

THESE

En vue de l'obtention du : **DOCTORAT**

Centre de recherche : *Biotechnologies végétales et microbiennes, Biodiversité et Environnement*

Structure de Recherche : *Equipe Botanique et Valorisation des Ressources Végétales et Fongiques(BOVAREF)*

Discipline : *Biologie*

Spécialité : *Écologie, Environnement et SIG*

Présentée et soutenue le : **09/03/2019** par :
OULD ABIDINE Mohamed Mahmoud

Le titre de la thèse

Contribution à l'étude des habitats du Parc National du Diawling et sa zone périphérique à partir des données spatiales (Sud-ouest de la Mauritanie)

JURY

Mr ARAHOU Moustapha	PES	Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat	Président
Mr EL ABOUDI Ahmed	PES	Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat	Encadrant
Mme RHAZI Laila	PES	Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat	Rapporteur/ Examineur
Mr SALIHI Ahmedou Vadel	PES	Faculté des Sciences Technique, Université de Nouakchott Al Aasrya	Rapporteur/ Examineur
Mr SOULE Ahmedou	PES	Ecole Normale Supérieure, Nouakchott	Co-encadrant
Mr DALLAHI Youssef	PA	Ecole Normale Supérieure, Université Cadi Ayyad, Marrakech	Invité

Année Universitaire : 2018/2019

Dédicace

Je dédie ce travail à :

A ma mère

Pour ton amour.....

Pour tous tes sacrifices.....

Pour tout l'enseignement que tu m'as transmis.....

En témoignage de mon éternelle reconnaissance.....

A mon père

Pour ton aide.....

Ton amour.....

Ta patience.....

A la mémoire de ma grand-mère

A toute ma famille et tous mes parents

Pour votre soutien et votre intérêt envers mon travail

A tous ceux qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce travail.

Remerciements

Je remercie avant tout ALLAH letout puissant qui m'a comblé de ses bienfaits et m'a donné assez de force pour achever ce travail et de venir à bout de cette formation.

Les travaux présentés dans cette thèse ont été effectués au laboratoire de Botanique et Valorisation des Ressources Végétales et Fongiques (BOUAREF) à la Faculté des Sciences de Rabat sous la direction du Professeur Ahmed EL ABOUDI.

J'éprouve énormément de gratitude à mon Directeur de thèse Professeur Ahmed EL ABOUDI, qui m'a accueilli au laboratoire de Botanique et Valorisation des Ressources Végétales et Fongiques (BOUAREF). Sa grande connaissance en cartographie, SIG et en télédétection spatiale m'a été très profitable. Les remarques et les conseils qu'il m'a prodigués m'ont été d'un intérêt substantiel.

Mes vifs remerciements sont adressés au Pr. Moustapha ARAHOU pour avoir accepté sans hésitation de présider mon jury de thèse.

Je remercie infiniment Pr. Laila RHAZI de la Faculté des Sciences de Rabat pour avoir accepté de faire partie du jury comme rapporteur de la thèse et pour y avoir consacré l'attention indispensable à l'amélioration du document.

Je remercie infiniment Pr. Ahmedou Vadel SALIHI de la Faculté des Sciences et Technique de Nouakchott pour avoir accepté de faire partie du jury comme rapporteur de la thèse. L'attention qu'il a consacré à la lecture du manuscrit ainsi que ses remarques et suggestions ont apporté une amélioration importante au document.

Mes remerciements vont également au Pr. Youssef DALLAHI pour sa disponibilité et ses orientations.

Mes sincères remerciements s'adressent à mes co-directeurs de thèse, Ahmedou SOULE Professeur à l'ENS de Nouakchott et l'expert Docteur Inejih Cheikh Abdellahi, qui ont beaucoup contribué aux améliorations apportées grâce à leurs multiples commentaires et orientations.

Ma dette de reconnaissance est particulièrement lourde envers Professeur Ahmed Ismail BOUMEDIANA, de l'ENS de Nouakchott, qui, en dépit de ses nombreux engagements et responsabilités scientifiques, a suivi avec un grand intérêt mon travail de recherche. J'ai toujours bénéficié de son appui moral, sa disponibilité, sa modestie, ses remarques pertinentes, ses fructueuses discussions et ses conseils qu'il m'a toujours prodigués.

J'adresse mes vifs remerciements et mon profond respect au Dr. Daf OULD SEHLA OULD DAF, Directeur du Parc National du Diawling, qui a accepté avec gentillesse de m'accorder des stages au Parc National du Diawling. C'est grâce à ces stages que j'ai eu mes premières connaissances dans l'identification du PND.

J'exprime ma profonde reconnaissance à Monsieur Abdellahi MAGREGA, Chef de Programmation au Parc National du Diawling et à Monsieur Zein El Abidine OULD SIDATY, Conservateur du Parc National du Diawling, Dr. Mohamed OULD AVELOITT chef de l'observatoire, pour leur aide matérielle, leur soutien moral, leur gentillesse et sympathie.

A toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail en fournissant des informations, des observations ou des critiques et particulièrement : Abdallahi Ould Mohamed ISSA, Boubacar Mamadou BA, Traoré FOUSSEYNOU, Saer Khayar DIAGNE, Mohamed Abdellahi Ould ELY, Brahim Ould Cheikh DAOUR, El Bekaye Ould Med ALI, Amar Ould KHYARHOUM, Moulaye Zeine Ould JIDEHLOU, Mouhameden OULD MBED, Cheikh Ould ALYOUNE Moustapha Ould SIDATY, Elemine Ould Mohamed, Yarg Ould ALYOUNE.

Je remercie également tous les habitants du Parc National du Diawling et de sa zone périphérique pour leur accueil irréprochable et leur gentillesse.

Je n'oublie pas au terme de ce travail le soutien amical de tous les chercheurs de notre laboratoire. A tous les amis qui m'ont soutenu : je pense à mes camarades de promotion DEUG, Maitrise et Master.

Enfin à toute ma famille qui m'a toujours soutenu et ce durant de très longues années.

A toutes les personnes que j'ai rencontrées, avec qui j'ai discuté, partagé le quotidien, je tiens à leur rendre hommage. Je sollicite l'indulgence de tous ceux que j'ai omis de nommer ici ou que ma mémoire ingrate a pu oublier, et dont les plus humbles services rendus ont été déterminants pour l'aboutissement de ce travail.

RESUME

Ce travail a été effectué sur le Parc National du Diawling (PND) et sa zone périphérique qui est considérée, à juste titre, comme un écosystème fragilisé, exposé aux phénomènes naturels (Désertification, sécheresse ...) et aussi par des actions anthropiques (Constriction de barrage anti-sel Diama, Surpâturage..). Le Parc National du Diawling a connu l'apparition d'une espèce aquatique envahissante *Typha australis*, qui a infligé des dégâts considérables sur les zones humides de la vallée du fleuve Sénégal. Le traitement des données numériques d'images Landsat ETM+, TM et OLI constituent un moyen efficace pour le suivi et l'évaluation des changements d'occupation des sols au sein du Parc. La détection, la surveillance et la cartographie des sols affectés par les salinités ont des défis majeurs à cause de l'implication de certains processus dynamiques.

Les principaux résultats mettent en évidence une phase de progression du couvert végétal du *Typha australis* qui est fortement accélérée durant la période 1984-2001. Tous ces changements ont eu un impact, encore difficile à évaluer, sur les écosystèmes aquatiques et les activités humaines. En 2014, *Typha australis* occupait 2967,30 ha, soit 70 % de la superficie totale du bassin du Gambar qui était couvert totalement par l'espèce *Sporobolus robustus* avant l'installation du barrage. Cependant, dans les autres bassins (Bell et Diawling) *Typha australis* a colonisé complètement le territoire, seule une partie centrale est toujours restée en eau.

Les résultats obtenus ont montré que le meilleur estimateur est obtenu par la méthode IDW qui fournit une bonne capacité de prédiction de la conductivité électrique, avec une erreur quadratique moyenne (RMSE) de 0.34 et un coefficient de corrélation (R) de 0.9.

Mots clés : *Typha australis*, écosystème, Interpolation, Télédétection Spatiale, Parc National du Diawling Mauritanie.

ABSTRACT

This work was carried out on the Diawling National Park (PND) and its peripheral zone which is considered, rightly, as a weakened ecosystem, exposed to natural phenomena (Desertification, drought ...) and also by anthropogenic actions (Constriction of Diama anti-salt dam, overgrazing ..). The Diawling National Park experienced the appearance of an invasive aquatic species *Typha australis*, which inflicted considerable damage on the wetlands of the Senegal River Valley. Landsat ETM+, TM and OLI digital image data processing is an effective means for monitoring and evaluating land use changes within the Park. The detection, monitoring and mapping of soils affected by salinities have major challenges because of the involvement of certain dynamic processes. Indeed, the spatial variability of eclectic conductivity (EC) is an important indicator of soil salinity. The interpolation techniques proposed by some geographic information analysis software tools are used to model results on a given surface.

The main results highlight a phase of growth of the vegetation cover of *Typha australis* which is greatly accelerated during the period 1984-2001. All of these changes have had an impact, still difficult to assess, on aquatic ecosystems and human activities. In 2014, *Typha australis* occupied 2967.30 ha, or 70% of the total area of the Gambar Basin which was completely covered by the species *Sporobolus robustus* before the installation of the dam. However, in the other basins (Bell and Diawling) *Typha australis* completely colonized the territory, only a central part has always remained in water.

The results obtained showed that the best estimator is obtained by the IDW method, which provides a good prediction of electrical conductivity, with a mean squared error (RMSE) of 0.34 and a correlation coefficient (R) of 0.9.

Keywords: *Typha australis*, Ecosystem, Interpolation, Spatial Remote Sensing, Diawling Mauritania National Park.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

OMVS	: Organisation de Mise en Valeur du fleuve Sénégal
PND	: Parc National du Diawling
AFC	: Analyse Factorielle des Correspondances
PAM	: Plantes Aromatiques et Médicinales
PMM	: Precipitation Measurement Mission
TRMM	: La Mission de mesure des précipitations tropicales
MODIS	: Spectrométrie d'imagerie à résolution modérée
SIG	: Système d'information géographique
IDW	: Pondération inverse de la distance
OK	: Krigeage Ordinaire
RBF	: Fonction à Base Radiale
LPI	: Interpolation polynomiale locale

Sommaire

Dédicace	I
Remerciements	II
Résumé	IV
LISTE DES ABRÉVIATIONS	VI
Liste des figures	IV
INTRODUCTION.....	1
I CHAPITRE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
I.1 Les zones humides de Mauritanie.....	4
I.1.1 Introduction.....	4
I.1.2 Les fonctions et les services rendus par les zones humides.....	6
I.1.3 Les sites classés RAMSAR	7
I.1.4 Principales menaces des zones humides En Mauritanie.....	7
I.2 Généralités sur <i>Typha</i>	8
I.2.1 Introduction.....	8
I.2.2 Description systématique.....	9
I.2.3 Distribution et habitat.....	10
I.2.4 Morphologie.....	11
I.2.5 Effet de salinité.....	11
I.2.6 Utilisation et possibilités devalorisation du <i>Typha</i>	11
I.2.7 Dégâts causés par le <i>Typha</i>	12
I.2.8 L'élimination et la lutte contre le <i>Typha</i>	13
I.3 Généralités sur la télédétection et le SIG.....	14
I.3.1 Introduction.....	14
I.3.2 Télédétection.....	14
I.3.3 Historique de la télédétection.....	15
I.3.4 Domaines d'application.....	17
I.3.5 Les capteurs.....	17
I.3.6 La source d'énergie.....	18
I.3.7 Longueur d'onde	19
I.3.8 Signatures spectrales des principales surfaces naturelles	20

I.3.9	Landsat	21
I.3.10	Analyse et traitement des images.....	22
I.3.11	Classification non-supervisée	22
I.3.12	Principales fonctions d'un SIG	23
I.3.13	Saisie des données	23
I.3.14	Stockage et gestion des données	24
I.3.15	Analyse des données	24
II	MATERIELS ET METHODES	25
II.1	Présentation générale de la zone d'étude	25
II.1.1	Aperçu sur l'histoire du bas delta du fleuve Sénégal	25
II.1.2	L'environnement géographique	26
i.	Introduction	26
ii.	Localisation	26
II.1.3	L'environnement géologique et géomorphologique	26
II.1.4	L'environnement climatique	29
i.	Climat	29
ii.	Pluviométrie	30
iii.	Températures, évaporation et humidité de l'air	31
iv.	Vents.....	31
II.1.5	Hydrologie du Bas-delta	31
i.	Le régime de l'avant-barrage	31
ii.	Le régime de l'après-barrage	32
II.1.6	Végétation	33
II.1.7	Faune	34
II.1.8	Population et Elevage.....	34
II.2	La méthode numérique par l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)	35
II.2.1	Introduction.....	35
II.2.2	Collecte des données.....	36
II.3	La méthode phytociologique sigmatiste mise au point par Braun-Blanquet.....	36
II.4	La méthode cartographique	38
II.4.1	Données utilisées	39
II.4.2	Traitement des images satellitaires et classification.....	40
II.4.1	Évaluation de l'exactitude	40

II.4.2	L'indice Kappa.....	42
II.5	Des enquêtes avec la population et les personnes ressources.....	42
II.6	Outils utilisés	42
II.6.1	Arcgis 10.3	43
II.6.2	Envi	43
II.6.3	Bioméco et Xlstat.....	43
II.6.4	GPS (Global Positioning System)	44
II.6.5	Appareil photos numérique	44
II.7	Modélisation de la salinité du sol.....	44
II.7.1	Échantillonnage et analyse de sol	44
II.7.2	Pondération inverse de la distance (IDW).....	44
II.7.3	Krigeage ordinaire (OK)	45
II.7.4	Fonction de base radiale (RBF).....	45
II.7.5	Interpolation polynomiale locale (LPI)	45
III	RESULTATS ET DISCUSSION	47
III.1	Caracterisation et cartographie des groupements végétaux.....	47
III.1.1	Groupement végétal des milieux dunaires	47
III.1.2	Groupement végétal des milieux inondable	49
III.1.3	Groupement végétal des milieux salés.....	50
III.1.4	Faciés de dégradation	52
III.2	Résultats de la méthode cartographique.....	52
III.3	Etude ethnobotanique de la zone d'étude	53
III.4	Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol	58
III.4.1	Résultats de l'evolution de l'occupation par le <i>Typha australis</i>	58
III.4.2	Résultats de la détection des changements.....	62
III.5	Modélisation de la salinité du sol.....	65
	CONCLUSION	71
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	74
	Annexes.....	84

Liste des figures

Figure 1: Répartition des zones humides en Mauritanie	5
Figure 2: Représentation du <i>Typha australis</i>	9
Figure 3: Fonctions de Télédétection (Lacombe et Sheeren, 2007)	15
Figure 4: Types de capteurs (CCT (http://www.rncan.gc.ca , 2007).....	18
Figure 5: Principe général de la télégestion (http://www.sigu7.jussieu.fr/Led/cies/definiti , sept. 2004)	19
Figure 6: Spectre électromagnétique (Moquet, 2003).	20
Figure 7: Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen (UVED, 2008).....	20
Figure 8: les satellites Landsat	21
Figure 9: Classification des différents types de satellites (Source : Gosselin, 2005)	23
Figure 10: Localisation du site d'étude (Source : PND)	28
Figure 12: Coupe schématique d'Ouest en Est représentant les différents milieux rencontrés au niveau du Bas-delta mauritanien. (Source : Gonzalez, 2004 – 2005 d'après Dia et al. 1995).....	29
Figure 11: Evolution du bas delta du fleuve Sénégal de 40 000 BP à 4000 BP : Source (D'après Monteillet, 1988 et Duvail, 2001).	29
Figure 13: Pluviométrie annuelle à Saint-Louis, à 25 km au Sud de la zone d'étude (Source : Hamerlynck et Duvail, 2003).	30
Figure 14: Schéma des infrastructures hydrauliques opérationnelles en 1999 (Source : Hamerlynck et Duvail, 2003).....	33
Figure 15: Démarche générale de l'acquisition et de la transposition des données géographiques réelles en données géographiques cartographiques	39
Figure 16: Approche méthodologique.....	41
Figure 17: groupements végétaux identifiés par l'AFC	48
Figure 18: Carte d'occupation des sol du Parc National du Diawling et sa zone pérepherique en 2016	52
Figure 19: Répartition des plantes médicinales selon les familles	53
Figure 20: Parties utilisées des plantes médicinales.....	54
Figure 21: Carte d'occupation du sol du Parc National du Diawling issue de la classification de l'image Landsat TM de 1984	59
Figure 22: Evolution de l'occupation des sols du Parc National du Diawling.....	60
Figure 23: Superficies occupées par les formations végétales depuis 1984.....	62
Figure 24: Formations végétales du PND et ses zones périphériques en 2016	64
Figure 25: Carte de répartition spatiale d'EC du sol (ms/cm) élaborée par les différentes méthodes...	69
Figure 26: Nuage des points représentant les valeurs mesurées en fonction des valeurs prédites par les différentes méthodes.....	70

Liste des Tableaux

Tableau 1: Caractéristiques chimiques du Typha (Source: PNEEB/TYPHA, 2014).....	10
Tableau 2: Domaines de la télédétection.....	17
Tableau 3: Echelle d'abondance-dominance de Braun-Blanquet	37
Tableau 4 : Caractéristiques et conditions des images prises pour l'étude.....	40
Tableau 5: Les valeurs propores.....	47
Tableau 6: Tableau phytociologique du groupement végétal steppique caractéristique des systèmes dunaires	48
Tableau 7:Tableau phytociologique du groupement végétal caractéristique du milieu inondable	50
Tableau 8: Tableau phytociologique du groupement végétal caractéristique des milieux salés et Sebkha	51
Tableau 9: Superficies des différents groupements.....	52
Tableau 10: Usage des plantes médicinales dans le Parc National du Diawling.....	55
Tableau 11: Superficies des différentes classes du PND (1984, 2001 et 2014).....	60
Tableau 12: Superficies des différentes formations végétales du PND 1984, 2001 et 2016.....	62
Tableau 13; Statistique descriptive des données utilisées	66
Tableau 14: Paramètres d'évaluation de la performance d'interpolation.....	67
Tableau 15: Noms vernaculaires des espèces végétales du PND.....	84
Tableau 16: Statut de quelques plantes médicinales du PND (Source : Ould Soulé, 2010).....	89
Tableau 17: Statut de quelques espèces ligneuses du PND (Source : Ould Soulé, 2010).....	89
Tableau 18: Principales caractéristiques des zones écologiques (Soulé, 2010)	92

INTRODUCTION

La Mauritanie a une superficie de 1 030 700 km² se situe en Afrique de l'Ouest de part et d'autre du Tropique du Cancer, au carrefour entre le Maghreb et l'Afrique occidentale. En effet, elle est caractérisée par un climat chaud et des ressources en eau très limitées, avec une pluviosité inférieure à 200 mm (Grenot, 1968). Dans la grande partie de son territoire, la pluviométrie ne dépasse pas les 100 mm par an (Correra, 2006).

Comme d'autres pays au grand Sahara, la Mauritanie a connu une dégradation des parcours durant la période 1961-1980. Les processus biologiques ont été fortement affectés par les déficits hydriques (Marcel et *al.*, 1975). Cependant, cette dégradation a considérablement appauvri l'état environnemental des terres agricoles et pastorales, etc.

En Mauritanie, les zones humides sont nombreuses et souvent mal connues (Van et *al.* 1990). Elles constituent un patrimoine naturel de grande valeur de par leurs multiples fonctions biologiques, écologiques et économiques. Parmi ces zones classées comme des aires protégées, nous retiendrons les Parcs Nationaux du Banc d'Arguin (PNBA) et le Parc National du Diawling (PND), qui se situe dans le bas-delta du fleuve Sénégal en rive droite. Malheureusement, ces zones humides sont menacées et fortement dégradées à cause d'une surexploitation des ressources naturelles et par les impacts des espèces envahissantes des systèmes aquatiques (et semi-aquatiques) qui réduisent la productivité des milieux tant sur le plan économique que sur le plan écologique (Duvail, 2001 ; Correra, 2006).

Pendant longtemps, le bas-delta vivait au rythme de la crue annuelle du fleuve Sénégal jusqu'à la construction du barrage antisel de Diama opérationnel depuis 1986 et qui a pour fonction d'empêcher la remontée du biseau salé marin et de diminuer le déficit alimentaire des années 70 par le développement de l'agriculture irriguée (Duvail, 2001). Depuis sa construction, ce barrage a fondamentalement modifié le régime des crues naturelles du bas delta. Le milieu biophysique a connu une forte dégradation des écosystèmes naturels et les activités socio-économiques qui en découlent ont pratiquement disparu.

Le barrage est resté quasiment fermé de 1985 à 1994 (phase de construction des infrastructures hydrauliques), suite à une absence de lâchers d'eau douce vers le bassin de N'Tiallakh. En effet, les zones sont devenues hyper salines et les anciennes plaines inondables ont eu tendance à évoluer en sebkhas (dépressions hypersalées) (Duvail, 2001). Dans cette perspective, le gouvernement mauritanien a créé le Parc National du Diawling en

1991 pour remédier aux dégâts et aux conséquences causées par la remontée des eaux salines. Ce parc, vu son importance, compte parmi les zones les plus riches en biodiversité (faune et flore) d'Afrique de l'Ouest. Il a été inscrit sur la liste des zones humides d'importance internationale (convention de RAMSAR) en août 1994. Cette zone humide du Bas Delta mauritanien était caractérisée par une interface entre l'eau douce venant du fleuve Sénégal et l'eau salée, liée à l'influence des marées.

Les images de télédétection acquises à moyenne résolution spatiale (MRS) sont aujourd'hui largement utilisées pour cartographier l'occupation et suivre les changements de la couverture terrestre (Ehlich et al, 1996 ; Reed et al, 1994). Parmi ces données MRS, Landsat, un des outils de choix pour traduire les importantes variations spatiales et temporelles des changements. Dans ce sens, notre contribution vise à démontrer l'apport des données de télédétection MRS/Landsat à la cartographie des changements d'occupation du sol du PND. L'étude couvre la période de 1984 à 2014 et faisant usage des données Landsat acquises en 1984, 2001 et 2014.

Par ailleurs, la salinisation des sols, un problème courant dans le delta du fleuve Sénégal (Ngom et *al.*, 2016), affecte négativement la croissance des plantes, la productivité agricole, la qualité du sol et de l'eau et augmente l'érosion du sol, en particulier dans les régions semi-arides et arides (Asfaw et *al.* 2018; Elgettafi et *al.* 2011; Elhag, 2016; Yao and Yang, 2010). Selon plusieurs études, le phénomène de salinisation peut entraîner une perte de terres arables avec une dégradation du sol (Gorji et *al.* 2017; Seyedmohammadi et *al.* 2016; Tripathi et *al.* 2015). La détection, la surveillance et la cartographie des sols affectés par les salinités ont des défis majeurs à cause de l'implication de certains processus dynamiques. En effet, la variabilité spatiale de la conductivité électrique (CE) est un indicateur important de la salinité du sol (Marko et *al.*, 2014; Seyedmohammadi et *al.*, 2016; Tripathi et *al.*, 2015). Les techniques d'interpolation proposées par certains logiciels d'analyse de l'information géographique permettent de modéliser des résultats sur une surface donnée. La précision des méthodes de modélisation spatiale des propriétés du sol a été analysée dans plusieurs études (Saito et *al.*, 2005; Seyedmohammadi et *al.*, 2016; Tripathi et *al.*, 2015; Varouchakis and Hristopulos, 2013). Les méthodes géostatistiques ont été utilisées dans plusieurs études, pour estimer la conductivité électrique (Bhunja et *al.*, 2018; Friedel, 2006; Khosravi et *al.*, 2016; Seyedmohammadi et *al.*, 2016; Tripathi et *al.*, 2015; Zehtabian et *al.*, 2012). Cependant, il est pertinent d'adopter une technique efficace pour prédire la distribution spatiale de certaines

caractéristiques du sol (Emadi and Baghernejad, 2014; Seyedmohammadi et *al.*, 2016; Tripathi et *al.*, 2015; Zarco-Perello and Simões, 2017).

L'objectif principal de cette étude est de mieux comprendre l'impact des perturbations naturelles et anthropiques actuelles ou passées sur les changements d'occupation et d'utilisation des sols du PND en utilisant les données de la télédétection spatiale. Pour cela, une combinaison d'imagerie satellites et des enquêtes de terrain a été réalisé pour mettre en évidence les effets des perturbations anthropiques et climatiques sur la structure et l'évolution des écosystèmes naturels du Parc.

Les objectifs spécifiques :

- Étudier les évolutions de *Typha australis* et analyser la progression des espaces conquis par cette plante ainsi que son impact sur la disparition de *Sporobolus robustus* qui est une importante source d'amélioration des conditions de vie des populations.
- Identification des différents groupements végétaux du Parc, leurs caractéristiques écologiques, les potentialités et la répartition spatiale de chaque groupement végétal. Afin de collecter des informations auprès des populations locales à propos de l'utilisation des plantes médicinales.
- Collecter des informations auprès des populations locales à propos de l'utilisation des plantes médicinales dans le Parc National du Diawling pour apporter une meilleure connaissance des services écosystémiques de ce parc.
- Étudier l'interpolation des bassins inondables du PND afin d'évaluer l'étendue spatiale des zones dégradées par la salinité du sol. En effet, quatre méthodes d'interpolation seront testées pour l'analyse spatiale : IDW, LPI, RBF et OK. De plus, environ 100 échantillons de sol ont été prélevés sur la surface du PND. Un système de positionnement global portable (GPS) a été utilisé pour enregistrer les coordonnées de chaque point de prélèvement.

I CHAPITRE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Les zones humides de Mauritanie

I.1.1 Introduction

La signification des zones humides regroupe toute une gamme d'écosystèmes de transition entre le milieu terrestre et le milieu aquatique. En fait, les zones humides côtières et continentales ont une importance beaucoup plus grande que leur simple superficie (Terca et al 1996). Considérées comme des écosystèmes essentiels à la protection de la biodiversité, ces zones humides sont aussi primordiales au bien-être de la communauté humaine.

La plupart des zones humides en Mauritanie se situent au sud et la zone côtière de la Mauritanie (Van et al. 1990) (Figure.1). Ces zones humides ont une grande importance, en tant qu'habitat pour de nombreux mammifères qui dépendent d'environnements. Ensuite, ces zones ont une importance vitale pour beaucoup d'oiseaux migrateurs venus d'Europe et d'Asie (plusieurs millions) (Duvail, 2001). Elle contient des habitats marins et côtiers variés (canyons, récifs coralliens, herbiers marins mangroves, delta et sebkhas), support d'une très grande diversité biologique. En Mauritanie, les zones humides sont nombreuses et souvent mal découvertes (Van et al. 1990). Certaines de ces zones humides sont protégées, d'autres non. Donc, les zones protégées sont les trois parcs nationaux :

- **Le Parc National du Banc d'Arguin (PNBA)** : Créé en 1976, il est situé de part et d'autre du 20e parallèle, le long du littoral atlantique mauritanien sur 180 km et couvre une superficie de 12 000 km², dont 5.400 maritimes, avec deux domaines (Correra, 2006) : maritime et terrestre, répartie de manière à peu près égale. Il est un site du Patrimoine Mondial de l'UNESCO depuis 1989. C'est un parc parmi la plus grande aire marine protégée d'Afrique de l'Ouest. Il est riche en oiseaux migrateurs qui viennent de l'Europe ((Diagana, 2005).
- **Parc Le Parc National d'Awleigatt** : Créé 2015, couvre une superficie de 1600 ha. Il est situé au niveau de la commune d'Awleigatt dans le département de Wad Naga au sein de la Wilaya du Trarza. L'idée de sa création est de la réintroduction des espèces locales de faune et de flore disparues ou menacées d'extinction (Duvail, 2001).

- **Parc National du Diawling** : a été créé en 1991, en vue de restaurer le milieu naturel, fortement affecté par la construction des barrages de Manantali et Diama sur le fleuve Sénégal.

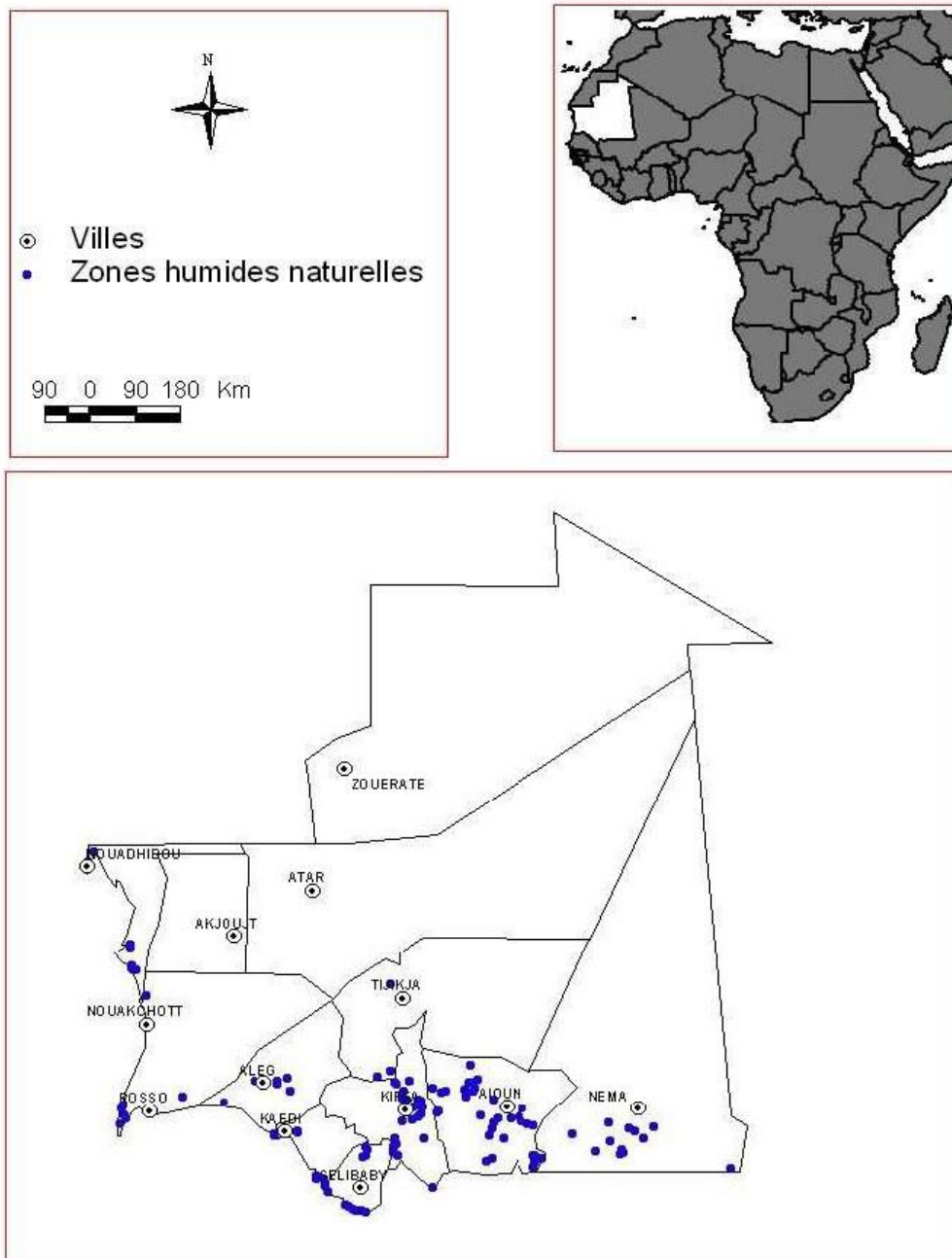


Figure 1: Répartition des zones humides en Mauritanie

I.1.2 Les fonctions et les services rendus par les zones humides

Les zones humides offrent un éventail de services et fonctions écologiques (Diane, 2014). Cependant, elles font partie des écosystèmes les plus riches de la planète (Pearce et Crivelli, 1994). Les fonctions écologiques sont considérées comme la capacité de l'écosystème à produire des services. Donc, elles jouent un grand rôle pour l'épanouissement de certaines activités socio-économiques en général pour les populations locales.

De ce fait, leur gestion doit être conçue de manière intégrée dans le cadre de projets de développement durable et d'aménagement raisonné. Cependant, ces milieux rendent des services en matière de produits :

- agricoles, constitués de cultures de rente et vivrières,
- pastoraux, en particulier le fourrage et l'eau servant à l'abreuvement pour le cheptel,
- piscicoles,
- de cueillette,
- orestiers
- de chasses constituées de gibiers terrestres et aquatiques,
- pour l'habitat,
- culturels.

Elles jouent un rôle primordial, Sur le plan de la conservation de la biodiversité, notamment en accueillant durant plusieurs mois de l'année des milliers d'oiseaux paléarctiques et afro-tropicaux. En outre, ces zones recèlent une faune sauvage et une flore très riches.

Sur le plan écologique, les zones humides contribuent à :

- l'équilibre écologique global
- la mise en place de microclimats
- la réduction des effets de la sécheresse et de la désertification
- l'alimentation des eaux souterraines
- l'accroissement des potentialités agro-sylvo-pastorales mais aussi halieutiques du pays
- la régulation des eaux de précipitations et la réduction des risques d'inondation
- l'épuration par réduction de la charge en nutriments des eaux polluées et donc amélioration de la qualité de l'eau
- **Les valeurs culturelles et touristiques** : patrimoine paysager et culturel, support d'activités de loisirs et touristiques
- **Les valeurs éducatives, scientifiques et patrimoniales** : support pédagogique.

- **diminution de l'érosion** en ralentissant les ruissellements et en dissipant les forces érosives;
- **développement économique des populations** par la production de matières premières telles que le sel et en tant que support pour des activités agricoles, sylvicoles, touristiques, etc
- **développement socio-culturel** en tant que support d'activités récréatives (découverte naturaliste, pêche, chasse) et en tant qu'élément paysager faisant partie du patrimoine historique, culturel et naturel.

I.1.3 Les sites classés RAMSAR

La désignation en sites Ramsar est une reconnaissance internationale, accordée aux milieux humides les plus importants du monde. Les principaux sites Ramsar en Mauritanie sont (SNCZHM, 2014) :

- **1982** : Le Parc National du Banc d'Arguin est classé site Ramsar ;
- **1994** : Le Parc National du Diawling est classé site Ramsar ;
- **2000** : Le Chat Tboul est classé site Ramsar
- **2009** : La Tamourt En Naaj est classée site Ramsar ;

I.1.4 Principales menaces des zones humides En Mauritanie

En ce moment, les zones humides en Mauritanie sont très menacées par les effets naturels et l'action humaine (anthropique). Aussi, elles sont également menacées par les espèces exotiques envahissantes végétales, comme *Typha australis*.

Les principales menaces sur les zones humides et les écosystèmes terrestres sont :

- **La sécheresse** : régnant dans la Mauritanie ces dernières décennies, la fragmentation des zones humides et des espaces naturels est la conséquence des défrichements des terres pour l'agriculture et de l'urbanisation qui constituent une vraie menace pour la durabilité des ressources naturelles.
- **La riziculture** : la riziculture dans la zone de Keur Massène crée un problème relatif à l'écoulement de l'eau de drainage, polluée de pesticides et d'engrais. Vu l'impossibilité

de la faire écouler dans la direction du fleuve, les zones du Parc National du Diawling et l'Aftout-es-Saheli, zone de reproduction des oiseaux.

- **Le surpâturage** : la concentration en masse des animaux aux alentours des puits et la pression de pâturage excessif par la densité du cheptel en transhumant vers le Sénégal pendant l'hivernage. Cependant, ces phénomènes sont souvent plus fréquents dans les deux parcs (Diawling et Banc d'Arguin)
- **Dégradation des mangroves** dans la zone du Parc National du Banc d'Arguin et dans le bas delta du fleuve Sénégal.
- **Construction du barrage de Diama** : Ces conséquences ont été rapidement mises en évidence, les phénomènes de salinisation, le phénomène inondation-exondation des plaines inondables n'existe plus naturellement et une absence de recharge de la nappe superficielle par les eaux douces dans l'ancienne plaine d'inondation.
- **Les activités socio-économiques des populations locales** : notamment la cueillette de *Sporobolus* pour la confection de nattes, la récolte de *Nymphaea lotus* ou des gousses d'*Acacia nilotica* qui servent pour le tannage des peaux.
- **Espèces exotiques envahissantes** : La retenue du barrage du Diama est marquée par la prolifération d'hydrophytes envahissantes, notamment *Typha australis*. Cette plante provoque des grands problèmes dans la zone, surtout au niveau des cultures irriguées car il bouche les canaux, causant ainsi des pertes économiques. Elle représente un risque avéré pour l'hygiène car il renforce le développement des maladies hydriques comme la bilharziose et le paludisme. En fin, elle a des effets négatifs sur la biodiversité et fragilise l'écosystème (Diawara, 1997 ; Duvail, 2001).

I.2 Généralités sur *Typha*

I.2.1 Introduction

Si les terres du Parc National du Diawling ont subi une dégradation pendant les années 70 causée par les phénomènes de la désertification et la sécheresse, il y a eu également, depuis les années 1980 (la mise en service du barrage anti-sel de Diama), la prolifération rapide de *Typha* constitue de graves conséquences environnementales et socio-économiques, qui sont aujourd'hui massivement présentes dans la zone du Parc National du Dawling (Abou, 1984; Diawara, 1997; Duvail, 2001; Duvail and Hamerlynck, 2003a).

I.2.2 Description systématique

Typha australis Schum. & Thonn de la famille des *Typhaceae*, est une plante monoïque des milieux humides, qui possède un rhizome (Abdou and Soukaradji, 2010), à des profondeurs d'eau ne dépassant pas 1,5m. C'est une plante pérenne pouvant atteindre 3,50 m, voire 4 m de hauteur. Le *Typha* se présente le plus souvent sous forme de touffes de tiges dressées, avec des feuilles de couleur vert sombre aux pointes effilées. La largeur des feuilles varie entre 1 et 2 cm tandis que leur longueur peut atteindre jusqu'à 3 m. Cette plante a l'habitude de constituer des lits denses de végétation (Figure 2) dans les environnements propices à sa propagation comme les milieux qui sont constamment humides ou dans les eaux saumâtres dont la salinité ne dépasse pas 2 % (PNEEB/TYPHA, 2014).

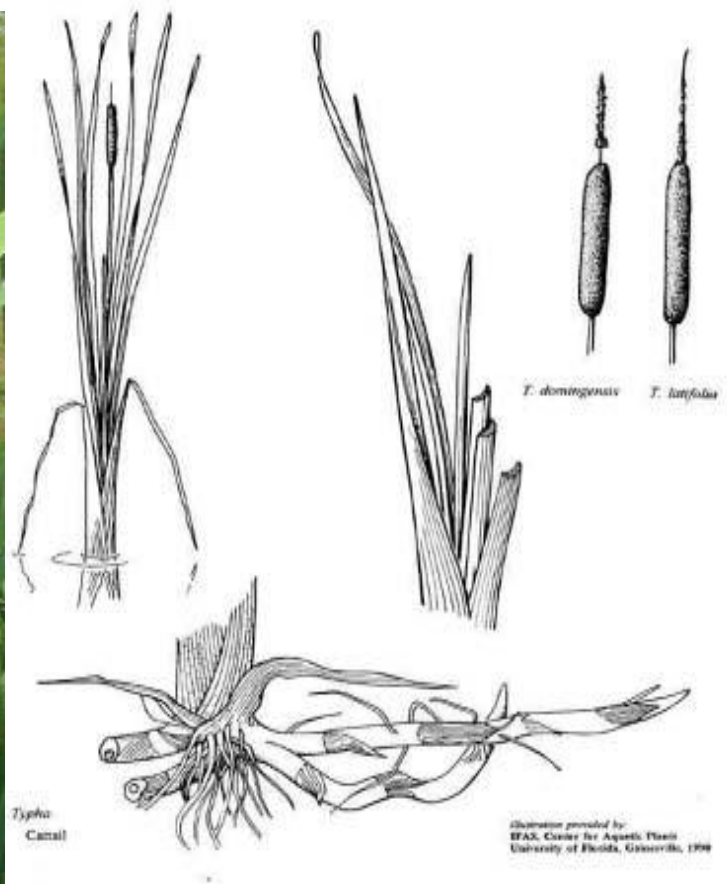


Figure 2: Représentation du *Typha australis*

Tableau 1: Caractéristiques chimiques du Typha (Source: PNEEB/TYPHA, 2014)

Racines	Selon Duke(1983) <i>T. latifolia</i>
Amidon	30%
Protéines	7,8%
Sucre brut	1%
Glucose	0,8%
Acide oxalique	0,7%
Feuilles	Selon Theuerkorn(2001)
Matières sèches	16-24%
Hydrates de carbone	38-48%
Protéines brutes	7-12%
Lipides	1,5-3,5%
Fibres brutes	30-39%
Matières minérales	6-18%
Pollen	Selon Duke(1983)
Hydrates de carbone	17,8%
Protéines brutes	19%
Lipides	1,1%

I.2.3 Distribution et habitat

C'est une espèce tropicale, subtropicale et méditerranéenne. En Afrique de l'Ouest, particulièrement en Mauritanie, au Sénégal, au Mali, au Niger ainsi qu'au Ghana, le Typha est bien présent, aussi en Afrique de l'Est et en Afrique australe et existe également en Inde (Matera and Malaisse, 1999). Le typha se rencontre en formation dense dans les zones humides ou saturés, les rivages des fleuves, des lacs, des barrages et bassins peu profonds ainsi que les canaux d'irrigation et les fossés aux abords des routes (Matera and Malaisse, 1999). Le typha peut pousser dans les eaux à faible taux de sodium. La reproduction est sexuée. Les joncs produisent des millions de graines ayant des colons soyeux reliés les uns

aux autres pour former une masse de matière floconneuse qui s'emporte facilement par le vent ou transporté par les oiseaux et autres animaux.

I.2.4 Morphologie

Typha australis est une plante à racines fibreuses et possédant des rhizomes latéraux produits à partir de la base des feuilles. Le rhizome peut donner une ou plusieurs tiges. Les feuilles sont capables de respirer en anaérobiose durant des périodes limitées. Le Typha est une plante photopériodique et sa floraison uniforme, s'effectue théoriquement pendant l'hivernage (Matera and Malaisse, 1999).

I.2.5 Effet de salinité

En bibliographie, nous n'avons pas trouvé de documents traitant en profondeur la biologie de *Typha australis*. Cependant, des études ont montré que *Typha angustifolia* tolère des salinités allant jusqu'à 2%. Au-delà de 2%, le *Typha angustifolia* meurt (Matera and Malaisse, 1999).

Il semblerait que le *Typha australis* soit une des espèces de Typha les plus tolérantes en matière de salinité des eaux et continuerait à se développer normalement dans des eaux dont la salinité dépasse le seuil de 2% (Matera and Malaisse, 1999). Ceci reste à prouver au niveau du Fleuve Sénégal où la salinité varie de 0 à 1.6% (source : OMVS), Selon Matera et Malaisse, 1999 depuis la construction du barrage de Diama, et reste donc inférieure à 2% (PNEEB/TYPHA, 2014).

I.2.6 Utilisation et possibilités de valorisation du Typha

Les caractéristiques chimiques du Typha sont avant tout des indications sur les aptitudes et possibilités d'utilisation de cette plante. Ces caractéristiques montrent que toutes les différentes parties de la plante sont utilisables.

Certaines espèces de Typha peuvent être comestibles et c'est le cas notamment du *Typha latifolia* en Amérique du Nord où les populations locales mangent une farine obtenue à partir de rhizomes séchés.

Le Typha peut être aussi utilisé lorsqu'on cherche à diminuer le niveau de l'eau (Matera and Malaisse, 1999) puisque son évapotranspiration serait très importante (supérieure à 1.5m par an dans les zones tropicales). Cette donnée doit évidemment être confirmée pour la zone du

bas delta. Les jeunes pousses sont consommées soit fraîches ou encore bouillies. Les jeunes épis peuvent servir de condiments pour une soupe très appréciée (Matera and Malaisse, 1999). Certains Typhas tels que *Typha angustifolia* sont soupçonnés de contenir des poisons (Matera and Malaisse, 1999). Il convient donc d'étudier le cas de *Typha australis* de plus près, compte tenu du fait que les troupeaux de bétail sont nombreux dans le delta du Fleuve Sénégal.

Des études ont été faites à travers le Monde, notamment en Afrique, aux USA et en Europe et montrent les différentes formes de lutte contre cette plante, ainsi que diverses possibilités de valorisation (Foth et al., 2012; Reinhard, 2002).

La synthèse de toutes les possibilités d'utilisation est la suivante :

- En artisanat pour la confection de nattes et clôtures;
- Comme aliment de bétail au stade jeune ;
- Pour l'alimentation humaine au stade de jeune pousse (comme les asperges)
- Pour faire du compost pour l'agriculture ;
- Pour la production d'énergie (charbon et biogaz);
- Pour filtrer les étendues d'eau ;
- Pour faire de la pâte à papier
- Production d'éthanol ;
- Pour faire des toitures de type induline;
- Pour l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments.

I.2.7 Dégâts causés par le *Typha*

L'un des problèmes essentiels que rencontre le PND est la prolifération du typha, qui entraîne un dysfonctionnement général des écosystèmes et une perte de la biodiversité locale (Duvail and Hamerlynck, 2003a). Cependant, sous la pression du typha, les activités telles que la pêche et la cueillette ne peuvent plus être réalisées (Taïbi et al., 2007). En effet, la prolifération rapide de *Typha* à partir du rhizome (Diagne et al., 2010) et sa résistance causent d'énormes soucis pour les populations avec des impacts écologiques, socioéconomiques et sanitaires. De plus, l'accès à l'eau est rendu difficile aux abords des cours d'eau, des parcelles cultivées qui sont envahies. L'expansion du typha pose d'énormes conséquences entre autres :

- le développement des maladies d'origine hydrique comme le paludisme, la dysenterie amibienne et la bilharziose ;

- la baisse de qualité de l'eau pour la consommation humaine ;
- la diminution de l'hydraulicité dans les axes d'irrigation et de drainage ;
- la création d'une zone de refuge pour les oiseaux granivores entraînant une pression accrue sur les cultures céréalières ;
- la perte d'accès facile à l'eau pour les populations et les animaux.

I.2.8 L'élimination et la lutte contre le *Typha*

La dormance de la graine de *Typha* peut durer entre 12 et 14 mois et celle-ci germe immédiatement si les conditions sont favorables.

Pour éliminer le *Typha*, il faut d'abord empêcher la production de graines, c'est-à-dire couper la plante avant la floraison. En outre, ces graines meurent si elles sont enfouies profondément ou si elles sont exposées au soleil pendant longtemps. Ces graines peuvent aussi être inefficaces car submergées sous une lame d'eau importante, elles peuvent germer en situation d'anaérobiose, mais la plantule qui naîtra ne pourra pas survivre car elle sera asphyxiée (Dieng, 2002)

Il faut savoir qu'en milieu aquatique, tant qu'il existe une partie de la plante qui émerge de l'eau, l'oxygène est transporté jusqu'aux rhizomes et la plante ne meurt pas.

Pour l'éliminer, il faut que la plante soit totalement submergée pendant 7 jours d'affilé, c'est-à-dire au de là des 5 jours de possibilité de réserve d'oxygène du rhizome (PNEEB/TYPHA, 2014).

La lutte contre le *typha* est extrêmement difficile. La plante est très bien adaptée aux circonstances locales. Plusieurs recherches ont été effectuées (ou sont en cours) avec pour le moment peu de résultats. Cependant, Selon Dieng, 2000 in (PNEEB/TYPHA, 2014), Il existe un moyen très simple pour éliminer le *Typha*, et il consiste à le submerger totalement pendant 7 jours d'affilée.

➤ **Lutte manuelle**

Le contrôle manuel est possible par le faucardage des plants.

➤ **Lutte mécanique**

La lutte mécanique par extraction consiste à enlever les plantes à l'aide de gros engins motorisés.

➤ **Lutte chimique**

Cette technique consiste à pulvériser les plants de typha avec des substances chimiques (herbicides) qui altèrent le métabolisme et la croissance des plantes, provoquant ainsi la mort (Abdou and Soukaradji, 2010).

I.3 Généralités sur la télédétection et le SIG

I.3.1 Introduction

Grâce à l'utilisation de satellites, nous avons également maintenant accès à la télédétection images sous forme numérique. Grâce aussi aux satellites, il est possible en effet de cartographier les couverts végétaux à des échelles de temps et d'espace très variées. Outils d'une meilleure compréhension des processus physiques et biologiques qui gouvernent la dynamique des écosystèmes végétaux, les données de télédétection peuvent aussi être utilisées pour s'informer sur les conséquences d'éventuels changements de la répartition des couverts végétaux, de façon à mettre en place des solutions de gestion plus durables (EL Zerey, 2014; Mariko, 2003).

I.3.2 Télédétection

La télédétection peut être définie comme tout processus par lequel des informations sont recueillies sur un objet, une zone ou un phénomène sans être en contact avec lui. Nos yeux sont un excellent exemple de dispositif de télédétection (Boulerie, 2008). Nous sommes en mesure de recueillir des informations sur notre environnement en mesurant la quantité et la nature de la réflexion de l'énergie de la lumière visible provenant d'une source externe (comme le soleil ou une ampoule) car elle reflète les objets dans notre champ de vision. Contrastez-le avec un thermomètre qui doit être en contact avec le phénomène qu'il mesure et n'est donc pas un dispositif de télédétection.

Compte tenu de cette définition assez générale, le terme de télédétection est désormais associé aux interactions entre les matériaux de surface de la terre et l'énergie électromagnétique. Cependant, une telle tentative à une définition plus spécifique devient difficile, car ce n'est pas toujours l'environnement naturel qui est détecté (par exemple, les applications de conservation d'art), le type d'énergie n'est pas toujours électromagnétique (par exemple le sonar) (Par

exemple infrarouge thermique) plutôt que des interactions avec l'énergie d'une source indépendante. Ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci. (*Commission interministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale, 1988*).

L'objectif principal de la télédétection est de cartographier les ressources terrestres (Figure.3) et d'en effectuer le suivi. Par rapport aux techniques de levée classiques, la télédétection par satellite est précise et rentable, et permet d'obtenir des données en temps utile. La télédétection est utilisée pour la gestion des ressources dans les domaines de la géomorphologie, urbanisme, le climat, la végétation, l'agriculture, etc. (Abdelbaki, 2012; EL Zerey, 2014; Mariko, 2003)

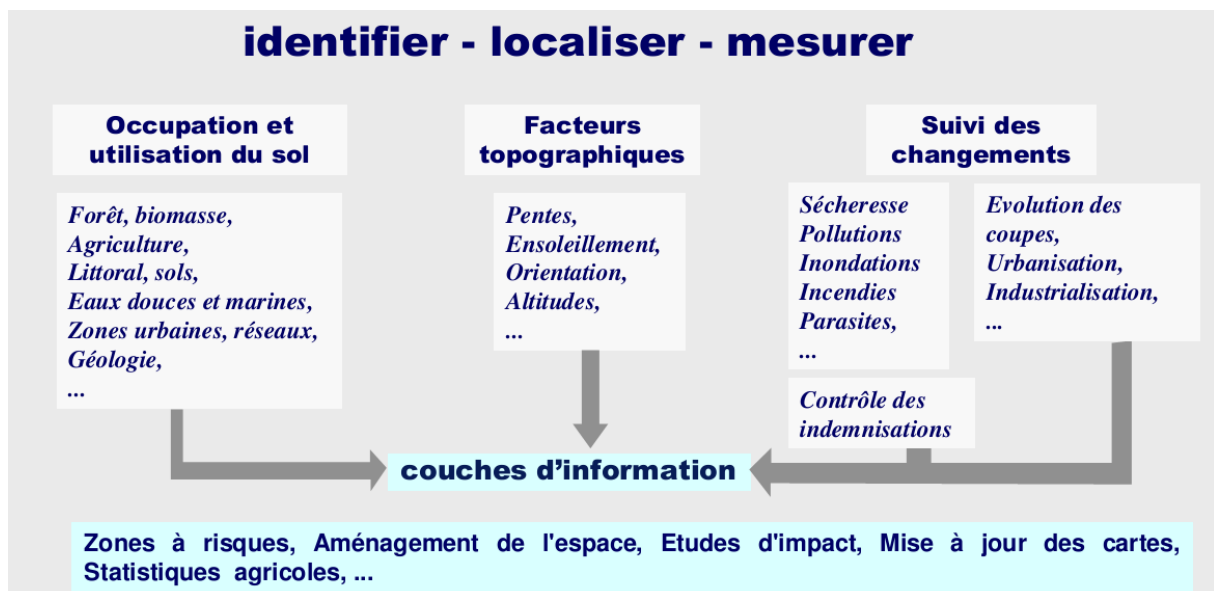


Figure 3: Fonctions de Télédétection (Lacombe et Sheeren, 2007)

I.3.3 Historique de la télédétection

1839 : Mise au point de la photographie (NIEPCE, DAGUERRE).

1844 : Premières photographies aériennes réalisées depuis un ballon par G.F. Tournachon dit NADAR.

1856 : Le même NADAR fait breveter l'installation d'une chambre photographique à bord de la nacelle d'un ballon pour la prise de photographies aériennes verticales.

1858-1898: LAUSSE DAT expérimente systématiquement l'utilisation de la photographie aérienne (ballon) en cartographie et met au point les méthodes de la photogrammétrie.

1909 : Premières photographies depuis un avion (WRIGHT).

1914-1918 : Utilisation intensive de la photographie aérienne comme moyen de reconnaissance pendant la 1^{ère} guerre mondiale.

1919 : Mise au point du premier restituteur stéréoscopique moderne (appareil de POIVILLIERS) pour l'utilisation des photographies aériennes en cartographie topographique.

1919-1939 : Essor de la photographie aérienne pour la cartographie et la prospection pétrolière (Moyen-Orient).

1940 : Apparition des premiers radars opérationnels en Grande-Bretagne (bataille d'Angleterre).

Depuis 1945: Développement continu de la photographie aérienne comme méthode opérationnelle de cartographie et de surveillance de l'environnement. Perfectionnement des appareils et des émulsions (infrarouge).

1957 : Lancement de Spoutnik 1, premier satellite artificiel.

-1960-1972 : Développement parallèle de la technique des satellites et des capteurs (mise au point des radiomètres et radars imageurs).

-1960 : Lancement de Tiros, premier satellite météorologique équipé de caméras de télévision pour le suivi des masses nuageuses.

-1964-69 : Embarquement d'appareils photographiques à bord d'engins spatiaux habités.

1972 : Lancement d'ERTS, rebaptisé Landsat 1, premier satellite spécialisé de télédétection des ressources terrestres.

-1974-78 : Mise en place, sous l'égide de l'Organisation Météorologique Mondiale, d'un réseau de satellites météorologiques géostationnaires.

-1978 : Lancement de Seasat, premier satellite spécialisé dans la télédétection de l'océan, équipé, entre autres capteurs, d'un radar.

1982 : Apparition de la haute résolution spatiale pour l'observation de la Terre : lancement de Landsat 4, équipé du radiomètre « Thematic Mapper » (Abdelbaki, 2012).

I.3.4 Domaines d'application

En effet, les applications de la télédétection se sont multipliées, dans de nombreux domaines de la météorologie, environnement, géologie, climatologie, de l'océanographie, de la cartographie ou de la géographie (Tableau 2).

Tableau 2: Domaines de la télédétection.

Domaines	Exemples d'applications
Géosciences	Géologie, pédologie, géomorphologie...
Météorologie	Vitesses des vents, précipitations, températures, détection des cyclones, orages...
Océanographie	Couleur de l'eau, turbidité, hauteur des vagues, courant marin, phytoplancton, pollution marine...
Foresterie	Couverture forestière, santé des forêts, impacts après ouragans...
Cadastre / Urbanisme	Couverture du sol, urbanisation, contrôle des autorisations (piscines, zones bâties...)
Agriculture	Identification des plantations, évaluation de la production...
Environnement	Etudes d'impact, détection des changements...
Biologie / Ecologie	Classification des types de végétaux, étude du corail, cartographie des habitats...
Télécommunication	Carte de répartition des antennes de téléphonie mobile...
Hydrologie	Comportements de l'eau à la surface du sol et dans le sol, cycle de l'eau...
Archéologie	Cartographie des sites archéologiques
Santé	Prévision des épidémies, relations avec les changements globaux...
Humanitaire	Pré-alerte de famines : réfugiés (camps)...
Catastrophes environnementales	Feux de forêts, éruptions volcaniques, sécheresses, marées noires...
Changements globaux	Désertification, variation climatiques, compositions de l'atmosphère...

Source : (UNIGE, 2004 ; Peduzzi, 2009).

I.3.5 Les capteurs

Les capteurs satellitaires ou aviotransportés employés pour le télédétection des ressources terrestres sont principalement de type à images (Figure.4), c'est-à-dire qu'ils produisent en sortie une image raster, sous forme donc de matrice numérique opportunément codifiée. Parmi les capteurs disponibles, les plus utilisés sont ceux multispectraux, ayant donc plusieurs canaux sensibles à longueurs d'onde différentes, pour chacun desquels est générée une image différente. Les capteurs pour télédétection se

divisent en deux classes principales: les capteurs actifs et les capteurs passifs (Mangolini, 1994).

Le capteur passif peut seulement percevoir l'énergie réfléchie lorsque le Soleil illumine la Terre. Il n'y a donc pas d'énergie solaire réfléchie le soir, tandis que l'énergie naturellement dégagée (l'infrarouge thermique) peut être perçue le jour ou la nuit.

Un capteur actif produit sa propre énergie pour illuminer la cible : il dégage un rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible. Le rayonnement réfléchi par la cible est alors perçu et mesuré par le capteur. Le capteur actif a l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison. Les capteurs actifs utilisent les longueurs d'onde qui ne sont pas produites en quantité suffisante par le Soleil telles que les hyperfréquences ou pour mieux contrôler la façon dont une cible est illuminée. Par contre, les capteurs actifs doivent produire une énorme quantité d'énergie pour bien illuminer une cible.



Figure 4: Types de capteurs (CCT (<http://www.rncan.gc.ca>, 2007))

I.3.6 La source d'énergie

Le principe de la télédétection repose sur l'acquisition de signaux de radiation ou de réflexion de l'objet, par exemple, l'utilisation des sols, par un capteur à distance installé sur différentes plates-formes (telles que l'avion, le satellite) en utilisant les bandes visibles, infrarouge et micro-onde. La perception et l'enregistrement du rayonnement naturel ou de la réflexion de l'énergie solaire des objets est appelée télédétection passive. La trace multibande visible et infrarouge de l'information de surface du sol en est un exemple. En revanche, lorsqu'il s'agit d'illuminer des objets précis puis de récolter l'information à partir de la réflexion de l'énergie

émise par la plate-forme elle-même, le procédé s'appelle télédétection active. Le radar en est un exemple. Le principe général de la télédétection est présenté sur la figure.5.

L'énergie solaire arrive sur le sol sous forme d'une série d'ondes électromagnétiques, telles que les rayons X, les rayons ultraviolets, les rayons visibles, les rayons infrarouges et les ondes radio. Cependant, du fait de l'absorption et de la dispersion atmosphérique subie par certaines longueurs d'onde de l'énergie solaire, toute l'énergie de rayonnement ne peut atteindre la surface de la terre et donc les radiations ainsi que l'intensité du signal émanant de la cible vers le capteur s'en trouvent atténuées. Ce phénomène s'appelle l'effet atmosphérique (Abdelbaki, 2012).

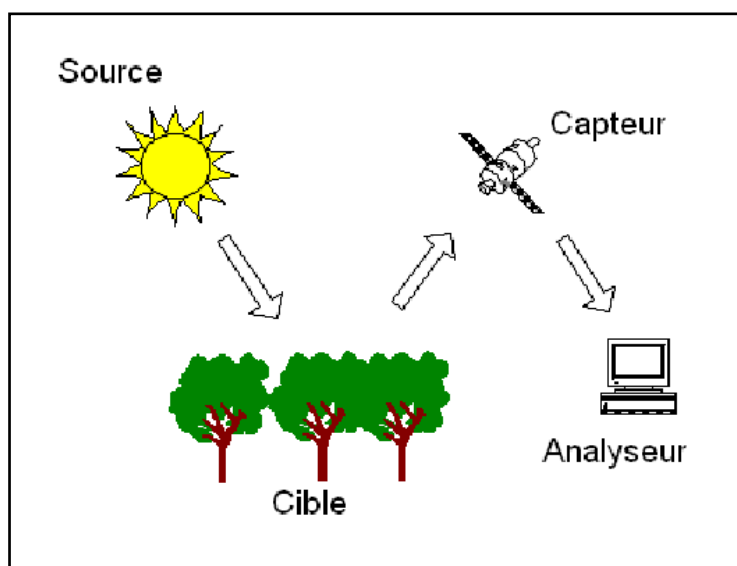


Figure 5: Principe général de la télégestion (<http://www.sigu7.jussieu.fr/Led/cies/definiti>, sept. 2004)

I.3.7 Longueur d'onde

Lorsque l'énergie électromagnétique frappe un matériau, trois types d'interaction peuvent se produire: réflexion, absorption et / ou transmission (Figure.6). Notre principale préoccupation est avec la partie réfléchie, car c'est généralement ce qui est retourné au système de capteurs.

La mesure exacte de la variation change et dépendra de la nature du matériau et de la mesure dans laquelle le spectre électromagnétique est pris. Par conséquent, si nous examinons la nature de cette composante réfléchie sur une gamme de longueurs d'onde, nous pouvons caractériser le résultat comme un modèle de réponse spectrale.

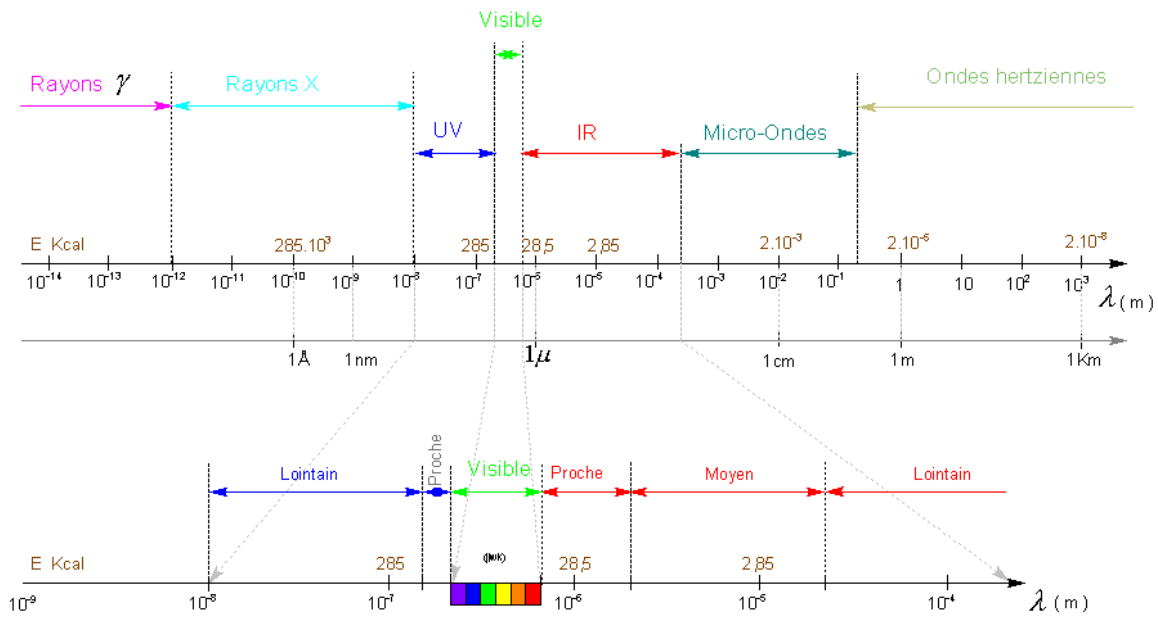


Figure 6: Spectre électromagnétique (Moquet, 2003).

I.3.8 Signatures spectrales des principales surfaces naturelles

En fonction de la nature et des caractéristiques intrinsèques des objets et des surfaces, le rayonnement incident interagira avec la cible. Chaque surface possède ainsi une signature spectrale (quantité d'énergie émise ou réfléchiée en fonction de la longueur d'onde) qui lui est propre et qui permettra son identification sur les images satellitaires. La figure 7 présente la signature spectrale des principales surfaces naturelles (Abdelbaki, 2012).

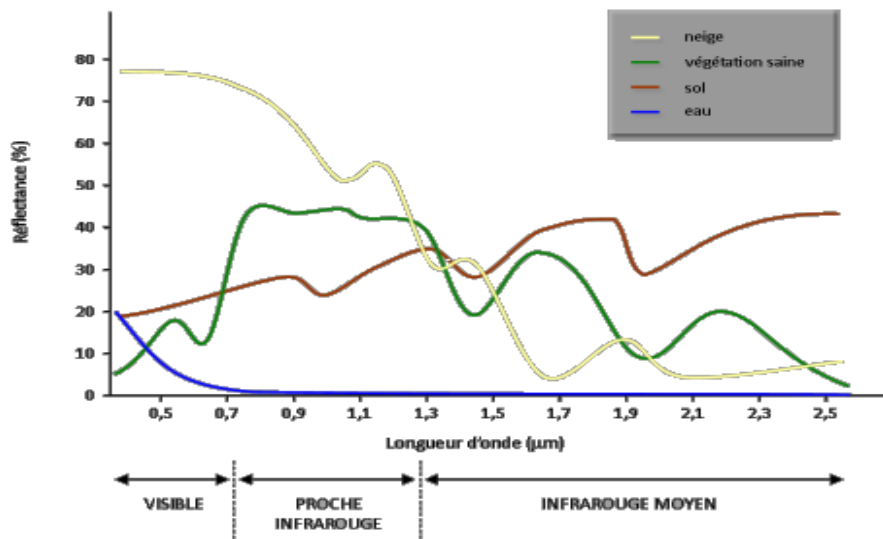


Figure 7: Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen (UVED, 2008).

I.3.9 Landsat

Il y a eu sept satellites LANDSAT, dont le premier a été lancé en 1972 (Figure 8). Le satellite LANDSAT 6 a été perdu lors du lancement. Cependant, à la date de rédaction de ce document, LANDSAT 5 est toujours opérationnel. LANDSAT 7 a été lancé en avril 1999.

LANDSAT possède deux capteurs multispectraux. Le premier est le Scanner Multi-Spectral (MSS) qui acquiert des images dans quatre bandes spectrales: bleu, vert, rouge et infrarouge proche. Le second est le Mapper thématique (TM) qui rassemble sept bandes: Bleu, vert, rouge, proche infrarouge, deux infrarouges moyens et un infrarouge thermique. Le MSS a une résolution spatiale de 80 mètres, tandis que celui du TM est de 30 mètres (Thomas et al., 2002). Les deux capteurs photographient une bande de 185 km de large, passant chaque jour à 9 h 45, heure locale, et retour tous les 16 jours. Avec LANDSAT 7 (Bartolucci et al., 1988), le support des images TM doit être poursuivi avec l'ajout d'une bande panchromatique co-enregistrée de 15 m.

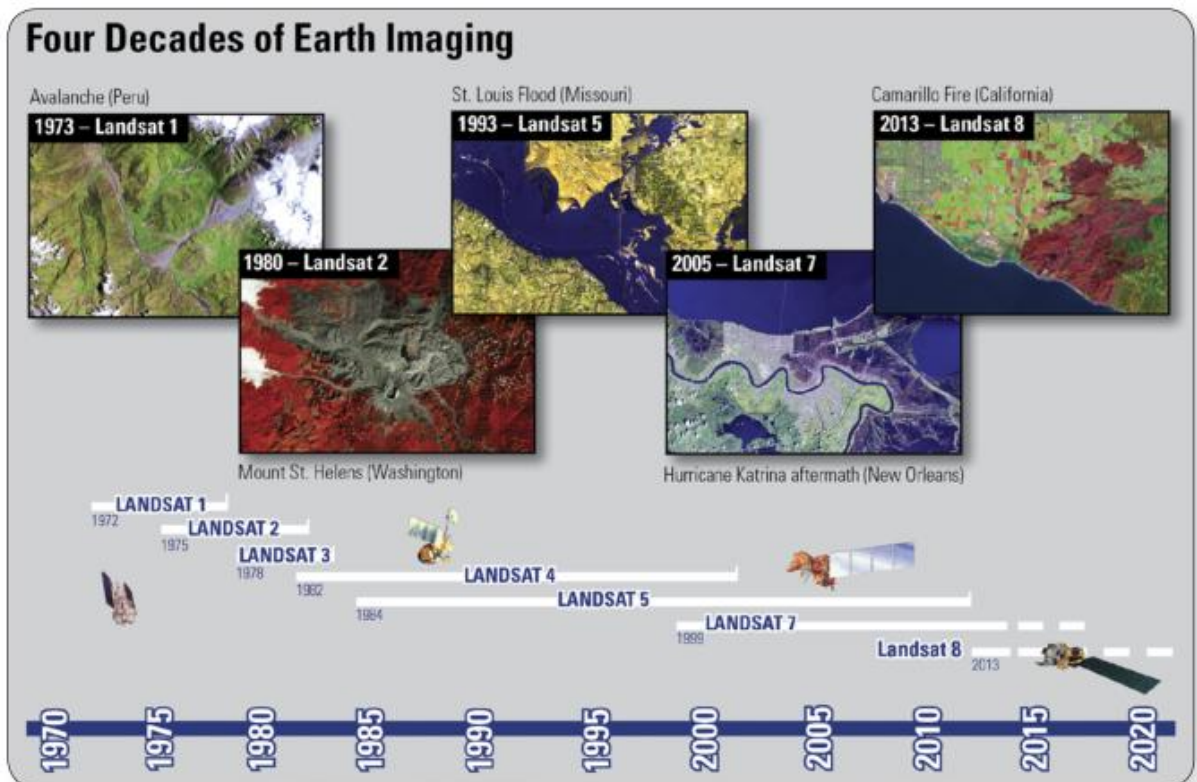


Figure 8: les satellites Landsat

I.3.10 Analyse et traitement des images

Les images acquises par les capteurs éloignés, tant montés sur plates-formes satellitaires que aériens, sont principalement sujets à des distorsions de type radiométrique et géométrique. La distorsion radiométrique dérive des altérations dues à la présence de l'atmosphère et à d'éventuelles erreurs instrumentales, qui altèrent la mesure de la radiation électromagnétique réfléchiée par la surface terrestre.

Pour tirer avantage des données de télédétection, il faut être en mesure d'extraire de l'information significative de l'imagerie. L'interprétation et l'analyse de l'imagerie de télédétection ont pour but d'identifier et de mesurer différentes cibles dans une image pour pouvoir en extraire l'information utile. En télédétection, une cible est définie comme étant toute structure ou objet observable dans une image.

Les cibles peuvent être des structures naturelles ou artificielles, faites de divers points, lignes ou surfaces. Elles peuvent être définies en fonction de la manière dont elles diffusent le rayonnement. L'intensité du rayonnement est mesurée et enregistrée par un capteur pour être ensuite transformée en un produit utilisable tel qu'une photo aérienne ou une image satellite. Il existe aujourd'hui des multitudes de satellites qui fournissent des images à différentes résolutions et qui sont sollicités selon les besoins, les différents types de satellites sont décrits sur la figure 9.

I.3.11 Classification non-supervisée

. Dans cette approche, on laisse l'ordinateur analyser l'ensemble des signatures spectrales de tous les pixels de l'image, et déterminer des groupements naturels, c'est-à-dire regrouper les pixels sur base de signatures spectrales similaires.

Le principal avantage de cette méthode est d'être très rapide, puisqu'elle ne requiert pratiquement pas d'intervention de l'utilisateur. Son principal défaut est de se baser exclusivement sur les différences spectrales, qui ne correspondent pas toujours à des catégories naturelles d'occupation du sol. Par exemple, il est fréquent d'obtenir par classification non supervisée plusieurs classes correspondant à de la végétation herbacée, mais une seule classe regroupant tout le tissu urbain, la voirie et les champs labourés, ce qui ne correspond normalement guère aux besoins des interprètes.





Images		Résolution / Échelle	altitude (km)	Exemples de satellites	Utilisation
Hémisphère complète	Vue planétaire		2.5km à 10km / 1: 80 000 000	36 000 *Météosat *GEOS *Kosmos 1940	*Météorologie *Climatologie *Océanographie
	Vue continentale		1km à 2km / 1: 30 000 000	1500 à 800 *Meteor *NOAA 15	*Météorologie *Étude des ressources naturelles
Champ de vue limité	Vue régionale		10m à 120m / 1: 100 000 à 1:50 000	900 à 250 *MOS *Landsat *JERS *Almaz *ERS *Radarsat *SPOT *Envisat	*Étude des ressources naturelles *Cartographie des ressources naturelles
	Vue locale		0.3m à 4m / 1: 20 000 à ---	800 à 150 *Yantar *Kh11 *Helios 1A-B *Ikonos *Quickbird	*Espionnage *Cartographie urbaine

Figure 9: Classification des différents types de satellites (Source : Gosselin, 2005)

I.3.12 Principales fonctions d'un SIG

Les fonctions des SIG sont nombreuses et variées. Les principales d'entre-elles sont les suivantes :

I.3.13 Saisie des données

L'information provenant de différentes sources (enquêtes, simulations, observations, etc.) est saisie dans des tables. Pour les données spatiales, la saisie peut être soit manuelle, en

introduisant les coordonnées (x, y, z) des objets spatiaux, soit à l'aide d'une tablette de numérisation ou directement sur écran d'un micro-ordinateur assisté par un logiciel SIG.

I.3.14 Stockage et gestion des données

Cette tâche consiste à gérer un ensemble large de données tout en assurant l'intégrité, la mise à jour et la sauvegarde. Ces tâches sont assurées en arrière-plan par le système de gestion de la base de données (SGBD) qui doit être adapté à l'usage et à la taille de la base de données. Le SGBD du SIG est le logiciel servant à stocker les données en mémoire d'une manière structurée en vue de leur gestion et manipulation par un ou plusieurs utilisateurs.

I.3.15 Analyse des données

Dans le cas de l'analyse thématique, il s'agit de répondre aux requêtes des utilisateurs en utilisant les valeurs des attributs. En matière de gestion des ressources naturelles, cela permet d'élaborer des cartes thématiques, de superposer et de croiser des couches en vue de synthétiser l'information dans un même endroit.

Dans le cas de l'analyse spatiale, qui est offerte par l'utilisation d'un SIG, comparé aux autres systèmes de cartographie automatique, il y a appel aux relations entre les objets spatiaux, à savoir les intersections, les contiguïtés et l'inclusion pour répondre aux requêtes spatiales des utilisateurs. La modélisation permet au SIG d'élaborer un modèle descriptif qui représente la situation actuelle en se servant des données stockées dans les bases de données numériques, ou d'un modèle prédictif qui va permettre de simuler le comportement du système suite à une introduction d'une nouvelle variable ou un changement de sa grandeur.

II MATERIELS ET METHODES

II.1 Présentation générale de la zone d'étude

II.1.1 Aperçu sur l'histoire du bas delta du fleuve Sénégal

Le fleuve Sénégal, long de 1 800 km avec un bassin versant qui couvre approximativement une superficie de 280 000 Km², est compris entre les latitudes 10°20' et 17°30'N(Kane, 1997). Il arrose quatre pays : la Guinée, le Mali, la Mauritanie et le Sénégal. Il est alimenté par trois affluents principaux : le Bafing, le Bakoye et la Falamé(Kankou, 2004). Cependant au début du siècle, on estimait que plus de la moitié des zones humides de la planète a disparu (Kane, 1997; Mietton and Humbert, 1994). Au cours du siècle passé, les estuaires et deltas des grands fleuves sont considérés parmi les milieux les plus productifs de la planète(Barbier, 1994; Costanza et al., 1997).

Un rapport récent de la Commission Mondiale des Barrages à partir d'une étude approfondie de 125 grands barrages de part le monde, a estimé que la modification du régime d'écoulement liée à la construction de grands barrages a fortement perturbé le fonctionnement des écosystèmes fluviaux, estuariens et marins situés en aval et est à l'origine d'une perte de biodiversité (World Commission on Dams, 2000).

Le bas delta mauritanien se situe au sud-ouest de la Mauritanie sur la rive droite du fleuve Sénégal, les sols de cette grande unité naturelle ont subi une évolution régressive avec leur salinisation et l'érosion éolienne (Mohamedou, 1998).La construction du barrage anti-sel de Diama, opérationnel depuis 1986, a pour fonction d'empêcher la remontée du biseau salé marin.

L'écosystème naturel du bas delta mauritanien a connu une détérioration de l'environnement causée par de longues périodes de sécheresse et la construction du barrage de Diama. Cette modification s'est manifestée par la fragilisation des habitats du Bas-Delta, la disparition progressive de la grande faune terrestre, le recul des formations de mangroves et ainsi sur la santé des habitants de la vallée et du Delta (Duvail et al., 2002; Duvail and Hamerlynck, 2003a; Varis and Lahtela, 2002).

Vue l'importance écologique du delta mauritanien et pour remédier à ces conséquences dramatiques, l'État mauritanien et la communauté internationale (O.M.V.S) ont décidé la création du Parc National du Diawling en 1991. Il a été inscrit sur les listes des zones humides d'importance internationale (convention de RAMSAR) en août 1994. La vocation de ce Parc

est de concilier la protection de l'environnement et le développement socio-économique des collectivités locales.

II.1.2 L'environnement géographique

i. Introduction

La Mauritanie se situe en Afrique de l'Ouest, elle couvre une superficie de 1030700 km². Elle est au carrefour entre le Maroc et l'Afrique occidentale, entre les 15^{ème} et 17^{ème} parallèles au Nord et le 5^{ème} et 17^{ème} méridiens. Le Nord du pays est soumis à un climat saharien caractérisé par de très fortes températures et de faibles précipitations (moins de 100 mm de pluie par an). Le Sud du pays est caractérisé par un climat sahélien ayant une pluviométrie supérieure à 300 mm. La zone sahélo-saharienne (au centre) est délimitée par les isohyètes 100 et 200 mm (Nouaceur et al., 2013). Durant les années 1970 et 1980, la sécheresse a très durement frappé le pays, a considérablement appauvri l'état environnemental de ces régions sahéliennes. En revanche, les zones humides du Bas Delta sont en tête des écosystèmes les plus menacés et continuent à régresser de façon spectaculaire.

ii. Localisation

Parmi toutes ces zones humides, le parc national du Diawling et sa zone périphérique possèdent une importante biodiversité. Il fût créé par le décret de 1991, il est un établissement public à caractère administratif, classé comme zone humide d'importance internationale (site de Ramsar) en 1994, avec une superficie de 16.000 ha. Sa zone périphérique qui ne bénéficie pas d'un statut d'aire protégée et dont il ne peut être dissocié couvre une superficie d'environ 52 000 ha. Il est constitué de 3 bassins :

- Le bassin du Gambar (environ 4500 ha)
- Le bassin de Bell (environ 3500 à 4000 ha)
- Le Bassin du Diawling-Tichilitt (environ 8000 ha)

II.1.3 L'environnement géologique et géomorphologique

La géomorphologie du delta a fait l'objet de nombreuses études (André and Chenaival, 2007; Dubois and Tricart, 1954; Guilcher and Nicolas, 1954). Ces études y ont décrit deux paysages

géomorphologiques : les dépôts alluviaux de texture argileuse et limono-argileuse et les reliefs sablonneux.

Le parc est constitué du Nord au Sud des bassins du Diawling, du Bell et d'une partie de la retenue d'eau de Diama, le bassin du Gambar. L'ensemble s'inscrit entre la dune côtière au Nord-Ouest, les dunes de Birette et Ziré ainsi que la digue les reliant, à l'Ouest et les rives du fleuve Sénégal à l'Est. La zone d'étude, à savoir le bassin du Bell, est encadrée par la dune de Ziré au nord-ouest, la digue allant de Ziré à Birette au sud, la digue longeant le fleuve Sénégal à l'est et la digue joignant la Dune de Ziré au fleuve Sénégal au Nord (voir figure 12).

Le Parc National du Diawling avec sa zone périphérique, appartient au bas delta du fleuve Sénégal, qui sont une partie intégrante du bassin sénégal-mauritanien. Il est constitué de :

- 3 massifs dunaires : dune de Ziré, dune de Birette, cordon dunaire littoral ;
- 8 bassins naturels: Aftout, Chat Tboul, N'Diader, Diawling-Tichilitt, Bell, Gambar, N'Thiallakh et Gueyloubou. Le bas delta a subi au cours de son histoire géologique d'importantes subsidences et des régressions multiples.

Les plus anciens et les plus intérieurs de ces terrains sont constitués par un ancien cordon de dunes mortes et rubéfiées.

La mise en place de ce système dunaire est rapportée à une période aride qui s'est installée à partir de 20.000 BP (Figure 13), c'est à dire au début de l'Ogolien(André and Chenaival, 2007).

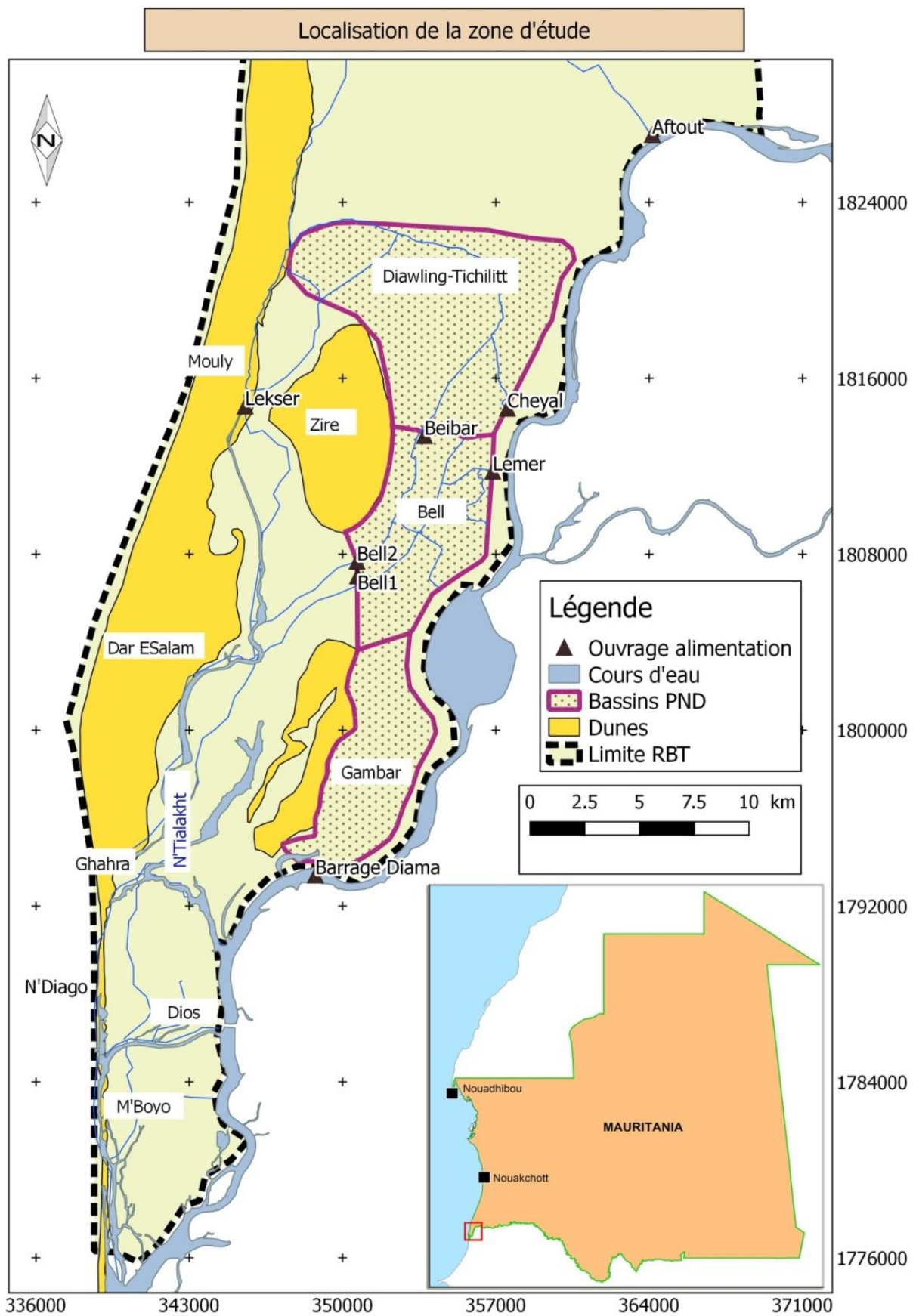


Figure 10: Localisation du site d'étude (Source : PND)

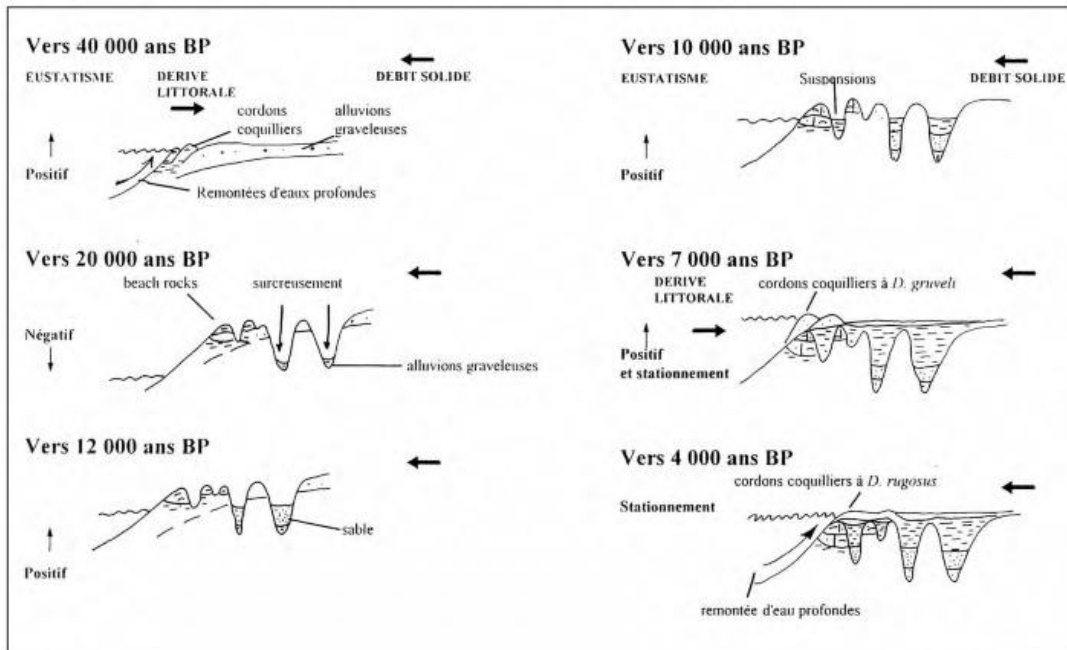


Figure 11: Evolution du bas delta du fleuve Sénégal de 40 000 BP à 4000 BP : Source (D'après Monteillet, 1988 et Duvail, 2001).

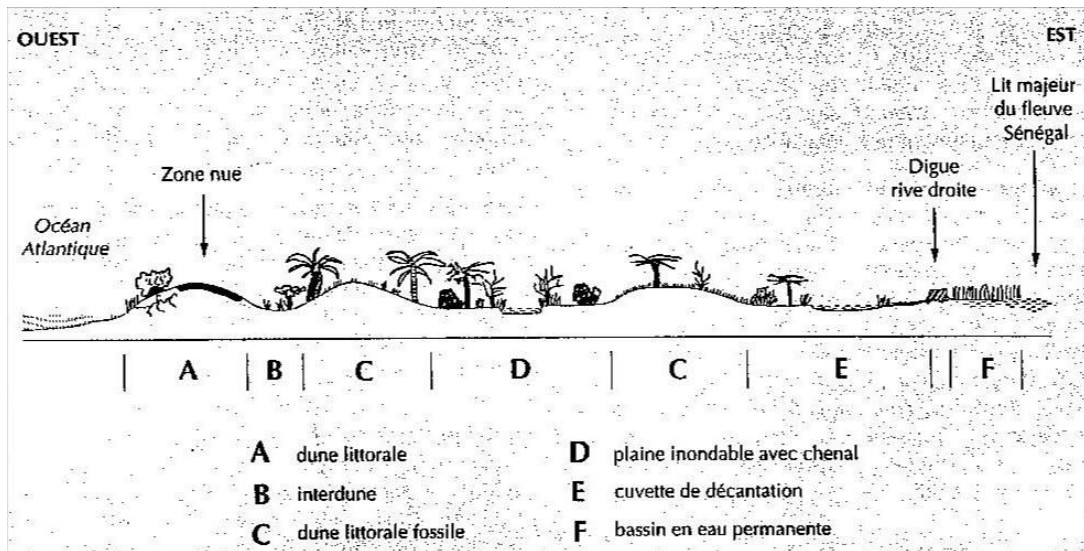


Figure 12: Coupe schématique d'Ouest en Est représentant les différents milieux rencontrés au niveau du Bas-delta mauritanien. (Source : Gonzalez, 2004 – 2005 d'après Dia et al. 1995).

II.1.4 L'environnement climatique

i. Climat

Le delta du fleuve Sénégal fait partie du Sahel, se trouve en zone sub-sahélienne à faible pluviométrie, son climat est de type sahélo-saharien (Kankou, 2004) et comprend généralement trois saisons dans l'année :

- L'hivernage (saison des pluies) de la mi-juin à la mi-octobre ;
- La saison sèche froide de la mi-octobre à la mi-février ;

- La saison sèche chaude de la mi-février à la mi-juin.

ii. Pluviométrie

Le Parc National du Diawling est caractérisé par un climat de type sahélien, les précipitations mensuelles atteignent partout un maximum dans l'année entre mi-juillet et mi-octobre (Duvail and Hamerlynck, 2003a).

Une Station météorologique de Bouhajra (siège du PND) a été mise en place en 1997. Cependant, la moyenne pluviométrique retenue officiellement à cette station est de 242,83 mm/an avec un maximum de 402 mm enregistré en 1994 et un minimum de 150 mm enregistré en 1996 (Soulé, 2010). Ainsi en 2010, la station de Bouhajra a enregistré 556 mm de pluie contre 163 mm en 2011.

Le PND et sa zone périphérique ont deux indications majeures qui résument ses données climatiques: son appartenance à la zone sahélienne et la proximité de l'océan. La première est synonyme de pluviométrie faible et irrégulière et la seconde se traduit par des températures modérées et une humidité relativement forte (Mohamed, 2014).

Le deuxième poste météorologique encadrant la zone d'étude est la station météorologique de l'aéroport de Saint-Louis, distante de 25 kilomètres environ, existe depuis 1873. Après une période de 1931 à 1960, la pluviométrie relativement élevée, avec en moyenne 370 mm par an à Saint-Louis (Figure 15), Une saison des pluies qui s'étalait de juillet à octobre. On observe, depuis quelques décennies, une diminution progressive et globale de la pluviométrie qui pourrait être mise en corrélation avec le réchauffement planétaire (Duvail, 2003 in André 2007).

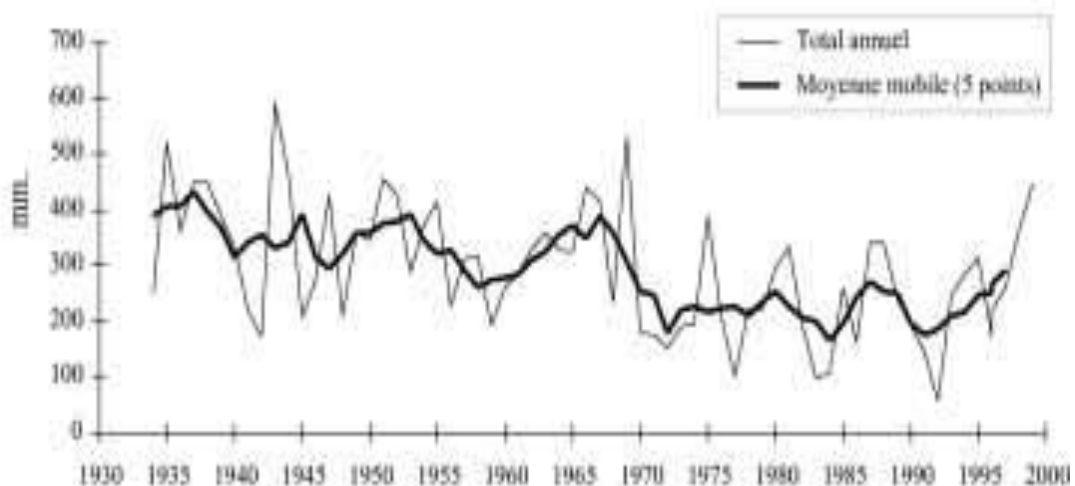


Figure 13: Pluviométrie annuelle à Saint-Louis, à 25 km au Sud de la zone d'étude (Source : Hamerlynck et Duvail, 2003).

iii. Températures, évaporation et humidité de l'air

En général, les températures de l'air sont très élevées, sont caractérisées par une large fluctuation entre le jour et la nuit accentuée à mesure que l'on pénètre à l'intérieur du continent. Cependant, la température moyenne varie de 25°C à proximité du littoral, à 30°C dans les terres. Les températures minimales sont généralement relevées durant les mois de décembre et janvier, alors que les maximales au cours des mois de mai et juin. Les conditions climatiques impliquent une forte évaporation, en effet, les précipitations sont environ dix fois inférieures à l'évaporation annuelle. Cependant, (Loyer, 1989) estime l'évapotranspiration potentielle (ETP) dans le Bas-delta à 2400 mm par an. Aussi, le déficit hydrique est très élevé au cours de la saison sèche, avec une demande évaporatoire variant de 6 à 7 mm/jour. Concernant l'humidité de l'air, celle-ci est généralement très élevée et dépasse 90 % durant l'hivernage, du fait de la proximité de l'océan et de la fréquence des rosées matinales.

iv. Vents

La position du Delta entre l'Océan atlantique à l'Ouest et le continent à l'Est est à l'origine de nuances climatiques importantes. En revanche, les vents sont de directions et de vitesses différentes selon les saisons de l'année. Toutefois, la direction dominante de ces vents est principalement du nord ou nord-est vers le sud ou le sud-est (Kane, 1985).

Au PND, le vent est imposé par l'influence alizé continental et Harmattan pendant la saison sèche avec des vitesses comprises entre 8 et 14 m.s⁻¹. Au cours de la saison des pluies, le vent de mousson souffle sur l'ensemble du delta avec des vents ouest et sud-ouest qui circulent à faible vitesse 3 à 5 m.s⁻¹. (Michel et al., 1988) notaient une intensification des vents pendant la période de 1980 à 1990.

II.1.5 Hydrologie du Bas-delta

i. Le régime de l'avant-barrage

Avant la construction des deux barrages Diama (anti-sel), Manantalli (hydroélectrique), le fleuve Sénégal est caractérisé par une alternance de plaines et de bassins inondables suivant un régime d'écoulement permanent de massif du Fouta Djallon en Guinée, région montagneuse et pluvieuse jusqu'à l'embouchure de Saint-Louis au Sénégal, la région la plus

sèche et inonde, avec des débits pouvant atteindre $5000\text{m}^3/\text{s}$. Les étiages sont très prononcés et les débits peuvent descendre en-dessous de $5\text{m}^3/\text{s}$ (Reizer, 1974).

La turbidité en période de crue est extrêmement élevée et la charge solide peut dépasser 200mg/L , par contre pendant les étiages, la charge solide chute et atteint 10 mg/L environ (Kane, 1985).

Ainsi, la pluviométrie du Fouta Djallon conditionne le régime hydrologique du Bas-delta car la pluviométrie de la zone est négligeable en comparaison.

Dans le Bas Delta, les terres sont en général inondées pendant l'hivernage par la crue (entre juin-juillet et octobre-novembre) du fleuve et asséchées en grande partie pendant la période de décrue (Duvail, 2001; Kane and Barousseau, 1993; Kankou, 2004), étaient, jusque dans les années 60, reconnues parmi les plus riches de l'Afrique de l'Ouest.

Cependant, dans les années 70, les écosystèmes de cette grande unité naturelle que constitue le bas delta, comme tout le Sahel, a connu des déficits pluviométriques qui ont marqué et fragilisé l'équilibre écologique.

ii. Le régime de l'après-barrage

La sécheresse depuis les années 70 jusqu'aux années 80, a conduit à une grave crise alimentaire. C'est cet épisode qui fut à l'origine de la création de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) en 1972, qui propose alors de développer la riziculture irriguée intensive au niveau des plaines inondables.

Après la construction des barrages Manantali, en 1982 et de Diama, en 1986, la plupart des bassins du Bas-delta mauritanien, sont devenus artificiels, avec alternance de hautes-eaux et basses-eaux régulées par les barrages (Duvail, 2001; Kane, 1985, 1997). Sept unités hydrologiques peuvent être délimitées dans le bas delta (Figure 16).

Il s'agit de bassins séparés par des seuils naturels ou artificiels importants dont certains sont à alimentation artificielle (Chat Tboul, N'Diader, Diawling-Tichilitt et Bell) et d'autres à alimentation naturelle (N'Thiallakh, Gambar et Gueyloubou).

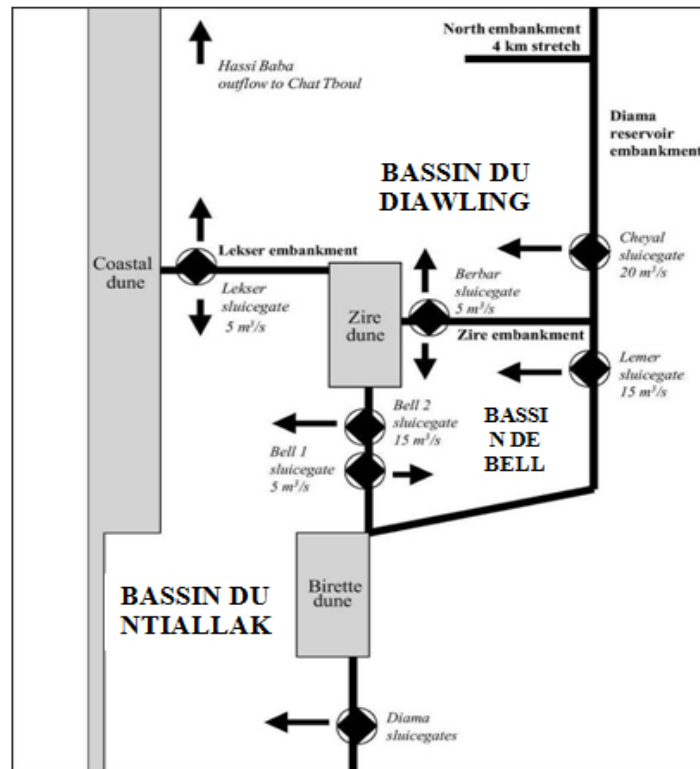


Figure 14: Schéma des infrastructures hydrauliques opérationnelles en 1999 (Source : Hamerlynck et Duvail, 2003).

II.1.6 Végétation

Dans la vallée du bas delta mauritanien des zones, longuement inondées argileuses et limoneuses connues sous le nom de Walo, dans lesquelles dominent les acacias (*Acacia nilotica*, *A. seyal*) et des vétivers (*Vetiveria nigriflora*). Selon (Duvail, 2001) on peut subdiviser les formations végétates en deux types : la végétation des dunes et celle des bassins. La végétation ligneuse des dunes est composée essentiellement de : *Acacia tortilis*, *Euphorbia balsamifera*, *Salvadora persica*, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia nilotica*, *Faidherbia albida*. Cependant, les herbacées dominantes sont : *Chloris prierurii*, *Zygophyllum simplex*, *Cenchrus biflorus*, *Indigofera tinctoria*. La végétation est quasi-absente sur la dune côtière. Les interdunes ont un couvert assez important dominé par *Euphorbia balsamifera* et *Acacia tortilis* et accessoirement *Maytenus senegalensis* et *Commiphora africana*.

La végétation de la zone inondable, quant à elle, dépend essentiellement de la crue. On y note la présence de : *Sporobolus robustus*, *Acacia nilotica*, *Tamarix senegalensis*, *Oryza barthii*, *Scirpus maritimus*, *Cyperus rotundus*, *Echinochloa colona* et *Coelachyrum brevifolium*.....

Le *Typha australis* couvre plus de 70% de la surface du bassin de Gambar. Notons que ce bassin qui était une plaine inondable est aujourd'hui inondé en permanence par la retenue de

Diana. Les mangroves du Bas-Delta mauritanien sont caractérisées par les espèces *Rhizophora racemosa* et *Avicennia germinans* généralement accompagnées de : *Sporobolus robustus*, *Salicornia senegalensis*, *Phragmites australis*, *Cressa cretica*, *Tamarix senegalensis*, *Sesuvium portulacastrum*, *Arthrocnemum macrostachium*, et *Halopeplis amplexicaulis*.

II.1.7 Faune

Le bas du delta mauritanien est riche en faune, Il s'agit des groupements de mammifères communs (chacals, phacochères, chats sauvages, lièvres, etc.), de reptiles (tortues, pythons, varans du Nil, crocodiles), On rencontre aussi des oiseaux qui cohabitent selon la saison et la salinité des eaux.

En saison sèche, les écoulements et les mares d'eau douce sont envahis par des centaines d'oiseaux terrestres qui viennent s'abreuver.

En bas delta, on peut trouver plusieurs espèces d'oiseaux, on note : Pélican blanc(*Pelicanus onocrotalus*), Grand cormoran(*Phalacrocorax lucidus*), Flamant rose (*Phenicopterus ruber*),Spatule blanche(*Platalea leucorodia*),Cigogne noire(*Ciconia nigra*), Canard pilet(*Anas acuta*), Canard souchet(*Anas clypeata*), Echasse blanche(*Himantopus himantopus*)(Triplet et al, 1995).

II.1.8 Population et Elevage

La population du Bas-Delta mauritanien est composée de communautés maures (Ikoumleiline Awlad Akchar Taghrédient N'Taba Tandgha), Peuls et Wolof (Duvail, 2001; Kamara, 2013). Ces derniers, Ce sont les pêcheurs installés principalement dans le village de Ndiago et les îles Mboyo, Dios, Thiong. Cependant, les maures qui sont constitués de plusieurs tribus, Rkâkna des Tandghas sont spécialisées dans l'élevage bovin, dans la période de pluies ; leurs pâturages s'étendent jusqu'à Nouakchott, en empruntant le corridor de l'Aftout es Saheli. Elles reviennent vers le fleuve en saison sèche pour exploiter les pâturages secs du cordon dunaire (Zbar) puis, à partir de décembre, les pâturages de décrue des cuvettes du basdelta mauritanien à l'ouest de Keur Macène. Les fractions haratines des Rkâknas possèdent quelques bovins, mais sont plutôt spécialisées dans l'élevage ovin et caprin et dans le gardiennage des troupeaux de Saint-Louis. Elles transhument également vers Nouakchott.Les Ikoumleïnines pratiquaient également un élevage bovin, mais leurs déplacements sont plus courts.En hivernage, leurs troupeaux exploitent les pâturages dunaires du Trarza méridional et

s'abreuvent dans les interdunes (gouds) inondés (Duvail, 2001). En saison sèche, ils s'installent plutôt à l'Est de Keur Macène exploitant les pâturages de décrue des cuvettes inondables du Chemama les plus proches du fleuve (cuvette d'El Wessa). Les fractions Bouhoubeynni sont plutôt spécialisées dans l'élevage camelin. Leurs parcours de transhumance remontent loin vers le Nord (Soule, 2012).

II.2 La méthode numérique par l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)

II.2.1 Introduction

L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) fait partie de plusieurs méthodes descriptives multidimensionnelles appelées méthodes factorielles. Elles sont apparues depuis les années trente et développées en France dans les années soixante, en particulier par Jean-Paul Benzécri. Parmi les nombreuses études qui sont par ailleurs exposées en détail, (Beguin *et al.* 1974 ; Meddour, 2011 ; Mahamane, 2006 ; Bouroche et Saporta, 1980; Benzecri et Benzecri ; 1984), l'AFC est un outil privilégié pour le traitement des données floristiques. Cependant, elle est une méthode statistique pour analyser l'association entre deux variables qualitatives. Cependant, elle est très utilisée en sociologie et en écologie dans l'Afrique de l'Ouest, elle permet notamment de résumer et de visualiser les liens entre variables qualitatives, le maximum d'information contenue dans un tableau de données, croisant des variables et des individus (relevés et espèces) (Meddour, 2011). Donc, le tableau floristique est une méthode semi-automatique permettant de représenter géométriquement, dans un espace à plusieurs dimensions, les « distances écologiques » qui séparent les espèces suivant leurs dispositions dans les relevés ainsi que pour les relevés, suivant la composition de leurs profils floristiques (Mahamane, 2006).

Néanmoins, il est possible de simplifier cet espace par projection sur une, deux ou trois dimensions afin de mieux « voir » les distances qui séparent chaque espèce ou chaque relevé. Le jeu consiste à bien choisir la projection la plus pertinente de cet espace à plusieurs dimensions dans un espace réduit à un plan, ou un axe, de façon à résumer au mieux la variabilité, ou inertie du nuage des espèces. En revanche, elle permet d'analyser un espace multidimensionnel, afin d'y trouver un axe ou bien un plan dit « factoriel » qui maximise simultanément la correspondance entre les espèces et les relevés (Trari., 2017).

II.2.2 Collecte des données

L'échantillonnage consiste à relever les informations sur le milieu physique et la végétation dans la plus petite surface qui contient la quasi-totalité d'une surface floristiquement homogène (l'aire minimale) pour avoir des résultats représentatifs de l'ensemble de la région étudiée. Dans ce sens, des relevés de végétation ont été effectués sur 60 placettes de 0,25 ha (50 m x 50 m) chacune. Ces placettes ont été délimitées dans les zones les plus homogènes et les plus représentatives possibles du faciès ligneux auquel elles appartiennent. La superficie des placettes a été définie lors des travaux antérieurs dans la zone sahélienne (Boudet 1984). Dans ces placettes, l'analyse a porté sur la description et la caractérisation de la végétation par la méthode des relevés de végétation. Les placettes utilisées pour les ligneux sont d'une superficie de 1/16 ha. Un comptage systématique y a été effectué. Pour les herbacées, le carré reste la forme la plus employée. Pour les espèces annuelles, il est fréquemment préconisé de choisir un carré de 1 m². Dans les milieux considérés comme étant homogènes, la répartition des prélèvements se fait au hasard. Plusieurs astuces ont été adoptées dont celle du jet d'objet au hasard. Les prélèvements doivent être répartis sur l'ensemble de la formation étudiée afin de tenir compte de toute son hétérogénéité. Chaque relevé comprend la liste floristique des espèces, en plus des paramètres écologiques et structuraux du milieu les plus simples à noter sur l'individu d'association qui constitue l'élément concret du relevé.

II.3 La méthode phytocologique sigmatiste mise au point par Braun-Blanquet

Pour étudier les groupements végétaux du Parc National du Diawling, Nous avons utilisé la méthode phytocologique sigmatiste, relative à l'école de la station internationale de géobotanique méditerranéenne et alpine fondée à Montpellier par J. Braun-Blanquet (SIGMA) dans l'objectif d'améliorer la connaissance de la végétations en se basant sur le concept d'association végétale. Selon Braun-Blanquet (1928), « l'association végétale est un groupement végétal plus ou moins stable et en équilibre avec le milieu ambiant, caractérisé par une composition floristique déterminée, dans laquelle certaines espèces, dites « caractéristiques », révèlent par leur présence une écologie particulière et autonome ». Elle permet une étude descriptive et causale des associations végétales et donc l'expression de conditions du milieu (climatiques, géologiques, pédologiques, biotiques...) qui sont responsables de la répartition de la végétation (Meddour, 2011).

Au niveau de chaque placette, un inventaire qualitatif (liste floristique exhaustive) et quantitatif (indice d'abondance-dominance et sociabilité) de la végétation a été réalisé sur l'ensemble de la surface (Bangirinama et *al.* 2013 ; Dallahi, 2017). Des coefficients d'abondance-dominance ont été attribués à chaque espèce selon les échelles proposées par Braun-Blanquet (1932, 1952)

Le coefficient dit **d'abondance-dominance**, les valeurs inférieures (jusqu'à 2) mettent l'accent sur l'abondance, alors que les valeurs supérieures (de 3 à 5) correspondent à la dominance (Lahondère, 1997) ; on utilise ainsi l'échelle suivante :

Tableau 3: Echelle d'abondance-dominance de Braun-Blanquet

Indices	Abondance	Dominance (Recouvrement)
+	espèce rare	très faible
1	espèce abondante	faible ($R \leq 5\%$)
2	espèce très abondante	entre 5- 25 %
3	nombre quelconque	entre 25 – 50 %
4	nombre quelconque	entre 50 – 75 %
5	numériquement prédominant	entre 75 – 100 %.

Le coefficient d'abondance-dominance a été accompagné d'un coefficient de sociabilité, qui exprime le comportement social d'une espèce, donc la manière dont les individus de cette espèce sont groupés. Pour exprimer la sociabilité, on utilise une échelle de 1 à 5 **de Braun-Blanquet:**

- 1** : individus de l'espèce isolée ;
- 2** : individus de l'espèce en groupes ;
- 3** : individus de l'espèce en troupes ;
- 4** : individus de l'espèce en colonies ;
- 5** : individus de l'espèce en peuplements denses.

Traitement des relevés

Le but du traitement des relevés est de posséder le maximum d'informations relatives au relevé effectué et nécessaires à la compréhension de la végétation et consiste donc à (Dallahi, 2017) :

- ✓ élaborer des tableaux phytosociologiques en réunissant les relevés phytoécologiques appartenant à un même groupement en se basant sur la physionomie des espèces de chaque formation végétale ;
- ✓ comparer les groupements végétaux ainsi décrits, afin de dégager les différences, les particularités et les potentialités de chaque groupement ;
- ✓ réunir ces groupements par affinités, c'est-à-dire, les classer en vue de parvenir à une présentation de l'ensemble des espèces végétales et de montrer les rapports entre celles-ci.

II.4 La méthode cartographique

Pour accéder plus facilement à l'information de détection de changement d'occupation du sol dans le Parc National du Diawling, nous avons utilisé la méthode cartographique qui constitue, depuis plusieurs décennies, un outil indispensable pour interpréter et représenter les formes spatiales et temporelles d'occupation du sol. La cartographie de la couverture des sols est une application très répandue (Delbosc, 2015).

Les techniques cartographiques reposent sur trois principes :

- ✓ l'analyse et la structuration des données et leur mise en forme graphique ;
- ✓ la transcription graphique ou modélisation spatiale ;
- ✓ la production *via* l'élaboration de la carte

Parmi les méthodes cartographiques utilisées aujourd'hui, on distingue principalement les méthodes de classification (Vintrou, 2012). De nombreuses études ont été menées dans ce sens et sont disponibles dans la littérature (Townshend et *al.* 1987 ; Silva et *al.* 2008 et Zhang et *al.* 2009). Dans ce sens, avec des images à moyenne résolution spatiale comme LANDSAT (30 m), on peut également suivre la zone d'étude en utilisant des séries temporelles durant la saison de croissance des plantes (la saison humide) (Figure 15).

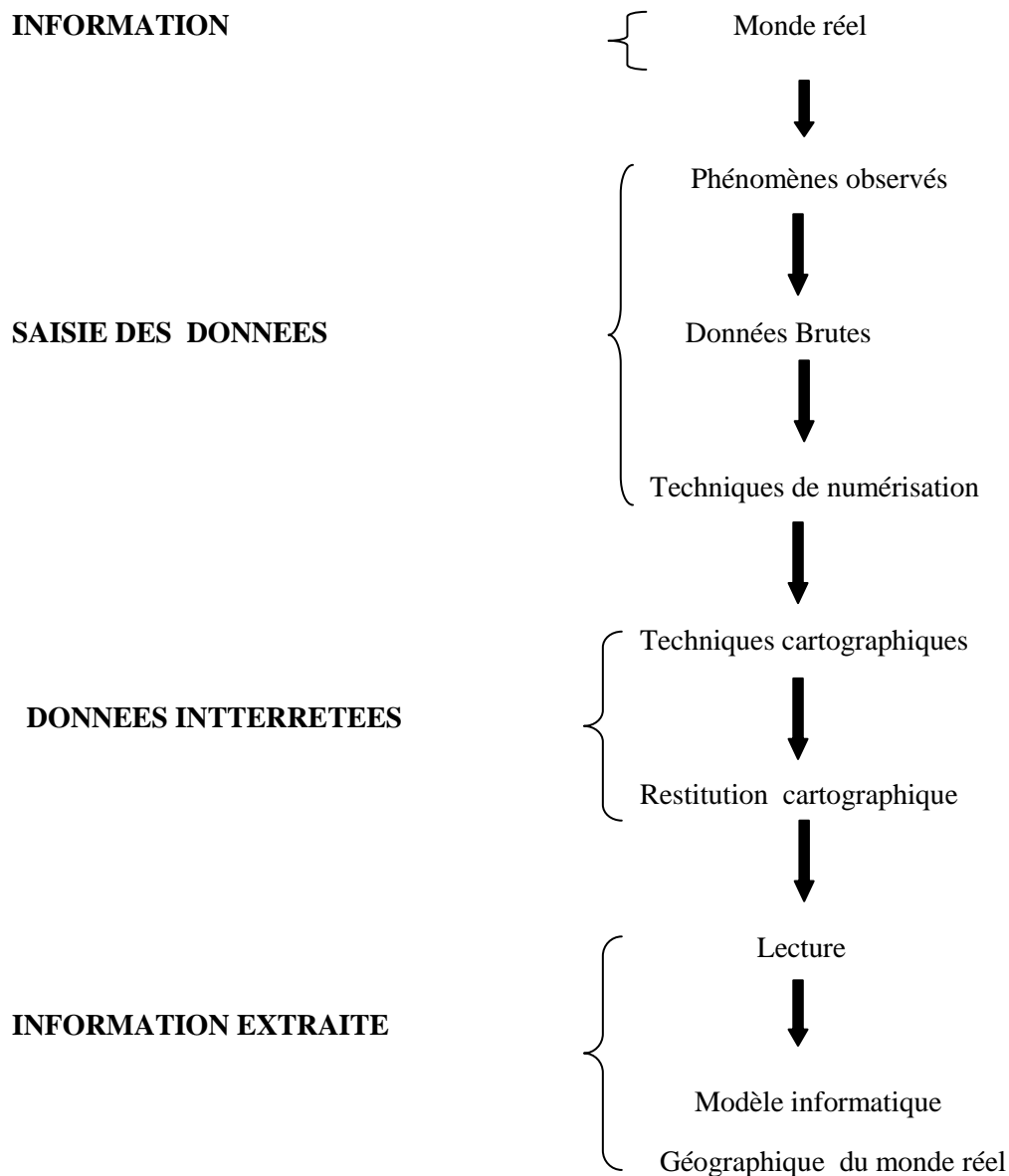


Figure 15: Démarche générale de l'acquisition et de la transposition des données géographiques réelles en données géographiques cartographiques

II.4.1 Données utilisées

Le choix des images a été dicté par les données disponibles à partir de l'archive Landsat de United States Geological Survey (USGS)(<http://glovis.usgs.gov>).

La cartographie des changements au sein de la zone étudiée nécessite l'utilisation des images satellites prises à des dates séparées. Ainsi, trois scènes Landsat-TM, ETM+ et OLI et TIRS couvrant la zone d'étude ont été obtenues pour 1984, 2001 et 2014 (Tableau 10).

Tableau 4 : Caractéristiques et conditions des images prises pour l'étude

Satellite	Début de lancement Capteurs	Date	Heure	Elévation Solaire	Azimut solaire	Taille du pixel (m)
Landsat 5	1984 TM	17-10-1984	10h57	52°13	130°05	30x30
Landsat 7	2001 ETM+	08-10-2001	11h15	57°34	130°23	30x30
Landsat 8	2014 OLI et TIRS	20-10-2014	11h27	56°37	140°64	30x30

Les trois images correspondent à la même saison du pic de maximum de la production de la végétation (période de Septembre-Novembre). Elles ont la même résolution spatiale (30 m) et le contenu radiométrique d'un pixel correspond à un même niveau d'échelle d'appréhension de la réalité de l'espace.

II.4.2 Traitement des images satellitaires et classification

Le traitement des images satellitaires avant la détection du changement est nécessaire. Ce traitement a comme objectif d'établir une filiation plus directe entre les données acquises et les phénomènes biophysiques. Il est complété par une vérification de terrain et des enquêtes et entretiens auprès des populations et gestionnaires du Parc. L'interprétation visuelle des images traitées nous a permis d'identifier sept classes d'occupation du sol : eau, sol sableux (dunes), sol argileux asséché, végétations dunaires, steppe de *Sporobolus*, végétations aquatiques et plantes aquatiques (*Typha australis*). Afin d'élaborer une carte d'occupation du sol de la zone d'étude basée sur les valeurs numériques des pixels, nous avons choisi la classification supervisée avec l'algorithme du maximum de vraisemblance.

II.4.1 Évaluation de l'exactitude

Pour l'évaluation de l'exactitude des cartes de l'occupation du sol à partir d'images satellites, une méthode aléatoire stratifiée a été utilisée pour représenter les différentes classes de l'occupation du sol. L'évaluation de la précision a été réalisée avec 100 points, à partir des données de réalité de terrain et l'interprétation visuelle. La comparaison des données de référence et les résultats de la classification ont été effectués en utilisant des matrices d'erreur statistique (matrices de confusion) (Figure 16). En outre, le test non paramétrique Kappa a

également été réalisé pour mesurer l'ampleur de précision de la classification pour les éléments de la diagonale, mais également pour tous les éléments de la matrice de confusion (Rosenfield et Lins, 1986).

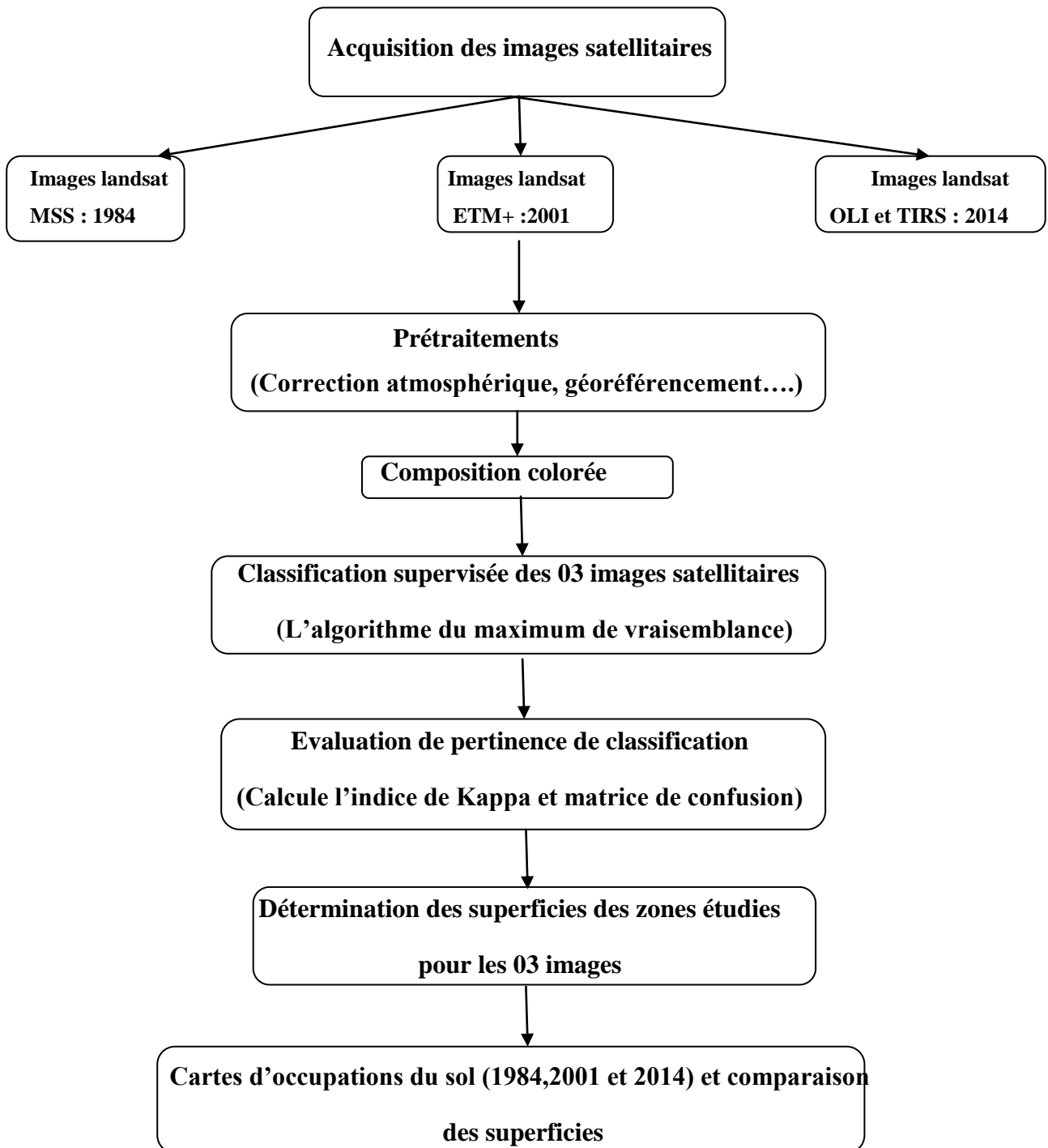


Figure 16: Approche méthodologique

II.4.2 L'indice Kappa

L'indice de Kappa est utilisé pour valider les résultats de la classification (Dallahi, 2017). Cependant, il exprime la réduction proportionnelle de l'erreur obtenue par une classification comparée à l'erreur obtenue par une classification complètement au hasard (Elmi Ali, 2016). Il est un estimateur de qualité qui tient compte des erreurs en lignes et en colonnes (Elmi Ali, 2016). Il est calculé à partir des informations d'une matrice de confusion dont les lignes correspondent aux données d'observations (ou terrain) et les colonnes aux données de la classification

Kappa = -1 : la concordance est nulle

Kappa \pm 0 : la concordance est peu significative

Kappa = +1 : la concordance est très forte.

II.5 Des enquêtes avec la population et les personnes ressources

Méthode d'inventaire, la démarche méthodologique adoptée repose sur l'inventaire de toutes les Plantes Médicinales (PM) existantes au niveau de ce site à travers les 60 relevés floristiques répartis sur les différents types de milieu, nous ont permis de créer un catalogue de 83 taxons. 24 d'entre eux sont considérés comme plantes médicinales. Cependant, nous avons combiné les données recueillies lors de deux travaux menés entre août 2015 et mars 2016, des entrevues avec des populations, des observations participatives et des enquêtes de marché. Des personnes âgées ou médecins traditionnels ont été choisis comme informateurs clés, leur âge allant de 25 à 75 ans et la plupart de ces personnes étaient âgées de plus de 50 ans. À chaque répondant, des questions ont été posées pour évaluer les plantes spontanées utilisées dans leur région, leurs noms locaux, les parties utilisées et le mode d'utilisation.

II.6 Outils utilisés

Dans le cadre de cette étude, la démarche utilisée de traitement des imageries satellitaires et l'analyse des différentes données collectées, se base sur un traitement par des logiciels appropriés.

II.6.1 Arcgis 10.3

On peut résumer les principales caractéristiques de ce logiciel comme suit :

- ✓ Opérations de superposition des couches thématiques ;
- ✓ Géoréférencement des images
- ✓ Echange de données avec les autres logiciels de traitement des images (ENVI, ERDAS,....).
- ✓ Type de sortie : représentation cartographiques, valeurs numériques ou textuelles etc ;
- ✓ Efficacité dans la gestion des bases de données ;

II.6.2 Envi

C'est un logiciel pour la visualisation, le géoréférencement, les prétraitements, la classification et l'analyse des images satellitaires :

- ✓ Visualisation et traitement des données de télédétection ;
- ✓ Traitement et analyse spectrale de l'imagerie multispectrale et hyperspectrale ;
- ✓ Géoréférencement des images ;
- ✓ Ortho rectification ;
- ✓ Classification et interprétation interactive ;
- ✓ Analyse de la végétation à l'aide des indices de végétation (NDVI) ;
- ✓ Correction géométrique et radiométrique ;
- ✓ Amélioration interactive (spectrale et spatiale) d'une image ;
- ✓ Calibrage et correction atmosphérique ;
- ✓ Support des formats raster et vecteur ;

II.6.3 Bioméco et Xlstat

Ils ont été utilisés pour effectuer les analyses multivariées à savoir :

- ✓ l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA).

II.6.4 GPS (Global Positioning System)

Le but principal d'un G.P.S est de déterminer la position tridimensionnelle (altitude, latitude et longitude) de manière continue et instantanée. Dans notre étude, nous avons utilisé un GPS de type GARMIN 76S.

II.6.5 Appareil photos numérique

Nous avons utilisé un appareil photos pour photographier les végétations et les différents paysages du Parc National du Diawling.

II.7 Modélisation de la salinité du sol

II.7.1 Échantillonnage et analyse de sol

Un prélèvement de 100 échantillons de sol répartis aléatoirement sur la zone d'étude (Figure 1). Les échantillons ont été prélevés au niveau de la couche des 20 premiers centimètres. Les coordonnées de chaque point de prélèvement ont été collectées par GPS portable (Garmin 78). Les valeurs de la conductivité électrique pour chaque échantillon ont été obtenues par la méthode d'extrait dilué (El Oumri and Vieillefon, 1983; Montoroi, 1997). Les traitements statistiques et analyses spatiale des données de terrain ont été effectués en utilisant les logiciels SPSS 20 et ArcGIS 10.3.

Les résultats de plusieurs méthodes d'analyses spatiales ont été comparés:

II.7.2 Pondération inverse de la distance (IDW)

La Pondération Inverse à la Distance (IDW) est l'une des méthodes d'interpolations utilisées dans le domaine de la science du sol (Bhunja et al., 2018; Robinson and Metternicht, 2006; Seyedmohammadi et al., 2016). Les estimations par la technique IDW sont faites en fonction des emplacements connus à proximité (formule (1)). Les poids assignés aux points d'interpolation sont déterminé par l'inverse de la distance à partir du point d'interpolation.

$$Z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (1)$$

Avec

$Z(x_0)$ est la valeur interpolée ; n représente le nombre total des échantillons ; x_i est la valeur mesurée, h_{ij} est la distance de séparation entre la valeur interpolée et la valeur mesurée ; β indique la puissance de pondération ($\beta = 2$).

II.7.3 Krigeage ordinaire (OK)

La méthode de Krigeage Ordinaire est l'une des techniques d'interpolation qui aussi fréquemment utilisées (Mousavifard et al., 2013; Poshtmasari et al., 2012) . Cette technique permet de réaliser une estimation pour une zone située autour d'un point échantillonné (Pang et al., 2011; Seyedmohammadi et al., 2016; Tripathi et al., 2015). L'estimateur de Kiging Ordinaire est exprimé comme suit:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

Avec

Où $N(h)$ est le nombre total de paires de données séparées par une distance; h ; Z représente la valeur mesurée pour les propriétés du sol; et x est la position des échantillons de sol.

II.7.4 Fonction de base radiale (RBF)

Cette méthode rassemble une série de techniques d'interpolation exacte qui impliquent le passage de la surface par chaque valeur d'échantillon évalué. De plus, une fonction RBF évolue en fonction de la distance par rapport à un emplacement (Poshtmasari et al., 2012; Seyedmohammadi et al., 2016; Wang et al., 2014). On distingue cinq fonctions de base différentes : thin-plate spline (TPS), spline with tension (SPT), completely regularized spline (CRS), multi-quadratic function (MQ and inverse multi-quadratic function (IMQ) (Bhunia et al., 2018).

II.7.5 Interpolation polynomiale locale (LPI)

LPI correspond au polynôme local obtenu en utilisant des points d'échantillonnage dans un voisinage. L'interpolation est fait par la pondération en fonction de la distance (Hani and Abari, 2011) (Bhunia et al., 2018; Seyedmohammadi et al., 2016). LPI is capable of producing surfaces that capture the short range variation (Bhunia et al., 2018; Johnston, 2004).

De plus, il convient au polynôme local en utilisant des points uniquement dans le voisinage spécifié au lieu de toutes les données (Poshtmasari et al., 2012; Wang et al., 2014).

Pour comparer les méthodes d'interpolation, en termes de précision et de performance, les valeurs interpolées seront extrait sur les 100 sites d'échantillonnage, puis comparer avec les valeurs réelles à l'aide de trois indicateurs de performance :

Erreur quadratique moyenne (RMSE) : la racine carrée de la moyenne arithmétique des carrés des écarts entre les valeurs mesurées et celles interpolées (formule 3).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (3)$$

L'erreur absolue moyenne (MAE) : la moyenne arithmétique des valeurs absolues des écarts entre les valeurs mesurées et celles interpolées (formule 4).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}_i| \quad (4)$$

Coefficient de corrélation (R) : la normalisation de la covariance par le produit des écart-type des variables.

$$R = \sqrt{1 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n (y_i - y_i')^2 \right]}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}} \quad (4)$$

Où : y_i indique la valeur mesurée; i la valeur prédite, \bar{y}_i la moyenne de la valeur mesurée et n le nombre total d'observations.

III RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 Caracterisation et cartographie des groupements végétaux

Après la réalisation de 60 relevés dans la zone d'étude, les résultats des analyses statistiques appliquées à la matrice (tableau) Relevés/espèces, vont être présentés d'abord. L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) permet de mettre en évidence sur les cartes factorielles les points espèces et les points relevés ce qui permet de ressortir les principaux groupements végétaux de la zone d'étude.

La valeur propre relative à l'axe 1 est de 70.8% (Tableau 5), cette valeur dépasse le seuil minimum exigé pour une identification facile des groupements végétaux (60%) (Benzecri, 1973).

Tableau 5: Les valeurs propres

	F1	F2	F3
Valeur propre	0,708	0,552	0,506
Inertie (%)	7,954	6,206	5,693
% cumulé	7,954	14,159	19,852

Le plan F1-F2 absorbe le maximum d'information (environ 14%), ce plan nous a permis l'identification de trois groupements végétaux (Figure 17). Ces groupements sont organisés en fonction du type de milieu.

Les différents groupements rencontrés sont :

III.1.1 Groupement végétal des milieux dunaires

Ce groupement végétal correspond aux relevés : R9, R11, R15, R20, R21, R26, R29, R46, R49 et R60, il est localisé dans les zones dunaires du Parc National du Diawling et sa zone périphérique (dunes de Ziré, Birette, Beleyti et pénélaines sableuses de Dar Salam, Arafat ; Moufta El Khair et Moydina). Ce groupement présente des fortes potentialités pastorales. Le recouvrement de la strate ligneuse est très faible (inférieur à 1 %), elle est composée principalement par *Acacia tortilis*, *Euphorbia balsamifera*, *Balanites aegyptiaca*, *Salvadora perssica*, *Maytenus senegalensis* et *Acacia senegal*. La strate herbacée est claire, son

recouvrement moyen est compris entre 10 et 25 %, elle est constituée essentiellement par : *Aristida mutabilis*, *Cenchrus biflorus*, *Schoenefeldia gracilis*, *Tragus racemosus*, *Cassia italica*.

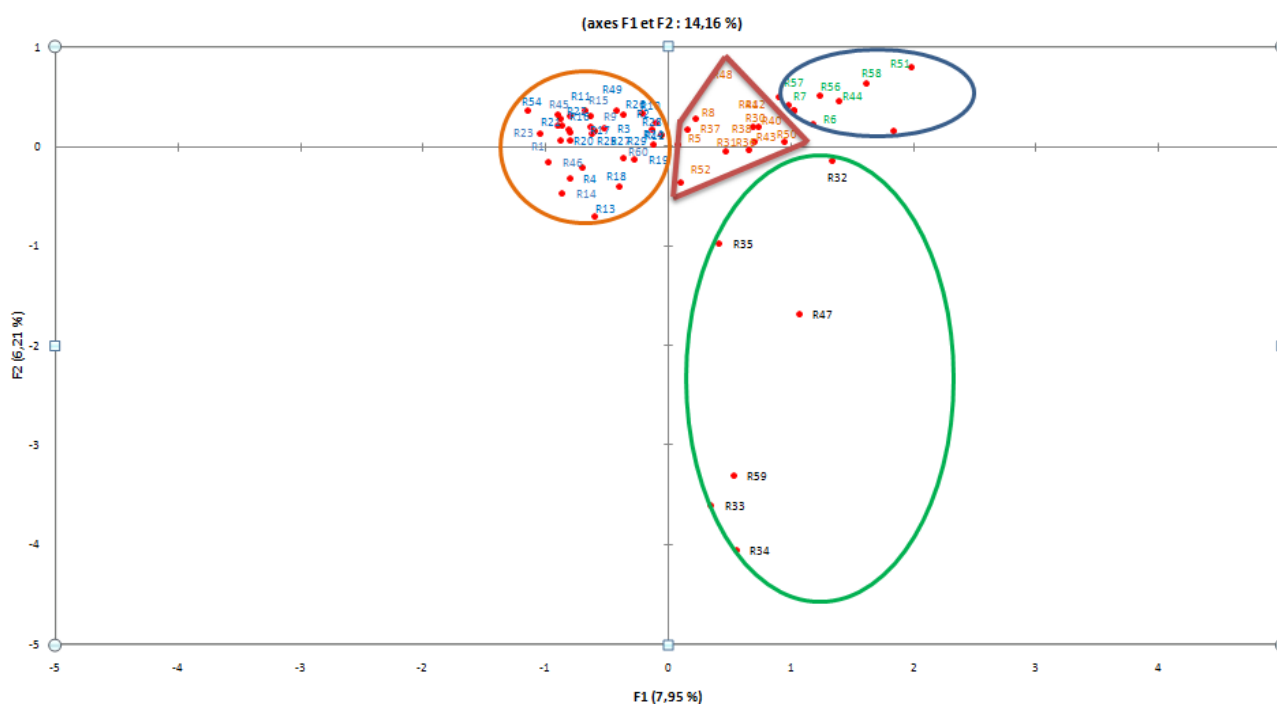


Figure 17: groupements végétaux identifiés par l’AFC

Ce groupement se développe sur des dunes sableuses à limono-sableuses, sur des pentes en peu faibles (inférieur à 40 %).

Le tableau phytosociologique de ce groupement est le suivant :

Tableau 6: Tableau phytociologique du groupement végétal steppique caractéristique des systèmes dunaires

Nombre de relevé	R11	R15	R21	R26	R29	R49	R60	Présence
Altitude (m a.s.l.)	6	9	9	4	2	6	2	
Pente (%)	10	40	40	20	10	35	40	
Substrat	Sable	Sable	Sable	Sable	Sable	Sable	Sable	
Espèce caractéristique du groupe de plantes A								
Strate Arborée								
<i>Acacia tortilis</i>	1.1	1.1	1.1	-	+	-	1.1	5
<i>Euphorbia balsamifera</i>	1.1	-	1.1	-	-	1.1	1.1	4

<i>Balanites aegyptiaca</i>	+	+	-	+	-	-	+	4
<i>Salvadora persica</i>	-	-	-	+	+	-	-	2
<i>Maytenus senegalensis</i>	-	-	-	+	-	-	-	1
<i>Acacia senegal</i>	-	-	+	-	-	-	-	1
Strate herbacé								
<i>Aristida mutabilis</i>	-	1.1	+	-	-	-	-	2
<i>Cenchrus biflorus,</i>	-	-	+	-	-	+	-	2
<i>Schoenefeldia gracilis</i>	-	-	+	-	-	+	-	2
<i>Tragus racemosus,</i>	-	-	-	+	-	-	-	1
<i>Cassia italica.</i>	-	-	-	-	+	-	-	1

III.1.2 Groupement végétal des milieux inondable

Ce groupement végétal est constituée les relèves : R6, R7, R44, R51, R56, R57 et R58. Il se trouve dans les zones inondables (bassin du Bell, du Diawling, du Gambar et une partie de N'Tiallakht). Aux abords immédiats des cuvettes et lagunes, s'individualise un tapis herbacé dense, avec un recouvrement moyen compris entre 30 et 50%, variable selon le niveau et la durée de la crue, largement dominé par les Cyperacées avec des poches de *Sporobolus robustus*, *Sporobolus helvolus* et *Typha australis*. Cependant, ils sont d'un grand intérêt pastoral. Cette unité de végétation est composée essentiellement de : *Bolboschoenus maritimus*, *Echinochloa colona*, *Echinochloa stagnina*, *Panicum laetum*, *Cressa cretica*, *Coelachyrum brevifolium*, *Sporobolus robustus*, *Sporobolus helvolus*, *Scirpus lacustrus* et *Cyperus albomarginatus*. La strate ligneuse faiblement représentée est limitée aux abords des cours d'eau. Elle est formée essentiellement par : *Tamarix senegalensis*, *Acacia nilotica*, *Faidherbia albida* et *Avicennia germinans*.

Ce regroupement se trouve dans les zones argileuses et argilo-limoneuses. Sur le marigot du Ntiallakh, on rencontre des mangroves à *Avicennia germinans* (Dar Selam et Ghahra) et d'autres à *Rhizophora racemosa* (entrée de Ntialakh et bord du fleuve).

Tableau 7: Tableau phytociologique du groupement végétal caractéristique du milieu inondable

Nombre de relevé	R6	R44	R51	R56	R57	R58	Présence
Altitude (m a.s.l.)	6	2	2	2	2	4	
Pente (%)	40	20	20	15	25	25	
Substrat	argileuses et argilo-limoneuses	argileuses et argilo-limoneuses	argileuses et argilo-limoneuses	argileuses et argilo-limoneuses	argileuses et argilo-limoneuses	argileuses et argilo-limoneuses	
Espèce caractéristique du groupe de plantes B							
Strate Arborée							
<i>Tamarix senegalensis</i>	+	+	+	-	1.1	1.1	5
<i>Acacia nilotica</i>	+	-	-	-	+	-	2
<i>Faidherbia albida.</i>	-	-	-	+	-	-	1
Strate herbacé							
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	1.1	-	-	-	+	-	2
<i>Echinochloa colona</i>	-	-	+	-	-	-	1
<i>Echinochloa stagnina</i>	-	-	-	-	-	+	1
<i>Panicum laetum</i>	+	-	-	-	-	-	1
<i>Cressa cretica</i>	-	+	-	-	-	-	1
<i>Coelachyrum brevifolium</i>	-	-	-	+	-	-	1
<i>Sporobolus robustus</i>	+	-	-	-	-	-	1

III.1.3 Groupement végétal des milieux salés

Ce groupement regroupe les relèves : R5, R8, R30, R31, R36, R37, R43 et R47. Il est localisé dans zones à inondation brève ou rarement inondées ou ayant perdues la faculté d'être inondée. Ce groupement correspond aux zones argilo-limoneuses ou limoneuses saumâtres du bassin du N'Tiallakht du Khurumbam, et aux zones sableuses et sablo-limoneuses avec,

par endroits, des glacis indurés de Bell, Diawling/Tichilitt, et de l'Aftout, avec une faible intérêt pastoral.

Il est localisé sur des sols plus ou moins soufflés avec la présence par endroits de croûtes salines. Il est caractérisé par des steppes suffrutescentes formant des pâturages salés qui sont d'un grand intérêt pastoral. Dans les plaines inondables, l'assèchement et l'augmentation de la salure liés à la sécheresse et aux aménagements hydro-agricoles ont entraîné de fortes réductions des superficies qui étaient couvertes par un pâturage annuel de qualité. La strate ligneuse est formée essentiellement par : *Tamarix senegalensis*, *Nitraria retusa*. Les espèces herbacées et suffrutescentes sont composées essentiellement de : *Latipes senegalensis*, *Arthrocnemum macrostachyum*, *Zygophyllum waterlotii*, *Salicornia sp.*, *Salsola baryosma*, *Suaeda vermiculata*, *Cressa cretica* et *Sesuvium portulacastrum*.

Tableau 8: Tableau phytociologique du groupement végétal caractéristique des milieux salés et Sebkh

Nombre de relevé	R5	R8	R30	R43	R47	Présence
Altitude (m a.s.l.)	8	6	2	1	2	
Pente (%)	35	35	40	20	20	
Substrat	limoneuses saumâtres	argilo-limoneuses	limoneuses saumâtres	argilo-limoneuses	argilo-limoneuses	
Espèce caractéristique du groupe de plantes C						
Strate Arborée						
<i>Tamarix senegalensis</i>	-	-	-	1.1	1.1	2
<i>Nitraria retusa</i>	+	-	-	-	-	1
Strate herbacé						
<i>Latipes senegalensis</i>	-	1.1	-	+	1.1	3
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	+	-	+	+	-	3
<i>Zygophyllum waterlotii</i>	+	-	+	-	-	2
<i>Salsola baryosma</i>	1.1	-	-	1.1	-	2

III.1.4 Faciès de dégradation

En ce qui concerne les autres relevés à savoir : R32, R33, R34, R35, R35, R47 et R5. Il est localisé essentiellement dans les sols nus localisé dans les zones de dunes côtières et dans la zone du sable. Au niveau des ces zones, on l'absence quasi-totale de la végétation.

III.2 Résultats de la méthode cartographique

La carte des groupements végétaux montre la dominance des formations du milieu inondable, avec une superficie de 42048,5 ha ce qui représente 58 % du territoire étudié, suivie par les formations qui se développent sur les dunes occupe une superficie de 17732,5, soit 25 %. Par contre, les deux formations caractéristiques des milieux (salés et Sebkhah) et des sols nus couvrent deux superficies 9574,01 ha et 2812,17 ha, soit respectivement les pourcentages 13 % et 4 % (Tableau 11).

Tableau 9: Superficies des différents groupements

Groupement végétal	Superficie (ha)	%
Groupement végétal steppique caractéristique des systèmes dunaires	17732,5	25
Groupement végétal caractéristique du milieu inondable	42048,5	58
Groupement végétal caractéristique des milieux salés et Sebkhah	9574,01	13
Groupement végétal caractéristique du milieu des sols nus	2812,17	4

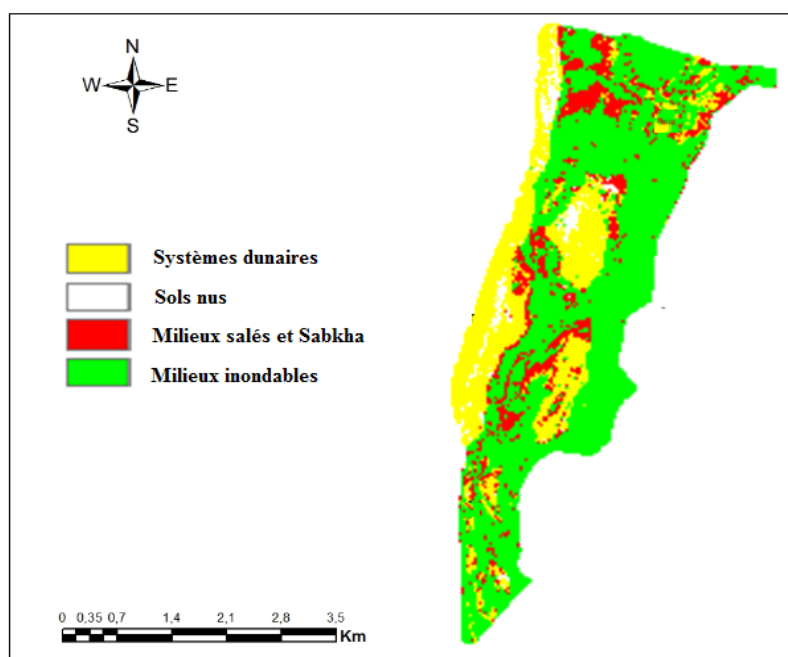


Figure 18: Carte d'occupation des sols du Parc National du Diawling et sa zone périphérique en 2016

III.3 Etude ethnobotanique de la zone d'étude

Les relevés floristiques sur le terrain et les enquêtes réalisées auprès des usagers nous ont permis de créer un catalogue de 83 taxons. 24 d'entre eux sont considérés comme plantes médicinales. Ces plantes appartiennent à 14 familles et 20 genres. La famille des Fabaceae est la plus représentée (25%), suivie respectivement par la famille des Capparaceae (16%) et la famille des Apocynaceae (12%), les autres familles sont présentes avec des pourcentages inférieurs à 5% (Figure 19).

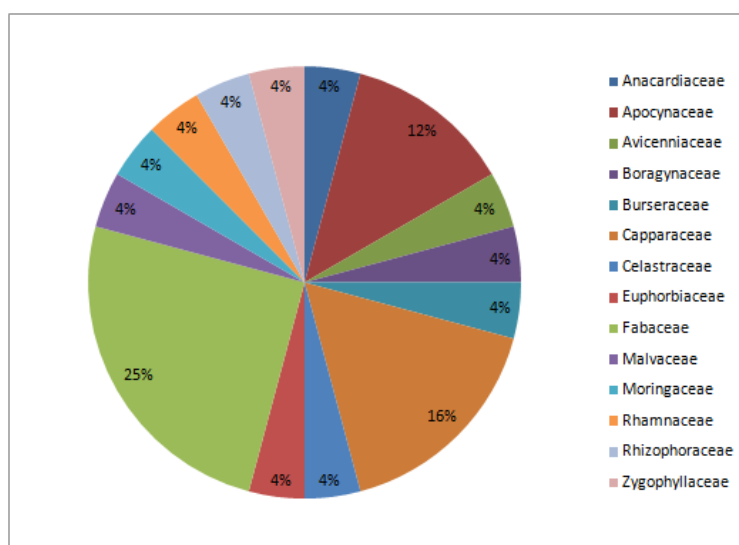


Figure 19: Répartition des plantes médicinales selon les familles

Nous présentons dans ce qui suit les 24 plantes médicinales les plus utilisées. Cette présentation comporte : le nom scientifique de l'espèce, la partie utilisée et son le domaine d'utilisation.

La plupart des espèces médicinales sont largement utilisées pour soigner les diarrhées, les maux de ventre, la bilharziose, la bronchite, les ulcères, la fièvre, le paludisme et les dermatoses. En plus, les enquêtes ethnobotaniques ont montré que l'utilisation de la plante dans sa globalité est la pratique la plus utilisée avec un pourcentage de 37,5%, suivis des écorces 12,5%, des fruits et feuilles 12,5%, des feuilles, 8,5% des écorces et les racines, 8,5%, des fruits 4%, des feuilles et les racines 4%, des racines 4%, des graines 4% et des autres parties 4% (Figure 20).

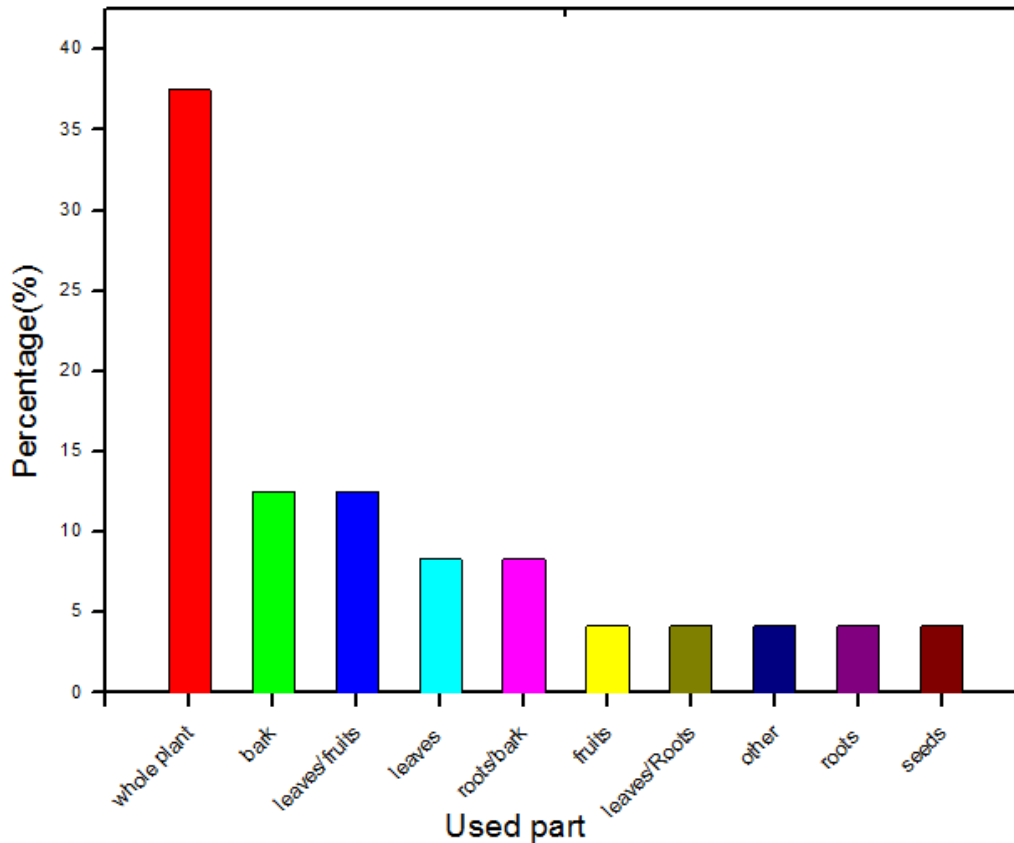


Figure 20: Parties utilisées des plantes médicinales

Cette étude enregistre que 24 plantes sont les plus utilisées dans en médecine traditionnelle. .La plupart de ces plantes médicinales sont récoltées pour leurs écorces, fruits et feuilles dont la cueillette peut ne pas nuire aux plantes par rapport aux plantes utilisées par leurs racines. Bien qu'un nombre élevé de plantes médicinales a été utilisé pour le traitement de l'homme et du bétail problèmes de santé, ils sont menacés par différents activités humaines alors que les efforts de conservation sont minimum dans la parc. Au cours de nos enquêtes sur le terrain du Parc National du Diawling pour réaliser ce travail, nous avons constaté une dégradation accentuée de l'écosystème suite son envahissement par *Typha australis* qui s'est propagée surtout après la construction du barrage anti-sel du Diama.

De même, au niveau du bassin du Gambar, la production des fruits de Nénuphar (*Nymphaealotus*) et des gousses d'*Acacianilotica* ont été fortement affectées.

Tableau 10: Usage des plantes médicinales dans le Parc National du Diawling

No	Nom de la plante	Famille	Partie utilisées	NameHassanya	Nom français	L'utilisées en médecine traditionnelle
1.	<i>Sclerocarya birrea</i> A. Richard Hochst.	Anacardiaceae	Écorce	Dembou	Sclérocarya à bière	Très recommandée pour les diabétiques.
2.	<i>Adenium obesum</i> (Forsk.) Roem. et Schult.	Apocynaceae	Plante entière	T'weidimt dhib	Baobab de chacals	Pour traiter les ulcères, la carie dentaire et les dermatoses
3.	<i>Calotropis procera</i> (Ait.) Ait. f.	Apocynaceae	Plante entière à petites doses	Tourje	Arabe de soie	Utilisée pour le traitement de syphilis, la lèpre, l'asthme, les infections, les plaies...
4.	<i>Leptadenia pyrotechnica</i> (Forssk.) Decne	Apocynaceae	Racines	Titarekt	Leptadénia à feu	Utilisée pour le traitement les dermatoses, dysenterie, les plaies, les ulcères, les diarrhées, la tuberculose.....
5.	<i>Avicennia germinans</i> (L.) L.	Avicenniaceae	Écorce	Eizin libhar	Palétuvier blanc	Pour traiter les maladies de la peau, les démangeaisons
6.	<i>Cordia sinensis</i> Lam.	Boraginaceae	Feuilles	Agjoul	Cordia de chine	Utilisée pour soigner la fièvre et le paludisme
7.	<i>Commiphora africana</i> (A. Rich.) Engl.	Burseraceae	Fruits, feuilles, Écorceet graines	Eders	Myrrhe africaine	Utilisée pour soigner la stérilité masculine, le paludisme, vomissements, les maladies de Sawda, le diabète, déchirures musculaires, les dermatoses
8.	<i>Capparis corymbosa</i> Lam.	Capparaceae	Écorceet racines	Lehleïfe	Caprier à fleurs en corymbe	pour soigner la syphilis.
9.	<i>Boscia senegalensis</i> (Pers.) Lam. ex Poir.	Capparaceae	Plante entière	Eizin	Boscia du Sénégal	Utilisée pour soigner les maladies biliaires, les ulcères, tue les parasites intestinaux, bilharziose, névralgies et traitent le

						rhumatisme
10.	<i>Maerua angolensis</i> D.C.	Capparaceae	Feuilles	Bagui	Mérua d'Angola	Utilisées pour soigner le rhumatisme et les maux de ventre.
11.	<i>Maerua crassifolia</i> Forssk	Capparaceae	Fruits et feuilles	Etil	Mérua à feuilles épaisses	Utilisés pour soigner le ver de Guinée, les plaies, les diarrhées, le paludisme, la constipation ...
12.	<i>Maytenus senegalensis</i> (Lam.) Exell	Celastraceae	Plante entière	Eich	Maytenus	Utilisée pour guérir les morsures de serpents, la toux, la gale, la diarrhée parasitaire, les maladies oculaires....
13.	<i>Euphorbia balsamifera</i> Ait.	Euphorbiaceae	Branches de latex et de coquilles et macérées	Evernan	Euphorbe porte-baume	Utilisée pour soigner la carie dentaire, stimule la lactation, les dermatoses et pour la dent cariée.
14.	<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. ex Del.	Fabaceae	Plante entière	Amour	Gonakié	Utilisée pour le traitement de l'ulcère, contre les maux de dents.
15.	<i>Acacia senegal</i> (L) Willd.	Fabaceae	Fruits	Eirwar	Gommier	Elle soigne les plaies, l'ulcère, la diarrhée, calme les maux de ventre.....
16.	<i>Acacia tortilis</i> (Forssk.) Hayne	Fabaceae	Feuilles, Écorce et graines	Ttalh	Faux gommier	Utilisée pour soigner les indigestions, diabète, bilharziose, dermatoses.....
17.	<i>Bauhinia rufescens</i> Lam.	Fabaceae	Fruits, feuilles et Écorce	N'dern	Rada	Les fruits sont utilisés contre la dysenterie, troubles oculaires ; les feuilles soignent la diarrhée, dysenterie les nausées... et l'écorce est utilisée contre morsure des serpents, la syphilis et l'hépatite.
18.	<i>Faidherbia albida</i> (Delile) A. Cheval.	Fabaceae	Écorce et racines	Avrar	Cad	Utilisés contre le rhume, la grippe, les maux de dents, la toux, la fièvre, calment les nausées....
19.	<i>Tamarindus indica</i> L.	Fabaceae	Plante entière	Eguenat	Tamarinier	utilisée pour guérir la fièvre, les plaies, calme les maux de ventre et de gorge, la syphilis, la lèpre, l'asthme, les maladies respiratoires...

20.	<i>Adansonia digitata</i> L.	Malvaceae	Fruits et feuilles	Tteidoum	Baobab	Les fruits sont utilisés pour le traitement de la dysenterie, la diarrhée et diminue les graisses dans le sang....., et les feuilles soignent la colique, l'asthme, le ver de Guinée...
21.	<i>Moringa oleifera</i> (Lam.)	Moringaceae	Feuilles et racines	Nébédaye	Moringa oléifère	Utilisés pour soigner les douleurs articulaires, le rhumatisme, les céphalées et les névralgies.
22.	<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	Rhamnaceae	Plante entière	Sder	Jujubier	Utilisé pour soigner les maux de ventre, la bilharziose, la bronchite, arrête l'hémorragie après l'accouchement, diabète, les calculs urinaires...
23.	<i>Rhizophora racemosa</i> G. Mey.	Rhizophoraceae	Écorce	Bkhakh	Mangle	Utilisé pour soigner les diarrhées, le tannage des peaux.
24.	<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.	Zygophyllaceae	Fruits et feuilles	Teichitt	Dattier du désert	Les fruits pour soigner les maladies de foie, diabète, la tension et le rhume. Les feuilles en macération et en mélange avec de la gomme arabique constituent un traitement oculaire.

III.4 Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol

III.4.1 Résultats de l'évolution de l'occupation par le *Typha australis*

L'évaluation de la précision de classification supervisée avec l'algorithme du maximum de vraisemblance a été réalisée pour déterminer la qualité de l'information provenant des données. Les résultats ont montré que les précisions de classification globale obtenus étaient 77,27%, 95% et 95,16% et les valeurs globales du test Kappa sont : 75 %, 93 % et 94 % respectivement pour les années 1984, 2001 et 2014. Il faut noter que la valeur critique de ce dernier au-delà de laquelle une classification est jugée acceptable est plus de 75 % (Girard et Girard, 1999).

Trois cartes d'occupation du sol ont été obtenues pour les trois dates 1984, 2001 et 2014, en utilisant la classification supervisée basée sur l'algorithme du maximum de vraisemblance (Figures 20, 21 et 22).

En 1984, la classe représentée par la steppe à *Sporobolus* était largement dominante ; cette classe occupait une superficie de 10475,02 ha ce qui représente 65% du territoire étudié. A cette période, la classe de *Typha* était très peu représentée avec une superficie qui ne dépasse guère une surface de 09,81 ha ce qui représente de 0,06% du territoire étudié (Tableau 11). Toutes les autres classes représentent moins de 35 % du total de la surface. L'eau occupe près de 1569,78 hectares soit environ 10% de la zone étudiée. La surface du sol sableux (dunes) occupe une superficie de 1706,85 hectares soit 11% de la zone étudiée. Le sol argileux asséché couvre une superficie de 1162,98 hectares, soit 7 %, c'est presque la même superficie occupée par la végétation dunaire.

Pour l'année 2001, l'occupation du sol est dominée par l'eau et les végétations aquatiques qui occupaient respectivement les superficies de 4911,66 ha, soit 31% et de 5876,46 ha, soit 37%. La classe *Typha* couvre une superficie de 2339,46 ha soit 15%. Les sols sableux (dunes) occupent sur une superficie de 2589,30 ha soit 16% et la classe végétation dunaire occupe 322,92 ha, ce qui présente à peu près 2%. Les deux classes sol argileux asséché et *Sporobolus robustus* ont presque disparu de la zone étudiée (Tableau 11).

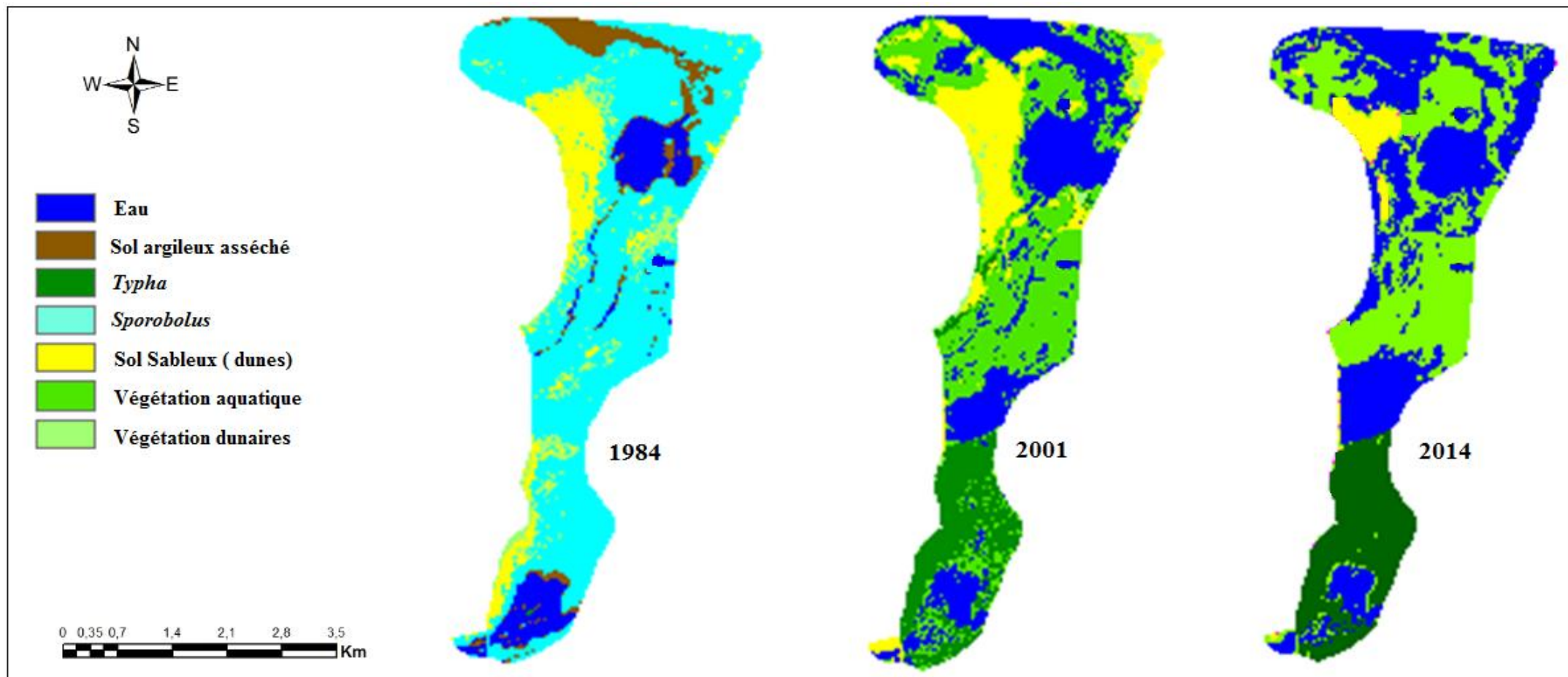


Figure 21: Carte d'occupation du sol du Parc National du Diawling issue de la classification de l'image Landsat TM de 1984

Végétation aquatique : *Cyperus* sp, *Nymphaea lotus*,

Végétation dunaire: *Acacia tortilis*, *Euphorbia balsamifera*,

Tableau 11: Superficies des différentes classes du PND (1984, 2001 et 2014)

Type d'occupation	1984		2001		2014	
	Superficie (ha)	Pourcentage	Superficie (ha)	Pourcentage	Superficie (ha)	Pourcentage
Eau	1569,78	10%	4911,66	31%	7084	44%
Sol sableux (dunes)	1706,85	11%	2589,30	16%	542,88	3%
Typha	9,81	0,06%	2339,46	15%	2967,30	18%
Végétation aquatique	0,00	0%	5876,46	37%	5293,17	33%
Végétation dunaire	1115,37	7%	322,92	2%	152,46	1%
Sol argileux asséché	1162,98	7%	0	0%	0	0%
Steppe à <i>Sporobolus robustus</i>	10475,02	65%	0	0%	0	0%

En ce qui concerne l'année 2014, l'eau était la plus grande classe qui représente 44% (soit 7084 ha) de la totalité de la superficie étudiée, suivie par la classe végétation aquatique avec un pourcentage de 33% (soit 5293,17 ha), la classe Typha progresse mais légèrement à 18% (2967,30 ha). Cependant, les classes sols sableux (dunes) ne représentent que 3% (542,88 ha) et la végétation dunaire 1% (152,46 ha). Les deux classes sol argileux asséché et *Sporobolus robustus* demeurent presque totalement absentes de la zone étudiée.

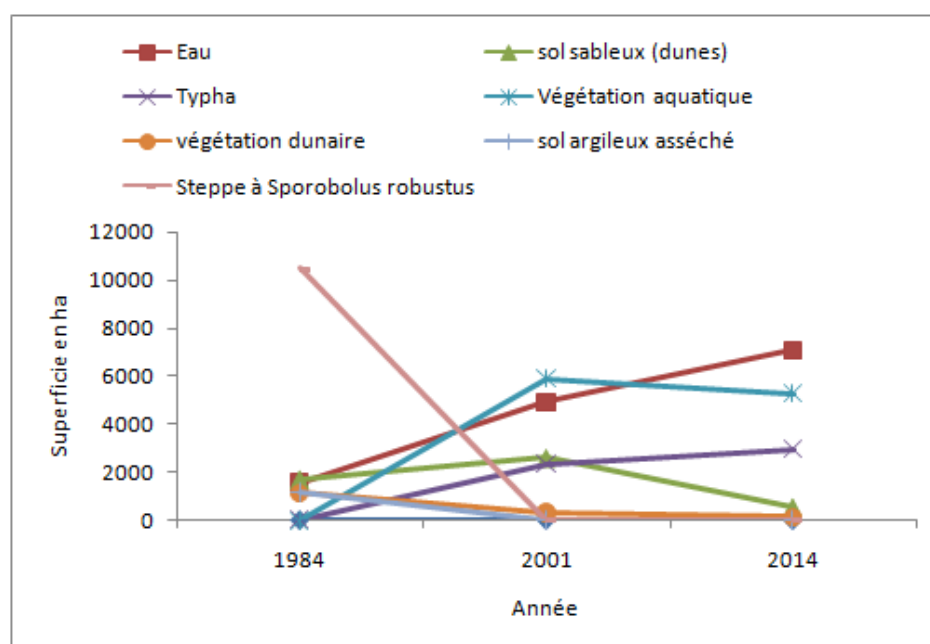


Figure 22: Evolution de l'occupation des sols du Parc National du Diawling

Il découle de l'analyse du tableau 5 que, pour chaque catégorie, on note si l'on s'en tient aux chiffres globaux que :

- L'eau en 1984 était de 1569,78 ha (soit 10%), ces superficies avaient augmenté pour atteindre respectivement de 4911,66 ha (soit 31%) et 7084 ha (soit 44%) pour les années 2001 et 2014. L'augmentation des surfaces occupées par l'eau est liée à l'inondation artificielle opérée chaque du 1^{er} juillet au 31 octobre pour simuler les conditions d'avant barrage. A travers ces lâchers, on vise la restauration écologique dans les bassins de Bell et Diawling.
- Le sol sableux (dunes) qui couvrait 1706,85 ha pour l'année 1984, soit 11% de la zone étudiée, a augmenté. Elle couvre une surface de 2589,30 ha, soit 16% de la zone étudiée en 2001. Par contre, elle a connu une diminution nette en 2014 où elle n'occupe que 542,88 ha (soit 3%). On note une baisse des surfaces occupées par du sol sableux en 2001 et en 2014 liées aux crues artificielles, mais surtout à une bonne pluviométrie particulièrement en 2014.
- La surface occupée par *Typha australis* a subi un grand changement. En effet, elle est passée de 0,06% en 1984 (soit 9,81) à 15% en 2001 (soit 2339,46 ha) puis à 18% en 2014 (soit 2967,30 ha).
- En 1984, la végétation aquatique était presque inexistante, elle a connu une apparition avec la création du barrage de Diama pour atteindre une superficie 5876,46 ha pour l'année 2001 et 5293,17 ha en 2014, soit respectivement les pourcentages 37% et 33%. La végétation dunaire qui occupait une superficie de 1115,37 ha soit 7% de la superficie totale en 1984 a diminué pour atteindre 322,92 ha en 2001 puis 152,46 ha en 2014 soit respectivement. 2% et 1% de la zone étudiée. La diminution des végétations dunaires très remarquable est due à l'évolution du *Typha australis* qui a augmenté vers la dune.

Les deux classes de sol argileux asséché et *Sporobolus robustus* qui occupent des superficies respectives de 1162,98 ha (soit 7%) et de 10475,02 ha (soit 65% ha) pour l'année 1984, sont pratiquement nulles pour les années 2001 et 2014. La disparition de sol argileux est due à l'augmentation d'eau pendant la période d'inondation artificielle, ainsi les surfaces autrefois peuplées par *Sporobolus robustus* sont actuellement envahies par *Typha australis* (figures 5). La zone la plus affectée et d'accès difficile est celle du sud du bassin du Gambar où les activités économiques liées à la récolte de fruits de Nénuphar (*Nymphaea lotus*) et des gousses d'*Acacia nilotica* ont été fortement affectées (Duvail, 2001, Diawara, 1997). La

pêche, autrefois activité procurant des revenus substantiels pour la population est devenue de plus en plus difficile dans le Gambar où l'accès aux pirogues est fortement entravé par la végétation denses de *Typha australis*.

Cependant, certaines zones du Bell et Diawling ont récemment été colonisées, puisqu'une partie centrale est toujours restée en eau, ce qui explique une apparition du typha dans ces zones.

III.4.2 Résultats de la détection des changements

Tableau 12: Superficies des différentes formations végétales du PND 1984, 2001 et 2016

Formations végétales	1984		2001		2016	
	Superficie (ha)	Pourcentage	Superficie (ha)	Pourcentage	Superficie (ha)	Pourcentage
Formations steppiques des systèmes dunaires	37766,8402	52,33	20845,6787	28,89	16753,2224	13
Formations des cuvettes et dépressions à inondation prolongée	10145,461	14,06	24747,606	34,29	41675,7874	58
Formations steppiques des plaines non inondées ou à inondation limitée	23862,2811	33,07	23910,7008	33,13	12825,4653	25
Milieu de sols nus	390,417728	0,54	2661,01451	3,69	910,524700	4

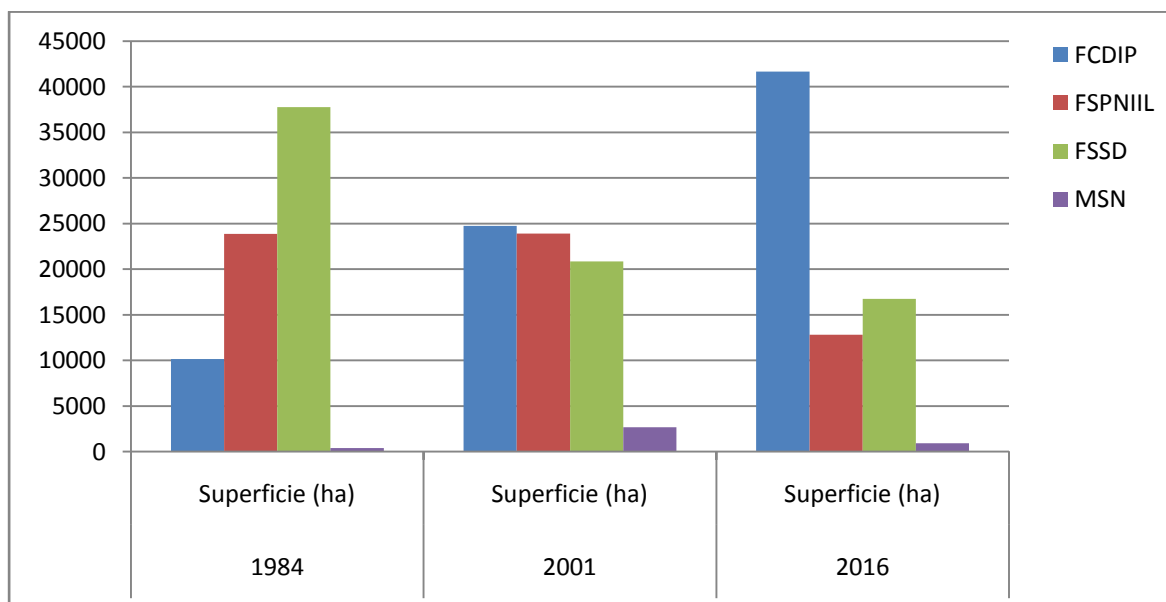


Figure 23: Superficies occupées par les formations végétales depuis 1984

En 1984, Les formations steppiques des systèmes dunaires montrent une dominance, avec une superficie de 37766,8402 ha ce qui représente 52,33 % du territoire étudié, suivie par les formations steppiques des plaines non inondées ou à inondation limitée occupent une superficie de 23862,2811 soit 33,07 %. Par contre, les deux formations caractéristiques des cuvettes et dépressions à inondation prolongée, milieux (salés et Sebkha) et de sols nus couvrent deux superficies 10145,461ha et 390,417728 ha, soit respectivement les pourcentages 14,06% et 0,54 %.

En ce qui concerne l'année 2001, la formations des cuvettes et dépressions à inondation prolongée était largement dominante ; cette formation occupait une superficie de 24747,606 ha ce qui représente 34,29 % du territoire étudié, c'est presque la même superficie occupée par la formations steppique des plaines non inondées ou à inondation limitée. La formation steppique des systèmes dunaires près de 20845,6787 hectares soit environ 28,89 % de la zone étudiée. Cependant, les sols nus très peu représentée avec une superficie qui ne dépasse guère une surface de 2661,01451 ha ce qui représente de 3,69 % du territoire étudié (Tableau 12).

Pour 2016, la formation des cuvettes et dépressions à inondation prolongée était la plus grande qui représente 58 % (soit 41675,7874ha) de la totalité de la superficie étudiée, suivi par la Formations steppique des plaines non inondées ou à inondation limitée avec un pourcentage de 25 % (soit 12825,4653ha), la Formation steppique des systèmes dunaires qui occupait 13% (soit 16753,2224 ha). Cependant, les sols nus ne représentent que 4% (910,52470ha).

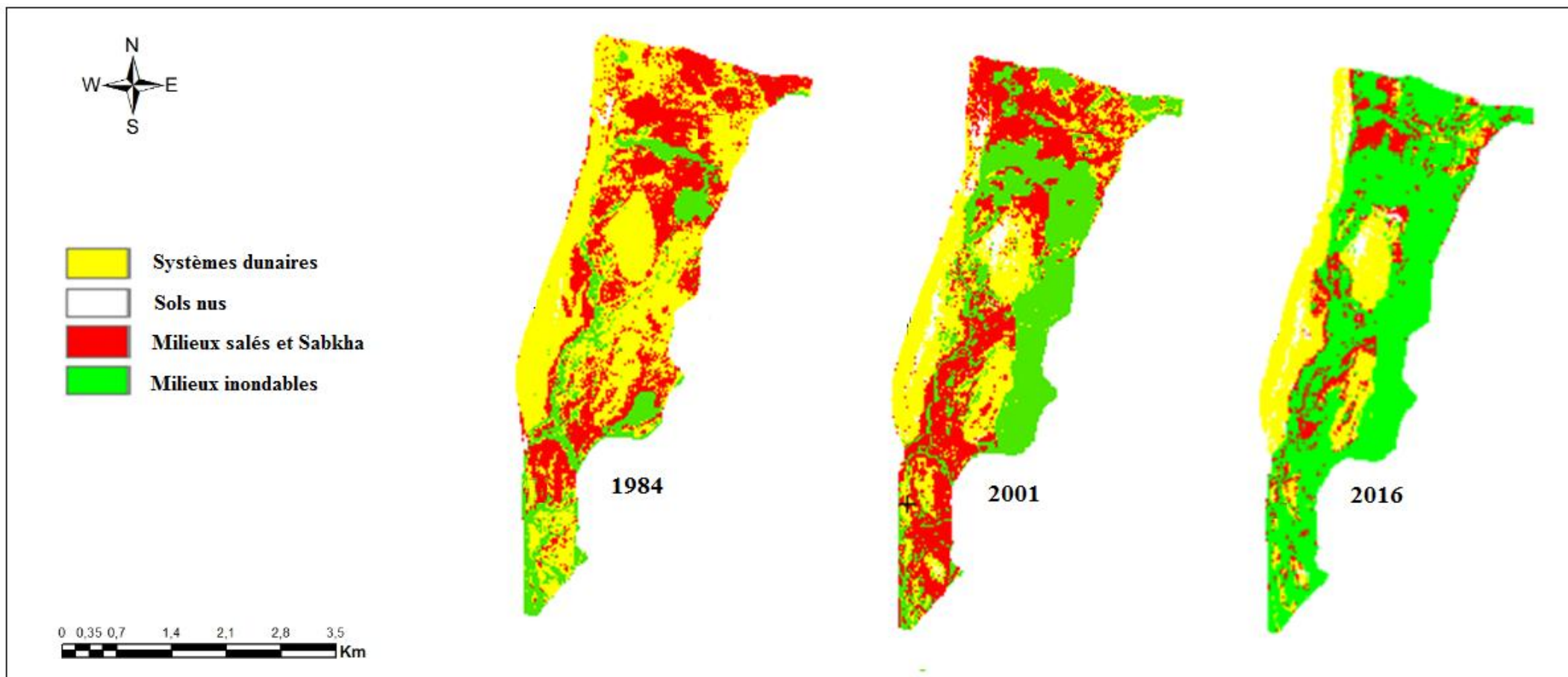


Figure 24: Formations végétales du PND et ses zones périphériques en 2016

L'analyse de l'état de changement de formations végétales du Parc National Diawling durant la période entre 1984 et 2016, fait par la réalisation des cartes des formations végétales.

En termes de pourcentage, la dynamique observée des formations identifiées montre une diminution de Formations steppiques des systèmes dunaires, le taux de régression enregistré entre 1984 et 2001, une période de 15 ans est de 23,44 % et entre 2001 et 2016 est de 23,44 % 15,80, une perte de 38,44% de la superficie totale de cette formation, ce qui explique une intense dégradation due principalement à l'action climatique et l'action humain, la construction du barrage de Diama et le surpâturage. Cependant, les Formations des cuvettes et dépressions à inondation prolongée, Le taux de progression enregistré durant la même période est de 23,71% (Tableau 12), due à la augmentation d'eau pendant la période d'inondation artificielle (Chaque année entre 31 juillet et 31 octobre). En revanche, les Formations steppiques des plaines non inondées ou à inondation limitée restent stable entre 1984 et 2001 avec un pourcentage de 33% 25, après elles ont diminué de 8%. Enfin, les Sols nus durant la premier periode de 15 ans, ont augmenté de 0 jusqu'à 4, après elles restent stable.

En revanche, à travers ces résultats, il apparaît que la formation végétale des systèmes dunaires a régressé entre 1984 et 2016, ce qui explique une régression des ressources pastorales (en quantité et en qualité) est une conséquence d'effets imbriqués des conditions climatiques défavorables et des activités anthropiques. Cependant, cette régression touche fortement les espèces pérennes de bonne qualité pastorale (cas *Acacia nilotica*, *Acacia tortilis*, *Balanites aegyptiaca*,ect).

En plus de l'analyse des changements de l'occupation du sol, une formation évolutive a été développée après la construction du barrage : la formation des cuvettes et dépressions à inondation prolongée (Tableau 12). Cette formation est Caractérisée par la présence de *Cyperacées*, *Sporobolus* et par endroits de *Tamarix senegalensis*, avec une faible Intérêt pastorale, en raison des difficultés d'accessibilité des animaux liées à la durée de l'inondation.

III.5 Modélisation de la salinité du sol

Le tableau 13 résume les statistiques descriptives des données expérimentales. On remarque une valeur moyenne de l'ordre de 11 ms/Cm. Cependant, les valeurs mesurées montrent une forte variabilité dans l'espace.

Tableau 13; Statistique descriptive des données utilisées

	Min	Max	average	SD*	CV*	Modal value	Kurtosis	Skewness
EC (ms/Cm)	0,29	64,60	11,48	10,41	0,91	3,01	6,79	2,15

*SD standard deviation, CV coefficient of variation

Le PND est un milieu particulier, fortement structuré sous l'influence, d'une part de l'arrivée des eaux douces du fleuve Sénégal et, d'autre part, l'influence de l'océan par le jeu des marées. Le contrôle des quantités d'eau douce par le barrage de Dima a été à l'origine des phénomènes de salinisation importants qui ont affecté la distribution de la biodiversité dans la zone. En effet, la nature de la végétation dans cet écosystème est fortement conditionnée par la présence du sel (Duvail, 2001) (Photo 1). C'est ainsi que la disparition d'une forêt d'*Acacia nilotica* qui se situait sur la dune de Birette et en bordure des plaines inondables a été associée à l'augmentation de la salinité (Loyer, 1989; Taïbi et al., 2007). Aussi, les forêts de mangroves, un habitat sensible, ont été réduites sous la conjugaison de la sécheresse et l'effet du barrage (Duvail, 2001; Taïbi et al., 2007).



Photo1 : La salinisation des sols sur la dune de Birette a eu pour conséquence la disparition d'une forêt d'*Acacia nilotica* (gonakier) qui se situait dans une dépression près du village d'Afdiadjer (source Male 2003)

Comme pour *Acacia nilotica*, la salinisation est associée à la diminution des surfaces de *Sporobolus robustus*, de *Nymphaea lotus*, des plantes qui supportent les activités économiques de la populations locale (tannage des peaux, confection de nattes, alimentation et médication) (Taïbi et al., 20 le 07). De même, la pêche est devenue aujourd’hui plus difficile dans le parc, ce qui s’est traduit par la diminution des captures par les pêcheurs et surtout au sud de parc en particulier dans bassin de N’Tiallakh (Duvail, 2001). Enfin, les oiseaux d’eau qui fréquentent la zone cohabitent dans les bassins du parc selon la salinité des eaux (Hamerlynck, n.d.).

L’évaluation de la capacité de prédiction des méthodes d’interpolation a été mise en œuvre par le calcul des indicateurs de performance de la modélisation (tableau 14). En effet, les méthodes LPI et OK montrent des faibles performances, avec une erreur proche de 8 et une corrélation qui reste inférieure à 0,7. Les méthodes RBF et IDW donnent des résultats semblables par rapport au coefficient de corrélation. Néanmoins, la méthode IDW montre une meilleure qualité de prédiction de la conductivité électrique du sol, avec une RMSE de 0,34, une MAE de 0,09 et un coefficient de corrélation de 0,9.

Tableau 14: Paramètres d’évaluation de la performance d’interpolation

Méthode	R	RMSE	MAE
IDW	0,9	0,34	0,09
LPI	0,6	8,16	4,90
OK	0,5	8,73	5,40
RBF	0,9	1,08	0,41

Les différentes méthodes d’interpolation ont été utilisées pour l’élaboration des cartes de la variation spatiale de la conductivité électrique (figure 28). Les zones situées au Sud et au Nord du parc sont caractérisées par une conductivité électrique élevée par rapport aux autres territoires du parc. Ces zones correspondent aux deux bassins de N’Tiallakh et de Diawling Tichilitt. On remarque que l’apparition de quelques points, à faible conductivité, dispersés dans ces zones, ceci peut être lié à la structure des sols. Selon (Duvail, 2001), les phénomènes de salinité, dans ces bassins, ont une ampleur et une intensité supérieures à celles des autres

bassins du parc. Ceci est expliqué par les effets des inondations. Les eaux salées issues de l'océan atlantique sont à l'origine de la salinité du bassin de N'Tiallakh qui est localisé sud-ouest du PND et communique directement avec la mer par le marigot de N'tiallakh. En effet, la conductivité électrique semble avoir remontée après la fermeture du barrage de Diama. Hamerlynck (1996) postule que la salinité de l'eau de ces endroits fluctue beaucoup pendant la saison sèche; scénario qui n'était pas envisagé lors de l'élaboration du plan de gestion du parc. Ce plan prévoyant plutôt l'adoucissement des eaux de certains bassins pendant la saison des pluies. D'autres travaux de recherche ont montré que la salinité de l'eau des puits, même ceux situés à proximité du lit du fleuve, n'a cessé d'augmenter (Davranche and Taïbi, 2015; Taïbi et al., 2007) . Aussi le bassin de Diawling Tichilitt, situé au Nord, se retrouve inonder par les eaux salées en provenance du bassin de N'Tiallakh par l'ouvrage de Lekser. Une faible salinité est enregistrée au centre de la zone d'étude (bassin de Bell). Ceci est expliqué par la proximité de l'ouvrage permettant à l'eau douce du fleuve Sénégal d'inonder ce bassin au cours de certain mois de l'année.

La comparaison des résultats obtenus par ces travaux avec ceux trouvés par d'autres études, nous pouvons citer (Emadi and Baghernejad, 2014; Karydas et al., 2009; Poshtmasari et al., 2012) qui ont mis en évidence que la méthode IDW donne une bonne prédiction de la conductivité électrique, avec une erreur moyenne de 0,38. Cependant, Tripathi et al.(2015) ont sélectionné la méthode OK comme la meilleure technique d'interpolation de la salinité des sols, avec une erreur moyenne d'environ 1,6. Le choix de la méthode OK a été justifié par Mohammad et al., 2010 qui ont étudié répartition spatiale des propriétés du sol par l'application des technique d'intepolation comme IDW et OK.

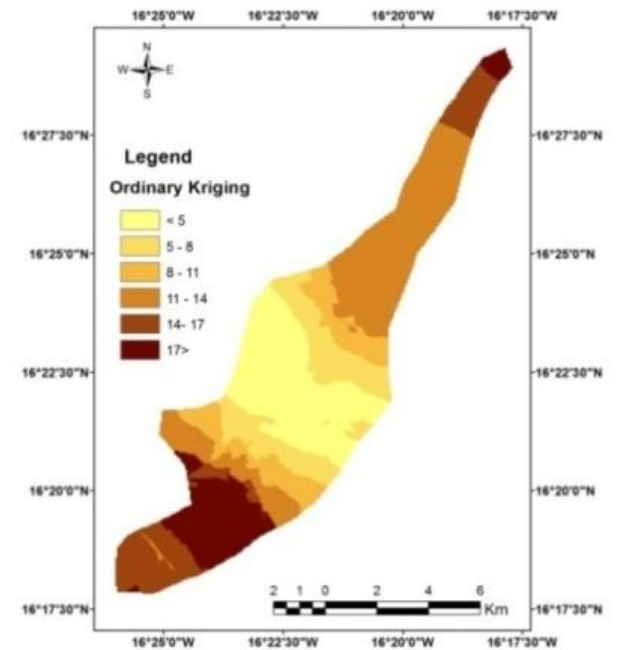
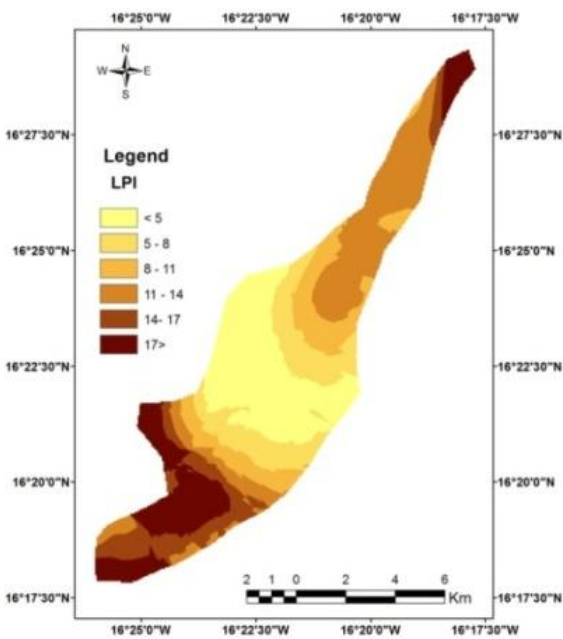
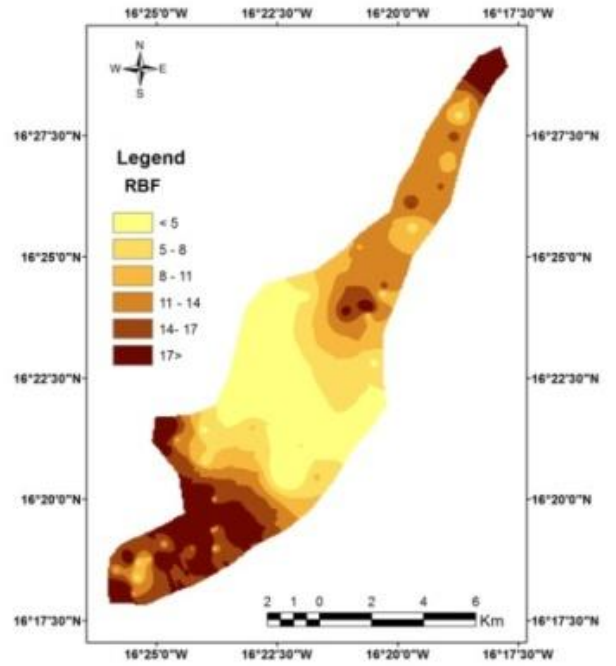
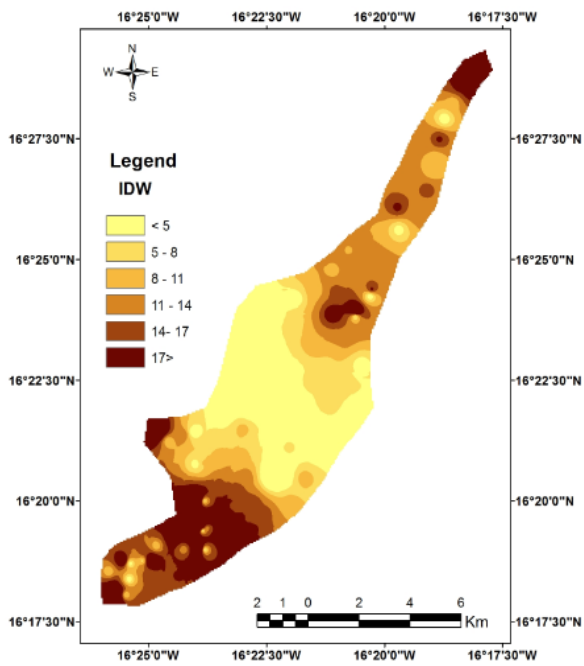


Figure 25: Carte de répartition spatiale d'EC du sol (ms/cm) élaborée par les différentes méthodes

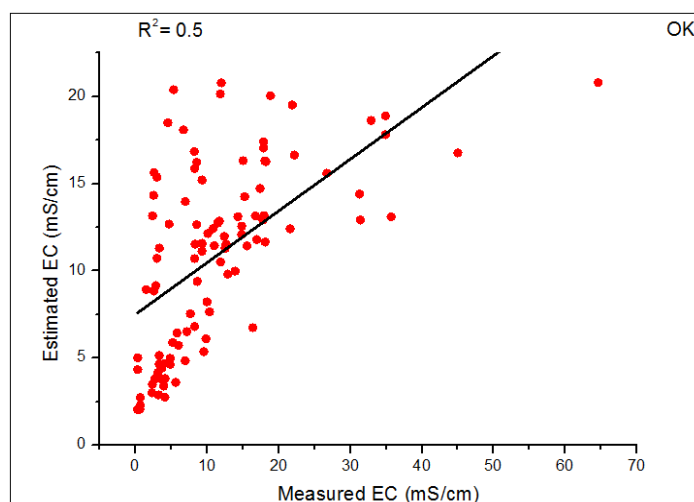
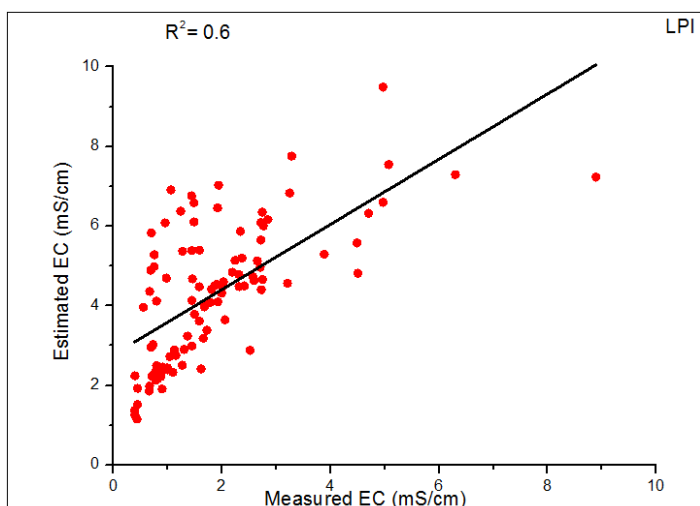
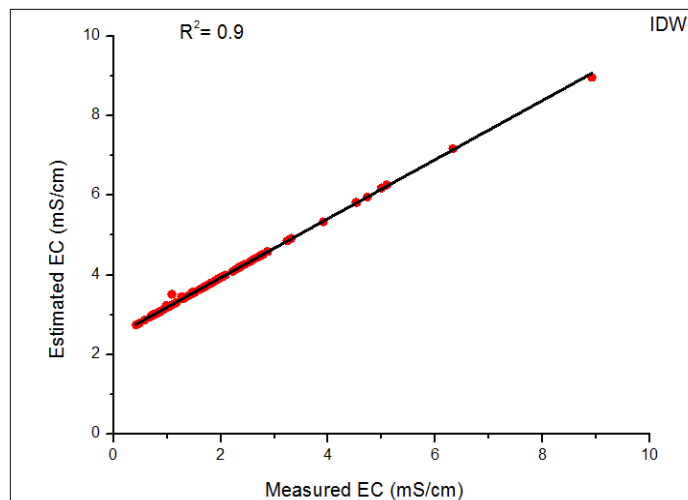
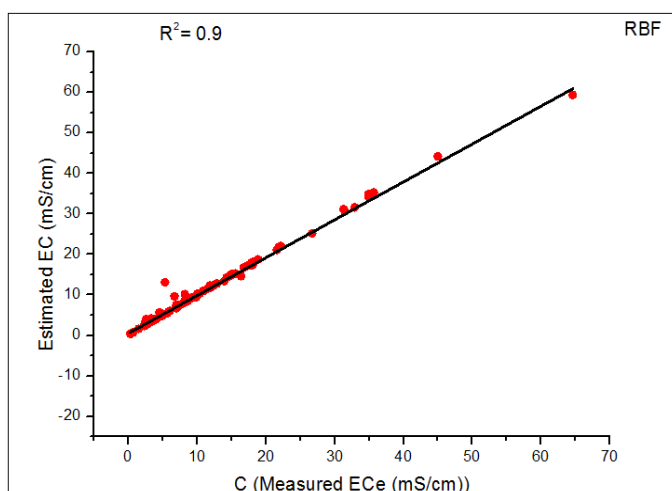


Figure 26: Nuage des points représentant les valeurs mesurées en fonction des valeurs prédites par les différentes méthodes

CONCLUSION

En Afrique de l'Ouest, la désertification, la perte de la diversité biologique et la sécheresse perturbent les ressources fragiles qui sont menacées de dégradation rapide ; cette dégradation dont les conséquences sont senties le plus fortement par les populations pauvres des pays en voie de développement par un contexte socioéconomique marqué par une extrême pauvreté. Elle est induite aussi bien par des facteurs climatiques que par des actions anthropiques. Cependant, une forte diminution est remarquable des superficies agraires à un rythme d'environ 5 à 10 millions d'ha par an, aussi avec une période de croissance démographique globale.

Le bas delta mauritanien compte parmi les zones les plus touchées dans les années 70. Une grande élimination des mammifères due à la pression de la chasse et à la sécheresse. « Le dernier lion (*Panthera leo*) a été tué en 1970 et la gazelle à front roux (*Gazella rufifrons*) a été observée pour la dernière fois en 1991. Il ne reste que des chacals (*Canis aureus*), quelques phacochères (*Phacochoerus aethiopicus*), des chats sauvages (*Felis sylvestris*), des lièvres (*Lepus capensis*) et des singes (*Erythrocebus patas*). On n'a plus observé de lamantin (*Trichechus senegalensis*) ni de crocodile (*Crocodylus niloticus*) depuis la fermeture du barrage, et l'hippopotame (*Hippopotamus amphibius*) a été vu pour la dernière fois au début des années 60 » (Duvail, 2001). Cependant, les mangroves et le couvert d'arbustes (*Euphorbia balsamifera*, *Acacia nilotica*) ont été fortement touchés dans la période de sécheresse, aussi bien après la construction de barrage (Taïbi et al., 2007).

Malgré que la construction du barrage de Diama (anti sel) a été justifiée au départ par la nécessité de conserver la biodiversité et restaurer les activités (la conservation et l'utilisation durable des ressources naturelles d'un échantillon de l'écosystème du bas delta, le développement harmonieux et permanent des activités traditionnelles et nouvelles des populations locales et la coordination des activités piscicoles et pastorales menées sur son territoire), mais les conséquences ont été rapidement mises en évidence.

En effet, des études ont été faites par (Diawara, 1997; Duvail, 2001; Duvail and Hamerlynck, 2003a; Mohamed, 2014; Taïbi et al., 2007) et ont montré qu'il y a une forte réduction du nombre d'oiseaux migrateurs, de la plupart des activités génératrices de revenus importants pour la population locale, notamment la pêche, la cueillette de *Sporobolus* pour la confection

de nattes, la récolte de *Nymphaea lotus* ou des gousses d'*Acacia nilotica* qui servent pour le tannage des peaux ; toutes ces activités sont devenues de plus en plus difficiles à cause d'une plante envahissante : *Typha australis*. Cette plante occupe environ 4 000 hectares des terres du Parc.

Dans ce mémoire de thèse, des données de télédétection et l'outil SIG sont exploités pour l'élaboration de la carte d'occupation du sol, afin de comprendre l'évolution des sols du Parc National du Diawling, mais aussi pour détecter les changements. La classification supervisée à partir des images satellitaires Landsat MSS, ETM et OLI et TIRS, à la cartographie des changements d'occupation du sol du PND, ont permis de distinguer les éléments d'occupation du sol. L'étude couvre la période de 1984 à 2014 et faisant usage des données Landsat acquises en 1984, 2001 et 2014. La surface occupée par *Typha australis* a subi un grand changement. En effet, elle est passée de 0,06 % en 1984 (soit 9,81) à 15 % en 2001 (soit 2339,46 ha) puis à 18 % en 2014 (soit 2967,30 ha). Ces données montrent une progression claire et rapide au niveau du bassin de Gambar par *Typha*, environ 70% actuellement du bassin sont immergés par cette plante. D'autre part, certaines zones du Bell et Diawling ont récemment été colonisées, ce qui explique une intense dégradation.

Les résultats des études floristiques et ethnobotaniques au niveau de ce PND, nous ont permis d'identifier 24 espèces ayant un large usage dans pharmacopées traditionnelles. Ces espèces soignent plusieurs maladies : les indigestions, diabète, bilharziose, dermatoses, la syphilis, la lèpre, l'asthme, les maladies respiratoires etc. En effet, la végétation de la zone est l'objet d'une surexploitation par l'homme à travers le surpâturage et de l'effet des coupes anarchiques de ces plantes. Donc, il est primordial de prévoir d'une manière urgente des actions visant la culture et la valorisation de ces plantes afin d'assurer leurs durabilité.

Une étude de l'évolution géochimique des sols du bas delta, menée par (Mohamedou, 1998), a montré une relation étroite entre la nature du sol et la qualité des eaux qui s'infiltrent, la salinisation des sols des cuvettes pendant la saison chaude (forte concentration saline).

Dans ce travail, nous avons étudié la variation spatiale de la salinité au niveau du Parc National du Dawling. L'évaluation a eu lieu sur 100 points, en utilisant différentes techniques d'interpolation. Les résultats obtenus ont montré une forte variabilité de la conductivité électrique d'un point à l'autre au sein de la zone d'étude. La valeur moyenne est d'environ 11 mS/cm. Le niveau de salinité le plus élevée a été enregistré dans les zones situées au Sud et au Nord du PND. Des faibles valeurs de la CE ont été observées au centre de la zone d'étude. Ces fluctuations ont été liées avec les processus d'inondations et de liens en amont avec les

eaux douces du fleuve et en aval avec ceux de la mer. Le calcul des indicateurs de performance d'estimation a permis de sélectionner la méthode IDW comme étant la meilleure technique d'interpolation, adaptée à notre zone d'étude. L'erreur quadratique moyenne est de l'ordre de 0,34 et le coefficient de corrélation avoisine une valeur de 0,9

Des efforts restent encore à faire. Donc, nous recommandons de réaliser des études complémentaires qui prendront en compte :

- Maintenir un suivi du parc aussi bien in-situ que par télédétection
- Restaurer les dunes littorales par leur revégétalisation par des espèces autochtones locales
- Faire une étude pastorale dans le parc afin de connaître :
 - a. Les potentialités pastorales de chacun des groupements végétaux représentant des habitats
 - b. La charge pastorale (la taille du cheptel que peut supporter chacun des habitats)
 - c. Le calendrier annuel du pâturage

- Améliorer la recherche sur les indices de sécheresse
- Etudier l'impact de l'invasion de *Typha australis* : Sur l'agriculture, Sur la pêche, Sur l'eau et Sur la santé
- Valorisation des plantes aromatiques et médicinales : Etude Chimique et Biologique
- Réaliser une étude: relation entre *Typha* et salinité
- Etudier l'impact du Port de N'Diogo (En phase de construction)
- Plantation la plante *Sporobolus robustus* dans les bassins du Parc: Pour améliorer des conditions de vie de la population locale

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdallahi OULD MOHAMEDOU, Laurent BARBÉRO, Sônia FURIAN, Raoul CARUBA, 2001. L'érosion du sol en fonction . du système pédologique dans le parc national du Diawling, Mauritanie. *Sécheresse* 12, 183–6.
- Abdelbaki, A., 2012. Utilisatin des SIG et Télédétection dans l'étude de la dynamique du couvert végétal dans le sous bassin versant de oued Bouguedfine (Wilaya Chelf). Université Hassiba Ben Bouali Chelf.
- Abdou, A., Soukaradji, B., 2010. Contribution a l'état des connaissances de quelques plantes envahissantes au Niger.
- Abou, T., 1984. Contribution à l'étude phytoécologique de la zone de décrue du Lac de Guiers (Sénégal). Université de Dakar, Institut des Sciences de l'Environnement.
- Acherkouk, M., Maatougui, A., El Houmaiz, M.A., 2011. Communautés végétales et faciès pastoraux dans la zone de Taourirt-Tafoughalt du Maroc oriental: écologie et inventaire floristique. *Acta Bot. Malacit.* 36, 125–136.
- Ali Mahamane, 2006. Etudes floristique, phytosociologique et phytogéographique de la végétation du parc régional du w du Niger, *Acta Botanica Gallica*, 153:2, 265-269
- Amina Trari., 2017. Etude phytoécologique de la forêt d'Ouled Sidi Yahia (Daira Zemmoura wilaya Relizane). Mémoire Master, Université Abou Baker Belkaid-Tlemcen, 114 pp
- André, A., Chenaival, N., 2007. Cartographie, caractérisation de la végétation et estimation de l'effectif des phacochères. Mémoire d'étude. Parc National du Diawling DUT Génie Biologique. Université de Nantes, p. 121.
- Asfaw, E., Suryabagavan, K.V., Argaw, M., 2018. Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 17, 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.05.003>
- Barbier, E.B., 1994. Valuing Environmental Functions: Tropical Wetlands. *Land Econ.* 70, 155. <https://doi.org/10.2307/3146319>
- Barbiéro, L., Caruba, R., 1998. Influence de la maturation des sols de mangrove sur la déflation éolienne et la formation des dunes argileuses dans le delta du fleuve Sénégal. *Comptes rendus-Acad. Sci. Paris Ser. 2 Sci. Terre Planetes Fasc. A 327*, 115–120.

- Barbiéro, L., Mohamedou, A.O., Laperrousaz, C., Furian, S., Cunnac, S., 2004. Polyphasic origin of salinity in the Senegal delta and middle valley. *Catena* 58, 101–124.
- Bartolucci, L., Chang, M., Anuta, P., Graves, M., 1988. Atmospheric effects on Landsat TM thermal IR data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 26, 171–175.
- Beguin C., Ritter J., Roux m., 1974. Application de l'analyse factorielle des correspondances à la phytosociologie de quelques groupements végétaux culminaux du secteur delphino-jurassien. *Ber. Schweiz. Bot. Ges.*, 84 (3) : 218-242 pp.
- Benzecri J.P, 1973. Pratique de l'analyse des données. Tome II Édit Dunod 462.
- Benzecri J.P., Benzecri f., 1984. Pratique de l'analyse des données. I. Analyse des correspondances et classification. Dunod, Paris, 456 p
- Bernard TERCA., Seydina Issa SYLLA., Moussa Séga DIOP, 1996. Contribution au rapport du Groupe de Travail sur les écosystèmes particulièrement vulnérables (zones humides continentales et littorales, milieu marin) dans le cadre du Plan National d'Action pour l'Environnement (PNAE). L'Institut I français de recherche scientifique pour le développement en coopération. 7p
- Bhunja, G.S., Shit, P.K., Maiti, R., 2018. Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC). *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 17, 114–126. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.02.001>
- Bottliková, A., Daget, P., Drdoš, J., Guillerm, J.L., Romane, F., Ružičková, H., 1976. Quelques résultats obtenus par l'analyse factorielle et les profils écologiques sur des observations phyto-écologiques recueillies dans la vallée de Liptov (Tchécoslovaquie). *Vegetatio* 31, 79–91. <https://doi.org/10.1007/BF02342549>
- Boulerie, P., 2008. Introduction à la télédétection, d'après le cours de « Olivier Joinville »,.
- Bouroche J.M., Saporta G., 1980. L'analyse des données. Presses Universitaires de France, Paris, 127 p.
- Christian Lahondère, 1997. Initiation à la phytosociologie sigmatiste. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest Nouvelle série - Numéro spécial* 16, 46 p
- Correra, A., 2006. Dynamique de l'utilisation des ressources fourragères par les dromadaires des pasteurs nomades du Parc national du Banc d'Arguin (Mauritanie) (PhD Thesis). Paris, Muséum national d'histoire naturelle.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature* 387, 253.

- Dallahi Youssef, 2017. Apport de la télédétection spatiale pour l'étude écologique, phytosociologique et cartographique de la tétraclinaie du Site d'intérêt Biologique et Écologique (SIBE) de Kharouba en vue de son aménagement (Plateau central, Maroc).
Thèse de doctorat. Université Mohammed V, 113 p.
- Davranche, A., Taïbi, A.N., 2015. Les changements d'occupation et d'usage du sol, des processus multidimensionnels complexes qui affectent la biodiversité. L'Harmattan.
- Diagne, M.L., N'Diaye, P.I., Sari, T., Niane, M.T., 2010. Un modèle mathématique de la prolifération du Typha, in: CARI 2010.
- Diane Vaschalde, 2014. Services écologiques rendus par les zones humides en matière d'adaptation au changement climatique. Rapport technique. 78 p.
- Diawara, Y., 1997. Formations morphopédologiques et les unités floristiques du bas-delta mauritanien. Presented at the Dans: Colas, F. (éd. scient.). Environnement et littoral mauritanien. Actes du colloque, 12-13 juin 1995, Nouakchott, Mauritanie. CIRAD, Montpellier, pp. 47–52.
- Dubois, J., Tricart, J., 1954. Esquisse de la stratigraphie du Quaternaire du Sénégal et de la Mauritanie du Sud, Compte Rendu de l'Académie des Sciences. Tome CCXXXVIII 2.
- Duvail, S., 2001. Scenarios hydrologiques et modeles de developpement en aval d'un grand barrage :Les usages de l'eau et le partage des ressources dans le delta mauritanien du fleuve Sénégal. Université Louis Pasteur (Strasbourg I).
- Duvail, S., Bergkamp, G., Baba, M.L.O., Acreman, M., Hamerlynck, O., 2002. Modélisation hydraulique et gestion sociale de l'eau: Gestion Intégrée des Ressources Naturelles dans les Zones Inondables Tropicales. IRD Paris 815–834.
- Duvail, S., Hamerlynck, O., 2003a. Mitigation of negative ecological and socio-economic impacts of the Diama dam on the Senegal River Delta wetland (Mauritania), using a model based decision support system. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss. 7, 133–146.
- Duvail, S., Hamerlynck, O., 2003b. Mitigation of negative ecological and socio-economic impacts of the Diama dam on the Senegal River Delta wetland (Mauritania), using a model based decision support system. Hydrol. Earth Syst. Sci. 7, 133–146.
<https://doi.org/10.5194/hess-7-133-2003>
- El Oumri, M., Vieillefon, J., 1983. Etude Expérimentale d la Conductivité Electrique Globale des Sols. Appl. À L'Estimation Leur Salin. Cah ORSTOM Sér Pédol 10, 91–108.
- EL Zerey, W., 2014. Etude diachronique de la régression du couvert forestier de la plaine de Telagh (Algérie): approche par télédétection et SIG. Bull. Inst. Sci. Rabat 25–31.

- Elgettafi, M., Himi, M., Casas, A., Elmandour, A., 2011. HYDROCHEMISTRY CHARACTERISATION OF GROUNDWATER SALINITY IN KERT AQUIFER, NE MOROCCO. *Geogr. Tech.* 14.
- Elhag, M., 2016. Evaluation of Different Soil Salinity Mapping Using Remote Sensing Techniques in Arid Ecosystems, Saudi Arabia. *J. Sens.* 2016, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2016/7596175>
- Elodie Vintrou, 2012. Cartographie et caractérisation des systèmes agricoles au mali par télédétection à moyenne résolution spatiale. Thèse, l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), 204 p.
- Emadi, M., Baghernejad, M., 2014. Comparison of spatial interpolation techniques for mapping soil pH and salinity in agricultural coastal areas, northern Iran. *Arch. Agron. Soil Sci.* 60, 1315–1327. <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.880837>
- Foth, H., Calliess, C., Hohmeyer, O., Holm-Müller, K., Niekisch, M., Schreurs, M.A., Faulstich, M., Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (Eds.), 2012. Verantwortung in einer begrenzten Welt: Juni 2012, Umweltgutachten. E. Schmidt, Berlin.
- Frédéric Bangirinama, François Havyarimana & Tatien Masharabu, 2013 .Etude et classification hiérarchique des groupements végétaux caractéristiques de la végétation des jachères du Burundi. *Bull. sci. Inst. natl. environ. conserv. nat.* 11: 14-19
- Friedel, M.J., 2006. Reliability in estimating urban groundwater recharge through the Vadose Zone, in: *Urban Groundwater Management and Sustainability*. Springer, pp. 169–182.
- Gorji, T., Sertel, E., Tanik, A., 2017. Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions: A case study from Turkey. *Ecol. Indic.* 74, 384–391. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.043>
- Grenot, C., 1968. Adaptation des plantes au climat désertique chaud. *Rev. Société Amis Muséum Sci. Nat.*
- Guilcher, A., Nicolas, J., 1954. Observations sur la langue de Barbarie et les bras du Sénégal aux environ de Saint-Louis. *Bull. COEC VI.*
- Halimo Elmi Ali, 2016. Méthode d'identification et de cartographie de l'occupation du sol à fine échelle par analyse d'images. Mémoire de Master, Université de Marne-la-Vallée, 39 p
- Hamerlynck, O., 2006. Crues artificielles et gestion intégrée des basses vallées des fleuves africains Les exemples du fleuve Sénégal (Afrique de l'Ouest) et du fleuve Rufiji (Afrique de l'Est) Stéphanie Duvail. *Press. Univ. Rennes Collect. Espace Territ.* 471–485.

- Hamerlynck, O., n.d. 8.2. 2 Restauration du Parc National du Diawling (Mauritanie).
- Hamerlynck, O., Cazottes, F., 1998. Le Parc National du Diawling (Mauritanie) : Infrastructures hydrauliques pour la restauration d'une plaine d'inondation et la création d'un estuaire artificiel. *Sud Sci. Technol.*
- Hamerlynck, O., Duvail, S., 2009. Mission d'appui à l'élaboration d'un Plan de Gestion de la Réserve de Biosphère Transfrontalière du bas-delta Mauritanien et de son aire centrale le Parc National du Diawling, partim étude hydro-écologique. Rapport de la première mission de terrain du.
- Hani, A., Abari, S.A.H., 2011. Determination of Cd, Zn, K, pH, TNV, Organic Material and Electrical Conductivity (EC) Distribution in Agricultural Soils using Geostatistics and GIS (Case Study: South-Western of Natanz-Iran). *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Biol. Biomol. Agric. Food Biotechnol. Eng.* 5, 852–855.
- Johnston, K., 2004. *ArcGIS 9: using ArcGIS geostatistical analyst*. Esri Press.
- Kamara, S., 2013. *Développements hydrauliques et gestion d'un hydrosystème largement anthropisé: le delta du fleuve Sénégal (PhD Thesis)*. Université d'Avignon.
- Kane, A., 1997. *L'après barrages dans la vallée du fleuve Sénégal: modifications hydrologiques, morphologiques, géochimiques et sédimentologiques conséquences sur le milieu naturel et les aménagements hydro-agricoles*. Université Cheikh Anta Diop (UCAD).
- Kane, A., 1985. *Le bassin du Sénégal à l'embouchure. Flux continentaux dissous et particulaires. Invasions marines dans la vallée du fleuve. Contribution à l'hydrologie fluviale en milieu tropical humide et à la dynamique estuarienne en domaine sahélien*. Univ. Nancy II.
- Kane, A., Barousseau, J., 1993. *Caractères hydrologiques, sédimentologiques et morphologiques du Bas-estuaire*. In "l'après-barrage dans la vallée du Sénégal". *Modifications hydro-dynamiques et sédimentologiques. Conséquences sur le milieu et les aménagements hydroagricoles (Collection Etude, Ministère de la Coopération et du Développement, Presses Universitaires de Perpignan)*.
- Kankou, M.O.S.O., 2004. *Année universitaire: 2004N: 47 Thèse (PhD Thesis)*. Université de Nouakchott.
- Karydas, C.G., Gitas, I.Z., Koutsogiannaki, E., Lydakias-Simantiris, N., Silleos, G.N., 2009. Evaluation of spatial interpolation techniques for mapping agricultural topsoil properties in Crete. *EARSel EProceedings* 8, 26–39.

- Khosravi, H., Karimi, K., Mesbahzadeh, T., 2016. Investigation of spatial structure of groundwater quality using geostatistical approach in Mehran Plain, Iran. *Pollution* 2, 57–65.
- Laurent Barbiéro, Mohamedou, A.O., Raoul Caruba, 1998. Influence de la maturation des sols de mangrove, sur la déflation éolienne et la formation des dunes argileuses dans le delta du fleuve Sénégal. *C R Acad Sci Paris Sci. Terre Planètes Earth Planet. Sci.* 327, 115–120.
- Loyer, J.Y., 1989. Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal., Caractérisation, distribution sous cultures, ORSTOM, (Etudes et Thèses). ISBN 2-7099-0941-3. ed.
- Mallé Diagana, 2005. Approche spatiale de la biodiversité (flore et végétation) dans une aire protégée saharienne : Le Parc National du Banc d'Arguin (Mauritanie). Thèse de doctorat, Université d'Angers, 332p.
- Mangolini, M., 1994. Apport de la fusion d'images satellitaires multicapteurs au niveau pixel en télédétection et photo-interprétation (PhD Thesis). Université de Nice Sophia-Antipolis.
- Marcel, R., Jean, R., Jacques, S., 1975. Les aspects hydrologiques de la sécheresse récente en Afrique de l'Ouest, in: *Meteorological and Hydrological Aspects of Continental Droughts*. p. 18.
- Mariko, A., 2003. Caractérisation et suivi de la dynamique de l'inondation et du couvert végétal dans le Delta intérieur du Niger (Mali) par télédétection (PhD Thesis). Thèse Science de l'eau dans l'environnement continental, Université de Montpellier.
- Marko, K., Al-Amri, N.S., Elfeki, A.M.M., 2014. Geostatistical analysis using GIS for mapping groundwater quality: case study in the recharge area of Wadi Usfan, western Saudi Arabia. *Arab. J. Geosci.* 7, 5239–5252. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1156-2>
- Matera, J., Malaisse, F., 1999. *Typha australis* : source d'énergie potentielle pour la production de charbon de biomasse inventaire de la biomasse sur la rive gauche du fleuve Sénégal. Rapport de mission effectuée par le laboratoire d'écologie de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques.
- Michel, P., Barusseau, J.P., Richard, J.F., Sall, M., 1988. L'après-Barrages dans la vallée du Sénégal : Modifications hydrodynamiques et sédimentologiques : conséquences sur le milieu et les aménagements hydro-agricoles.
- Mietton, M., Dumas, D., Hamerlynck, O., Kane, A., Coly, A., Duvail, S., Pesneaud, F., Baba, M.L.O., 2007. Water management in the Senegal River Delta: a continuing

- uncertainty. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 4, 4297–4323. <https://doi.org/10.5194/hessd-4-4297-2007>
- Mietton, M., Humbert, J., 1994. Dynamique du milieu naturel et transformations par l'homme dans le delta du Sénégal. La cuvette du N'Diael hier, aujourd'hui et demain. Enregist. Indic. Lévolution Environ. En Zone Trop. Sous Dir. R Maire Pomel JN Salomon Espac. Trop. N 14, 345–365.
- Mohamed, O.A., 2014. L'hivernage des limicoles (Aves, Charadrii) des zones humides d'importance majeure en Mauritanie méridionale: Inventaire des espèces et étude phénologique. Univ. Mohammed V Fac. Sci. Rabat 195.
- Mohamedou, A.O., 1998. les infos Contribution a l'étude de l'environnement du parc national du diawling (mauritanie) : eaux, sols, vegetation. Université de Nice-Sophia Antipolis.
- Mohammad, Z.-M., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Akbarzadeh, A., 2010. Evaluation of geostatistical techniques for mapping spatial distribution of soil pH, salinity and plant cover affected by environmental factors in Southern Iran. *Not. Sci. Biol.* 2, 92–103.
- Montoroi, J.P., 1997. Conductivité électrique de la solution du sol et d'extraits aqueux de sol Application à un sol sulfaté acide salé de Basse-Casamance (Sénégal). *Étude Gest. Sols* 4, 279–298.
- Mousavifard, S.M., Momtaz, H., Sepehr, E., Davatgar, N., Sadaghiani, M.H.R., 2013. Determining and mapping some soil physico-chemical properties using geostatistical and GIS techniques in the Naqade region, Iran. *Arch. Agron. Soil Sci.* 59, 1573–1589. <https://doi.org/10.1080/03650340.2012.740556>
- Ngom, F.D., Tweed, S., Bader, J.-C., Saos, J.-L., Malou, R., Leduc, C., Leblanc, M., 2016. Rapid evolution of water resources in the Senegal delta. *Glob. Planet. Change* 144, 34–47. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.07.002>
- Nouaceur, Z., Turki, I., Laignel, B., 2013. Changements climatiques au Sahel : des conditions plus humides et plus chaudes en Mauritanie. *Sécheresse* 24, 85–95.
- Olivier HAMERLYNCK, François CAZOTTES, 1998. Le Parc National du Diawllng (Mauritanie) : infrastructures hydrauliques pour la restauration d'une plaine d'inondation et la création d'un estuaire artificiel. *Sub Sci. Technol.* 28–38.
- Ould Abidine Mohamed Mahmoud, Ahmed El Aboudi, Inejih Cheikh Abdellahi, Ahmedou Soule, 2016. Remote sensing and gis in support of the characterization of the climate in Mauritania: case of the Diawling National Park (pnd) and its peripheral zone. *Int. J. Adv. Res.* 4, 1575–1580. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/2559>

- Pang, S., Li, T.-X., Zhang, X.-F., Wang, Y.-D., Yu, H.-Y., 2011. Spatial variability of cropland lead and its influencing factors: A case study in Shuangliu county, Sichuan province, China. *Geoderma* 162, 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.01.002>
- Pauline Delbosc, 2015. Phytosociologie dynamico-caténale des végétations de la Corse : méthodologies typologique et cartographique. *Géographie*. Université de Bretagne occidentale – Brest., 849 pp
- PNEEB/TYPHA, 2014. Capitalisation des résultats de recherches et expériences sur le typha.
- Poshtmasari, H.K., Sarvestani, Z.T., Kamkar, B., Shataei, S., Sadeghi, S., 2012. Comparison of interpolation methods for estimating pH and EC in agricultural fields of Golestan province (north of Iran). *Int. J. Agric. Crop Sci.* 4, 157–167.
- Rachid Meddour, 2011. la méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-Blanquet-Tüxenienne. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 41 p.
- Reinhard, K., 2002. Valorisation du Typha comme combustible domestique en Afrique de l'Ouest et en Europe.
- Reizer, 1974. Définition d'une politique d'aménagement des ressources halieutiques d'un écosystème aquatique complexe par l'étude de son environnement abiotique, biotique et anthropique. Thèse Doctorale, ARLON FUL, 6 vol.
- Robinson, T.P., Metternicht, G., 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Comput. Electron. Agric.* 50, 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.07.003>
- Saito, H., McKenna, S.A., Zimmerman, D.A., Coburn, T.C., 2005. Geostatistical interpolation of object counts collected from multiple strip transects: Ordinary kriging versus finite domain kriging. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 19, 71–85. <https://doi.org/10.1007/s00477-004-0207-3>
- Syedmohammadi, J., Esmaeelnejad, L., Shabanpour, M., 2016. Spatial variation modelling of groundwater electrical conductivity using geostatistics and GIS. *Model. Earth Syst. Environ.* 2, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0226-3>
- Silva, M., G. Camara, M. Escada, and R. Souza, 2008. Remote Sensing Image Mining: Stratégie Nationale de Conservation des Zones Humides en Mauritanie, 2014.
- Detecting Agents of Land Use Change in Tropical Forest Areas. *International Journal of Remote Sensing*, 29(16):4803–4822.
- Taïbi, A.N., Barry, M. el H., Jolivel, M., Ballouche, A., Baba, M.L.O., Moguedet, G., 2007. Enjeux et impacts des barrages de Diama (Mauritanie) et Arzal (France): des

- contextes socio-économiques et environnementaux différents pour de mêmes conséquences. *Norois* 51–66. <https://doi.org/10.4000/norois.1536>
- Taïbi, A.N., Barry, M.E.H., Hallopé, A., Moguedet, G., Ballouche, A., Baba, M.L.O., Ba, A., 2006. Diagnostic par télédétection satellitaire des impacts environnementaux et socio-économiques du Parc National du Diawling sur le Bas Delta du fleuve Sénégal. FFRSA, CNBSB, PRCZCMAO.
- Tripathi, R., Nayak, A.K., Shahid, M., Raja, R., Panda, B.B., Mohanty, S., Kumar, A., Lal, B., Gautam, P., Sahoo, R.N., 2015. Characterizing spatial variability of soil properties in salt affected coastal India using geostatistics and kriging. *Arab. J. Geosci.* 8, 10693–10703. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2003-4>
- Townshend, J.R.G., C. Justice, and V. Kalb, 1987. Characterization and classification of South American land cover types using satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 8(8):1189–1207.
- Van Wetten.J., Cheikhna ould Mbaré., Binsbergen.M., Van Spanje.T, 1990. Zones humides du sud de la Mauritanie. Research Institut e for Nature Management.140p
- Varis, O., Lahtela, V., 2002. Integrated water resources management along the Senegal River: introducing an analytical framework. *Int. J. Water Resour. Dev.* 18, 501–521.
- Varouchakis, ε. A., Hristopulos, D.T., 2013. Comparison of stochastic and deterministic methods for mapping groundwater level spatial variability in sparsely monitored basins. *Environ. Monit. Assess.* 185, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2527-y>
- Wang, S., Huang, G.H., Lin, Q.G., Li, Z., Zhang, H., Fan, Y.R., 2014. Comparison of interpolation methods for estimating spatial distribution of precipitation in Ontario, Canada: COMPARISON OF INTERPOLATION METHODS FOR PRECIPITATION DISTRIBUTION. *Int. J. Climatol.* 34, 3745–3751. <https://doi.org/10.1002/joc.3941>
- World Commission on Dams, 2000. Dams and development. A new framework for decision-making. Earthscan, London.
- Yao, R., Yang, J., 2010. Quantitative evaluation of soil salinity and its spatial distribution using electromagnetic induction method. *Agric. Water Manag.* 97, 1961–1970. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.02.001>
- Zarco-Perello, S., Simões, N., 2017. Ordinary kriging vs inverse distance weighting: spatial interpolation of the sessile community of Madagascar reef, Gulf of Mexico. *PeerJ* 5, e4078. <https://doi.org/10.7717/peerj.4078>

Zehtabian, G.R., Mohammad Asgari, H., Tahmoures, M., 2012. Assessment of spatial structure of groundwater quality variables based on the geostatistical simulation. *Desert* 17, 215–224.

Zhang, X., M. Friedl, and C. Schaaf, 2009. Sensitivity of vegetation phenology detection to the temporal resolution of satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 30(8):2061-2074.

ANNEXES

Tableau 15: Noms vernaculaires des espèces végétales du PND

<i>Noms scientifiques</i>	Famille	Hassanya	Pular	Soninké
<i>Abutilon pannosum</i> (Forst.f.) Schlechtend.	Malvaceae	Çedrayit Gaboun	Dardarangel	Bagoumané
<i>Acacia nilotica</i> (L.)Willd.ex Del.	Mimosaceae	Emour/Amour	Gawdi	Diébe/Diabe
<i>Acacia senegal</i> (L) Willd.	Mimosaceae	Eirwar/Ewirwar	Pattuki	Dibé
<i>Acacia sieberiana</i> DC.	Mimosaceae	Heilik/Taski	Alluki	Saï/Sayé
<i>Adansonia digitata</i> L.	Bombacaceae	Tteïdoug	Boki	Kidé
<i>Adenium obesum</i> (Forssk.) Roem. & Schult.	Apocynaceae	T'weïdimt dhib/Ghdemeït	Dara boki/Lekki pouri	Trounkidé/Bédxréne
<i>Aeluropis lagopoides</i> (L.) Trin. ex Thw.	Poaceae	El akrich		
<i>Aerva javanica</i> (Burm. f.) Juss.	Amaranthaceae	Ttaamya/Ttaamya oumkhamla	Danayel	
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i> (Moric.) Moris & Delp.	Chenopodiaceae	El argem	Budèl, Budèl gaynako	
<i>Avicennia germinans</i> (L.) L.	Avicenniaceae			
<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.	Balanitaceae	Teïchott	Murtooki	Sexene
<i>Bauhinia rufescens</i> Lmk.	Caesalpiniaceae	N'dirn/N'dir	Nammadi>Namaani>Namaari	Gasambe
<i>Bergia suffruticosa</i> (Del.) Fenzl	Elatinaceae	Jjerk	Niépéré/Jaccere	Dehe/Défé

<i>Borassus flabellifer</i> L.	Arecaceae	El ghid	Dubbi gori/Dubbi diwa/Dubbe	Kéyé/Caye
<i>Boscia senegalensis</i> (Pers.) Lam. ex Poir.	Capparidaceae	Eizin	Gijile/ Guitlé	Gijile
<i>Calotropis procera</i> (Ait.) Ait. f.	Asclepiadaceae	Turje	Bamwami	Touroumba/Touloumba
<i>Capparis corymbosa</i> Lam.	Capparaceae	Boye/Lihleïve	Guumi N'danéwi	Gumin bine
<i>Cassia italica</i> (Mill.) Lam. ex. F. W. Andr.	Ceasalpiniaceae	Vellejit	Falayel	
<i>Cassia occidentalis</i> L.	Ceasalpiniaceae	Ssersar	Al djenewal	
<i>Celtis integrifolia</i> Lam.	Ulmaceae	El boun/N'ghourayé/El bawyé	Ganki	Bawa/Gaawa
<i>Cenchrus biflorus</i> Roxb.	Poaceae	Initi	Hébééré /kebbe	Ghiné/xeexene
<i>Cistanche phelypaea</i> (L.) Coutinho	Orobanchaceae	Dhanoun		
<i>Cocculus pendulus</i> (J. R. et G. Forst.) Diels	Menispermaceae	Leelende		
<i>Commiphora africana</i> (A. Rich.) Engl.	Burseraceae	Adirs	Baddi	Dirsé
<i>Cordia sinensis</i> Lam.	Boraginaceae	Agjoul/Agjour/Nwagjour/Nwajgou	Mégnéli	Dirsé
<i>Crataeva adansonii</i> DC.	Capparidaceae	Souname/Hakou	Naiti/Naiko	Souname
<i>Cressa cretica</i> L.	Convolvulaceae	Legbeïre/El henne		
<i>Crypsis aculeata</i> (L.) Pers.	Poaceae	M'bidi		
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Poaceae	Sseed/ Krae Leghrab/Nessim/Evird		
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	Poaceae	Zzeïrig/Aghmellil	Jaajee pucci	Baqqe

<i>Euphorbia balsamifera</i> Ait.	Euphorbiaceae	Evernan	Salanguéwi	Bédxréne
<i>Faidherbia albida</i> (Delile) A. Cheval.	Mimosaceae	Avrar/Ttalh lebyadh	Caski	Sassenghoullé/Kume/Ku ne
<i>Ficus iteophylla</i> Miq.	Moraceae	Khainag		
<i>Glinus lotoides</i> L.	Aizoaceae	Bed lihmar/Dakhne		
<i>Grewia tenax</i> (Forsk.) Fiori	Tiliaceae	<i>Legleye</i>	<i>Yegnéméwi/Kelli n'danèwi</i>	
<i>Heliotropium bacciferum</i> Forskal.	Boraginaceae	Lehbaliye		
<i>Indigofera oblongifolia</i> Forssk.	Fabaceae	Ntef El Hinne	Barbarondji/dibiribi	Garankomé
<i>Ipomoea aquatica</i> Forssk.	Convolvulaceae	Beïtara/Tidarit	Bôteré/Ababo	Luxulaxa
<i>Ipomoea asarifolia</i> (Desv.) Roem. & Schult.	Convolvulaceae	Beneaman		Xaloumba
<i>Juncus rigidus</i> Desf.	Juncaceae			
<i>Leptadenia hastata</i> (Pers.) Decne	Asclepiadaceae	Idar/Bouzergue/Gueithae ddem	Safati/Tchabowi/Sapato	Sarfate Yaxare
<i>Leptadenia pyrotechnica</i> (Forssk.) Decne	Asclepiadaceae	Titarekt/Ecebay	Selew lewo	Sarfate yugo/Tendikhété
<i>Maerua angolensis</i> D.C.	Capparaceae		<i>Bagui/Lekel soukougnabé</i>	
<i>Maerua crassifolia</i> Forskal	Capparaceae	<i>Etyl/El enb/Ssadra el khadra</i>	<i>Sogui</i>	
<i>Maytenus senegalensis</i> (Lam.) Exell	Celastraceae	Eich/Boukhlal	Guyal goti	Sanasanbaana
<i>Moringa oleifera</i> (Lam.)	Moringaceae		Gnebedayé	
<i>Nitraria retusa</i> (Forsk.) Aschers.	Nitrariaceae	Eguirzin/Eguirzim		
<i>Nymphaea lotus</i> L.	Nymphaeaceae	Nnewar/N'daïri/Tedhba	N'dairi	Tobé/Bude

<i>Opuntia</i> sp.	Cactaceae	<i>Gargambous</i>		
<i>Panicum turgidum</i> Forssk.	Poaceae	<i>Oumroukbe</i>		
<i>Phoenix dactylifera</i> L.	Arecaceae	N'khal	Tamroki/Tamaroyi	Tamaré/Tamrahoré
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Stend	Poaceae	<i>Teghade/Lekseibe</i>	<i>Sembaane</i>	
<i>Pistia stratiotes</i> L.	Araceae	<i>Tichtar el vil</i>		
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	Mimosaceae	Groun Limhade		
<i>Ricinus communis</i> L.	Euphorbiaceae	Awreïwire/El kharwae		
<i>Salicornia senegalensis</i> D.C.	Chenopodiaceae	<i>El arjem</i>		
<i>Salsola baryosma</i> (Roem. et Schult.)Dandy	Chenopodiaceae	<i>El ghassal/Eghemmal/Jjil</i>		
<i>Salvadora persica</i> L.	Salvadoraceae	Ivirchi/Tijit/El erak	Goudi	Tenjeqte
<i>Sclerocarya birrea</i> A. Richard Hochst.	Anacardiaceae	Dembou	Eiri	Toumbé
<i>Sesbania sesban</i> (L.) Merrill	Fabaceae	Seïrsare	Selembourou, Tchilambé	
<i>Sesuvium portulacastrum</i> (L.) L.	Aizoaceae	<i>Blom/Erwi</i>		
<i>Sphenoclea zeylanica</i> Gaertn.	Campanulaceae		Dengar	
<i>Sporobolus helvolus</i> (Trin. & Rupr.) de W.	Poaceae			
<i>Sporobolus robustus</i> Kunth	Poaceae	<i>Techanit</i>		
<i>Sporobolus spicatus</i> (Vahl) Kunth	Poaceae	<i>Ezid/Rasmir/El akrich</i>		
<i>Tamarindus indica</i> L.	Caesalpiaceae	Eguenat	Diami/Diatbé/Jemi/Diatmi	Xaralle

<i>Tamarix senegalensis</i> DC.	Tamaricaceae	Ttarve		
<i>Tapinanthus globiflerus</i> (A. Richard) Van Tiegh	Loranthaceae	Awzig/Zzehou	Tawnawe	Bagmaxa/Maxabaye
<i>Tribulusterrester</i> L.	Zygophyllaceae	Tadreïssa/Timeglest	Toupé/Toupéré	Dagaare
<i>Typha australis</i> Schumach.	Typhaceae			
<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	Rhamnaceae	Sder/sder lehbil	Diabi	Fa
<i>Zygophyllum simplex</i> L.	Zygophyllaceae			
<i>Zygophyllum waterlotii</i> M.	Zygophyllaceae			

Tableau 16: Statut de quelques plantes médicinales du PND (Source : Ould Soulé, 2010)

Espèces dominantes actuellement	Espèces menacées de disparition
<i>Acacia tortilis</i> <i>Euphorbia balsamifera</i> <i>Balanites aegyptiaca</i> <i>Acacia nilotica</i> <i>Maytenus senegalensis</i> <i>Rhizophora racemosa</i>	<i>Ziziphus mauritiana</i> <i>Crataeva adansonii</i> <i>Acacia sieberiana</i> <i>Celtis integrifolia</i> <i>Fagara zanthioides</i> <i>Ficus iteophylla</i> <i>Grewia tenax</i> <i>Tamarindus indica</i> <i>Capparis corymbosa</i> <i>Combretum glutinosum</i> <i>Anogeisus leiocarpus</i> <i>Commiphora africana</i> <i>Maerua angolensis</i> <i>Maerua crassifolia</i>

Tableau 17: Statut de quelques espèces ligneuses du PND (Source : Ould Soulé, 2010)

Espèces dominantes actuellement	Espèces menacées de disparition	Espèces disparues	Espèces apparues
<i>Acacia tortilis</i> <i>Euphorbia balsamifera</i> <i>Balanites aegyptiaca</i> <i>Acacia nilotica</i> <i>Maytenus senegalensis</i> <i>Rhizophora racemosa</i> <i>Typha australis</i>	<i>Ziziphus mauritiana</i> <i>Crataeva adansonii</i> <i>Acacia sieberiana</i> <i>Celtis integrifolia</i> <i>Fagara zanthioides</i> <i>Ficus iteophylla</i> <i>Grewia tenax</i> <i>Tamarindus indica</i> <i>Capparis corymbosa</i> <i>Combretum glutinosum</i> <i>Anogeisus leiocarpus</i> <i>Commiphora africana</i> <i>Maerua angolensis</i> <i>Maerua crassifolia</i>	<i>Grewia bicolor</i> <i>Ficus sycomorus</i> <i>Combretum aculeatum</i> <i>Mitragyna inermis</i> <i>Piliostigma reticulatum</i>	<i>Prosopis juliflora</i> <i>Parkinsonia aculeata</i> <i>Eucalyptus cameldulensis</i>

A. Relevé de reconnaissance

Relevé Floristique n° :		Date :	heure :
X :	Y :	Z :	

1. Situation topographique <input type="checkbox"/>	2. Substratum géologique <input type="checkbox"/>
1. Terrain plat 2. Sommet vif (pic) 3. Escarpement (corniche) 4. Haut de versant (talus) 5. Mi- versant 6. Replat 7. Bas de versant 8. Dépression ouverte 9. Dépression fermé	1. Calcaire 2. Marne 3. Marno-calcaire 4. Argilo-calcaire 5. Marno-shisteux 6. Argilo-shisteux
3. Pente <input type="checkbox"/>	
1. 0 à 0,9 % 2. 1 à 3,9 % 3. 4 à 8,9 % 4. 9 à 15 % 5. 16 à 24 % 6. 25 à 35 % 7. 36 à 48 % 8. 49 à 63 % 9. 64 à 80 % 10. 81 à 99 % 11. 100 à 275 %	

B. Relevé floristique

Strate arborescente : H : m ; R : %			
Espèce	Abondance- dom/sociabilité	Espèce	Abondance- dom/sociabilité
Strate arbustive : H : m ; R : %			
Espèce	Abondance- dom/sociabilité	Espèce	Abondance- dom/sociabilité
	4.3		
	+		
Strate herbacée : H: m; R: %			

Tableau 18: Principales caractéristiques des zones écologiques (Soulé, 2010)

Zones Ecologiques		Principales Caractéristiques
BASSINS	Diawling/ Tichilitt	- zone de pâturage par excellence - zone de cueillette de <i>Sporobolus robustus</i> et de <i>Nymphaea lotus</i>
	Bassin de Bell	- plans d'eaux riches en micro-faune et flore (eau douce et saumâtre) - riche en Graminées et Cypéracées - principal site de cueillette de <i>Nymphaea lotus</i> - principal site de cueillette de <i>Sporobolus robustus</i> - végétation très clairsemée - site de prédilection des animaux domestiques - <i>Typha australis</i> aux bords des cours d'eau - site de cueillette des gousses d' <i>Acacia nilotica</i>
	Bassin de Ntiallah	- mangroves à <i>Avicennia germinans</i> et à <i>Rhizophora racemosa</i> - zone de pâturage
	Bassin de Gambar	- zone actuellement complètement envahie par <i>Typha australis</i> - site d'abreuvement d'animaux domestiques et sauvages
LACS N'TOK ET N'TER		- <i>Tamarix</i> sp. aux abords des lacs - <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> , <i>Suaeda vermiculata</i> <i>Cressa cretica</i> au bord des cuvettes
DUNES	Dune de Ziré	- zone de forte régénération d' <i>Acacia tortilis</i> - réserve fourragère très appréciée par le bétail
	Dune de Birette	- diversité paysagère formations à <i>Acacia tortilis</i> et à <i>Salvadora persica</i> - végétation relique de <i>Sclerocarya birrea</i> , <i>Adansonia digitata</i> etc. - remontée de la nappe salée par endroits dont souffre <i>Acacia nilotica</i> - excellent habitat pour les phacochères (présence de <i>Salvadora persica</i>)
	Dune côtière	- importante diversité floristique - zone à vocation pastorale avec la forêt classée de Moïdina.
CHAT BOUL ET AFTOUT ES SAHELI		- végétation halophile nettement dominées par les Chénopodiacées - végétation des îlots halophiles dominée par <i>Salsola baryosma</i> associée à <i>Zygophyllum waterlotii</i> et <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> sur les sommets des nebkhas - strate ligneuse représentée par <i>Tamarix senegalensis</i> très rabougri
ILES		- présence de mangroves à <i>Avicennia germinans</i> et à <i>Rhizophora racemosa</i> en forte régénération - production importante de bois de chauffe pour la ville de Saint-Louis et les villages insulaires eux-mêmes - important peuplement d' <i>Adansonia digitata</i>

Encadré 1: Contexte de création du PND

Jusqu'au début des années 60, les zones humides du bas delta du fleuve Sénégal, alternance de plaines et bassins, inondés puis progressivement asséchés par le retrait des eaux de crues, étaient reconnues parmi les plus étendues et les plus riches de l'Afrique de l'Ouest. A partir des années 70, les écosystèmes se sont modifiés considérablement à cause de la dégradation des conditions climatiques, et la réalisation des deux barrages de Diama et de Manantali. Les populations qui vivaient essentiellement de l'exploitation des ressources naturelles se sont retrouvées en situation de crise. C'est pourquoi le Gouvernement mauritanien a décidé d'ériger, en 1991, 16 000 ha de ces anciennes terres d'inondation en parc naturel, dénommé «Parc National du Diawling (PND)». Les populations résidentes ont été intégrées comme une composante essentielle du parc et comme partenaires de la gestion de ses activités. Le parc s'est évertué à recréer les conditions « avant barrage » dans ses différents bassins par la mise en place de nouvelles digues et d'ouvrages permettant une alimentation artificielle en eau douce des bassins, à partir de la retenue du barrage de Diama. Depuis la création du parc, la végétation caractéristique du bas delta a été restaurée, notamment des espèces importantes pour les collectivités locales comme : *Sporobolus robustus*, *Acacia nilotica*, *Nymphaea lotus* et *Avicennia germinans*. Les rendements de pêche se sont améliorés dans les différents bassins du parc qui constituent des zones de reproduction et de frayère pour bon nombre de poissons dulçaquicoles et estuariens. Par ailleurs, l'assistance tant technique que financière a permis de structurer les collectivités de pêche et de les regrouper en coopératives. Le parc accueille de grands rassemblements d'oiseaux d'eau, migrants et sédentaires telles les grues couronnées (*Balearica*), les pélicans, les cormorans, les canards paléarctiques (souchets, pilets et sarcelles) et afro-tropicaux (dendrocynnes), les flamants... On remarque également le retour d'espèces nidificatrices comme la spatule africaine, les aigrettes, les hérons. *Source : UICN/BRAO 2007*