est composé de branches ramifiées, épineuses, dont les feuilles opposées sont réduites à des écailles. Les fleurs sont dépourvues de pétales et sont disposées en épi terminal dense (Guerine et al., 2020).

II.6.8 Retama Retam

Est un arbuste à environ 3 m de haut et peut atteindre 6 m de diamètre. Tronc court se ramifiant de la base ; les tiges de jeunes plantes sont couvertes de longs poils mous mais deviennent glabres avec l'âge ; Est un arbuste à environ 3 m de haut et peut atteindre 6 m de diamètre ; tronc court se ramifiant branches tombantes. Feuilles alternes, entières, très petites (environ 5 mm de long) et étroites (seulement 1 mm de large), sont rapidement abandonnées et la plante reste sans feuilles pendant la majeure partie de l'année.

Inflorescence : Grappes denses ; Fleur blanc, ressemblant à un pois, apparaissant près des tiges, Fruits gousses à une ou deux graines, son habitat c'est le sable est ça distribution les zones boisées et sableuses méditerranéennes, les zones arbustives semi-steppeiques, les steppes arbustives, les déserts et les déserts extrêmes (Guerine et al., 2020).

II.6.9 Atriplex Halimus

Est un arbrisseau halophyte de 1,5 m à 2 m de haut. Avec son réseau très dense de rameaux dressés à partir du sol, il forme des buissons très touffus, impénétrables. Sa croissance est rapide et il peut s'étendre grâce à ses rejets souterrains.

Le feuillage est persistant. Les feuilles sont petites, alternes, pétiolées, de forme ovale à rhomboïdale, entières, de couleur gris argenté sur les deux faces. Les tiges et les feuilles sont recouvertes de petites écailles qui donnent un aspect velouté. L'arroche marine est une espèce tri monoïque, c'est-à-dire qu'un même individu peut porter à la fois des fleurs unisexuées mâles, unisexuées femelles et bisexuées (**Guerine et al., 2020**).

II.7 Le Pastoralisme

L'élevage est considéré parmi les activités les plus importantes du bassin des chotts.

La population steppique est composée essentiellement des pasteurs-éleveur pratiquant le nomadisme et la transhumance. Ce sont des formes sociales d'adaptation à ces milieux arides qui permettent de maintenir l'équilibre et de survivre aux crises écologiques.

Le pâturage des animaux c'est l'usage le plus fréquent dans cette zones humides (Sabkha de Naâma) est utilisées pour alimenter le cheptel. Cette surcharge animale importante dans cette zone sans temps de repos suffisant pour leur permettre de se régénérer. Ce phénomène est essentiellement imputable à une absence de gestion raisonnée des pâturages, notamment des pâturages collectifs, ainsi qu'à l'accroissement des effectifs pouvant être favorisé par certaines politiques d'intervention (transport d'eau par camion ou subvention des aliments) qui provoque une dégradation très avancée de cette région (**Guerine et al., 2020**).

*CHAPITRE III:
MATERIEL
ET
METHODE*

Introduction

Le travail que nous avons entrepris sur la Sabkha de Naâma, répondait à de nombreuses questions qui restaient en suspens, notamment celles liées à son état et à son évolution depuis 1985 jusqu'à nos jours en particulier sa salinité, sa végétation et son taux de recouvrement à l'aide de la télédétection, la méthode utilisée s'appuie sur l'information issue des images satellitaires. Ce qui nous permettra d'avoir des informations utiles pour la préservation de sa biodiversité. Notre zone humide (Sabkha de Naâma) revêt d'un intérêt écologique et touristique.

Dans le présent manuscrit nous nous intéressons à calculer des indices à partir des images satellitaires à l'aide d'un logiciel ArcGIS

III.1 Télédétection

La télédétection est une technique qui permet, à l'aide d'un capteur, "d'observer" et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. Le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phyto-masse, matière organique du sol...).

III.1.1 Systèmes d'observation

Ils représentent à la fois les instruments de mesures du rayonnement électromagnétique (capteurs), et les systèmes de télédétection (plates formes).

III.1.2 Les capteurs

Les capteurs sont des appareils capables de recevoir le rayonnement qui vient de la terre et de le transformer en un signal permettant la mémorisation de l'information. Ils se distinguent par leurs types d'acquisitions (passif ou actif), leurs modes d'acquisitions et leurs résolutions.

III.1.3 Type d'acquisition

- **Les capteurs passifs** : le soleil est la source d'énergie ou de rayonnement utilisé en télédétection. Cette énergie est soit réfléchi (la portion visible) ou absorbée et transmise (fluorescence, infra-rouge thermique) par la cible. Les capteurs passifs sont des dispositifs de télédétection qui mesure l'énergie disponible naturellement.

- **Les capteurs actifs** : produisent leur propre énergie pour illuminer la cible, et mesurer le signal rétro-diffusé dans sa direction. Ce sont des radiomètres opérant dans le domaine des hyperfréquences, ils ont l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison.

III.2 Principe

La télédétection est une technique permettant d'obtenir à distance des images décrivant de manière plus ou moins détaillée une portion de la surface terrestre à un moment donné. Ces images sont acquises par des capteurs installés sur des plateformes aériennes ou satellitaires (avion, hélicoptère, satellite...). Ces capteurs enregistrent le rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi par la surface du globe terrestre. Il existe

différents types de capteurs, produisant plusieurs types d'image pouvant être utilisées dans un grand nombre d'applications environnementales.

III.3 Utilisation

- Couverture d'une zone donnée en relativement peu de temps
 - la télédétection facilite le suivi et la surveillance à long terme des zones à risques, la définition des facteurs de désertification, l'aide à la prise de mesures adéquates de gestion environnementale par les décideurs et l'évaluation de l'impact de ces mesures.
- Réduction des coûts en raison de la diminution de l'intensité de sondage (des données par satellite sont librement accessibles sans coûts supplémentaires)
- Description visuelle d'une situation donnée et de son évolution dans le temps
- Production de données cartographiques
- Accessibilité des informations relatives à des régions du globe inaccessibles ou considérées comme étant difficilement accessibles
- Amélioration des capacités nationale s'en matière de cartographie, de surveillance et d'établissement de rapports
- Possibilité d'harmoniser les informations d'évaluation existantes à l'échelle de l'ensemble du pays.

III.4 Programme Landsat

Le programme Landsat a fourni l'acquisition mondiale continue la plus longue d'images satellite. Le programme Landsat a été le premier satellite sans pilote spécialement conçu pour acquérir des données sur les ressources de la Terre.

Le satellite Earth Resources Technology (**ERTS**), rebaptisé plus tard Landsat 1, a été lancé en juillet 1972. La version la plus récente de Landsat, Landsat 8, a été lancée en 2013. Au cours des 40 dernières années, le programme Landsat a acquis des millions d'images du Terre. Les satellites Landsat capturent des images de la surface de la Terre le long de la trajectoire au sol du satellite dans une bande de 185 kilomètres de large alors que le satellite se déplace sur une orbite descendante (se déplaçant du nord au sud) sur le côté ensoleillé de la Terre.

Tableau 7 : Satellites optiques Landsat.

	LANDSAT	LANDSAT 4 et 5	LANDSAT 7
PAYS	USA	USA	USA
DATE DE LANCEMENT	1972	1984	avril 1999
ALTITUDE	705 km	705 km	705 km
CAPTEURS	MSS (Multispectral Scanner)	TM (Thematic Mapper)	ETM + (Enhance Thematic Mapper)
TYPE	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage	Radiomètre à balayage
BANDES SPECTRALES	1 (V) [0,5-0,6 µm] 2 (R) [0,6-0,7 µm] 3 (IR) [0,7-0,8 µm] 4 (IR) [0,8-1,1 µm]	1 (B) [0,45,0,52 µm] 2 (V) [0,52-0,60 µm] 3 (R) [0,63-0,69 µm] 4 (IR) [0,76-0,90 µm] 5 (IRM) [1,55-1,75 µm] 6 (IRT) [10,4-12,5 µm] 7 (IRM) [2,08-2,35 µm]	1 (B) [0,45,0,52 µm] 2 (V) [0,53-0,61 µm] 3 (R) [0,63-0,69 µm] 4 (IR) [0,78-0,90 µm] 5 (IRM) [1,55-1,75 µm] 6 (IRT) [10,4-12,5 µm] 7 (IRM) [2,09-2,35 µm] (Pan) [0,52-0,90 µm]
RÉSOLUTION SPATIALE (dimension des pixels)	60 x 80 m	30 m Bande 6 : 120 m	30 m Bande 6 : 60 m Pan : 15 m
DIMENSION D'UNE SCÈNE	185 x 185 km	185 x 172 km	185 x 172 km
STÉRÉOSCOPIE	Non	Non	Non
FRÉQUENCE DE PASSAGE	18 jours	16 jours	16 jours
VOCATION	VÉGÉTATION ET OCCUPATION DU SOL	VÉGÉTATION ET OCCUPATION DU SOL	VÉGÉTATION ET OCCUPATION DU SOL
PARTICULARITÉ	EN ARCHIVE DEPUIS 1972	GRANDE VARIÉTÉ SPECTRALE	GRANDE VARIÉTÉ SPECTRALE

Source : Ressources naturelles (Québec)

III.5 Programme Sentinel_2

Sentinel-2 est une série de satellites d'observation de la Terre de l'Agence spatiale européenne développée dans le cadre du programme Copernicus dont les deux premiers exemplaires ont été mis en orbite en 2015 et 2017. L'objectif du programme est de fournir aux pays européens des données complètes et actualisées leur permettant d'assurer le contrôle et la surveillance de l'environnement. Les satellites Sentinel-2 constituent une des

composantes spatiales de ce programme qui comprend également notamment les Sentinel-1 (observation radar tout temps) et Sentinel-3. Ils doivent fournir l'imagerie optique haute résolution permettant l'observation des sols (utilisation des sols, végétation, zones côtières, fleuves, etc.) ainsi que le traitement des situations d'urgence (catastrophes naturelles...)

Tableau 8 : Principales caractéristiques des satellites Sentinel_2

Sentinel-2 Bandes	Longueur d'onde centrale (µm)	Résolution (m)	Bande passante (nm)
Bande 1 - Aérosol côtier	0.4 43	6 0	27/45 (2A / 2B)
Band 2 – Bleu	0.4 90	1 0	98
Band 3 – Vert	0.5 60	1 0	45/46 (2A / 2B)
Band 4 – Rouge	0.6 65	1 0	38/39 (2A / 2B)
Bande 5 - Bordure rouge de la végétation	0,7 05	2 0	19/20 (2A / 2B)
Bande 6 - Bordure rouge de la végétation	0,7 4	2 0	18
Bande 7 - Végétation Bord rouge	0,7 83	2 0	28
Bande 8 – NIR	0.8 42	1 0	115
Bande 8A - Narrow étroit	0,8 65	2 0	20
Bande 9 - Vapeur d'eau	0.9 45	6 0	20
Band 10 - SWIR – Cirrus	1.3 75	6 0	20
Band 11 – SWIR	1.6 10	2 0	90
Band 12 – SWIR	2,1 9	2 0	180

Source : Ressources naturelles (Québec)

III.6 Les indices spectraux :

Chaque bande d'une image donne une information particulière. Dans la bande verte la végétation a une moindre réflectance et apparaît sombre. Dans le proche infrarouge la végétation est réfléchiée elle donne des informations sur la structure de différentes espèces végétales. En connaissant les caractéristiques de chaque bande, il est aussi possible de les combiner en différents indices pour obtenir plus d'information. De plus, en utilisant des indices normalisés, il est possible de transférer les connaissances issues de ces indices, vers d'autres images, et éventuellement vers d'autres capteurs.

III.6.1 Indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

L'indice de végétation est un outil utilisé dans les domaines environnementaux et pour l'agriculture en particulier, car il fournit des informations sur la verdure et l'état de la végétation. La formule de calcul du **NDVI** est :

$$\text{NDVI} = (\text{proche IR} - \text{rouge}) / (\text{proche IR} + \text{rouge})$$

La normalisation par la somme des deux bandes permet de réduire les effets d'éclairement. Le **NDVI** conserve une valeur constante quel 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. Cet indice normalisé est sensible à la vigueur et à la quantité de la végétation.

Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge.

Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le **NDVI** présente des valeurs proches de 0.

Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de **NDVI** positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

Une végétation en bonne santé absorbe la plupart de la lumière visible qui l'intercepte et réfléchit une partie importante de la lumière PIR. Une végétation en mauvaise santé ou clairsemée réfléchit plus de lumière visible et moins de PIR

La puissance de cet indice réside dans sa capacité de distinguer même entre les espèces végétales, car il est directement lié à l'activité photosynthétique des plantes et donc à la capacité d'absorption énergétique du couvert végétal. Il agit comme indicateur de la biomasse chlorophyllienne des plantes.

III.6.2 Indice NDWI (Normalized Difference Water Index):

Suivant le même principe que le **NDVI**, l'indice de teneur en eau par différence normalisée (**NDWI**) utilise la bande proche infrarouge et une bande de l'infrarouge à courtes longueurs d'onde (**Short-Wave InfraRed, SWIR**) (**Gao, 1996**).

Au lieu de la bande rouge, où la réflectance est affectée par la chlorophylle, le **NDWI** utilise une bande de l'infrarouge à courtes longueurs d'onde (entre 1500 et 1750 nm), où l'eau possède un pic d'absorption. La bande du proche infrarouge (**Near-InfraRed**, **NIR**) est la même que celle du **NDVI** car l'eau n'absorbe pas dans cette région du spectre électromagnétique.

L'indice **NDWI** se calcule selon l'équation suivante :

$$\text{NDWI} = (\text{PIR} - \text{SWIR}) / (\text{PIR} + \text{SWIR})$$

Cet indice permet de vérifier l'efficacité des systèmes d'irrigations car les plantes correctement irriguées ayant une teneur en eau forte vont refléter une valeur de **NDWI** proche de 1.

Le **NDWI** peut être calculé d'une autre manière de telle façon à mettre l'accent cette fois sur les surfaces d'eau et non pas de l'humidité des plantes et des sols, cela permet d'estimer l'évolution des superficies des eaux en comparant une série des images satellitaires à différente période du temps.

III.6.3 Indice de végétation EVI (Enhanced Vegetation Index)

C'est un indice de végétation optimisé prenant en compte les influences atmosphériques et le signal en arrière-plan de végétation. Il est analogue à l'indice **NDVI** à ceci près qu'il est moins sensible au bruit de fond et au bruit atmosphérique ; il ne devient pas aussi saturé que le **NDVI** en cas de régions de végétation très denses.

Cet indice génère des valeurs comprises entre 0 et 1.

$$\text{EVI} = 2.5 * (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + 6 * \text{Red} - 7.5 * \text{Blue} + 1)$$

NIR = valeurs de pixel du canal proche infrarouge

Red = valeurs de pixel du canal rouge

Blue= valeurs de pixel du canal bleu

III.6.4 Indice de végétation SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)

C'est un indice de végétation qui tente de minimiser les influences de la luminosité du sol à l'aide d'un facteur de correction de luminosité du sol. Il est souvent utilisé dans les régions arides où la couverture végétale est faible.

Cet indice génère des valeurs comprises entre -1,0 et 1,0.

$$\text{SAVI} = ((\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red} + \text{L})) \times (1 + \text{L})$$

NIR = valeurs de pixel du canal proche infrarouge

Red = valeurs de pixel du canal rouge

L= est une constante égale à 0,5.

III.6.5 Indice de Précipitations Normalisé (SPI)

C'est un indice permettant de mesurer la sécheresse météorologique. Il s'agit d'un indice de probabilité qui repose seulement sur les précipitations. Les probabilités sont standardisées de sorte qu'un **SPI** de 0 indique une quantité de précipitation médiane (par

rapport à une climatologie moyenne de référence, calculée sur 30 ans). L'indice est négatif pour les sécheresses, et positif pour les conditions humides (McKee et al., 1993).

L'utilisation de cet indice est en outre recommandée par l'Organisation Météorologique Mondiale.

III.6.6 Evapotranspiration potentielle (ETP)

L'équation de Hargreaves (HARG) est reconnue par la **FAO** et est souvent utilisée. Cette équation est basée sur la température moyenne, minimale et maximale de l'air et le rayonnement extraterrestre. Il a tendance à surestimer ET_0 en conditions humides et nécessite un étalonnage local. C'est ce que nous pourrions appeler 'évapotranspiration potentielle', en distinction de l'évapotranspiration réelle » (Antonio Berti et al., 2014).

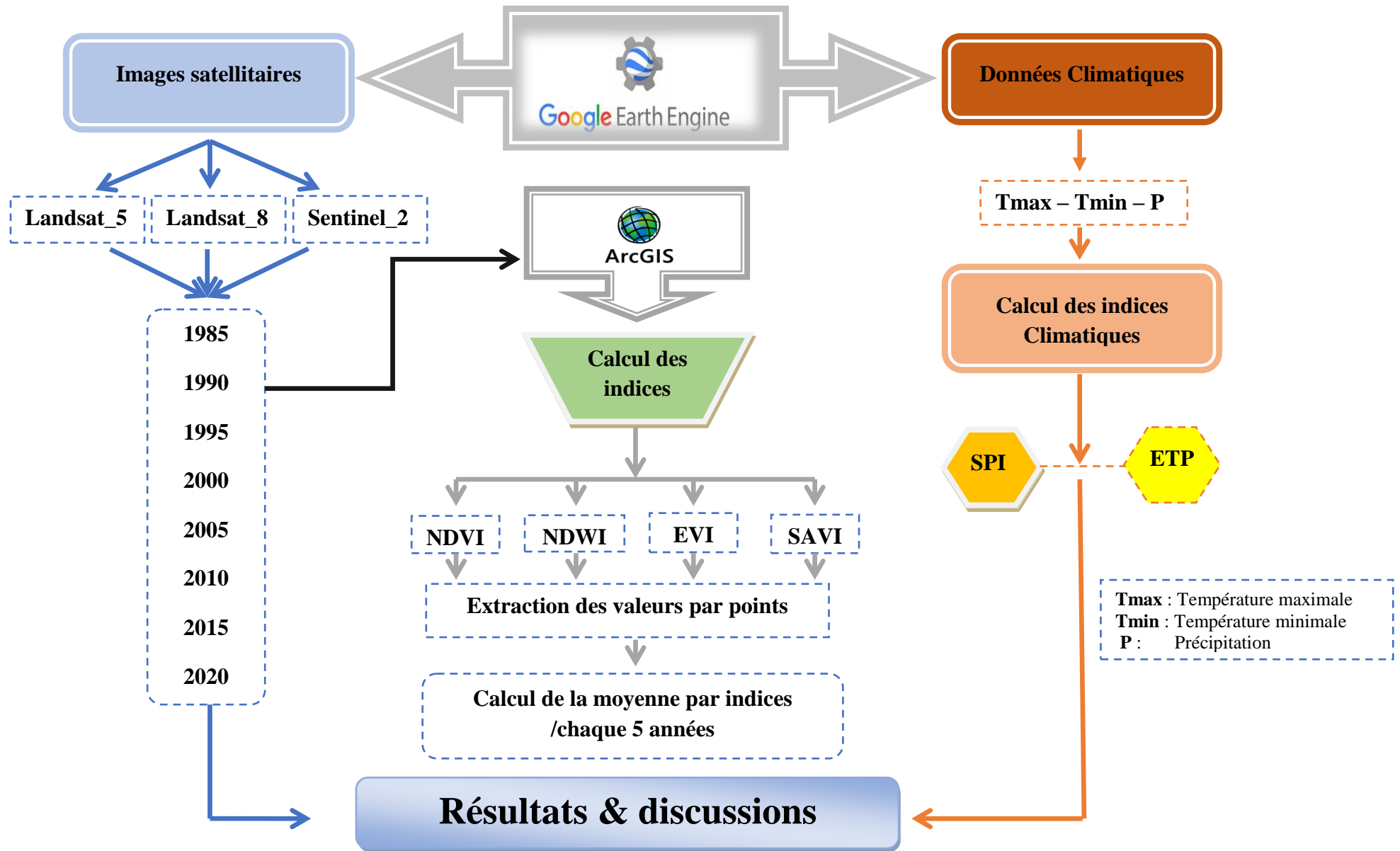


Figure 11 : Organigramme illustrant l'approche suivie pour l'étude de la Sabkha de Naâma

*CHAPITRE IV:
RESULTATS
&
DISCUSSION*

Dans le présent chapitre, nous tentons d'exposer les résultats obtenus des calculs des indices (NDVI, NDWI, SAVI, EVI, ETP et SPI). Une partie importante sera dédiée à une étude diachronique de la Sabkha de Naâma de 1985 jusqu'à 2020 (35ans). Pour illustrer les changements opérés au niveau de la Sabkha, l'utilisation d'une série d'images satellitaires s'impose. Le choix s'est porté sur les images du Landsat_5, Landsat_8 et Sentinel_2.

IV.1 Suivi de l'évolution de l'indice de végétation (NDVI)

Tableau 9 : Evolution de l'indice de végétation NDVI (1985 - 2020)

	1985 - 1990	1990 - 1995	1995 - 2000	2000 - 2005	2005 - 2010	2010 - 2015	2015 - 2020
Moyenne	0,0925	0,0957	0,1156	0,0975	0,0989	0,1424	0,1779
Max	0,1149	0,1778	0,2060	0,1981	0,2509	0,3034	0,2776

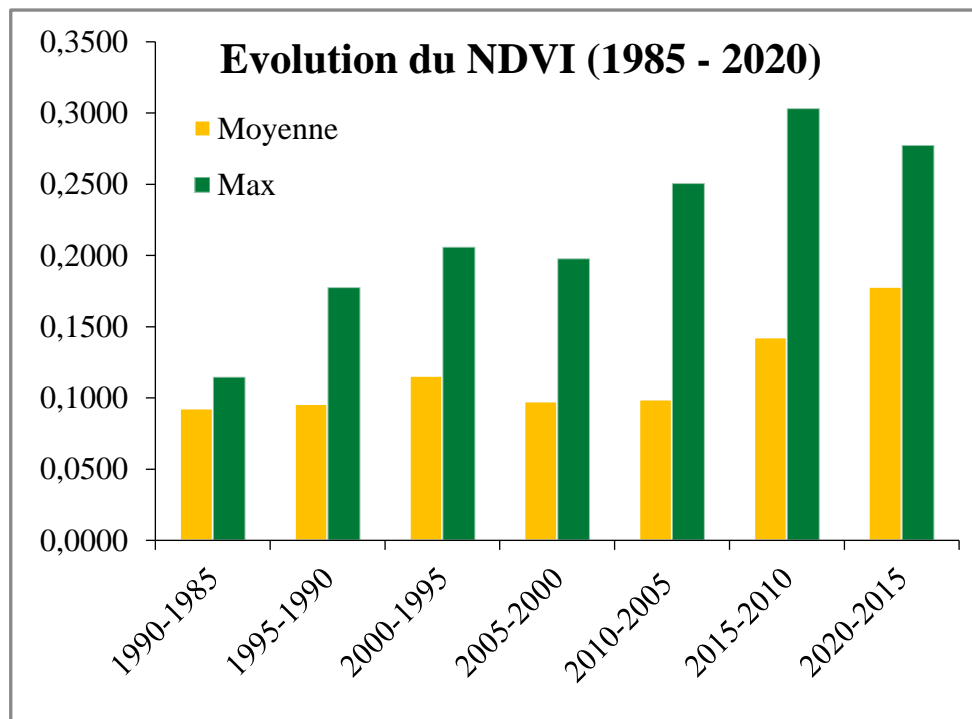


Figure 12 : Evolution de l'indice de végétation NDVI (1985 - 2020)

IV.1.1 Interprétation des résultats

Nous constatons une évolution des valeurs du **NDVI** avec des valeurs de [0,0925] et [0,1156] enregistrées respectivement en 1985 et 2000 (**Fig.12**, **Fig.13** et **Fig.14**). Il est important de signaler une diminution des valeurs du **NDVI** de 2000 à 2010 avec une valeur de [0,0989]. Ces valeurs s'expliquent par l'influence des conditions climatiques notamment la raréfaction des précipitations. Par ailleurs de 2010 à 2020 nous avons enregistré une augmentation du **NDVI** avec une valeur de [0,1779]. Ceci met en exergue l'évolution du couvert végétal.

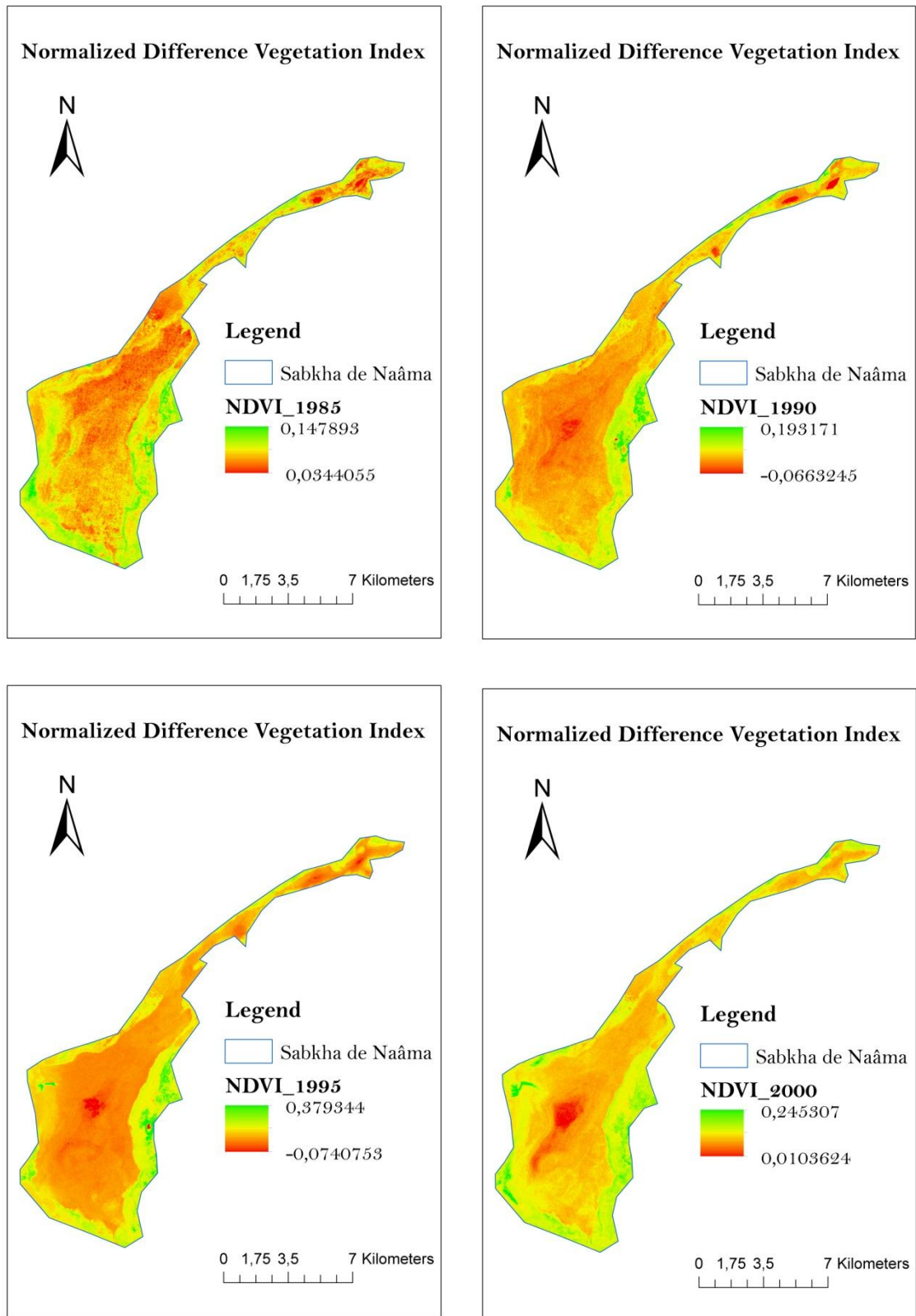


Figure 13 : Evolution de l'indice de végétation NDVI de la Sabkha de Naâma de (1985 à 2000)

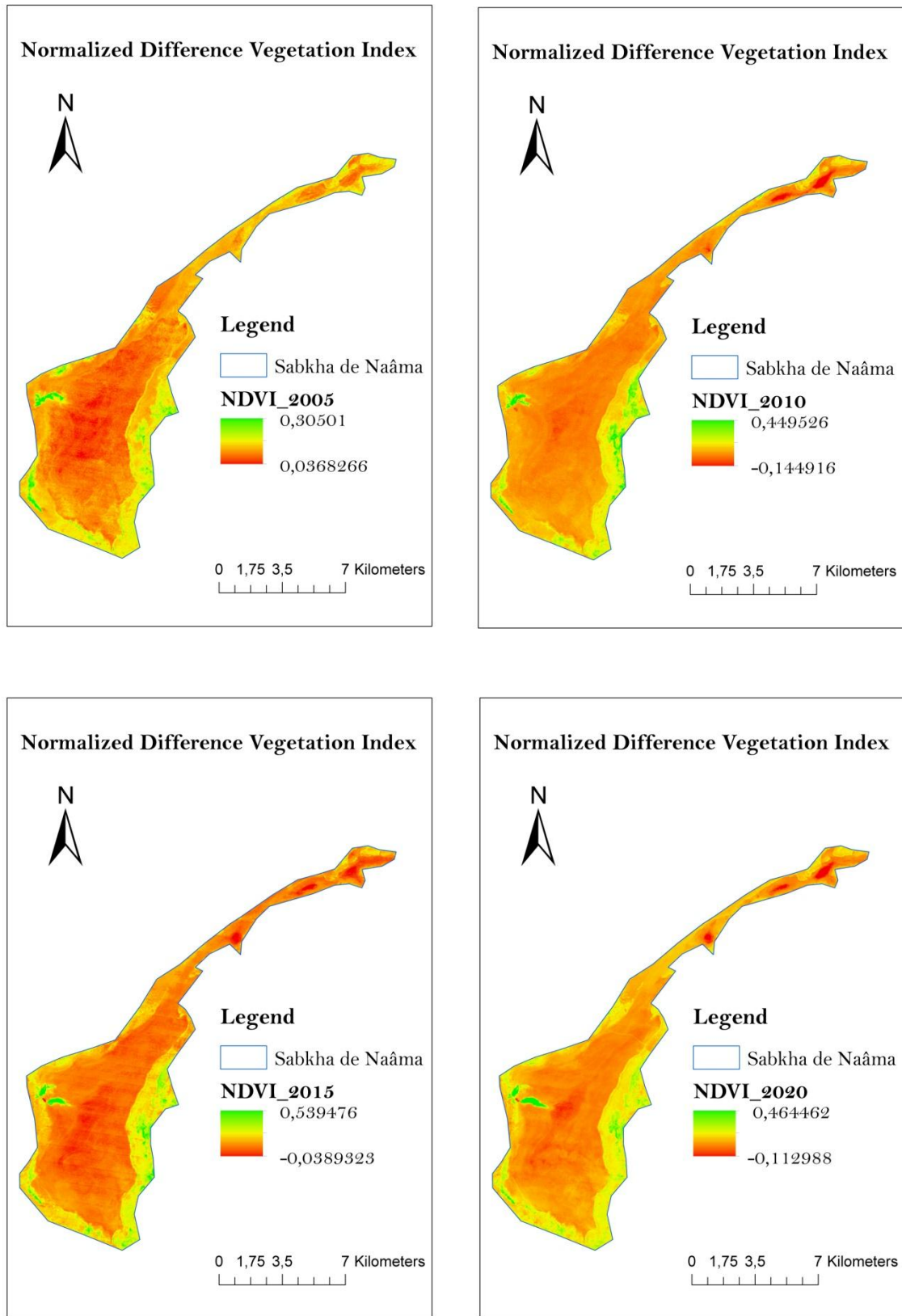


Figure 14 : Evolution de l'indice de végétation NDVI de la Sabkha de Naâma de (2005 à 2020)

IV.2 Suivi de l'évolution de l'indice de la teneur en eau (NDWI)

Tableau 10 : Evolution de l'indice de la teneur en eau NDWI (1985 - 2020).

	1985 - 1990	1990 - 1995	1995 - 2000	2000 - 2005	2005 - 2010	2010 - 2015	2015 - 2020
Moyenne	0,0555	0,0285	0,0176	0,0607	0,0504	-0,0032	-0,0009
Max	0,1028	0,0908	0,0827	0,1085	0,1026	0,0893	0,0865

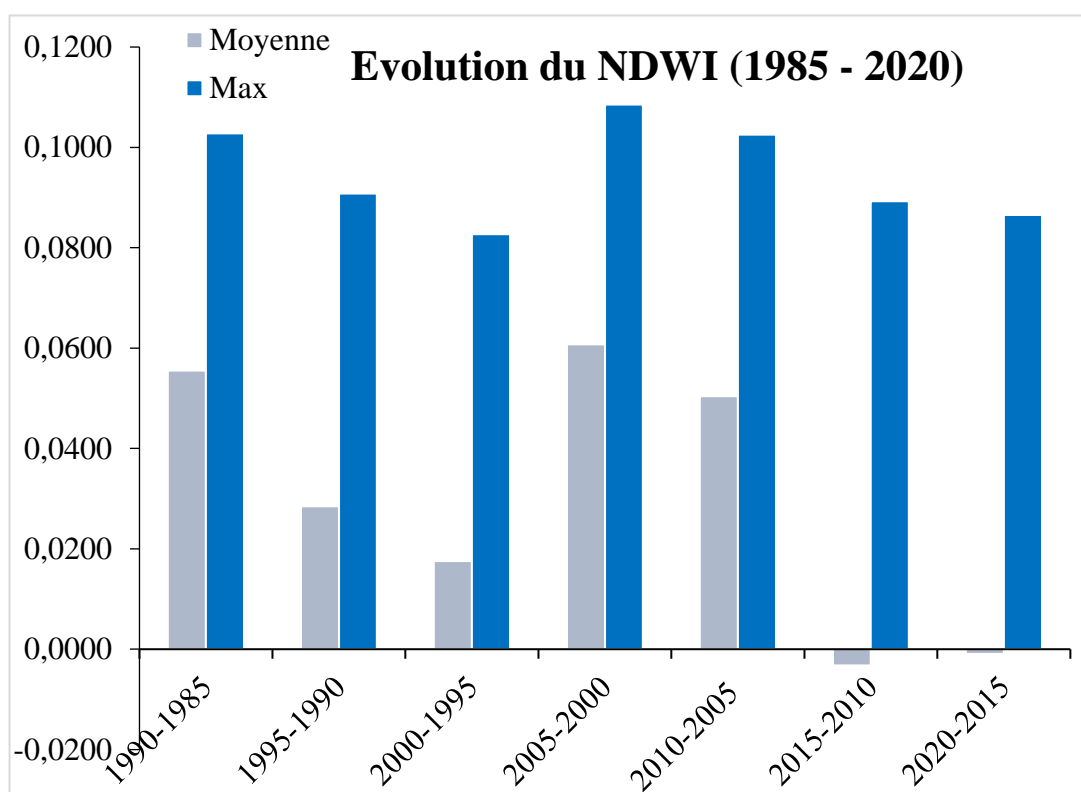


Figure 15: Evolution de l'indice de la teneur en eau NDWI (1985 - 2020)

IV.2.1 Interprétation des résultats

Suite à l'analyse des figures (15, 16 et 17) il ressort que la teneur en eau a pris une allure décroissante. Les valeurs positives témoignent de la présence d'eau dans les plantes. A travers le **tableau '10'** nous enregistrons en 1985 une valeur de [0,0555]. Cependant nous assistons à la présence des valeurs négatives qui traduisent un déficit hydrique dû aux conditions climatiques (**Tab : 14 et 15**). Pour étayer notre argumentaire nous prenons à titre d'exemple les valeurs de : [-0,0032] et [-0,0009] enregistrées respectivement en 2010 et 2020.

Les valeurs négatives mettent en évidence des conditions de sécheresse prolongées qui ont frappées la région depuis quelques années.

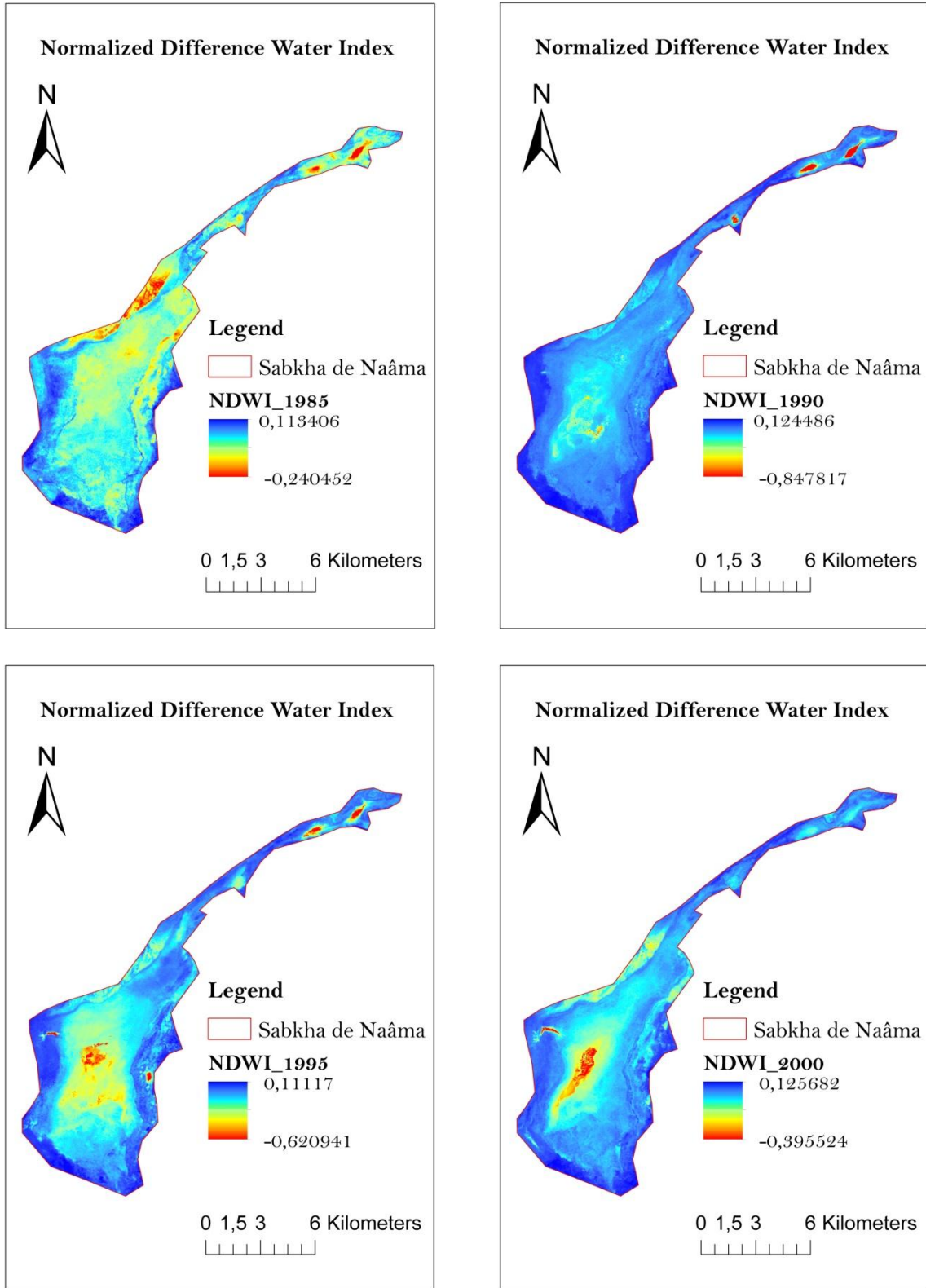


Figure 16 : Evolution de l'indice de la teneur en eau NDWI de la Sabkha de Naâma de (1985 à 2000)

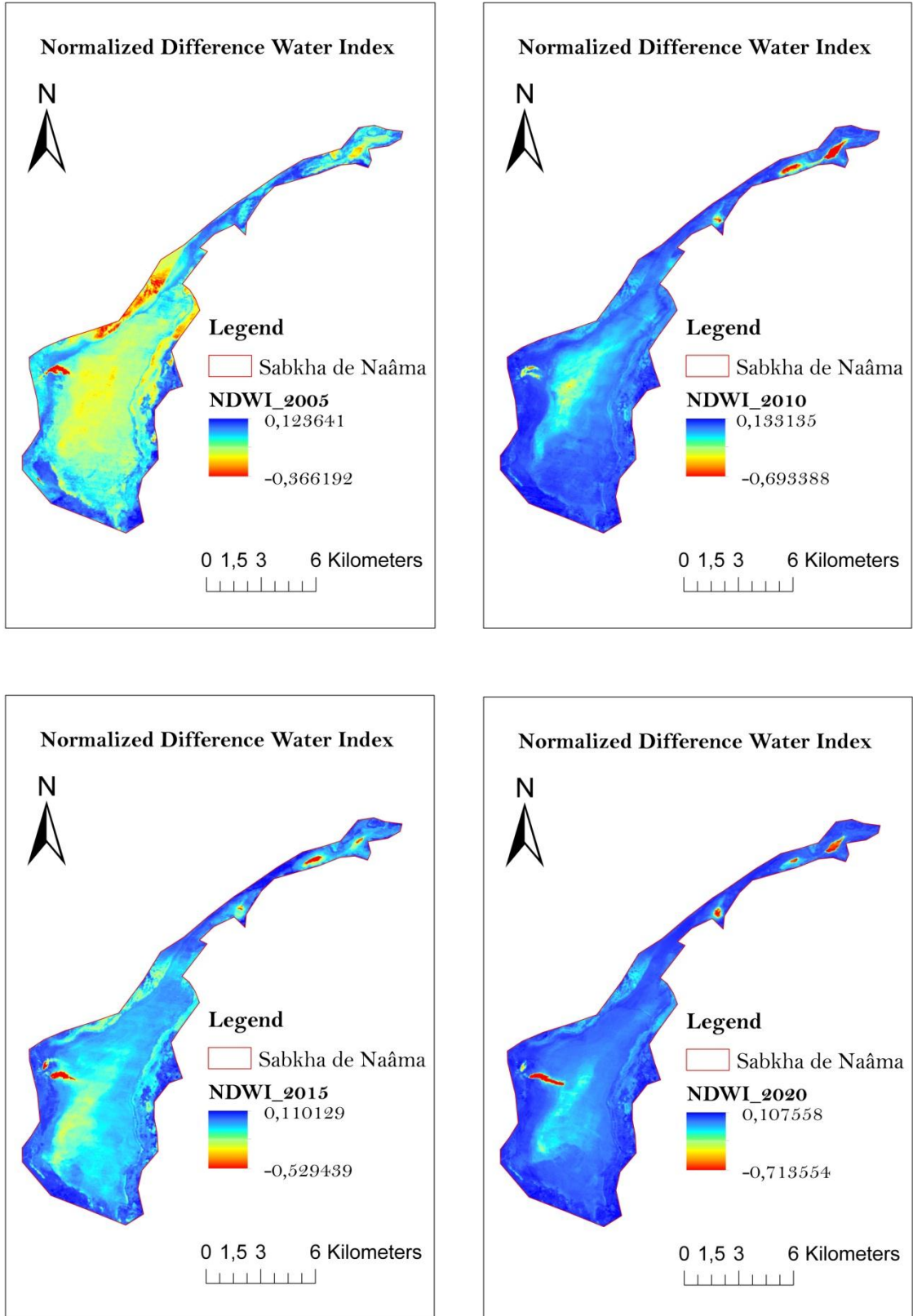


Figure 17 : Evolution d'indice de la teneur en eau NDWI de la Sabkha de Naâma de (2005 à 2020)

IV.3 Suivi de l'évolution de l'indice de végétation ajusté au sol et modifié (SAVI)

Tableau 11 : Evolution de l'indice de végétation ajusté au sol et modifié SAVI (1985 - 2020)

	1985 - 1990	1990 - 1995	1995 - 2000	2000 - 2005	2005 - 2010	2010 - 2015	2015 - 2020
Moyenne	0,0871	0,0868	0,1026	0,0907	0,0916	0,1265	0,1555
Max	0,1063	0,1513	0,1742	0,1814	0,2246	0,2672	0,2511

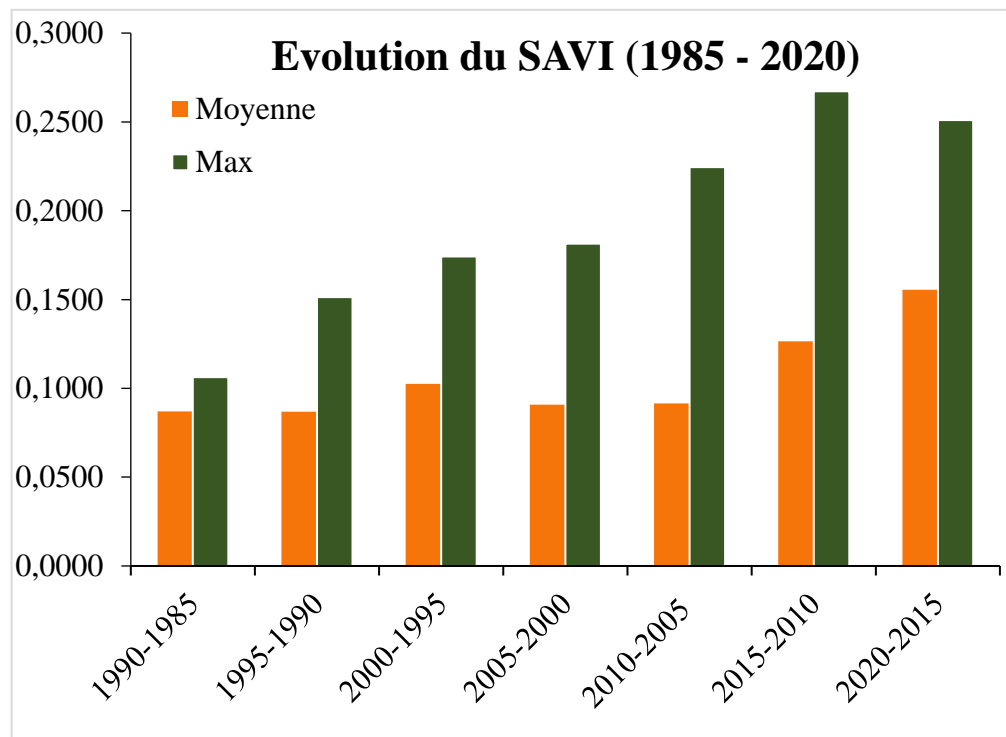


Figure 18: Evolution de l'indice de végétation ajusté au sol et modifié SAVI (1985-2020)

IV.3.1 Interprétation des résultats

Nous constatons une évolution du **SAVI** avec des valeurs de [0,0871] et [0,1555] enregistrées respectivement en 1985 et 2000 (**Fig.18**, **Fig.19** et **Fig.20**). Il est important de signaler que l'indice **SAVI** réduit l'influence de l'effet du sol en donnant des valeurs fiables. A travers le **tableau '11'** nous remarquons qu'en 1995 la valeur du **SAVI** a pris une valeur de [0,1026] comparée à celle de 1985 qui est de l'ordre de : [0,0871]. Il est à noter que les valeurs du **SAVI** sont en augmentation à partir de 2010 à 2020 avec des valeurs respectives qui sont de l'ordre de : [0,1265] et [0,1555]. Ces résultats nous permettent de conclure qu'un développement du couvert végétal a été opéré de 2010 à 2020.

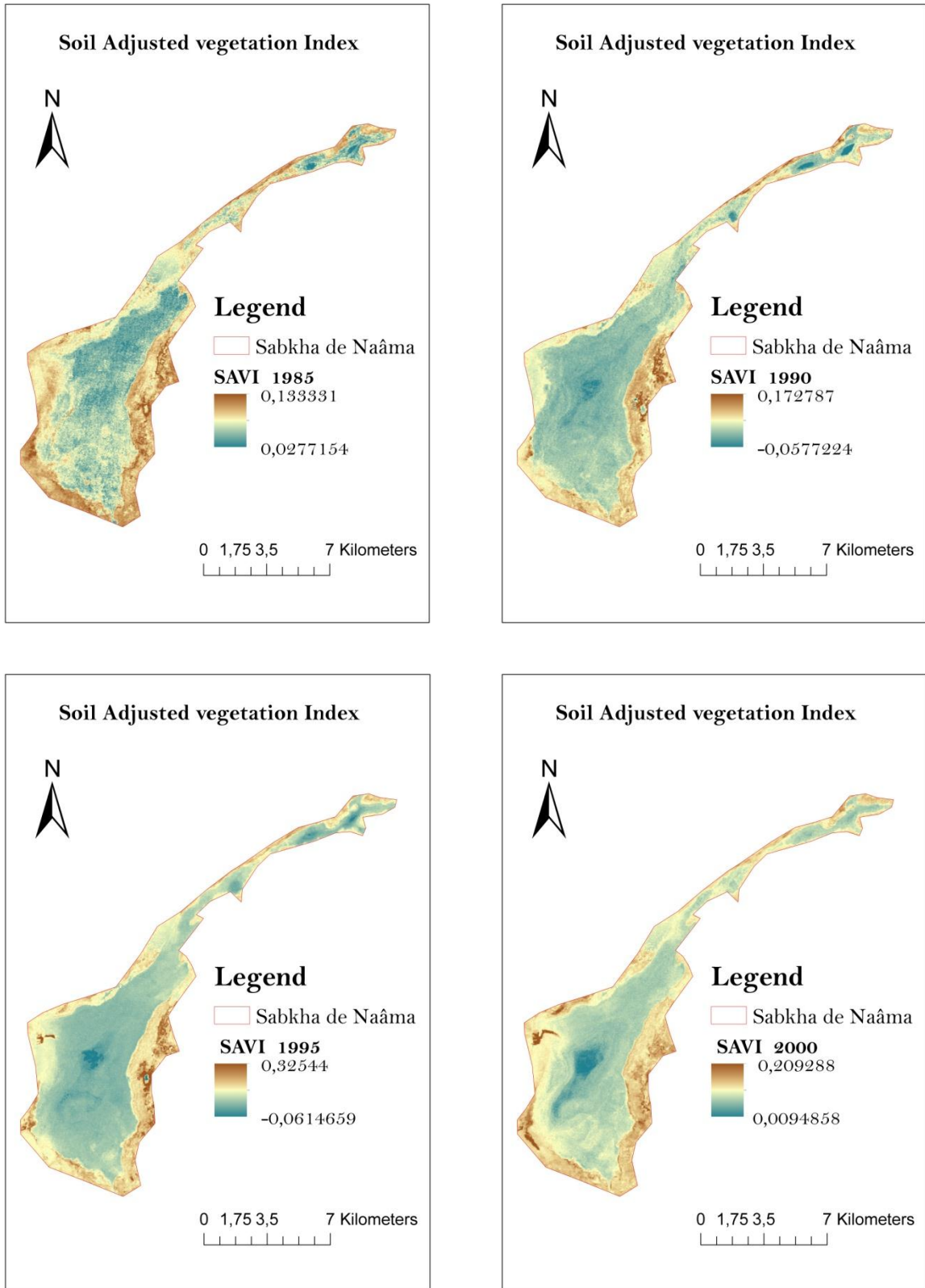


Figure 19 : Evolution de l'indice de végétation SAVI de La Sabkha de Naâma de (1985 à 2000)

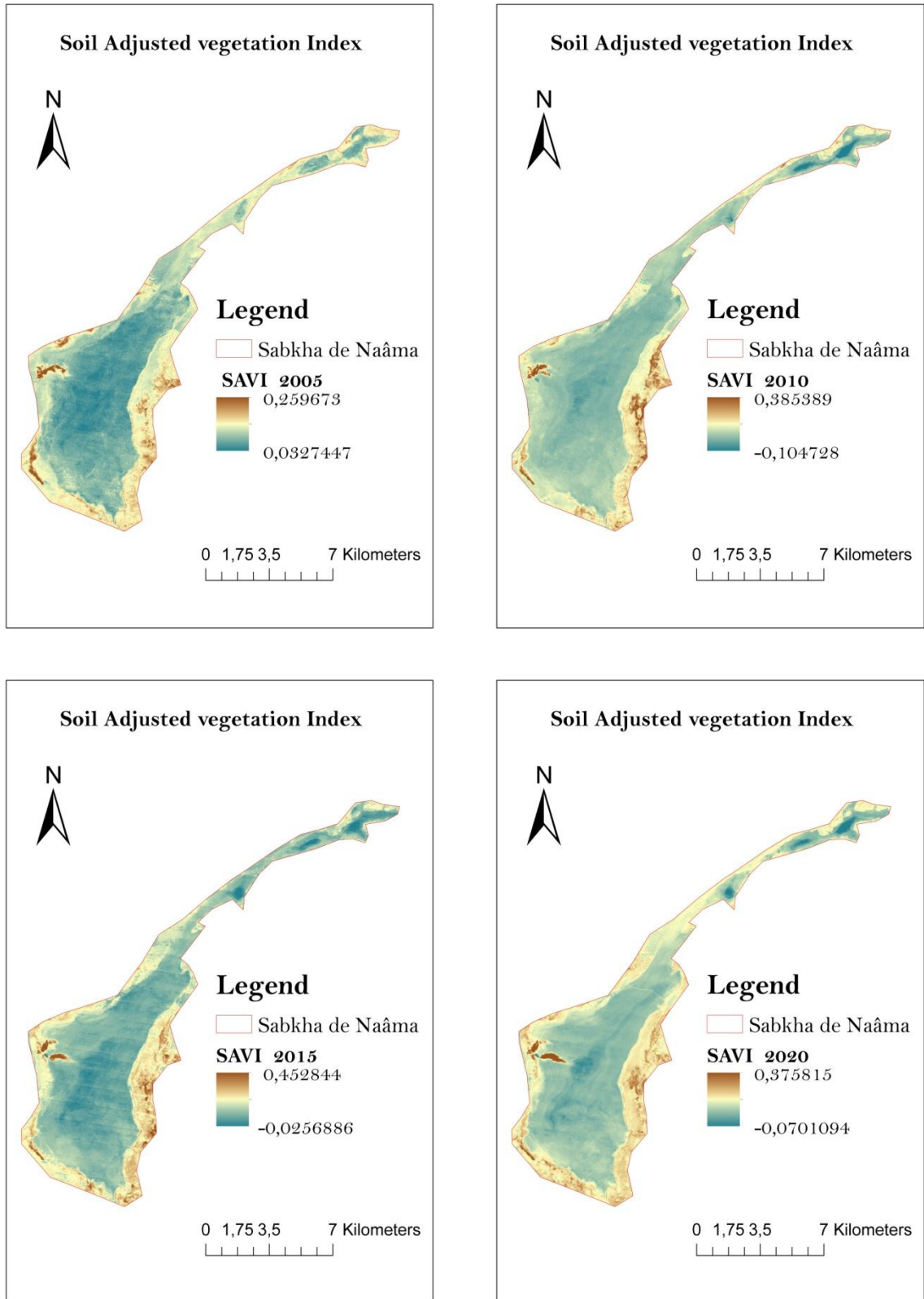


Figure 20 : Evolution de l'indice de végétation SAVI de La Sabkha de Naâma de (2005 à 2020)

IV.4 Suivi de l'évolution de l'indice de végétation amélioré (EVI)

Tableau 12 : Evolution de l'indice de végétation amélioré EVI (1985 - 2020)

	1985 - 1990	1990 - 1995	1995 - 2000	2000 - 2005	2005 - 2010	2010 - 2015	2015 - 2020
Moyenne	0,0843	0,0841	0,1013	0,0863	0,0872	0,1249	0,1544
Max	0,1069	0,1487	0,1803	0,1765	0,2272	0,2802	0,2513

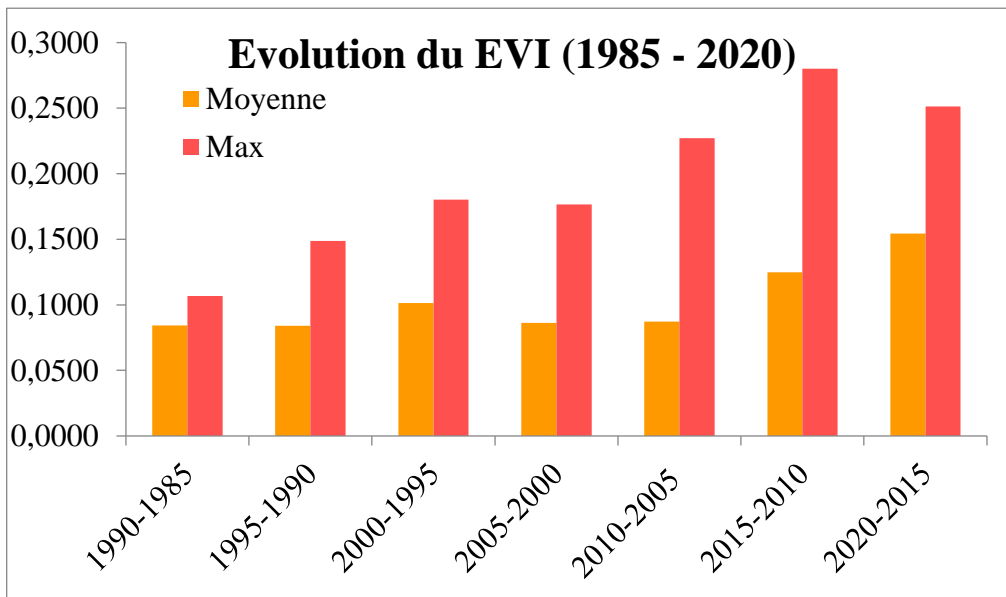


Figure 21 : Evolution de l'indice de végétation amélioré EVI (1985 - 2020)

IV.4.1 Interprétation des résultats

Nous signalons d'après les (**Tab. 12, Fig : 21, 22 et 23**) une évolution du **EVI** avec des valeurs de [0,0843] en 1985 et [0,1544] en 2020. Ceci explique une évolution du couvert végétal peut-être dû à la régénération naturelle du Tamarix. L'indice **EVI** diminue les effets atmosphériques et les perturbations lors de la capture du signal. Cet indice constitue un moyen fiable pour l'évaluation de la végétation. A travers le **tableau '12'** il s'avère qu'en 1995 la valeur du **EVI** a pris une valeur de [0,1013] comparée à celle de 1985 qui est de l'ordre de : [0,0843]. Nous signalons une augmentation du **EVI** à partir de 2010 à 2020 avec des valeurs respectives qui sont de l'ordre de : [0,1249] et [0,1544]. Ces résultats appuient ceux obtenus grâce à l'utilisation des indices **NDVI** et **SAVI**.

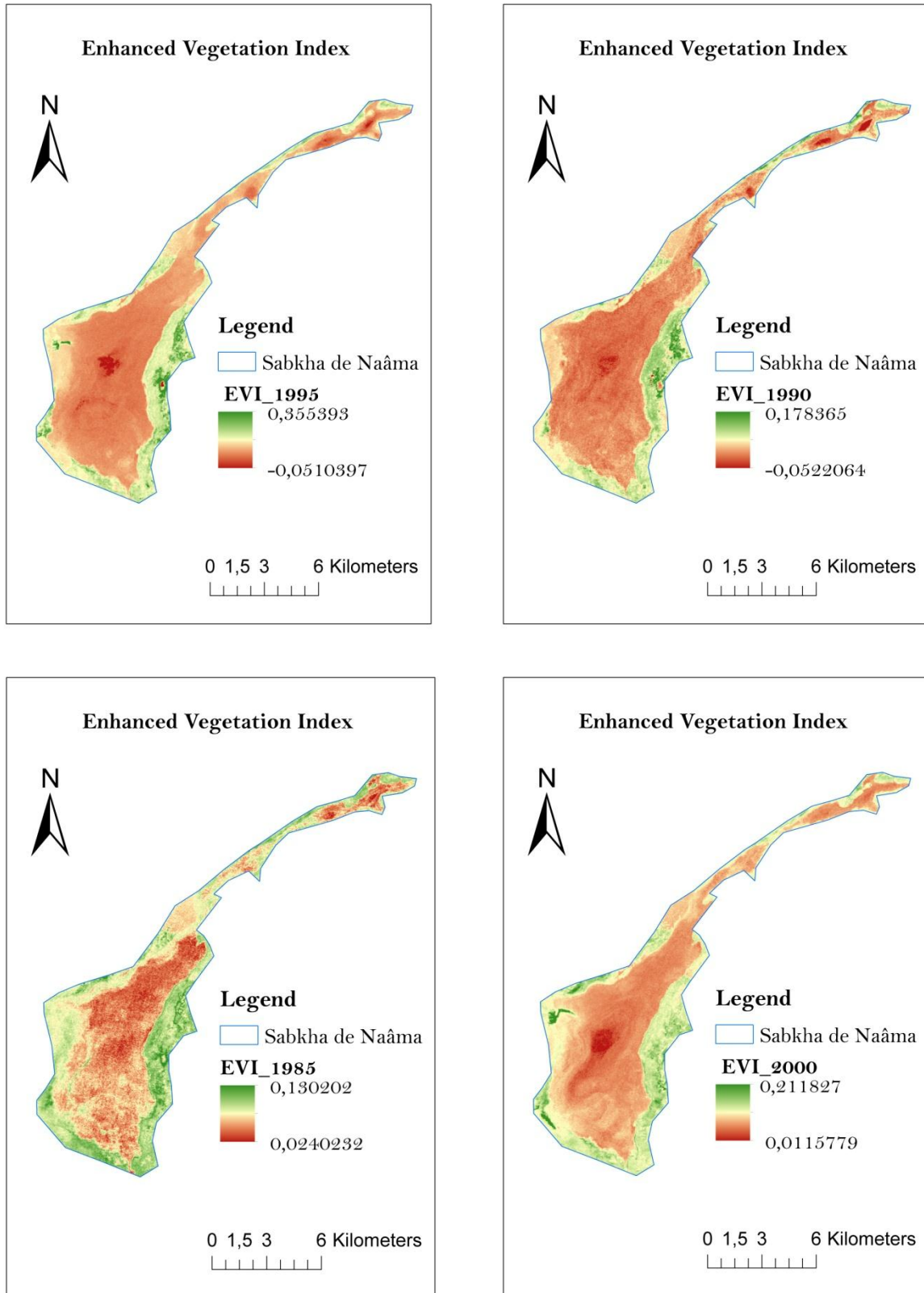


Figure 22 : Evolution de l'indice de végétation **EVI** de La Sabkha de Naâma de (1985 à 2000)

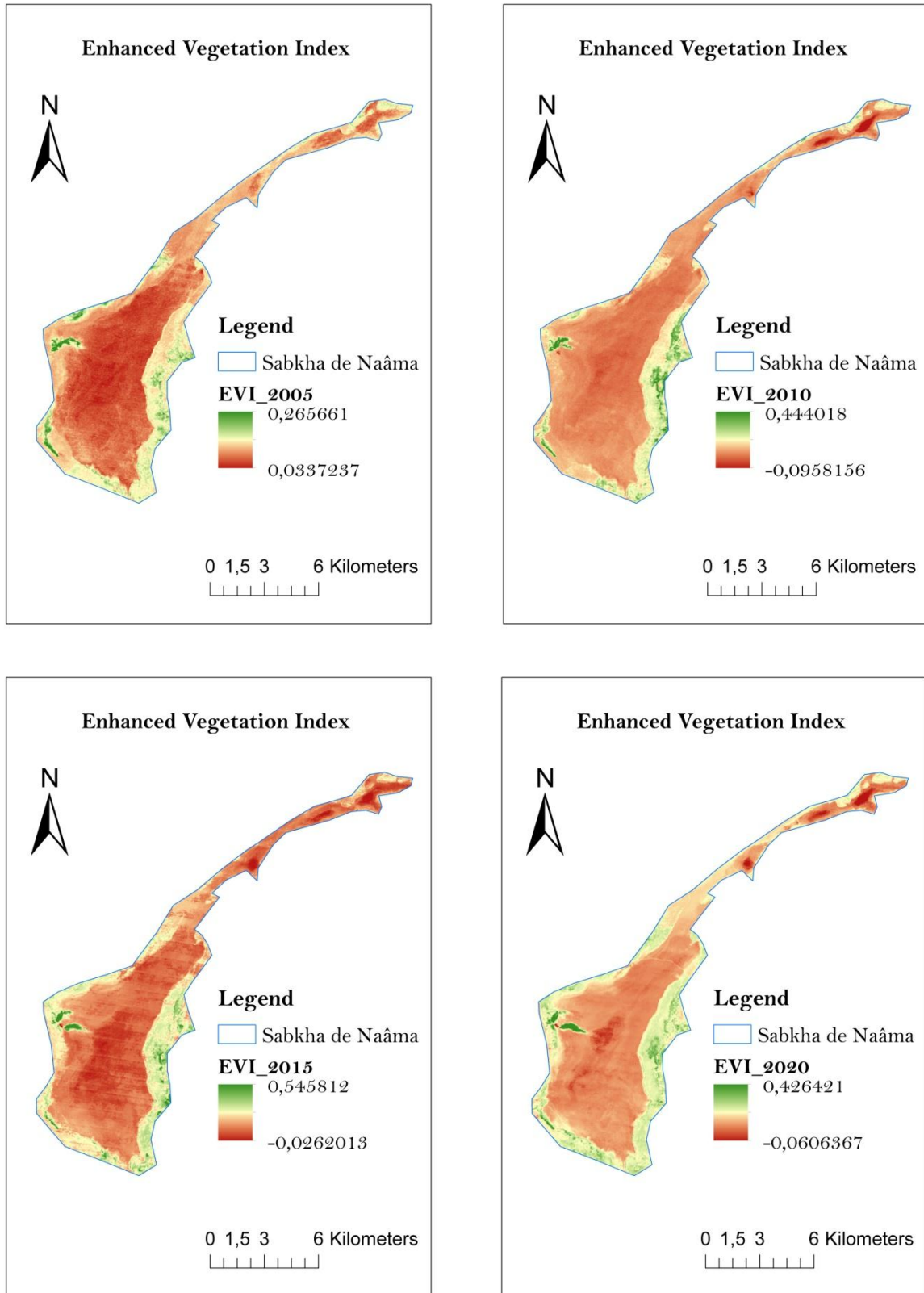


Figure 23 : Evolution de l'indice de végétation EVI de La Sabkha de Naâma de (2005 à 2020)

IV.5 Suivi de l'évolution de l'indice de précipitation standardisé

(SPI)

Tableau 13 : Régime de précipitation

Valeur	Régime de précipitation
2,0+	Extrêmement humide
1,5 à 1,99	Très humide
1,0 à 1,49	Moyennement humide
-0,99 à 0,99	Proche normal
-1,0 à -1,49	Moyennement sec
-1,5 à -1,99	Très sec
2 et moins	Extrêmement sec

Tableau 14 : SPI moyen chaque 5 années

	SPI moyen de chaque 5 années	Régime de précipitation
1985-1989	0,28	Proche normal
1990-1994	0,38	Proche normal
1995-1999	-0,54	Proche normal
2000-2004	0,02	Proche normal
2005-2009	0,61	Proche normal
2010-2014	0,79	Proche normal
2015-2019	-0,63	Proche normal
2020	-0,94	Proche normal

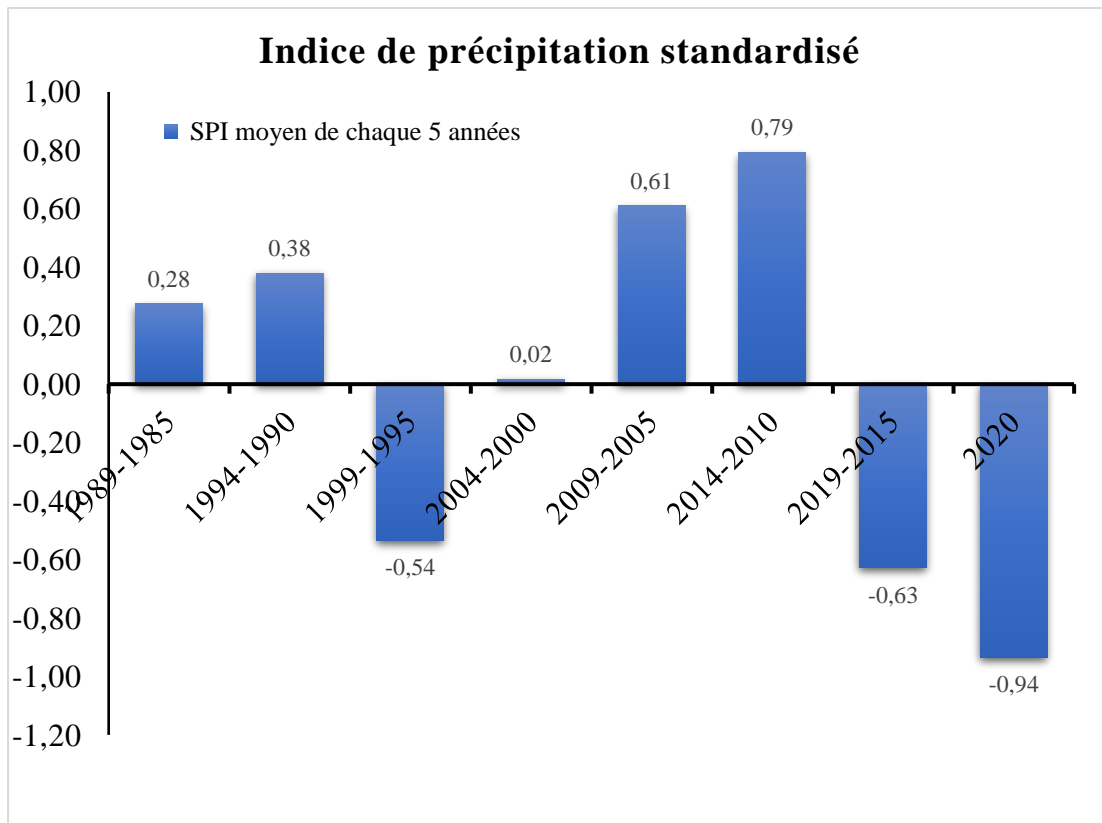


Figure 24 : Evolution de l'indice de précipitation standardisé SPI (1985 – 2020)

IV.5.1 Interprétation des résultats

Suite au calcul de l'indice **SPI** nous avons obtenu des résultats qui classent notre zone d'étude avec un régime proche normal (**Tab14**).

IV.6 Suivi de l'évolution de l'indice évapotranspiration potentielle

Tableau 15 : Evolution de l'indice **ETP** annuelle moyenne.

Années	ETP annuelle moyenne
[1985-1990]	4119
[1990-1995]	4198
[1995-2000]	4120
[2000-2005]	4283
[2005-2010]	4370
[2010-2015]	4267
[2015-2020]	4363

IV.6.1 Interprétation des résultats

Depuis 1985 à 2020 nous assistons à l'augmentation du **ETP** avec des valeurs allant de [4119] jusqu'à [4363] en 2020. Ces valeurs nous renseignent sur le phénomène de l'évapotranspiration que connaît la zone d'étude. La courbe de l'évolution du **ETP** présente une forme croissante qui explique l'exacerbation des conditions climatiques induisant des sécheresses.

V.CONCLUSION

V.Conclusion

Les zones humides sont nécessaires pour l'environnement et l'humain partout dans le monde. Ces milieux rendent de très nombreux services, ils constituent un réservoir de biodiversité. Cette richesse plus affectés et menacés par des facteurs d'ordre naturel et anthropique.

La Sabkha de Naâma est l'une des zones polluées par les rejets d'eaux usées et de déchets solides et liquides et l'expansion urbaine. Face à cette dégradation de l'écosystème, il est impératif de mener des recherches par télédétection sur Sabkha à Naâma sur ce site touristique.

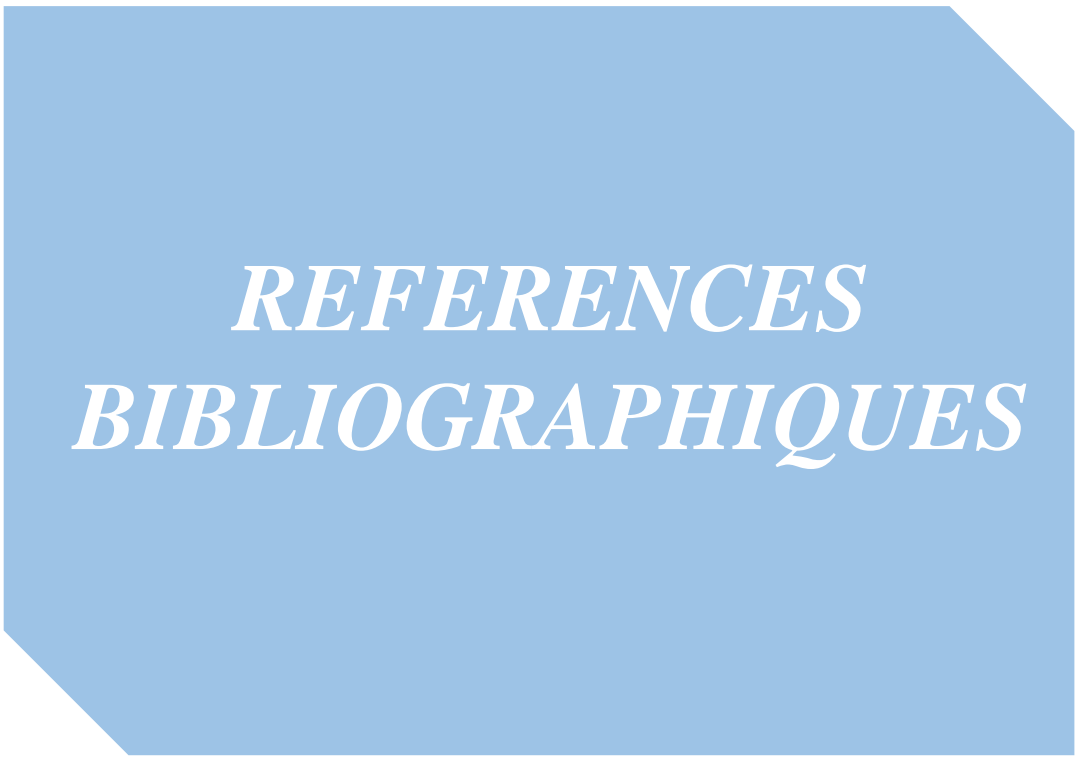
Notre travail s'inscrit dans objectif global : Le suivi de l'évolution spatio-temporelle de la Sabkha de Naâma, à partir d'une série d'images satellitaires Landsat _5, Landsat _8 et Sentinel_2. L'utilisation des indices tels que : **NDVI, EVI, SAVI, NDWI, SPI, ETP** nous ont permis d'avoir pour une durée de 35ans des résultats concluants. Ces derniers sont une grande utilité pour les gestionnaires (Direction de l'Environnement de la Wilaya de Naâma) et les décideurs (les collectivités locales) pour mieux gérer et sauvegarder cet espace fragile.

A travers ce travail nous avons pu voir l'importance des plateformes tels que : **Google Earth Engine (GEE)** et **GLOVIS** pour la disponibilité et la richesse en informations. Leur utilisation nous a permis de cerner l'évolution de notre zone d'étude. Il ressort que de l'évolution du couvert végétal s'est opérée durant 35ans ceci rejoint les résultats obtenus par **Guerine et al (2020)**.

Les indices **NDWI, SPI** et **ETP** mettent en évidence l'effet des changements climatiques qui ont eu une influence sur le régime de précipitation et la teneur en eau.

Pour conclure nous pouvons émettre quelques points pour approfondir cette étude :

- Etendre l'étude sur le territoire de la Wilaya de Naâma pour déceler les effets locaux et régionaux des changements climatiques.
- Réaliser des analyses du sol en s'intéressant aux paramètres suivants : salinité, conductivité et analyses granulométriques.
- Mesure du **NDVI** sur terrain avec des capteurs portatifs.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Aubert G.1976. Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales de l'Institut National Agronomique - El Harrach, 7. pp185-196.

Antonio Berti 2014, Alessandro Chiaudani, Gianmarco Tardivo et Francesco Rech. Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy.

Bonnet B, Aulong S, Goyet S, Lutz M., Mathevet R. 2005.Gestion intégrée des zones humides méditerranéennes : Conservation des zones humides. Tours du Valat, Arles, 160 p.

Barnaud G., & Fustec E., 2007. Conserver les zones humides : pourquoi ? Comment? EditionsQuae 296p.

Bryant RG. 1999. Application of AVHRR to monitoring a climatically sensitive playa. Case study: Chott El Djerid, southern Tunisia. Earth Surface Processes and Landforms, 24. pp 283-302.

Bryant RG, Rainey MP.2002. Investigation of flood inundation on playas within the Zone of Chotts, using a time-series of AVHRR. Remote Sens Environ 82. pp 360–375.

Benchetrit M, 1956. Les sols d'Algérie. In : Revue de géographie alpine. 1956

Boivin, Bouffard, T., Seidah, A., McIntyre, Vezeau, C., & Cantin, S. (2002). Mesure de l'estime de soi à l'adolescence : version canadienne-française du Self-Perception Profile for Adolescents de Harter [Measuring adolescent self-esteem : A French-Canadian version of Harter's Self-Perception Profile for Adolescents]. Canadian Journal of Behavioural Science / Revue canadienne des sciences du comportement, 34(3), 158–162

Bensaid .2006. SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie). Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2006. Français. pp 158-172.

Coque R, Tricat J, Cailleux A. 1972. Le modèle des régions sèches, traité de géomorphologie. Annale de Géographie, 81.pp 734-740.

Demnati F, 2014. Biodiversité et Enjeux Socio-économiques des lacs salés (Chotts et Sebkhass) d'Algérie. Cas du Chott Merouane et Melghir.

Fustec E & Lefeuvre J.C., 2000. Fonctions et valeurs des zones humides. Ed. Dunod. Paris. pp 426.

Gao, B. 1996, Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, Remote Sens. Environ., 58, pp257– 266.

Guerine, L., Belgourari, M., Guerinik, H. 2020. Cartography and Diachronic Study of the Naâma Sabkha (South western Algeria) Remotely Sensed Vegetation Index and Soil Properties. Journal of Rangeland Science, 10(2), pp 172-187.

Gratzfeld J., 2004. Industries dans les zones arides et semi aride. Planification et gestion de l'environnement. Gland et Cambridge : UICN édition.

Jellison R., 2005. IX international conference on Salt Lake research: Research opportunities and management challenges. Saline Systems, 1: 12.

Joly F., 2006. Les eaux sauvages des régions arides. Notions de base sur l'hydrologie des déserts. Géomorphologie : relief, processus, environnement, 4: 285-298.

Koopmanschap E, Hammami M, Klok C, 2011. Lac Ayata dans la Vallée d'Oued Righ. Quick-scan of options and preliminary recommendations for the Management of Lake Ayata in the Valley of Oued Righ. Wageningen: Centre for Development Innovation Wageningen UR edition.

Larafa M, 2004. Dynamique de la végétation halophile en milieu aride et semi-aride au niveau des chotts (Melghir, Merouane et Bendjelloul) et Oued Djeddi en fonction des conditions du milieu. Thèse. Doct. Sci. Nat. Opt. Biol. Vég. Univ. Annaba. pp 149.

Medouni, F.1996. Bilan et analyse des recensements hivernaux d'oiseaux d'eau en Algérie depuis 1971. Thèse d'ingénieur. INA, pp5-18.

Ozenda, 1982. Les végétaux dans la Biosphère pp. 310-311

Samraoui B., De Bélair G., 1997.The Guerbes- Senhadja wetlands: Part I. An overview. *Ecologie*, 28: 233-250.

Samraoui F, Alfarhan A H, Al-Rasheid K, Samraoui B. 2011. An appraisal of the status and distribution of water birds of Algeria: Indicators of global changes? *Ardeola*58. Pp 137-163.

Stone O. R., 1967. A desert glossary. *Earth- Science Reviews*, 3,pp 211-268.

Samraoui B., 2002. Branchiopoda (Ctenopoda and Anomopoda) and Copepoda from eastern Numidia, Algeria. *Hydrobiologia*, 470 : 173–179.

Seltzer P., 1946. Le climat de l'Algérie. Carbonel, Alger, pp 219.

Williams W D. 1998. Salinity as a determinant of the structure of biological communities in salt lakes. *Hydrobiologia*, 381,pp 191-201.

Williams W.D., 2001. Anthropogenic salinisation of inland waters. *Hydrobiologia*, 466:329-337.