

# UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR



UFR : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE

SPECIALITE : Environnement et développement

Espaces, sociétés et développement

DOMAINE : Climatologie

Mémoire de master

**THEME : EVOLUTION DE LA FRÉQUENCE DES FLUX D'HARMATTAN ET HAUSSE DE LA TEMPÉRATURE À L'EXTRÊME NORD DU SÉNÉGAL DE 1991 À 2020 : LA STATION DE SAINT LOUIS ET DE PODOR**

Présenté par : Mor Talla FAYE

Sous la direction de : Dr Demba GAYE

Sous la supervision de : Pr Cheikh FAYE

## Membres du Jury

<u>Prénom/Nom</u>	<u>Grades</u>	<u>Rôles</u>	<u>Etablissement</u>
<b>Aïdara Cherif Amadou Lamine FALL</b>	Maître de Conférence	Président	UASZ
<b>Cheikh FAYE</b>	Maître de Conférence	Examineur	UASZ
<b>Cheikh Tidiane WADE</b>	Maître-Assistant	Examineur	UASZ
<b>Demba GAYE</b>	Maître-Assistant	Encadrant	UASZ

**ANNEE UNIVERSITAIRE**

**2022/2023**

*« Tous ceux qui se sont sérieusement impliqués dans la Science, finiront par comprendre un jour qu'un esprit se manifeste dans les lois de l'Univers, un esprit immensément supérieur à celui de l'homme », EINSTEIN, 1936*

## DEDICACES

*Ce modeste travail est dédié à tous ceux qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin, que je le sache ou à mon insu, à toutes mes connaissances !*

*A mes parents, **Ibrahima FAYE, Sokhna DIOUF,**  
**Mor DIOUF, Ivonne FAYE...***

*A ma famille à Thiès et à Dakar, mes frères et sœurs, cousins et cousines, oncles et tantes !*

*A la famille **GUEYE**, la famille **SECK**, la famille **DIEDHIOU**, la famille **GUISSE**, la famille **NGOM** à Ziguinchor !*

*A la famille **TOUNKARA** à Thiès particulièrement **Awa** et **Aïballa**,*

*A la famille **CISSE** à Saint-Louis !*

*Aux Daaras de **DSMF ND Mouqadamat Deugmeul Serigne Béthio**,  
**DSMF ND Midaadi Casamance, Xelcom Buchra...** !*

*A tous mes condisciples du Sénégal et de l'extérieur !*

*A mon tuteur **Modou THIAM** !*

*A tous les enseignants du département de géographie de l'UASZ, spécialement à mon cher encadreur **Dr Demba GAYE** !*

***Dédicace Spéciale à la mémoire de mon défunt ami et promotionnaire Abdou GUEYE, décédé le 07 Aout 2019 à Mbour. Que la terre lui soit légère !***

## REMERCIEMENTS

– Comme le disait mon cher Guide Spirituel **SERIGNE BETHIO THIOUNE** « La vie n'est rien sans l'œuvre dictée par le **DIVIN**, il faut insister, persister et avancer ». Je réitère ainsi ma reconnaissance à travers l'action de Grace à l'endroit du **SEIGNEUR SUPREME** de m'avoir donné toutes les prérogatives et pouvoirs d'accomplir ce travail.

– Je remercie solennellement **mes parents** et toute **ma famille**, mes frères et sœurs pour leur aide et leur assistance à ma personne, le passé valait bien la peine d'être vécu, un passé que je n'oublierai jamais et qui me forge à travailler davantage pour un avenir meilleur. Que **DIEU** nous accorde une longue vie avec une santé inébranlable pour tout assister.

– Mes remerciements vont ensuite à l'endroit de tous ceux qui ont de près ou de loin contribué à la réussite de ce modeste travail de mémoire. Je pense en effet à tous **les enseignants** du département de géographie de l'Université Assane Séck de Ziguinchor qui n'ont ménagé aucun effort pour nous transmettre leurs savoirs. Spécialement à mon parent et professeur **Cheikh FAYE** et à mon encadreur Docteur **Demba GAYE**, sa disponibilité, son engagement, sa rigueur, sa détermination et surtout sa volonté de m'encadrer a fait de cette œuvre mon sacerdoce jusqu'à son achèvement.

– Vifs remerciements à mes tuteurs à Ziguinchor, je commence par remercier **Modou THIAM** (professeur) celui qui m'a accueilli chez lui à Ziguinchor sans remord ni gêne. Mes condisciples **Sokhna Faty LOUM GUEYE** et son époux **Baye Mor GUEYE**, je ne vous remercierai jamais assez, vous m'avez très vite intégré comme un frère, je me demande si je ne vous avais pas connu comment allaient être mes premiers jours dans une terre si nouvelle. Merci pour tout votre soutien infaillible.

– Comment remercier mon condisciple **Mohamed Tréma SECK** ? une question à laquelle je n'arrive toujours pas à trouver une réponse. Une personne d'une humanité multidimensionnelle, toujours à l'affût pour m'aider et me soutenir quoi qu'il en soit, faisant même de son atelier de travail mon centre de documentation et j'en suis très reconnaissant. Une personne avec qui je tisse un lien plus que familial et je vais ainsi emprunter l'expression anglaise « Wait and See » pour vous dire que l'avenir nous réserve une belle suite, Que **DIEU** nous accorde une longue vie !

– Mes sincères remerciements vont également à l’endroit de la famille **TOUNKARA** à Thiès spécialement à **Awa Tounkara DIOUF**. Je vous remercie pour toute votre considération et votre soutien que vous avez porté à ma personne. Je n’oublierai jamais votre considération envers ma personne, votre action du 12 Février 2017 en est une preuve et j’en serai à jamais reconnaissant. Je remercie également mon condisciple **Aïballa TOUNKARA** qui m’a soutenu, logé et nourrit lors de mon séjour à Podor, une personne avec des vertus hautement humains.

– Je remercie infiniment mes condisciples de la famille **CISSE** qui m’ont accueilli ouvertement à Saint-Louis et m’ont beaucoup servi lors de mon séjour dans cette région. Sans eux, mes activités seront menées dans les conditions les plus difficiles, merci encore une fois.

– Je remercie également toute la 11<sup>e</sup> promotion pour les moments joviaux, qu’on a passés ensemble comme une famille avec une complicité et une solidarité très remarquable, que **DIEU** nous réserve des lendemains meilleurs sauvegardant notre amitié à jamais. Je citerai parmi eux **Modou FAYE, Ibrahima NDIAYE, Ibrahima BOB** entre-autres...

## **SIGLES ET ABBREVIATIONS**

**AEW** : Ondes d'Est Africaines

**ANACIM** : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la météorologie

**AMP** : Anticyclone Mobile Polaire

**ANSD** : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

**BNDS** : Banque Nationale de Développement du Sénégal

**BU** : Bibliothèque Universitaire

**CSE** : Centre de Suivi Ecologique

**CCHST** : Centre Canadien d'Hygiène et de Sécurité au Travail

**DTGC** : Direction des travaux de la Géographie et de la Cartographie

**FIT** : Front Intertropical

**GIEC** : Groupe d'expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

**GIRE** : Gestion Intégrée des Ressources en Eau

**ISRA** : Institut Sénégalaise de Recherche Agricole

**JEA** : Jet d'est africain

**JOST** : Jet d'Ouest Subtropical

**LG** : Lignes de grains

**LOCEAN** : Laboratoire d'Océanographie et de Climatologie par Expérimentation et Approche Numérique

**OMM** : Organisation Mondiale de la Météorologie

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**OMM** : Organisation Météorologique Mondiale

**P.I.V** : Périmètres Irrigués Villageois

**PMRC** : Programme Mondial de Recherche sur le Climat

**PNB** : Produit National Brut

**RCM** : Regional Climatic Model

**UASZ** : Université Assane Séck de Ziguinchor

**ZIC** : Zone de Convergence Intertropicale

## **RESUME**

L'extrême nord du Sénégal est une région à domaine sahélien, affectée par les Changements Climatiques et prédominée en partie par l'harmattan soufflant presque toute la saison sèche à la station de Podor et un peu moins significatif à la station de Saint-Louis. Ce flux d'air chaud et poussiéreux influant la température ambiante affecte l'environnement vital des êtres vivants et agit de façon préoccupante sur les activités humaines. Ces particules de poussière en suspension dans l'air absorbent et diffusent les radiations solaires incidentes modifiant la nature des nuages et perturbent les équilibres énergétiques dans l'atmosphère et à la surface du sol, ce qui contribue nettement à la déformation de la température de l'air qui augmente suivant l'évolution de la fréquence de ce flux d'Est chaud et sec. Cette situation se fait plus constater à la station de Podor plus continentale qu'à la station de Saint-Louis qui se localise sur la zone littorale. Les températures relevées sur le terrain au mois de Janvier (période des températures minimales) révèlent également une situation plus sévère à Podor qu'à Saint-Louis (environ 25 à 34° pour le premier et 18 à 25° pour le second). La corrélation entre l'évolution de la fréquence des flux d'harmattan et la hausse des températures dégage des résultats plus ou moins mitigés avec une intensité de la relation plus visible à la station de Podor qu'à la station de Saint-Louis où on constate une prédominance de l'Alizé maritime qui rafraichit considérablement la station.

L'objectif général est d'analyser comment l'évolution de la fréquence des flux d'harmattan justifierait-elle la hausse des températures à l'extrême nord du territoire. Les perspectives nécessaires seront de voir comment apporter une assistance au population locale qui reste toujours impuissante pour faire face au stress climatique au sahel sénégalais.

**Mots clés :** Changement Climatique, domaine sahélien, corrélation entre température et harmattan, Podor, Saint-Louis.

## **ABSTRACT**

The far north of Senegal is a region with a Sahelian domain, affected by Climate Change and predominated in part by the harmattan blowing almost throughout the dry season at the Podor station and a little less significant at the Saint-Louis station. This flow of hot and dusty air influencing the ambient temperature affects the vital environment of living beings and has a worrying effect on human activities. These dust particles suspended in the air absorb and diffuse incident solar radiation modifying the nature of the clouds and disrupting the energy balances in the atmosphere and at the surface of the ground, which significantly contributes to the deformation of the temperature of the air which increases following the evolution of the frequency of this hot and dry easterly flow. This situation is more evident at the more continental Podor station than at the Saint-Louis station which is located in the coastal zone. The temperatures recorded in the field in January (minimum temperature period) also reveal a more severe situation in Podor than in Saint-Louis (around 25 to 34° for the first and 18 to 25° for the second). The correlation between the evolution of the frequency of harmattan flows and the rise in temperatures produces more or less mixed results with an intensity of the relationship more visible at the Podor station than at the Saint-Louis station where we note a predominance of the Maritime Trade Wind which considerably cools the station.

The general objective is to analyze how the evolution of the frequency of harmattan flows would justify the increase in temperatures in the far north of the territory. The necessary perspectives will be to see how to provide assistance to the local population who still remain powerless to cope with climatic stress in the Senegalese Sahel.

**Key words:** Climate Change, Sahelian domain, correlation between temperature and harmattan, Podor, Saint-Louis.



## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : CONTEXTE ET APPROCHE METHODOLOGIQUE .....</b>	<b>4</b>
<b>I. Contexte et Problématique .....</b>	<b>5</b>
<b>II. Justification du choix de la thématique.....</b>	<b>6</b>
<b>III. Etat de l'art.....</b>	<b>8</b>
<b>IV. Approche méthodologique.....</b>	<b>11</b>
<b>V. Définition des concepts clés .....</b>	<b>14</b>
<b>CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....</b>	<b>17</b>
<b>I. La présentation physique de la zone d'étude.....</b>	<b>18</b>
<b>II. Le cadre socio-économique de la zone d'étude.....</b>	<b>25</b>
<b>III. Les centres d'action.....</b>	<b>26</b>
<b>CHAPITRE III : LA FREQUENCE DES FLUX D'HARMATTAN DE 1991 A 2020 ...</b>	<b>30</b>
<b>I. La fréquence des flux d'harmattan en termes de direction .....</b>	<b>31</b>
<b>II. La fréquence des flux d'harmattan en termes de vitesse.....</b>	<b>40</b>
<b>CHAPITRE IV : CORRELATION ENTRE L'EVOLUTION DES FLUX D'HARMATTAN ET LA HAUSSE DE LA TEMPERATURE .....</b>	<b>47</b>
<b>I. Aperçu sur la fréquence de la température au niveau des deux stations.....</b>	<b>48</b>
<b>II. Corrélation entre Harmattan et hausse de la température .....</b>	<b>56</b>
<b>CHAPITRE V : LES RAPPORTS ENTRE LA CHALEUR ET LES ACTIVITES HUMAINES.....</b>	<b>67</b>
<b>I. Les effets de la hausse de la température sur les activités humaines .....</b>	<b>68</b>
<b>II. Les impacts du climat sur la santé.....</b>	<b>83</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>90</b>
<b>Bibliographie et webographie .....</b>	<b>91</b>
<b>Liste des illustrations .....</b>	<b>93</b>
<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>96</b>
<b>ANNEXE .....</b>	<b>97</b>

## AVANT-PROPOS

Notre étude s'inscrit dans le cadre d'une analyse de l'évolution de la fréquence des flux d'harmattan de 1991 à 2020 ainsi que la hausse de la température notée dans la partie septentrionale du Sénégal. Elle vise à établir une relation de causalité qui existe entre la fréquence de ces flux d'Est et l'augmentation de la température de surface en se basant sur l'interprétation des données climatiques (directions et vitesses du vent, températures maximales et minimales) obtenues au niveau de l'ANACIM couvrant la période de 1991 à 2020. Les enquêtes menées sur le terrain, la documentation à travers certains moteurs de recherche et les ouvrages au niveau des Bibliothèques (UASZ, UGB, Bibliothèque de la maison des citoyens de la CDEAO...), certains travaux de thèse, de mémoire et/ou d'articles sur la problématique au niveau du sahel en général et le sahel du Sénégal en particulier ont permis une acquisition d'un certain nombre d'informations concoctées pour une meilleure illustration de la thématique d'étude. Parmi ces travaux, on peut retenir la thèse de GAYE (2017), centrée sur la fréquence des aérosols désertiques de même que la thèse d'OZER (2000) parlant des lithométéores en région sahéenne. L'article de KABORE avec la collaboration de SAKANDE (2003) portant sur les maladies de l'harmattan, ouvre une importante fenêtre sur les conséquences sanitaires des flux saharo-libyens.

Pour mieux illustrer cette thématique, il est également important d'étudier les dynamiques des orientations et la vitesse des vents présents au niveau de cette zone, étudier aussi la capacité d'adaptation de la population locale face aux conséquences de la chaleur sur les secteurs d'activité. La sécheresse observée au sahel depuis des années peut être ainsi expliquée par un réchauffement anormal des eaux dans l'Atlantique sud et un rafraichissement concomitant de l'Atlantique nord autour de l'Afrique qui, en favorisant la naissance de larges phénomènes convectifs au-dessus des océans, affaiblit la mousson et cause en partie cette sécheresse qui sévit du Sénégal à l'Ethiopie (GUILLAUMIE, HASSOUN, MANERO, CHOURROUT, SCHËLLER, 2005). Ce phénomène est à l'origine du déficit pluviométrique et l'aridité du paysage renforcé par la prédominance de l'harmattan qui traverse le désert et fait régner un air chaud et sec engorgé de poussières en suspension. L'influence importante de ces aérosols démontre que le sahel en général est l'une des principales sources d'émissions de poussière au monde. Et par conséquent, la fréquence de ce flux et la hausse de la température constitue un obstacle déterminant sur les activités, sur la santé et sur le peuplement de la région.

## INTRODUCTION GENERALE

Dans une planète viable et hospitalière, entourée d'une couche appelée atmosphère, les vents, la pluviométrie, la température et l'humidité relative constituent des paramètres climatiques naturellement très importants pour maintenir l'hospitalité et la viabilité de celle-ci à travers une circulation atmosphérique générale assez mouvementée au sein de la couche inférieure de l'atmosphère terrestre appelée **Troposphère**. L'inégale distribution de l'énergie solaire est d'une part à l'origine des fluctuations et les grands mouvements atmosphériques et d'autre part cela s'explique par la rotation de la Terre à travers une force déviante appelée force de **Coriolis**. La composition de l'atmosphère terrestre est un mélange complexe où sont présentes des espèces chimiques sous forme gazeuse mais aussi sous forme de particules liquides ou solides en suspension. L'harmattan de l'Afrique du Nord a donc une origine continentale et parcourt une longue surface désertique où les températures sont élevées et la quantité de vapeurs d'eau est extrêmement faible. Les aérosols atmosphériques qui accompagnent ce flux d'air sont définis comme l'ensemble des particules solides, liquides ou mixtes en suspension dans l'air et jouent un rôle important sur la qualité de l'air et sur la régulation du système climatique (GAYE 2017).

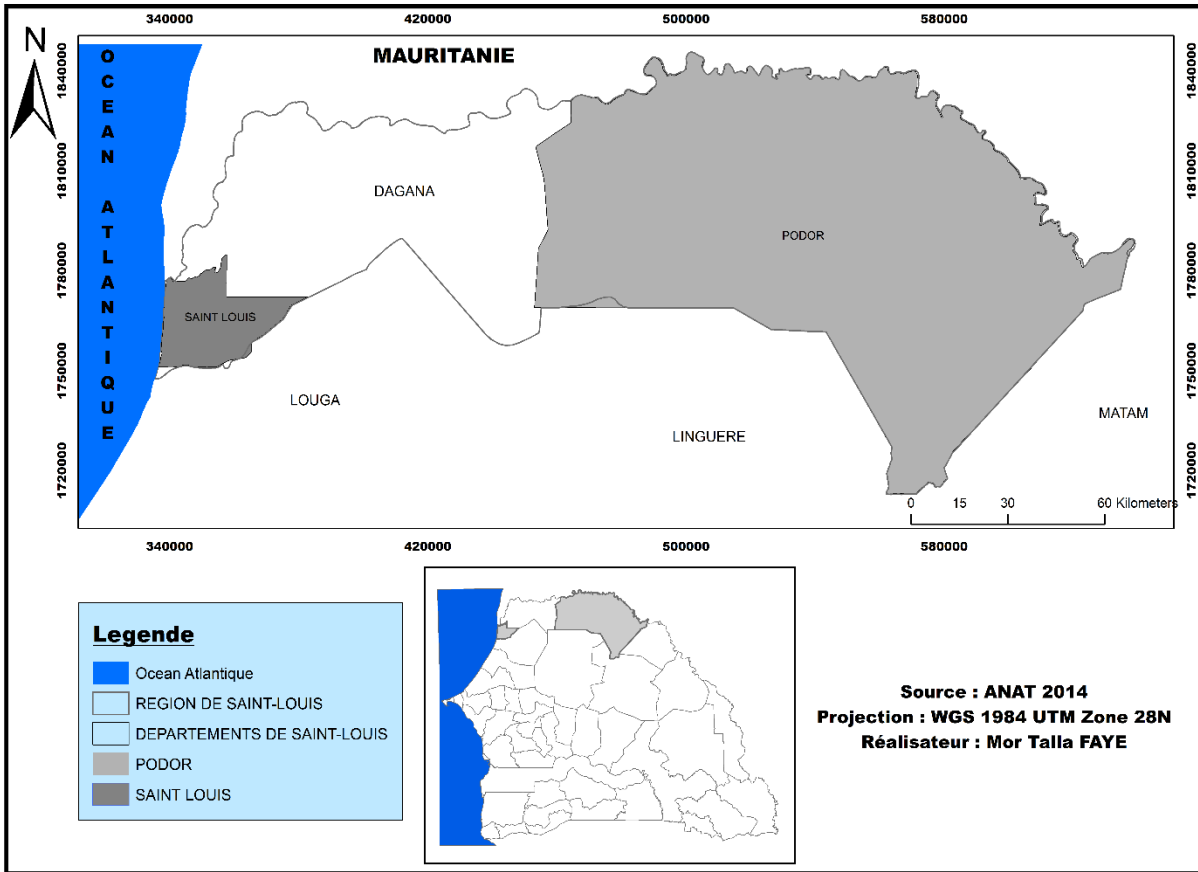
La température elle, est une variante climatique à l'instar de la pression, de l'humidité relative, des précipitations etc. Elle désigne ainsi le degré de chaleur ou de froid de l'atmosphère en un lieu donné ou généralement à l'échelle planétaire. Elle caractérise le degré d'ambiance de la chaleur ou de la fraîcheur de l'air, de l'eau ou d'un quelconque corps physique présent dans un milieu. En physique, elle signifie la manifestation de l'énergie cinétique d'un système thermodynamique. Les méthodes de détermination de ces variantes du climat sont le climogramme ou climatogramme, le diagramme ombrothermique entre autres. Le climogramme constitue des graphiques simples qui sont établis à partir des moyennes mensuelles de la température et des précipitations, il permet ainsi par la forme des figures de caractériser des climats à saisonnalités thermiques, pluviométriques ou pluvio-thermiques. A l'instar du climogramme, le diagramme ombrothermique constitue également des graphiques simples qui sont établies à partir des moyennes mensuelles des variantes climatiques mais il permet de mettre en évidence la durée de la saison sèche caractéristique de certains climats.

Les centres d'action matérialisés par des zones anticycloniques ou dépressionnaires constituent des zones où le poids de l'air est le plus important (anticyclone) ou le moins important (dépression). L'Alizé continental en provenance de l'anticyclone Saharo-libyen traversant le désert du Sahara est appelé Harmattan. Situés dans la partie septentrionale du territoire national,

le sahel sénégalais est une région géographique à prédominance de l'harmattan, cet Alizé chaud et sec venant du Sahara et qui souffle sur toute la zone soudano-sahélienne de l'Afrique occidentale. Il s'étend de novembre à mars et est très décisif pour façonner la température causant ainsi des bouleversements socio-économiques et sanitaires au sein du territoire en général et de la zone sahélienne en particulier.

En temps d'harmattan, les nuits sont fraîches voire un peu froides dû à l'absence de la couverture nuageuse comme pendant l'hiver au désert, mais l'air s'échauffe très rapidement avec le soleil, la chaleur brûlante et sèche venue du nord s'abat brusquement et l'écart diurne atteint 20°C à 30°C à cause de l'extrême siccité de l'air autrement dit l'humidité relative tombe souvent en dessous de 10% aux heures les plus chaudes. L'harmattan est donc un vent du désert très redouté par les habitants. Il est important de noter ainsi que le passage de cet Alizé continental fait partie des principaux facteurs qui expliquent les vagues de chaleur et de poussière notés dans la zone sahélienne. L'évolution de la fréquence de ce vent chaud et sec constitue ainsi une véritable problématique au sein du territoire particulièrement au sahel sénégalais.

Les changements et variations du climat ont des conséquences considérables sur l'hospitalité et l'ambiance de la température consentie à l'intérieur du territoire. Généralement, en Afrique de l'ouest, l'Alizé continental, provenant des hautes pressions subtropicales centrées sur l'ensemble du Sahel, est ressenti parfois jusque dans les domaines sahéliens côtiers et nord soudaniens côtiers comme un vent du désert, desséchant et poussiéreux causant parfois des dégâts très préoccupants notamment dans le domaine de la santé. La sécheresse notée à la fin des années 60 qui a envahi pratiquement toute la partie sahélienne du territoire est généralement dûe à l'évolution de la fréquence des flux d'aérosols adjacente à la hausse remarquable de la température (GAYE, 2017). Notre étude est essentiellement basée dans ce contexte de péjoration climatique qui accompagne une forte pression socio-environnementale en vue des enjeux que recèlent la température et les variantes climatiques corrélées avec les activités physico-humaines notamment les changements climatiques liés en partie aux activités anthropiques, la succession des saisons, la mobilité etc.



***Carte 1 : Découpage administratif des départements de Saint Louis et de Podor***

**CHAPITRE I :**  
**CONTEXTE ET APPROCHE METHODOLOGIQUE**

## **I. Contexte et Problématique**

Le monde réunit toutes les conditions vitales à l'état naturel pour une agglomération des sociétés humaines et d'un écosystème végétal et animal abondant. Une singularité qu'elle doit à un certain nombre de facteurs qui rend la vie possible sur cette astre de l'Univers. Parmi ces facteurs on peut citer son caractère tellurique, son abondance en eau d'où son appellation de planète bleue, son atmosphère ce bouclier miraculeux qui permet la respiration et la protection contre les rayons ultraviolets du soleil, sa distance optimale par rapport au soleil ce qui fait qu'elle n'est ni trop froid ni trop chaud comparée aux autres planètes...

Cependant, au côté de ces facteurs vitaux, des phénomènes naturels parfois nuisibles aux conditions de vie se produisent au niveau de notre précieuse planète. La tectonique des plaques explique certains de ces phénomènes tels que le volcanisme, les séismes, les tremblements de terre, les cisaillements, le débordement des eaux océaniques etc. Depuis des années, les changements climatiques font l'objet de nombreux débats, un phénomène amplifié par les activités anthropiques avec le rejet massif des gaz à effet de serre en suspension dans l'atmosphère, ce qui fait que le réchauffement climatique est l'un des défis les plus complexes du siècle et affecte une grande partie du globe étant ainsi à l'origine de plusieurs facteurs à risque tels que la fonte des glaciers, le recul des traits de côte, la désertification etc.

Parlant de la désertification, la plus grande étendue de désert de la Terre est nommé le Sahara, il se localise dans la partie septentrionale du continent africain partant de l'ouest jusqu'à l'est sur une distance d'environ 4800km de l'océan atlantique à la mer rouge et large d'environ 1300 à 1900km du nord au sud. La zone de transition entre le Sahara et la zone tropicale est appelée le Sahel, une zone intermédiaire très affectée par le réchauffement du climat, ce qui lui confère un caractère sec et aride avec une prédominance du vent chaud quittant l'anticyclone Saharo-libyen et chargé de poussière, qui circule la zone. Le sahel s'étale d'Ouest à Est en passant par le Sénégal, le Mali, la Mauritanie, le Niger, le Burkina Faso, le Tchad, le Soudan et l'Erythrée.

Le sahel sénégalais n'est pas épargné par ce flux chaud et sec appelé harmattan et le réchauffement climatique qui accentue la température en surface avec des conséquences néfastes sur plusieurs domaines d'activité. La problématique de mon thème d'étude s'articule ainsi dans cette optique d'évolution de la fréquence des flux d'harmattan et de la hausse de la température dans cette partie de l'extrême nord du Sénégal.

## **II. Justification du choix de la thématique**

Le choix de la thématique de recherche portant sur l'évolution de la fréquence des flux d'harmattan et hausse de la température à l'extrême du nord Sénégal est loin d'être inopiné.

Après les grandes sècheresses des années 1970 et 1980, on note sur la dernière décennie une recrudescence de la chaleur dans les régions sahéliennes en général et dans le sahel sénégalais en particulier. Les températures minimales affichent dans cette partie de l'Afrique sahélienne une hausse continue depuis des années, quant à la vitesse des vents ainsi que la présence de particules de poussières, elle diminue après enregistrement des valeurs les plus élevées pendant les périodes sèches. Ainsi, peu sont des sujets qui s'articule autour de la fréquence des flux d'harmattan corrélée à la hausse de la température dans cette zone du Sénégal et un certain nombre d'informations reste toujours à être piocher. Cela a nettement contribué à l'orientation du choix de la thématique d'étude. Nous avons également choisi ce sujet afin d'analyser et d'expliquer la corrélation entre les effets de la fréquence de l'harmattan et l'augmentation de la chaleur qui fait valoir un peuplement moins dense comparé aux zones littorales, des activités agro-écologiques rétrécies et une pauvreté de plus en plus préoccupante. Cette étude nous permettra de dégager les zones d'intervention des flux d'est et les zones les moins impactées par ces vents assez sévères face aux conditions de vie des êtres vivants de la région. Le choix de la série (1991 à 2020) inclut les périodes sèches et moins sèches et les phases de transition afin d'avoir une perception diachronique de l'évolution du climat.

Les stations de Saint-Louis et de Podor ont été choisies pour faire une comparaison des éléments climatiques étudiés tels que le vent en surface et la température ainsi que leur corrélation. La station de Saint-Louis située à l'ouest dans la zone littorale présente-elle les mêmes enjeux qu'à la station de Podor logée entièrement dans la zone sahélienne ? L'impact de l'harmattan se fait-il ressentir sur l'occupation du sol, sur la pédologie, sur le relief, sur la végétation de la même manière au niveau des deux stations ? La réponse à ces questions constitue une bonne cause pour faire l'objet d'une recherche.

Le choix du thème se justifie également par la nécessité d'une acquisition de connaissances sur la variation de la température notées dans la partie nord du territoire sénégalais afin de confirmer ou d'infirmer les travaux de certains scientifiques spécialisés de ce domaine. Notre motivation s'aligne ainsi dans le cadre d'une contribution à l'orientation de prise de décisions pour une mise en valeur de la zone compte tenu de la variation du climat. C'est ainsi dans ce contexte que notre choix est orienté sur cette zone pour dérouler notre recherche.



## **1. Questions de recherche**

Notre recherche va s'articuler autour de ces différentes questions :

**Question de recherche 1 :** Comment la fréquence des flux d'harmattan et des températures évolue-t-elle dans l'extrême nord du Sénégal ?

**Question de recherche 2 :** Comment l'évolution de la fréquence des flux d'Harmattan entrainerait-elle la hausse des températures enregistrées au nord du Sénégal ?

**Question de recherche 3 :** Comment est-ce que la hausse des températures affecte-elle les populations humaines et animales dans la zone ?

## **2. Objectifs de recherche**

### **Objectif général**

L'objectif général est d'analyser comment l'évolution de la fréquence (en termes de direction et vitesse) des flux d'harmattan justifierait-elle la hausse des températures à l'extrême nord du territoire sénégalais ?

#### **➤ Objectif spécifique 1**

Etudier de l'évolution de la fréquence des flux d'harmattan en termes de direction et de vitesse à Saint-Louis et à Podor.

#### **➤ Objectif spécifique 2**

Analyser la corrélation entre l'évolution de la fréquence d'harmattan et la hausse de la température pendant la période de 1991 à 2020 à l'extrême nord du territoire.

#### **➤ Objectif spécifique 3**

Evaluer les conséquences de la hausse de la température sur les conditions de vie humaines et animales et les stratégies d'adaptation au niveau des deux stations.

## **3. Hypothèses de recherche**

L'hypothèse principale de ce projet de mémoire est la suivante :

L'évolution de la fréquence des flux d'Harmattan (en termes de direction et de vitesse) justifie en partie la hausse des températures notée au nord du Sénégal et cette hausse affecte fortement les conditions de vie des populations humaines et animales plus au centre qu'à l'ouest.

**Hypothèse spécifique 1 :** La partie septentrionale sénégalaise est fortement marquée par une évolution de la fréquence des flux d'harmattan et par une hausse des températures.

**Hypothèse spécifique 2 :** La hausse de la température notée à l'extrême nord du Sénégal sénégalais est généralement due à l'augmentation de la fréquence des flux d'harmattan en termes de direction et de vitesse à l'exception de la zone littorale.

**Hypothèse spécifique 3 :** A l'extrême nord du territoire sénégalais, l'augmentation de la température en corrélation avec l'évolution de la fréquence des flux d'harmattan entraîne d'énormes conséquences sur les conditions de vie des populations humaines et animales et les stratégies d'adaptation restent inefficaces.

### **III. Etat de l'art**

En partant du contexte de changement climatique et de la dynamique des perturbations climatiques, l'évolution de la fréquence des flux d'harmattan et hausse de la température ou des sujets similaires à celui-ci ne tardera pas à être l'objet de thématique de recherche, de rédactions de mémoire et/ou de thèses.

\_Dans sa thèse « **Interaction mousson/harmattan, échange de petite échelle** » soutenue le 20 juillet 2010, **CANUT** inscrit ses recherches sur les interactions qui existent entre les flux de Mousson et d'harmattan notamment dans la Zone de convergence intertropicale (**ZCIT**). Il affirme que l'étude des petites échelles a permis de quantifier les échanges entre les flux de mousson dans les basses couches les flux d'harmattan dans la troposphère libre à partir des mesures à hautes fréquences de l'avion de recherche **ATR-42** pendant **AMMA** (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine).

La linéarité des profils verticaux des flux de chaleur sensible mesurés par avion a permis de déduire avec fiabilité des valeurs en surface et au sommet de la Couche Limite Atmosphérique (**CLA**). Le flux de chaleur sensible en surface est en moyenne deux fois plus fort en période sèche qu'en période humide. L'harmattan associé à l'anticyclone saharo-libyen centré sur le

nord du Maghreb, apporte de l'air chaud, venant du Sahara et vient rencontrer les alizés humides du sud-ouest venant du Golfe de Guinée, associé à l'anticyclone de Saint Hélène.

\_Extrait de l'article « **Les maladies de l'harmattan, sidwaya, Burkina Faso, 07/01/2003** » de **KABORE** avec la collaboration de **SAKANDE**, ce document nous donne des idées sur les différentes pathologies causées ou amplifiées par la présence des flux d'harmattan. Ce vent sec est accompagné de poussières composées de particules végétales, de plumes d'oiseaux, de microbes, de virus, de parasites, de champignons microscopiques etc. Les efforts de toux et pour se moucher traumatisent les vaisseaux et les font parfois saigner. De toutes les maladies qui envahissent la population pendant l'harmattan, les plus fréquentes sont la grippe, la méningite, la pneumonie, l'asthme, la bronchite, la tuberculose etc.

\_Dans la thèse de **OZER** « **Les lithométéores en région sahéenne : un indicateur climatique de la désertification, 2000** », des points similaires à mon thème d'étude ont été abordés au niveau de la même zone d'étude dans la mesure où il affirme que l'observation des particules minérales en suspension dans l'atmosphère ou soulevées du sol par le vent était avant les années septante, essentiellement limitée à la zone désertique (**DUBIEF 1943, MORAL 1965, 1966**). Il explique à partir de là que la prolifération des particules en suspension dans l'air autrement dit les aérosols développe une nouvelle caractéristique climatique en Afrique de l'ouest notamment le sahel et cela suscite un phénomène très alarmant corrélé à la hausse de la température et renforce la vulnérabilité de la population face aux offensives pathologiques. Il a ainsi caractérisé les interactions entre les flux de mousson et d'harmattan au niveau de la Zone de Convergence Intertropicale (**ZCIT**) et leurs impacts sur la variabilité climatique de la zone.

\_**HASSANE** dans « **Variabilité de la dynamique éolienne au sol (direction et vitesse du vent) et ses conséquences (visibilité horizontale) au Sahel central et Sahara méridional** », **Université Abdou MOUMOUNI, 2003** explique les mesures des paramètres climatiques depuis plus d'un siècle qui indiquent des modifications du système global et des régimes climatiques régionaux. Ainsi en Afrique de l'ouest et plus précisément au Sahel, le dernier rapport de l'**IPCC** discute d'une hausse des températures moyennes et de l'humidité relative

au XXI<sup>e</sup> siècle. Ses travaux sont généralement accentués sur les incertitudes qui subsistent concernant l'évolution des flux éoliens et de précipitation (**Christensen et al. 2007**).

\_Dans sa thèse portant sur la **fréquence des aérosols désertiques dans l'extrême Nord-Sénégal (Stations de Saint-Louis, Podor et Matam) : effets radiatifs, conséquences sur la visibilité horizontale et impacts sanitaires**, **GAYE (2017)** aborde les questions qui porte sur les éléments ou particules qui façonnent le climat de l'extrême nord du Sénégal et qui en interrelation avec les différentes variantes climatiques. Il élabore ainsi la zone source des aérosols, leur cycle et la saisonnalité des émissions. Son étude sur l'évolution des fréquences de lithométéores et l'étude de leurs effets radiatifs dans l'extrême Nord du Sénégal (**Sahel sénégalais**) m'a beaucoup aidé dans le cadre de l'étude sur l'évolution de la fréquence des flux d'harmattan qui est souvent accompagné de lithométéores, il a ainsi mis l'accent sur la limitation de la visibilité horizontale et les effets radiatifs désertiques causés par la concentration des particules poussiéreux en suspension dans l'air. Cela dégage des conséquences socio-économiques néfastes et des impacts sur le cadre sanitaire.

Il affirme ainsi que la fréquence des lithométéores, en termes de nombre de jours de présence et en termes de niveaux de concentrations en particules, est importante et varie aux différents points aux stations de l'extrême Nord-Sénégal. Les aérosols désertiques sont sources de divers effets radiatifs et affectent la dynamique atmosphérique dans l'extrême Nord-Sénégal.

\_Dans l'article « **Les poussières terrigènes au Sahel, un marqueur climatique ou anthropique ? De BICHET, (...) du 21 au 25 novembre 2011, Université de N'Gaoundéré, Cameroun** » la question à savoir dans quelle mesure les activités humaines peuvent-elles brouiller le signal climatique généralement attribué aux aérosols terrigènes ? Le cycle annuel des poussières terrigènes est bien documenté tant par des mesures directes, au sol ou aéroportées que par télédétection. Il est alors possible de décrire à la fois l'origine des poussières, leurs conditions de transport et leurs caractéristiques. Même au début de la saison des pluies, l'atmosphère sahéenne est encore dominée par les poussières sahéennes transportées en altitude. Cependant, dans cette zone, les émissions locales qui traduisent l'aptitude du sol à s'éroder sont actuellement liées aux activités humaines.

#### **IV. Approche méthodologique**

La réalisation de ce mémoire a nécessité de passer par des moyens tels que les guides d'entretien, les relevés de terrain, l'observation la géolocalisation et la documentation à travers des outils de recherche numérique, et cartographique (Google, Google Earth, Photographie aérienne...), afin de pouvoir valider les hypothèses posées. A cela s'ajoute la mise en évidence des expériences personnelles et celles acquises aux travaux qui ont précédé ce projet à la problématique posée. L'approche méthodologique s'articulera sur les différents points ci-après :

##### La documentation

La documentation fait partie des premiers points de notre démarche méthodologique. A travers la consultation des ouvrages scientifiques, des articles, des thèses et des mémoires concernant notre thème de recherche, nous pouvons mieux appréhender notre thématique. Au-delà des bibliothèques qui sont à notre disposition, nous avons approfondi notre documentation à travers les moteurs de recherche sur internet pour avoir accès à des sites comme Hypergéó.fr, GoogleScholar.com, fr.m.wikipedia.org/wiki/Harmattan#, Mémoireonline.com etc.

##### Relevés de terrain et collecte de données

Cette approche concerne une descente sur le terrain afin de faire un état des lieux et relever des informations sur le terrain. Il s'agit de la recherche des réponses à un ensemble de questions bien articulées sur un questionnaire et enregistrées à travers l'application kobo-collect. Pour obtenir des réponses à ces questions, nous passerons par des interrogations auprès de la population locale de la zone (échantillon choisi sur la base de la technique d'enquête par sondage aléatoire simple) mais aussi au constat fait sur le terrain des évènements notamment pendant les périodes de passage des flux d'harmattan. Pour la collecte de données statistiques et cartographiques, nous nous sommes rapprochés des structures comme la Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques (DTGC), l'Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD), l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM) entre autres. Des prises de points GPS sont aussi faites ainsi que des photographies de terrain.

##### Méthode d'échantillonnage

Lors des enquêtes de terrain nous nous sommes munis d'un questionnaire qui est soumis à la population enquêtée à Saint-Louis et à Podor afin d'acquérir des informations supplémentaires

concernant l'évolution de la fréquence des flux d'harmattan ainsi que la hausse de la température au niveau de ces deux stations.

Après une pré-enquête menée et des observations au niveau de la zone, nous avons choisi à Saint-Louis les quartiers qui sont les plus orientaux impactés par l'harmattan et quelques quartiers au niveau de la cote et plus exposés au flux d'air marins. A Podor, nous avons choisi les quartiers situés un peu plus au nord et ceux situés au niveau des rives du fleuve pour y mener nos enquêtes. Le questionnaire nous permet d'avoir des données quantitatives et qualitatives pour bien illustrer l'évolution des flux d'Est et ses impacts ainsi que la hausse de la température au niveau de cette zone.

- A la station de Saint-Louis

La commune de Saint-Louis compte 33 quartiers (ANSD, 2013) et nous avons choisi deux quartiers de la partie Est à savoir Ngalléle nord et Bango nord et à l'Ouest le quartier de Guet Ndar dans la langue de Barbarie. Le choix des quartiers est lié à leur position géographique illustrant leur exposition ou non aux effets de l'harmattan. Lors du dernier recensement la commune de Saint – Louis comptait 27498 ménages répartis dans 33 quartiers.

Pour ce travail, nous avons utilisé l'échantillonnage probabiliste dans le but d'interroger chaque acteur ciblé.

***Tableau 1 : Echantillonnage à la station de Saint-Louis***

Quartiers/Saint-Louis	Population	Nombre de ménages	Ménages interrogés	Pourcentage
Ngalléle nord	1581	221	33	13%
Bango nord	3269	280	42	16%
Guet Ndar	9895	1237	185	71%
<b>Total</b>	<b>14745</b>	<b>1738</b>	<b>260</b>	<b>100%</b>

**Source : ANSD 2013**

A la station de Saint-Louis, pour choisir le nombre de ménages à interroger, un taux standard de représentativité de 15% a été retenu, compte tenu de la taille des ménages des quartiers à interroger. Ce qui donne un échantillon de 260 ménages à interroger pour les 3 quartiers de la commune. La méthode de calcul ci-dessous permet de connaître de nombre de ménages à interroger.

Les 260 ménages à interroger sont repartis en 3 quartiers, choisis en fonction de la taille de la population, du nombre de ménages et de leur position géographique. Un échantillon par quota a été choisi et le nombre de ménages à interroger par quartier a été obtenu à travers la formule ci-dessus.

- A la station Podor :

La station de Podor est divisée en plusieurs quartiers et villages (ANSD 2013) et l'enquête a été faite au niveau des quartiers de Ndioum Jeeri à droite de l'axe RN2, de Ndioum Waalo à gauche de l'axe RN2 plus proche du fleuve et de Leo Demba situé dans la commune de Podor. Ces quartiers sont au cœur de la station et les effets de l'harmattan ainsi que la hausse de la température sont nettement perceptibles. La commune de Podor compte ainsi 11606 ménages répartis dans 06 quartiers.

Pour ce travail, nous avons utilisé également l'échantillonnage probabiliste dans le but d'interroger chaque acteur ciblé.

***Tableau 2 : Echantillonnage à la station de Podor***

Quartiers/Podor	Population	Nombre de ménages	Ménages interrogés	Pourcentage
Ndioum Jeeri	1260	176	53	25%
Ndioum Waalo	1585	173	52	24%
Leo Demba (Podor)	2923	360	108	51%
<b>Total</b>	<b>5768</b>	<b>709</b>	<b>213</b>	<b>100%</b>

**Source : ANSD 2013**

A la station de Podor, pour choisir le nombre de ménages à interroger, un taux standard de représentativité de 30% a été retenu, compte tenu de la taille des ménages et de la densité des quartiers à interroger. Ce qui donne un échantillon de 213 ménages à interroger pour les 3 quartiers de la station. La méthode de calcul ci-dessous permet de connaître de nombre de ménages à interroger.

Nombre de ménages de chaque quartier x 30

---

100

Les 213 ménages à interroger sont repartis en 3 quartiers, choisis également en fonction de la taille de la population, du nombre de ménages et de leur position géographique. Un échantillonnage par quota a été choisi et le nombre de ménages à interroger par quartier a été calculé à partir de la formule ci-dessus.

### Traitement des données

Pour le traitement des données, nous avons passé à priori par des logiciels cartographiques à l'instar du logiciel ArcGIS, pour le traitement des données cartographiques et des images Google Earth. Ces logiciels nous ont permis de confectionner de cartes thématiques en rapport avec notre thème d'étude. Nous avons ensuite exploité des logiciels de traitement de données statistiques tels qu'Excel pour effectuer des calculs statistiques et réaliser des graphiques et des tableaux statistiques. Pour le perfectionnement des cartes et images photographiées sur le terrain, l'utilisation des logiciels photographiques comme adobe Illustrator s'avère être nécessaire.

**Tableau 3 :** *Coordonnées géographiques des zones enquêtées*

<b>Localités</b>	<b>Latitudes</b>	<b>Longitudes</b>
<b>Saint-Louis</b>	16° 02 Nord	16° 30 Ouest
<b>Podor</b>	16° 40 Nord	14° 57 Ouest
<b>Ndioum</b>	16° 30 Nord	14° 38 Ouest
<b>Tarédji</b>	16° 38 Nord	14° 52 Ouest

**Source :** Géographie du Sénégal

## **V. Définition des concepts clés**

### **Evolution**

Le terme « évolution » peut être défini selon les disciplines et sur cet angle il traduit une suite de transformation dans un même sens autrement dit une transformation graduelle assez lente.



Sous un autre angle il peut être expliqué par une suite de mouvement varié et périodique. C'est un concept qui peut être expliqué dans ce contexte par une succession de phases par lesquelles passe un processus climatique, une augmentation ou une régression du caractère, du comportement d'un phénomène climatique à l'instar de la température, la pression, les précipitations etc.

En géologie, le terme « évolution » traduit l'ensemble des changements subis au cours des temps géologiques par les lignées animales et végétales ayant eu pour résultat l'apparition de formes nouvelles.

La perception sanitaire du terme « évolution » renvoie à la succession des phases par lesquelles passe un processus pathologique par exemple étudié l'évolution d'une tumeur.

### Fréquence

Littéralement, le concept « fréquence » traduit le caractère d'un évènement qui se produise à un intervalle de plus ou moins rapprochés. Le passage des flux d'Harmattan s'entend à partir de là par l'intervalle de temps que le vent souffle au niveau de la zone, elle est ainsi le nombre de périodes ou de cycles complets de variations qui se succèdent selon une évolution spatio-temporelle. (Le GrandRobert Dixel Mobile)

### Flux

En météorologie, « flux » signifie des lignes suivies par les courants aériens, les lignes de flux coïncident avec les isobares notamment dans la zone tempérée. Son caractère polysémique lui confère une diversité de définitions selon les disciplines.

Dans le cadre de l'énergie, il traduit la puissance émise, transportée ou reçue sous forme de rayonnement. Le flux lumineux est ainsi une grandeur dérivée du flux énergétique par l'évaluation du rayonnement d'après son action sur un récepteur déterminé.

Dans le domaine de l'hydrologie, ce concept peut signifier un écoulement, le mouvement des ondes d'un fleuve, d'une rivière bref le ruissellement des ondes d'une étendue d'eau, il traduit aussi la marée montante opposée à « reflux » ou « jusant » qui signifie marée descendante. (Le GrandRobert Dixel Mobile)

### Changement Climatique

Les effets des changements climatiques sont parmi les défis actuels auxquels l'humanité doit faire face. Le concept « Changement Climatique » est un phénomène global de transformation

du climat caractérisé par une augmentation ou une diminution générale des températures moyennes et qui peut modifier durablement les équilibres météorologiques et les écosystèmes. Ainsi, on constate depuis le début de la révolution industrielle que les températures moyennes sur Terre ont en effet augmenté plus ou moins régulièrement. En 2016, la température moyenne sur Terre était environ 1 à 1.5 degrés au-dessus des températures moyennes de l'ère préindustrielle (avant 1850).

Selon le GIEC, Changement Climatique s'entend d'une variation de l'état du climat que l'on peut déceler par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant de longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité du climat ou à l'activité humaine.

En revanche, la CCNUCC attribue exclusivement les changements climatiques à l'activité humaine « Changements Climatiques désignent des changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables (Cours M1, Dynamiques des perturbations climatiques, Dr Demba GAYE, p02).

### Sécheresse

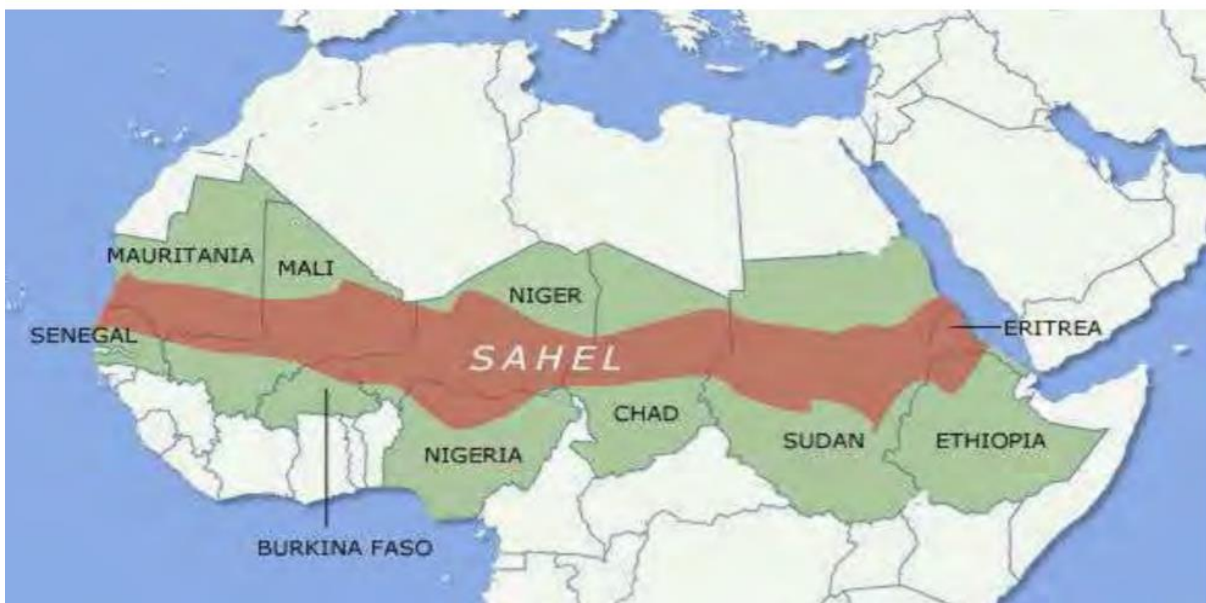
La sécheresse revêt un caractère multiforme (FAYE 2018). Elle est d'emblée un phénomène météorologique avant d'être hydrologique et agricole, compte tenu de son origine, car elle est étroitement liée à la température et à la pluviométrie. Ainsi, on parle de sécheresse lorsque cette dernière est en manque ou est mal répartie, voire absente. Elle est enfin naturelle dans la mesure où elle pose de nombreux problèmes à travers le monde qui exigent des ponctions énormes sur les ressources naturelles. Elle apparaît ainsi dans notre sujet tel un concept très important du fait qu'elle est de plus en plus fréquente au niveau du sahel sénégalais.

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

## **I. La présentation physique de la zone d'étude**

L'extrême nord du territoire sénégalais se situe dans le Sahel qui signifie en Arabe rivage, bordure. Espace transitionnel entre le *Sahara* et le *Soudan*, deux autres mots arabes, l'un désignant le plus grand désert du monde, l'autre le pays des noirs, bled es soudan. Dans la tradition française, elle structure l'Afrique de l'ouest, mais la zonalité s'applique à un ensemble géographique plus vaste couvrant une vaste étendue de l'Atlantique à la mer Rouge. Le Sahel est par définition un espace de marge qui quitte le monde minéral des *regs* et des *ergs* sahariens, on y accède en affrontant la végétation épineuse du *Cram-Cram* (*Cenchrus biflorus*). Mais depuis quelques années, lorsqu'on parle du Sahel, on désigne en réalité un espace « sahélo-saharien » c'est-à-dire une zone de transition entre le désert saharien au nord et la zone soudanienne au sud, qui transcende la stratification bioclimatique. En 2014, le Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest a publié un Atlas du Sahara-Sahel et dans la préface, Denis Retaillé souligne que « Le Sahel n'est plus seulement associé aux pays affligés par la sécheresse et la famine des années 70 et 80. Dans le discours politique comme dans la presse, « Sahel » est devenu le nom générique de l'ensemble constitué du Sahel, du Sahara, de l'Atlantique à l'Océan indien ». (P218)

**Photo 1 :** Les régions sahéliennes



**Source :** (Amélioration de la prise en compte des aérosols terrigènes dans les modèles atmosphériques à moyenne échelle, Mohamed MOKHTARI, le 20 décembre 2012).

La zone sahélienne est un espace de transition entre le désert saharien au nord et la zone soudanienne au sud, il se présente sous la forme d'une bande d'environ 5500km de longueur et

400 à 500km de largeur. Le sahel est présent dans une dizaine de pays africains et s'étend depuis l'embouchure du fleuve Sénégal jusqu'à la Djézireh soudanaise (haut Nil) soit environ 3 millions de mètres carrés (SAHEL, Encyclopaedia Universalis). La partie nord Sénégal est occupée par le Sahel sénégalais qui s'étend de la latitude de **Barkéji** (15°16'N) au sud, à celle de **Podor** (16°38'N) au nord. En longitude ce territoire va de l'axe **Saint-Louis-Potou** (16°28'W) à **Matam** (14°56'W). Les stations de Saint Louis et de Podor situant dans cette zone du sahel sénégalais, concernent ainsi particulièrement notre thématique d'étude. En effet, la région sahélienne compte aujourd'hui parmi les régions du monde les plus fragiles face aux effets des perturbations climatiques, cela s'explique par divers facteurs parmi lesquels la fragilité de son écosystème, une pluviométrie déficitaire, des variations climatiques imprévisibles, une désertification chronique... Ces perturbations climatiques présentent actuellement des conséquences quasi-irréversibles qui risquent d'accentuer la vulnérabilité des populations du monde et en particulier les régions du sahel.

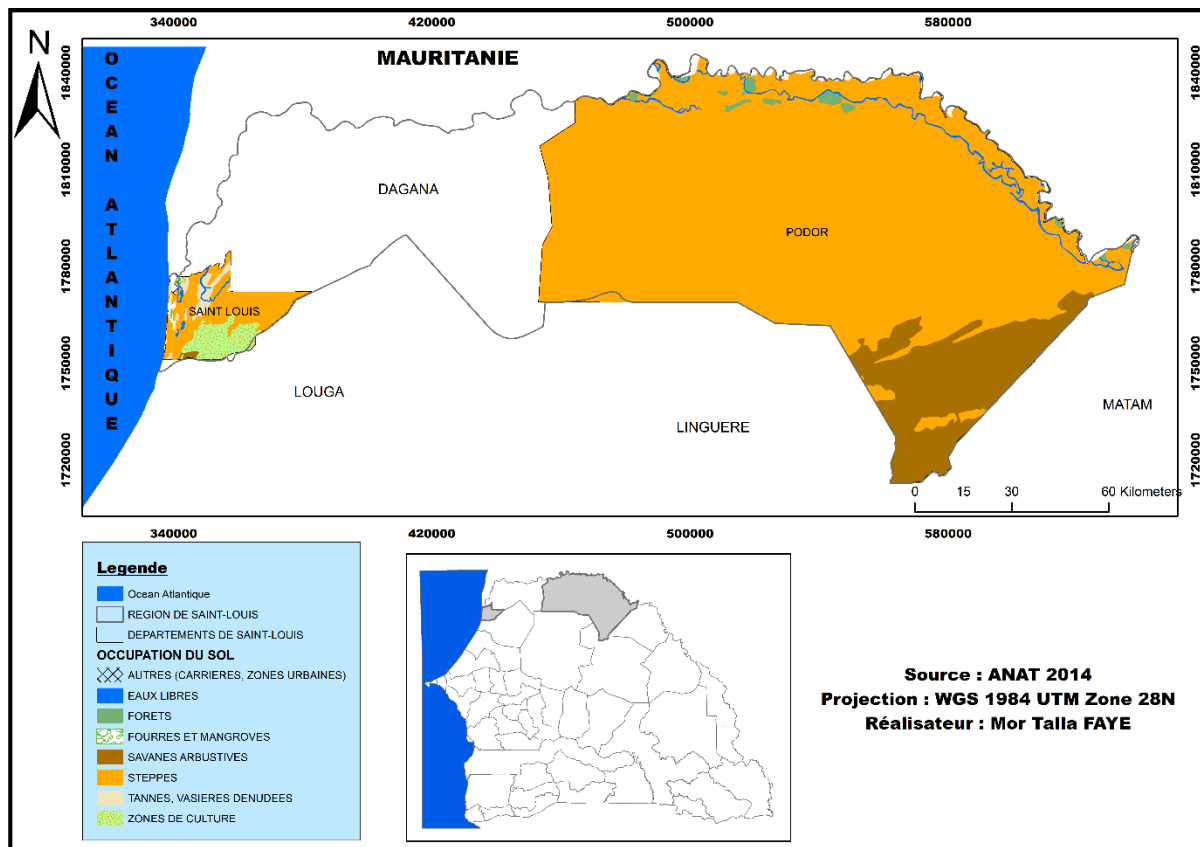
En ce qui concerne ces variations climatiques, la question se pose sur la temporalité des événements, les conséquences notoires sur le peuplement du sahel en général et du nord du Sénégal en particulier remontent des fluctuations du Pléistocène et de l'Holocène. L'évaluation des changements se tire alors sur plusieurs milliers années. Contrairement aux événements contemporains, ils ont été perçus dans le temps où ces événements se sont produits mais leurs interprétations nécessitent un recul sur le passé.

#### ➤ L'occupation du sol

La carte de l'occupation du sol permet d'avoir un aperçu plus clair sur l'utilisation de l'espace géographique au niveau des deux stations. Ainsi, les données cartographiques obtenues au niveau de l'ANAT et traitées à partir du logiciel **ArcGIS** nous a permis de vérifier et d'interpréter les informations collectées sur le terrain. La station de Saint-Louis est ainsi nettement plus dense qu'à la station de Podor qui présente un paysage généralement steppique et un espace urbain très réduite repéré au niveau des abords du fleuve et de l'axe routier (RN2). La situation démographique reflète le même constat que le territoire national où la majeure partie de sa population se loge dans la zone littorale cela s'explique par l'abondance du climat avec la prédominance des flux d'alizé maritime frais et humide qui parcourt constamment la zone, à la station centre la démographie se concentre généralement au niveau de la zone du fleuve profitant de l'humidité pour mener leurs activités telles que le pastoralisme, le maraichage et la riziculture.

La savane parsemée de quelques pieds d'arbres se localise dans la partie sud-est vers Matam (voir carte/occ.sol). La steppe s'étale pratiquement sur toute la station centre jusqu'à la partie orientale de la station ouest, un paysage qui caractérise la zone sahélienne avec la prédominance de l'harmattan, un flux d'air chaud et sec. Au niveau des deux stations, les mutations de l'occupation du sol se manifestaient avant les années 90 généralement par une substitution de la steppe arbustive par une steppe herbeuse. L'occupation du sol est maintenant marquée par l'extension des aménagements agricoles avec le développement de l'agriculture irriguée. L'accroissement urbain est aussi très influent sur la zone steppique à la station de Saint-Louis.

Le réseau hydrographique « Fleuve Sénégal, débit interannuel actuel : 410m<sup>3</sup>/s par an en moyenne » (DGPPE, 2023) quittant la partie sud-est du pays, traverse la zone centre en dégageant quelques bras à l'instar de **Doué**, de **Ngalanka**, de **Diar**, de **Gorom**, de **Ngalam**... qui forment de modestes touffes de mangroves au niveau des berges et des canaux artificiels qui arrosent les espaces irrigués. Le chenal principal continue son chemin jusqu'à l'ouest formant un réseau deltaïque qui alimente presque toute la station et favorise ainsi une abondance relative des zones de cultures, des tannes, vasières et autres, pendant la saison pluvieuse, quand le fleuve déborde de ses berges, la région est entourée de bassins d'inondation et l'eau salée crée des zones de petites mangroves et/ou d'étangs où séjournent nombreux espèces d'oiseaux à l'instar des flamants rose et des pélicans.



**Carte 2 : Occupation de sol de la station de Saint-Louis et de Podor**

### ➤ **Les Sols**

En ce qui concerne la pédologie à la station de Saint-Louis et Podor, le phénomène le plus marquant qui se dégage, est l'aridité des sols en grande partie façonnée par la fréquence de l'air chaud et sec. Les sols peu évolués d'origine non climatique et d'apport alluvial se localisent au niveau des vasières marines situées généralement à l'ouest, ces sols sont caractérisés par la formation de mangroves à *Rhizophora racemosa*.

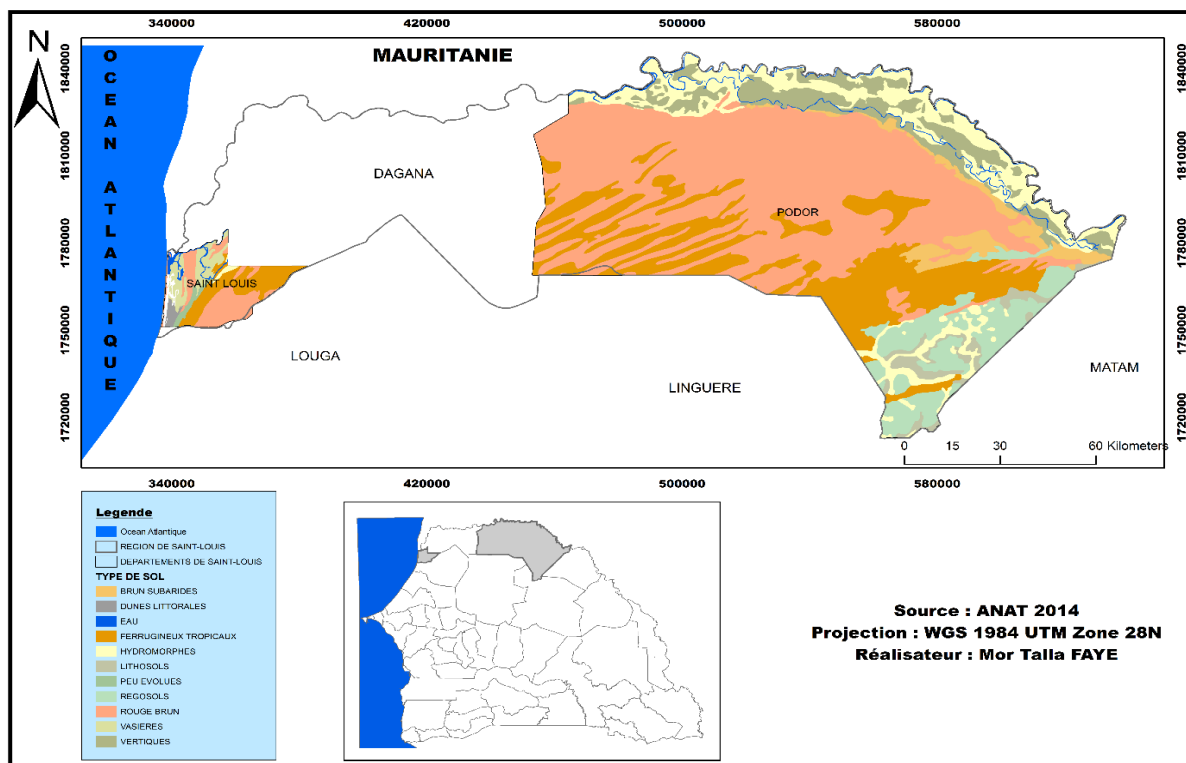
Les sols hydromorphes à structure dégradée se localisent sur toute l'étendue de la vallée du fleuve. Ils sont de plus en plus salés au niveau de la zone deltaïque reposant sur un terrain d'alluvions grossiers hétérogènes. C'est ainsi au niveau de zone que se développent les activités d'agriculture irriguée et la riziculture. Une bonne partie de ces terrains hydromorphes est recouverte durant les périodes de crue.

Les sols ferrugineux tropicaux et les sols rouges bruns se localisent dans la même zone au niveau des deux stations (espaces décalés du fleuve et des zones humides). Les sols ferrugineux tropicaux se caractérisent par une faible teneur de réserve en eau utile, une structure défavorable à la pénétration racinaire, un encroutement en surface avec une pellicule de battance favorisant

le ruissellement des eaux pluviales, une faible capacité d'échange cationique avec des valeurs de **pH** généralement neutres et varient entre légèrement basique sur le sable et acide sur l'argile (www.edepot.wur.nl). Les sols rouges bruns s'étalent sur une grande partie des plaines arides de la zone sahélienne parsemés d'arbres épineux adaptés aux conditions climatiques sévères, ces sols sont moyennement profonds. Ils sont caractérisés par une couleur brun rougeâtre dans la partie superficielle et devenant plus rouge en profondeur marquée par la présence de petits gravillons.

Les sols bruns subarides se localisent dans une zone intermédiaire entre les sols rouges bruns et les sols vertiques caractéristiques d'un sol à argile gonflante et entourés par un tissu pédologique hydromorphique. Les sols bruns subarides se caractérisent par une faible teneur en matière organique avec une diminution progressive en profondeur, la teneur en fer est relativement élevée dans le profil.

Les régosols se trouvent dans la partie sud-est de la station de Podor et quasiment rare à la station de Saint-Louis. C'est un sol constitué de regs et très peu évolué, il résulte d'une faible altération d'une roche-mère meuble et la végétation y est très faible à cause du climat. L'ensemble de ces informations pédologiques révèle la formation d'une structure pauvre et aride à semi-aride liée généralement à un climat chaud et sec qui prédomine dans la région.

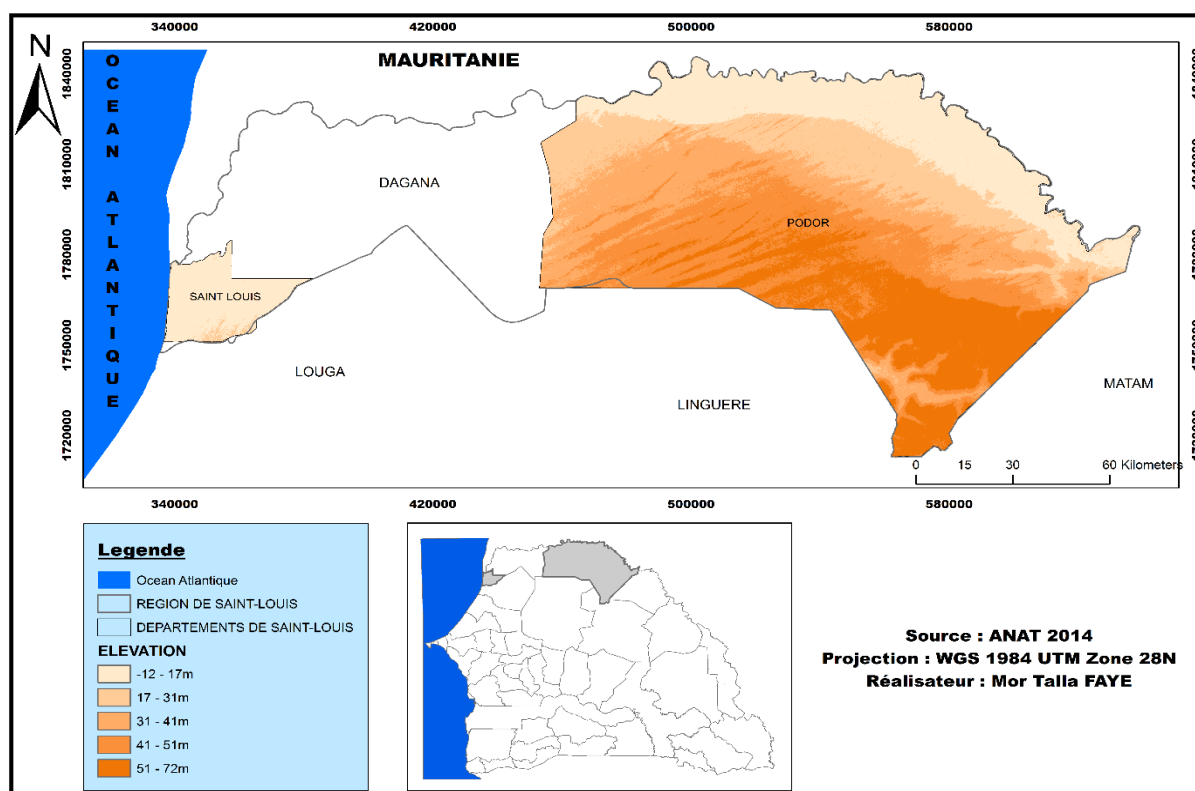


***Carte 3 : Les sols de la station de Saint-Louis et de Podor***



## ➤ Le relief

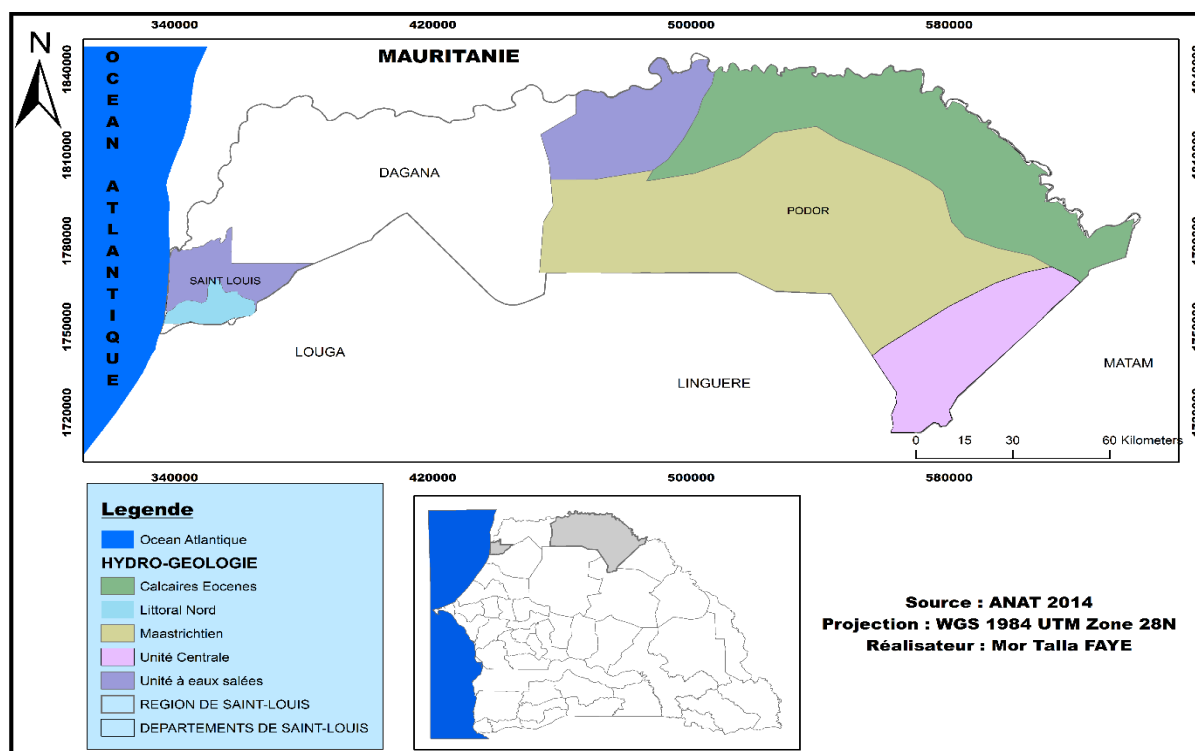
La zone sahélienne du Sénégal présente un relief quasiment plat avec une absence de zone accidentée, la topographie est assez plane et monotone. La carte du modèle numérique de terrain signale certaines zones qui ont une altitude inférieure au niveau de la mer à l'instar des zones de la basse vallée du fleuve à la station de Saint-Louis et au niveau des basses plaines centrales situées dans les environs du fleuve. La topographie de ces terrains est comprise entre -12 et 17m d'altitude. Les zones plus décalées du fleuve sont des zones peu prononcées avec parfois des dunes dégradées par l'érosion et conservées par endroit en laissant des tas de sables plus ou moins importants. La monotonie de la surface défavorise les processus hydrologiques notamment le ruissellement continu des bras du fleuve qui souvent se détournent après détachement au niveau du chenal principal pour se déverser encore sur le fleuve au niveau de la station centre. A la station ouest, la faiblesse de l'altitude (en dessous du niveau de la mer) et la morphologie du terrain notamment la pente achemine les eaux vers l'embouchure. La faiblesse du relief favorise également une libre circulation de l'air chaud provenant de l'anticyclone saharo-libyen et qui érode certaines dunes de sable présentes dans la zone transportant le sédiment jusqu'à la région de transition soudanienne avant d'être ralenti par un tissu végétal plus important.



**Carte 4 : Relief de la station Saint-Louis et de Podor**

## ➤ L'hydrogéologie

La synthèse hydrogéologique de l'extrême nord du Sénégal dégage la présence de l'**Unité à eaux salées** et le **Littoral nord** à Saint-Louis, le **Calcaires Eocènes** et l'**Unité à eaux salées** un peu plus au nord vers les rives du fleuve, le **Maastrichtien** et l'**Unité centrale** un peu plus au sud de la station centre. Ainsi, comparées aux terrains superficiels et aux eaux de surface, les eaux souterraines sont moins influencées par la hausse des températures et aux changements climatiques, les nappes sont alors plus résistantes à la sécheresse. Elles sont affectées plus lentement et à travers les principaux domaines hydrologiques à savoir la recharge, la décharge et le stockage des eaux. Les impacts du climat du sahel sur les eaux souterraines peuvent être amplifiés par des facteurs indirects sur la demande en eau pour l'irrigation et pour l'usage domestique. Les aquifères situées au niveau du Waalo sont moins profondes et plus exposées notamment avec les activités agricoles et la concentration démographique assez importante. Toutefois, l'absence d'une végétation dense et la hausse des températures défavorisent l'évapotranspiration de l'eau souterraine qui peut en effet fournir des options pour l'amélioration de la fiabilité de l'approvisionnement en eau à usage domestique, le bétail et l'irrigation. Ainsi, malgré le rôle important que joue les eaux souterraines dans l'adaptation à la variabilité hydrologique et au contexte de hausse des températures, elles sont moins exploitées au niveau des deux stations (encore moins à la station centre qu'à la station ouest).



***Carte 5 : Hydrogéologie de la station de Saint-Louis et de Podor***

## **II. Le cadre socio-économique de la zone d'étude**

Les régions sahéliennes de la partie Ouest du continent sont en général habitées par les peuples pasteurs Touaregs et Arabes plus au Nord, Maures, peulh et autres vers le sahel sénégalais et mauritaniens à l'exception de Saint Louis où la population est plus ou moins mixte mais dominée par les gandiols-gandiols pêcheurs. Leur cohabitation n'exclut pas parfois des conflits d'intérêts causés en partie par l'élevage mobile sous toutes ses formes, du nomadisme aux transhumances saisonnières. La hausse de la température en saison sèche et la fréquence des flux d'harmattan façonnent le paysage de la zone et expliquent le déplacement des troupeaux vers le sud à la recherche de pâturages. L'élevage représente ainsi 40% du PIB agro-pastoral des pays du Sahel (Système d'information sur le pastoralisme au Sahel. Atlas des évolutions des systèmes pastoraux au Sahel 1970-2012, FAO, CIRAD, 2012). Les couloirs de transhumance ne sont toujours pas respectés. L'intrusion du bétail dans les champs des voisins détruisant les cultures provoque parfois des affrontements pouvant faire parler des armes. La cohabitation entre pasteurs et agriculteurs devient ainsi conflictuelle quand les ressources se raréfient. Ainsi, l'accès à l'eau et par suite aux ressources agro-pastorales constitue également un enjeu crucial, d'une part facteur de socialisation, mais aussi objet de compétition et souvent de conflit entre ces acteurs sous régionaux.

Les conflits fonciers sont aussi multipliés par l'accroissement de la densité avec notamment la pauvreté et un taux de natalité très important favorisé en partie par la hausse de la température qui constitue un facteur déterminant pour la fécondité. Le couple sécheresse-famine et la pauvreté ont ainsi devenu synonyme du sahel avec le glissement des isohyètes qui a été abondamment documenté dans les années qui ont suivi les grandes sécheresses de la fin du XXe siècle. Les famines du Sahel furent par ailleurs à l'origine de la revue « Sécheresse, science et changements planétaires » publiée en 1990 sous l'égide de l'Agence universitaire de la Francophonie. Ces rappels permettront d'insister sur le fait que l'étude et l'évaluation des risques actuels et futurs de l'extrême nord du territoire doit impérativement interroger le passé.

En termes des échanges commerciaux, les sociétés pastorales du fait de leur mobilité, ont animé depuis plusieurs années les flux d'échange de la zone sahélo-saharienne, cela peut être expliqué par l'ancienneté des routes transsahariennes. En partant du général, le sel du Sahara a longtemps été acheminé vers les régions sahélo-soudaniennes, en revanche, le cola des forêts guinéennes et d'autres produits de la zone intertropicale ont fait l'objet de commerce et ont été transportés vers les oasis du nord. Ces villes sahéliennes qui ont jalonné ces réseaux marchands, ont vu l'Islam se propager dès le VIIIe siècle vers les pays du sud du Sahara. Ce grand désert selon

Marc Côte (*Le Sahara, barrière ou pont ?* Revue Méditerranée, hors-série, 2014), a filtré les relations entre les pays maghrébins ainsi que le Proche Orient et l'Afrique noire, le sahel remplissant ainsi une fonction d'interface entre ces deux mondes.

### **III. Les centres d'action**

En terme météorologique, un centre d'action est un anticyclone ou une dépression agissant sur une grande étendue gardant une forme ainsi qu'une position géographique quasiment stationnaire sur de longues périodes, telle une saison, ayant alors une grande influence sur le mouvement des flux perturbés et sur la circulation atmosphérique des vents sur la surface qu'il occupe. Ceci ne veut pas dire que la position et l'intensité d'un tel centre correspond toujours à un anticyclone ou une dépression durant cette période, mais plutôt que la moyenne mensuelle de la pression à cet endroit correspond à ces entités.

#### **1. Anticyclones**

C'est une zone de hautes pressions atmosphériques qui est caractérisée sur une carte synoptique de surface par des courbes isobares (généralement plus de 1013 hPa sur Terre) avec une pression maximale au centre. Sur les cartes d'altitude, il est repérable à travers un centre isohypse de valeurs relativement plus élevées et ils sont matérialisés sur les cartes météorologiques par la lettre A, H ou par le signe +. La force de Coriolis est à l'origine du sens de rotation des vents autour du centre de l'anticyclone. Les anticyclones sont principalement caractérisés par un lent mouvement vertical qui descend de l'air augmentant la pression sur le sol et qui présente un effet dissipatif de la couverture nuageuse et des précipitations associées, garantissant ainsi du temps sec et ensoleillé. Parmi ces anticyclones, on peut retenir : l'anticyclone des **Açores**, l'anticyclone de **Sainte-Hélène**, l'anticyclone **Saharo-libyen** etc... Ces cellules de hautes pressions sont les zones de provenance des alizés qui ont une circulation maritime ou continentale. L'alizé est un flux issu d'une cellule de hautes pressions qui peut être constituées par un Anticyclone Mobile Polaire (AMP) ou par une agglutination anticyclonique, il s'agit donc d'un flux qui demeure dans l'hémisphère qui l'a vu naître autrement dit l'alizé naît et meurt dans le même hémisphère géographique (Sagna, 2005).

L'harmattan qui concerne ainsi notre thématique d'étude, est un vent du nord-est, très chaud le jour, plus froid la nuit, très sec et le plus souvent chargé de poussière et de fines particules de sable, il est généralement localisé au Sahara, en Afrique centrale et occidentale. C'est un vent

d'alizé continental issu de l'anticyclone Saharo-libyen, il souffle vers le sud-ouest en provenance du Sahara et affecte le golfe de Guinée en hiver, entre la fin du mois de novembre et le milieu du mois de mars. L'harmattan est associé à une haute pression barométrique autrement dit au régime anticyclonique habituel de la saison sèche des climats tropicaux.

Il existe ainsi pour certains ingénieurs environnementalistes plusieurs types d'Harmattan, définis par rapport à l'humidité. On peut distinguer par exemple : l'harmattan de type I dans lequel toutes les valeurs d'humidité relative sont inférieures à 50% et parfois sur plusieurs jours, l'harmattan de type II où seules les valeurs d'humidité relative de la journée sont inférieures à 50% et l'harmattan de type III marqué par une grande variabilité de l'hygrométrie autrement dit la quantité d'humidité contenue dans l'air, le seuil de 50% n'étant dépassé que pendant quelques heures, à peine 5 heures d'horloge (DIOGUE, 2015)

## **2. Dépressions**

La dépression est une région où la pression est relativement plus faible que les zones avoisinantes et autour de laquelle le vent circule dans le sens antihoraire autrement dit dans le sens contraire des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord et dans le sens horaire dans l'hémisphère sud. Elle est une zone fermée de basse pression atmosphérique. Sur une carte synoptique de surface, cela donne un système d'isobares dont la pression est minimale au centre d'où son caractère de basse pression, elle est matérialisée dans les cartes météorologiques par la lettre D, L ou par le signe -. Les dépressions peuvent se retrouver en altitude ou en surface, dans le premier cas, elles sont notées par un minimum de géopotential alors que dans le second cas la pression est ajustée au niveau de la mer et donne généralement une valeur inférieure à 1013.25 hPa.

Les dépressions sont souvent associées au mauvais temps, cela s'explique par le fait que la dynamique qui l'entoure présuppose une existence de courants chauds ascendants qui sont à l'origine de la formation des nuages et du potentiel pluviométrique. De plus, le gradient horizontal de pression autour d'une dépression engendre généralement des rafales de vents considérables. Il existe ainsi des dépressions à caractères semi-permanent qui sont des centres d'action étant donné qu'elles ont un impact sur le mouvement des perturbations et sur la circulation atmosphérique régionale des vents, elles se prolongent souvent en étirant un creux barométrique. Ces creux ont un caractère temporaire mais ayant les mêmes effets que la dépression à la seule différence que leur circulation n'est pas fermée.

Les dépressions se classent ainsi en deux types selon leurs sources de développement :

- ❖ Les dépressions thermiques qui sont formées grâce à un réchauffement très élevé local et persistant sur la surface terrestre qui se communique à l'air sus-jacent et non à un mouvement dynamique de l'atmosphère.
- ❖ Les dépressions dynamiques qui sont dues à la circulation atmosphérique en elle-même et non au réchauffement des masses d'air.

A l'intérieur de ces centres d'action, il existe des perturbations climatiques à l'image des tourbillons entourés par des bandes nuageuses qui matérialisent les fronts, c'est ainsi l'ensemble tourbillons et fronts qui constitue cette perturbation. Le tourbillon représente un centre de dépression et plus on s'éloigne de cette zone plus on se rapproche d'une cellule anticyclonique, il faut ainsi noter que deux perturbations ne sont jamais identiques même si elles paraissent semblables, leurs évolutions peuvent largement différées.

Ces perturbations peuvent être perçues en pluviométrie comme des lignes de grain à la remontée de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) qui est une ceinture dépressionnaire d'environ 200 km de large, à la différence de la zone sahélienne qui ne dépend en grande partie que de l'arrivée des lignes de grain pour se voir arroger par les précipitations. La trace au sol de l'équateur météorologique dessinée par cette zone de convergence intertropical est connue sous le nom de Front Intertropical (FIT) situé en moyenne vers la latitude 8° N en janvier-février et atteint 20° N en juillet-août qui sont ses positions extrêmes méridionales et septentrionales (GAYE, 2017).

Au sahel en général et au nord du territoire en particulier, on note une prédominance d'alternance de deux masses d'air (l'Alizé maritime et l'harmattan) qui s'opposent par leur structure fréquentielle, leur humidité et leur comportement, ces masses d'air déterminent le cycle saisonnier du climat.

### **Conclusion partielle**

La partie septentrionale du territoire sénégalais notamment les stations de Saint-Louis et Podor se localise dans la zone de transition sahélienne, ce qui lui confère un caractère physico-humain spécifique avec la présence du vent provenant de l'anticyclone Saharo-libyen qui traverse le désert et se remplit de poussières et de chaleur. Cette situation joue un rôle important sur l'occupation du sol, sur la stratification pédologique, sur la végétation ainsi que sur le model numérique de terrain. L'occupation socio-économique engendre des enjeux plus ou moins tendus avec un brassage ethnique faisant parfois l'objet de controverses. Toutefois, l'occupation socio-économique est en parfaite corrélation avec les aspects climatiques de la zone en l'occurrence la température.

### **CHAPITRE III :**

#### **LA FREQUENCE DES FLUX D'HARMATTAN DE 1991 A 2020**

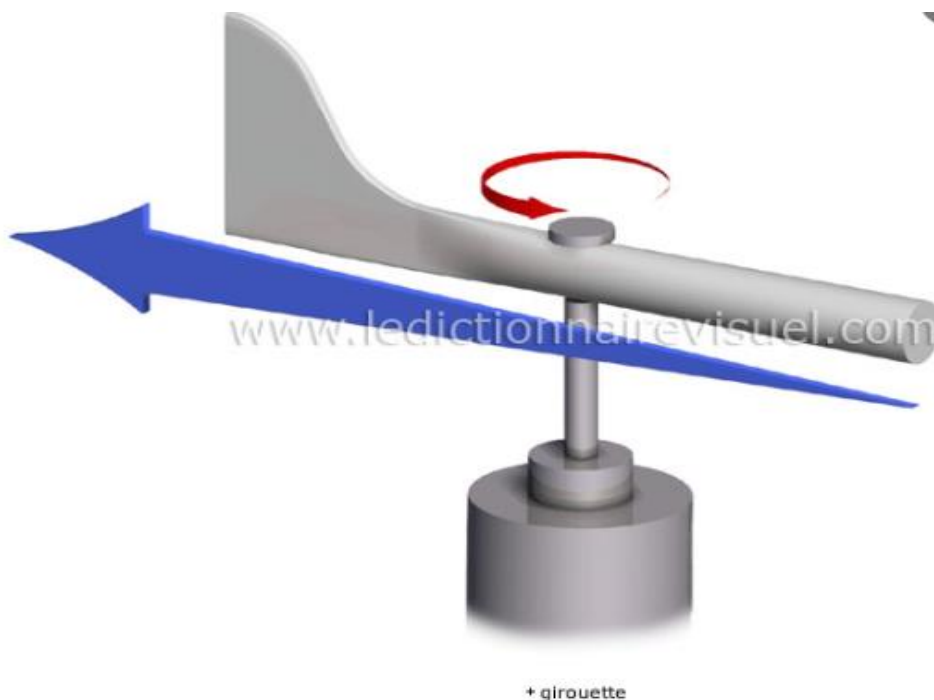


### **I. La fréquence des flux d'harmattan en termes de direction**

Cette présente étude vise à faire une évaluation de la fréquence de l'harmattan en termes de direction et ses interactions avec les autres flux d'air présents au niveau de la zone. Ainsi des paramètres telles que la fréquence des flux d'air, les dynamiques éoliennes, la pression seront interrogées.

Le comportement des masses d'air chaud du nord est étroitement lié à la saisonnalité de la zone et aux fluctuations des paramètres du climat, causées en partie par le changement climatique. La situation géographique de la station de Saint-Louis qui favorise la présence du flux maritime participe étroitement à l'orientation et l'intensité de la vitesse des vents en général et des flux d'Harmattan en particulier le long de la saison, quant à la station de Podor, elle est située à l'intérieur du continent ce qui caractérise l'orientation des flux présents et elle est plus exposée aux effets des flux d'Harmattan.

**Photo 2 :** *Instrument de mesure de la direction du vent (la girouette)*



## 1. Pour la station de Saint Louis

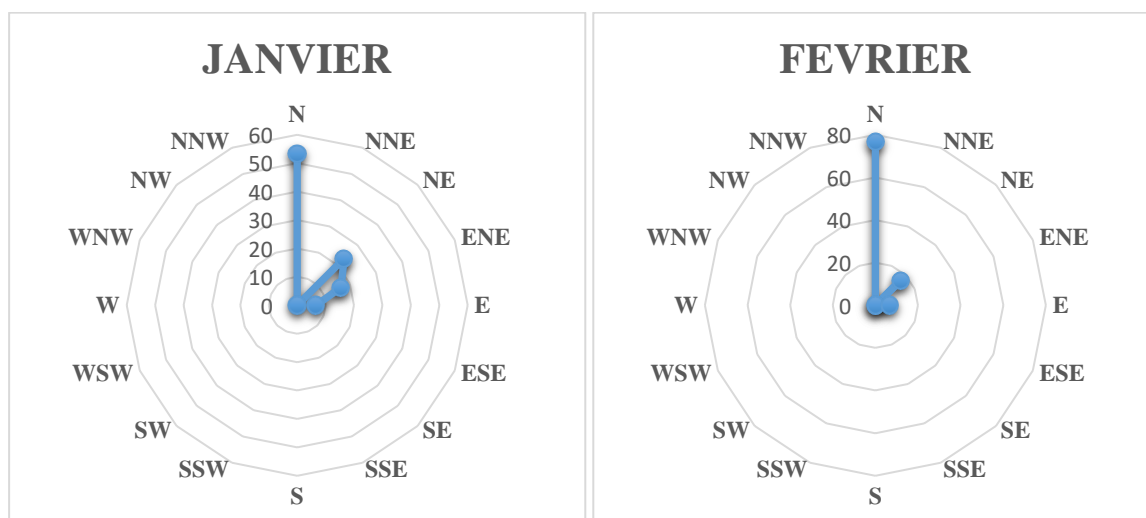
**Tableau 4 :** fréquences des vents de 1991 à 2020 à la station de Saint-Louis

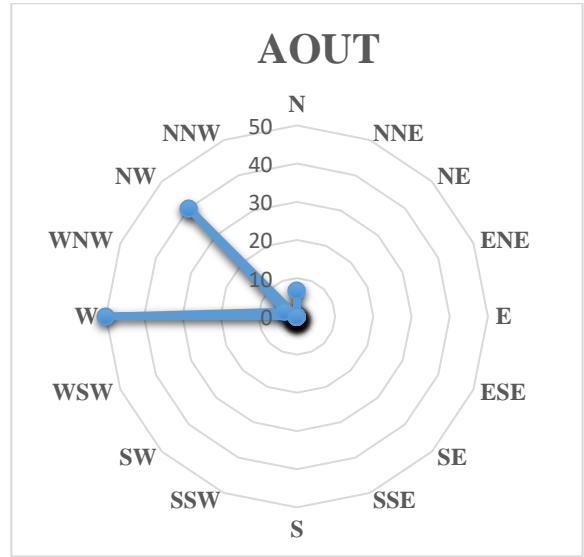
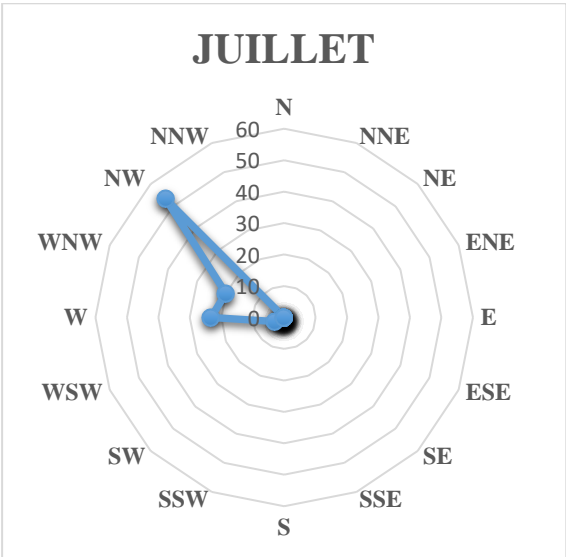
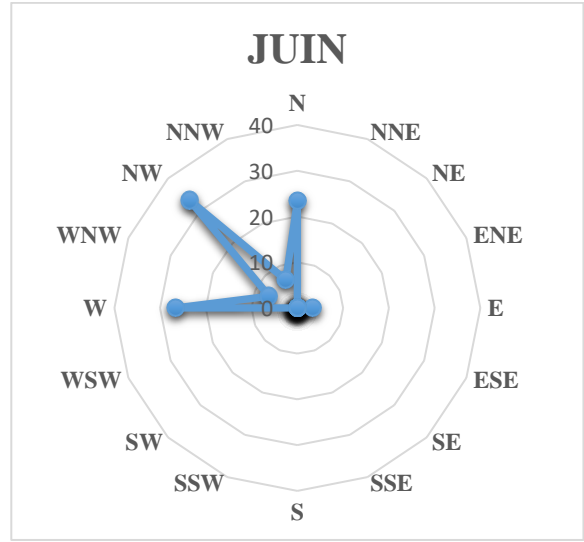
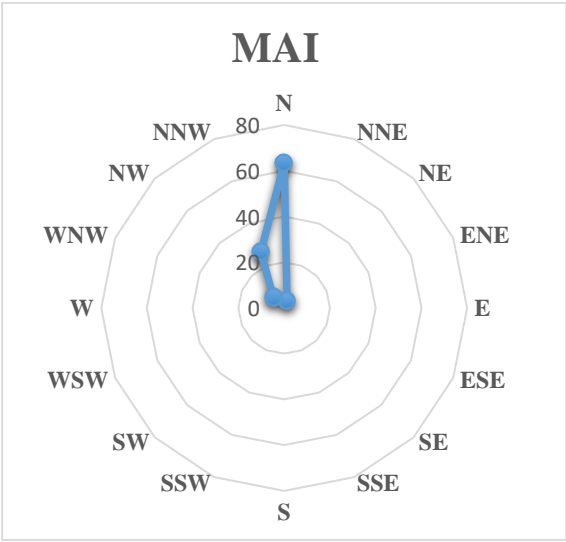
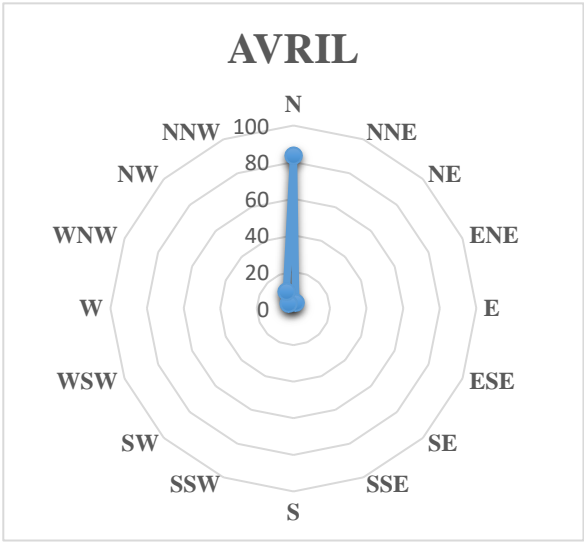
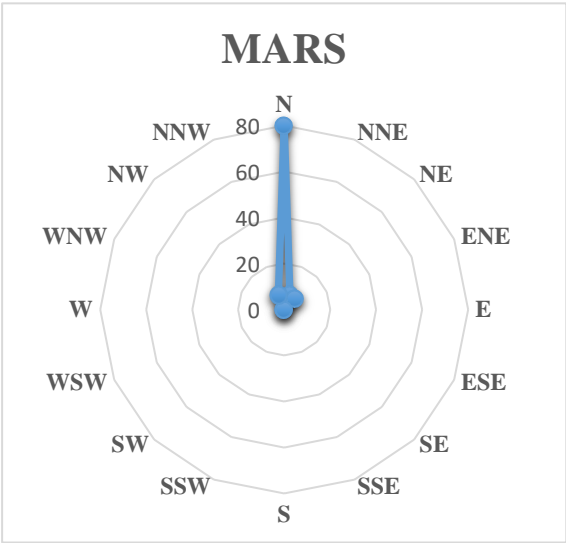
Mois	Jan.	fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc	Total
N	16	23	24	25	19	07		02	03	21	20	12	172
NNE			02	01	01					01		02	07
NE	07	05	02								04	10	28
ENE	05										02	03	10
E	02	02				01					02	03	10
ESE													00
SE													00
SSE													00
S													00
SSW													00
SW													00
WSW							01		01				02
W						08	07	15	06	01			37
WNW						02	06	01	02				11
NW				01	02	10	16	12	15	02			58
NNW			02	03	08	02			03	05	02		25

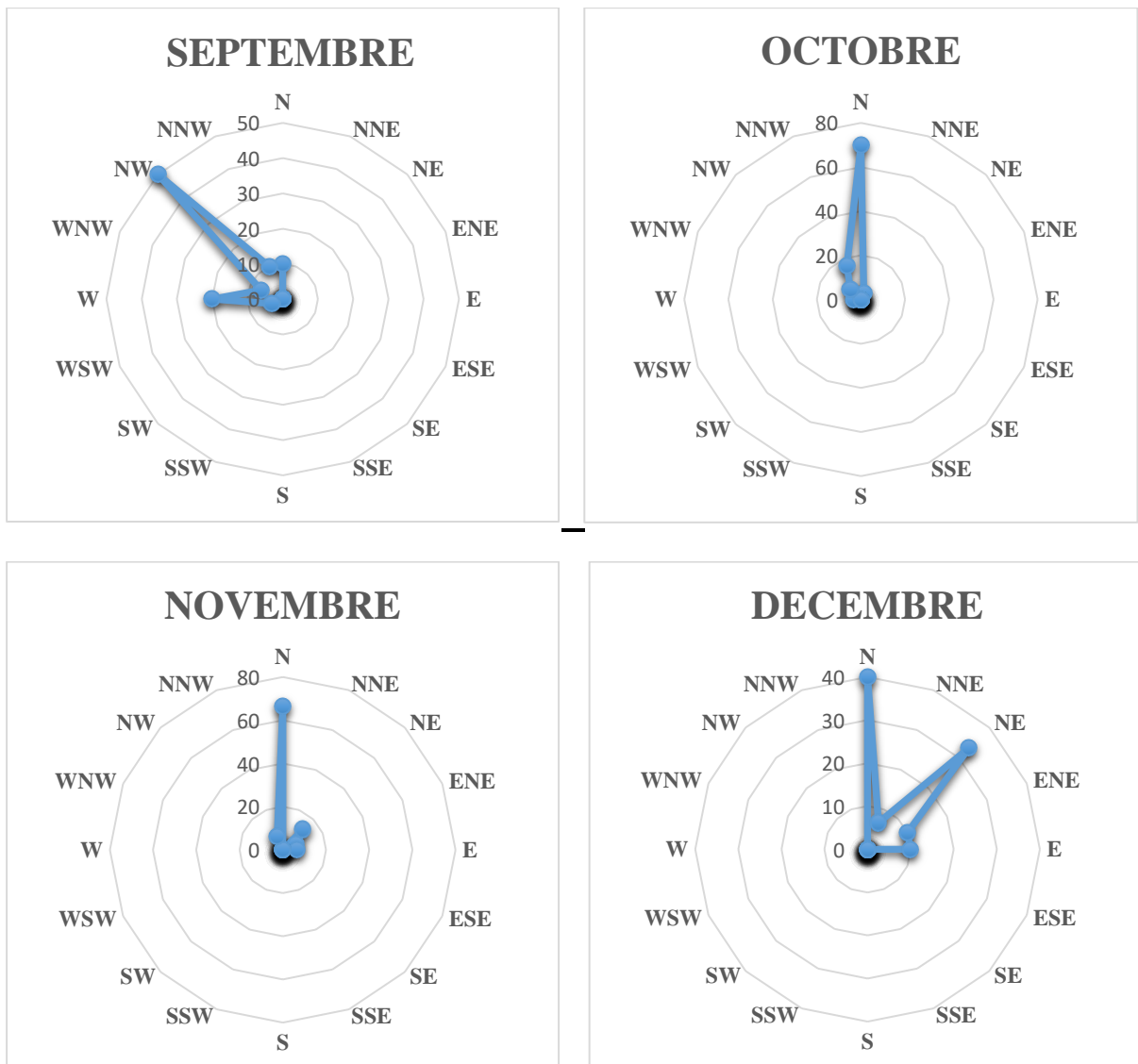
**Source :** ANACIM 2022

Le tableau 4 nous permet de constater que durant la période de 1991 à 2020, l'extrême nord du territoire notamment la station de Saint-Louis est balayée avec un pourcentage considérable par les vents du Nord, du Nord-Ouest et d'Ouest qui correspondent généralement l'Alizé maritime.

L'évolution de la fréquence des flux d'Harmattan en termes de direction à la station de Saint-Louis est étudiée et interprétée à partir des roses des vents mensuels de la série de 1991 à 2020 ci-après :







**Figure 1 :** Directions moyennes des vents de 1991 à 2020 à la station de Saint-Louis

**Interprétation :**

La physionomie des orientations éoliennes est souvent soumise à une intensification des vents avec notamment les limites de vitesses selon la période donnée.

Ainsi, l'harmattan constitue un agent morpho-dynamique très important pour façonner le paysage de l'extrême nord du territoire particulièrement au centre, son passage dans la zone côtière est atténué par les vents marins humides, très actifs au niveau de cette zone (DIENG, 1997). Les roses des vents de la série de 1991 à 2020 montrent trois types de vent durant toute l'année au niveau de la station Saint-Louis :

- Les flux d'air chaud (Harmattan) avec une orientation E, NE, N qui soufflent de façon relativement rare durant les mois de Novembre jusqu'en Avril. (Voir figures 1)

- Les vents marins ou Alizé maritime avec une orientation W, NW, N plus fréquent durant les mois de Mai jusqu'en Aout. (Voir figures 1)
- Le troisième flux est peu fréquent et est d'origine WSW, c'est un flux qui accompagne un potentiel pluviométrique. Appelé aussi Mousson, il souffle durant le mois d'Aout jusqu'en Octobre (Voir figures 1). Il est séparé des deux autres flux d'air par une ligne météorologique appelée Front Intertropical (FIT).

L'harmattan souffle une bonne partie de l'année dans l'extrême nord du pays (6 mois sur 12) ce qui confère à cette zone un paysage steppique herbacé mais la brume sèche des flux d'harmattan et ses orientations sont déviés au niveau de la cote notamment la station de Saint-Louis par l'alizé maritime qui balaye considérablement la zone. La pression est nettement plus forte au niveau de cette station à cause de la rencontre des flux continentaux et océaniques.

## **2. Pour la station de Podor**

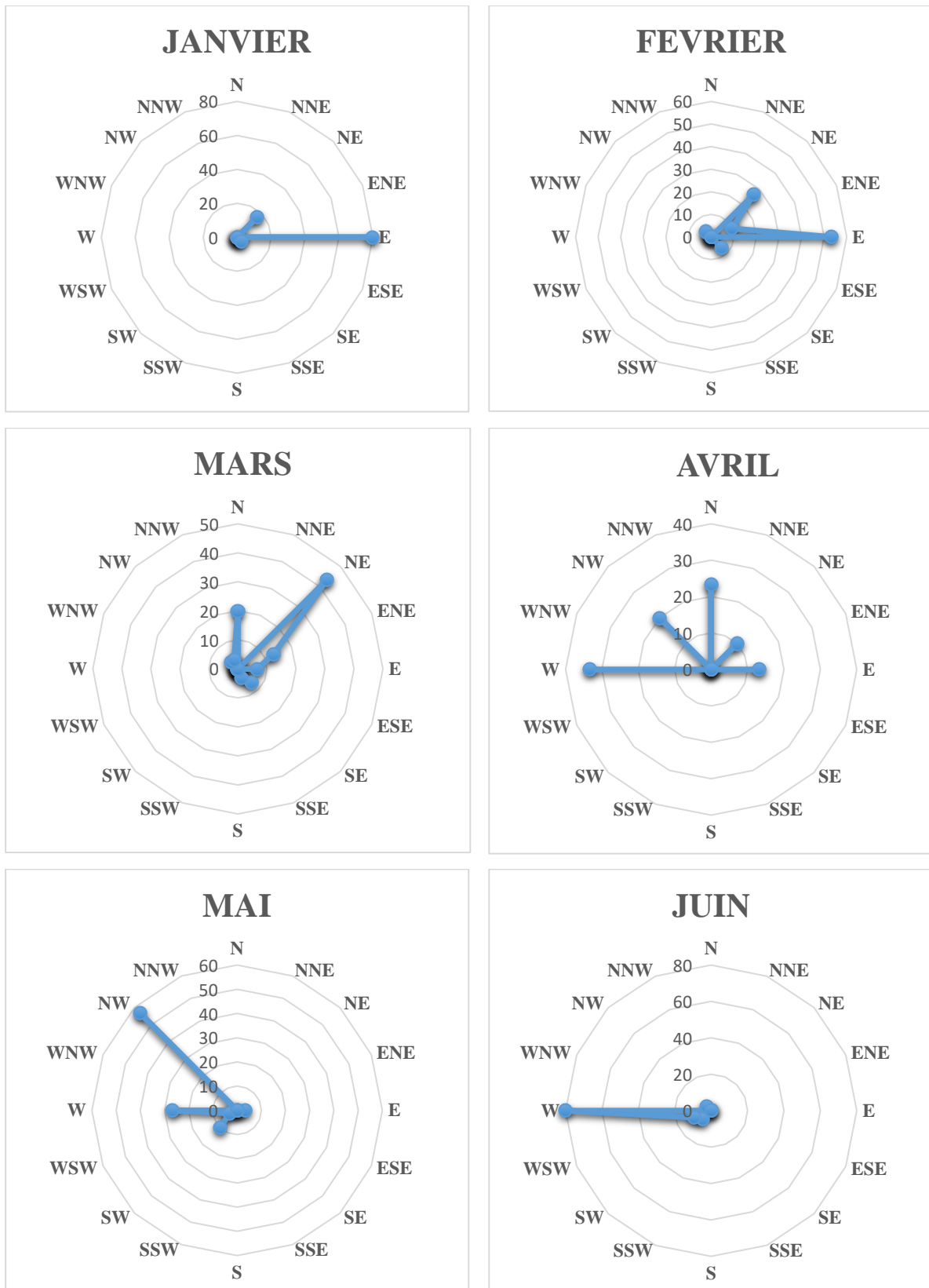
**Tableau 5 : fréquences des vents de 1991 à 2020 à la station de Podor**

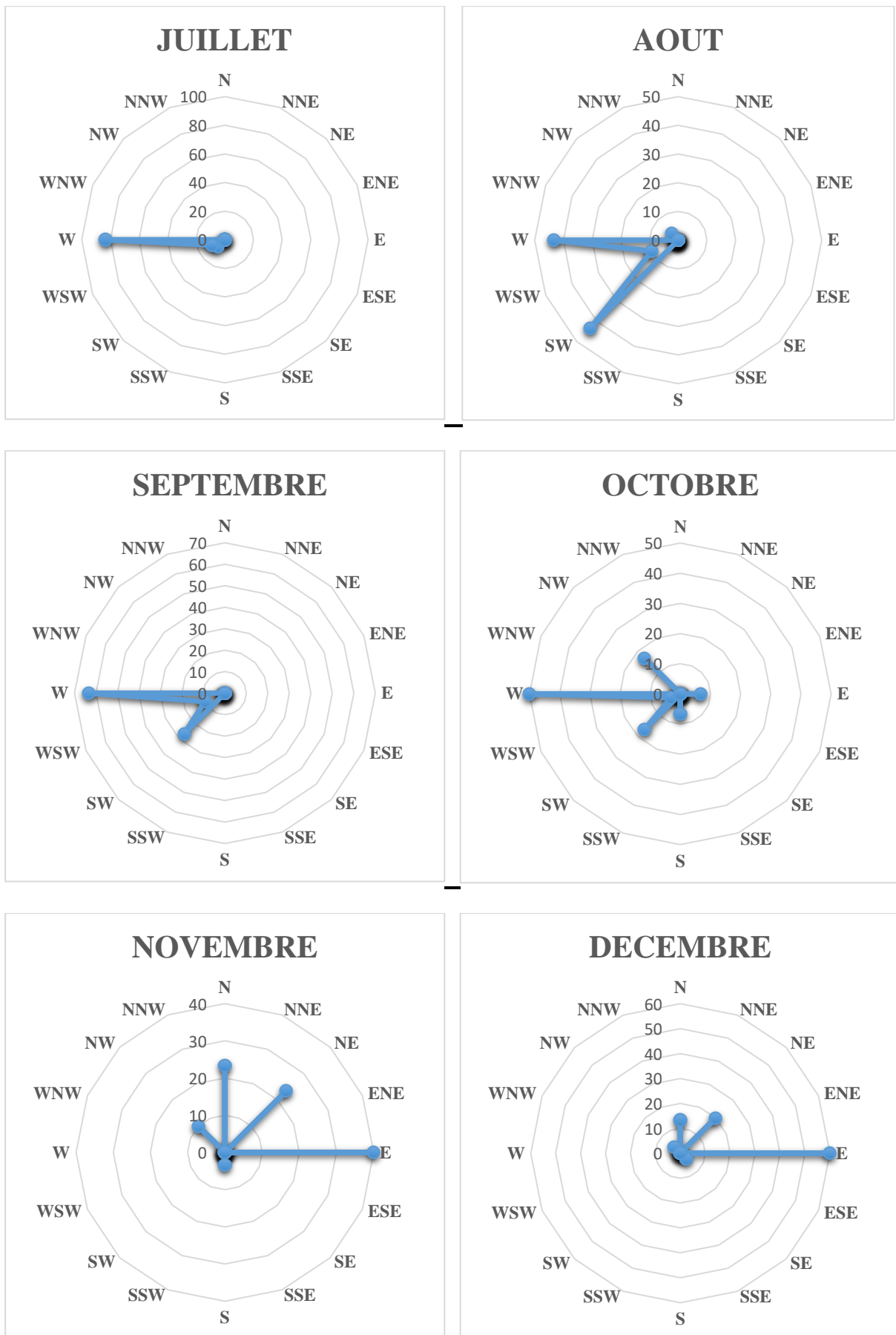
Mois	Jan.	fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc	Total
N			06	07							07	04	24
NNE													00
NE	05	08	13	03							07	06	42
ENE		03	04										07
E	24	16	02	04	01					02	12	18	79
ESE													00
SE	01	02	02									01	06
SSE			01										01
S										02	01		03
SSW													00
SW					03	02	02	13	08	05			33
WSW					01	03	03	03	03	01			14
W				10	08	24	25	13	19	15			114
WNW													00
NW		01	01	06	17	01		01		05	03	01	36
NNW			01										01

**Source : ANACIM 2022**

Contrairement à ce que l'on a constaté à la station de Saint-Louis, la fréquence des vents est dominée durant la même période à la station de Podor par le secteur Ouest (circulation durant l'hivernage) avec un pourcentage non négligeable suivi du secteur Est qui caractérise la présence des flux d'Harmattan. Le secteur Sud, Sud-Est présente une faible fréquence au niveau de cette zone.

L'évolution de la fréquence des flux d'Harmattan en termes de direction à la station de Podor est étudiée et interprétée à partir des roses des vents mensuels de la série de 1991 à 2020 ci-après :





**Figure 2 :** Directions moyennes des vents de 1991 à 2020 à la station de Podor

### **Interprétation :**

Le constat fait à la station de Podor à partir des roses des vents de 1991 à 2020 nous montre que la station est dominée par les vents du secteur Nord à Est et les vents d'Ouest. Un constat qui est en nette opposition avec ce qu'on a remarqué dans la partie Nord-Ouest (Saint-Louis).

Les vents du Nord à l'Est représentent l'harmattan qui souffle durant la saison sèche notamment du mois de Novembre au mois de Mai (voir figures 2). Quant aux vents du secteur Ouest et Sud-Ouest, ils représentent la Mousson qui accompagne un potentiel pluviométrique et souffle généralement durant l'hivernage. Le rhumb Nord-Est autrement dit les flux d'Harmattan est plus fréquent avec un pourcentage remarquable par rapport aux autres flux.

Les roses des vents de la série de 1991 à 2020 montrent généralement par opposition à la station de Saint-Louis deux types de vent durant toute l'année à Podor :

- Le rhumb Nord à Est correspondant à l'harmattan, souffle une grande partie de l'année avec des températures plus ou moins chaudes, la présence récurrente de l'harmattan explique la continentalité de la station (voir figures 2),
- Les flux d'Ouest (W, WSW, SW...) correspondent à la mousson qui est relativement présent à la station de Podor durant la saison pluvieuse (voir figures 2)

Le caractère de la fréquence de l'harmattan dans l'extrême nord du territoire constitue un facteur très important à la présentation paysagère et aux dynamiques climatiques notamment dans le secteur continental où son impact est plus ressenti par rapport à la partie côtière dominée par les flux d'air maritimes.

### **La circulation journalière au cours de l'année :**

En ce qui concerne la circulation journalière, on constate généralement qu'à la fin de l'hivernage (**Octobre, Novembre**) le recul des flux de la Mousson permet une circulation Nord-Nord-Ouest et Nord durant la nuit à la station de Saint-Louis et pendant le jour ces vents sont remplacés par les vents du Nord-Est, en effet les vents du Nord dominant pratiquement toute la journée. A la station de Podor, le vent du Nord associé au vent du Nord-Est s'étale la nuit et sont remplacés le matin par le vent d'Est (Harmattan) qui balaye la zone toute la journée. Par opposition à la station de Saint-Louis, l'harmattan domine la circulation à la station de Podor.

Au mois de **Décembre**, à la partie Ouest (Saint-Louis), les vents du Nord dominant la circulation du jour et les vents du Nord-Nord-Ouest et du Nord glissent et subsistent la



circulation nocturne. Au centre (Podor), l'orientation de la circulation reste sur le même dynamique qu'en Octobre et Novembre.

En **Janvier**, l'orientation de la circulation est généralement du secteur Nord à Est, avec une prédominance des vents du Nord l'après-midi et les vents du nord-Est et d'Est soufflent la nuit et le matin à la station de Saint-Louis. A la station de Podor, le vent d'Est (Harmattan) souffle quasiment le jour et la nuit avec quelques incursions du secteur Sud-Est.

En **Février**, à la station côtière (Saint-Louis), la circulation se maintient autour de deux directions principales (rhumbs Nord à Est) avec une prédominance du secteur Nord qui est légèrement balayé par les vents du Nord-Nord-Est et Nord-Est. Au centre (Podor) les orientations maintiennent la même dynamique qu'au mois de Janvier.

A partir du mois de **Mars**, à la station de Podor, on note une nouvelle déviation des orientations vers le Nord renforçant ainsi la fréquence des vents du Nord-Est et du Nord de midi jusqu'à minuit, le vent d'Est continue de souffler mais avec une fréquence assez réduite par rapport aux mois précédents. On note également la présence pour la première fois de l'année le vent du secteur Nord-Nord-Ouest au niveau des deux stations entre midi et minuit avec une fréquence assez importante. Le secteur Nord-Nord-Est avec un caractère transitionnel disparaîtra à nouveau en Avril permettant aux vents du secteur Nord-Ouest de souffler. A la station de Saint-Louis, l'orientation est toujours du secteur Nord avec une fréquence plus élevée.

En **Avril**, le vent du secteur Nord-Ouest et d'Ouest envahit à leur tour la station de Podor, la fréquence des flux au cours de la journée est concentrée sur le secteur Nord, le vent Nord-Est souffle la nuit et le vent d'Est balaye légèrement la matinée. Pendant ce période, l'essentiel de la circulation est situé du secteur Nord à l'Ouest. A la station Saint-Louis, malgré la présence des vents du Nord, le secteur Ouest balaye également la zone.

En **Mai**, la dynamique éolienne maintient le glissement vers le secteur Ouest à la station de Saint-Louis, les vents du secteur Nord-Nord-Ouest et Nord-Ouest augmentent également leurs fréquences et malgré une fréquence et une intensité assez élevée, le vent du Nord commence à s'affaiblir. A Podor, le vent d'Est (Harmattan) se retire pour laisser place aux vents du Nord-Ouest et Ouest qui souffle tout au cours de la journée et le secteur Sud-Ouest balaye durant la nuit.

Au mois de **Juin**, la majorité des observations est contrôlée par le secteur Ouest à la station de Podor, ainsi la situation de haute saison s'installe et le secteur Sud-ouest se renforce. A la station

de Saint-Louis, le secteur Nord cède la circulation à l'orientation Nord-Ouest. Le vent d'Ouest souffle aussi avec une fréquence non négligeable.

L'orientation de la circulation au mois de **Juillet** est quasi-similaire au mois de Juin à la station de Podor. A la station Ouest (Saint-Louis), le secteur Nord réduit son intensité et ne se manifeste que par quelques incursions. Ainsi, la plus grande partie de la circulation souffle sur le secteur Nord-Ouest à Ouest avec plus de la moitié des observations pour le secteur Nord-Ouest.

Le dynamique de la circulation Nord-Ouest à Ouest noté précédemment se poursuit en **Aout** à la station de Saint-Louis cependant, la majorité des fréquences change de secteur. La moitié des observations est enregistrée à l'Ouest et les faibles incursions du secteur Nord se maintiennent. A la station de Podor, les vents soufflent généralement d'un seul secteur étalé sur 45° de l'Ouest au Sud-Ouest.

A partir du mois de **Septembre**, on note des changements considérables à la station de Saint-Louis, le secteur Nord réapparaît et souffle tout au cours de la journée. La rotation notée depuis le mois de Mars prend une autre tournure avec le retrait continu des vents d'Ouest au profit de ceux du Nord-Ouest. A la station de Podor, la situation notée au mois de Juin refait surface, le secteur Ouest répartit la majorité des observations.

## **II. La fréquence des flux d'harmattan en termes de vitesse**

L'étude de la vitesse du vent associée à la température engendre une très grande importance en climatologie. Elle permet ainsi de calculer l'indice de refroidissement, la formation des nuages relative à l'ascension de l'air en surface même si ceci interroge parallèlement d'autres paramètres climatiques. Il est important de noter que plus le vent est chaud plus il est léger et plus son ascension est importante. La vitesse du vent est mesurée avec un anémomètre mais l'estimation peut être faite à travers une manche à air. L'harmattan est ainsi contrôlé par le gradient de pression qui existe entre le Heat Low et les anticyclones Libyen et des Açores (SULTAN et JANICOT, 2003).

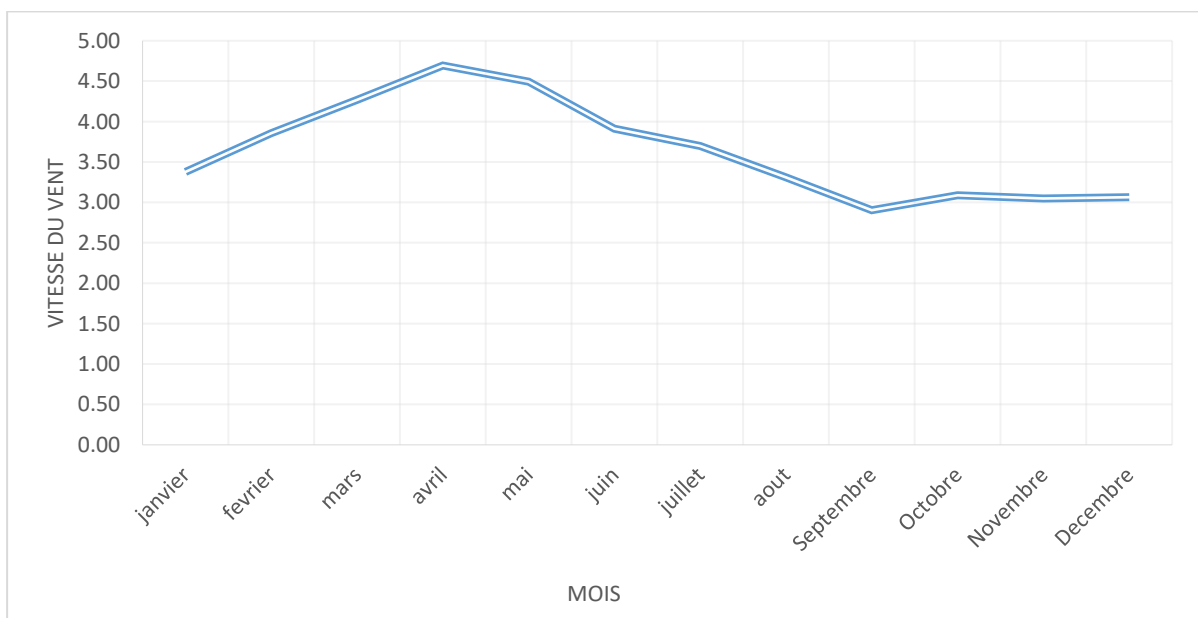
**Photo 3** : Appareil de mesure de la vitesse du vent : l'anémomètre



Anémomètre WS 2800

### **1. Pour la station de Saint Louis**

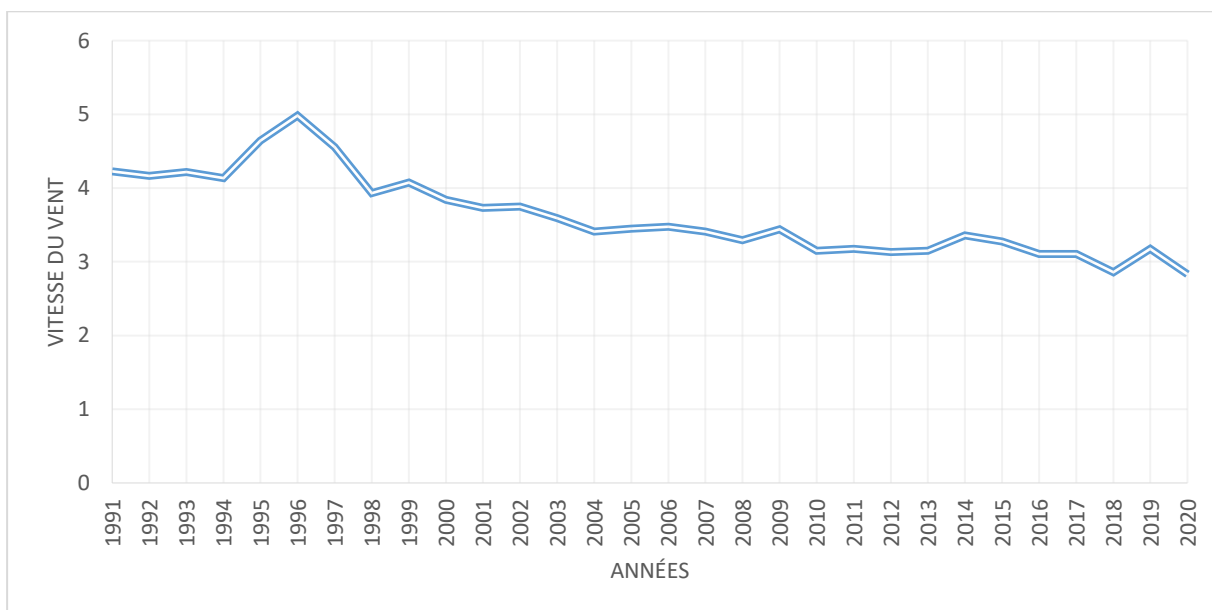
L'évolution de la fréquence de l'harmattan en termes de vitesse à la station de Saint-Louis est étudiée à partir de la courbe de vitesse moyenne mensuelle et de la courbe de vitesse moyenne annuelle ci-dessous :



**Figure 3** : Courbe de l'évolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent en m/s à la station de Saint-Louis

La courbe de la vitesse moyenne mensuelle des vents à la station de Saint-Louis permet de dégager trois tendances au cours de l'année. On constate une augmentation considérable de la vitesse des vents du mois de Janvier au mois d'Avril dépassant les 4,5 m/s. elle se régresse ensuite progressivement d'Avril à Septembre pour enfin rester plus ou moins constante jusqu'à la fin de l'année avec environ des vitesses avoisinant les 3 m/s. Les vitesses les plus faibles sont notées durant la saison des pluies et à l'opposée, les vitesses éoliennes sont plus importantes en saison sèche avec notamment un pic au mois d'avril. L'importance de la vitesse des vents au niveau de cette zone s'explique par les interactions qui existent entre les flux d'air marins et ceux continentaux qui s'exercent et se superposent sur une longue durée.

L'Harmatan qui souffle pendant cette période de hautes vitesses est souvent intercepté par l'Alizé maritime venant de l'Ouest et c'est d'ailleurs cette interception qui est à l'origine cette vitesse importante au niveau de la zone, à cela s'ajoute, pendant la saison pluvieuse la Mousson balaye périodiquement la zone en poussant le front intertropical plus vers le secteur boréal. Les effets de la vitesse de l'Harmatan ne sont pas très déterminants du fait que ce flux d'Ouest (l'Alizé maritime) domine largement la zone, la situation géographique joue alors un rôle très important à l'évolution de la fréquence de l'Harmatan en termes de vitesse de cette zone.

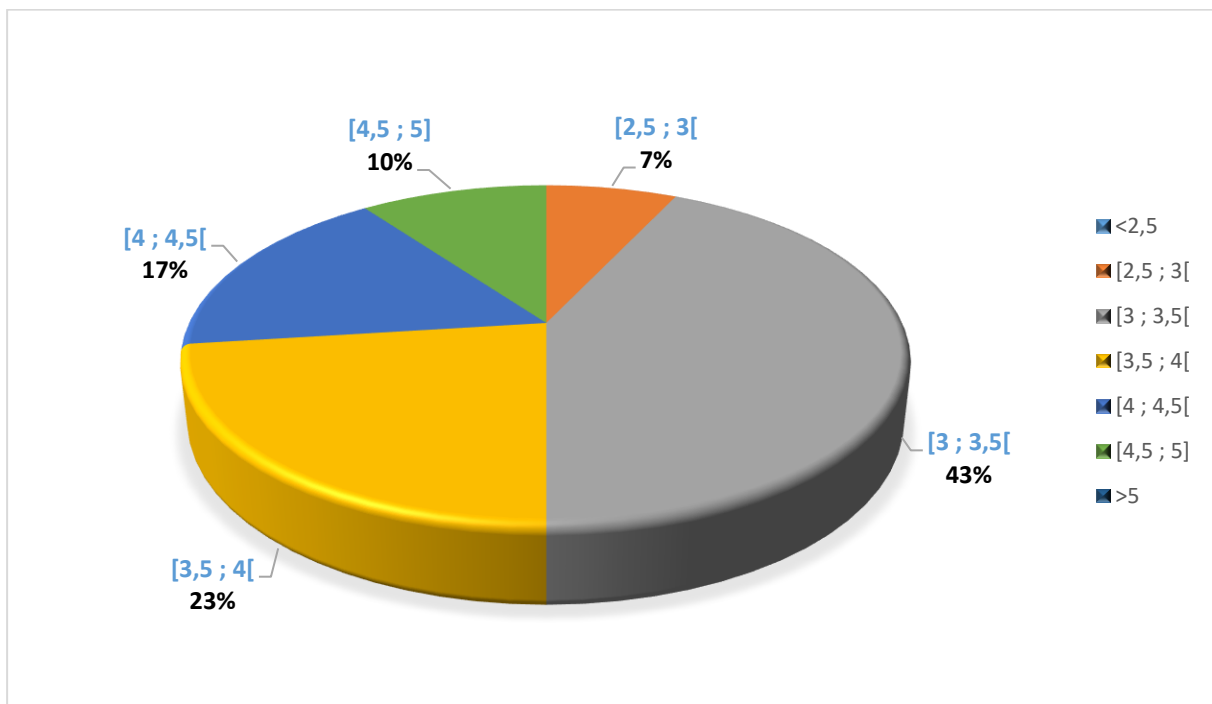


**Figure 4 :** Courbe de l'évolution de la vitesse moyenne annuelle du vent en m/s à la station de Saint-Louis

Sur une série de trente ans (de 1991 à 2020), la tendance de la vitesse des vents à la station de Saint-Louis reste généralement régressive avec des valeurs moyennes de 4 à 3 m/s. Le résultat de la figure des moyennes annuelles de la vitesse des vents démontre une rupture à partir de 1994. La période de 1994 à 1996 a connu une augmentation de vitesse très importante

avoisinant les 5 m/s pour ensuite redescendre à la tendance régulière jusqu'en 1998. A partir de là, la tendance diminue progressivement avec quelques légères fluctuations de la vitesse notées en 2008 et en 2013 avant d'atteindre les 2,90 m/s environ en 2020. Cette décélération de la vitesse du vent s'accompagne d'un renforcement de la pression atmosphérique au niveau de la côte ouest.

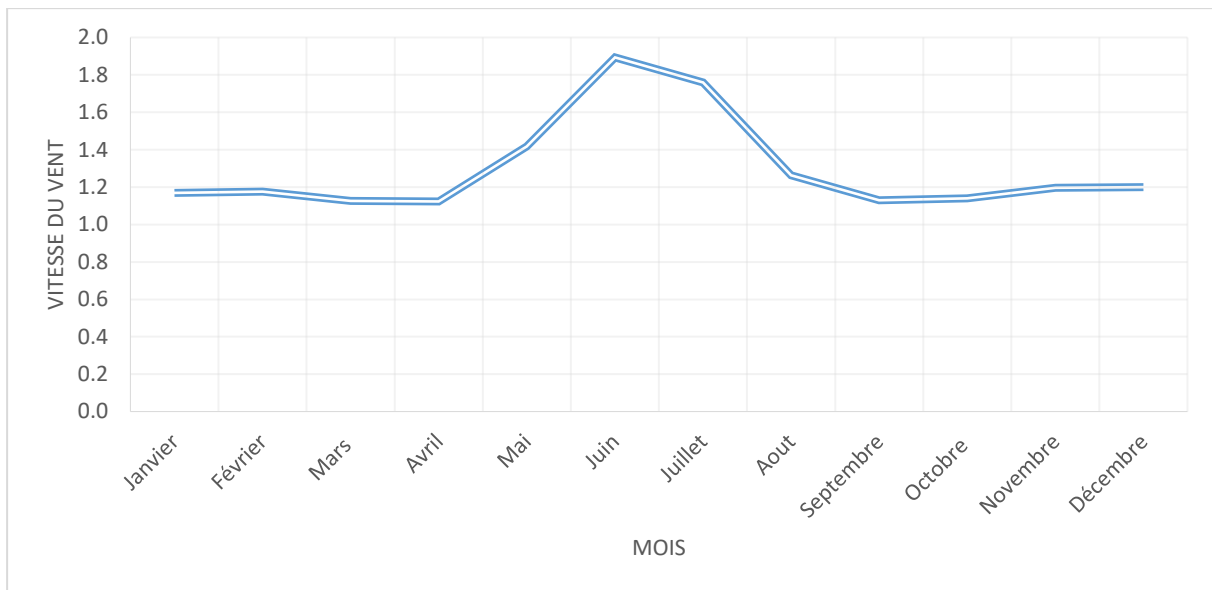
Il est important aussi de noter que la variabilité de l'intensité de la vitesse de l'harmattan est en partie liée à la circulation cyclonique au niveau du Sahara. Ainsi, l'intensification de la vitesse du vent notée durant les années 1994, 1995, 1996 est relativement liée au dérèglement climatique qui constitue une aubaine à la circulation cyclonique au niveau du désert d'où la provenance de l'harmattan. Ce phénomène cause ainsi des fluctuations éoliennes qui auront un impact direct sur l'évolution et l'intensité des flux d'Est au niveau de la station de Saint-Louis. Il faut ainsi noter que les 3 à 3,5 m/s domine la zone le long de la série avec près de la moitié (43%) des fréquences de la vitesse des vents à Saint-Louis.



**Figure 5 :** Diagramme circulaire des fréquences de la vitesse moyenne annuelle des vents à la station de Saint-Louis

## **2. Pour la station de Podor**

L'évolution de la fréquence de l'harmattan en termes de vitesse à la station de Podor est étudiée à partir de la courbe de vitesse moyenne mensuelle et de la courbe de vitesse moyenne annuelle ci-dessous :

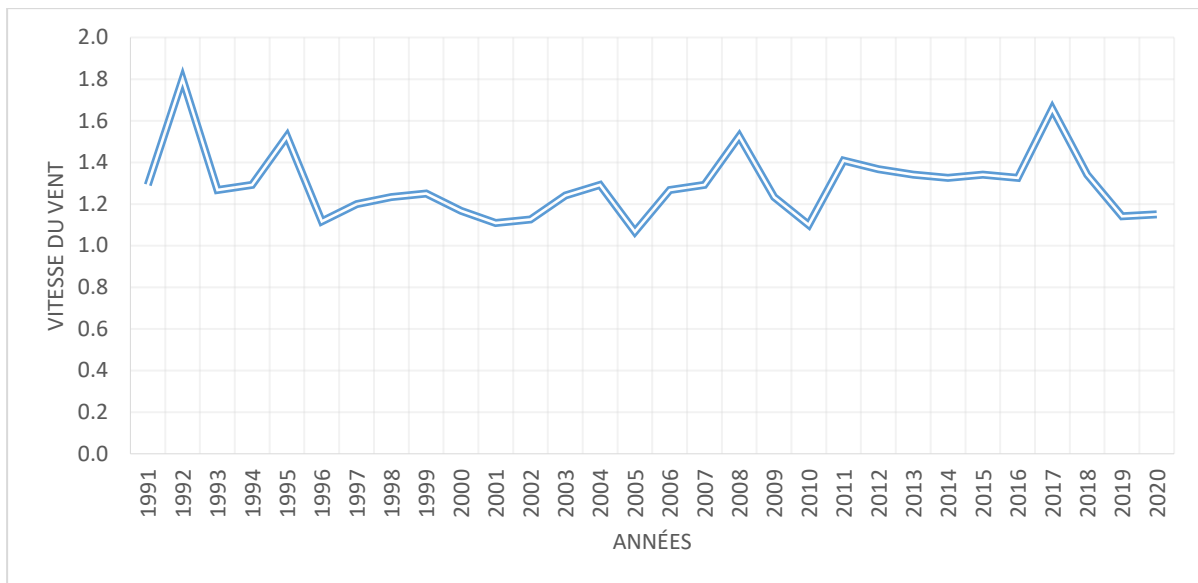


**Figure 6 :** Courbe de l'évolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent en m/s à la station de Podor

La courbe de la vitesse mensuelle des vents à la station de Podor dégage un constat quasiment opposé à la tendance constatée à la station de Saint-Louis en termes d'intensité de vitesse mais aussi en termes d'évolution au cours de l'année. La valeur minimale notée à l'Ouest est nettement supérieure à la valeur maximale notée au centre autrement dit à la station de Podor.

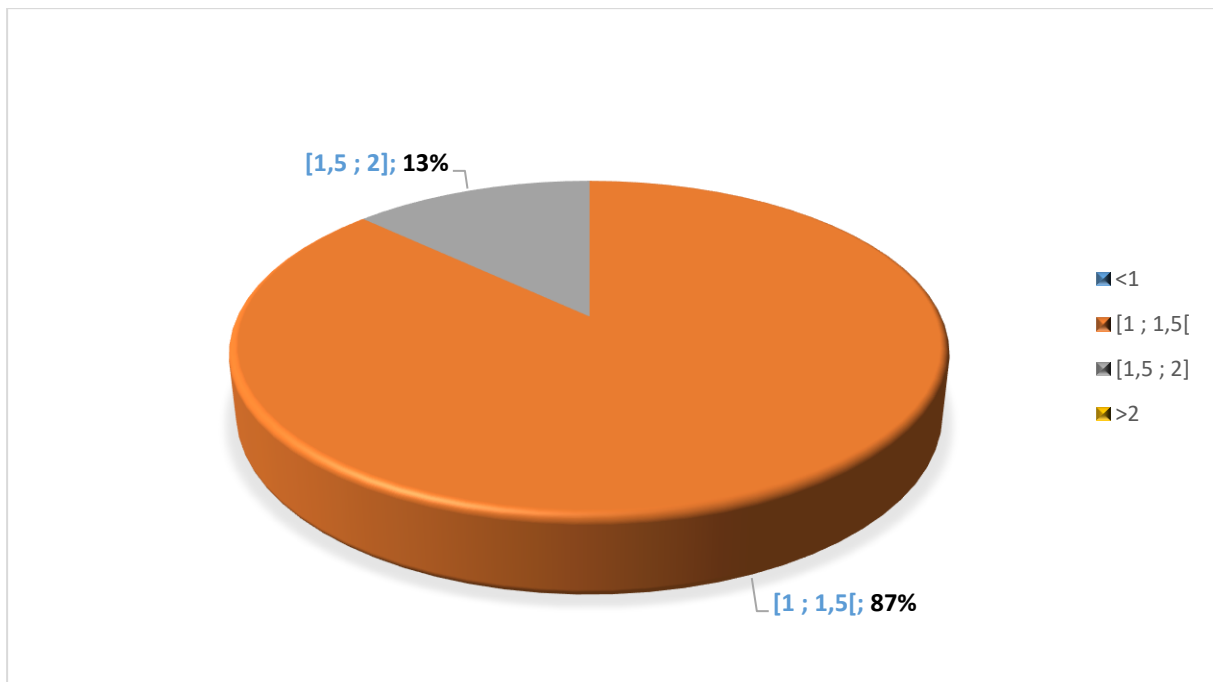
Contrairement à la zone côtière, l'intensité des vents dépasse rarement les 1,80 m/s à la station de Podor. La vitesse des vents est plus importante du mois d'Avril au mois de Juillet avec un pic au mois de Juin, cela s'explique par le passage périodique des flux de Mousson d'où l'intensité de la vitesse est plus élevée. Les causes de la hausse de la vitesse des vents peuvent aussi être dues aux perturbations des masses d'air étroitement liées à l'accroissement urbain et à la végétation ce qui n'est pas très influents à la station de Podor dont la végétation et l'urbanisation n'est pas assez dense.

En ce qui concerne l'harmattan, il souffle durant la saison sèche (de Novembre en Avril) et sa vitesse est moins importante avec des valeurs qui avoisinent les 1,20 m/s. Cette faible intensité peut être expliquée en partie par l'absence de la lutte acharnée entre les masses d'air océaniques et celles continentales remarquée à la zone côtière mais aussi par sa composition sèche et importante en lithométéores rendant son paysage steppique, ici l'harmattan domine la zone une bonne partie de l'année. Cette prédominance des flux d'Harmattan explique aussi le caractère paisible des vents en termes d'intensité. Le cycle de règne successif entre l'harmattan et la Mousson explique une absence de repoussement entre deux masses d'air qui est favorable à la hausse de la vitesse du vent, un phénomène remarquable à la zone côtière.



**Figure 7 :** Courbe de l'évolution de la vitesse moyenne annuelle du vent en m/s à la station de Podor

La courbe de la vitesse moyenne annuelle des vents dégage une évolution en dents de Cie de 1991 à 2020 à la station de Podor. L'année 1992 constitue l'année le plus venteux de la série avec une moyenne annuelle de 1,80 m/s tandis que l'année 2005 a enregistré la plus intensité de vitesse avec une valeur avoisinant les 1,10 m/s, l'année 2017 a aussi été non négligeable avec une valeur de 1,70 m/s après une régularité sur les 1,40 à 1,30 m/s de 2001 à 2016. La tendance décroît ensuite jusqu'au environ de 1,20 m/s en 2020. Comparer à la station de Saint-Louis, l'évolution de la vitesse des vents à la station de Podor de 1991 à 2020 est nettement plus irrégulière et fluctuer mais aussi moins intense (la valeur maximale au centre est inférieure à la valeur minimale à l'Ouest) tout au long de la série (1991 à 2020). L'évolution de la vitesse des vents est comprise en moyenne entre 1 à 2 m/s (particulièrement entre 1 et 1,5 m/s avec un pourcentage de 87%) avec une irrégularité très remarquée.



**Figure 8 :** Diagramme circulaire des fréquences de la vitesse moyenne annuelle des vents à la station de Podor

### **Conclusion partielle**

Les analyses ci-dessus montrent que les flux d'harmattan évoluent généralement pendant la saison sèche et s'intensifient vers les mois d'Avril, Mai... L'harmattan est ainsi plus fréquent à la station de Podor circulant presque toute la moitié de l'année avec des vitesses environnant les 1 à 2m/s, il souffle suivant une orientation Est, Nord-Est et Nord. Les vents d'Ouest et du Sud-Ouest soufflent durant l'hivernage pour amener un potentiel pluviométrique. Les flux d'harmattan soufflent cependant rarement à la station de Saint-Louis, ils circulent à la période du début de la saison sèche (Novembre, Décembre...) mais ils sont considérablement déviés par les flux de l'alizé maritime frais et humide. Les interactions entre ces flux font grimper la vitesse du vent de cette zone jusqu'aux environs de 4 à 5m/s suivant une orientation Nord, Nord-Est de Novembre à Mars et une orientation Sud-Ouest, Ouest, Nord-Ouest et Nord d'Avril à Octobre.



**CHAPITRE IV :**  
**CORRELATION ENTRE L'EVOLUTION DES**  
**FLUX D'HARMATTAN ET LA HAUSSE DE LA TEMPERATURE**

### **I. Aperçu sur la fréquence de la température au niveau des deux stations**

Le vent est perçu comme étant le moteur de la météorologie provoquant l'alternance entre précipitations et insolation. La transformation de son régime et de sa vitesse peut présenter un danger physico-humain avec notamment les déformations fallacieuses des paysages, l'excitation de la précarité et des facteurs de risque des structures sanitaires. L'augmentation de la chaleur en corrélation avec l'évolution du flux d'Est agit sur les comportements des Êtres vivants au niveau des stations de Saint-Louis et de Podor. Ainsi, la température dégage une tendance irrégulière surtout pendant la saison sèche pour les deux stations. Cette irrégularité se fait remarquée une heure environ après le lever du soleil, période à laquelle la température commence à s'accroître plus ou moins uniformément à la diminution de l'amplitude. La température est ainsi mesurée à l'aide d'un thermomètre.

**Photo 4** : Appareil de mesure de la température, le thermomètre

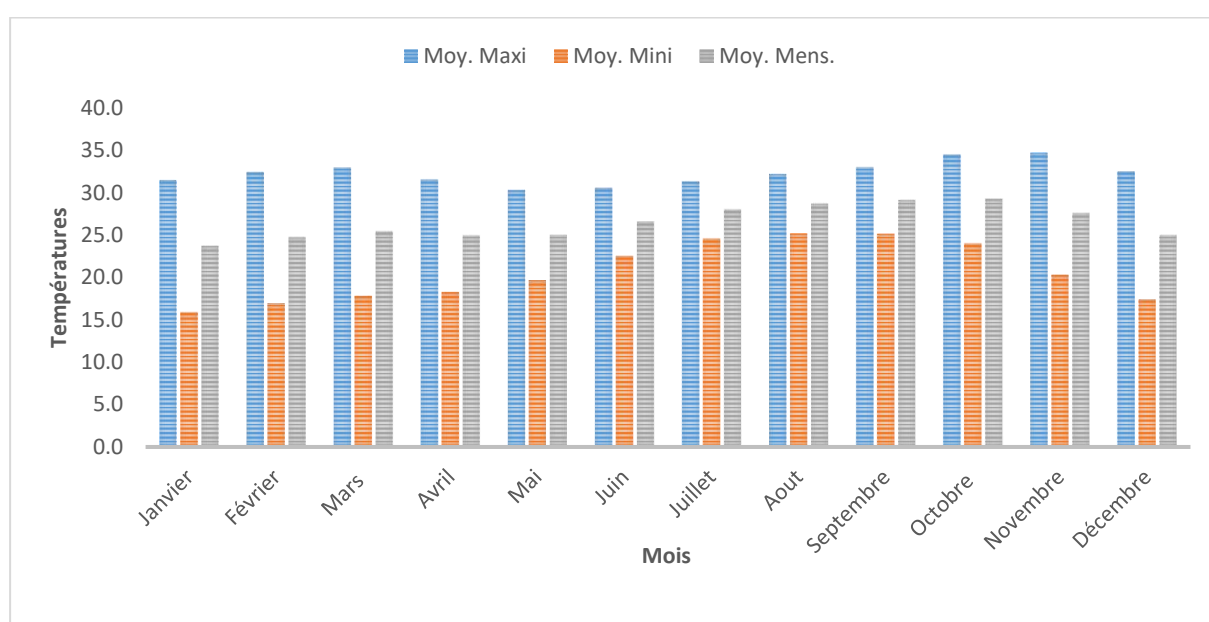


La température moyenne maximale sur la période de 1991 à 2020 oscille entre les mois d'Aout, Septembre au mois de Novembre avec environ 30° en moyenne à la station de Saint-Louis, le maximum des températures maximales est enregistré au mois de Novembre avec 34,7° et le maximum des températures minimales en Aout, Septembre avec 25,5°. Le mois de Mai enregistre le minimum des températures maximales avec 30,3° et le mois de Janvier enregistre le minimum des températures minimales avec 15,9°. La période de Décembre, Janvier jusqu'à Mai constitue alors la période la plus fraîche de l'année à la station de Saint-Louis.

**Tableau 6 : Températures à la station de Saint-Louis de 1991 à 2020**

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
<b>Moyenne Maximale</b>	31,5	32,4	32,9	31,5	30,3	30,5	31,3	32,1	32,9	34,5	34,7	32,5
<b>Moyenne Minimale</b>	15,9	16,9	17,8	18,2	19,7	22,5	24,6	25,2	25,2	24,0	20,3	17,4
<b>Moyenne Mensuelle</b>	23,7	24,7	25,4	24,9	25,0	26,5	27,9	28,7	29,1	29,2	27,5	24,9

**Source : ANACIM 2022**



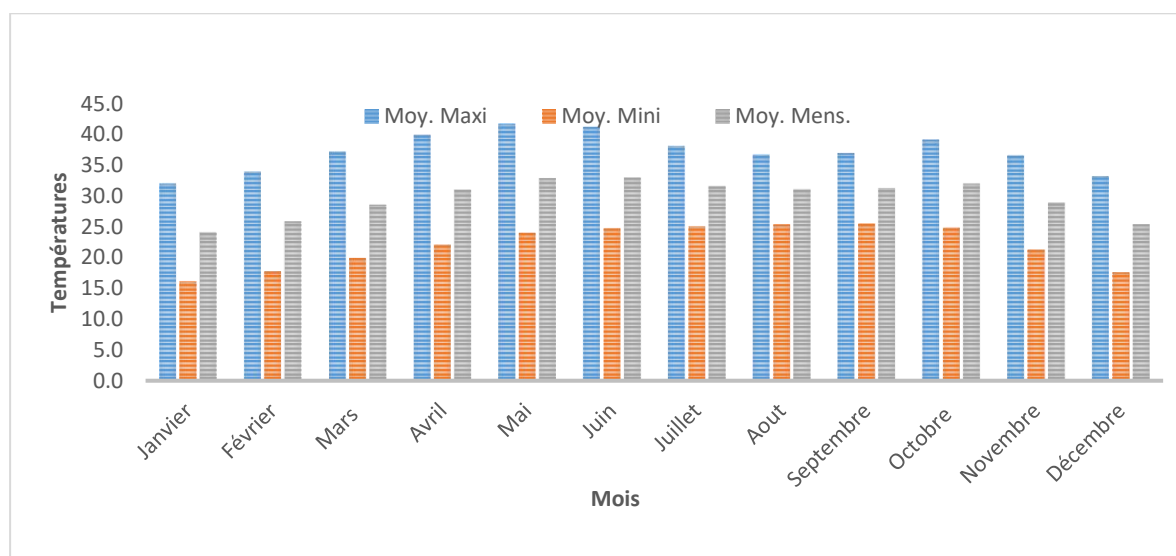
**Figure 9 : Fréquence des moyennes des températures à la station de Saint-Louis**

A la station centre, une tendance différente de celle notée à l’Ouest se dégage. A Podor, la température moyenne maximale oscille entre le mois de Mai et le mois de Septembre avec environ 34° en moyenne. Au centre de l’extrême nord du territoire, le maximum des températures maximales est enregistré au mois de Mai avec 41,7° et le maximum des températures minimales est enregistré au mois de Septembre avec 25,5°. Contrairement au maximum, le minimum à la station de Podor est plus ou moins similaire au minimum à la station de Saint-Louis. Ici, le minimum des températures maximales et minimales est connu au mois de Janvier avec respectivement 32,0° et 16,1°. La période du mois de Décembre à Janvier est alors la période la plus fraîche de l’année au niveau de cette zone.

**Tableau 7 :** Températures à la station de Podor de 1991 à 2020

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
<b>Moyenne Maximale</b>	32,0	33,9	37,2	39,9	41,7	41,2	38,1	36,7	36,9	39,1	36,6	33,2
<b>Moyenne Minimale</b>	16,1	17,8	20,0	22,1	24,0	24,8	25,1	25,4	25,5	24,9	21,3	17,6
<b>Moyenne Mensuelle</b>	24,1	25,9	28,6	31,0	32,9	33,0	31,6	31,0	31,2	32,0	29,0	25,4

**Source :** ANACIM 2022



**Figure 10 :** Fréquence des moyennes des températures à la station de Podor

Le résultat des figures 7 et 8 permet de constater que la hausse de la température est nettement plus ressentie à la station centre qu'à la station Ouest, le maximum des températures maximales à Podor (41,7°) est largement supérieur au maximum des températures maximales à Saint-Louis (34,7°). Cette situation peut être expliquée par la forte présence de l'harmattan au centre, alors qu'à l'Ouest les vagues de chaleur issue du secteur Est sont atténuées par le flux d'air maritime frais et humide.

Au mois de **Décembre**, l'air frais apaise la température nocturne au-dessous de 20° entre 3h et 10h à la station Ouest alors que la température peut s'accroître jusqu'à 25° pendant la journée plus précisément à l'intervalle de 12h et 17h. Au centre, la température diurne se situe entre 27 et 28° mais la hausse de la température peut sentir jusqu'à 34° durant les heures chaudes (12h à 17h).

En **Janvier**, une situation de température ambiante se poursuit, les valeurs supérieures à 25° sont presque totalement disparues pour les deux stations sauf à 14h à Saint-Louis et de 14h à 16h à Podor. Ainsi, à partir de 18h à l'Ouest et à partir de 20h au centre jusqu'à 10h du matin, les nuits sont affectées par les températures inférieures à 20°.

A partir de **la fin de Janvier au début de Février**, la contraction atteint son maximum avec un temps de type océanique à la station de Saint-Louis, la journée presque toute entière dégage une température en dessous de 25° et entre 25 et 27° à la station centre. Cette période constitue l'une des périodes la plus régulières de l'année.

De **la fin Février au mois de Mars**, les températures minimales et maximales reprennent une expansion jusqu'à dépasser la ligne des 25° à Saint-Louis entre 9h et 18h et dépassant même les 30° entre 13h et 16h. A Podor, la température atteint les 35° jusqu'à 37° dès la seconde moitié du mois de Mars.

Malgré un mouvement quasi-similaire au mois précédent, **en Avril**, les nuits deviennent légèrement plus chaudes à Saint-Louis. Quant à Podor, l'ascendance de la température s'intensifie. On enregistre environ 40° durant les heures chaudes de la journée.

C'est **au mois de Mai** que la hausse de la température s'intensifie à la station de Saint-Louis, le thermomètre affiche les 30° presque chaque jour entre 11h et 17h. Au centre, la chaleur se fait sentir durant les premières heures de la journée avec une température minimale atteignant les 25°. Entre 13h et 17h, le thermomètre s'accroît jusqu'à atteindre les 43° ce qui fait de ce mois avec le mois Avril la période la plus chaude de l'année à la station de Podor.

A la station Ouest, le mois de **Juin** voit un accroissement brusque de la chaleur le jour comme la nuit. On enregistre ainsi plus de 30° pratiquement le long de la journée au niveau de cette zone. Contrairement à l'Ouest, on constate au centre une baisse de la température maximale et une réduction des heures les plus chaudes situant ainsi qu'entre 13h et 15h. A l'opposée, la température minimale qui s'annonce souvent au petit matin dépasse les 30°. En termes de moyenne, malgré la baisse des maximums, ce mois est parmi les mois les plus chauds au centre.

A partir du **mois de juillet jusqu'en Novembre**, la température garde son allure ascendante à Saint-Louis, s'étalant progressivement et débordant parfois la ligne des 30°, elle atteint même les 34° en Octobre entre 12h et 17h. Le maximum des températures maximales est enregistré à partir de cette période d'Octobre à Novembre. Il faut noter que durant cette période (Juillet à Octobre), la température minimale ne descend presque plus en dessous de 25°. C'est la période

la plus chaude à l'Ouest de cette partie de l'extrême nord du Sénégal. Au centre, par contre, la température connaît une baisse de Juillet à la fin du mois de Septembre, la température minimale ne dépasse plus la ligne de 25° alors qu'elle atteignait précédemment les 30°. A partir de là, le thermomètre n'affiche plus les 40° aux heures les plus chaudes. C'est à la fin du mois de Septembre que les maximums connaissent une hausse légère et s'accroît jusqu'en Novembre avec des températures avoisinant les 40° aux heures les plus chaudes de la journée. En Novembre, l'influence de la période chaude se fait nettement ressentir au cours de la journée au niveau des deux stations avec notamment un peu moins à la station de Saint-Louis.

En résumé, le constat du cycle annuel complet de la température à l'extrême nord du Sénégal nous montre que la période d'Octobre à Novembre est au point critique à la station de Saint-Louis et le mois de Mai à la station de Podor, ce qui permettra de dégager une double variation annuelle et diurne au niveau de cette zone. Nous observons ainsi une surface avec un maximum de haute saison en mi-journée et un minimum de fin de nuit en saison sèche.

**Tableau 8 :** Fréquence des températures par tranches à la station de Saint-Louis de 1991 à 2020

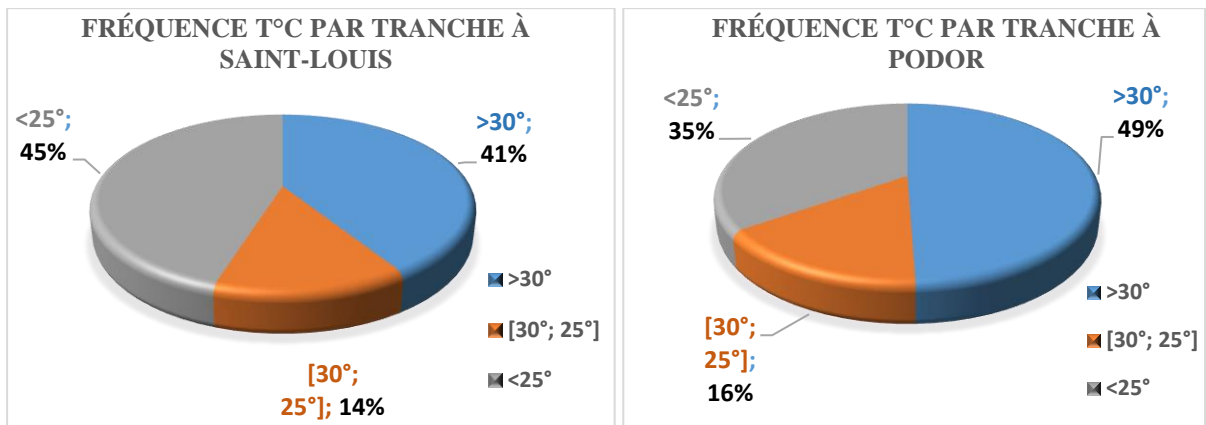
	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
>30°	26	21	22	21	16	19	29	30	30	22	16	28	<b>280</b>
[30°; 25°]	04	05	02	08	13	10	07	23	20	02	00	01	<b>95</b>
<25°	30	30	30	30	30	30	24	07	10	28	30	29	<b>308</b>
													<b>683</b>

**Source :** ANACIM 2022

**Tableau 9 :** Fréquence des températures par tranches à la station de Podor de 1991 à 2020

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
>30°	26	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	<b>356</b>
[30°; 25°]	05	00	00	00	06	12	18	29	28	15	01	00	<b>114</b>
<25°	29	30	30	30	24	18	12	01	02	15	29	30	<b>250</b>
													<b>720</b>

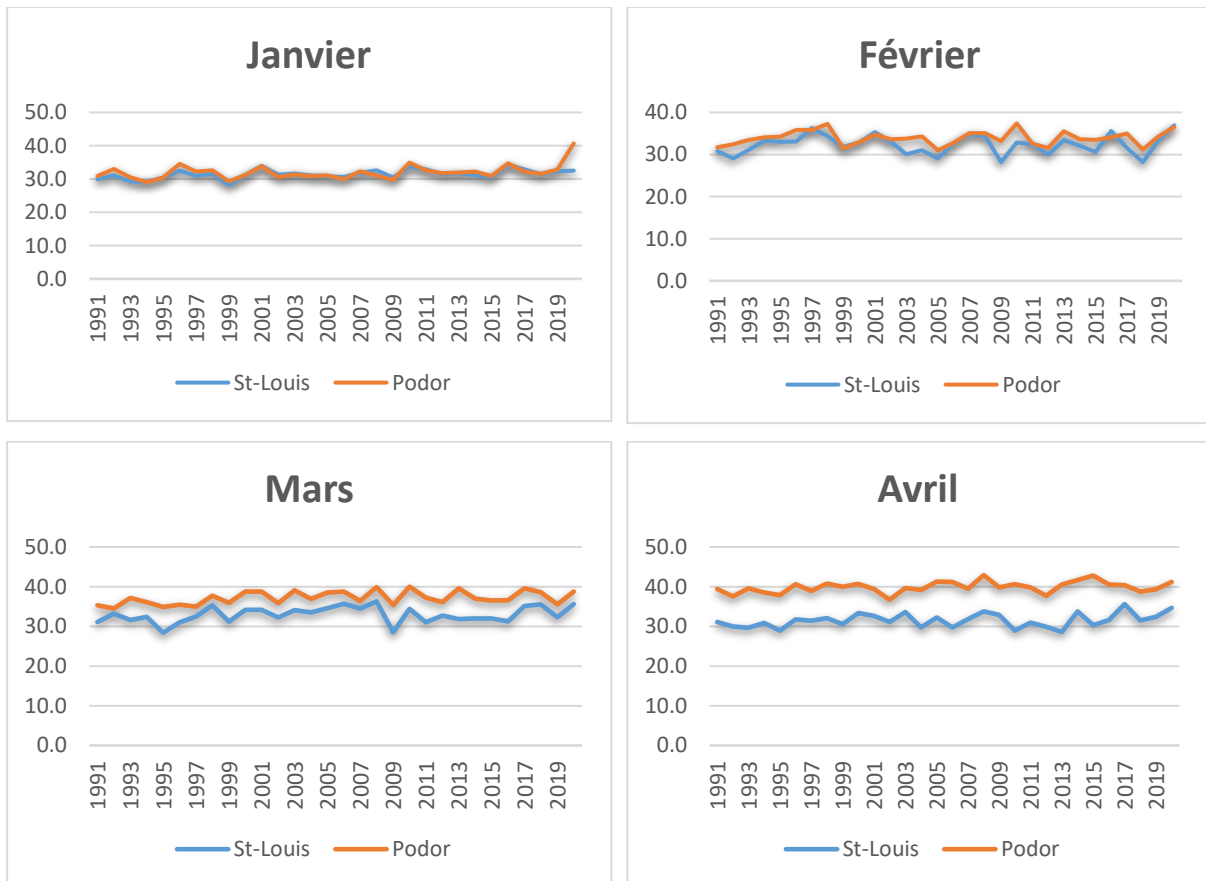
**Source :** ANACIM 2022

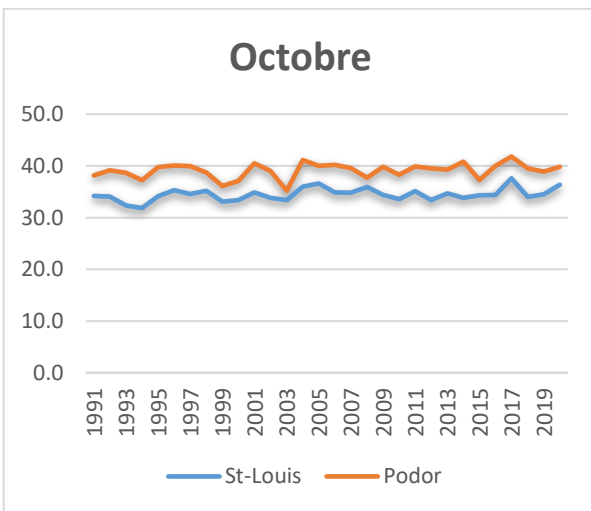
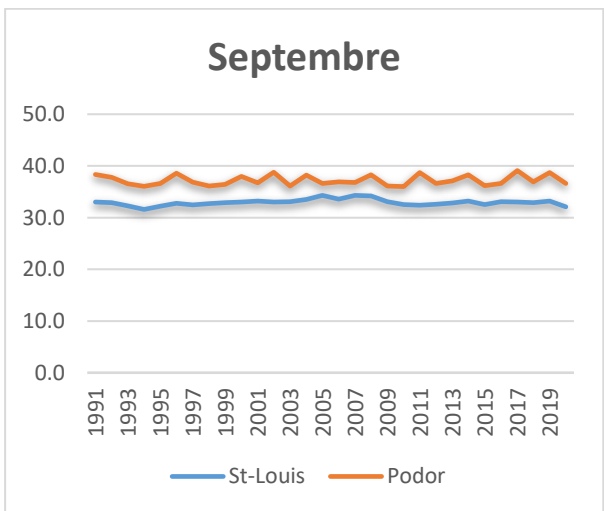
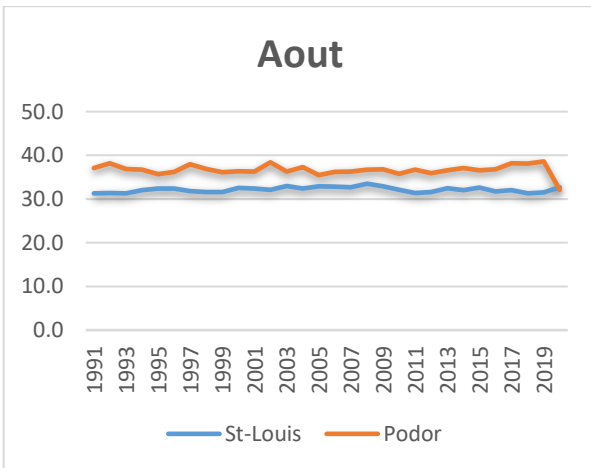
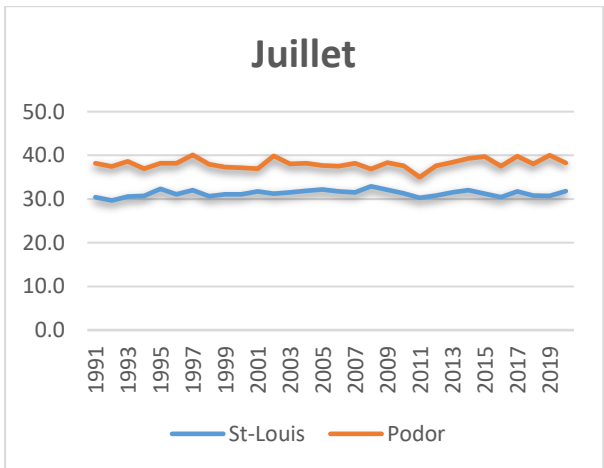
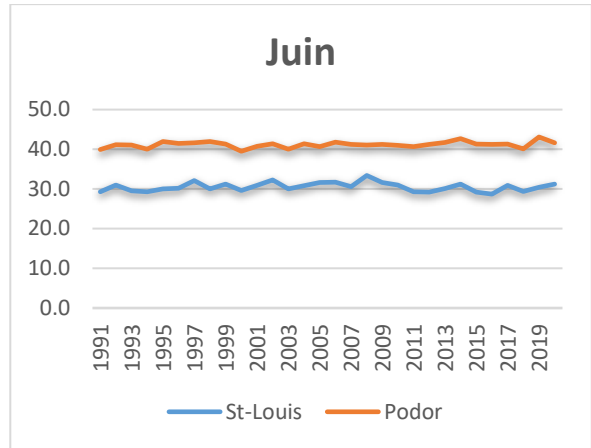
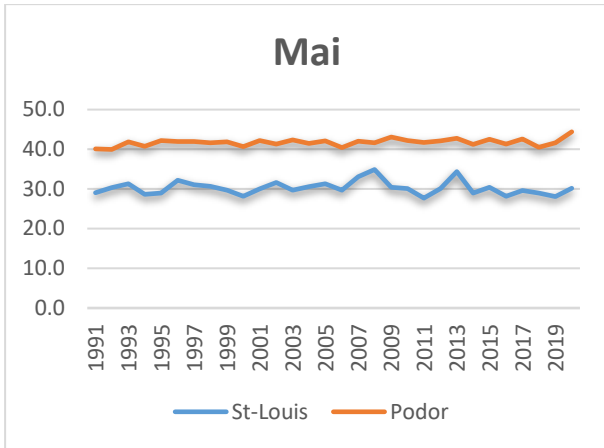


**Figure 11 :** Fréquence des températures par tranche à la station de Saint-Louis et de Podor

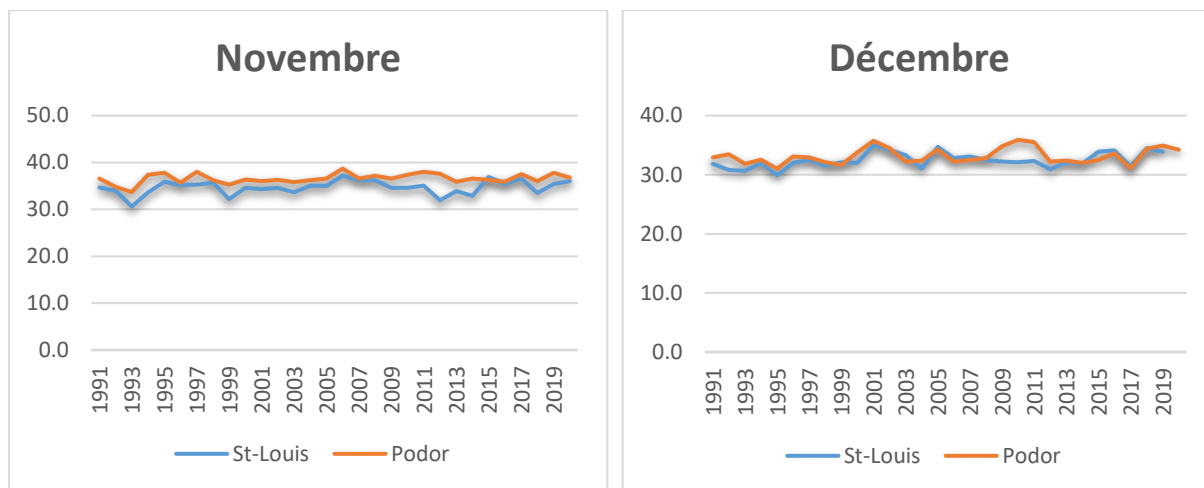
**Etude comparative de l'évolution mensuelle des températures maximales entre les deux stations de 1991 à 2020 :**

La comparaison de l'évolution mensuelle des températures maximales entre les deux stations nous permet d'identifier en termes statistique la différenciation de l'impact de l'harmattan sur la température ressentie au niveau des deux stations citées.







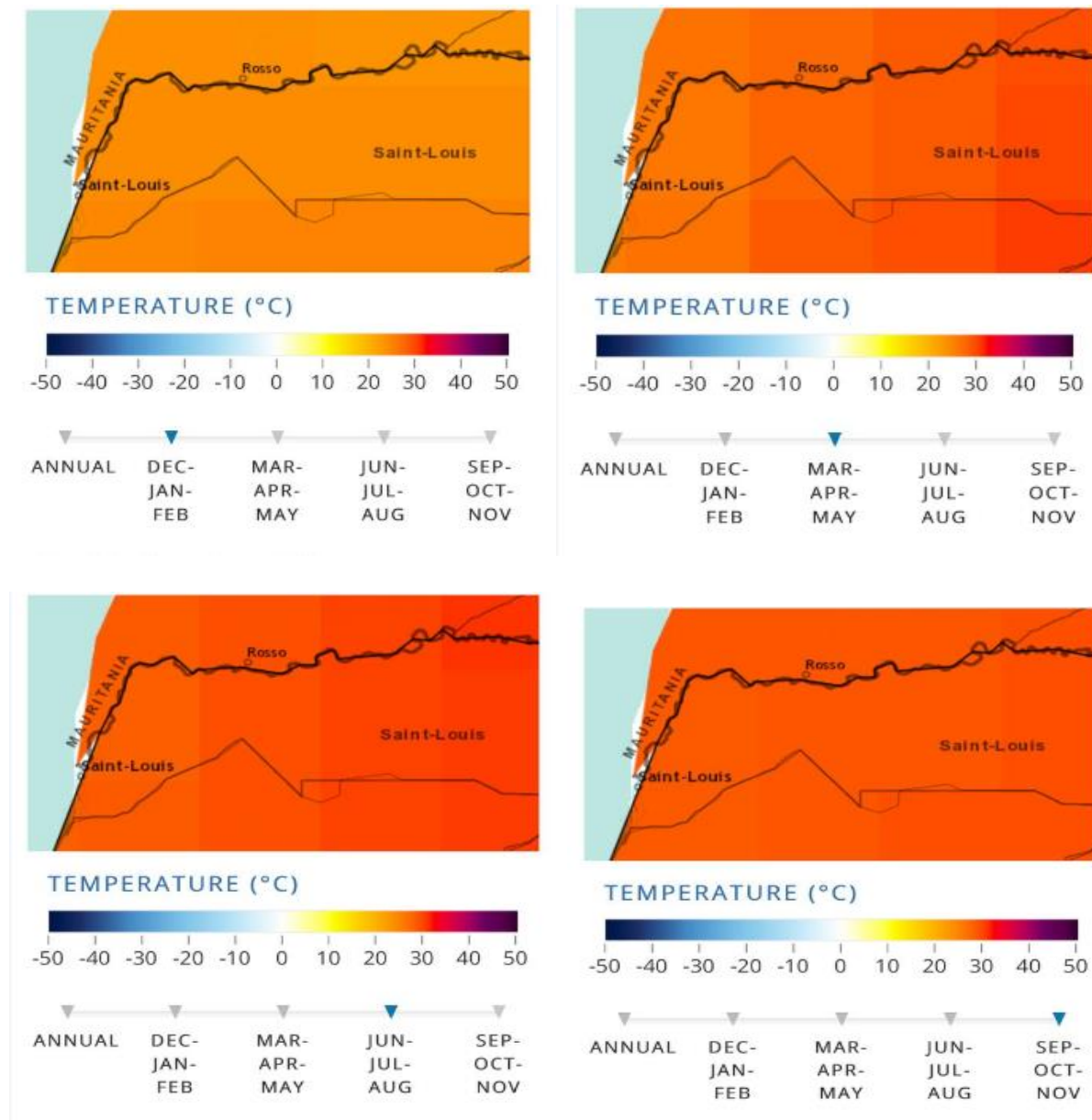


**Figure 12 :** Comparaison de l'évolution mensuelle des températures maximales entre les deux stations de 1991 à 2020

L'étude de la hausse des températures causées par le flux d'Est, justifie le choix des températures maximales pour faire une comparaison entre la station de Saint-Louis et de Podor. Le premier constat qui se dégage est qu'il y'a aucune période de la série où la station de Saint-Louis est plus chaude qu'à la station de Podor de 1991 à 2020, hormis la période de Novembre à Janvier où la température est relativement similaire pour les deux stations même si la station de Podor présente toujours les températures les élevées avec environ 30 à 34° avec des vents d'orientation Nord, Nord-Est qui circule sur une vitesse d'environ 3m/s à Saint-Louis et des vents d'orientation Est soufflant sur une vitesse de 1,2m/s environ à Podor.

La différence de température remarquable entre les deux stations (voir photo 5) explique clairement la prédominance de l'harmattan au centre avec notamment une température plus sévère qui envahi la zone une bonne partie de l'année. A l'opposée la température est plus ambiante à l'Ouest à cause de l'atténuation des effets de l'harmattan par le flux d'Ouest marin. La photo ci- dessous fait voir l'évolution de la température moyenne mensuelle pour la série de 1991 à 2020 au niveau des deux stations. L'intensité de la température moyenne annuelle est caractérisée par une dégradée de couleur pour identifier les zones les plus chaudes et celles les moins chaudes. A partir de là, on constate que la période de Décembre à Février affiche les couleurs les plus claires pour caractériser une ambiance de la température plus à l'ouest qu'à l'Est. La période allant de Mai à Aout affiche les couleurs les plus sombres qualifiant cette période, la partie de l'année la plus chaude et on observe également que plus on s'éloigne du littoral plus le thermomètre s'accroît.

**Photo 5 :** Evolution de la température moyenne mensuelle à l'extrême nord du Sénégal (station ouest et centre)



Source : [ClimateKnowledgeportal.worldbank.org](http://ClimateKnowledgeportal.worldbank.org)

## II. Corrélation entre Harmattan et hausse de la température

A l'échelle météorologique, hors de la présence du vent synoptique, la température et le vent en surface sont deux paramètres climatiques étroitement liés avec un degré de dépendance assez irrégulier. L'air se déplace dès lors qu'un écart thermique relativement sensible apparaît entre deux stations. Ainsi, c'est pour préciser cette liaison entre ces deux paramètres climatiques que des mesures de température à une échelle fine corrélées à des mesures de vents ont été

effectuées à l'extrême nord du territoire plus précisément à la station Ouest et Centre. La température et le vent varient quotidiennement de manière cohérente dans le cadre d'un phénomène de brise de mer, et ce avec d'autant plus de force, que le temps est plus ensoleillé (Joly 1994). La corrélation entre les masses d'air du Nord-Est et la température au niveau de la station de Saint-Louis et de Podor suscite des interrogations sur le vent thermique qui permet de calculer la variation du vent entre deux altitudes quand on connaît la structure thermique de la masse d'air. Le vent thermique résulte alors de l'équilibre entre force de pression et force de Coriolis. Cet équilibre dit géostrophique établit un lien entre champ de vent (l'harmattan en ce qui nous concerne) et champ de température ainsi toute modification du champ de vent conduit à une modification du champ de température (GAYE, 2017).

Cela nous permet de déduire que l'évolution des flux d'harmattan chauds et secs accentue considérablement l'augmentation de la chaleur à l'extrême nord du territoire. L'étude de l'évolution du vent issu de l'anticyclone Saharo-libyen passant par le désert et chargé de particules de poussière et de chaleur permet ainsi d'appréhender l'importance de l'impact radiatif de ce flux continental sur l'état thermique de l'air en surface au niveau de cette zone. En revanche, la station de Saint-Louis est particulièrement plus affectée par les vents marins chargés d'humidité, l'effet local de l'harmattan est assez faible et la réponse thermique superficielle des flux marins au niveau de cette zone est plus déterminante. Parallèlement à ce qui se passe au Centre et au Sud du territoire où les périodes d'intensifications des autres flux (Mousson, Alizé maritime) se caractérisent en partie par la réduction des apports éoliens en provenance du domaine saharien, à l'extrême nord, la présence de ce même flux issu du Sahara diminue l'intensité de l'Alizé maritime chargé d'humidité ainsi que la durée de l'évolution du mouvement de l'équateur météorologique favorable aux précipitations. Cela explique en effet une longue période de chaleur, de poussières et d'aridité notée au niveau de la station centre (Podor) de l'extrême nord du Sénégal. Les masses d'air boréal (Harmattan) généralement plus sèches et les masses d'air austral (Mousson) chargées d'humidité se convergent vers une ceinture dépressionnaire d'environ 200km de large appelée Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT) qui dessine au sol le Front Intertropical (FIT). Ce passage de la ZCIT traduit la saisonnalité et l'alternance des périodes chaudes et froides dans l'étendue du territoire en général et à l'extrême nord en particulier. Toutefois, ce contraste de température présente au niveau des deux stations (Saint-Louis, Podor) est expliqué par la présence de ces deux masses d'air différentes qui sont périodiquement en contact et interagissent avec un mouvement de l'air qui finit par réduire ou augmenter l'écart thermique.

L'étude de la corrélation entre les variables des flux d'harmattan et celles de la hausse des températures à l'extrême nord du Sénégal peut être faite à partir des calculs du coefficient de corrélation linéaire entre ces variables. Cette corrélation est très souvent réduite à la corrélation linéaire entre **variables quantitatives**, c'est-à-dire l'ajustement d'une variable par rapport à l'autre par une relation affine obtenue par **régression linéaire**. Pour cela, on calcule un **coefficient de corrélation linéaire**, quotient de leur **covariance** par le produit de leurs **écarts types**. Son signe indique si des valeurs plus hautes de l'une correspondent « en moyenne » à des valeurs plus hautes ou plus basses pour l'autre. La **valeur absolue** du coefficient varie entre -1 et +1, ce coefficient ne mesure pas l'intensité de la liaison mais la prépondérance de la relation affine sur les variations internes des variables. Un coefficient nul n'implique pas l'indépendance, car d'autres types de corrélation sont possibles.

- Si une corrélation est positive, toute augmentation au niveau de **X** correspond parallèlement à une augmentation au niveau de **Y**. Les deux variables varient relativement dans un sens identique et avec un degré d'évolution assez similaire.
- Si une corrélation est négative, toute augmentation au niveau de **X** ne correspond pas forcément à une augmentation au niveau de **Y**. les deux variables ne varient pas dans un même sens.

Le **coefficient de corrélation** entre deux variables aléatoires réelles **X** et **Y** ayant chacune une variance, noté **Cor(X, Y)**, ou simplement **r**, est défini par :

Avec,

- (x) flux d'harmattan
- (y) hausse de la température

$$r_{xy} = \frac{COV_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Il est important de souligner que la vitesse, la mobilité ainsi que la direction du vent jouent un rôle important pour la caractérisation de la température de l'air en surface. Ainsi, plus le vent est lent plus on ressent la chaleur de l'air et vice versa. Cette situation justifie nettement le choix de la vitesse et de la direction du vent pour faire la corrélation avec la température. Les mois de prédominance des flux d'harmattan ont été identifiés pour les deux stations afin de les corrélés avec la vitesse du vent.

### 1. Pour la station de Saint Louis

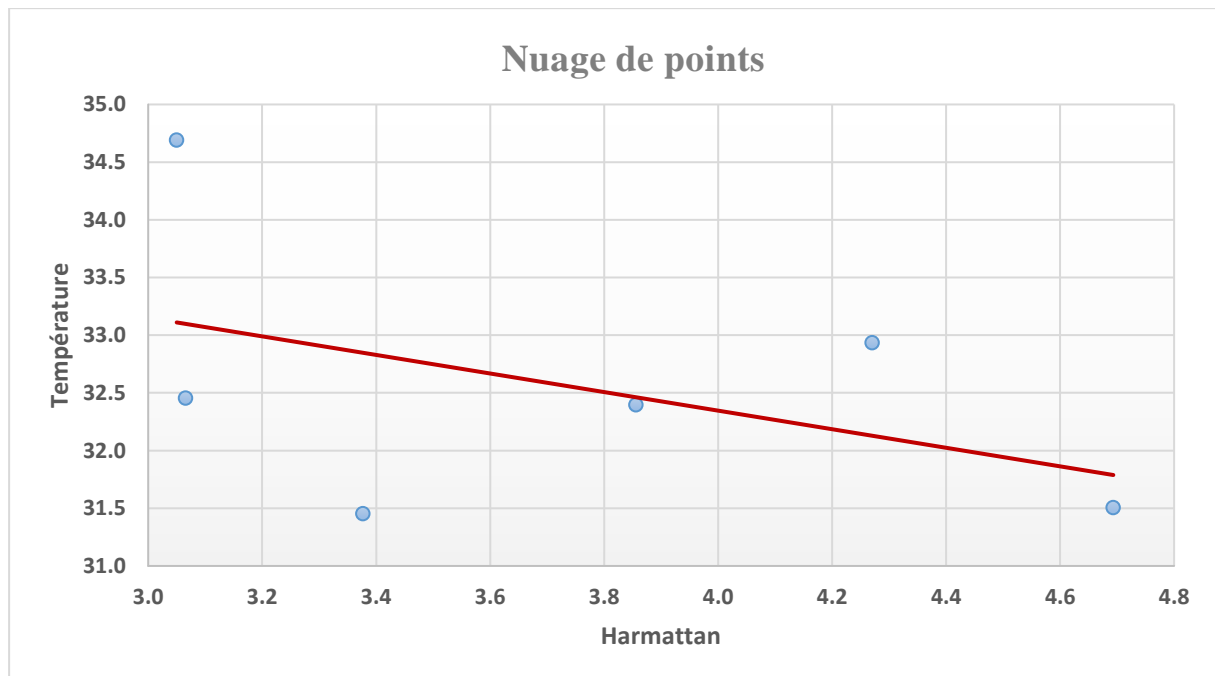
L'étude de la corrélation entre les flux d'harmattan et la hausse de la température à la station de Saint-Louis nous révèle les résultats suivants :

✚ Calculs de la corrélation avec la vitesse de l'harmattan

**Tableau 10 :** Tableau des calculs de la corrélation entre flux d'harmattan et hausse de la température (vitesse du vent)

	<u>Les mois de circulation des flux d'harmattan</u>						Coefficient de Corrélation <i>r</i>
	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	
<b>V. Harmattan</b>	3,1	3,1	3,4	3,9	4,3	4,7	<b>-0,46</b>
<b>Température maximale T°c</b>	34,7	32,5	31,5	32,4	32,9	31,5	

Source : ANACIM 2022



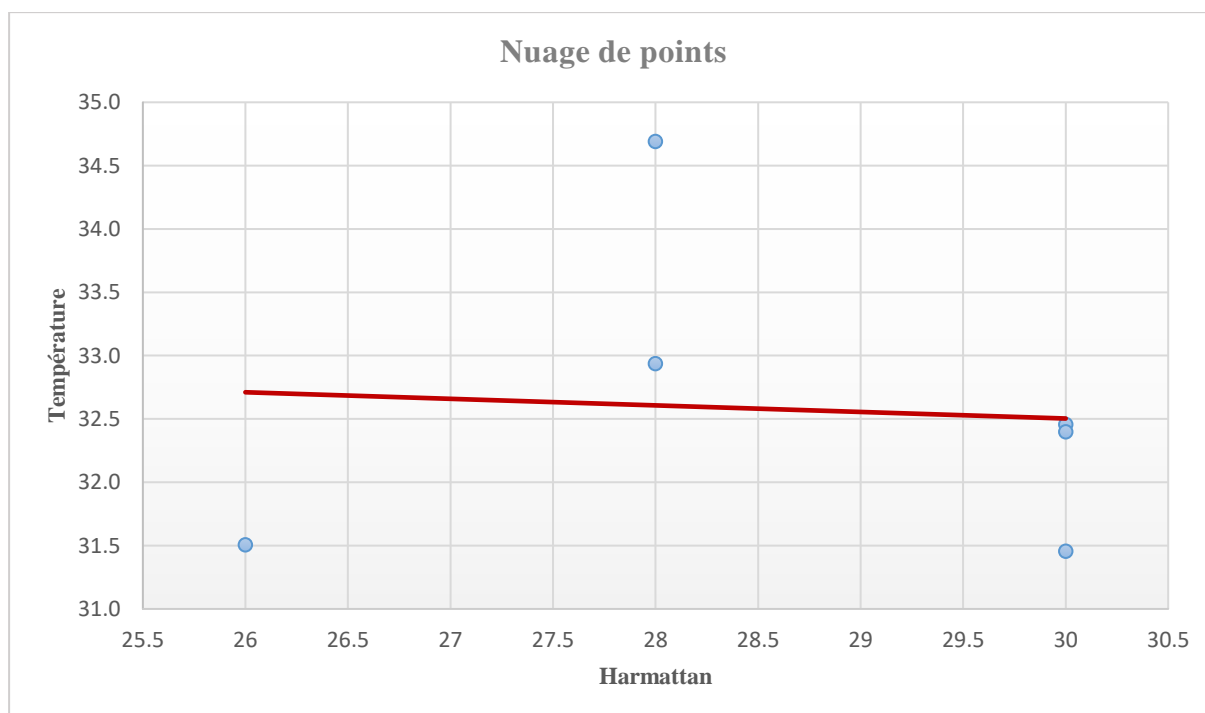
**Figure 13 :** Droite de régression (station de Saint-Louis)

✚ Calculs de la corrélation avec l'orientation de l'harmattan

**Tableau 11 :** Tableau des calculs de la corrélation entre flux d'harmattan et hausse de la température (Direction du vent)

	<b>Les mois de circulation des flux d'harmattan</b>						<b>Coefficient de Corrélation</b> <i>r</i>
	<b>Nov.</b>	<b>Déc.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Fév.</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	
<b>D. Harmattan</b>	28	30	30	30	28	26	<b>-0,07</b>
<b>Température maximale</b> <b>T°c</b>	34,7	32,5	31,5	32,4	32,9	31,5	

**Source : ANACIM 2022**



**Figure 14 :** Droite de régression (station de Saint-Louis)

La situation géographique de la station de Saint-Louis expose la zone aux effets des flux marins et explique en même temps la prédominance de l'Alizé maritime qui souffle une bonne partie de l'année. Cependant, la période de l'harmattan est souvent caractérisée par le balayage du sol

sablonneux par ces vents causant parfois des tempêtes de sable qui peuvent durer quelques jours. La station se situe dans une zone transitoire caractérisée par l'émergence de quelques dunes fixées par des acacias épineux, espèces qui subsistent encore naturellement dans la région. Une grande partie de la population interrogée témoigne qu'après la saison pluvieuse, le climat se trouve agréablement rafraîchi par les vents de la mer, l'influence de ces flux marins affecte toute la zone côtière de **Ndiobène Gandiol** jusqu'à **Diama** un peu plus au nord en passant par **l'île de Saint-Louis**, le **Gandon**, **Guet Ndar**, **Gokhou Mbadj** à la **langue de Barbarie** jusqu'à la rive droite du fleuve caractérisant un paysage ambiant avec des températures de moins de 20° durant les périodes les plus froides et des températures de moins de 35° durant les périodes les plus chaudes. Ces zones sont alors moins influencées par les effets des flux d'Est et la température est moins sévère comparée à la station centre. Néanmoins, de Janvier à Mars, les vents de l'harmattan descendent du désert jusqu'aux zones les plus orientales à l'instar de la zone de **Khor**, de **Sanar**, de **Dakar Bango** jusqu'à l'**Université Gaston Berger** (UGB) donnant ainsi quelques journées chaudes et poussiéreuses. On enregistre notamment dans cette zone des températures pouvant dépasser les 40° lors du passage des flux d'harmattan. La température est alors légèrement façonnée par le flux d'Est en cette partie de la station où le pourcentage de la densité humaine est considérablement faible comparé au secteur occidental.

Ainsi, l'étude de la corrélation entre Harmattan et hausse de la température révèle des résultats négatifs avec des coefficients de corrélation inférieur à la valeur nulle (**-0,46 pour la vitesse**) et (**-0,07 pour la direction**). Ces résultats expliquent la faiblesse du pourcentage de dépendance, voire même l'indépendance des aléas de la température aux flux d'Harmattan au niveau de cette zone. Sa situation géographique est ainsi assez stratégique pour la qualification de l'évolution de son climat. La droite de régression consiste à tracer une droite dans le nuage de points qui représente le mieux la distribution à ces deux caractères étudiés (Harmattan et hausse de la température), ainsi le caractère descendant des droites, explique la faiblesse de l'intensité de leur relation en ce qui concerne la station Ouest (voir figure 13 et 14).

**Photo 6 :** Station de Saint-Louis vue d'altitude



**Source :** Programme de développement touristique de la région de Saint-Louis (2018)

## 2. Pour la station de Podor

La corrélation entre les flux d'harmattan et la hausse de la température à la station de Podor nous affiche les résultats suivants :

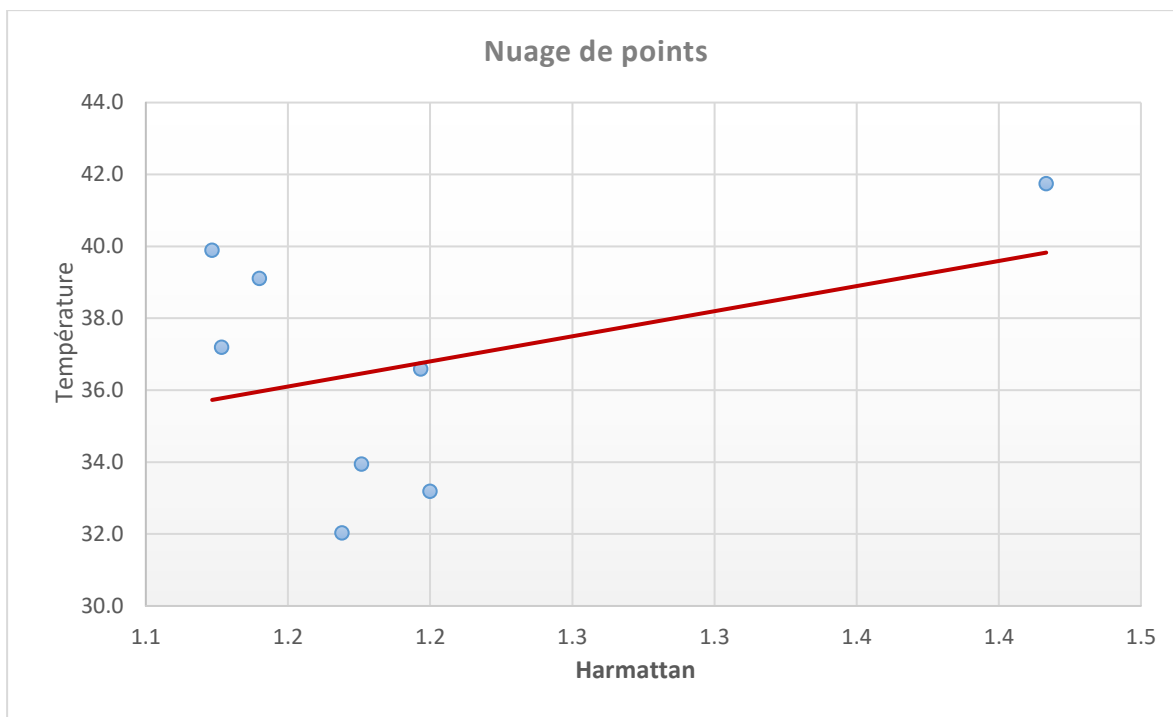
✚ Calculs de la corrélation avec la vitesse de l'harmattan

**Tableau 12 :** Tableau des calculs de la corrélation entre flux d'harmattan et hausse de la température (vitesse du vent)

	<u>Les mois de circulation des flux d'harmattan</u>								Coefficient de Corrélation <i>r</i>
	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	
<b>V. Harmattan</b>	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,4	<b>0,38</b>
<b>Température maximale T°c</b>	39,1	36,6	33,2	32,0	33,9	37,2	39,9	41,7	

**Source :** ANACIM 2022





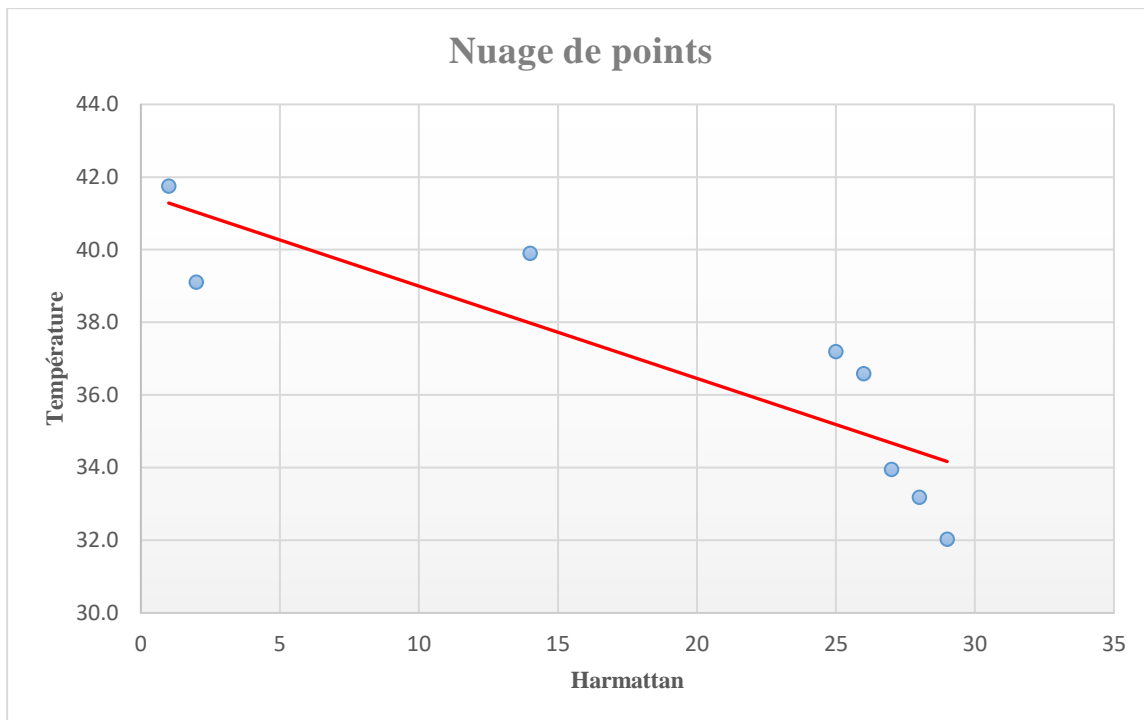
**Figure 15 :** Droite de régression (station de Podor)

✚ Calculs de la corrélation avec l'orientation de l'harmattan

**Tableau 13 :** Tableau des calculs de la corrélation entre flux d'harmattan et hausse de la température (Direction du vent)

	<u>Les mois de circulation des flux d'harmattan</u>								Coefficient de Corrélation <i>r</i>
	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	
<b>D. Harmattan</b>	2	26	28	29	27	25	14	1	<b>-0,87</b>
<b>Température maximale T°c</b>	39,1	36,6	33,2	32,0	33,9	37,2	39,9	41,7	

**Source : ANACIM 2022**



**Figure 16 :** Droite de régression (station de Podor)

La hausse de la température notée au Sahel sénégalais relève en partie des changements climatiques importants qui affectent une grande partie du globe avec des modèles différents prévoyant ainsi cette ascension de la courbe des températures dans plusieurs régions du monde. A la station centre, la vitesse des vents ainsi que l'observation des particules solides en suspension dans l'air accompagnant les flux d'Harmattan diminue après enregistrement des valeurs les plus élevées durant les périodes sèches. Les cycles de sécheresse se resserrent à l'extrême nord depuis le Taffolien (4000-2000ans BP) rendant progressivement le couvert végétal steppique. Ainsi, la station de Podor situant à environ 200km de l'océan est nettement soumise aux effets des flux d'Harmattan durant les saisons de déflations éoliennes et ce phénomène accentue de façon remarquable le gradient thermique avec des températures dépassant les 40° (mois d'Avril, Mai) en général et particulièrement au niveau des secteurs les plus chauds à l'instar de **Podor Jeeri**, des villages de **Guédé**, de **Demeth** etc. Le secteur Sud-Est notamment les arrondissements de **Mboumba**, de **Golère**, de **Galoya Toucouleur** ne sont épargnés par la chaleur galopante causée par l'Alizé continentale qui circule dans la quasi-totalité de cette région sahélienne. Cependant, les eaux du fleuve traversant la station rafraichie considérablement les zones situées de part et d'autre des rives du fleuve et particulièrement à Podor Waalo, ceux qui habitent aux alentours du quai où une dizaine de maisons construites

depuis le XIXe siècle et aux noms évocateurs (**Maurel, Prom, Buhan, Teissère, Singer, Peyrissac, Guillaume Foy**) témoignent de l'effervescence de l'air venu du fleuve.

La morphologie des terrains et la faiblesse de la couverture végétale parsemée d'arbres épineux explique également l'importance de la réflectance des rayons incidents (15% de l'énergie incidents) et par conséquent le réchauffement de la température de surface à la station centre du Sahel sénégalais, une situation qui s'aligne avec l'hypothèse de CHARNEY (1974) expliquant la hausse de la température et le maintien de la sécheresse dans le Sahel par l'augmentation de l'albédo de surface. L'albédo est la réflectance de l'énergie solaire incident par les surfaces irradiées c'est-à-dire les surfaces terrestres ou planétaires (BONN et ROCHON, 1992).

La station de Podor est la station la plus septentrionale du territoire situant alors au cœur de la région sahélienne. La chaleur y est souvent accablante et ce climat prépare déjà les visiteurs à leur entrée dans le désert du Sahel. La période du passage des flux d'Est (d'Octobre à Mai) et les facteurs thermiques (températures moyennes) évoluent parallèlement de façon significative au niveau de la zone. Les indices sont calculés par rapport à une période de référence de 30 ans (1991-2020). L'allure de la droite de régression pour la vitesse (voir figure 15) montre une tendance à la hausse justifiée par le dépassement du seuil d'une année chaude (+1) pour la plupart des années de la série. L'étude de la corrélation entre les flux d'Est et la hausse de la température justifie nettement l'explication de la température galopante et l'expansion des particules de poussières en suspension par le passage des flux d'Harmattan chauds et secs. Le résultat du coefficient de corrélation est positif (**0,38 pour la vitesse**) et témoigne alors une interaction entre les facteurs thermiques et les paramètres éoliennes en surface notamment l'harmattan. Cet élément statistique révèle l'importance des dynamiques de l'harmattan, son évolution et ses composantes sur la détermination du paysage socio-climatique particulièrement la température à la station centre de l'extrême nord du territoire. L'ascendance de la droite au niveau des nuages de point (droite de régression) caractérise l'intensité de la relation entre Harmattan et hausse de la température.

**Photo 7 :** Commune de Podor vue d'altitude



**Source :** Lutte contre le coronavirus à Podor, leral.net, 2020

### **Conclusion partielle**

La hausse de la température notée à l'extrême nord du Sénégal se fait ressentir sur les températures minimales des stations. Cependant la croissance thermique de l'air est plus sévère au centre qu'à l'ouest. Pendant les périodes les plus chaudes, le thermomètre peut s'accroître jusqu'à 45° à Podor, alors qu'à Saint-Louis, on enregistre pendant les périodes de chaleur environ 36°. Comparée à l'ouest, on constate alors que le centre est relativement plus chaud tout le long de la série. Les résultats des calculs du coefficient de corrélation justifient clairement la relation entre l'harmattan et la hausse de la température à la station de Podor et la faiblesse de la dépendance de ces deux paramètres climatiques à la station de Saint-Louis.

**CHAPITRE V :**  
**LES RAPPORTS ENTRE LA CHALEUR ET LES ACTIVITES**  
**HUMAINES**

## **I. Les effets de la hausse de la température sur les activités humaines**

### **1. L'influence de la chaleur sur les activités humaines**

La problématique de la hausse de la température causée en partie par la fréquence des flux d'Harmattan au Sahel en général et à l'extrême nord du territoire fait l'objet de plusieurs débats et devient de plus en plus préoccupante pour la génération présente ainsi que les générations à venir. Les alertes scientifiques faites dès les années 60 ont fini par signaler à la sphère politique internationale les dangers que suscite ce phénomène sur le milieu naturel et sur les activités humaines. Au Sahel sénégalais, les effets collatéraux de ce phénomène perturbent non seulement la biodiversité et les écosystèmes mais également certains facteurs de la sécurité alimentaire notamment l'agriculture, l'eau ainsi que l'énergie, la santé, etc.

Ces effets climatiques à l'extrême nord du territoire dû à l'évolution de la fréquence des flux issus de l'anticyclone saharo-libyen est remarquablement amplifié par un caractère préoccupant du changement climatique, un phénomène perçu par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (**GIEC**) comme étant « variation de l'état du climat que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persistent pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine », une définition qui diffère de celle qui figure dans la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (**CCNUCC**) selon laquelle les changements climatiques désignent des « variations attribuées directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables ». Cependant, les définitions ci-dessus ont été résumé et simplifié d'avantage par la définition proposée par **Madiodio NIASSE**, **Abel AFOUDA** et **Abou AMANI** et celle-ci semble faire l'unanimité puisque qu'ils définissent les changements climatiques comme « la modification ou variation significative du climat, qu'elle soit naturelle ou due aux facteurs d'origine anthropique ».

L'augmentation considérable de la température à la station de Saint-Louis et de Podor due relativement à la fréquence des flux d'harmattan et amplifiée par le réchauffement climatique accentue nettement les activités humaines à l'instar de :

### ➤ L'agro-sylvo-pastoralisme

L'agro-sylvo-pastoralisme est perçu dans un cadre agro-écologique comme étant une activité de production associant sur un même espace géographique le pastoralisme (c'est-à-dire l'élevage extensif pratiqué sur des pâturages) et l'agriculture menée sur un environnement forestier et/ou arboricole (LAPORTE-RIOU, MONTAL, COUIX, LASSEUR, 2018) Cette activité est plus récurrente à la station Centre notamment dans les zones de Tarédji, de Guédé village et chantier, de Ndioum un peu plus au sud-est, du village de Ngawlé à l'ouest au niveau de la cuvette de Podor... où on note l'importance de la pratique de l'agriculture de décrue et irriguée du **Waal** (plaine inondable située de part et d'autre des rives du fleuve), de l'élevage extensif et des cultures sous pluies du **Jeeri** (terre ferme avec un paysage arboré, arbustif ou herbacé). La station Ouest (Saint-Louis), elle est plutôt dominée par les activités de pêche continentale et océanique même si l'agriculture est pratiquée dans le secteur oriental vers les environs de Ngalléle nord et sud, de Bango, de Sanar etc. Ces activités agro-sylvo-pastorales (agriculture de décrue, cultures d'hivernage, l'élevage extensif, la pêche artisanale et industrielle) ne sont pas ainsi épargnées par les effets de la hausse de la chaleur au niveau de la zone.

- A la station de Podor, les perspectives agro-pastorales s'avèrent être ambiguës avec notamment une chaleur excessive qui a souvent tendance à anéantir les terres arables et à diminuer considérablement les récoltes. Cependant, l'activité de culture d'hivernage au niveau Waalo et des terres hautes, reste plus productive et plus adaptée au climat même si le bilan pluviométrique n'est pas très important au niveau de la zone. Les rendements de la riziculture irriguée et des cultures maraichères génèrent des revenus nettement supérieurs aux revenus de la culture de décrue. La période de décrue est ainsi frappée par le passage des flux d'est et alors aux canicules permanentes nuisibles à la fertilité des terres (voir photo 8), pendant ce période, les activités agricoles sont très réduites voire inexistantes au niveau du Jeeri présentant un paysage de steppe sèche et aride (voir carte/végétation). En système de cultures pluviales, les principales spéculations cultivées sont les céréales comme le mil, le sorgho, le maïs, les haricots et les tubercules tels que la patate douce plus présente au niveau des plaines alluviales. D'autres spéculations peuvent être des alternatives au niveau des zones d'irrigation à l'instar du jardin de maraichage de **14ha** du jeune cultivateur interrogé à Ndioum à une vingtaine de km de Podor. Ce dernier nous enseigne que les activités d'irrigation sur les rives du fleuve démarrent à partir du mois d'octobre et les récoltes se font à partir du mois de Mars avant la période des fortes canicules (Avril, Mai, Juin). La superficie des systèmes pluviaux traditionnels diminue au fil

des années à cause de la température sévère et de la faiblesse des précipitations ainsi que des zones inondables.

Lors des périodes de hautes températures, les activités de l'élevage rencontrent des hostilités climatiques préoccupantes. Toutefois, une grande partie des éleveurs interrogés (majoritairement Peulhs) refuse de se prononcer sur le nombre exact d'individus qui compose leurs troupeaux respectifs, le bétail est ainsi perçu comme un patrimoine culturel, une assurance-vie, un marqueur identitaire etc. Cependant, l'hospitalité du milieu de vie des animaux est nettement bouleversée avec des facteurs à risque portant préjudice à la production animale notamment la disparition de certaines étendues d'eau, le manque de pâturages pendant les périodes de haute chaleur. La température ressentie par les animaux dépend à la fois de la température ambiante et de l'humidité ainsi, l'assèchement de l'air provoque un stress thermique qui menace et étouffe certains animaux sensibles à la température excessive. La morphologie du climat de la zone pendant les périodes sèches explique alors la transhumance des éleveurs vers les régions du sud à la recherche de fourrage et d'eau.

Ainsi, les résultats de l'enquête menée à la station de Podor au niveau de ce secteur d'activité sont classés sur le tableau ci-dessous, avec une réponse de la grande partie de la population enquêtée témoignant l'influence de la chaleur sur les activités agro-pastorales, caractérisé par **Présence d'impact** et ceux qui dégagent un constat contraire au précédent, caractérisé par un **Absence d'impact**.

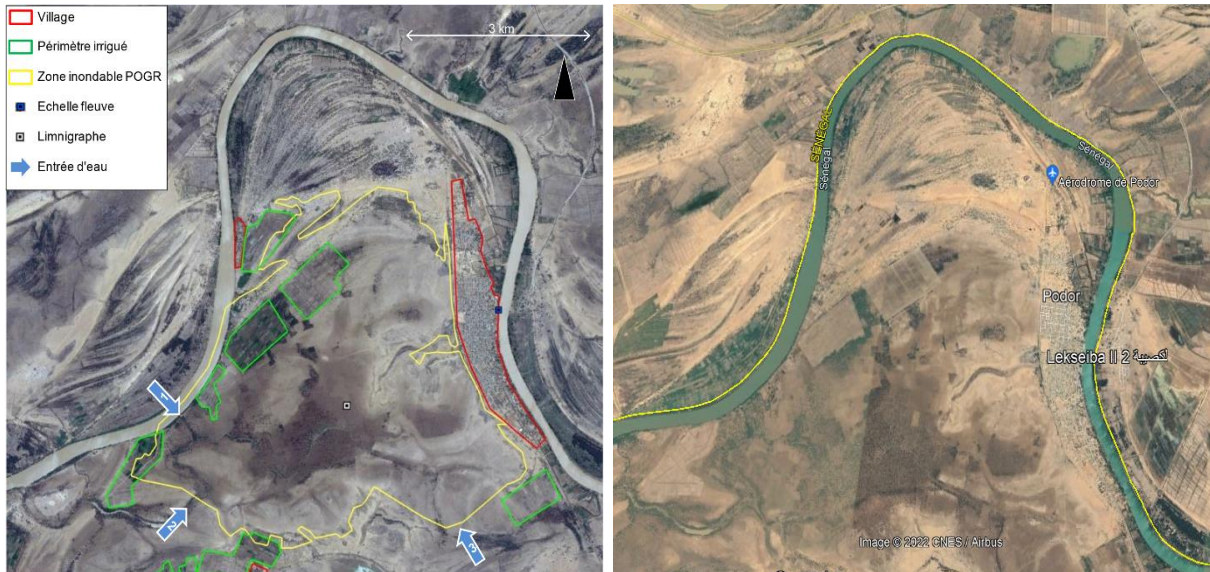
**Tableau 14 :** Perception des impacts de la chaleur sur les activités agro-pastorales par un échantillon de la population de la station de Podor

Zones d'activités	Présence	Absence	Nombre total d'interrogations
Espaces irriguées (Waalo)	32	15	47
Rizières (Waalo)	25	8	33
Terre ferme (Jeeri)	50	0	50
Pastoralisme	38	12	50
<b>Total</b>	<b>145</b>	<b>35</b>	<b>180</b>

**Source :** Enquête de terrain, FAYE 2023



**Photo 8 :** Carte de la cuvette de Podor indiquant la zone inondable (Waalo), la commune de Podor à l'est et le village Ngawlé à l'ouest, les périmètres irrigués, la position de l'échelle limnométrique du fleuve, les trois entrées de l'eau (Fond de carte : image)



**Source :** Variabilité agro-hydrologique des cultures de décrue. Une étude de cas dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal, Jean Christophe Poussin, Didier Martin, Jean-Claude Bader, Djiby Dia, Sidy Mohamed Séck, Andrew Ogilvie.

**Photo 9 :** Vallée du fleuve pendant la période de retrait des eaux (période de hautes températures)



**Source :** Photographie de terrain, FAYE 2023

***Photo 10 : Système d'irrigation au niveau de la vallée du fleuve Sénégal (Podor)***



**Source :** Photographie de terrain, FAYE 2023

▪ A la Station de Saint-Louis, même si l'agriculture diversifiée n'est pas très dynamique hormis les activités maraichères qui ont été anéanti en grande partie par l'ouverture de la brèche au niveau du Gandiolais, les activités rizicoles restent assez importantes au niveau du delta du fleuve avec des superficies cultivables assez étendues (voir carte/végétation). Ainsi, parmi les cultivateurs interrogés, certains intervenants témoignent que dans cette partie Est de la station Saint-Louis, l'activité agricole dominante est le maraichage et la riziculture qui a tendance à être affaiblie par l'utilisation des espaces cultivables par les autorités politiques à d'autres fins. Ils avancent que la hausse de la température n'est pas très importante comparée au centre de l'extrême nord du territoire et cette situation n'a pas une influence considérable sur les activités maraichères, la variabilité des rendements ne dépend pas alors aux fréquences de la chaleur. Le problème le plus récurrent est plutôt le manque de moyen d'exploitation des terres et le déficit de l'approvisionnement en eau provoquant ainsi l'abandon de plusieurs champs. Le bras du fleuve du nom de **Ngalam** qui traverse les champs est utilisé de façon irrationnelle et son entretien est de plus en plus sollicité auprès des autorités de la région.

Au niveau du secteur de la pêche, l'hydro-morphologie explique le dynamisme de ce secteur à Saint-Louis (pêche continentale et océanique bon marché). Ainsi d'après nos enquêtes auprès de la population à Guet Ndar, nous pouvons conclure que la période d'avril jusqu'à la fin de l'hivernage est la période relativement la plus chaude, période à laquelle les rendements halieutiques sont plus réduits et leur commercialisation est plus rapide pour éviter la destruction des produits par la chaleur. Ainsi, la majeure partie des pêcheurs interrogés témoigne un avantage non négligeable de la chaleur dans la mesure où elle permet de réchauffer l'organisme humain pour pouvoir bien mener leurs activités sur et en dehors de l'eau. Ce qui justifie nettement la prédominance des flux marins frais et humides au niveau de la station de Saint-Louis.

Ainsi, les résultats de l'enquête menée à la station de Saint-Louis au niveau de ce secteur d'activité sont consignés dans le tableau 15, avec une réponse d'une partie de la population enquêtée témoignant l'influence de la chaleur sur les activités agro-sylvo-pastorales, caractérisé par **Présence d'impact** et ceux qui dégagent un constat contraire au précédent, caractérisé par **Absence d'impact**.

**Tableau 15 :** Perception des impacts de la chaleur sur les activités agro-sylvo-pastorales par un échantillon de la population de la station de Saint-Louis

Zones d'activités	Présence	Absence	Nombre total d'interrogations
Espaces irrigués	2	28	30
Rizières	8	25	33
Terre ferme	22	38	60
Activité de pêche	10	55	65
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>146</b>	<b>188</b>

**Source :** Enquête de terrain, FAYE 2023

**Photo 11 :** Pépinière d'un jardin de maraichage à Saint-Louis (Ngalléle près de la rivière Ngalam)

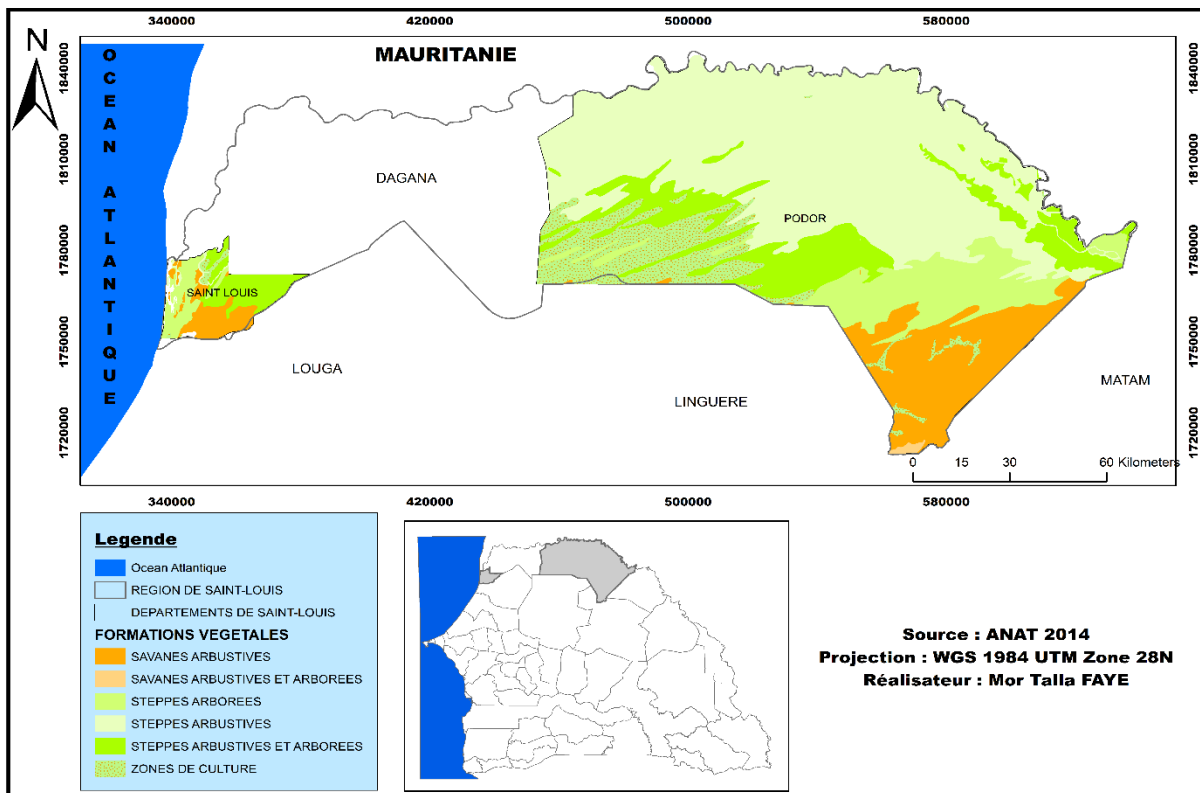


**Source :** Photographie de terrain, FAYE 2023

**Photo 12 :** Quai de pêche de Guet Ndar (Saint-Louis)



**Source :** Photographie de terrain, FAYE 2023



**Carte 6 :** La végétation de la station de Saint-Louis et de Podor

## ➤ La mobilité

Le passage des flux d'air chaud faisant grimper le thermomètre agit considérablement sur la mobilité de la population humaine et animale. La hausse de la température constitue ainsi un indice très déterminant pour expliquer la réduction périodique de la circulation des biens et marchandises à toutes les échelles au niveau de l'extrême nord du Sénégal.

- A la station de Saint-Louis, les hostilités de la chaleur sont moins significatives comparées au centre. Les heures les plus chaudes s'étalent entre 12h et 15h et la température dépasse rarement les 35°, cette situation est nettement corrélée à l'influence de l'alizé maritime frais et humide qui circule constamment la station. Les interrogations sur l'influence de la chaleur sur la mobilité témoignent qu'à Saint-Louis, la chaleur n'est pas si excessive au point d'avoir un impact assez remarquable sur la circulation des personnes. Une personne interrogée affirme que certains membres de sa famille résidant un peu plus au centre vers Dagana viennent souvent s'installer à l'ouest pendant les périodes de fortes canicules dans les régions centres.

- Justement, au niveau de ces régions centres en l'occurrence la station de Podor, la mobilité y est fortement affectée par la hausse de la température. Dans l'optique d'une collecte de plus d'information auprès de la population, 12 charretiers, 15 chauffeurs, 24 conducteurs de moto « Jakarta » et 35 acteurs pastoraux ont été interrogés à Ndioum et à Tarédji, les réponses sont classées sur le tableau ci-dessous avec la réponse **Présence d'impact** pour caractériser l'influence de la hausse des températures et la réponse **Absence d'impact** pour caractériser le contraire. Dans ces régions, la période de forte température est la période la plus déserte et la moins mouvementée de l'année. La chaleur se fait ressentir dès les premières heures de la journée et s'étale jusqu'au soir, atteignant généralement les 42°C à 43°C en mi-journée. Toutefois, pendant le passage des flux d'harmattan avec le soulèvement des particules de poussière et la nature sèche de l'air en surface, la mobilité des personnes et des animaux devient de plus en plus réduite, des bétails succombent de soif notamment avec les flux pastoraux, des oiseaux tombent en plein survol à cause de la température étouffante. Néanmoins, la nature du climat favorise un long déplacement des animaux à la recherche de fourrage avec un système extensif qui reste le mode d'élevage le plus répandu dans le Jeeri. Malgré ce nomadisme intensif du bétail causé par un stress thermique très déterminant surtout durant les périodes de hautes températures, l'élevage reste le deuxième pilier de l'économie traditionnelle de la zone. Une bonne partie de la population s'active sur ce secteur avec des mesures d'adaptation plus ou moins rentables. Cette situation de mobilité est expliquée à travers les parcours pastoraux entre

le Waalo et Jeeri sur l'axe Podor/ Ndioum en passant par Tarédji. Ainsi, Sur les 86 personnes interrogées, 76 personnes ont témoigné une influence remarquable des flux chauds et secs sur les activités.

**Tableau 16 :** Perception des impacts de la chaleur sur la mobilité par un échantillon de la population de la station de Podor.

Activités	Présence	Absence	Nombre total d'interrogations
Charretiers	9	3	12
Chauffeurs	14	1	15
Conducteurs moto Jakarta	18	6	24
Acteurs pastoraux	35	0	35
<b>Total</b>	<b>76</b>	<b>10</b>	<b>86</b>

**Source :** Enquête de terrain, FAYE 2023

**Photo 13 :** Présence de poussière en dessus de l'axe Ndioum/Tarédji



**Source :** Photographie de terrain, FAYE 2023

## ➤ **Le commerce**

Pour évaluer la fréquence des flux d'aérosols ainsi que l'étude de l'impact de la hausse des températures sur les activités commerciales, il est important de réviser la thématique dans son contexte historique. Les peuples du Sahel ont partagé pratiquement la même histoire avec notamment des flux commerciaux qui ont défini la physionomie actuelle des activités de commerce. Ainsi, la mobilité et la résistance de la plupart des peuples sahéliens face aux effets climatiques excessifs ont été favorisés par l'intensité des commerces transsahariens menés jadis au niveau de cette frange aride et déserte ainsi que par la pratique du pastoralisme. En ce qui concerne la zone sahélienne sénégalaise, les activités commerciales étaient animées par le trafic fluvial qui déterminait l'économie de la zone avec notamment la présence des colons très influents sur les activités de commerce, mais cette situation sera plus tard bouleversée par la construction de la route du Jeeri vers les années 70 passant par Tarédji et installant la ville de Podor dans un enclavement qui explique l'abandon du trafic fluvial et la diminution de son influence économique.

- A la station de Podor, aujourd'hui, le commerce est plus actif au niveau des agglomérations situées dans les abords de la route à l'instar de Tarédji, de Ndioum..., malgré un climat plus sévère et une situation plus exposée aux effets des flux d'harmattan. Ainsi, les activités de commerce qui sont parmi les facteurs non négligeables dans le dynamisme économique, enregistrent des résultats de plus en plus faibles du fait des conditions climatiques défavorables mais également du faible pouvoir d'achat des populations et des difficultés d'accès aux grands centres urbains. Cette situation du climat de cette partie nord du territoire (flux de poussières et hausse des températures) fait que la station est peu attractive et le taux d'exode de la jeunesse et des cadres a tendance à augmenter, engendrant une migration considérable des flux financiers et alors un retard endurci de la zone. La majeure partie des commerçants interrogés au niveau du marché hebdomadaire de Ndioum témoigne de l'effervescence de la chaleur sur les activités commerciales du marché pendant les périodes de hausse de température et même l'arrêt de certaines activités durant le passage de l'harmattan.

- Partant de l'analyse de la température faite au niveau de la station de Saint-Louis, la tendance climatique (hausse de températures) ne dégage pas une grande influence sur les activités de commerce d'autant plus que sa situation géographique lui confère une ambiance climatique favorable aux flux commerciaux. Les problèmes les plus cruciaux face à ces activités sont plutôt présentés par les phénomènes climatiques tels que les inondations, le rétrécissement des terres avec le recul du trait de côte etc.



Ainsi, la perception de l'impact de la hausse de la température sur les activités commerciales (notamment les produits commerciaux, les commerçants ainsi que la population locale qui fréquente les lieux commerciales) est analysée à travers les réponses d'un échantillon de la population de la station de Podor réparties sur le tableau 17 avec « Présence d'impact » pour caractériser les impacts de la chaleur sur la commerce et « Absence d'impact » pour caractériser le contraire.

**Tableau 17 :** Perception de la population sur les impacts de la chaleur sur le commerce à la station de Podor.

Activités	Présence	Absence	Nombre total d'interrogations
les produits	35	5	40
les commerçants	40	0	40
la clientèle	18	7	25
<b>Total</b>	<b>93</b>	<b>12</b>	<b>105</b>

**Source :** Enquête de terrain, FAYE 2023

**Photo 14 :** Marché hebdomadaire de Ndioum (Podor)



**Source :** Photographie de terrain, FAYE 2023

## ➤ Le tourisme

Les activités de tourisme sont généralement liées à l'ambiance du climat des zones touristiques. Même si l'extrême nord du territoire du Sénégal ne dispose pas d'assez de sites ou d'édifices touristiques hormis la ville de Saint-Louis, les conditions climatiques n'épargnent pas ce secteur et expliquent en partie la physionomie et le dynamisme des activités touristiques dans cette région.

- La partie centrale de l'extrême nord du territoire est moins attractive du point de vue touristique à cause de la nature du climat, de la fréquence des flux secs et poussiéreux mais également du manque d'initiatives des opérateurs locaux, ce qui fait que ce secteur tarde toujours à décoller. Le secteur touristique est plus animé durant les périodes de basses températures (décembre, Janvier) notamment avec la visite du fort de **Faidherbe**, construit en 1854, mais également la célébration de la journée mondiale du livre (23 Avril), la visite des patrimoines culturels et religieux à l'occurrence les mosquées de Guédé, de Thioffi et d'Alwar, le village originaire de Cheikh Oumar Tall. Quelques activités culturelles annuelles participent également à la revalorisation du secteur touristique notamment le grand festival des blues du fleuve. A cela s'ajoute, la visite des anciennes constructions des colons au niveau de la ville de Podor lors de l'avènement du trafic fluvial, parmi ces constructions on peut citer les maisons de **Maurel, Buhan, Teissère, Singer, Guillaume Foy** etc.

- Le secteur touristique de la station de Saint-Louis est animé par un passé assez agité avec d'importants événements politico-économiques (la période coloniale, le pont **Faidherbe** etc.) et surtout climatiques (l'ouverture de la brèche, l'érosion de la langue de barbarie) qui se sont déroulés laissant aujourd'hui des traces qui déterminent l'ambiance touristique de la zone avec 57 établissements d'hébergements touristiques (ANSD, 2014). Les facteurs climatiques notamment la présence des flux marins frais et humides favorisent les activités du tourisme aussi bien la saison sèche que la saison humide. Ainsi, la quasi-absence de l'influence des flux d'harmattan et la nature de la température (globalement fraîche) explique la différence observable des activités touristiques comparées à la station de Podor.

A travers le rapport de l'ANSD 2013, l'évolution des valeurs moyennes annuelles des activités touristiques de 2010, 2011, 2012 et 2013 au niveau de toute la région de Saint-Louis (période de sécheresse) est évaluée à partir du tableau ci-dessous :

**Tableau 18 :** Evolution du bilan touriste dans la région de Saint-Louis

Années	2010	2011	2012	2013
Saint-Louis	11250	11630	12620	12250

**Source :** Service régional du tourisme, 2013

## **2. Les mesures d'adaptation**

L'influence des flux d'Est sur la température au Sahel sénégalais s'inscrit parallèlement dans un contexte de réchauffement général du globe. Ainsi, pour établir un lien entre le réchauffement de la planète et les activités humaines, il est important de faire la distinction entre le réchauffement climatique dû à des causes naturelles qui existaient d'ailleurs et qui existeront toujours et celui dû aux activités anthropiques. A partir de là, on rendra nettement compte qu'un certain nombre d'éléments suggèrent une influence perceptible des activités humaines sur le climat de la planète. Toutefois, les industries, les véhicules ainsi que les activités agricoles rejettent des gaz à effet de serre à l'instar du méthane, des gaz fluorés ou encore du protoxyde d'azote et du Co2 qui représente plus de la moitié des gaz en suspension rejetés par la consommation d'énergie fossile. A l'extrême nord du territoire, l'absence d'un tissu végétal dense favorable à la photosynthèse et l'aridité des terrains à l'exception du littoral sont également des facteurs explicatifs de la prolifération du Co2 et alors de la hausse de la température.

En effet, d'après nos enquêtes menées sur le terrain, la pauvreté de la région ne favorise pas une efficacité des stratégies d'adaptation face à l'évolution de la température. La population locale subit le climat plus qu'il en prenne des mesures pour faire face. Cependant, certaines mesures s'affirment sur le modèle de construction des bâtis, sur l'habillement avec une écharpe couvrant la tête pour se protéger de la poussière... Ainsi, les personnes les plus âgées et plus exposées aux risques sanitaires face à la hausse de la chaleur et aux flux de poussières sont déplacées vers les régions côtières où la température est plus ambiante.

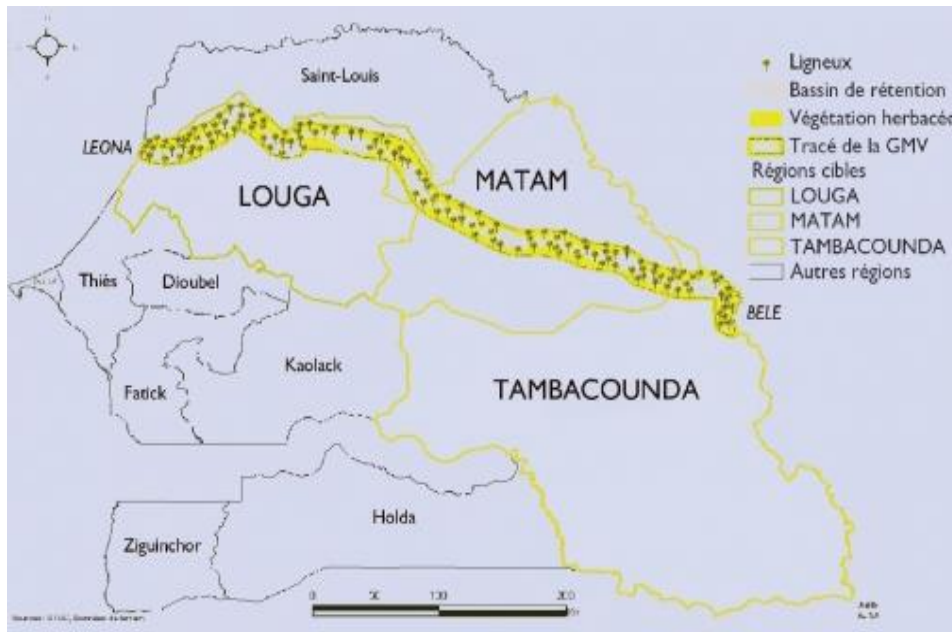
**Photo 15** : *Modèle de construction et d'habillement des peuples du sahel sénégalais*



**Source** : *Nomades peuls et Touaregs, Ghislaine, 2020.*

A cet effet, des mesures d'adaptation plus ou moins significatives ont été également mises en évidence à une échelle plus large à l'instar des politiques de reconstitution des espaces dégradés, des espaces mis en défens consistant à interdire pour une durée déterminée toute occupation humaine ou animale, l'érection d'aires protégées avec notamment les services responsables des eaux et forêts en relation avec la population locale, la réhabilitation des installations d'irrigation et de drainage etc. A cela s'ajoute le projet de la grande muraille verte mise en place par les chefs de gouvernements des Etats sahélo-sahariens pour faire face aux grands défis environnementaux notamment la désertification et les changements climatiques, ce projet se localise dans la zone limite vers le sud des stations ciblées (Saint-Louis et Podor). L'édification de ce projet s'aligne ainsi avec la naissance de la NSAL/CC (Nouvelle stratégie africaine de lutte contre les Changements Climatiques) et le CILSS (Comité Inter-Etats de Lutte Contre la Sécheresse au Sahel) créé en 1973, afin d'envisager un environnement meilleur pour la génération actuelle mais aussi pour les générations à venir. A cela s'ajoute l'ensemencement de pâturage, une stratégie relativement plus adaptée au niveau des zones sahéliennes voisines à l'instar du sahel Nigérien.

**Photo 16 :** Tracée de la composante nationale sénégalaise de la Grande Muraille Verte.



**Source :** <http://books.openedition.org>

**Photo 17 :** Activités populaires de mise en œuvre de la Grande Muraille Verte.



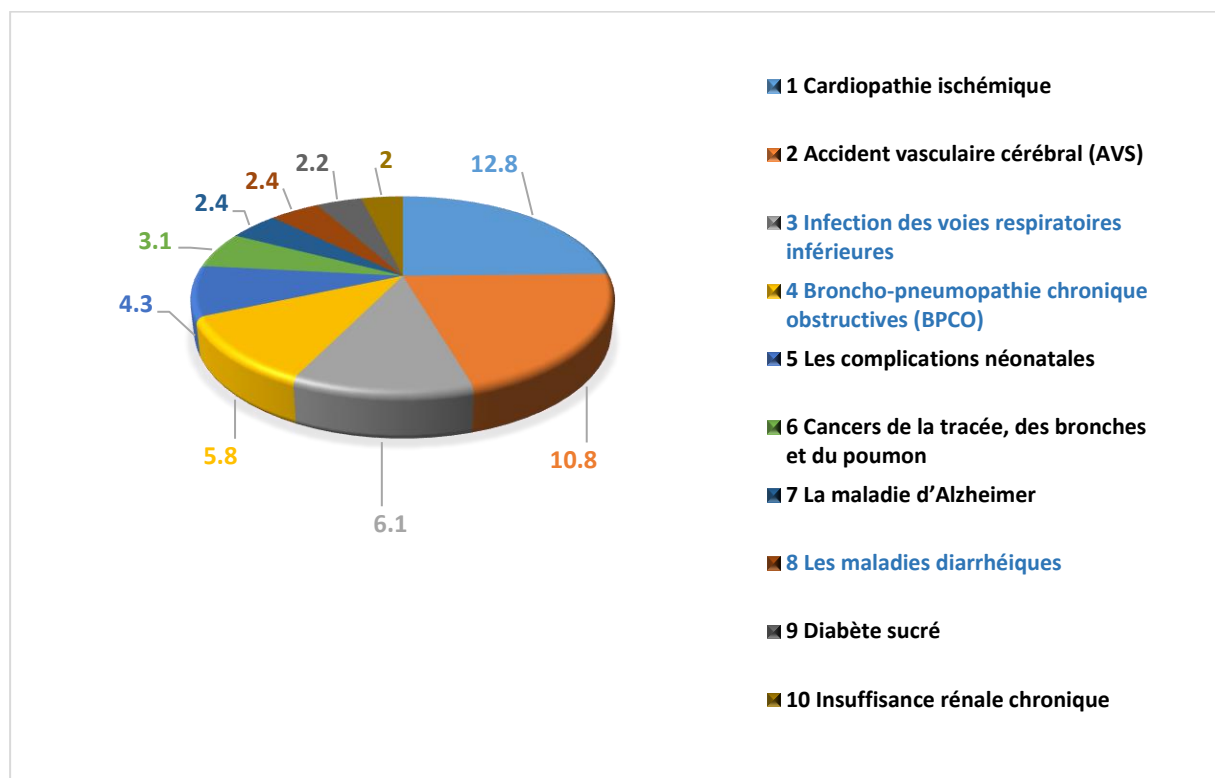
**Source :** <http://books.openedition.org>

## **II. Les impacts du climat sur la santé**

La température moyenne de la Terre (15°C) est relativement perturbée par les changements climatiques qui renforcent alors la chaleur dans certains points du globe. L'aiguille du thermomètre ne cesse notamment de grimper depuis plusieurs années dans le sahel en général et le sahel sénégalais en particulier. Cette situation est ainsi amplifiée par le flux saharo-libyen qui souffle un air sec et poussiéreux réduisant la visibilité dans presque toute la région. La compilation de ces éléments climatiques présente visiblement un danger non négligeable sur la

santé des populations avec une excitation des infections comme les broncho-pneumopathies, les pathologies respiratoires chroniques, les coups de chaleur etc. Il est ainsi important de noter qu'un organisme humain en santé maintient une température corporelle constante d'environ 37°C et lorsque la température ambiante augmente, la température corporelle a tendance à augmenter. L'organisme réagit pour maintenir sa température interne constante en augmentant le débit sanguin cutané et en activant les glandes sudoripares. Ainsi, le corps augmente la vitesse à laquelle il perd de la chaleur afin de réduire son fardeau thermique. Dans une ambiance chaude très sévère, le gain de chaleur dépasse la perte et la température corporelle augmente, ce qui pose des risques pour la santé qui peuvent être très graves (CCHST). Une enquête à la base d'un questionnaire menée auprès de l'hôpital régional de Saint-Louis et du centre hospitalier de Ndioum dans le département de Podor (page 86 et 88) nous a permis de mesurer les dégâts de la chaleur excessive ainsi que la présence de particules de poussière qui accompagnent l'alizé continental sur la santé humaine.

Toutefois, les pathologies respiratoires et broncho-pneumopathies chroniques obstructives (BPCO) sont classées parmi les 10 maladies qui font le plus de morts au monde.



**Figure 17 :** Les dix (10) maladies les plus mortelles au monde.

Ainsi, la sensibilité de la population face à la hausse de la température et au soulèvement des particules de poussières terrigènes varie selon les organismes en terme réaction face à ces agents pathologiques mais également en terme de l'inhalation et du dépôt des particules dans les compartiments de l'appareil respiratoire. Le coup de chaleur en période de hautes températures constitue un élément déclencheur de pathologies comme la fièvre, le paludisme..., alors que le passage des flux d'Est poussiéreux cible généralement les enfants qui ne disposent qu'assez de muscles au niveau des bronches pour expectorer la poussière et les personnes souffrants de maladies respiratoires à l'instar de l'asthme, de l'insuffisance respiratoire...

L'inhalabilité désigne la probabilité avec laquelle les particules entrent dans le nez et/ou la bouche du fait de la respiration. Elle peut être caractérisée par la fraction de particules entrant effectivement par le nez et/ou la bouche (GAYE, 2017).

La circulation diurne de l'air sec et des poussières désertiques qui accompagnent les flux d'Est, enregistre son maxima au cœur de la journée vers les environs de 09 heures à 15 heures avec une influence relativement forte sur la température de l'air et sur la visibilité notamment au centre de l'extrême nord, le minima est observé au milieu de la nuit, généralement entre 21 heures et 03 heures. Cette situation climatique affecte considérablement le secteur sanitaire mais également la visibilité à l'instar des événements météorologiques du 08 Janvier 2015 où la présence de la poussière avait suspendu plusieurs activités à la station de Podor. Pendant ce temps, la zone occidentale de l'extrême nord connaît cette situation climatique en une faible période de la journée tandis que les nuits sont généralement fraîches et moins affectées.

A l'extrême nord du territoire, les broncho-pneumopathies, le rhume, l'hypertension artérielle, les maladies diarrhéiques, la dermatose ainsi que les syndromes infectieux constituent les pathologies les plus morbides, une situation étroitement liée à la fréquence des flux d'Est secs et poussiéreux. Ainsi en termes de régularité, la bronchite et la pneumopathie figurent parmi les maladies les plus consultées dans cette partie du territoire.

### **1. L'impact de la chaleur sur la santé à la station de Saint-Louis**

Pour analyser l'impact sanitaire de la hausse de la chaleur à la station de Saint-Louis, il serait important de revisiter la fréquence moyenne mensuelle des températures au niveau de cette station (Chapitre IV). A partir de là, on peut nettement constater que la température dans cette partie littorale du sahel sénégalais n'affiche pas des valeurs alarmantes pouvant porter préjudice à la santé de la population locale. Ainsi, d'après nos enquêtes au niveau de l'hôpital régional

de Saint-Louis, les pathologies les plus récurrentes dans cette zone et dans tous l'extrême nord d'ailleurs sont les Bronchites et Pneumopathies, Toux/rhume, Hypertension Artérielle, les maladies diarrhéiques et les maladies de la peau etc. D'après l'interrogation que nous avons fait avec un médecin à l'hôpital régional de Saint-Louis sur les dégâts sanitaires de la hausse de la température, nous pouvons en déduire que la situation thermique de la station ne présente pas des cas assez alarmants, elle se manifeste parfois sur l'organisme par un coup de chaleur, de fièvres, par la déshydratation... par contre, le soulèvement de la poussière associé à cette situation peut entraîner des situations plus préoccupantes lors du passage de l'harmattan.

Les pathologies citées dans le **tableau 19** sont généralement liées à la présence des particules de poussières et d'aérosols en suspension dans l'air notamment lors du passage des flux d'harmattan cependant, la hausse de la chaleur ne constitue pas un facteur très déterminant sur l'évaluation des risques sanitaires.

**Tableau 19 :** Fréquence des pathologies potentiellement liées aux flux d'harmattan au centre hospitalier régional de Saint-Louis (2020).

Maladies	Nombres de cas	Fréquences %
<b>HTA</b>	1141	19
<b>Toux/rhume</b>	1570	26
<b>Grippe</b>	546	9
<b>Syndromes infectieux</b>	1289	22
<b>Dermatose</b>	653	11
<b>Maladies diarrhéiques</b>	753	13

**Source :** Hôpital régional de Saint-Louis

L'analyse de la figure 21 nous enseigne que les pathologies les plus fréquentes, potentiellement liées au passage des flux de poussières sont le Toux/rhume avec un pourcentage de 26%, les Syndromes infectieux 22% et l'hypertension artérielle 19%. Les maladies telles que la grippe, les maladies de la peau ainsi que les maladies diarrhéiques sont également très influencées par les flux d'harmattan sec et poussiéreux.



**Photo 18** : Centre hospitalier régional de Saint-Louis



**Source** : Photographie de terrain, FAYE 2023

## **2. L'impact de la chaleur sur la santé à la station de Podor**

Les vagues de chaleur observées au sahel sénégalais notamment à la station de Podor durant la saison sèche avec le passage des flux d'harmattan (**chapitre IV**) engendrent des conséquences non négligeables sur la santé des populations de la région. Il est important de noter que les études rétrospectives menées sur les incidences des vagues de chaleur du mois de Mai 2013 ont fait observer des résultats préoccupants sur la morbidité et la mortalité au niveau de cette station centre du sahel sénégalais. Ces études s'inscrivent ainsi dans le projet **ACASIS** qui a pour objectif de caractériser les vagues de canicules en Afrique de l'Ouest et leurs influences sur les conditions sanitaires, mettant en place un système d'alerte aux vagues de chaleur pré-opérationnel au Sénégal et au Burkina Faso. Dans cette zone, le mercure tutoie durant les périodes de fortes canicules, les 45 à 46° faisant répandre un important taux de grippe/de coup de fièvre, d'anémie, de traumatisme, des syndromes infectieux (pathologies respiratoires et pneumopathies) etc. La hausse de la chaleur se fait également ressentir à travers l'amplification des pathologies préexistantes comme l'HTA, l'asthme, les maladies diarrhéiques...

Dans ce contexte de recrudescence des épisodes de chaleur, une enquête est menée auprès du centre hospitalier de Ndoum afin d'évaluer la fréquence des pathologies liées à la hausse des températures et aux flux d'harmattan. Les résultats issus de cette enquête sont présentés dans le tableau ci-après :

**Tableau 20 :** Fréquence des pathologies liées à la hausse de la température et des flux d'harmattan au centre hospitalier de Ndioum (2020).

Maladies	Nombres de cas	Fréquences %
<b>HTA</b>	176	12
<b>Asthme</b>	39	3
<b>Grippe/coup de chaleur</b>	72	5
<b>Syndromes infectieux</b>	334	22
<b>Traumatisme</b>	707	47
<b>Dermatose</b>	31	2
<b>Maladies diarrhéiques</b>	83	5
<b>Anémie</b>	66	4

**Source :** Direction administrative du centre hospitalier de Ndioum

L'analyse de la fréquence des pathologies liées à la hausse de la température et des flux d'harmattan au centre hospitalier de Ndioum à travers les données de l'établissement de santé en 2020 (figure 21) nous montre que la traumatisme thermique (le stress, la céphalée, les pertes de connaissance...) 47%, les syndromes infectieux (les broncho-pneumopathies, les infections pulmonaires...) 22% et la HTA (Hypertension artérielle) 12% constituent les pathologies les plus fréquentes durant les périodes de hautes températures. On note également une fréquence pendant ces périodes, des pathologies telles que les coups de chaleur, l'asthme, les maladies de la peau, l'anémie et les maladies diarrhéiques.

**Photo 19** : Centre hospitalier régional de Ndioum



**Source** : Photographie de terrain, FAYE 2023

### **Conclusion partielle**

La hausse de la température notée dans l'extrême nord du territoire influe la quasi-totalité des activités des populations de cette zone, cette situation climatique est relativement plus remarquée à la station de Podor qu'à la station de Saint-Louis. Les activités agro-sylvo-pastorales sont nettement bouleversées pendant les périodes de forte chaleur de même que les activités commerciales, touristiques et la mobilité des gens. La santé qui constitue un secteur très démuné avec un taux de pauvreté important, est très influencée par les vagues de chaleur. Les mesures d'adaptation existantes présentent un caractère inefficace face à l'évolution de la situation climatique.

## CONCLUSION GENERALE

L'étude de l'espace sahélien en général et le sahel sénégalais en particulier corrélée avec les changements climatiques présente un enjeu sur les différents paramètres climatiques de la zone notamment la température de l'air en surface. Ce contexte de péjoration climatique est analysé et expliqué à travers une méthodologie d'acquisition et de traitement d'informations requises à travers des données climatiques et une enquête menée au niveau des stations cibles.

Les résultats émanant de ce traitement d'informations géographiques expliquent approximativement les résultats des études précédentes expliquant le caractère aride de la région et la prédominance des flux d'air chauds et secs très influents sur l'évolution de la température particulièrement la partie centre et orientale. Considérée comme une zone très vulnérable face à la variabilité du climat, cette partie septentrionale du Sénégal est ponctuée par une tendance à la hausse des valeurs plus affirmées pour les températures minimales même si les températures maximales présentent toujours un caractère thermique de plus en plus sévère. Parallèlement à cette situation climatique, les vitesses des vents et les fréquences de la présence des lithométéores enregistrées dans cette zone accusent une baisse significative lors de la décennie 1995-2004. La climatologie de l'extrême Nord-Sénégal replace la zone dans la circulation atmosphérique générale de l'Afrique de l'ouest. L'alternance des masses d'air boréal en provenance de régions continentales de l'hémisphère nord (d'octobre-novembre à Mai) et de masses d'air austral issues de l'Anticyclone de Saint Hélène (juin à septembre-octobre) détermine le cycle saisonnier « saison sèche et saison humide » du climat (GAYE, 2017).

L'analyse de l'évolution de la température à l'extrême nord du territoire à travers les stations de Saint-Louis et de Podor révèle une continentalité de la fréquence des températures les plus élevées, la zone côtière présente alors un climat plus hospitalier et moins influencé par le passage des flux d'harmattan. L'influence de la hausse de la chaleur se fait ressentir sur plusieurs domaines d'activités à l'instar des activités agro-pastorales, du commerce, de la mobilité mais surtout sur le secteur de la santé avec la fréquence de certaines pathologies plus ou moins liées à la fréquence des flux d'harmattan et à la chaleur.

## **Bibliographie et webographie**

1. **BA C**, Les peuls du Sénégal (étude géographique), Dakar : N.E.A, 333 p, 1986
2. **BA K**, Apport de la **téledétection** et des **Sig** dans l'étude de l'évolution de la langue de barbarie et de l'estuaire du fleuve Sénégal, thèse de doctorat en géoscience, Université Cheikh Anta DIOP, 223 p. 2013
3. **BICHET V.** : Les poussières terrigènes au Sahel, un marqueur climatique ou anthropique ? (...), Université de N'Gaoundéré, **Cameroun**. 08p, 21 au 25 novembre 2011
4. **CALDEWEL, J.C.** « La sécheresse dans le Sahel et ses conséquences démographiques ». Cahier OLC N°08, 115 p. 1975
5. **CANUT G**, Interaction mousson/harmattan, échange de petite échelle, université de Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier), 164p, 2010
6. **CILSS**, Le sahel face aux changements Climatiques, Centre régional **AGRHYMET**, 43p rapport annuel 2010.
7. **DIAW A. T**, Évolution des milieux littoraux du Sénégal géomorphologie et télédétection. Thèse de doctorat en géographie, Université de Paris I, Panthéon-Sorbonne, 270 p, 1997
8. **DOGUE D. P**, L'harmattan : Causes, avantages et inconvénients d'un vent sec, 29 janvier 2015.
9. **DURAND A. et al.** Sciences de l'eau, du Climat et de l'Environnement pour un développement durable de l'Afrique, Université N'Gaoundéré, 115p, 2011
10. **FALL P. A**, Sécheresse climatique en milieu Sahélien. Etude comparée des stations de Linguère et de Podor, manifestations sur les paysages et stratégies de gestion.
11. **GAYE D.** Fréquence des aérosols désertiques dans l'extrême Nord-Sénégal (Stations de Saint-Louis, Podor et Matam) : effets radiatifs, conséquences sur la visibilité horizontale et impacts sanitaires, 349p, 2017
12. **GAYE I. D.** Mobilité pastorale et développement au Sahel, 92/3, 2018
13. **GUILLAUMIE K, HASSOUN C, MANERO A, CHOURROUT M, SCHOELLER M**, La sécheresse au Sahel, un exemple de changement climatique, Atelier Changement Climatique ENPC-Département VET, 38p, Année universitaire 2004-2005
14. **HASSANE**, Variabilité de la dynamique éolienne au sol (direction et vitesse du vent) et ses conséquences (visibilité horizontale) au Sahel central et Sahara méridional, **Université Abdou MOUMOUNI**, 2003
15. **KABORE A. V.** avec la collaboration du Docteur **SAKANDE** Les Maladies de l'harmattan / sidwaya, Burkina Faso, 2003

16. **LAURENT B.** Un Atlas du Sahara-Sahel. Géographie, économie et insécurité, Cahiers de l'Afrique e l'Ouest, OCDE/CSAO, (Dir.) 256p, 2014.
17. **LE HOUEROU, H.N.** Peut-on lutter contre la désertification ? Désertification au Sud du Sahara, Nouakchott, coll. 17-19 déc. N.E.A, 211 p, 1973
18. **Le journal du Dimanche**, Face au réchauffement climatique, les éleveurs du Sénégal luttent pour la survie. 12/11/2022
19. **MOKHTARI M.** Amélioration de la prise en compte des aérosols terrigènes dans les modèles atmosphériques à moyenne échelle, le 20 décembre 2012
20. **NOUACEUR Z, TURKI I, LAIGNEL B,** Changements climatiques au Sahel : des conditions plus humides et plus chaudes en Mauritanie, Université de Rouen, Volume 24, Numéro 2, Sècheresse 2013
21. **OZER P,** Les lithométéores en région sahélienne : un indicateur climatique de la désertification, Université de Liège, 331p, 2000
22. **POUSSIN J. C, MARTIN D, BADER J.C, DIA D, SECK S. M, OGILVIE A,** Variabilité agro-hydrologique des cultures de décrue. Une étude de cas dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal, 2020
23. **SAHEL ACADEMIE,** Milieux, ressources, populations : les défis du Sahel, 04 Mai 2018
24. **SY B. A :** Thèse d'Etat (déflation éolienne dans le Sahel sénégalais) (2), 2008
25. Exploitation **Google Earth** v.o. **Arc GIS.** Traitement de données statistiques, photographies aériennes.
26. Le GrandRobert Dixel Mobile.
27. **URL :** <http://journals.openedition.org/norois/5935>
28. [Journals.openedition.org/vertigo](http://journals.openedition.org/vertigo)
29. Top santé, [www.topsante.com](http://www.topsante.com)
30. Google (Encyclopédie)
31. [www.GoogleScholar.com](http://www.GoogleScholar.com)
32. ([Www.edepot.wur.nl](http://Www.edepot.wur.nl))

## Liste des illustrations

### Liste des cartes

<b>Carte 1</b> : Découpage administratif des départements de Saint Louis et de Podor.....	<b>3</b>
<b>Carte 2</b> : Occupation de sol de la station de Saint-Louis et de Podor .....	<b>21</b>
<b>Carte 3</b> : Les sols de la station de Saint-Louis et de Podor .....	<b>22</b>
<b>Carte 4</b> : Relief de la station Saint-Louis et de Podor .....	<b>23</b>
<b>Carte 5</b> : Hydrogéologie de la station de Saint-Louis et de Podor .....	<b>24</b>
<b>Carte 6</b> : La végétation de la station de Saint-Louis et de Podor .....	<b>75</b>

### Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Echantillonnage à la station de Saint-Louis .....	<b>12</b>
<b>Tableau 2</b> : Echantillonnage à la station de Podor .....	<b>13</b>
<b>Tableau 3</b> : Coordonnées géographiques des zones enquêtées .....	<b>14</b>
<b>Tableau 4</b> : fréquences des vents de 1991 à 2020 à la station de Saint-Louis.....	<b>32</b>
<b>Tableau 5</b> : fréquences des vents de 1991 à 2020 à la station de Podor.....	<b>35</b>
<b>Tableau 6</b> : Températures à la station de Saint-Louis de 1991 à 2020.....	<b>49</b>
<b>Tableau 7</b> : Températures à la station de Podor de 1991 à 2020.....	<b>50</b>
<b>Tableau 8</b> : Fréquence des températures par tranches à la station de Saint-Louis de 1991 à 2020....	<b>52</b>
<b>Tableau 9</b> : Fréquence des températures par tranches à la station de Podor de 1991 à 2020.....	<b>52</b>
<b>Tableau 10</b> : Tableau des calculs de la corrélation entre flux d'harmattan et hausse de la température (vitesse du vent) .....	<b>59</b>
<b>Tableau 11</b> : Tableau des calculs de la corrélation entre flux d'harmattan et hausse de la température (Direction du vent) .....	<b>60</b>
<b>Tableau 12</b> : Tableau des calculs de la corrélation entre flux d'harmattan et hausse de la température (vitesse du vent) .....	<b>62</b>
<b>Tableau 13</b> : Tableau des calculs de la corrélation entre flux d'harmattan et hausse de la température (Direction du vent) .....	<b>63</b>
<b>Tableau 14</b> : Perception des impacts de la chaleur sur les activités agro-pastorales par un échantillon de la population de la station de Podor.....	<b>70</b>
<b>Tableau 15</b> : Perception des impacts de la chaleur sur les activités agro-sylvo-pastorales par un échantillon de la population de la station de Saint-Louis.....	<b>74</b>
<b>Tableau 16</b> : Perception des impacts de la chaleur sur la mobilité par un échantillon de la population de la station de Podor. ....	<b>77</b>
<b>Tableau 17</b> : Perception de la population sur les impacts de la chaleur sur le commerce à la station de Podor. ....	<b>79</b>

<b>Tableau 18</b> : Evolution du bilan touriste dans la région de Saint-Louis .....	<b>81</b>
<b>Tableau 19</b> : Fréquence des pathologies potentiellement liées aux flux d'harmattan au centre hospitalier régional de Saint-Louis (2020).....	<b>86</b>
<b>Tableau 20</b> : Fréquence des pathologies liées à la hausse de la température et des flux d'harmattan au centre hospitalier de Ndioum en 2020.....	<b>88</b>

### **Liste des figures**

<b>Figure 1</b> : Directions moyennes des vents de 1991 à 2020 à la station de Saint-Louis.....	<b>34</b>
<b>Figure 2</b> : Directions moyennes des vents de 1991 à 2020 à la station de Podor.....	<b>37</b>
<b>Figure 3</b> : Courbe de l'évolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent en m/s à la station de Saint-Louis.....	<b>41</b>
<b>Figure 4</b> : Courbe de l'évolution de la vitesse moyenne annuelle du vent en m/s à la station de Saint-Louis.....	<b>42</b>
<b>Figure 5</b> : Diagramme circulaire des fréquences de la vitesse moyenne annuelle des vents à la station de Saint-Louis .....	<b>43</b>
<b>Figure 6</b> : Courbe de l'évolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent en m/s à la station de Podor .....	<b>44</b>
<b>Figure 7</b> : Courbe de l'évolution de la vitesse moyenne annuelle du vent en m/s à la station de Podor .....	<b>45</b>
<b>Figure 8</b> : Diagramme circulaire des fréquences de la vitesse moyenne annuelle des vents à la station de Podor.....	<b>46</b>
<b>Figure 9</b> : Fréquence des moyennes des températures à la station de Saint-Louis .....	<b>49</b>
<b>Figure 10</b> : Fréquence des moyennes des températures à la station de Podor.....	<b>50</b>
<b>Figure 11</b> : Fréquence des températures par tranche à la station de Saint-Louis et de Podor .....	<b>53</b>
<b>Figure 12</b> : Comparaison de l'évolution mensuelle des températures maximales entre les deux stations de 1991 à 2020 .....	<b>55</b>
<b>Figure 13</b> : Droite de régression (station de Saint-Louis) .....	<b>59</b>
<b>Figure 14</b> : Droite de régression (station de Saint-Louis) .....	<b>60</b>
<b>Figure 15</b> : Droite de régression (station de Podor) .....	<b>63</b>
<b>Figure 16</b> : Droite de régression (station de Podor) .....	<b>64</b>
<b>Figure 17</b> : Les dix (10) maladies les plus mortelles au monde. ....	<b>84</b>



## **Liste des photos**

<b>Photo 1</b> : Les régions sahéliennes.....	<b>18</b>
<b>Photo 2</b> : Instrument de mesure de la direction du vent (la girouette).....	<b>31</b>
<b>Photo 3</b> : Appareil de mesure de la vitesse du vent : l'anémomètre.....	<b>41</b>
<b>Photo 4</b> : Appareil de mesure de la température, le thermomètre .....	<b>48</b>
<b>Photo 5</b> : Evolution de la température moyenne mensuelle à l'extrême nord du Sénégal (station ouest et centre).....	<b>56</b>
<b>Photo 6</b> : Station de Saint-Louis vue d'altitude.....	<b>62</b>
<b>Photo 7</b> : Commune de Podor vue d'altitude.....	<b>66</b>
<b>Photo 8</b> : Carte de la cuvette de Podor indiquant la zone inondable (Waalo), la commune de Podor à l'est et le village Ngawlé à l'ouest, les périmètres irrigués, la position de l'échelle limnométrique du fleuve, les trois entrées de l'eau (Fond de carte : image.....	<b>71</b>
<b>Photo 9</b> : Vallée du fleuve pendant la période de retrait des eaux (période de hautes températures)...	<b>71</b>
<b>Photo 10</b> : Système d'irrigation au niveau de la vallée du fleuve Sénégal (Podor).....	<b>72</b>
<b>Photo 11</b> : Pépinière d'un jardin de maraichage à Saint-Louis (Ngalléle près de la rivière Ngalam)..	<b>74</b>
<b>Photo 12</b> : Quai de pêche de Guet Ndar (Saint-Louis).....	<b>75</b>
<b>Photo 13</b> : Présence de poussière en dessus de l'axe Ndioum/Tarédji.....	<b>77</b>
<b>Photo 14</b> : Marché hebdomadaire de Ndioum (Podor).....	<b>79</b>
<b>Photo 15</b> : Modèle de construction et d'habillement des peuples du sahel sénégalais.....	<b>82</b>
<b>Photo 16</b> : Tracée de la composante nationale sénégalaise de la Grande Muraille Verte. ....	<b>83</b>
<b>Photo 17</b> : Activités populaires de mise en œuvre de la Grande Muraille Verte.....	<b>83</b>
<b>Photo 18</b> : Centre hospitalier régional de Saint-Louis.....	<b>87</b>
<b>Photo 19</b> : Centre hospitalier régional de Ndioum .....	<b>89</b>

## TABLE DES MATIERES

DEDICACES .....	I
REMERCIEMENTS.....	II
SIGLES ET ABBREVIATIONS.....	IV
RESUME.....	V
SOMMAIRE.....	VII
AVANT-PROPOS .....	VIII
INTRODUCTION GENERALE .....	1
CHAPITRE I : CONTEXTE ET APPROCHE METHODOLOGIQUE .....	4
I. Contexte et Problématique .....	5
II. Justification du choix de la thématique.....	6
1. Questions de recherche .....	7
2. Objectifs de recherche.....	7
3. Hypothèses de recherche.....	7
III. Etat de l'art .....	8
IV. Approche méthodologique.....	11
V. Définition des concepts clés .....	14
CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	17
I. La présentation physique de la zone d'étude.....	18
II. Le cadre socio-économique de la zone d'étude.....	25
III. Les centres d'action.....	26
1. Anticyclones .....	26
2. Dépressions .....	27
CHAPITRE III : LA FREQUENCE DES FLUX D'HARMATTAN DE 1991 A 2020 ...	30
I. La fréquence des flux d'harmattan en termes de direction .....	31
1. Pour la station de Saint Louis .....	32
2. Pour la station de Podor .....	35
II. La fréquence des flux d'harmattan en termes de vitesse.....	40
1. Pour la station de Saint Louis .....	41
2. Pour la station de Podor .....	43
CHAPITRE IV : CORRELATION ENTRE L'EVOLUTION DES FLUX D'HARMATTAN ET LA HAUSSE DE LA TEMPERATURE.....	47

I.	Aperçu sur la fréquence de la température au niveau des deux stations.....	48
II.	Corrélation entre Harmattan et hausse de la température.....	56
1.	Pour la station de Saint Louis .....	59
2.	Pour la station de Podor .....	62
<b>CHAPITRE V : LES RAPPORTS ENTRE LA CHALEUR ET LES ACTIVITES HUMAINES.....</b>		<b>67</b>
I.	Les effets de la hausse de la température sur les activités humaines .....	68
1.	L'influence de la chaleur sur les activités humaines .....	68
2.	Les mesures d'adaptation.....	81
II.	Les impacts du climat sur la santé.....	83
1.	L'impact de la chaleur sur la santé à la station de Saint-Louis .....	85
2.	L'impact de la chaleur sur la santé à la station de Podor.....	87
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>		<b>90</b>
<b>Bibliographie et webographie .....</b>		<b>91</b>
<b>Liste des illustrations .....</b>		<b>93</b>
<b>TABLE DES MATIERES .....</b>		<b>96</b>
<b>ANNEXE.....</b>		<b>97</b>

## ANNEXE

### Questionnaire :

Bonjour

Madame, mademoiselle, monsieur je m'appelle Mor Talla Faye, je suis étudiant en master au département de géographie à l'Université Assane Séck de Ziguinchor. Je suis dans l'optique de la réalisation d'une enquête à la base d'un questionnaire dans le cadre des travaux de ma mémoire de fin d'étude. Mon thème d'étude porte sur **l'évolution de la fréquence des flux d'harmattan et hausse de la température à l'extrême nord du Sénégal**. C'est ainsi dans ce

sillage que nous collectons des données afin d'acquérir des informations précises sur notre thématique d'étude.

Toutefois, nous tenons à vous présenter nos sincères remerciements pour le temps que vous nous avez accordé afin de répondre au questionnaire. Les informations requises auprès de vous resteront anonymes et seront utilisées exclusivement dans un cadre pédagogique.

Acceptez-vous de répondre au questionnaire ?

- OUI
- NON (si non, l'enquêteur est sous l'obligation de suspendre le questionnaire)

**A. Information sur les ménages**

Prénom :

Nom :

Genre :

Age :

Profession :

Niveau d'instruction :

- Primaire
- Secondaire
- Etude supérieure
- Aucun

Location du site :

Date de l'enquête :

Autres à préciser :

**B. Information sur l'évolution de la fréquence des flux d'harmattan**

1. Pouvez-vous nous faire une brève présentation de la zone ?

2. Comment évaluez-vous l'évolution annuelle des poussières dans l'air ?

Aérosols	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep.	oct.	Nov.	Déc.
Faible												
Moyen												
Elevé												

3. Comment se manifestent les flux d'harmattan dans la zone ?

4. Quelles sont les atouts (s'ils existent) de la fréquence des flux d'harmattan au niveau de la zone ?

- OUI  
 NON

5. Quelles sont les conséquences de son passage :

- Sur l'environnement,
- Sur la biodiversité,
- Sur les activités humaines,
- Sur la santé (au niveau des structures de Santé)

Types de maladie liée à l'harmattan	Nombre de cas

6. Quelles sont les mesures d'adaptation prises par les populations pour faire face au passage des flux d'harmattan ?

**C. Information sur la hausse de la température au sahel sénégalais**

7. Comment appréciez-vous le climat de la zone ?

8. Comment vivez-vous jusqu'aujourd'hui face à la hausse des températures dans la zone ?

9. Comment évaluez-vous en général la température annuelle au sahel sénégalais ?

- Faible  
 Moyen

Élevée

10. Existe-t-il des impacts positifs de la chaleur sur l'environnement ?

OUI (Si Oui lesquels ?)

NON

11. Quels sont les indices indiquant les phases de transition entre les périodes sèches et les périodes froides ?

12. Quelles est la période la plus chaude et celle la moins chaude ?

Chaleur	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep.	oct.	Nov.	Déc.
Faible												
Moyen												
Elevée												

13. Existent-ils des conséquences sur les différents secteurs d'activités ?

- Sur l'agri-sylvo-pastoralisme

OUI (Si Oui lesquels ?)

NON

- Sur le commerce

OUI (Si Oui lesquels ?)

NON

- Sur la Tourisme

OUI (Si Oui lesquels ?)

NON

- Sur la mobilité etc.

OUI (Si Oui lesquels ?)

NON

14. Quelles sont les activités prépondérantes adoptées pendant les périodes chaudes ?

### **Guide d'entretien adressée à l'Agence nationale de l'aviation civile et de la météorologie**

15. Selon vous quelle est la définition de l'harmattan ?

16. Quels sont les moyens d'acquisition de données sur les flux d'air au sahel sénégalais ?

17. Pouvons-nous avoir un aperçu sur la stratification aérologique de la zone sahéenne sénégalais ?
18. Quels sont les liens qui existent entre l'évolution de la fréquence des flux d'harmattan et le changement climatique ?
19. Quelle est la partie du sahel la plus affectée par les flux d'harmattan et la hausse de la température ?
20. Qu'est ce qui l'explique ?
21. Quelles sont ses composantes de l'harmattan ?
22. Comment évoluent les flux d'harmattan au sahel sénégalais ?
23. Quelles sont les variations en terme de direction et de vitesse ?
24. Quelles en sont les causes ?
25. Existe-il un lien entre la hausse de la température et les flux d'harmattan ?
26. Quelles sont les structures les plus exposées face à la hausse de température au sahel sénégalais ?
27. Quelles sont les différents polluants atmosphériques qui accompagnent les flux d'air du sahel ?
28. Quelles sont les enjeux géopolitiques ?
29. Existe-t-il des organismes politiques chargés de gérer cette question météorologique ?
  - OUI
  - NON
30. Si oui comment sont les liens entre ces organismes et l'ANACIM ?
31. Quel est le bilan des paramètres climatiques au sahel sénégalais ?