

Université Assane Seck de Ziguinchor



UFR Sciences et Technologies

Département de Physique

Mémoire de Master 2

Mention : Physique et Applications

Spécialité : Sciences de l'Atmosphère et de l'Océan

Variabilité spatio-temporelle de l'environnement marin de l'Aire Marine Protégée d'Abéné

Présenté par Youssouph BADJI

Sous la direction de Ousmane DIANKHA et Bamol Ali SOW

Soutenu publiquement le vendredi 12 avril 2019 à l'UASZ devant le jury composé de :

Prénoms et Noms	Grades	Qualité	Établissement
Diouma KOBOR	Professeur titulaire	Président	UFRST/UASZ
Saliou FAYE	Chercheur	Rapporteur	CRODT/ISRA
Samo DIATTA	Maître-Assistant	Examineur	UFRST/UASZ
Mamadou Lamine MBAYE	Assistant	Examineur	UFRST/UASZ
Ousmane DIANKHA	Conseiller technique	Maître de stage	DAMCP/MEDD
Bamol Ali SOW	Maître de Conférences	Directeur de stage	UFRST/UASZ



DEDICACES

Je rends d'abord grâce à DIEU, le Tout Miséricordieux de m'avoir accordé la santé et le pouvoir de terminer ce mémoire malgré les difficultés rencontrées.

Je dédie ce travail à toute ma famille, plus particulièrement à :

✚ Mon grand-père Omar Bilany SANE, ma grande mère Khady COLY

✚ Mon père Diakarya, ma mère Awa Alima Bilany SANE

✚ Mon tuteur Yaya BADJI ainsi que sa femme Mariama SONKO

REMERCIEMENTS

J'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont apporté un soutien ou une contribution à la réalisation de ce document. J'éprouve une profonde gratitude envers certaines personnes que je tiens à citer nommément pour le suivi et l'attention qu'elles m'ont accordé tout au long de cette expérience.

Mes sincères remerciements vont à l'endroit de tout le personnel enseignant du département de physique de l'Université Assane SECK de Ziguinchor plus particulièrement à mon directeur de stage, Dr Bamol Ali SOW qui n'a ménagé aucun effort dans la conception, l'orientation et l'encadrement malgré les occupations.

Mention spéciale et un grand merci à mon maître de stage, je veux nommer le Dr Ousmane DIANKHA de la Direction des Aires Marines Communautaires Protégées (DAMCP) pour avoir accepté de diriger ce travail et de contribuer significativement à surmonter certaines difficultés rencontrées.

Mes remerciements vont également aux membres du jury avec à sa tête Pr Diouma KOBOR, à Dr Saliou FAYE, Dr Samo DIATTA et Dr Mamadou Lamine MBAYE pour m'avoir fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce travail.

A ces remerciements, j'associe Dr Moctar CAMARA ainsi que tous les chercheurs, doctorants et masters participant à l'animation scientifique au LOSEC.

Mes sincères remerciements vont également à l'endroit du directeur de la DAMCP, le colonel Boucar NDIAYE, le colonel Momar SOW ainsi que tout le personnel pour la sympathie dont ils ont fait montre.

Je tiens aussi à réitérer mes vifs remerciements au conservateur de l'Aire Marine Protégée de Abéné (AMPA), à savoir le capitaine Mamadou NDIAYE pour l'accueil et l'accès aux données mesurées. Je remercie aussi tous les agents de l'AMPA pour l'accueil chaleureux et les relations fraternelles qui ont rythmé tout mon séjour. Je veux citer également le capitaine Mamadou FAYE qui est présentement affecté à l'AMP de Bamboung pour sa collaboration et sa disponibilité.

Je remercie mon tuteur à Abéné ainsi que toute la famille SANE pour l'accueil et la sympathie qu'ils m'ont accordé, et qui ont facilité le séjour.

Un grand merci à tous les doctorants du LOSEC particulièrement Jules BASSE pour m'avoir aidé sur la prise en main du logiciel R et aussi tous mes camarades de promotion pour avoir cheminé ensemble dans des conditions paisibles. Je veux nommer Birane NDOM, Pierre

Malang SADIO, Lamine KONTE, Mamadou NDOUR, Sambalaye DIOP, Youssooupha CISSE, Sérigne Mbacké COLY, Khadidiatou SY, Arame DIEYE et Marie André FAYE.

Une reconnaissance à l'endroit de mes parents et proches pour leur soutien sans faille, leurs conseils et prières, plus particulièrement mon Papa, mon Oncle Arona Bilany SANE pour m'avoir assisté sur beaucoup de domaines durant mon séjour à Dakar.

En fin je remercie chaleureusement mon frère tuteur Yaya BADJI, son épouse et toute la famille, pour m'avoir aidé et encouragé à viser loin.

RESUME

La caractérisation de l'environnement marin dans le réseau d'Aires Marines Protégées (AMP) du Sénégal fait l'objet d'un intérêt majeur pour les gestionnaires et les scientifiques dans le contexte du changement global. Cette étude vise à décrire les variations spatio-temporelles de l'environnement marin dans l'Aire Marine Protégée d'Abéné (AMPA). Pour atteindre un tel objectif, les données environnementales notamment la température, la salinité, la conductivité et le pH sont utilisées. Elles proviennent des mesures mensuelles in situ aux six (06) stations fixes en 2017. Les résultats obtenus révèlent que la variabilité inter-mois des variables étudiées est plus marquée que celle inter-stations. Autrement dit, l'environnement au sein de l'AMP semble être homogène. L'analyse factorielle des correspondances (AFC) couplée à la classification ascendante hiérarchique (CAH) font apparaître la succession de deux périodes aux caractéristiques bien distinctes. Une période marquée par des eaux froides et salées avec une conductivité élevée suivie d'une période durant laquelle les eaux de surface sont chaudes, moins salées avec une faible conductivité. Quant à la structure spatiale, les stations sont regroupées par paire selon leur similarité.

Mots clés : AMP, Abéné, variabilité spatio-temporelle, environnement marin

ABSTRACT

The characterization of Marine Protected Areas (MPA) network in Senegal's marine environment is of major interest for managers and scientists in the context of climate change. Our study aims to describe the spatial and temporal variations of the marine environment in the Abene Marine Protected Area (AMPA). To achieve this objective, environmental data including temperature, salinity, conductivity and pH collected monthly at six (06) stations in 2017, were analyzed. This study shows that the inter-months variability of these variables were more pronounced than that of inter-stations. In other words, the environment within the AMPA seems spatially homogeneous. The results from correspondence factor analysis (AFC) coupled with the hierarchical classification (CAH) show the succession of two periods with quite different characteristics. A period with cold and salty waters and high conductivity followed by a period with warm and less salty surface waters and low electric conductivity. As for the spatial structure, the stations are grouped in pairs according to their similarity.

Keywords: MPA, Abene, spatial and temporal variability, marine environment

LISTE DES ACRONYMES

ACP :	Analyse en Composantes Principales
AFC :	Analyse Factorielle des Correspondances
AMP :	Aire Marine Protégée
AMPA :	Aire Marine Protégée d'Abéné
ANOVA :	Analyse de Variance
CAH :	Classification Ascendante Hiérarchique
CRODT :	Centre de Recherches Océanographiques de Dakar - Thiaroye
DAMCP :	Direction des Aires Marines Communautaires Protégées
FIT :	Front Intertropical
ISRA :	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
PSU :	Unité Pratique de la Salinité
ROK :	Réserve Ornithologique de Kalisaye
UICN :	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
ZCIT :	Zone de Convergence Intertropicale

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
I. INTRODUCTION	1
II. MATERIEL ET METHODES	3
2.1 Définition d'une Aire Marine Protégée (AMP)	3
2.2 Présentation de l'aire Marine Protégée d'Abéné (AMPA)	3
2.2.1 Le milieu biophysique.....	5
i. La végétation.....	5
ii. La faune.....	5
iii. Les ressources en eau	6
2.2.2 L'hydro climat	7
i. La saison froide	7
ii. La transition saison froide – saison chaude.....	7
iv. La transition saison chaude – saison froide	8
2.3 Collecte de données.....	8
2.4 Analyse et traitement des données	9
2.4.1 Analyse en composantes Principales (ACP)	10
2.4.2 Analyse factorielle des correspondances (AFC).....	10
2.4.3 Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).....	10
2.4.4 Tests statistiques	11
III. RESULTATS.....	12
3.1 Variabilité spatio-temporelle des paramètres environnementaux.....	12
3.1.1 Variabilité temporelle.....	12
3.1.2 Variabilité spatiale.....	13
3.2 Analyses multivariées.....	15
3.2.1 Analyse multivariées de la variabilité temporelle.....	15
3.2.2 Analyse multivariée de la variabilité spatiale.....	16
2.3 Test statistique	18
IV. DISCUSSIONS	20
4.1 Variabilité saisonnière et l'influence de l'hydro-climat	20
4.2 Variabilité spatiale liée à l'hydrographie	21
V. CONCLUSION, PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS	23

BIBLIOGRAPHIE	25
ANNEXES	28
ANNEXE 1	28
« Le Terrain »	28

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : Localisation de l'AMPA.....	4
Figure 2.2 : disposition des stations de mesure à la surface de l'AMP.....	8
Figure 2.3: Sonde multi paramètres.....	9
<i>Figure 3.1: Variation des moyennes mensuelles de la température, la salinité, la conductivité et du pH.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 3.2 : variations spatiales moyennes de la température, la salinité, la conductivité et du pH ...</i>	<i>14</i>
<i>Figure 3.3 : Résultats de la variabilité inter-mois dans le plan 1-2.....</i>	<i>15</i>
Figure 3.4 : a-Projection des mois dans le plan 1-2 et b-dendrogramme de similarité entre les mois..	16
<i>Figure 3.5 : Résultats de la variabilité inter-stations dans le plan 1-2.....</i>	<i>17</i>
Figure 3.6 : a-Projection des stations de mesure dans le plan 1-2 et b-dendrogramme de similarité entre les stations de mesure.....	18

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :

Test de significativité des différences de **température** entre les stations et entre les mois

Tableau 2 :

Test de significativité des différences de **salinité** entre les stations et entre les mois

Tableau 3 :

Test de significativité des différences de **conductivité** entre les stations et entre les mois

Tableau 4 :

Test de significativité des différences de **pH** entre les stations et entre les mois

I. INTRODUCTION

Le Sénégal de par sa position géographique est une zone qui regorge d'énormes potentialités marines et côtières. Cette richesse en termes de ressources halieutiques et forestières est observée dans les différentes unités écologiques dont la majorité se trouve concentrée le long du littoral. Toutefois ces écosystèmes sont aujourd'hui exposés voir menacés par les effets combinés du changement climatique et de la pression croissante de la part des populations riveraines. Ces phénomènes entraînent une altération de l'environnement qui influence substantiellement le comportement de la ressource.

Conscient de ces enjeux, l'Etat du Sénégal s'est engagé dans une dynamique de préservation et de restauration des ressources marines et côtières à travers une déclaration présidentielle tenue lors du cinquième congrès mondial des parcs nationaux à Durban (Afrique du sud, Septembre 2003). Cet engagement s'est traduit successivement par la création de cinq (05) Aires Marines Protégées (AMP) en 2004 (dont celle d'Abéné par décret N° 2004-1408 du 04 novembre 2004) et de la Direction des Aires Marines Communautaires Protégées (DAMCP) en 2012 dont la mission consiste essentiellement et exclusivement à mettre en œuvre la politique de l'Etat en matière de création et de gestion d'un réseau cohérent d'Aires Marines Protégées. Ainsi le Sénégal dispose aujourd'hui d'un réseau de onze (11) AMP dont deux réserves naturelles et communautaires : Somone et Palmarin.

La vision de la DAMPC est inscrite sur sa stratégie nationale élaborée en 2013, qui s'articule sur trois (3) axes :

- Le renforcement institutionnel, la création et la gestion des AMP ;
- La contribution des AMP à la gestion durable des ressources halieutiques, à la conservation de la biodiversité marine et côtière et à l'amélioration des conditions et moyens d'existence des populations locales ;
- Le développement de la recherche scientifique au profit des AMP.

En effet ce troisième axe entre en ligne droite avec la dynamique de surveillance de l'environnement et d'évaluation de l'état des ressources initiée ces dernières années par la

DAMCP en collaboration avec ses partenaires techniques (CRODT/ISRA et IUPA/UCAD) dans le but de lever les contraintes liées à l'insuffisance des données, la diffusion et la valorisation des résultats des recherches scientifiques.

Le choix de l'AMPA se justifie d'une part par le fait qu'elle abrite d'importantes ressources marines et côtières et d'autre part parce qu'elle est la seule AMP dans la zone sud qui dispose des données de mesures, et qui jusque-là, ne fait pas l'objet d'une étude scientifique visant à caractériser le milieu physique.

C'est dans ce contexte que ce mémoire cherche à caractériser l'environnement marin de l'Aire Marine Protégée d'Abéné (AMPA). Il s'agit essentiellement de faire l'analyse de la variabilité spatiale et temporelle des paramètres environnementaux mesurés mensuellement au niveau de six (06) stations fixes dans l'AMPA.

Ce présent mémoire comprend quatre parties :

- La première partie présente la zone d'étude ainsi que ses caractéristiques bioécologiques. Elle décrit aussi les données utilisées et les outils appliqués pour leur traitement.
- La deuxième partie présente les résultats obtenus après traitement et analyse des données.
- La troisième partie du document est consacrée à la discussion des résultats obtenus
- Enfin la quatrième et dernière partie correspond à la conclusion, aux perspectives et aux recommandations.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1 Définition d'une Aire Marine Protégée (AMP)

Selon l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature), en 2012 ; une Aire Marine Protégée est un espace géographique clairement défini, reconnu, consacré et géré par tout moyen efficace, juridique ou autre, afin d'assurer à long terme la conservation de la nature ainsi que les services écosystémiques et les valeurs culturelles qui lui sont associées.

2.2 Présentation de l'aire Marine Protégée d'Abéné (AMPA)

L'Aire Marine Protégée d'Abéné (AMPA) a été créée par le décret N° 2004-1408 du 04 Novembre 2004. Elle se situe dans la région de Ziguinchor, département de Bignona, à cheval entre les communes de Kafountine et Kataba¹. Elle est limitée au Nord par la république de Gambie, au Sud par le quai de pêche de Kafountine, à l'Est par les villages des deux communes (Niafrang, Kabadio, Abéné, Diannah et Kafountine) et à l'Ouest par l'Océan Atlantique (figure 2.1). Elle a une superficie de 119 km² répartie en deux (02) territoires distincts : une partie marine et une partie terrestre qui englobe la mangrove littorale des petits estuaires.

L'AMPA a été créée pour :

- Sauvegarder les habitats critiques (vulnérables, menacés, en restauration, etc) ;
- Préserver les ressources génétiques ;
- Protéger les paysages côtiers et marins ;
- Faire la promotion de la recherche scientifique et de l'éducation environnementale ;
- Préserver la diversité biologique ;
- Promouvoir une utilisation durable des écosystèmes et des espèces.

LOCALISATION DE L'AIRE MARINE PROTEGEE D'ABENE

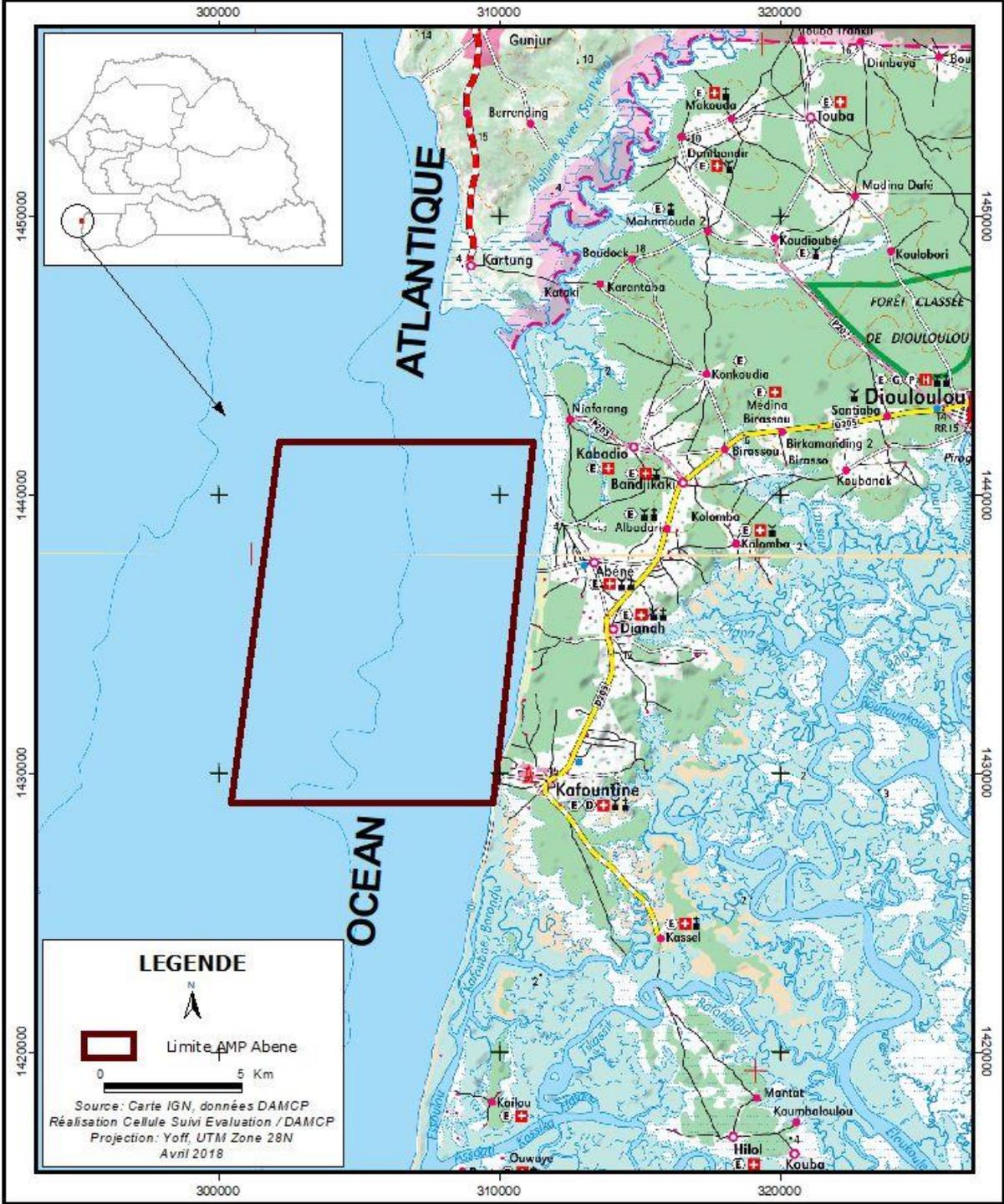


Figure 2.1 : Localisation de l'Aire Marine Protégée d'Abéné.

2.2.1 Le milieu biophysique

Conformément à sa position géographique, l'AMPA est une zone fortement riche en termes de potentialité écologique. La richesse biologique de l'AMP est perceptible au niveau des différentes unités écologiques qui sont identifiées. Ces dernières disposent chacune d'une flore particulière et d'espèces fauniques spécifiques.

i. La végétation

La végétation dans la partie continentale est généralement composée d'arbres fruitiers (manguiers, agrumes), de rôniers (*Borassus aethiopium*), de néré (*Parkia biglobosa*), de ditakh (*Detarium senegalense*), de palmiers à huile (*Elaeis guineensis*), de palmiers dattiers, de kailcédrats (*Khaya senegalensis*), de fromagers (*Ceiba pentandra*), d'espèces rampantes, etc. Cette partie fait l'objet d'une déforestation à cause des installations de vergers et l'extension de l'habitat (*Sané, 2010*).

Il n'existe pas de forêt classée dans la zone, néanmoins il existe des aires protégées visitées par les oiseaux migrateurs telles que la Réserve Ornithologique de Kalissaye (ROK). Il faut noter aussi la présence de nombreux « bois sacrés » jalousement préservés par les populations et des filaos mis en place pour lutter contre l'érosion côtière.

ii. La faune

Elle est caractérisée par une variété d'espèces d'oiseaux migrateurs et d'oiseaux afrotropicaux. On trouve des *Bubulcus abis* (Héron garde bœufs), *Butoris stratus* (Héron à dos verts), *Ardea goliath* (Héron goliath), *Pelicanus onocratus* (Pélican blanc), *Pelicanus rufescens* (Pélican gris), *Oena capensis* (Tourterelle du cap), *Numida meleagris* (Pintade commune), *Balearica pavonia* (Grue couronnée), *phoenicopterus ruber* (Flamant rose), *Bucorvus abvssinicus* (Grand calao d'Abyssinie), *Francolinus albobicalcaratus* (Francolin commun), *Melierax metabates* (Vautours chanteurs), etc.

Les ressources halieutiques sont caractérisées par leur diversité sur le plan physiologique. On peut distinguer les ressources estuariennes et marines même si l'on retrouve les deux espèces communes dans les deux milieux (*Sané, 2017*). Il existe une diversité d'espèces dans la zone, ceci est lié à la configuration du plateau continental. La moyenne annuelle des prises de poissons est de 13,22 tonnes (*Sané, 2017*). On retrouve aussi des reptiles tels que le *Crocodylus niloticus* (Crocodile du Nil), des varans, des serpents et des tortues marines (*Sané, 2017*).

iii. Les ressources en eau

Les ressources en eau évoluent sous l'influence de la dégradation de l'environnement et du changement climatique. Elles sont constituées des eaux pluviales, des eaux de surface et des eaux souterraines.

- ***Les eaux pluviales***

Elles sont issues des précipitations qui sont dans l'ensemble abondantes dans la région par rapport au centre et au Nord du pays avec une moyenne supérieure à 1000 mm en hivernage (*Sané, 2010*). La pluviométrie de la zone est caractérisée par une période humide qui s'étend de juin à octobre avec un régime maximal des pluies au mois d'août. Une partie de ces eaux s'infiltré dans le sol et augmente le volume d'eau des nappes tandis que l'autre partie ruisselle pour stagner dans les rizières ou les marigots.

- ***Les eaux de surface***

La commune de Kafountine est irriguée par une multitude de petits marigots (bolongs) qui se jettent en général dans le marigot de Diouloulou ou dans le fleuve Casamance. La densité de ces marigots et les différentes connections entre eux font que la commune est essentiellement constituée d'îles.

Il y a une étroite coïncidence entre le régime pluviométrique et le régime des cours d'eau. Les périodes de hautes eaux correspondent à la saison des pluies (juillet à octobre) alors que celles des basses eaux se situent en saison sèche (décembre à juin). Les écoulements des cours d'eau suivent les tendances pluviométriques et s'organisent en fonction de l'alimentation reçue depuis leurs bassins versants. Toutefois, les cours d'eau de la zone n'ont jusqu'ici pas fait l'objet d'étude.

- ***Les ressources en eaux souterraines***

Elles sont constituées par les eaux des nappes qui sont relativement importantes. L'AMPA est située sur la zone géologique du bassin sédimentaire constitué de formations sédimentaires épaisses. Ces eaux sont réparties en quatre (04) nappes caractéristiques : la nappe du maestrichtien, la nappe de l'oligo-miocène, la nappe du continental terminal et les nappes superficielles (*Sané, 2010*).

Dans la plupart des îles, les nappes d'eau se situent entre deux (02) et six (06) mètres de profondeur alors qu'elles se situent environ à douze (12) mètres dans la partie continentale.

2.2.2 L'hydro climat

L'hydro climat est l'influence du climat sur les eaux de terre (*Langbein, 1967*). Selon *Berrit (1973)*, l'hydro climat est défini comme étant « la succession habituelle des caractères d'une couche d'eau en un lieu donné ». Ce rapport entre climat et aspect de l'eau de surface se traduit en termes d'échanges de quantité de chaleur, de mouvement et de substances dissoutes qui contrôlent la variabilité spatiale et temporelle des aires marines.

Domain (1980) et Rébert (1983) ont proposé un schéma décomposant l'année en situations types caractérisables par les températures et les salinités de surface observées dans les stations côtières. Ils distinguent ainsi deux saisons maritimes avec des périodes de transition entre elles.

i. La saison froide

Elle s'étend au Sénégal de novembre à mai et sa durée diminue progressivement du Nord au Sud. Les eaux de surface sont généralement froides et salées avec des températures de l'ordre de 16 à 18° C et des salinités de 34,5 à 36 PSU. Le refroidissement saisonnier ne peut être lié qu'à des mouvements de masse d'eau résultant de l'advection horizontale et des upwellings locaux sous l'influence des alizés.

ii. La transition saison froide – saison chaude

Cette transition est relativement courte. Elle a lieu entre mai et juin, soit brutalement, soit par paliers successifs. Elle correspond à l'arrivée sur le plateau continental de la couche d'eau chaude et salée transporté par le contre-courant équatoriale. Le réchauffement est associé à la chute brutale des alizés, c'est-à-dire au passage du FIT.

iii. La saison chaude

Elle est marquée par une disparition des alizés à partir de juillet-août au sud du cap Blanc et la mousson qui s'installe avec une apparition importante des précipitations au sud. Il existe encore une couche de surface isotherme de 25 à 27° C, dont l'épaisseur augmente légèrement vers la côte par suite du processus d'accumulation. Il est noté également un dessalement progressif de la couche de surface au cours de la saison des pluies, passant de 36 à 35 PSU.

iv. La transition saison chaude – saison froide

Cette transition est caractérisée en octobre-novembre par un refroidissement en surface dont la dynamique est due au retrait des eaux chaudes vers le sud et l'installation progressive du régime des alizés provoquant des upwellings côtiers. De petits coups de vent du nord peuvent créer des ondes internes responsables de la dislocation de la thermocline par remontée en surface des eaux froides infra-thermoclinales.

2.3 Collecte de données

Conformément à son ambition de développer la recherche scientifique au profit des AMP et de la nécessité de suivre l'évolution de l'environnement dans son réseau d'AMP, la DAMCP a initié depuis 2017 un monitoring des paramètres physico-chimiques.

Au niveau de l'AMPA, les paramètres suivis sont : la température (°C), la salinité (PSU), la conductivité (mS.cm^{-1}) et le pH. Ces données sont collectées tous les mois au niveau de six (06) stations fixes (Figure 2.2) à l'aide d'une sonde multi paramètres (figure 2.3). Dans ce travail seules les données collectées en 2017 sont utilisées parce que les données de 2018 sont incomplètes à cause d'un dysfonctionnement de l'appareil.

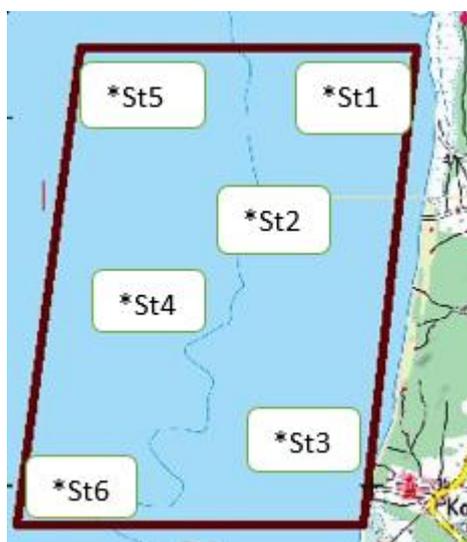


Figure 2.2: disposition des stations de mesure à la surface de l'AMPA.

- La température de surface de la mer est d'une importance capitale pour l'étude de la biologie et de la météorologie dans une aire marine. Cette température est déterminante sur le développement des systèmes météorologiques. Elle l'est également sur le type et la quantité d'organismes vivants dans l'océan.
- La salinité à la surface de la mer est en général influencée par les paramètres météorologiques tels que l'évaporation et la précipitation. Elle est l'un des principaux

facteurs qui différencie un type de poisson d'un autre. La salinité moyenne des océans est de 35 PSU.

- La conductivité est une estimation du nombre total d'ions dans une solution. En d'autres termes, elle exprime la capacité d'une solution à transporter un courant électrique. Son inverse est la résistivité. Elle varie de 10^{-7} mS/cm pour l'eau pure à 1 S/cm pour les solutions très concentrées. L'unité de mesure est le siemens par centimètre (S/cm). Les valeurs de conductivité sont généralement stables et dépendent de la géologie locale.
- Le pH d'un milieu marin est un paramètre important pour la distinction de certaines espèces marines tels que les poissons : certains poissons préfèrent évoluer dans un milieu acide où le pH est inférieure à 7,0 (les acidophiles), tandis que d'autres se sont adaptés à des milieux basiques (les alcalophiles), où le pH est supérieur à 7,0. La plupart des poissons peuvent vivre dans des milieux dont le pH se situe entre 6,0 et 8,0 (*Aquabulle-forumperso.com*). L'acidification des océans réduit la disponibilité du carbonate de calcium ($CaCO_3$) qui est utilisé par les organismes marins pour construire leurs coquilles et leurs squelettes.



Figure 2.3: Sonde multi paramètres.

2.4 Analyse et traitement des données

L'analyse de la variabilité spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques est réalisée d'abord par une représentation graphique de la variabilité inter-mois et inter-stations à travers les histogrammes des valeurs moyennes de chaque paramètre. Il s'en suivra une étude statistique des liaisons entre les paramètres et des ressemblances ou dissemblances entre les mois et entre les stations qui est faite à travers une analyse en composantes principales suivie d'une analyse factorielle des correspondances et d'une classification ascendante hiérarchique.

Enfin deux tests statistiques sont réalisés. Les traitements statistiques et les graphiques ont été réalisés avec Excel et le logiciel statistique R disponible en accès libre sur le web à l'adresse suivante : <http://cran.r-project.org/>.

2.4.1 Analyse en composantes Principales (ACP)

L'ACP est une méthode descriptive multidimensionnelle. Son objectif est de représenter sous forme graphique l'essentiel de l'information contenue dans un tableau de données quantitatives sous forme de vecteurs.

L'objectif de cette analyse est d'identifier les paramètres (variables) qui apportent les informations à peu près identiques et celles qui apportent des informations différentes. On parle de liaisons entre variables. Cette liaison est mesurée par un indicateur tel que le coefficient de corrélation. Dans l'espace des variables, on s'intéressera aux angles, et les variables seront donc représentées comme des vecteurs. Chaque variable étant projeté dans un espace à « N » dimensions (avec N supérieur ou égale à 2) où il est impossible de le visualiser. L'idéal est de le visualiser dans un cercle de corrélation avec deux (02) axes principaux qui renseignent le maximum possible sur les liaisons entre variables.

Deux variables séparées par un angle aigu, droit, obtus sont respectivement corrélées positivement, indépendantes, corrélées négativement.

2.4.2 Analyse factorielle des correspondances (AFC)

L'étude de la structure des mois et des stations a été réalisée en effectuant une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) qui est une méthode couramment utilisée en écologie pour le traitement de tableaux de données. Elle a pour but de décrire de manière globale les variables et leur organisation en se basant sur la distance (Euclidienne) entre les stations et entre les mois. Cette distance est exprimée en fonctions du profil de chaque individu (mois ou station), c'est-à-dire à partir des valeurs moyennes prises par chaque individu sur l'ensemble des paramètres. Elle permet aussi d'établir des associations ou des oppositions entre lignes (mois ou stations) et colonnes (variables environnementales) d'un tableau et de définir ainsi des groupes.

2.4.3 Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est une méthode de classification itérative qui vise à partitionner une population en différentes classes ou sous-groupes de telle sorte que les

individus regroupés au sein d'une même classe soient les plus semblables possible (homogénéité intra-classe) et que les classes soient les plus dissemblables possible (hétérogénéité interclasse).

Le principe de la CAH est de rassembler des individus selon un critère de ressemblance qui s'exprimera sous forme d'une matrice de distance, exprimant la distance entre individus pris deux à deux. Deux observations identiques auront une distance nulle. Plus les deux observations seront dissemblables, plus la distance sera importante. Cette méthode conduit à la construction d'un arbre de classification appelé dendrogramme. Elle permet de faire un bilan des ressemblances entre individus (mois ou stations) et des liaisons entre les paramètres (www.sthda.com).

2.4.4 Tests statistiques

Dans ce travail une analyse de la variance (ANOVA) et un test de Student ont été appliqués également pour tester la significativité des différences des paramètres environnementaux entre les mois et les stations d'une part, et entre les groupes obtenus après classification d'autre part (*Sokal et Rohlf, 1995*). Le test de Student est un test statistique permettant de comparer les moyennes des groupes. Il s'agit donc de savoir si les moyennes de deux groupes sont significativement différentes ou pas au point de vue statistique. L'ANOVA est une généralisation du test de Student permettant de comparer plus de deux groupes.

Pour savoir si la différence est significative, il faut comparer la valeur du p-value (degré de significativité) au risque $\alpha = 5\%$: la différence est significative si et seulement si le p-value est strictement inférieure à 0,05.

III. RESULTATS

3.1 Variabilité spatio-temporelle des paramètres environnementaux

Les variations dans le temps des paramètres environnementaux sont analysées en calculant la moyenne de chacun des paramètres sur toute l'AMP en fonction du temps. En ce qui concerne les variations spatiales, l'évolution de la valeur moyenne annuelle de ces mêmes paramètres en fonction des stations est analysée.

3.1.1 Variabilité temporelle

Les variations mensuelles des paramètres environnementaux étudiées sont présentées ci-dessous (Figure 3.1).

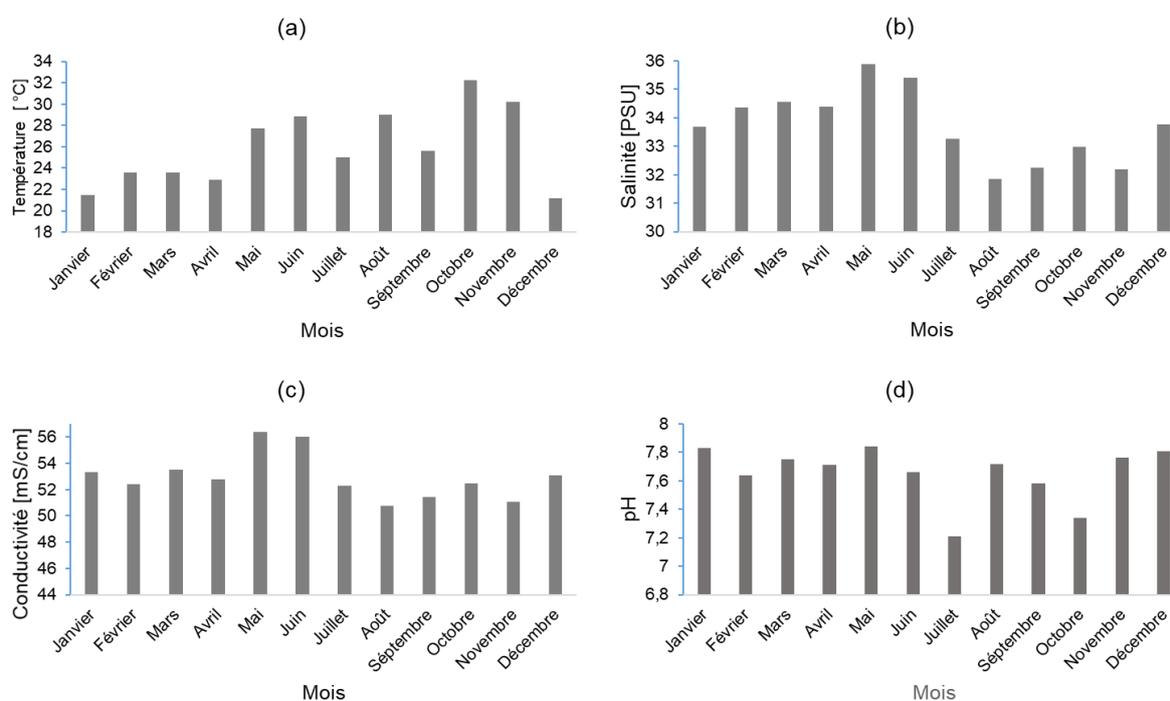


Figure 3.1: Variation des moyennes mensuelles de la température, de la salinité, de la conductivité et du pH.

- La figure 3.1.a montre l'évolution temporelle de la température à la surface de l'AMP et révèle deux périodes caractéristiques : la période de mai à novembre, où les eaux sont relativement chaudes, avec des températures en moyenne supérieures ou égales à 25°C , dont le maximum est de 31°C au mois d'octobre. Une période comprise entre décembre et avril, où les eaux sont moins chaudes, avec des températures minimales de l'ordre de 21°C enregistrées entre décembre et janvier.

- Une croissance de la salinité est observée sur la période allant de décembre à mai, avec une moyenne maximale de 35,9 PSU enregistrée au mois de mai (Figure 3.1.b). Il s'en suit une décroissance de celle-ci en été (juillet – août) pour atteindre une valeur minimale de 31,85 PSU au mois d'août. Nous constatons aussi que les minima de salinité sont observés en hivernage avec des valeurs inférieures à 33 PSU.
- La conductivité de l'eau varie très peu sur la période août-avril au cours de laquelle l'amplitude des variations mensuelles ne dépasse en aucun cas 2,5 mS/cm (Figure 3.1.c). Cependant, les maxima de conductivité sont notés en mai-juin avec une moyenne de 56 mS/cm et les minima au mois de juillet avec une moyenne de 46,3 mS/cm.
- Les eaux à la surface de l'AMP sont basiques. Le pH fluctue au cours de l'année entre 7,21 et 7,84 avec respectivement les minima en juillet et les maxima au mois de mai (Figure 3.1.d). Les moyennes maximales du pH sont enregistrées en automne et en hiver (novembre-décembre-janvier).

3.1.2 Variabilité spatiale

- La température à la surface de l'AMP varie dans de faibles proportions (Figure 3.2.a). L'amplitude de variation entre les stations de mesures ne dépasse en aucun cas 0,36° C. la station-3 est la plus chaude avec une température moyenne de 26,15° C et les stations 1 et 5 sont les moins chaudes dans l'espace.

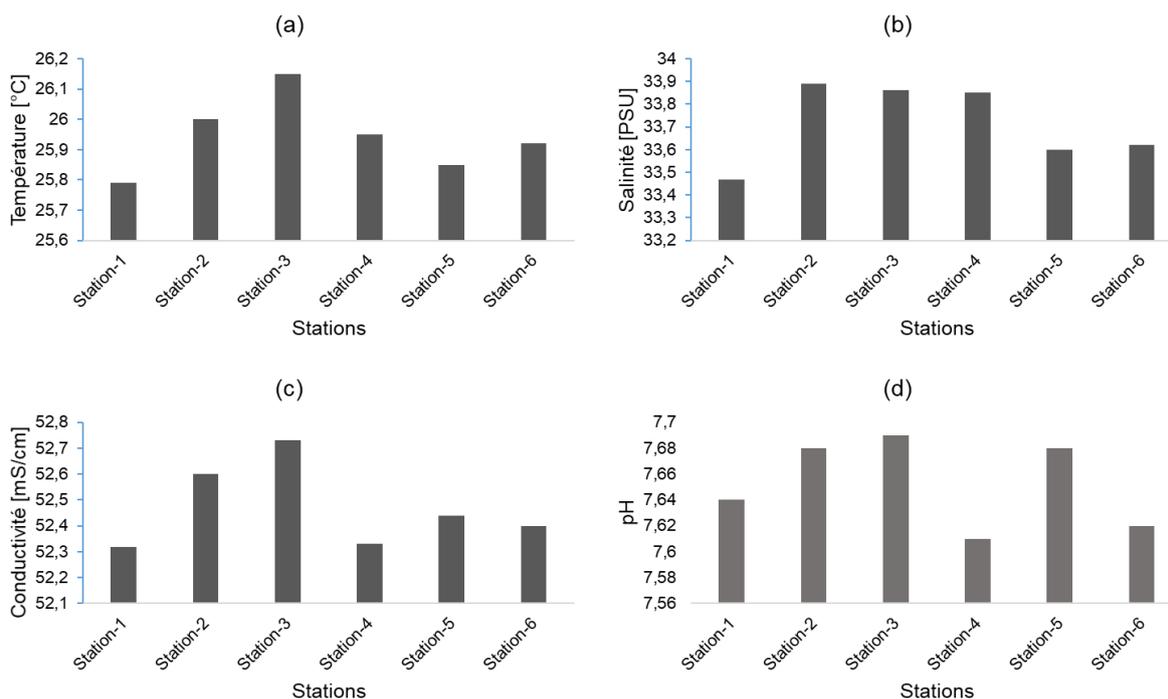


Figure 3.2 : variations spatiales moyennes de la température, la salinité, la conductivité et du pH

- La variabilité spatiale de la salinité présente deux groupes : le premier concerne les stations 1, 5 et 6 qui ont les plus faibles valeurs de salinité (avec respectivement 33,47 ; 33,6 et 33,62 PSU) (Figure 3.2.b). Le deuxième regroupe les stations 2, 3 et 4 qui sont plus salées avec une teneur en salinité respective de 33,89 ; 33,86 et 33,85 PSU.
- La conductivité moyenne dans l'espace fluctue entre 52,32 et 52,73 mS/cm (Figure 3.2.c). Le maximum de conductivité est obtenu à la station-3 et le minimum entre les stations 1 et 4.
- Le pH sur l'ensemble l'AMP est relativement homogène (Figure 3.2.d). L'amplitude maximale des variations entre stations est de 0,08. Les valeurs de pH fluctuent entre 7,61 et 7,69.

Les tendances suivantes sont constatées de façon générale sur l'ensemble des paramètres :

- Les stations 1, 5 et 6 sont moins chaudes, moins salées et enregistrent les valeurs minimales de conductivité.
- Les stations 2 et 3 se distinguent dans l'espace par les maxima de température et de salinité, une conductivité et un pH plus élevés.
- La station 4 se distingue des autres stations en enregistrant les plus faibles valeurs de pH et de conductivité.

3.2 Analyses multivariées

3.2.1 Analyse multivariées de la variabilité temporelle

La figure 6, ci-dessous, montre que les deux axes ou dimensions de l'ACP supportent 80,1% de l'inertie totale. L'axe 1 explique plus de la moitié de l'inertie avec 54,6% contre 25,5% pour l'axe 2.

Nous pouvons constater que la température et la conductivité sont bien projetées sur le cercle de corrélation, ce qui n'est pas le cas pour la salinité et le pH. La salinité, le pH et la conductivité sont fortement et négativement corrélés à l'axe 1, alors que la température est étroitement liée à l'axe 2. Les variations temporelles de la salinité, de la conductivité et du pH sont relativement liées, tandis que celles de la température semblent indépendantes par rapport aux autres variables.

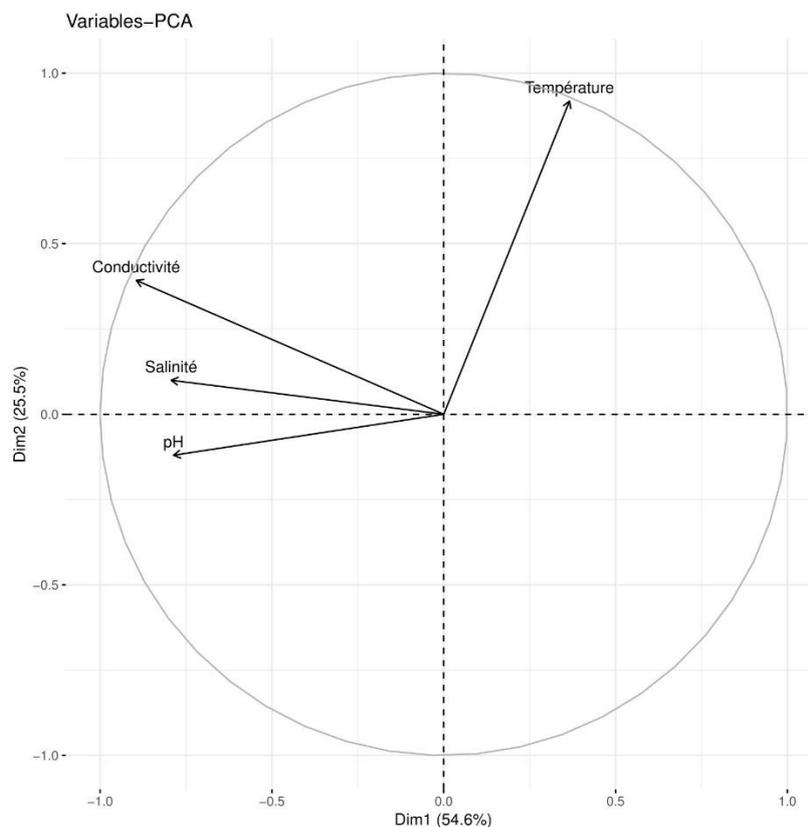


Figure 3.3 : Résultats de la variabilité inter-mois dans le plan 1-2.

Le résultat de l'AFC montre que les deux premiers facteurs (axes 1 et 2) expliquent 98,4% de la variance totale (Figure 3.4a). En d'autres termes, ces deux axes offrent une bonne représentation des points (mois) dans le plan 1-2. Cette figure représente une analyse symétrique (biplot) montrant les profils des mois (point noirs) et des paramètres (triangles

bleus) simultanément dans un espace commun. Elle confirme sur le facteur 1 la liaison existante entre la salinité, la conductivité et le pH ainsi que l'indépendance de la température avec ces derniers. En dehors du mois de juillet, l'ensemble des mois se distribuent le long de l'axe 1. Il apparaît aussi de fortes similitudes entre certains mois en température, salinité, pH et conductivité.

Cette observation est confirmée par les résultats de la classification hiérarchique ascendante (CAH) (Figure 3.4.b). Cette méthode a permis de classer les mois en deux groupes :

- Le premier groupe (G (I)) est constitué des mois de décembre, janvier, février, mars et avril.
- Le second groupe (G (II)) est constitué des mois de mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre.

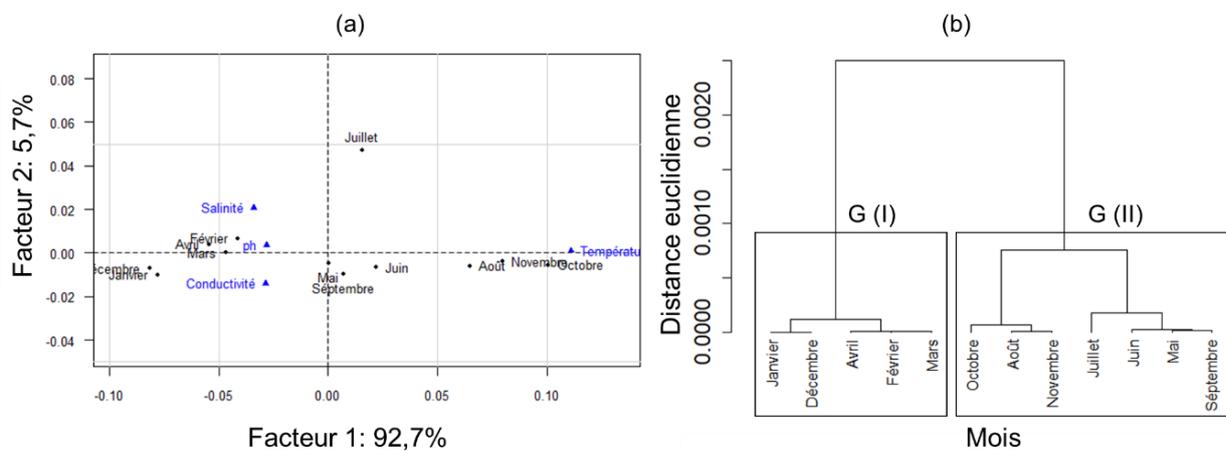


Figure 3.4 : a-Projection des mois dans le plan 1-2 et b-dendrogramme de similarité entre les mois.

3.2.2 Analyse multivariée de la variabilité spatiale

L'ACP révèle que les deux axes sont responsables de 95,4% de l'inertie totale (de l'information contenue dans le tableau de données), dont 73,4% et 22,0% sont respectivement supportés par la première et la deuxième dimension (Dim1 ou axe 1 et Dim2 ou axe 2) (Figure 3.5).

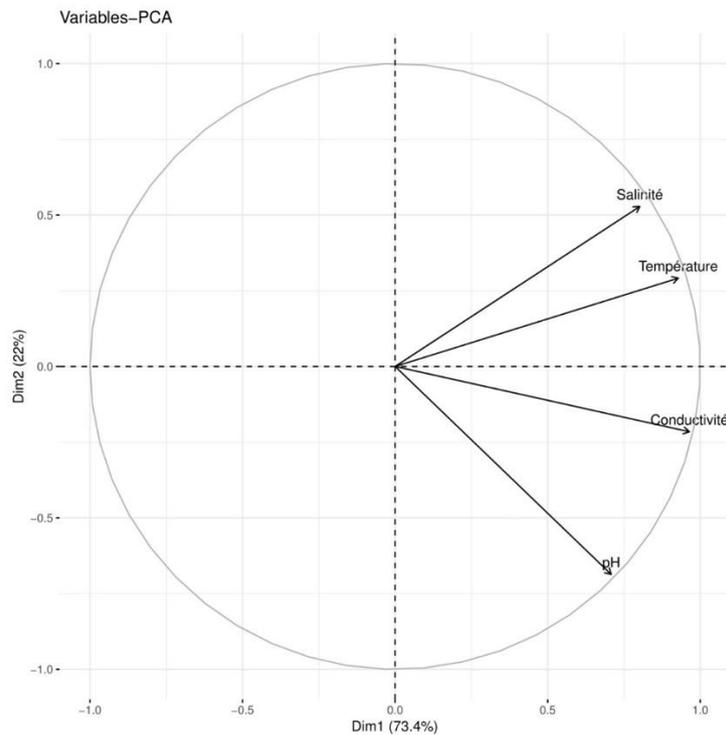


Figure 3.5 : Résultats de la variabilité inter-stations dans le plan 1-2

Il est observé une bonne projection des vecteurs (paramètres environnementaux) sur le cercle de corrélation. Autrement dit, ces vecteurs sont très proches du cercle de corrélation. Tous les paramètres sont positivement corrélés à l'axe 1 avec un coefficient supérieur ou égal à 0,7. Par ailleurs, les paramètres tels que la température, la conductivité et la salinité ont des coefficients très proches de 1. Ces paramètres présentent des similitudes en ce qui concerne leur variation spatiale. Toutefois, des différences sont notées par rapport à l'axe 2. La température et la salinité sont positivement corrélées à l'axe 2, alors que la conductivité et le pH sont négativement liés à l'axe 2.

La figure 3.6 ci-après, présente la projection des stations d'échantillonnage dans le plan factoriel 1-2 et les groupes obtenus après application de la méthode CAH.

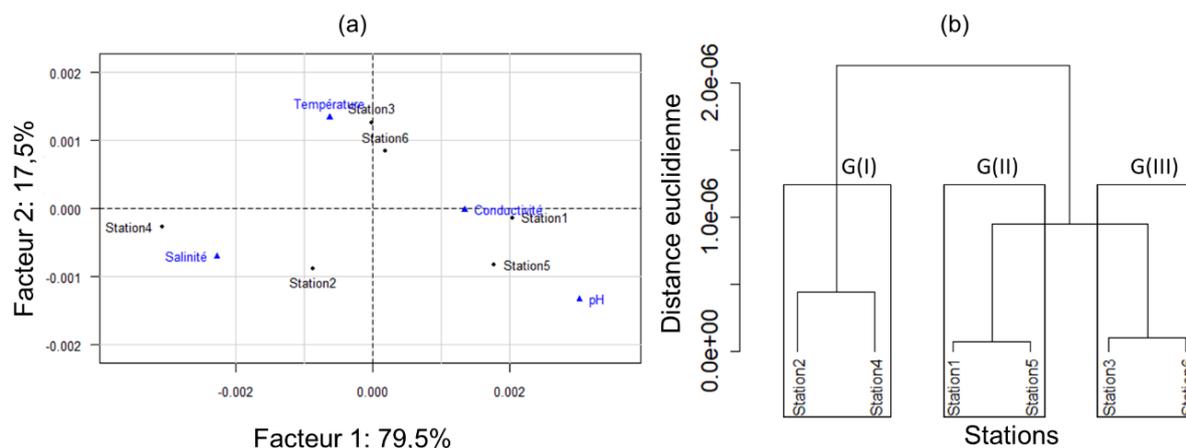


Figure 3.6 : a-Projection des stations de mesure dans le plan 1-2 et b-dendrogramme de similarité entre les stations de mesure.

Les résultats de l'AFC indiquent que l'axe 1 (79,5%) et l'axe 2 (17,5%) expliquent 97,0% de la variance totale (Figure 3.6.a). Les stations 1, 4 et 5 se dispersent autour de l'axe 1, alors que les stations 2, 3 et 6 se distribuent le long de l'axe 2.

L'analyse de cette figure semble illustrer trois ensembles en fonction de leur distance relative sur les axes. Le premier axe sépare nettement les stations (1) et (5) des stations (4) et (2). Le second axe marque une différence entre les stations 3 et 6, et les autres.

Cette configuration est confirmée par les méthodes combinées de l'AFC et de la CAH qui, contrairement à la variabilité temporelle, proposent une disposition en trois groupes :

- Le G (I) qui rassemble les stations 2 et 4 ;
- Le G (II) qui regroupe les stations 1 et 5 ;
- Le G (III) qui est formé par les stations 3 et 6.

2.3 Test statistique

Le test-t ou test de student fournit en résultats les statistiques suivantes :

- ✓ le degré de liberté : $dl = n - 1$ (avec n correspondant à l'effectif)
- ✓ la somme des carrées des variances : somme cv
- ✓ la moyenne des carrées des variances : moyenne cv
- ✓ le ratio des variances résiduelles : f – value
- ✓ le degré de significativité de la variance : p – value

Tableau 1 : test de significativité des différences de **température** entre les stations et entre les mois

	Dl	Somme cv	Moyenne cv	f-value	p-value
Stations	5	1,2	0,24	1,389	0,243
Mois	11	855,7	77,79	451,68	$< 2e^{-16}$

Tableau 2 : test de significativité des différences de **salinité** entre les stations et entre les mois

	Dl	Somme cv	Moyenne cv	f-value	p-value
Stations	5	1,48	0,296	1,007	0,422
Mois	11	109,33	9,939	33,849	$< 2e^{-16}$

Tableau 3 : test de significativité des différences de **conductivité** entre les stations et entre les mois

	Dl	Somme cv	Moyenne cv	f-value	p-value
Stations	5	1,6	0,32	0,603	0,698
Mois	11	446,3	40,58	77,197	$< 2e^{-16}$

Tableau 4 : test de significativité des différences de **pH** entre les stations et entre les mois

	Dl	Somme cv	Moyenne cv	f-value	p-value
Stations	5	0,064	0,012	0,805	0,551
Mois	11	2,526	0,229	14,274	$1,83e^{-12}$

Les résultats du test de significativité (test de Student) entre les groupes de mois montrent que les différences en termes de température, de salinité, de conductivité et de pH sont statistiquement significative ($P < 0,05$). Tandis que les groupes identifiés à partir de la répartition spatiale ne présentent pas de différences significatives ($P \gg 0,05$) en température, salinité, conductivité et pH.

IV. DISCUSSIONS

4.1 Variabilité saisonnière et l'influence de l'hydro-climat

Les résultats de l'analyse de la variabilité temporelle des paramètres étudiés révèlent que les fluctuations de ces derniers semblent être étroitement liées aux variations de l'hydro climat local. Les minima de température sont enregistrés de décembre à avril, alors que les maxima de température sont notés entre mai et novembre (figure 3.1.a). Ces minima de température s'expliquent par le fait que durant cette période il est noté une forte intensité des vents de surface dit alizés (de secteur nord-est, nord et nord-ouest quasi parallèles à la côte sénégalaise) et une intense activité d'upwelling sur les côtes nord, qui se manifeste par une résurgence des eaux froides en surface (*Roy, 1989 ; Ndoye et al., 2017 ; Diankha, 2018*). Ensuite ces eaux sont en partie advectées horizontalement vers le sud (jet côtier), caractérisant ainsi la saison froide (*Ndoye et al., 2018*).

Par contre, les valeurs maximales de température observées s'expliquent par le phénomène de relaxation des alizés avec la remontée de la ZCIT (zone de convergence intertropicale) vers le nord laissant la place à l'intrusion de la mousson de sud-ouest dans la zone côtière sénégalaise (*Bakun, 1973 ; Wooster et al, 1976 ; Roy, 1992*).

Ces vents de secteur sud-ouest avec une importante composante méridienne parallèle à la côte, transportent les eaux de surface relativement chaudes vers la côte. La zone côtière est alors caractérisée par un réchauffement des eaux de surface. Ces observations traduisent l'influence des anticyclones des Açores et de Sainte-Hélène. En effet, le balancement saisonnier de ces deux centres de pression atmosphérique se manifeste au Sénégal par l'alternance de deux saisons aux caractéristiques bien différentes : une saison froide et une saison chaude (*Wooster et al, 1976*). Les valeurs de température relativement faibles observées en août et en septembre peuvent être liées aux conditions météorologiques locales qui prédominaient durant la mesure. C'est-à-dire qu'une mesure qui a lieu durant ou après un long épisode de pluie, peut entraîner de faibles valeurs de température.

Concernant la salinité, sa variabilité temporelle est dans la plupart du temps inversement et étroitement liée à celle de la température (Figures 3.1.a.b). En effet, hormis mai, juin et août, les mois où la température est relativement élevée sont marqués par des valeurs de salinité relativement faibles et vice versa. Le phénomène d'upwelling est souvent synonyme de remontée en surface d'eaux froides, salées et riches en sels nutritifs (*Rossignol, 1973*). Les

faibles valeurs de salinité observées en juillet, août et septembre peuvent se justifier par les fortes pluies enregistrées durant cette période.

Quant à la conductivité, elle varie dans le même sens que la salinité (Figure 3.1.c).

En ce qui concerne le pH du milieu, il est sensiblement proche de la neutralité (7) sur toute l'année avec une moyenne de 7,65. Cette valeur est inférieure à la moyenne du pH de l'eau de mer qui est égale à 8,2 (*Waters, 2012*). Les valeurs moyennes maximales du pH ont été enregistrées pendant la période froide (novembre-mai), alors que les valeurs moyennes minimales ont été enregistrées pendant la période hivernale et un minimum marqué en juillet en raison des fortes pluies.

Les résultats de l'ACP, de l'AFC et de la CAH mettent en évidence la variabilité inter-mois au niveau de l'AMP. Ils suggèrent deux groupes de paramètres, caractéristiques de deux types de masses d'eau: la salinité, la conductivité et le pH qui se projettent à l'extrémité négative de l'axe 1, et la température qui caractérise l'axe 2 à son extrémité positive (Figures 3.3 et 3.4). La corrélation positive de la température avec ce même axe signifie que les mois qui se situent à l'extrême négative et à l'extrême positive sont respectivement caractérisés par des valeurs de température sensiblement faibles et sensiblement élevées.

4.2 Variabilité spatiale liée à l'hydrographie

Partant du positionnement des stations (Figure 2.2), il est remarqué le long de la côte (stations 1, 2 et 3) une décroissance des valeurs moyennes des paramètres dans le sens sud-nord. C'est-à-dire qu'au voisinage de la côte, le sud de l'AMP est plus chaud, plus salé, plus basique (pH plus élevé) et plus conductrice que la partie nord (figure 3.2). Cette situation peut s'expliquer par un potentiel échange (apport d'eau douce) à l'embouchure de la rivière qui marque la limite nord de l'AMP (à Niafrang) et qui sépare les territoires Sénégalais et Gambien dans cette zone. Lorsque la rivière a une influence dominante sur l'hydrodynamisme marin, il apporte des matériaux (substances dissoutes) qui s'accumulent et gagnent sur la mer. Ce probable échange pourrait justifier aussi le fait que les stations 1 et 5 qui se situent au nord sont moins chaudes, moins salées et enregistrent les minima de conductivité (figure 3.2). La station-1 est donc caractérisée par les minima de température (25,79°C), de salinité (33,47 PSU) et de conductivité (52,32 mS/cm). Il est constaté aussi à l'ouest (vers le large) une faible variabilité des paramètres (stations 4 et station-5).

Le pH de la zone est quasi homogène et légèrement basique avec une moyenne (7,65) similaire à celle de la variabilité temporelle. En effet le système « acide carbonique-bicarbonate-carbonate » constitue le principal tampon en pH de l'eau de mer (*Odier et al., 1971*). Celui-ci est en grande partie généré par la pollution industrielle (*El Morhit et al., 2012*). D'autant plus que la seule usine de poisson qui existe dans la zone (à Abéné) n'était pas fonctionnelle en 2017, il semble donc normale que le pH soit presque homogène.

Contrairement à la variabilité temporelle, il est constaté dans cette partie que la température et la conductivité ont des profils presque identiques dans l'espace (figures 3.2a-3.2c). Ce constat est confirmé par le résultat de l'ACP concernant la variabilité inter-stations (Figure 3.5) qui montre une corrélation positive entre les paramètres. La forte corrélation des paramètres avec le premier facteur (axe 1), surtout la température et la conductivité indique que ces paramètres apportent globalement des informations identiques. Ce qui semble être normal d'autant plus que la température d'une solution modifie la conductivité. Plus la température est élevée, plus les ions sont agités et favorisent ainsi le passage du courant. Selon *Bouchar (2011)*, la conductivité augmente dans le même sens que la température d'une solution, d'environ 2% par °C.

Les résultats de l'AFC et de la CAH montrent une combinaison des stations en fonction de leur ressemblance ou dissemblance (figure 3.6). Les groupes G(I) et G(II) ont des comportements très différents. Ces deux groupes sont complètement opposés sur l'axe 1 (l'axe qui sépare au mieux les stations). Cette différence peut s'expliquer par le fait que le groupe G(II) soit situé sur la partie nord de l'AMP qui peut être influencée par les apports probables de la rivière au niveau de l'embouchure. Sur le deuxième axe, il est remarqué que le groupe G(III) est plus ou moins différent des autres groupes. Cette différence peut s'expliquer par les gradients thermiques, de salinité et de conductivité plus ou moins nets entre le nord et le sud (figure 3.2). La variabilité de ces paramètres est donc fonction de la latitude.

V. CONCLUSION, PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS

Cette étude qui vise à caractériser l'état physique de l'environnement marin de l'AMPA, a permis de montrer que la variabilité temporelle est assez marquée et semble être influencée par l'hydro climat local. Cette variabilité est marquée par l'alternance de deux périodes : une période qui se manifeste par des eaux relativement froides et salées avec une conductivité électrique assez élevée, et une période durant laquelle les eaux de surface sont relativement chaudes, moins salées avec une faible conductivité. En ce qui concerne la distribution spatiale, les paramètres mesurés sont pratiquement homogènes dans l'AMPA, avec quelques différences qui semblent être liées à la présence de la rivière.

La caractérisation de l'environnement marin constitue une étape majeure et décisive en prélude à l'étude de la variabilité et du comportement de la ressource. Ceci pour la simple et bonne raison que la distribution spatio-temporelle des ressources marines est étroitement liée aux fluctuations de l'environnement qui constitue leur habitat. Ainsi, il sera important de poursuivre un tel travail afin de mieux décrire avec plus de précision la dynamique spatio-temporelle des paramètres étudiés et expliciter les processus physiques qui sont derrière, en amont de l'évaluation de l'état de la ressource.

Au vu des résultats obtenus durant cette étude, les recommandations suivantes sont formulées pour une meilleure exploitation des données et une description appuyée de l'environnement marin à Abéné :

- Poursuivre régulièrement et rigoureusement les mesures des paramètres environnementaux en insistant sur les heures de mesure : parce que si les écarts de temps pour relever les différentes stations sont importants, d'autres phénomènes (marée, vagues, courants côtiers, échanges de quantité de chaleur, de mouvement ou de matière à l'interface océan-atmosphère ou à l'embouchure) peuvent influencer les mesures.
- Renouveler le matériel et veiller à sa maintenance : si possible, mettre à la disposition de l'équipage deux sondes multi-paramètres, ceci pour éviter de mesurer des valeurs aberrantes comme ça a été le cas pour l'oxygène dissous sur bon nombre de mois en 2018.

- Initier très prochainement les mesures des paramètres météorologiques tels que la pluviométrie, le vent (vitesse et direction) et les marées (heures et hauteurs) : ces paramètres permettront une interprétation plus cohérente des résultats.
- Mettre des bouées aux points précis des stations (localisées avec les coordonnées GPS) pour plus de précision au niveau des mesures : car certaines stations ne sont pas aussi éloignées dans l'espace.

BIBLIOGRAPHIE

- ❖ AMPA (2014). Évaluation et actualisation du plan d'aménagement et de gestion de l'aire marine protégée d'Abéné. *Rapport final, janvier 2014*.
- ❖ Ba, F. (2017). Étude comparative de la diversité spécifique du peuplement ichthyofaunique dans le réseau d'aires marines protégées entre 2015 et 2016, cas de l'AMP de Cayar, région de Thies, Sénégal. **7**, pp 23-29.
- ❖ Bakun, A. (1973). Coastal upwelling indices, west coast of north America, 1946-71. *NOAA Tech. Rep.*, NMFS SSRF-671.
- ❖ Berrit, G. R. (1973). Recherche hydroclimatique dans les régions côtières de l'Atlantique tropical oriental, état des connaissances et perspectives : *bulletin du muséum national d'histoire naturelle*, 3^e série, n°148, mai-juin 1973, écologie générale 4, p. 80-95.
- ❖ Bouchar, F. (2011). Mesure de salinité. Réalisation d'un conductimètre. *TENUM, Toulouse*, version 1.2, 10p.
- ❖ Bouchier, A. (2005). Analyse en Composantes Principales. *INRA, Formation permanente*, juillet 2005, Montpellier.
- ❖ DAMCP, (2013). Stratégie nationale pour les aires marines protégées du Sénégal, p. 8-20.
- ❖ Diankha, O. (2018). Dynamique des populations de *Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis* dans les eaux sénégalaises : aperçu des effets des variables climatiques et non climatiques. *Thèse de doctorat de l'Université Cheikh Anta Diop*, mention Ecologie halieutique, Sénégal, 160 p.
- ❖ Diatta, V. (2011). Étude de la conservation des tortues marines dans l'AMP d'Abéné et option d'aménagement, *mémoire de master en Gestion des Écosystèmes Aquatiques (GEA)* à l'UCAD, 22 p.
- ❖ Dieye, C. A. T. et B. C. Badiane. (2015). Évaluation de l'efficacité de la gestion de l'Aire Marine Protégée de Abéné : *mémoire de licence d'agroforesterie*, UASZ, p. 4-10.
- ❖ Domain, F. (1980). Contribution la connaissance de l'écologie des poissons démersaux du plateau continental sénégal-mauritanien. Les ressources démersales dans le contexte général du Golfe de Guinée. Thèse Doct. Etat, Univ. Paris VI, Tome 1 ,342 p.
- ❖ El Morhit, M., M. Fekhaoui, A. Serghini, S. El Blidi, A. El Abidi, M. Hachimi et A. Yahyaoui (2012). Étude de l'évolution spatio-temporelle des paramètres hydrologiques caractérisant la qualité des eaux de l'estuaire du Loukkos (Maroc) : *bulletin de l'institut scientifique, Rabat, section Science de la Vie*, n°34 (2), p. 151-162.

- ❖ Langbein, W. G. (1967). Hydroclimate in The Encyclopedia of Atmospheric Sciences and Astrogeology, R. W. Fairbridge (ed.). New York: Reinhold, pp. 447–451.
- ❖ Ndoye, S. (2017). Fonctionnement dynamique du centre d’upwelling sud-Sénégalais : approche par la modélisation réaliste et analyse d’observation satellite de température de surface de la mer. Océanographie. *Thèse de doctorat de l’Université Pierre et Marie Curie – Paris VI*, 2016. Français, 132p.
- ❖ Odier, M. et V. Plichon (1971). Le cuivre en solution dans l’eau de mer : forme chimique et dosage : étude par polarographie à tension sinusoïdale surimposée. *Analytica Chimica Acta*, **55** (1), p. 209-220.
- ❖ Portolana, P. (1986). Analyse des séries de vent-température de la mer en surface, le long des côtes Sénégalaises. *Océanogr. Trop.* 21 (2) : 205-227.
- ❖ Rébert, J. P. (1983). Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais. Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 93, 186p.
- ❖ Roy, C. (1989). Fluctuations des vents et variabilité de l’upwelling devant les côtes du Sénégal. *Oceanologica Acta*. **12**, 4, 361-369.
- ❖ Roy, C. (1992). Réponses des stocks de poissons pélagiques à la dynamique des upwellings en Afrique de l’Ouest : analyse et modélisation, *th. doct., Paris, Orstom* (Coll. Etudes et Thèses). Chapitre 1, pp 15-50.
- ❖ Rossignol, M. (1973). Contribution à l’étude du « complexe guinéen », Paris, ORSTOM, 143p.
- ❖ Sané, A. (2010). Étude de la contribution de la mangrove dans la revenue des ménages et des principales causes de sa dégradation dans l’AMP d’ Abéné, *mémoire*, ENSA – Thies, 6-10p.
- ❖ Sané, K. (2017). Étude de l’évolution saisonnière des paramètres écologiques de l’AMP d’Abéné pour l’année 2016, *mémoire*, CNFTPA, 3-13p.
- ❖ Sokal, R. R. and F. J. Rohlf (1995). Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. 3rd Edition, W.H. Freeman and Co., New York.
- ❖ Teisson, C. (1981). Structures hydrologiques observées en période d'upwelling au large du Sénégal : comparaison de ces structures aux modèles théoriques et empiriques d'upwelling. Dakar : CRODT, (97), 41 p. multigr. (Archive - CRODT ; 97).
- ❖ Université de Nice Sophia-Antipolis (année universitaire 2011/2012). Petit manuel d’utilisation de R à destination des étudiants du MASTER IMEA 2, 25p.

- ❖ Waters, J. F. (2012). Measurement of Seawater pH: A Theoretical and Analytical Investigation. *Open Access Dissertations*. 908.
https://scholarlyrepository.miami.edu/oa_dissertations/908.
- ❖ Wooster W. S., A. Bakun and D. R. McLain (1976). The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic. *J. Mar. Res.*, **34**, pp 131-141.

Webographie

- ❖ www.sthda.com/french
- ❖ www.statsoft.fr/concepts-statistiques/analyse-des-correspondances
- ❖ <http://larmarange.github.io/analyse-R/classification-ascendante-hierarchique.html>
- ❖ <http://cran.r-project.org/>
- ❖ <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours-sed/sed-10.htm> (Université de Picardie Jule Verne)
- ❖ <https://jpcmanson.wordpress.com/2011/12/06/cours-de-chimie-leau-de-mer-nest-pas-acide-mais-alkaline/>
- ❖ World Ocean Atlas, 2011

ANNEXES

ANNEXE 1 « Le Terrain »



Les images ci-dessus sont prises lors des campagnes de décompte d'oiseaux, de mesures des paramètres physico-chimiques et de patrouilles.



Ces images sont prises lors du suivi bioécologique de la ponte des tortues en septembre 2018

ANNEXE 2

Tableaux des valeurs maximales, minimales, des moyennes, des écarts types pour chaque paramètre sur les mois (a) et les stations (b)

(a)

Inter-mois	température	salinité	conductivité	pH
Moyenne	25,95	33,71	52,97	7,65
max	32,26	34,90	56,40	7,84
min	21,18	31,85	50,75	7,21
Écart type	3,61	1,27	1,73	0,19

(b)

Inter-stations	température	salinité	conductivité	pH
Moyenne	25,94	33,74	52,47	7,65
max	26,15	33,89	52,73	7,69
min	25,79	33,47	52,32	7,61
Écart type	0,12	0,17	0,16	0,03