

## Impacts de la variabilité pluviométrique sur la température dans la région de Thiès (Sénégal)

### Impacts of rainfall variability on temperature in the Thiès region (Senegal)

**Souleymane DIALLO**

Université Cheikh Anta Diop de Dakar  
Email : timsouley@gmail.com

**MBagnick FAYE**

Université Cheikh Anta Diop de Dakar

**Mamadou FAYE**

Université Cheikh Anta Diop de Dakar

**Ibra SARR**

Université Cheikh Anta Diop de Dakar

**Souleymane SANOGO**

Université Nazi BONI

**Résumé :** La région de Thiès, à l'instar des autres pays sahéliens, est confrontée à une baisse drastique des apports pluviométriques interannuels. Cette péjoration pluviométrique se traduit par une diminution du volume d'eau de surface et souterraine. Ce travail permet de comprendre la dynamique spatio-temporelle du climat dans la région de Thiès. L'étude se base sur les données pluviométriques des stations de Thiès, Mbour et Tivaouane (1961-2020) et de la température des stations de Thiès (1981-2020) et Mbour (1961-2020). Le test de A.N. PETTITT (1979) a révélé une rupture des données pluviométriques à Thiès (1967) et à Mbour (1969). Il n'y a pas de rupture à Tivaouane. La variabilité pluviométrique décelée par le test est confirmée par l'indice pluviométrique standardisé, l'évolution pluviométrique décennale et le fichier de Bertin. En effet, durant les années 1960 et 2000, ce sont les excédents qui dominant. Alors que les années 1970, 1980 et 1990 sont marquées par l'importance des déficits. Il n'y a pas de rupture dans l'évolution des données de température maximale. Ce qui n'est pas le cas pour la température minimale et moyenne qui révèlent une rupture avec une tendance à la hausse à Thiès (2006) et à Mbour (1991). La corrélation entre la pluviométrie et la température est faible. La pluviométrie impacte plus sur la température maximale et moyenne.

**Mots clés :** Variabilité climatique, évolution interannuelle, pluviométrie, température, région de Thiès, Sénégal

**Abstract :** The Thiès region, like other Sahelian countries, is facing a drastic decrease in interannual rainfall. This decline in rainfall results in a decrease in the volume of surface

and groundwater. This work allows us to understand the spatio-temporal dynamics of the climate in the Thies region. The study is based on rainfall data from Thies, Mbour and Tivaouane stations (1961-2020) and temperature data from Thies (1981-2020) and Mbour (1961-2020) stations. The A.N. PETTITT (1979) test revealed a break in the rainfall data at Thies (1967) and Mbour (1969). There is no break at Tivaouane. The rainfall variability detected by the test is confirmed by the standardized rainfall index, the ten-year rainfall trend and the Bertin file. Indeed, during the 1960s and 2000s, surpluses dominate. Whereas the 1970s, 1980s and 1990s are marked by large deficits. There is no break in the evolution of maximum temperature data. This is not the case for the minimum and mean temperatures, which show a break with an upward trend in Thies (2006) and Mbour (1991). The correlation between rainfall and temperature is weak. Rainfall has a greater impact on maximum and mean temperature.

**Key words:** Climate variability, interannual evolution, rainfall, temperature, Thies region, Senegal

## Introduction

Le climat est l'objet d'étude de plusieurs spécialistes du fait de sa variabilité dans le temps et dans l'espace mais aussi de ses effets qui posent d'énormes difficultés à la population mondiale. L'Afrique a traversé des périodes climatiques très différentes par le passé (BAD/OSS/FAE, 2012, p. 8). Le réchauffement des 50 dernières années (> 66 %) est certainement attribuable aux activités humaines (GIEC, 2001, p. 4). R.A. HOUGHTON et J.L. HACKER (2005, p. 7) soutiennent que les flux nets de carbone dans l'atmosphère dus aux changements dans l'utilisation des terres contribuent au réchauffement climatique, par le biais du carbone émis dans l'atmosphère à la suite des mauvaises pratiques d'utilisation des terres.

Ces bouleversements climatiques sont accompagnés d'une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes : sécheresses, inondations, canicules, pluies fortes et abondantes. En Afrique de l'Ouest, ces modifications climatiques dues principalement à l'activité anthropique se traduisent par une forte baisse des volumes pluviométriques et une hausse des températures. Les travaux de L. LE BARBE et al., (2002), de L.A.A. AGUIAR (2009), de B. OUESLATI et al., (2017), de A.N. THIOMBIANO (2011), de B. IBRAHIM (2012) et de T. LODOUN et al., (2013), cités par B. DASMANE et al., (2019, p. 2) révèlent qu'en Afrique de l'Ouest, la pluviométrie est en baisse alors que la température est en hausse. L'Afrique de l'Ouest a connu une forte diminution des précipitations durant les cinquante dernières années avec une rupture nette dans les années 1968-1972 (L. LE BARBE et T. LEBEL, 1997 ; S.E. NICHOLSON, 2001 ; A. ALI et T. LEBEL, 2008, cités par la BAD/OSS/FAE, 2012, p. 11). La variabilité pluviométrique, d'une persistance et d'une ampleur considérables et des cycles de sécheresses récurrentes et manifestées par des déficits pluviométriques ayant atteint -50 % par endroit sont les caractéristiques du changement climatique (S.E. NICHOLSON, 1983 ; M. FODE et O.M. ADAMOU, 1996, cités par G. YANON et A. NDIAYE, 2013, p. 153). Sur l'ensemble du continent africain, B. SULTAN (2013, p. 3) observe une baisse générale de la pluviométrie, représentant environ 20 % de la moyenne annuelle. Il ressort de l'observation que la sécheresse actuelle (depuis 1967-1968) apparaît comme la plus importante aussi bien sur le plan de la durée que du déficit pluviométrique (G. MAHE et J.C. OLIVRY, 1995, cités par G. YANON et A. NDIAYE, 2013, p. 152). Les récentes études montrent une amélioration des volumes de pluie et donc une sortie de la crise

climatique. En effet, à partir des années 2000, les volumes de pluie annuels dépassent la moyenne des années de 1970, 1980 et 1990. Les travaux de A. FALL (2014, p. 100) concluent à une hausse des cumuls pluviométriques au Sahel à partir des années 2000. Selon G. PANTHOU et al., (2014), cité par Z. NOUACEUR (2020, p. 94), l'amélioration de la pluviométrie constatée autour des années 1990 dans le Sahel ouest-africain serait due essentiellement à une augmentation des événements pluvieux quotidiens de forte intensité. Paradoxalement, les températures se sont accrues. Sur la quasi-totalité des stations de l'Afrique de l'Ouest, on assiste à une évolution tendancielle significative des températures minimales et maximales (M. LY et al., 2013, cités par G. YANON, 2013, p. 5). Les tendances évoluent radicalement en sens inverse pour la pluviométrie et les températures dans le Bassin Arachidier Sénégalais, malgré un retour apparent de la pluie notée ces dernières années (D. MONKAM et al., 2013, cités par G. YANON, 2013, p. 5). Un changement plus marqué est observé sur les températures minimales (J. RINGARD et al., 2015, p. 16441), notamment en région Sahélienne pendant la saison sèche, alors qu'en zone Guinéenne, ce sont les températures maximales qui s'intensifient.

Dans ce contexte de variabilité climatique dans la région sahélienne de manière générale et dans l'espace ouest africain de manière particulière, la compréhension de la dynamique du climat dans la région de Thiès est primordiale dans la prise de décision par les pouvoirs publics. Des stratégies adéquates seront mises en place afin d'atténuer les effets de la dégradation climatique qui affectent les activités économiques des populations notamment l'agriculture. Dans un premier temps, il s'agit d'analyser l'évolution de la pluviométrie et de la température dans la région de Thiès. Puis, de voir s'il existe une potentielle relation entre ces deux paramètres climatiques.

## 1. Présentation de la zone d'étude

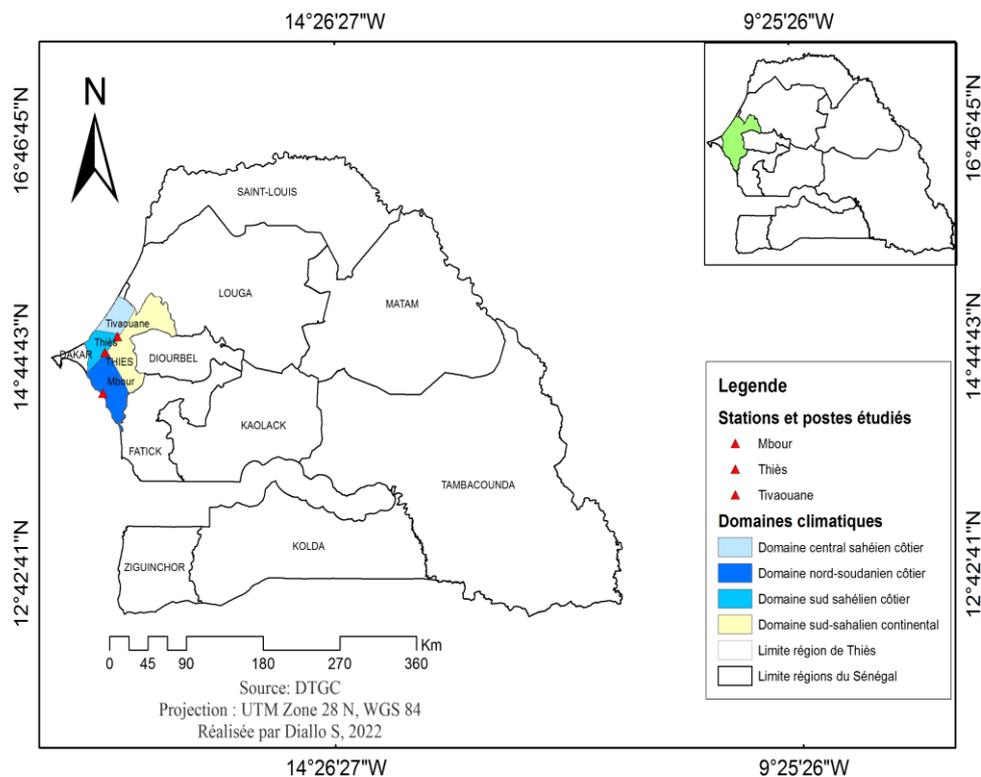
La région de Thiès est située entre les latitudes 14° 02' et 15° 27' Nord et les longitudes 16° 09' et 17° 12' Ouest. L'altitude moyenne de la région est de 63 m. Elle est dans l'Ouest du Sénégal à 70 kilomètres de la région de Dakar. La région de Thiès est limitée au Nord par la région de Louga, au Sud par la région de Fatick, à l'Est par les régions de Diourbel et de Fatick et à l'Ouest par la frange côtière des Niayes, la région de Dakar et l'Océan Atlantique. Le milieu d'étude présente un climat de type soudano-sahélien au sud et au sud-est, et plus sahélien au nord et nord-est. La zone ouest, affiche un climat sub-canarien (Carte 1). Le relief de la région est relativement plat ; ce qui favorise la circulation des vents (alizé maritime, alizé continental ou harmattan et mousson (ANSD, 2019, p. 21). La saison des pluies est tributaire de la présence de la mousson. Le climat de la région est doux et favorable avec une température moyenne avoisinant les 32 °C du fait des courants marins (ANSD, 2019, p. 21). Les températures les plus basses sont enregistrées durant les mois de janvier et février alors que les plus fortes sont notées durant les mois de mars à octobre (35 °C).

La région possède d'importantes nappes souterraines (nappe du continental terminal, nappe du Paléocène, nappe de l'éocène, le maestrichtien, la nappe des sables du littoral) et des eaux superficielles (le lac Tanma, la lagune de la Somone et deux bassins de rétention). L'eau des puits est relativement de bonne qualité (salinité inférieure à 0,3 g/l) mais contient à certains endroits un excès de fer et de fluor. L'excès de fer et de fluor est observé dans la zone de Fissel et Ndiaganiao (ANSD, 2019, p. 22).

La région de Thiès dispose d'un important domaine forestier avec quatorze (14) forêts classées couvrant une superficie de 92279,2589 hectares, soit un taux de classement de

13,97% de la superficie régionale. En plus de ces forêts classées, il existe une importante formation végétale (avec une densité variant d'une zone à une autre) contenant des ligneux sur tout le territoire régional et un système d'agroforesterie dynamique. Toutefois, la multiplicité des carrières et mines qui se trouvent en grande partie au niveau des forêts classées entraîne une dégradation inquiétante de ces ressources naturelles (ANSD, 219, p. 127).

Sur le plan démographique, la région de Thiès a connu une hausse de sa population qui est passée de 2049764 hbts en 2018 à 2105709 hbts en 2019. Cette hausse est inégalement répartie sur l'étendue de la région avec les départements de Mbour et de Thiès, qui sont des pôles d'attraction et qui concentrent près de 74,6 % de la population de la région (ANSD, 2019, p. 29).



**Carte 1** : Localisation et domaines climatiques de la région de Thiès ; S. DIALLO, 2022

## 2. Données, matériels et méthodes

### 2.1 Données collectées

Les données climatiques utilisées, dans le cadre de cette étude, sont constituées de la pluviométrie annuelle et de la température annuelle. Elles ont été collectées par l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM). Les données pluviométriques concernent les stations de Thiès, Mbour et le poste de Tivaouane (Carte 1). Les séries de données pluviométriques s'étendent de 1961 à 2020. Toutefois, des lacunes sont relevées au poste de Tivaouane. S'agissant de la température, elle concerne les

maximales, les minimales et les moyennes et est collectée pour les stations de Thiès et Mbour. A la station de Thiès, du fait des lacunes, les séries de données s'étendent de 1981 à 2020. Tandis qu'à la station de Mbour, les séries sont plus longues. Elles s'étendent de 1961 à 2020. La station de Mbour est située dans le sud du milieu d'étude dans la zone nord-soudanienne. La station de Thiès est localisée dans le centre et le poste de Tivaouane dans le nord. Tous les deux sites sont situés dans la zone sahélienne.

## 2.2 Matériels utilisés

Le logiciel Arcgis 10.1 a été utilisé pour la cartographie, XLstat Trial pour le test de rupture de Pettitt, Excel 2013 pour la réalisation des tableaux et graphiques et Word 2013 pour la rédaction du document.

## 2.3 Méthodes d'analyse des données

### 2.3.1 Test de Pettitt

Le test de Pettitt est non-paramétrique et dérive du test de MannWhitney. L'absence d'une rupture dans la série ( $x_i$ ) de taille  $N$  constitue l'hypothèse nulle.

Pettitt définit la variable  $U_{t,N}$  :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \quad U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

Où  $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$  avec  $\text{sgn}(Z) = 1$  si  $Z > 0$ ,  $0$  si  $Z = 0$  et  $-1$  si  $Z < 0$ .

Il propose de tester l'hypothèse nulle en utilisant la statistique  $KN$  définie par le maximum en valeur absolue de  $U_{t,N}$  pour  $t$  variant de  $1$  à  $N - 1$ . A partir de la théorie des rangs, Pettitt montre que si  $k$  désigne la valeur de  $KN$  prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur  $k$  est donnée approximativement par :

$$\text{Prob}(kN > k) \approx 2 \exp[-6k^2 / (N^3 + N^2)]$$

Pour un risque  $\alpha$  de première espèce donnée, si la probabilité de dépassement estimée est inférieure à  $\alpha$ , l'hypothèse nulle est rejetée. La série comporte alors une rupture localisée au moment  $t$  où est observée  $KN$ .

Le test de Pettitt permet donc de déceler un changement dans l'évolution des données pluviométriques. L'usage de ce test permet de dire que l'année de rupture correspond à celle au cours de laquelle a lieu la rupture la plus significative de la série.

### 2.3.2 Indice Pluviométrique Standardisé (IPS)

Selon A. ALI et al., (2008, p. 228), l'indice Pluviométrique Standardisé (IPS) est généralement utilisé pour déterminer le caractère humide ou sec de l'année. Il permet d'indiquer si une année peut être qualifiée d'excédentaire ( $IPS > 0$ ) ou de déficitaire ( $IPS < 0$ ). D'après OMM (2012), l'indice IPS indique qu'une sécheresse débute quand sa valeur est inférieure ou égale à  $-1,0$  et se termine quand sa valeur devient positive. Les valeurs positives de l'indice indiquent des précipitations supérieures à la médiane et les valeurs négatives des précipitations inférieures à la médiane.

L'indice annuel de pluie est déterminé par la formule suivante :

$$I = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma}$$

$I$  : Indice pluviométrique de Lamb ;  $P_i$  : Pluviosité de l'année  $i$ ,  $\bar{P}$  : Pluviosité moyenne interannuelle sur la période de référence,  $\sigma$  : Écart type de la pluviosité interannuelle sur la période de référence.

Sur la base de cette méthode, les écarts normalisés ont été classés. Les années où les valeurs dépassent zéro sont considérées comme des années excédentaires et les années où les écarts normalisés sont inférieurs ou ne dépassent pas zéro sont des années déficitaires (Tableau 1).

**Tableau 1** : Classification des écarts pluviométriques

Valeurs	Signification	Légende	Ecarts excédentaires	Caractérisation	Légende	Ecarts déficitaires	Caractérisation	Légende
> 40	Très excédentaire		0,01 à 0,50	Très faiblement		-0,01 à -0,50	Très faiblement	
]20 à 40]	Moyennement excédentaire		0,51 à 1	Faiblement		-0,51 à -1	Faiblement	
]0 à 20]	Peu excédentaire		1,01 à 1,5	Moyennement		-1,01 à -1,5	Moyennement	
]0 à -20]	Peu déficitaire		1,51 à 2	Fortement		-1,51 à -2	Fortement	
] -20 à -40]	Moyennement déficitaire		2,01 à 2,50	Très fortement		-2,01 à -2,50	Très fortement	
< -40	Très déficitaire		> 2,50	Exceptionnellement		< -2,50	Exceptionnellement	

Source : P.C. SAMBOU, 2015, p. 163

### 2.3.3 Evolution pluviométrique décennale

L'évolution pluviométrique décennale est la moyenne des écarts à la décennie des valeurs de la distribution. Elle permet d'étudier l'évolution temporelle des pluies par décennie.

### 2.3.4 Fichier de Bertin

Le fichier de Bertin (J. BERTIN, 1975, cité par J. STEINBERG, 2000, p.5) permet la représentation graphique des indices pluviométriques Standardisés par une variation de couleurs.

### 2.3.5 Coefficient de corrélation

Le coefficient de corrélation donne une mesure de l'intensité et du sens de la relation linéaire entre deux variables. Le coefficient de corrélation est compris entre -1 et 1. Plus le coefficient est proche de 1, plus la relation linéaire positive entre les variables est forte. Plus le coefficient est proche de -1, plus la relation linéaire négative entre les variables est forte. Plus le coefficient est proche de 0, plus la relation linéaire entre les variables est faible (R. RAKOTOMALALA, 2012, p. 10 et 11).

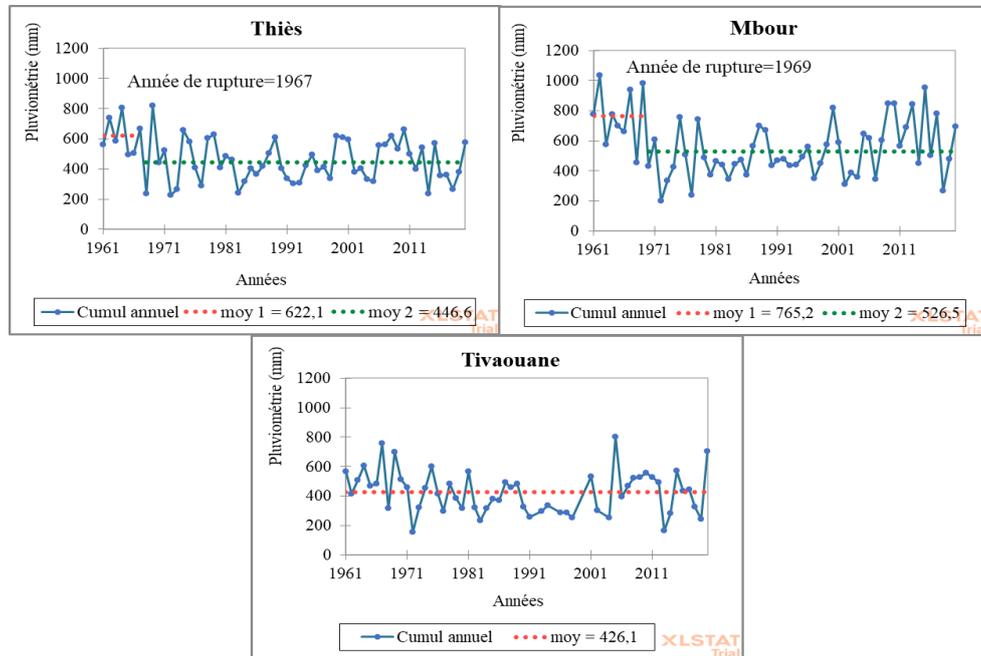
## 3. Résultats

### 3.1 La pluviométrie

#### 3.1.1 Analyse des ruptures pluviométriques

Le test de Pettitt révèle une rupture dans l'évolution des données pluviométriques annuelles à la station de Thiès et Mbour. Cependant, au poste de Tivaouane, le test de Pettitt ne présente pas de rupture. La rupture est enregistrée en 1967 à la station de Thiès avec une tendance à la baisse. A la station de Thiès, les moyennes pluviométriques varient de 622,1 millimètres (133,2 %) avant la rupture (1961-1967) à 446,6 millimètres (95,6 %) après la

rupture (1968-2020) soit un écart de 175,5 millimètres soit 37,6 %. A la station de Mbour, la rupture est notée deux années après celle de la station de Thiès en 1969 avec une tendance à la baisse. Les moyennes pluviométriques diminuent de 765,2 millimètres (136,2 %) avant la rupture (1961-1969) à 526,5 millimètres (93,7 %) après la rupture (1970-2020) soit un écart de 238,7 millimètres soit 42,5 % (Figure 2).



**Figure 2 :** Test de rupture de la pluviométrie des stations de Thiès, Mbour et au poste de Tivaouane (1961-2020) ; S. DIALLO, 2022

Les cumuls pluviométriques sont importants durant la période 1961-1969 dans les trois stations. A la station de Thiès, la plus forte pluviométrie annuelle est relevée en 1969 avec 819 millimètres. A la station de Mbour, le maximum pluviométrique annuel est noté plutôt qu'à Thiès en 1962 avec 1035 millimètres. Au poste de Tivaouane, le cumul pluviométrique annuel le plus élevé est enregistré avant celui de Thiès et après celui de Mbour. Il est observé en 1967 avec 758,1 millimètres. La station de Mbour avec 1035 millimètres a enregistré le maximum pluviométrique annuel le plus important et le poste de Tivaouane avec 758,1 millimètres a noté le maximum pluviométrique annuel le moins important. Les cumuls pluviométriques diminuent vers la fin des années 1960 jusqu'au début des années 2000. La fin de la baisse est notée une année plus tard à la station de Thiès en 2005 comparée aux autres sites. Les plus faibles pluies sont notées en 1972 dans les trois stations. Elles sont respectivement de 228 millimètres à la station de Thiès, de 198,3 millimètres à la station de Mbour et de 156,4 millimètres au poste de Tivaouane. Durant la période 1970-2004 (station de Mbour et poste de Tivaouane) et durant la période 1970-2005 (station de Thiès), le cumul pluviométrique annuel le plus faible est observé au poste de Tivaouane avec 156,4 millimètres et le cumul le moins faible est relevé à la station de Thiès avec 228 millimètres. De 2005 à 2020 (station de Mbour et poste de Tivaouane) et de

2006 à 2020 (station de Thiès), les volumes de pluie augmentent avec une dominance des valeurs supérieures aux moyennes des séries. A la station de Thiès, la plus forte pluie annuelle est enregistrée en 2010 avec 664 millimètres. A la station de Mbour, le maximum pluviométrique annuel est relevé cinq années après celui de Thiès en 2015 avec 953 millimètres. Au poste de Tivaouane, la plus forte pluie annuelle est observée plutôt qu'à Thiès et Mbour en 2005 avec 802,7 millimètres. Durant cette période, la station de Mbour a noté le maximum pluviométrique le plus important avec 953 millimètres et la station de Thiès a enregistré le maximum pluviométrique le moins important avec 664 millimètres (Figure 2).

### 3.1.2 Analyse de l'indice pluviométrique standardisé

L'indice pluviométrique standardisé révèle une dominance des années excédentaires avant la rupture 1961-1967 à la station de Thiès et 1961-1969 à la station Mbour (Figure 3).

Les années moyennement, fortement et très fortement excédentaires sont bien représentées notamment à la station de Mbour. A la station de Thiès, les excédents les plus élevés sont notés en 1964 (très fortement excédentaire) et en 1969 (très fortement excédentaire). Les écarts sont respectivement de 2,3 et de 2,4. A la station de Mbour, les excédents les plus importants sont observés en 1962 (très fortement excédentaire) avec un écart de 2,4 et en 1969 (très fortement excédentaire) avec un écart de 2,2. Au poste de Tivaouane, les excédents les plus élevés sont observés en 1967 (très fortement excédentaire) et en 1969 (fortement excédentaire) avec des écarts respectifs de 2,3 et de 1,8. S'agissant des déficits, dans les stations de Thiès et de Mbour, seule une année déficitaire est enregistrée. Il s'agit en l'occurrence l'année 1968 avec un écart à la moyenne de -1,6 (station Thiès) et de -0,5 (station Mbour). Toutefois, le déficit est plus accusé à la station de Thiès (fortement déficitaire). S'agissant du poste de Tivaouane, deux années déficitaires sont relevées. Il s'agit des années 1962 (très faiblement déficitaire) et 1968 (faiblement déficitaire). Les écarts respectifs sont de -0,08 en 1962 et de -0,77 en 1968 (Figure 3).

Vers la fin des années 1960 (période de rupture) jusqu'au début des années 2000, les années déficitaires dominent sur les années excédentaires. Les années très faiblement déficitaires et faiblement déficitaires sont plus fréquentes durant cette séquence dans les trois sites d'étude. Les déficits les plus sévères sont observés dans les stations de Thiès et de Mbour avec deux années fortement déficitaires pour chacune. Il s'agit des années 1972 (stations Thiès et Mbour), 1983 (station Thiès) et 1977 (station Mbour). Les écarts varient entre -1,5 et -1,8. L'année 1972 avec un écart de -1,8 est aussi fortement déficitaire au poste de Tivaouane. Après les années fortement déficitaires, nous relevons des années moyennement déficitaires au nombre de 6 à la station de Thiès et 4 à la station de Mbour et au poste de Tivaouane. Dans les stations de Thiès et Mbour, les déficits les plus marqués sont observés dans les années 1970 et 1980. Les plus faibles écarts sont enregistrés en 1972, 1973, 1977, 1983 et 1984 (Figure 3).

Du début des années 2000 à la fin des séries, on observe un retour des années excédentaires. Toutefois, pendant cette période, les années très faiblement et faiblement excédentaires dominent sur les années moyennement, fortement, très fortement et exceptionnellement excédentaires. Les écarts normalisés des années très faiblement et faiblement excédentaires varient de 0,02 en 2011 à la station Mbour à 0,89 en 2010 au poste Tivaouane (Figure 3).

La dominance des années déficitaires sur les années excédentaires de 1961 à 2020 est mise en évidence par le profil en baisse des courbes de tendance avec une pente plus forte à la

station de Thiès ( $y = -0,0122x + 0,3708$ ) et moins forte à la station de Mbour ( $y = -0,0025x + 0,0766$ ).

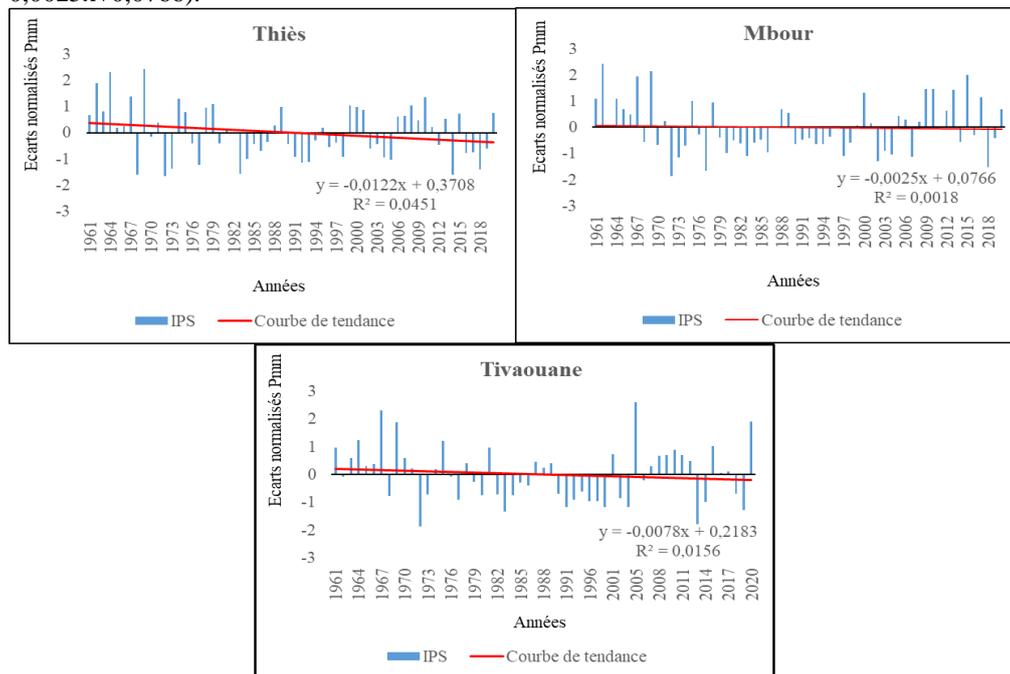


Figure 3 : Indice pluviométrique standardisé des stations de Thiès, Mbour et au poste de Tivaouane (1961-2020) ; S. DIALLO, 2022

Dans les années 1960, il est dénombré 8 années excédentaires à la station de Thiès et Mbour soit 13 % pour chaque station et 7 années excédentaires au poste de Tivaouane soit 13 %. Vers la fin des années 1960 (période de rupture) jusqu’au début des années 2000, il est enregistré 24 années déficitaires à la station de Thiès sur la période 1970-2005 soit 40 %, 25 années déficitaires à la station de Mbour soit 42 % et 20 années déficitaires au poste de Tivaouane sur la période 1970-2004 soit 36 %. Du début des années 2000 à la fin des séries, le tableau 2 révèle 9 années excédentaires à la station de Thiès soit 15 % et 11 années excédentaires à la station de Mbour et au poste de Tivaouane soit respectivement 18 % et 20 %.

Le tableau 2 montre que les déficits sont plus importants que les excédents dans les stations de Thiès et Mbour avec 52 % pour chacune. Tandis qu’au poste de Tivaouane, les excédents dominent avec 51 %. La proportion des excédents est égale à 13 % durant la séquence 1961-1969 dans les trois sites. Alors que durant la séquence 2006-2020 (station de Thiès) ou 2005-2020 (station de Mbour et poste de Tivaouane), le taux est plus élevé au poste de Tivaouane avec 20 % et moins élevé à la station de Thiès avec 15 %. La proportion des excédents est plus élevée durant la séquence 2006-2020 (station de Thiès) ou 2005-2020 (station de Mbour et poste de Tivaouane) comparée à la séquence 1961-1969. Il est relevé 15 % à la station de Thiès, 18 % à la station de Mbour et 20 % au poste de Tivaouane. S’agissant des déficits, ils sont plus élevés à la station de Thiès et de Mbour

avec 52 %. Les déficits sont aussi plus élevés durant la séquence 1970-2004 à la station de Mbour avec 42 % et moins élevé au poste de Tivaouane avec 36 % (Tableau 2).

**Tableau 2 :** Proportions (en %) des excédents et des déficits dans les stations de Thiès, Mbour et au poste de Tivaouane (1961-2020)

Séquences	Thiès			Mbour			Tivaouane		
	1961-1969	1970-2005	2006-2020	1961-1969	1970-2004	2005-2020	1961-1969	1970-2004	2005-2020
Excédents	13	20	15	13	17	18	13	18	20
Déficits	2	40	10	2	42	8	4	36	9
Total	15	60	25	15	59	26	17	54	29

Source : S. DIALLO, 2022

Sur les 60 années d'observations, le tableau 3 montre que les années très faiblement excédentaires avec 52 % dominent sur les excédents dans le milieu d'étude. Leur proportion est plus importante au poste de Tivaouane avec 22 %. Elles sont suivies par les années faiblement excédentaires avec un taux de 50 %. Ces années faiblement excédentaires sont plus fréquentes à la station de Thiès avec 22 %. Les années moyennement excédentaires représentent 27 % et sont plus fréquentes à la station de Mbour. Les années fortement excédentaires, très fortement excédentaires et exceptionnellement excédentaires sont les moins fréquentes avec respectivement 6 %, 10 % et 2 %. S'agissant des déficits, ce sont les années faiblement déficitaires qui dominent dans le milieu d'étude avec 61 %. Leur fréquence est plus élevée au poste de Tivaouane avec 25 %. Elles sont suivies par les années très faiblement déficitaires avec 46 %. Ces dernières sont plus représentées à la station de Thiès avec 18 %. Les années moyennement déficitaires ont une proportion de 29 % et sont plus fréquentes à la station de Thiès avec 12 %. Les années fortement déficitaires représentent 16 % et sont plus fréquentes à la station de Thiès avec 7 %. Les années très fortement et exceptionnellement déficitaires sont inexistantes dans le milieu d'étude (Tableau 3).

**Tableau 3 :** Proportions (en %) des années excédentaires et déficitaires dans les stations de Thiès, Mbour et au poste de Tivaouane (1961-2020)

Ecart excédentaires	Caractérisation	Ecart excédentaires			Ecart déficitaires	Caractérisation	Ecart déficitaires		
		Thiès	Mbour	Tivaouane			Thiès	Mbour	Tivaouane
0,01 à 0,50	Très faiblement	12	18	22	-0,01 à -0,50	Très faiblement	18	17	11
0,51 à 1	Faiblement	22	12	16	-0,51 à -1	Faiblement	15	21	25
1,01 à 1,5	Moyennement	10	12	5	-1,01 à -1,5	Moyennement	12	8	9
1,51 à 2	Fortement	1	1	4	-1,51 à -2	Fortement	7	5	4
2,01 à 2,50	Très fortement	3	5	2	-2,01 à -2,50	Très fortement	0	0	0
> 2,50	Exceptionnellement	0	0	2	<-2,50	Exceptionnellement	0	0	0
Total		48	48	51			52	52	49

Source : S. DIALLO, 2022

### 3.1.3 Evolution pluviométrique décennale

Le tableau 4 montre avec plus de précision la variation de la pluviométrie dans les sites d'étude. A l'exception du poste de Tivaouane, la variation est plus forte entre la décennie 1961-1970 et la période 1971-2000 sur les trois sites. Les écarts types et les coefficients de variation enregistrés attestent l'importante baisse des volumes de pluie sur une période de

30 ans (1971-2000). Toutefois, la baisse est plus importante à la station de Mbour avec un écart type de 193,5 et un coefficient de variation de 35 %. La baisse de la pluviosité est moins importante au poste de Tivaouane avec un écart type de 134,9 et un coefficient de variation de 33 %. La variation est donc moins forte entre la période 1971-2000 et les années 2000 et 2010. Le poste de Tivaouane avec un écart type de 138,7 et un coefficient de variation de 35 % a enregistré la variation la plus forte. La station de Thiès avec un écart type de 126,5 et un coefficient de variation de 29 % a observé la variation la moins forte. Ce qui montre que l'écart de pluie entre les années 1960 et la période 1971-2000 est supérieur à celui enregistré entre la période 1971-2000 et les années 2000 et 2010 (Tableau 4).

**Tableau 4** : Synthèse de l'évolution pluviométrique décennale dans les stations de Thiès, Mbour et au poste de Tivaouane (1961-2020)

Décennies	Thiès	Mbour	Tivaouane	Variations	Thiès		Mbour		Tivaouane	
	Pmm moy	Pmm moy	Pmm moy		Ecart Type	C.V %	Ecart Type	C.V %	Ecart Type	C.V %
1961-1970	585,3	731,7	532,7	Entre 1961-1970 et 1971-2000	153,4	33 %	193,5	35 %	134,9	33 %
1971-1980	459,1	466,4	389							
1981-1990	421,4	491	395,5							
1991-2000	422,6	506,4	286	Entre 1971-2000 et 2001-2020	126,5	29 %	176,7	34 %	138,7	35 %
2001-2010	495,8	555,5	483,9							
2011-2020	418,3	622,7	418,9							

Source : S. DIALLO, 2022

#### 3.1.4 Fichier de Bertin des indices pluviométriques standardisés

Le fichier de Bertin des indices pluviométriques décennaux montre que la décennie 1961-1970 est excédentaire dans les trois sites étudiés (Tableau 5). Avec des écarts normalisés compris entre 0,75 au poste de Tivaouane et 0,87 à la station de Mbour, la décennie 1961-1970 est faiblement excédentaire. La station de Mbour avec 0,87 affiche l'excédent le plus élevé de cette décennie 1961-1970. De la décennie 1971-1980 à la décennie 1991-2000, les écarts normalisés sont déficitaires ; ce qui montre la baisse des volumes de pluie et l'importance des déficits durant cette période. Les écarts normalisés de cette période (1971-2000) sont très faiblement déficitaires. Le déficit le plus accusé est enregistré au poste de Tivaouane durant la décennie 1991-2000 avec -0,97. La décennie 1991-2000 est faiblement déficitaire au poste de Tivaouane. Ce déficit pluviométrique s'étend jusqu'à la décennie 2001-2010 à la station de Mbour alors qu'un retour des pluies est noté sur les autres sites (Tableau 5). Les écarts normalisés de la décennie 2001-2010 des sites de Thiès et Tivaouane oscillent entre 0,2 et 0,4 (très faiblement excédentaires). Durant la dernière décennie 2010-2020, seule la station de Mbour affiche un excédent avec un écart normalisé de 0,31 (très faiblement excédentaire). Le retour des pluies des années 2000 (très faiblement excédentaires) n'a pas atteint la pluviosité des années 1960 (faiblement excédentaires).

**Tableau 5** : Fichier de Bertin des indices pluviométriques standardisés (1961-2020)

Décennies	Thiès	Mbour	Tivaouane
1961-1970	0,82	0,87	0,75
1971-1980	-0,06	-0,49	-0,26
1981-1990	-0,32	-0,36	-0,21
1991-2000	-0,31	-0,29	-0,97
2001-2010	0,20	-0,03	0,40
2010-2020	-0,34	0,31	-0,05

Source : S. DIALLO, 2022

### 3.2 La température

#### 3.2.1 Analyse des ruptures de température

La figure 4 montre qu'il n'y a pas de rupture dans l'évolution des données de température maximale dans les stations de Thiès et Mbour. A la station de Thiès, la température maximale la plus élevée est relevée en 1997 avec 34,6 °C et la température maximale la moins élevée en 2011 avec 32,3 °C. L'écart est de 2,3 °C. A la station de Mbour, la température maximale la plus importante est enregistrée en 2019 avec 36,9 °C et la température maximale la moins importante en 2013 avec 32,6 °C. L'écart est plus important que celui de la station de Thiès. Il est de 4,3 °C (Figure 4).

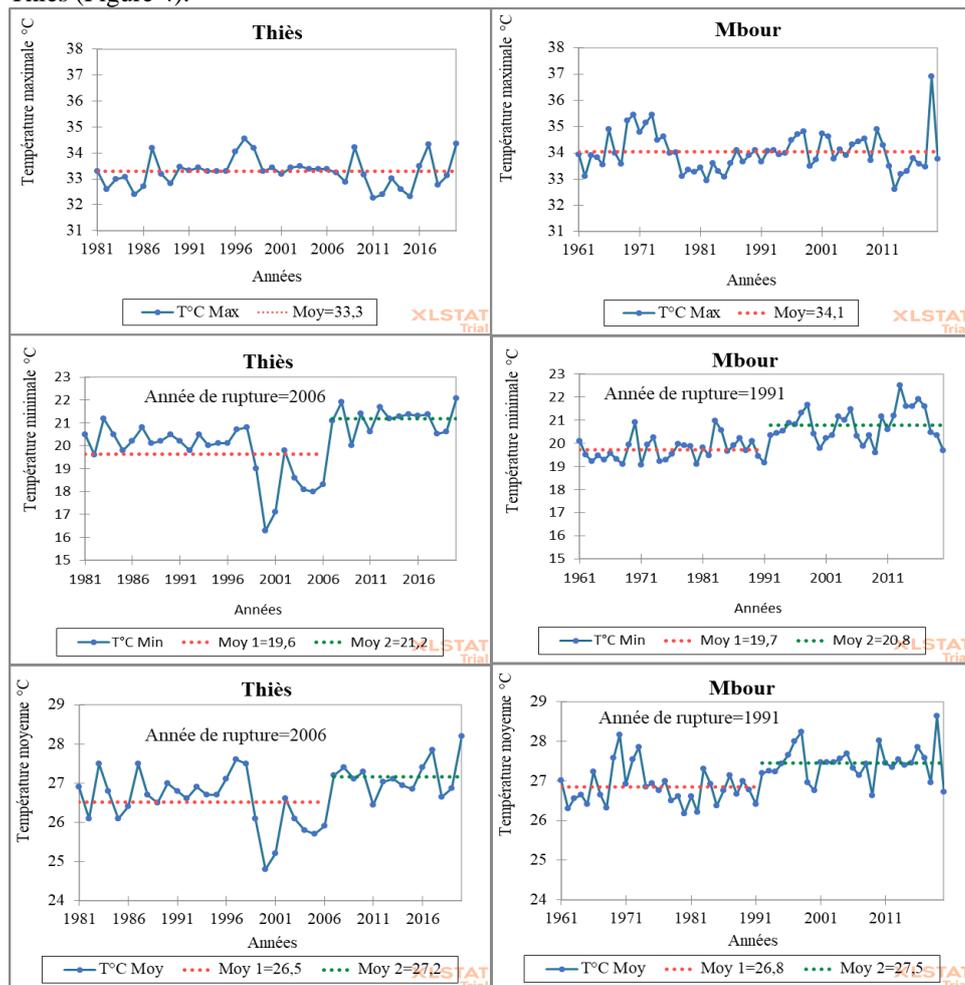
Pour la température minimale et moyenne, le test de Pettitt révèle une rupture des données avec une tendance à la hausse plus récente (fin de série) à la station de Thiès en 2006 et plus précoce à la station de Mbour en 1991 (milieu de série). Les dates de rupture de la température minimale et moyenne sont identiques à la station de Thiès ; il en est de même à la station de Mbour (Figure 4).

A la station de Thiès, les moyennes séquentielles de la température minimale augmentent de 19,6 °C avant la rupture (1981-2006) à 21,2 °C après la rupture (2007-2020) soit un écart de 1,6 °C. Les moyennes séquentielles de la température moyenne s'accroissent de 26,5 °C avant la rupture (1981-2006) à 27,2 °C après la rupture (2007-2020) soit un écart de 0,7 °C. La hausse est donc plus élevée pour la température minimale. Avant la rupture (1981-2006), les valeurs de température minimale et moyenne les plus importantes sont observées durant les années 1980 et 1990. Les maxima sont relevés en 1983 avec 21,2 °C pour la température minimale et en 1997 avec 27,6 °C pour la température moyenne. Les minimas sont quant à eux notés durant les années 2000. Ils sont relevés en 2000 avec 16,3 °C pour la température minimale et 24,8 °C pour la température moyenne. Après la rupture (2007-2020), les températures minimales et moyennes les plus élevées sont enregistrées en 2020 avec respectivement 22,1 °C et 28,2 °C. Les plus faibles en 2009 avec 20 °C pour la température minimale et en 2011 avec 26,5 °C pour la température moyenne. S'agissant de la température moyenne, après la rupture intervenue en 2006, les plus faibles valeurs sont observées en début de séquence et les plus fortes en fin de séquence (Figure 4).

A la station de Mbour, les moyennes séquentielles de la température minimale s'accroissent avec une valeur de 19,7 °C avant la rupture (1961-1991) à une valeur de 20,8 °C après la rupture (1992-2020) soit un écart de 1,1 °C. Elles passent de 26,8 °C avant la rupture (1961-1991) à 27,5 °C après la rupture (1992-2020) pour la température moyenne soit un écart de 0,7 °C. La hausse est aussi plus forte pour la température minimale à la station de

Mbour. Avant la rupture (1961-1991), les températures minimales et moyennes les plus importantes sont observées durant les années 1970 et 1980. Elles sont relevées en 1983 avec 20,9 °C pour la température minimale et en 1970 avec 28,1 °C pour la température moyenne. Les plus faibles valeurs sont notées en 1968 et 1971 avec une égalité de 19,1 °C pour la température minimale et en 1980 avec 26,1 °C pour la température moyenne. Après la rupture (1992-2020), les températures minimales et moyennes les plus élevées sont enregistrées respectivement en 2013 avec 22,5 °C et 2019 avec 28,6 °C. Alors que les plus faibles sont notées en 2009 (même année) avec 19,5 °C pour la température minimale et 26,6 °C pour la température moyenne (Figure 4).

Les moyennes des séries montrent que les températures (maximales, minimales et moyennes) sont plus élevées à la station de Mbour. Toutefois, s'agissant de la température minimale, la hausse enregistrée après la rupture (2006) est plus importante à la station de Thiès (Figure 4).



**Figure 4 :** Test de rupture de la température des stations de Thiès (1981-2020) et Mbour (1961-2020) ; S. DIALLO, 2022

### 3.2.2 Analyse des anomalies standardisées de la température

L'analyse des anomalies standardisées de la température maximale dans les stations de Thiès et de Mbour révèle plusieurs phases.

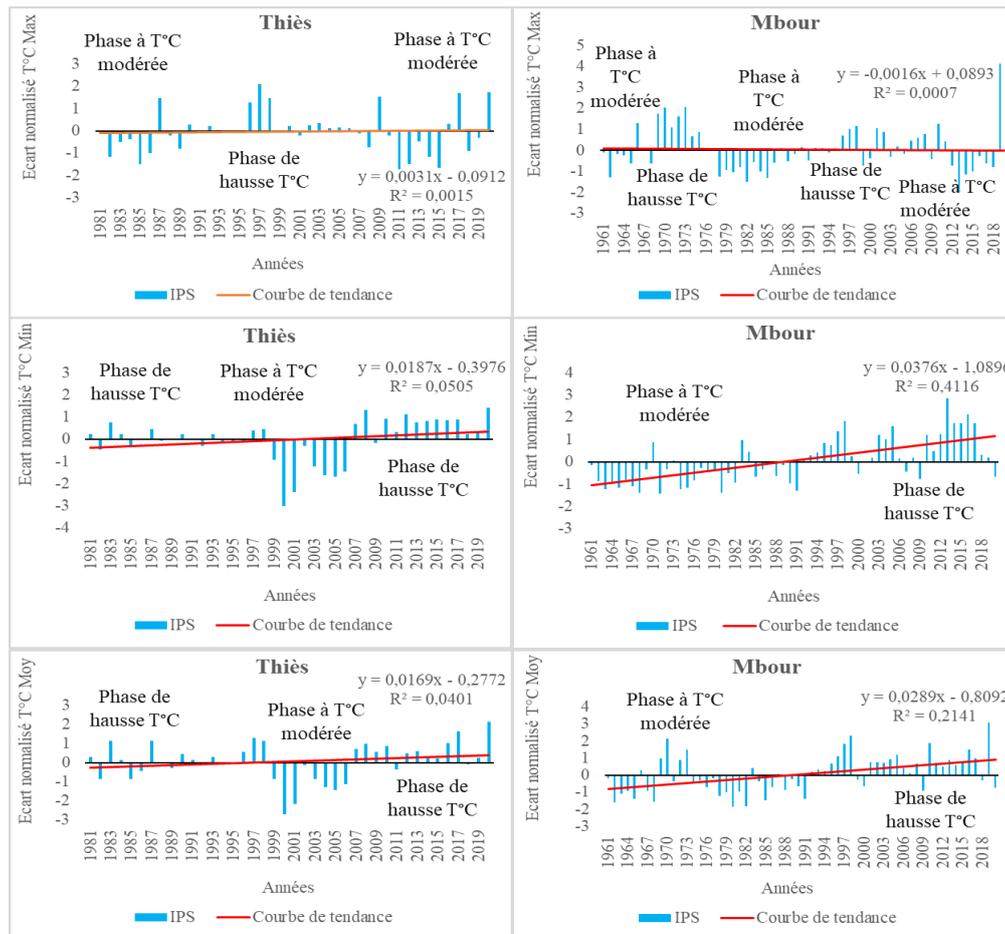
A la station de Thiès, trois phases sont relevées. La première phase est enregistrée durant les années 1980 (1981-1989) et est dominée par les années d'anomalies standardisées négatives (7 années). L'année d'anomalie négative la plus déficitaire est observée en 1985 avec -1,5. La deuxième phase est relevée du début des années 1990 jusqu'au milieu des années 2000 (1990-2006) et elle est caractérisée par les années d'anomalies positives. Elle est la plus longue et comporte 16 années d'anomalies positives. Les années d'anomalies les plus excédentaires sont notées en 1997 et 1998 avec respectivement 2,1 et 1,5. La troisième et dernière phase regroupe les années 2000 et 2010 (2007-2020) et est dominée par les années d'anomalies standardisées déficitaires (10 années). Les déficits les plus marqués sont relevés en 2011 et 2015 avec une valeur identique -1,7. A la station de Mbour, cinq phases sont observées scindées en trois phases d'anomalies négatives et deux phases d'anomalies positives. La première phase d'anomalie négative est relevée au début de la série durant les années 1960 avec 5 années déficitaires, la deuxième est enregistrée vers la fin des années 1970 jusqu'au début des années 1990 avec 12 années déficitaires et la troisième est relevée du début des années 2010 jusqu'à la fin de la série avec 8 années déficitaires. Les années d'anomalies les plus déficitaires sont observées en 1962 avec -1,3 pour la première phase, en 1982 avec -1,5 pour la deuxième phase et en 2013 avec -2 pour la troisième phase. La première phase d'anomalie positive est enregistrée vers la fin des années 1960 jusqu'à la fin des années 1970 avec 11 années excédentaires. Les années d'anomalies positives les plus excédentaires de cette phase sont observées en 1970 et 1973 avec une valeur identique 2,1. La deuxième phase d'anomalie positive est relevée du début des années 1990 jusqu'au début des années 2010 avec 14 années excédentaires. Les années d'anomalies les plus excédentaires de cette phase sont notées en 1998 et 2010 avec respectivement 1,2 et 1,3 (Figure 5).

S'agissant des anomalies standardisées de la température minimale, avant les ruptures (2006) et (1991), deux phases sont observées à la station de Thiès et une phase à la station de Mbour. A la station de Thiès, la première phase d'avant rupture est positive et elle est enregistrée durant les années 1980 (1981-1991) avec 8 années excédentaires. L'année la plus excédentaire de cette phase est notée en 1983 avec 0,8. La deuxième est négative et elle est observée du début des années 1990 jusqu'au milieu des années 2000 (année de rupture 2006) avec 12 années déficitaires. Les déficits les plus marqués sont notés en 2000 et 2001 avec respectivement -3 et -2,4. Après la rupture, une seule phase est observée à la station de Thiès et elle est positive avec 13 années excédentaires. Les années d'anomalies les plus excédentaires sont enregistrées en 2008 et 2020 avec respectivement 1,3 et 1,4. A la station de Mbour, seule deux phases sont observées sur toute la série 1961-2020. La première phase est négative et elle englobe les années 1960, 1970 et 1980 (avant la rupture) avec 26 années déficitaires. Les années d'anomalies négatives les plus déficitaires sont relevées en 1968, 1971 et 1980 avec une valeur identique -1,4. La deuxième phase est positive et elle concerne les années 1990, 2000 et 2010 (après la rupture) avec 25 années excédentaires. Les années d'anomalies positives les plus excédentaires sont notées en 2013 avec 2,9 et en 2016 avec 2,1 (Figure 5).

L'analyse des anomalies standardisées de la température moyenne révèle tout comme la température minimale trois phases à la station de Thiès. Deux sont observées avant la rupture 2006 et une après la rupture. La première phase est positive et elle englobe les

années 1980 et 1990 (1981-1998) avec 13 années excédentaires. Les années d'anomalies positives les plus excédentaires sont notées en 1983, 1987, 1998 avec des indices identiques 1,1 et 1997 avec 1,3. La deuxième phase est négative et elle est relevée vers la fin des années 1990 jusqu'à la date de rupture (1999-2006) avec 8 années déficitaires. Les années d'anomalies les plus déficitaires sont enregistrées en 2000 avec -2,7 et en 2001 avec -2,1. La troisième phase, observée après la rupture, s'étend vers la fin des années 2000 jusqu'à la fin de la série (2007-2020) avec 12 années excédentaires. Les années d'anomalies les plus excédentaires sont notées en 2017 avec 1,6 et en 2020 avec 2,1. A la station de Mbour, deux phases d'anomalies standardisées de la température moyenne sont relevées. La première phase est négative et elle est enregistrée avant la rupture 1991. Elle concerne les années 1960, 1970 et 1980 (1961-1991) avec 24 années déficitaires. Les déficits les plus marqués sont notés en 1980 et 1982 avec une égalité de -1,8. La deuxième phase est positive et elle est relevée après la rupture. Elle regroupe les années 1990, 2000 et 2010 (1992-2020) avec 24 années excédentaires. Les années d'anomalies les plus excédentaires sont enregistrées en 1998 avec 2,3 et en 2019 avec 3,1 (Figure 5).

L'analyse comparative montre que les anomalies de température maximale sont plus fortes à la station de Thiès avant les années 2000. Par contre, les décennies 2000 et 2010 sont plus chaudes à la station de Mbour. Pour les anomalies de la température minimale, de la décennie 1991-2000 jusqu'à la fin de la série, elles sont plus fortes à la station de Mbour. Concernant les anomalies de la température moyenne, elles sont aussi plus fortes à la station de Mbour à partir de la décennie 1991-2000 jusqu'à la fin de la série. Les profils des courbes de tendance justifient la hausse des anomalies de température dans le milieu d'étude (Figure 5). La pente de la droite de régression est plus forte pour les anomalies de la température minimale ( $y=0,0187x-0,3976$  à Thiès et  $y=0,0376x-1,0896$  à Mbour) et moins forte pour les anomalies de la température maximale ( $y=0,0031x-0,0912$  à Thiès et  $y=-0,0016x+0,0893$  à Mbour). A l'exception des anomalies de la température maximale, la pente de la droite de régression est plus forte à la station de Mbour ( $y=0,0376x-1,0896$  pour les anomalies de la température minimale et  $y=0,0289x-0,8092$  pour les anomalies de la température moyenne).



**Figure 5** : Anomalies standardisées de la température des stations Thiès (1981-2020) et Mbour (1961-2020) ; S. DIALLO, 2022

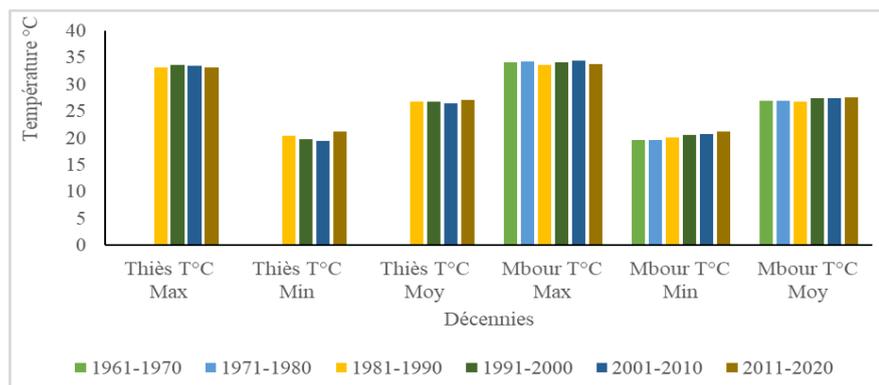
### 3.3 Impacts de la variabilité pluviométrique sur la température

Les moyennes décennales de la température maximale augmentent légèrement à la station de Thiès de la décennie 1981-1990 à la décennie 2001-2010 suivant la baisse des volumes de pluie. Elles passent de 33,1 °C à 33,4 °C soit un écart de 0,3 °C. Toutefois, entre la décennie 1991-2000 et la décennie 2001-2010, les moyennes décennales diminuent tout en restant supérieure à celles de la décennie 1981-1990. Elles varient de 33,6 °C durant la décennie 1991-2000 à 33,4 °C durant la décennie 2001-2010 soit un écart de 0,2 °C. Entre la décennie 2001-2010 et la décennie 2011-2020, les moyennes décennales chutent passant de 33,4 °C à 33,1 °C. Contrairement à la station de Thiès, les moyennes décennales de la température maximale diminuent à la station de Mbour de même que les volumes de pluie. Elles oscillent entre 34,1 °C durant la décennie 1961-1970 et 33,8 °C durant la décennie 2011-2020 soit un écart de 0,3 °C. Toutefois, la baisse n'est pas régulière. Les moyennes décennales augmentent entre la décennie 1961-1970 et la décennie 1971-1980 passant de 34,1 °C à 34,2 °C soit un écart de 0,1 °C. Entre la décennie 1971-1980 et la décennie 1981-

1990, elles baissent de 34,2 °C à 33,6 °C soit un écart de 0,6 °C. Par contre, entre la décennie 1981-1990 et la décennie 2001-2010, les moyennes décennales s'accroissent de 33,6 °C à 34,3 °C soit un écart de 0,7 °C. Entre les décennies 2001-2010 et 2011-2020, elles diminuent de 34,3 °C à 33,8 °C soit un écart de 0,5 °C. La forte hausse ou baisse des pluies entre les décennies explique en partie les fluctuations décennales de la température maximale dans les deux stations (Figure 6).

A la station de Thiès, les moyennes décennales de la température minimale et moyenne augmentent de la décennie 1981-1990 à la décennie 2011-2020 parallèlement à la baisse des cumuls pluviométriques. Elles passent de 20,3 °C à 21,2 °C soit un écart de 0,9 °C pour la température minimale et de 26,8 °C à 27,1 °C soit un écart de 0,3 °C pour la température moyenne. Toutefois, la hausse est irrégulière. Entre la décennie 1981-1990 et la décennie 2001-2010, les moyennes décennales diminuent de 20,3 °C à 19,4 °C soit un écart de 0,9 °C pour la température minimale et de 26,8 °C à 26,4 °C soit un écart de 0,4 °C pour la température moyenne. Entre la décennie 2001-2010 et la décennie 2011-2020, les moyennes décennales s'accroissent. Elles oscillent entre 19,4 °C et 21,2 °C soit un écart de 1,8 °C pour la température minimale et entre 26,4 °C et 27,1 °C soit un écart de 0,7 °C pour la température moyenne. Les écarts entre les décennies montrent que la hausse des moyennes décennales est plus forte pour la température minimale. Les cumuls pluviométriques annuels expliquent en partie la chute ou la hausse des moyennes décennales de température minimale et moyenne enregistrée entre les décennies 2001-2010 et 2011-2020 (Figure 6).

La même tendance est observée à la station de Mbour. Les moyennes décennales de la température minimale et moyenne augmentent à la station de Mbour suite à la baisse des cumuls pluviométriques. Entre la décennie 1961-1970 et la décennie 2011-2020, les moyennes décennales s'accroissent de 19,1 °C à 21,1 °C soit un écart de 1,5 °C pour la température minimale et de 26,9 °C à 27,5 °C soit un écart de 0,6 °C pour la température moyenne. Il est à noter que la baisse n'est pas régulière. Les moyennes décennales de la température minimale et moyenne se stagnent entre la décennie 1961-1970 et la décennie 1971-1980. Elles sont de 19,6 °C pour la température minimale et de 26,9 °C pour la température moyenne. Les moyennes décennales de la température minimale s'accroissent de 19,6 °C à 21,1 °C soit un écart de 1,5 °C entre la décennie 1971-1980 et la décennie 2011-2020. S'agissant de la température moyenne, elles dégringolent de 26,9 °C à 26,8 °C soit un écart de 0,1 °C entre la décennie 1971-1980 et la décennie 1981-1990. Par contre, entre la décennie 1981-1990 et la décennie 2011-2020, les moyennes décennales de la température moyenne augmentent passant de 26,8 °C à 27,5 °C soit un écart de 0,7 °C. La hausse des moyennes décennales est plus forte pour la température minimale comparée à la température moyenne (Figure 6).



**Figure 6** : Evolution décennale de la température maximale, minimale et moyenne à la station de Thiès (1981-2020) et à la station de Mbour (1961-2020) ; S. DIALLO, 2022

Les valeurs du coefficient de corrélation ( $R^2$ ) confirment la faible corrélation entre la pluviométrie et la température maximale, minimale et moyenne. Les coefficients de corrélation sont plus proches de 0 que de 1 dans les deux stations. A la station de Thiès, la corrélation est plus forte pour la température moyenne (0,0204) et moins forte pour la température maximale (0,0013). A la station de Mbour, la corrélation est plus importante pour la température maximale (0,0282) et moins importante pour la température minimale (0,0005). Les valeurs des coefficients de corrélation montrent que le cumul pluviométrique annuel enregistré impacte plus sur la température maximale et moyenne (Tableau 6).

**Tableau 6** : Comparaison des coefficients de corrélation (stations Thiès et Mbour)

$R^2$	Station Thiès	Station Mbour
Température maximale °C	0,0013	0,0282
Température minimale °C	0,0125	0,0005
Température moyenne °C	0,0204	0,0171

Source : S. DIALLO, 2022

## 4. Discussion

### 4.1 Variabilité pluviométrique

La pluviométrie a fortement varié dans le temps et dans l'espace dans le milieu d'étude. Les résultats des tests de rupture montrent une période 1961-1969 caractérisée par de fortes pluies comparées aux années suivantes. Les indices pluviométriques standardisés confirment les résultats des tests avec la dominance des années excédentaires sur les années déficitaires pendant les années 1960.

Ce caractère très pluvieux de ces années est révélé par plusieurs études. La décennie 1951-1960 est extrêmement pluvieuse (J. P. NDONG, 1995, p. 193) et la décennie 1961-1970 est aussi pluvieuse mais moins que la précédente. Selon A. NDIAYE (2009, p. 654), deux décennies pluvieuses (1951-1960 et 1961-1970) sont notées dans le régime pluviométrique dans la région de Diourbel. La séquence 1960-1967 apparaît comme étant globalement humide (D.D. BA et al., 2018, p. 63) dans la vallée du fleuve Sénégal.

A l'exception du poste de Tivaouane, les tests de rupture révèlent un changement dans l'évolution pluviométrique des sites du milieu d'étude. Les indices pluviométriques standardisés montrent, dans la même dynamique, la dominance des années déficitaires sur

les années excédentaires vers la fin des années 1960 jusqu'au début des années 2000. Cette période concerne les décennies 1971-1980, 1981-1990 et 1991-2000. Les moyennes pluviométriques ont été considérablement affectées.

Les ruptures avec une tendance à la baisse détectée à partir de l'année 1967 à la station de Thiès et 1969 à la station de Mbour confortent la plupart des ruptures observées au Sénégal et en Afrique de l'Ouest entre la fin de la décennie 1960 et le début de la décennie 1970 (P. HUBERT et J.P CARBONNEL, 1987 ; E. SERVAT et al., 1998, 1999 ; H. LAAROUBI, 2007 ; A. BODIAN, 2011, 2014 ; C. FAYE et al., 2015). L'analyse de la variabilité pluviométrique a montré l'alternance des périodes humides, normales et sèches dans le régime des précipitations caractérisé par des ruptures pendant les années 1963, 1968, 1969 et 1982. Ces différentes ruptures ont pour conséquence la baisse de la pluviométrie (M. FAYE et al., 2022, p. 2686).

Les indices pluviométriques standardisés révèlent que la décennie 2001-2010 est excédentaire à la station de Thiès et au poste de Tivaouane. Le retour des pluies n'est observé à la station de Mbour qu'à partir de la décennie 2010-2020. Un retour à des conditions pluviométriques favorables dans les années 2000 est mise en évidence. Le retour à la normale est observé après une longue période de péjoration pluviométrique (D.D. BA et al., 2018, p. 63). Dans la même dynamique, OCDE (2008, p. 60) affirme que depuis le milieu des années 1990, un retour à de meilleures conditions pluviométriques au Sahel est noté mais il s'accompagne d'une plus forte variabilité interannuelle des précipitations.

#### **4.2 Variabilité de la température**

La température (maximale, minimale et moyenne) a aussi fluctué dans l'espace et dans le temps dans le milieu d'étude. Les tests de rupture montrent un changement dans l'évolution des données de température minimale et moyenne avec une tendance à la hausse à la station de Thiès et de Mbour. Cependant, la légère hausse de la température maximale à la station de Thiès et la légère baisse à la station de Mbour ne permet pas au test de rupture de déceler un changement dans l'évolution des données. Les anomalies standardisées de la température confirment cette hausse des températures minimales et moyennes avec la dominance des phases d'anomalies excédentaires ou la dominance des années d'anomalies standardisées excédentaires. S'agissant de la température maximale, la forte variabilité des anomalies standardisées explique la légère hausse ou baisse enregistrée.

Ces résultats confirment les travaux du CEDEAO-CSAO/OCDE/CILSS (2008), cité par S. DIALLO et al., (2022, p. 17). En effet, les auteurs montrent qu'en Afrique de l'Ouest, et particulièrement dans le Sahel, les températures ont évolué quelque peu plus rapidement que la moyenne mondiale, avec des augmentations allant de 0,2 °C à 0,8 °C par décennie depuis la fin des années 1970, dans les zones sahélo-saharienne, sahélienne et soudanienne. La hausse observée est toutefois plus importante sur les températures minimales (jusqu'à plus de +1 °C) que sur les maximales (jusqu'à +0,5 °C). Les conclusions du forum du CILSS en 2012, indiquent un accroissement rapide des températures en Afrique (hausse plus importante que la moyenne mondiale), en moyenne de 0,7 °C depuis la fin des années 1970. A l'échelle mondiale, on constate une hausse des températures moyennes de l'atmosphère (en moyenne de 0,75 °C entre 1906-2005) et de l'océan (BAD/OSS.FAE, 2012, p. 9), une fonte massive de la neige et de la glace, et une élévation du niveau moyen de la mer. L'augmentation des températures a principalement concerné les océans, qui ont absorbé 84 % de la chaleur additionnée au système climatique pour une période couvrant les quatre dernières décennies (T. BARNETT et G. PENNELL, 2004 ; LEVITUS et al., 2005A ; S. LEVITUS et al., 2001, cités par G. BEAUGRAND et E. GOBERVILLE, 2010,

p. 4). Les variations interannuelles de la température de l'air montrent que la température de l'air connaît une hausse régulière sur toute la période 1961-2000 dans le bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire (A.M. KOUASSI et al., 2010, p. 24). Les températures maximales et minimales ont significativement augmenté dans le temps dans le bassin versant de l'oued Mina en Algérie (F. HALLOUZ et al., 2019, p. 91).

### **4.3 Relation entre la pluviométrie et la température**

L'analyse de la relation entre la pluviométrie et la température montre une faible corrélation entre ces variables. Les coefficients de corrélation enregistrés sont plus proches de 0 que de 1 dans les stations de Thiès et Mbour.

Les travaux du GIEC (2013, p. 20) qui prévoit des hausses de température mondiale dans l'avenir en relation avec des épisodes très pluvieux dans certaines parties de la planète concordent avec nos résultats qui révèlent une corrélation bien qu'elle soit faible. Les conclusions des travaux de Z. NOUACEUR et al., (2013, p. 318) indiquent une relation entre la pluie et la température en Mauritanie. De même J.B. NDONG (2003, p. 106) aperçoit à grande échelle une relation entre la hausse des températures et la baisse des pluies dans la région de Dakar. Aussi, les modèles climatiques du GIEC (2013, p. 23) prévoient une hausse de la température moyenne mondiale en relation avec des extrêmes de sécheresse dans le Sahel. Selon N. RIFAI et al., (2014, p. 39) pour la période 2061-2100, le scénario A2 prévoit une augmentation de la température maximale de l'air et de la température minimale pouvant atteindre environ 2,9 °C alors que les précipitations diminueront d'environ 49 %. Dans la même tendance, le scénario B2 simule une augmentation de la température maximale de l'air et la température minimale d'environ 1,8 °C et 1,6 °C respectivement et une diminution des précipitations d'environ 45 %. Aux stations de Bouaké et Dimbokro en Côte d'Ivoire, sur la période 1961-2000, (A. M. KOUASSI et al., 2010, p. 26) observent de faibles valeurs de température pendant les mois de fortes pluviométries et de fortes valeurs pendant les mois de faibles pluviométries. Les stations situées au nord de l'Australie présentent une décroissance des pluies extrêmes avec la température (J. HARDWICK, 2010, cité par N. DA SILVA, 2014, p. 3). L'analyse des stations climatiques (F. HALLOUZ et al., 2019, p. 91) montre un réchauffement qui se traduit par une hausse des nuits chaudes et des jours chauds. Par contre, les précipitations diminuent de façon graduelle dans l'ensemble du bassin versant de l'oued Mina en Algérie. Les travaux de I. DIBA et al., (2021, p. 18 et 19), révèlent une baisse de la pluie moyenne et une augmentation de la température de surface sur le Sénégal dans le futur proche (2031-2050) et lointain (2071-2090). L'important déficit de précipitation dans le centre des États-Unis en 2012 (L. LUO et al., 2017, p. 3185), qui a provoqué une grave sécheresse entre les mois de Mai et Août, s'est accompagné de fortes températures qui ont eu des impacts négatifs sur le rendement des cultures. Les travaux de R.A MADDEN et J. WILLIAMS (1978, p. 145) ont montré la relation entre la température et les précipitations. Ils ont révélé une forte anticorrélation entre les précipitations et la température maximale sur de courtes périodes pendant la saison chaude.

### **Conclusion**

La région de Thiès est caractérisée par une forte variabilité climatique. La pluviométrie et la température qui constituent les deux variables climatiques les plus étudiées pour déterminer l'évolution climatique ont connu une fluctuation dans le temps et dans l'espace.

S'agissant de la pluviométrie, le test de rupture et les IPS montrent une abondance des volumes de pluie durant les années 1960 dans les trois sites d'étude. Le cumul

pluviométrique annuel diminue fortement dans les trois sites à partir des années 1970 jusqu'aux années 2000. Les plus fortes baisses de cette période sont enregistrées durant la décennie 1981-1990 à la station de Thiès, durant la décennie 1971-1980 à la station de Mbour et durant la décennie 1991-2000 au poste de Tivaouane. A partir des années 2000 jusqu'aux fins des séries, le cumul pluviométrique augmente dans les trois sites. Cette bonne pluviométrie récente est inférieure à celle des années 1960 et le test de Pettitt ne détecte pas ce changement. Cependant, les IPS montrent une récurrence des excédents. L'analyse de la variabilité pluviométrique à travers le test de Pettitt et les IPS montre une baisse des cumuls pluviométriques annuels de la station de Mbour (sud) au poste de Tivaouane (nord).

Le test de Pettitt et les IPS révèlent une hausse de la température minimale et moyenne au niveau des sites de Thiès et Mbour. La hausse est notée dans les années 2000 à la station de Thiès et dans les années 1990 à la station de Mbour et est plus forte pour la température minimale. S'agissant de la température maximale, le test ne révèle pas de rupture. Toutefois, les IPS révèlent que la hausse est légère à la station de Thiès et la tendance est baissière à la station de Mbour. La variabilité spatiale montre que les anomalies de température maximale sont plus fortes à la station de Thiès avant les années 2000. Après les années 2000, elles sont plus chaudes à la station de Mbour. Pour la température minimale et moyenne, elles sont plus fortes à la station de Mbour à partir des années 1990.

Les valeurs du coefficient de corrélation observées montrent que l'impact de la pluviométrie sur la température est faible. L'effet de la pluviométrie sur la température est ressenti différemment sur les maximales, minimales et moyennes et dans les sites d'étude.

Il serait intéressant de faire une étude sur l'évolution des autres paramètres climatiques (humidité, vent, insolation, évaporation) dans la région de Thiès afin de voir leurs évolutions dans ce contexte de changement climatique.

## Références bibliographiques

ALI Abdou, LEBEL Thierry, AMANI Abou, 2008. Signification et usage de l'indice pluviométrique au Sahel, *Sécheresse* 2008 ; 19 (4) : 227-35. [http://portails.cilss.bf:8500/documents/secheresse\\_IPS%20\(1\).pdf](http://portails.cilss.bf:8500/documents/secheresse_IPS%20(1).pdf)

ANSD, 2019, Situation économique et sociale de la région de Thiès, Sénégal/MEFP/ANSD/SRSST, Rapport d'activités, document PDF, 187 p.

BA Djibrirou Daouda, NDIAYE Pape Malick et FAYE Cheikh, 2018, Variabilité pluviométrique et évolution de la sécheresse climatique dans vallée du fleuve Sénégal. *Revue Togolaise des Sciences*, Institut National de la Recherche Scientifique, *Revue Togolaise des sciences*, 12 (1), pp.57-73. [ffhal-02158313f](https://doi.org/10.4000/vertigo.10143).

BAD/OSS/FAE, 2012. Gestion intégrée et concertée des ressources en eau des systèmes aquifères d'Illemeden, de Taoudéni/Tanezrouft, et du fleuve Niger » GICRESAIT : Changements Climatiques en Afrique de l'Ouest et Conséquences sur les eaux souterraines, Rapport OSS-GICRESAIT n°13, 41 p.

BEAUGRAND Grégory et GOBERVILLE Eric, 2010, « Conséquences des changements climatiques en milieu océanique », *Vertigo* - la revue électronique en sciences de l'environnement [Online], Hors-série 8 | octobre 2010, Online since 22 October 2010, connection on 21 November 2022. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/10143> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.10143>.

BODIAN Ansoumana, 2011. Approche par modélisation pluie-débit de la Connaissance régionale de la ressource en eau, Application au haut bassin du Fleuve Sénégal, Thèse de doctorat unique, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 287 p.

BODIAN Ansoumana, 2014, « Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'ouest) », *Physio-Géo*, Volume 8, p. 297-312.

DA SILVA Nicolas, 2014. Relation entre les précipitations extrêmes et la température, Rapport de stage, Master OACOS/LMD/CNRS/UPMC, 18 p. [https://www.lmd.polytechnique.fr/intro//Files/2014\\_DASILVA\\_M1.pdf](https://www.lmd.polytechnique.fr/intro//Files/2014_DASILVA_M1.pdf).

DASMANE Bambara, SAWADOGO Jacques, KABORE Oumar et BILGO Ablassé, 2019, « Variabilité de certains paramètres climatiques et impacts sur la durée des périodes humides de développement végétal dans une station au centre et une autre au nord du Burkina Faso », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 19 Numéro 1 | mars 2019, mis en ligne le 05 mars 2019, consulté le 21 novembre 2022. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/24384> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.24384>.

DIALLO Souleymane, FAYE Mbagnick et NACRO Hassan Bismarck, 2022, « La variabilité pluviométrique et ses impacts sur les rendements et les surfaces cultivées dans le bassin arachidier de la région de Thiès (Sénégal) », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Regards / Terrain, mis en ligne le 05 mai 2022, URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/34710> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.34710>

DIBA Ibrahima, CAMARA Moctar, SARR Alioune Badara, BASSE Jules, SABALY Hamady Ngansou et DIEDHIOU Arona, 2021. Caractérisation des extrêmes composés de précipitation et de température au Sénégal : climat présent et futur, *Afrique SCIENCE* 18(1) (2021) 12-30. <https://www.afriquescience.net/PDF/18/1/2.pdf>

FALL Ababacar, 2014. Le Ferlo sénégalais. Approche géographique de la vulnérabilité des anthroposystèmes sahéliens, Thèse de doctorat, Université Paris-cité, 380 p.

FAYE Cheikh, SOW Amadou Abdoul et NDONG Jean Baptiste, 2015, « Étude des sécheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie de la sécheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal », *Physio-Géo*, 9, p. 17-35.

FAYE Mbagnick, TINE Dome, DIOUF Fatou, CISSAY Adam et FAYE Cheikh Sadibou, 2022, Climate change and land use dynamics in Djirnda Commune (Fatick Region - Senegal) : Remote sensing approach. *European Journal of Biology and Biotechnology*, Vol 3 | Issue 4, 7p. DOI: <http://dx.doi.org/10.24018/ejbio.2022.3.4.375>

GIEC, 2001, Bilan 2001 des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité, Rapport du Groupe de travail II du GIEC, 97 p.

GIEC, 2013, Changements climatiques 2013 : les éléments scientifiques, Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Résumé à l'intention des décideurs, 27 p.

HALLOUZ Faiza, MEDDI Mohamed, MAHE Gill, KARAHACANE Hafsa et RAHMANI Salah Eddine Ali, 2019, « Tendances des précipitations et évolution des écoulements dans un cadre de changement climatique : bassin versant de l'oued Mina en Algérie »,

- Erudit, Revue des sciences de l'eau, Volume 32, numéro 2, p. 83-204. URI : <https://id.erudit.org/iderdit/1065202ar>. DOI : <https://doi.org/10.7202/1065202ar>
- HOUGHTON Richard A. et HACKER Joseph L., 2005. Carbon flux to the Atmosphere from Land-use changes: 1850-2005, The Woods Hole Research Center, USA, 74 p.
- HUBERT Pierre et CARBONNEL Jean Pierre, 1987. « Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest », Journal of Hydrology, 95, p. 165-183.
- KOUASSI Amani Michel, KOUAME Koffi Fernand, KOFFI Yao Blaise, DJE Kouakou Blaise, PATUREL Jean Emmanuel et OULARE Sékouba, 2010. « Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire », Cybergeog: European Journal of Geography [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 513, mis en ligne le 07 décembre 2010, URL : <http://journals.openedition.org/cybergeog/23388> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeog.23388>
- LAAROUBI Halima, 2007. Étude hydrologique des bassins versants urbains de Rufisque, Thèse de 3ème cycle, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 308 p.
- LUO Lifeng, APPS Deanna, ARCAND Samuel, XU Huating, Ming Casserole, Hoerling Martin, 2017, Contribution of temperature and precipitation anomalies to the California drought during 2012-2015, Geophysical Research Letters, Advancing Earth and Space Science, p. 3184-3192. <https://doi.org/10.1002/2016GL072027>
- MADDEN Roland A. et WILLIAMS Jill, 1978. The Correlation between Temperature and Precipitation in the United States and Europe, Monthly Weather Review, Volume 106, pp. 142-147. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1978\)106<0142:TCBTAP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1978)106<0142:TCBTAP>2.0.CO;2)
- NDIAYE Aminata, 2009. La variabilité pluviométrique et conséquences environnementales dans la région de Diourbel, Annales de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines, pp. 650-661.
- NDONG Jean Baptiste, 1995. « L'évolution pluviométrique au Sénégal et les incidences de la sécheresse récente sur l'environnement », in Sahel, la grande sécheresse, Revue de géographie de Lyon, 70, 3-4, pp.193-198, [En ligne] URL : [https://www.persee.fr/doc/geoca\\_0035-113x\\_1995\\_num\\_70\\_3\\_4212](https://www.persee.fr/doc/geoca_0035-113x_1995_num_70_3_4212)
- NDONG Jean Baptiste, 2003. L'évolution climatique récente dans la région de Dakar, Annales de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, n°33/UCAD, pp. 92-108
- NOUACEUR Zeineddine, 2020, La reprise des pluies et la recrudescence des inondations en Afrique de l'Ouest sahélienne, Physio-Géo, Volume 15, p. 89-109. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.10966>
- NOUACEUR Zeineddine, TURKI Imen et LAIGNEL Benoit, 2013, Changements climatiques au Sahel : des conditions plus humides et plus chaudes en Mauritanie ? Sécheresse, 24, 85-95.
- OCDE, 2008, Rapport Afrique de l'Ouest 2007-2008, partie II : Ressources pour le Développement, 98 p.
- OMM, 2012. Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, 17 p.
- PETTITT Anthony, 1979. « A non-parametric approach to the change-point problem ». Appl.Statist., 28,126-135.

RAKOTOMALALA Ricco, 2012, Analyse de corrélation, Etude des dépendances-Variables quantitatives, Version 1.0, Université Lumière Lyon 2, 83 p. [https://gilles-hunault.leria-info.univ-angers.fr/wstat/Eda/Analyse\\_de\\_Correlation.pdf](https://gilles-hunault.leria-info.univ-angers.fr/wstat/Eda/Analyse_de_Correlation.pdf).

RIFAI Nabil, KHATTABI Abdellatif et RHAZI Laila, 2014, « Impact du changement climatique sur les températures journalières minimales et maximales et les précipitations de la région de Tanger (nord-ouest du Maroc) quantifié à partir d'une méthode de descente d'échelle statistique », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 14 Numéro 3 | Décembre 2014, mis en ligne le 28 décembre 2014, URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/15474> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.15474>

RINGARD Justine, BECKER Mélanie, SEYLER Frederique et LINGUET Laurent, 2015, Temporal and Spatial Assessment of Four Satellite Rainfall Estimates over French Guiana and North Brazil. *Remote Sensing*, 7(12) :16441–16459.

SAMBOU Pierre Corneille, 2015, Evolution climatique récente, impacts et stratégies d'adaptation des populations dans les arrondissements de Sakal et de Ndande, dans la région de Louga. Thèse de doctorat unique/Département de géographie/Faculté des Lettres et Sciences Humaines/Ecole doctorale Etude sur l'Homme et la Société, 456 p.

SERVAT Eric, PATUREL Jean Emmanuel, KOUAME Brou, TRAVAGLIO Michel, OUEDRAOGO Mahaman, BOYER Jean François, LUBES-NIEL Hélène, FRITSCH Jean Marie, MASSON Jean Marie et MARIEU Bertrand, 1998, Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. In : *Water Resources Variability in Africa during the Xxth century* (00. by E. Servat, D. Hughes, J.M. Fritsch & M. Hulme) (Proc. Abidjan'98 Conf., Abidjan, Côte d'Ivoire, November 1998),323-337. IAHS Publ. no. 252, 1998.

SERVAT Eric, PATUREL Jean Emmanuel, LUBES-NIEL Hélène, KOUAME Brou, MASSON Jean Marie, TRAVAGLIO Michel et MARIEU Bertrand, 1999, « De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne », *Revue des Sciences de l'Eau*, 12, 2, p. 363-387.

STEINBERG Jean, 2000, « L'apport de la sémiologie graphique de Jacques Bertin à la cartographie pour l'aménagement et l'urbanisme », *Cybergeo: European Journal of Geography* [En ligne], Dossiers, document 146, mis en ligne le 17 novembre 2000, consulté le 11 décembre 2022. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/497> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeo.497>.

SULTAN Benjamin, 2011, L'étude des variations et du changement climatique en Afrique de l'Ouest et ses retombées sociétales, Université Pierre et Marie Curie, France, 137 p

YANON Galiné, 2013, Risques climatique et contraintes socio-économiques : analyse de la vulnérabilité et des stratégies d'adaptation des populations rurales du Département de Bambey (SENEGAL) ; Thèse de Doctorat, Département de Géographie, Université cheikh Anta Diop de Dakar, 305 p.

YANON Galiné et NDIAYE Aminata, 2013, Diminution observée des ressources en eau, une conséquence de la variabilité climatique ? Etude basée sur une approche participative à Bambey (Sénégal), *Géo-Eco-Trop.*, 37, 1 : 149-156