



VARIABILITE DES TEMPERATURES MINIMALES ET MAXIMALES DURING QUATRE DECENNIES RECENTES DE 1970 A 2009 DANS SIX GRANDES VILLES DU MALI

VARIABILITY OF MINIMUM AND MAXIMUM TEMPERATURES DURING FOUR RECENT DECADES FROM 1970 TO 2009 IN SIX MAJOR CITIES OF MALI

| Cheick DIARRA ¹ | Mody SOW ¹ | et | Lassina DEMBELE ² |

¹. Laboratoire d'Optique | de Spectroscopie et de Sciences Atmosphériques (LOSSA) | Département d'Etudes et de Recherche (DER) de Physique | Faculté des Sciences et Techniques (FST) | Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB) | Bamako, Mali, BP : E3206 | Tél : (00223) 20 22 32 44 | Fax : (00223) 20 23 81 68 | Cél : (00223) 76 24 38 08 / 60 16 36 66 |

². Département d'Etudes et de Recherche (DER) de Physique et Chimie | Ecole Normale Supérieure (ENSup) de Bamako | Bamako, Mali, BP : E241 | Tél : (00223) 20 22 21 89 | Fax : (00223) 20 23 04 61 |

| Received | 11 March 2019 |

| Accepted 13 April 2019 |

| Published 06 May 2019 |

| ID Article | Cheick-ManuscriptRef.1-ajira110419 |

Résumé :

Introduction : Le réchauffement global du climat est une réalité au regard de l'évolution actuelle des températures observées depuis le 19^{ème} siècle. Les températures observées montrent une tendance généralité à la hausse à travers le globe. **Objective** : Notre objectif est d'étudier la variabilité de température dans 6 ville durant les quatre décennies récentes passées. **Méthodes** : Cette étude est portée sur la variabilité des températures minimales et maximales dans six grandes villes du Mali qui sont : Bamako, Kayes, Sikasso, Ségou, Mopti et Gao, durant les quatre décennies récentes : 1970-1979 ; 1980-1989 ; 1990-1999 et 2000-2009 et qui constituent la période d'étude considérée. **Résultats** : Les variations interannuelles des températures minimales et maximales présentent de faibles variabilités pour l'ensemble de ces six villes durant les quatre décennies de la période d'étude (1970-2009). Les variations interannuelles des moyennes de températures minimales sont comprises entre 19 °C et 24 °C. Celles des moyennes des températures maximales sont entre les valeurs 33 °C et 37 °C. De même, les variations des moyennes mensuelles de ces températures minimales et maximales présentent aussi de faibles variabilités durant les quatre décennies de la période d'étude considérée (1970-2009). Les valeurs des moyennes mensuelles de températures minimales oscillent au maximum entre 15 °C et 29 °C, voire 30 °C. Celles des moyennes mensuelles de températures maximales fluctuent au maximum entre 30 °C et 43 °C. **Conclusion** : Les fréquences de distribution des moyennes mensuelles des températures minimales et maximales indiquent le plus grand pourcentage pour les températures minimales est de la classe 21-25 °C pour les villes de Bamako, Kayes, Sikasso, Ségou et Mopti, et de 26-30 °C pour la ville de Gao. Celles des températures maximales indiquent que le plus grand pourcentage est de la classe 31-35 °C pour les villes de Bamako, Kayes, Sikasso, Ségou et Mopti, et de la classe 36-40 °C pour la ville de Gao.

Mots-clés : Variabilité, températures, minimales, maximales, décennies, période, villes, Mali.

Abstract:

Background: The global warming of the climate is a reality considering the current evolution of the temperatures observed since the 19th century. The observed temperatures show a general upward trend across the globe. **Objective**: Our objective is to study the temperature variability in 6 cities during the past four decades. **Methods**: This study is based on the maximal and minimal temperature variability in six big cities of Mali which are: Bamako, Kayes, Sikasso, Ségou, Mopti and Gao during some four recent decades: 1970-1979; 1980-1989; 1990-1999; and 2000-2009 which constitute the considered period of study. **Results**: The interannual variations of averages of maximal and minimal temperature present some weak variabilities of the whole of the six cities during the four recent decades of the study of period. The interannual variations of averages of minimal temperatures are between 19 °C and 24 °C. Those of maximal temperature averages are between the values 33 °C and 37 °C. Likewise, the monthly variations of averages of maximal and minimal temperatures present some weak variabilities for the whole six cities during the four decades of the study period. The monthly variations of minimal temperature averages vary at maximum between the values 15 °C and 29 °C even 30 °C. Those of the maximal temperature averages vary also at maximum between the values 30 °C and 43 °C. **Conclusion**: The distribution frequencies of maximal and minimal temperatures indicate that the bigger percentage of minimal temperatures is from the 21-25 °C class for Bamako, Kayes, Sikasso, Ségou, and Mopti cities, and for Gao city the bigger percentage is from 26-30 °C class. Those of maximal temperatures indicate that the bigger percentage is from 31-35 °C class for Bamako, Kayes, Sikasso, Ségou, and Mopti cities, and it is from 36-40 °C class for Gao city.

Keywords: Variability, temperatures, minimal, maximal, decades, period, cities, Mali.

1. INTRODUCTION

La température de l'air est un élément de l'ambiance atmosphérique. La température fluctue sans cesse à toutes les échelles de temps et d'espace. La fourchette des températures qui permettent la vie sur terre sans protection spéciale est faible, une cinquantaine de degrés, mais il est remarquable qu'elle a peu changé depuis des millions d'années. Cependant des petits changements de température moyenne, de l'ordre de quelques degrés seulement, peuvent modifier nos conditions d'adaptation aux climats. C'est une raison de la crainte actuelle des <<changements climatiques>>. Les conditions d'observations de la température sont les mêmes partout, des thermomètres à maximum et à minimum sont placés dans les abris météorologiques fermés, ventilés et installés à deux (02) mètres au-dessus d'une pelouse [1].

Le réchauffement global du climat est une réalité au regard de l'évolution actuelle des températures observées depuis le 19^{ème} siècle. Les températures observées montrent une tendance généralité à la hausse à travers le globe [2]. Les observations montrent une augmentation anormale des températures. La température moyenne mondiale à la surface s'est accrue de 0,6 °C à 1 °C. Les années 1990 ont constitué la décennie la plus chaude des cents (100) dernières années [3]. Au cours du 21^{ème} siècle, le réchauffement climatique en Afrique sera plus important qu'au niveau mondial [2]. Les prévisions estiment que d'ici 2100, les températures moyennes en Afrique auront augmenté de 2 à 6 °C. L'augmentation des températures en Afrique suit également la tendance mondiale, en cela qu'au cours du 20^{ème} siècle, elle s'est élevée à 0,7 °C avec une augmentation plus importante à la fin du siècle [3]. Les températures en Afrique de l'Ouest, et particulièrement dans le Sahel, ont évolué quelque peu rapidement que la tendance mondiale, avec une augmentation allant de 0,2 °C à 0,8 °C par décennie depuis la fin des 1970 dans les zones sahélo-saharienne, saharienne et soudanienne. La hausse observée est toute fois plus importante sur les températures minimales (jusqu'à plus de +1 °C) que sur les maximales (jusqu'à +0,5 °C) [2].

Le Mali est un vaste pays continental, situé au centre de l'Afrique de l'Ouest. Le climat y est tropical sec et constitué de quatre types : un climat désertique de type saharien, un climat sahélien, un climat soudanien et un climat soudano-guinéen. Le Mali connaît l'alternance de deux saisons qui sont une saison sèche et une saison pluvieuse (saison hivernale). La durée de la saison sèche varie de neuf (09) mois, d'octobre à juin au Nord et de six (06) ou sept (07) mois, de novembre à avril, voire mai au Sud. Elle aussi, est constituée d'une alternance de froid (novembre-février) et de chaleur (mars-mai). La saison pluvieuse (saison hivernale), encore appelée hivernage, dure environ trois (03) mois, de juillet à septembre au Nord avec des intersaisons plus ou moins marquées correspondant à des mois «ni pluvieux, ni secs». Au Sud, elle dure cinq (05) ou (06) mois, de juin à octobre dans certaines localités et de mai à octobre dans d'autres [4,5]. Depuis les années 1970, périodes de grandes sécheresses dans le Sahel, le Mali et les autres pays de la bande sahélienne, subissent une variabilité climatique se traduisant par l'alternance de périodes sèches et humides. Ce sont des séries d'années consécutives sèches ou humides. Au Mali, les périodes sèches se caractérisent par de faibles précipitations (pluies) et de hausses de température par rapport à la normale qui est estimée à la période 1961-1990 [4].

Le phénomène qui en résulte est la sécheresse, avec probablement des hausses de température par ci et par là. Les effets néfastes de cette sécheresse sont entre autre, l'insuffisance des ressources en eau, la baisse de niveau des cours d'eau, la destruction des ressources forestières, l'apparition régulière des vagues de chaleur intense, la diminution des ressources halieutiques, la dégradation des écosystèmes. Les périodes humides correspondent à de variations relatives de température, à une abondance relative des pluies pouvant provoquer des inondations qui affectent beaucoup les populations riveraines. D'autres conséquences néfastes liées aux périodes humides peuvent être les orages violents et dévastateurs, la destruction des champs de cultures, les risques d'endommagement des habitations et des infrastructures [4].

Compte tenu de tous ces enjeux, nous avons porté cette étude sur la variabilité des températures minimales et maximales dans six grandes villes du Mali durant les quatre décennies récentes, à savoir : 1970-1979 ; 1980-1989 ; 1990-1999 ; 2000-2009 et qui constituent la période d'étude. Dans cette étude, nous avons analysé les variations interannuelles, mensuelles des températures minimales et maximales, les fréquences de distribution des moyennes mensuelles de ces températures. Nous avons aussi analysé les variations interannuelles des anomalies de ces températures durant les quatre décennies de la période d'étude considérée (1970-2009).

2. Situations géographiques et climatiques du Mali

2.1. Situations géographiques : Le Mali, un pays continental de l'Afrique de l'Ouest, est situé entre les 10° et 25° de latitude Nord et entre les 4° de longitude Est et 12° de longitude Ouest. Il couvre une superficie de 1 241 238 Km². Il partage 7000 Km de frontières avec 7 pays, qui sont : le Sénégal, la Mauritanie, l'Algérie, le Niger, le Burkina Faso, la Côte-d'Ivoire et la Guinée Conakry. Sans débouché sur la mer, les distances d'accès aux ports sont : 980 Km (Port de

Conakry), 1225 Km (Port d'Abidjan), 1228 Km (Port de Dakar), 1967 Km (Port de Lomé), 1973 Km (Port de Tema), 2096 Km (Port de Cotonou), 1430 Km (Port de Nouakchott) [4].



Figure 1 : Carte de localisation géographique du Mali (Source DNM du Mali, 2007).

2.2. Situations climatiques : Le climat est tropical sec et est divisé en quatre types : un climat désertique saharien au Nord avec une pluviométrie annuelle inférieure à 200 mm, un climat sahélien au centre avec une pluviométrie annuelle comprise entre 200 mm et 600 mm et au Sud un climat soudanien avec une pluviométrie annuelle comprise entre 600 mm et 1000 mm et un climat soudano-guinéen avec une pluviométrie annuelle supérieure à 1000 mm. Les températures sont élevées. On peut noter en moyenne que la température maximale sous abri varie entre 34 et 37°C et la température minimale entre 21 et 23°C. L'humidité relative maximale oscille entre 31 et 75% et l'humidité relative minimale varie entre 11 et 38%. L'évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne annuelle varie entre 1534 et 2003 mm contre en moyenne moins de 100 à plus de 1000 mm de pluies. L'ensoleillement mensuel varie de 284,7 à 322,0 heures [4].

Les différentes problématiques climatiques au Mali se traduisent par [4,5] :

- Une décroissance régulière de la quantité de pluies et une grande variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie ;
- Des lignes de grain caractéristiques du Sahel axées du Nord au Sud sur une distance (de 500 km à 750 km) s'accompagnant souvent des vents forts et de pluies abondantes, parfois catastrophiques ;
- Un rayonnement très fort durant toute l'année avec des températures moyennes peu différenciées ;
- Une augmentation des températures du Sud-ouest vers le Nord-est avec des maximales relevées au cours de l'année pouvant atteindre ou dépasser 45°C tandis que les minimales sont rarement au-dessous de 10°C ;
- De fortes valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) en raison des températures élevées, des humidités relatives faibles et des vents forts ;
- La persistance des sécheresses à partir des années 1970 entraînant des déficits pluviométriques assez importants.

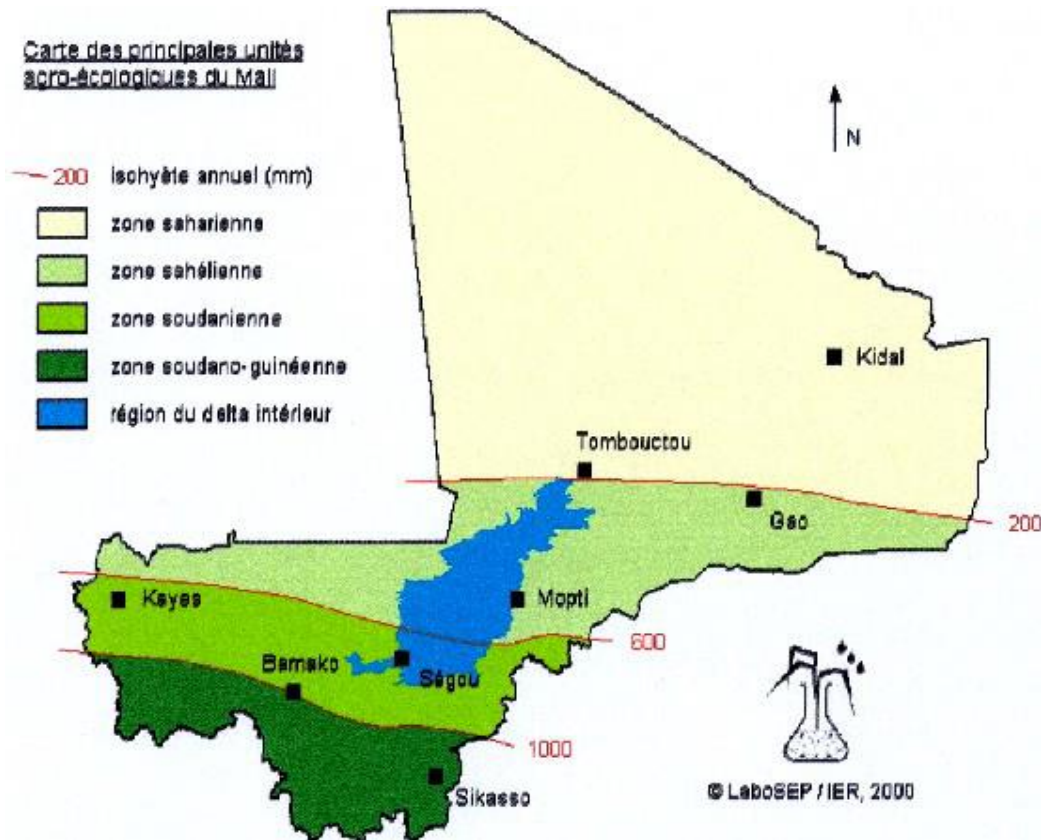


Figure 2 : Carte des zones éco-climatiques du Mali (Source DNM du Mali, 2006 et 2007).

3. METHODOLOGIE DES DONNEES

Les données utilisées dans cette étude sont des températures maximales et des températures minimales enregistrées dans six stations météorologiques principales du pays. Elles sont toutes deux exprimées en degré Celsius (°C) durant les quatre décennies : 1970-1979 ; 1980-1989 ; 1990-1999 ; 2000-2009. Rappelons que ces stations météorologiques sont les principales stations du pays et correspondent respectivement aux six centres urbains qui sont : Bamako, Kayes, Sikasso, Ségou, Mopti et Gao.

Pour cette partie de notre étude, nous avons procédé par les analyses statistiques des données. Nous avons considéré les moyennes mensuelles des températures minimales et des températures maximales, mesurées sous abris météorologiques durant les quatre décennies (de 1970 à 2009), puis nous avons déterminé les moyennes annuelles de ces températures. Nous avons observé leurs variations interannuelles et mensuelles durant les quatre décennies (de 1970 à 2009). Après, nous avons analysé les fréquences de distributions des moyennes mensuelles de ces températures (températures minimales et maximales) durant les quatre décennies considérées. Nous avons déterminé et analysé les anomalies des moyennes annuelles de températures minimales et maximales durant l'ensemble de la période d'étude considérée. Enfin, nous avons dressé des tableaux récapitulatifs des données de température sur les quatre périodes décennales de ces six grands centres urbains du pays.

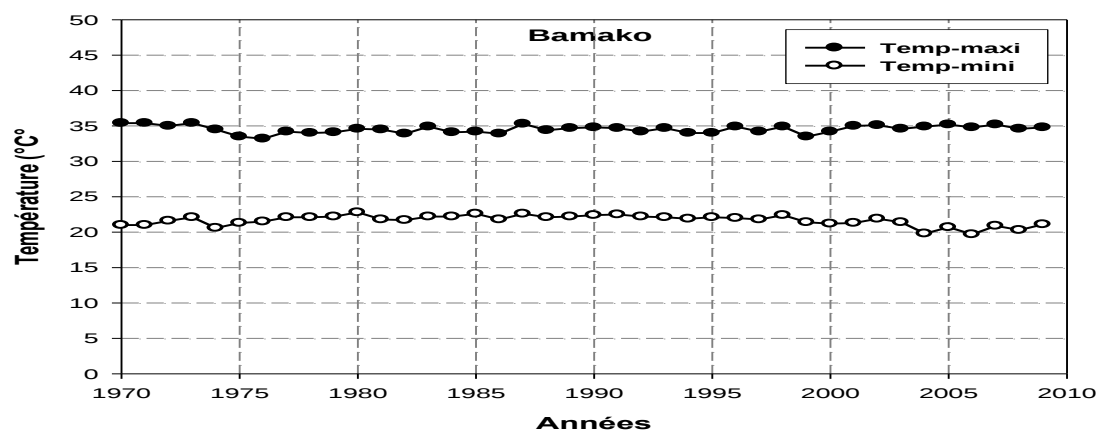
4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Variations interannuelles des températures minimales et maximales

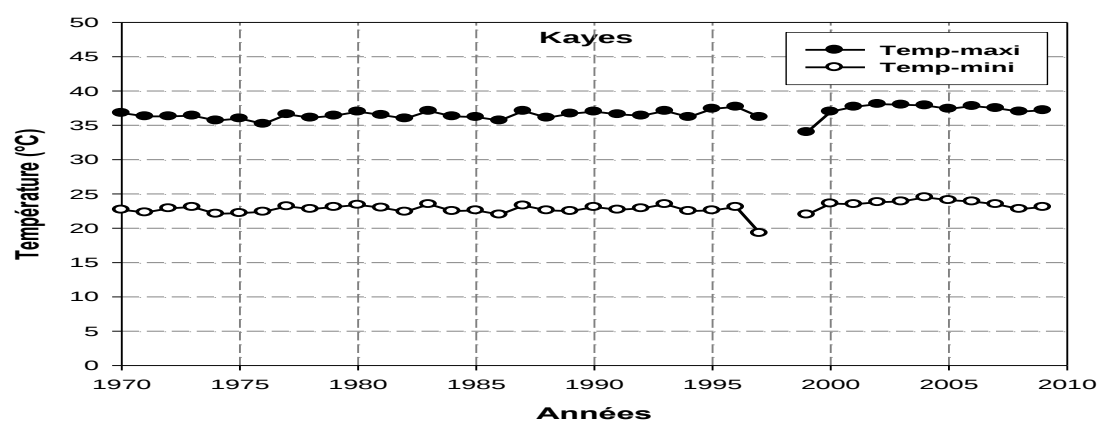
Les variations interannuelles des températures minimales et des températures maximales pour l'ensemble des six centres urbains durant les quatre décennies considérées sont représentées sur la figure 1 ci-dessous. Les variations interannuelles présentent de faibles variabilités d'une année à une autre pour l'ensemble des six centres urbains durant les quatre décennies considérées de 1970 à 2009.

Pour Bamako, les moyennes annuelles des températures minimales et maximales de la température varient respectivement d'environ 19°C à 23°C et d'environ de 33°C à 35,5°C. Pour Kayes Les moyennes annuelles des températures minimales et maximales fluctuent respectivement entre environ 19°C et 24°C et environ 35°C à 38°C. Pour Sikasso, les moyennes annuelles des températures minimales et maximales varient respectivement d'environ 19°C à 22°C

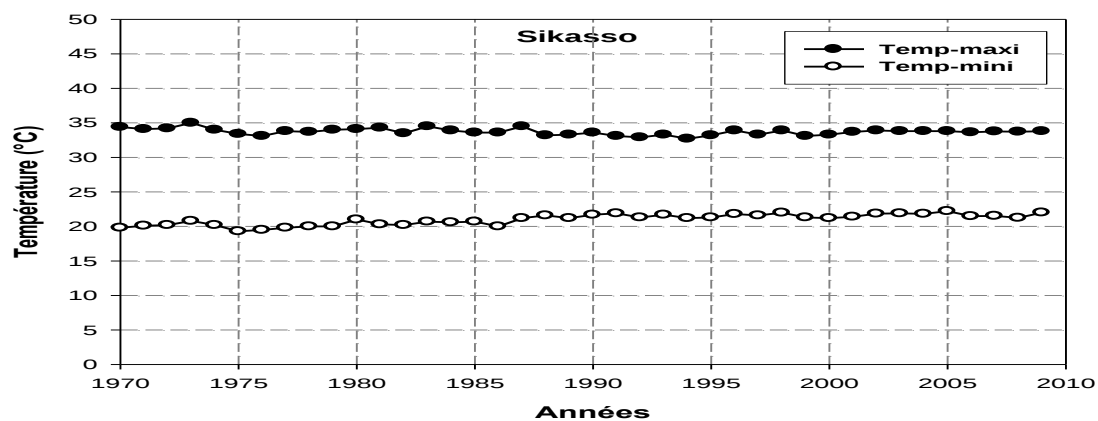
et d'environ 33°C à 35°C. Pour Ségou, les moyennes annuelles des températures minimales et maximales varient respectivement d'environ 33,5°C à 37°C. Pour Mopti, les moyennes annuelles des températures minimales et maximales varient respectivement environ 19°C et 23°C et environ entre 34°C et 37°C. Pour Gao, les moyennes annuelles des températures minimales et maximales fluctuent respectivement entre 21°C et 24°C.



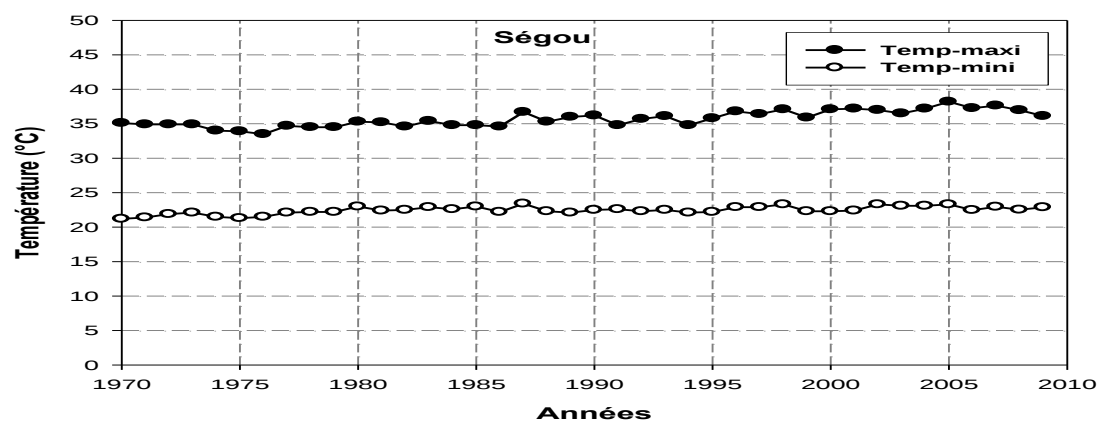
(a)



(b)



(c)



(d)

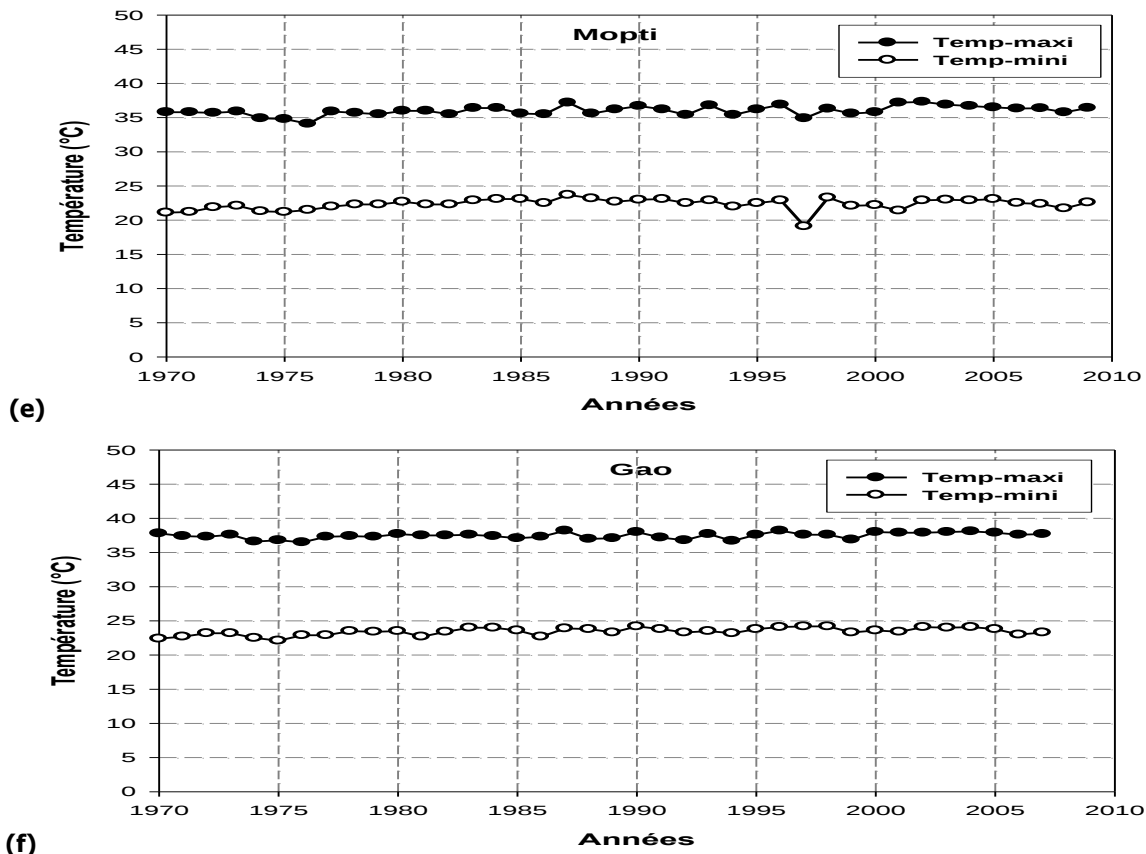


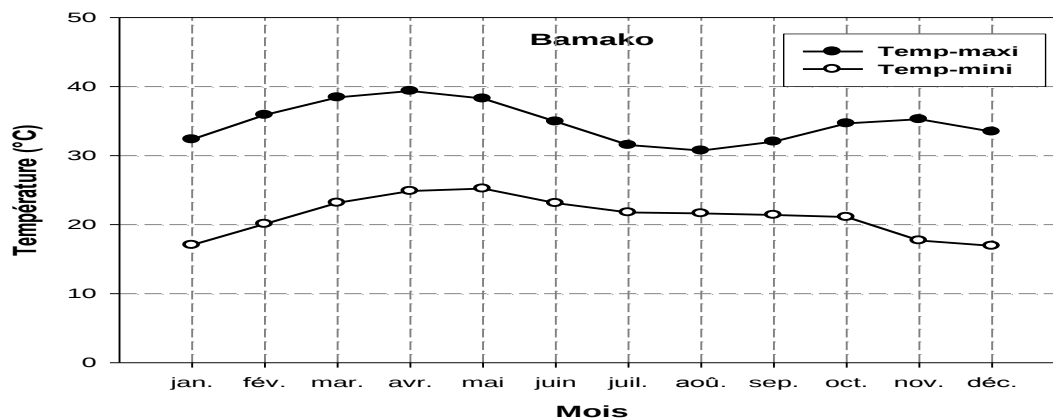
Figure 1 : Variations interannuelles des températures minimales et maximales enregistrées dans les six villes considérées durant les quatre décennies de la période d'étude (1970-2009).

4.2. Variations mensuelles des températures minimales et maximales

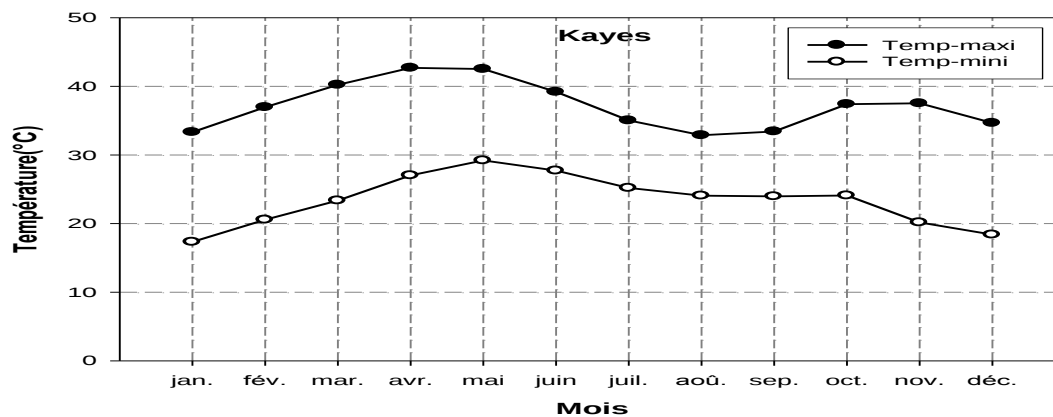
Les variations des moyennes mensuelles des températures minimales et des maximales pour l'ensemble des six centres urbains durant les quatre décennies (1970-2009) sont représentées sur la figure 2 ci-dessous. Leurs variations présentent aussi de faibles variabilités de mois en mois durant les quatre décennies considérées (de 1970 à 2009).

Pour Bamako, les moyennes mensuelles des températures minimales varient d'environ 17°C à 25°C. Les mois de janvier, de novembre et de décembre correspondent aux valeurs plus faibles des températures minimales (17°C). Les mois d'avril et de mai correspondent aux valeurs plus élevées des températures minimales (25°C). Les moyennes mensuelles des températures maximales fluctuent d'environ 30°C à 39°C. Les mois de janvier, de juillet, d'août et de septembre correspondent aux températures maximales les moins élevées, avec le mois d'août, ayant la valeur la plus faible (30°C). Les mois de mars, d'avril et de mai correspondent aux températures maximales plus élevées avec le mois d'avril ayant la plus grande valeur (39°C). Pour Kayes, les moyennes mensuelles des températures minimales fluctuent environ entre 17°C et 27°C. Les mois de janvier, de février, de novembre et de décembre correspondent aux températures minimales les plus faibles, avec les mois de janvier ayant la plus faible valeur (17°C). Les mois d'avril, de mai et de juin correspondent aux températures minimales les plus élevées avec le mois de mai qui a la plus grande valeur (30°C). Les moyennes mensuelles des températures maximales varient environ entre 32°C et 42°C. Le mois de janvier, de juillet, d'août et de septembre avec le mois d'août possédant la petite valeur (32°C). Les mois de mars, d'avril, de mai et de juin correspondent aux températures maximales les plus élevées avec les mois d'avril et de mai ayant la plus grande (42°C). Pour Sikasso, les moyennes mensuelles des températures minimales varient environ entre 16°C et 25°C. Les mois de janvier, de février, de novembre et de décembre sont des mois de faibles valeurs des températures maximales avec les mois de janvier et de décembre correspondant aux plus faibles valeurs (16°C). Par contre, les mois de mars, d'avril, de mai et d'octobre qui correspondent aux températures minimales les plus élevées, avec le mois d'avril qui a la température minimale un peu plus élevée que les autres. Les moyennes mensuelles des maximales de la température varient d'environ 29°C à 37°C. Les mois de janvier, de juillet, d'août et de septembre correspondent aux mois ayant les températures maximales les moins élevées avec encore le mois d'août ayant la température maximale la plus faible (30°C). Les autres mois correspondent aux températures maximales les plus élevées, avec les mois de mars et de novembre possédant la plus grande des températures maximales (37°C). Pour la station de Ségou, les moyennes mensuelles des températures minimales varient d'environ 17°C à 27°C. Les mois de janvier, de février, de novembre et de décembre présentent des

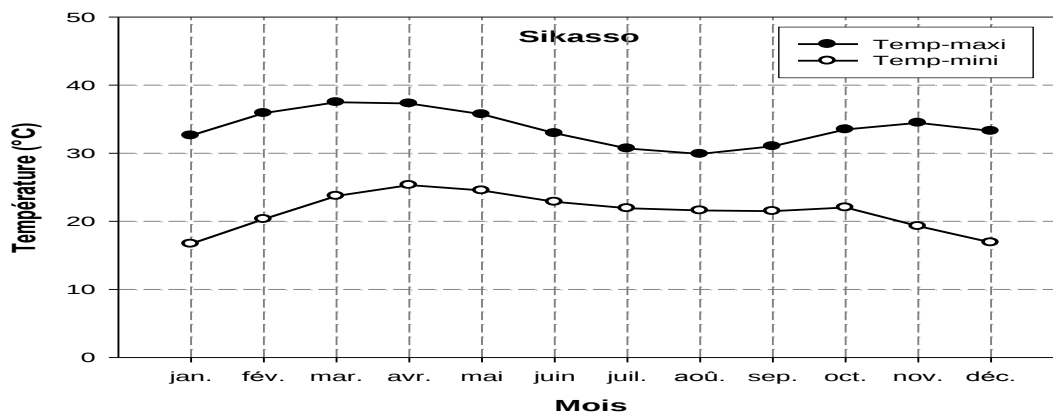
températures minimales les moins élevées avec les mois de janvier et de décembre correspondant la plus petite valeur (17°C). Les autres mois présentent des températures minimales les plus élevées, surtout les mois d'avril, de mai et de juin avec le mois de mai ayant la plus élevée (27°C). Les moyennes mensuelles des températures maximales varient environ 32°C à 41°C . Les mois de janvier, de juillet, d'août, de septembre et de décembre présentent des températures maximales les moins élevées, avec encore le mois d'août (32°C). Les autres mois ont des températures maximales les plus élevées, surtout avec les mois d'avril, de mai (41°C). Pour Mopti, les moyennes mensuelles des températures minimales varient environ entre 15°C et 27°C . Les mois de janvier, d'août et de décembre présentent des minimales de température les moins élevées avec encore le mois d'août ayant la plus faible. Les autres mois d'avril, de mai et d'octobre (41°C). Les moyennes mensuelles des températures maximales 30°C à 40°C . Les mois de janvier, de février et de décembre correspondent aux minimas de température, les moins élevées surtout les mois de janvier et de décembre (30°C). Pour Gao, les moyennes mensuelles des températures minimales fluctuent à peu près de $15,5^{\circ}\text{C}$ à $29,5^{\circ}\text{C}$. Les mois de janvier, de février, de mars de novembre et de décembre, avec les mois de janvier et de décembre possédant aux températures minimales les moins élevées ($15,5^{\circ}\text{C}$). Les autres mois ont des températures minimales surtout les mois d'avril et de mai ($15,5^{\circ}\text{C}$). Les moyennes mensuelles des températures maximales varient d'environ $30,5^{\circ}\text{C}$ à 43°C . Les mois de janvier, de février, de novembre et de décembre présentent des températures minimales les moins élevées. Les autres mois correspondant aux températures minimales les plus élevée avec les mois de mai et de juin ayant les plus élevées (43°C).



(a)



(b)



(c)

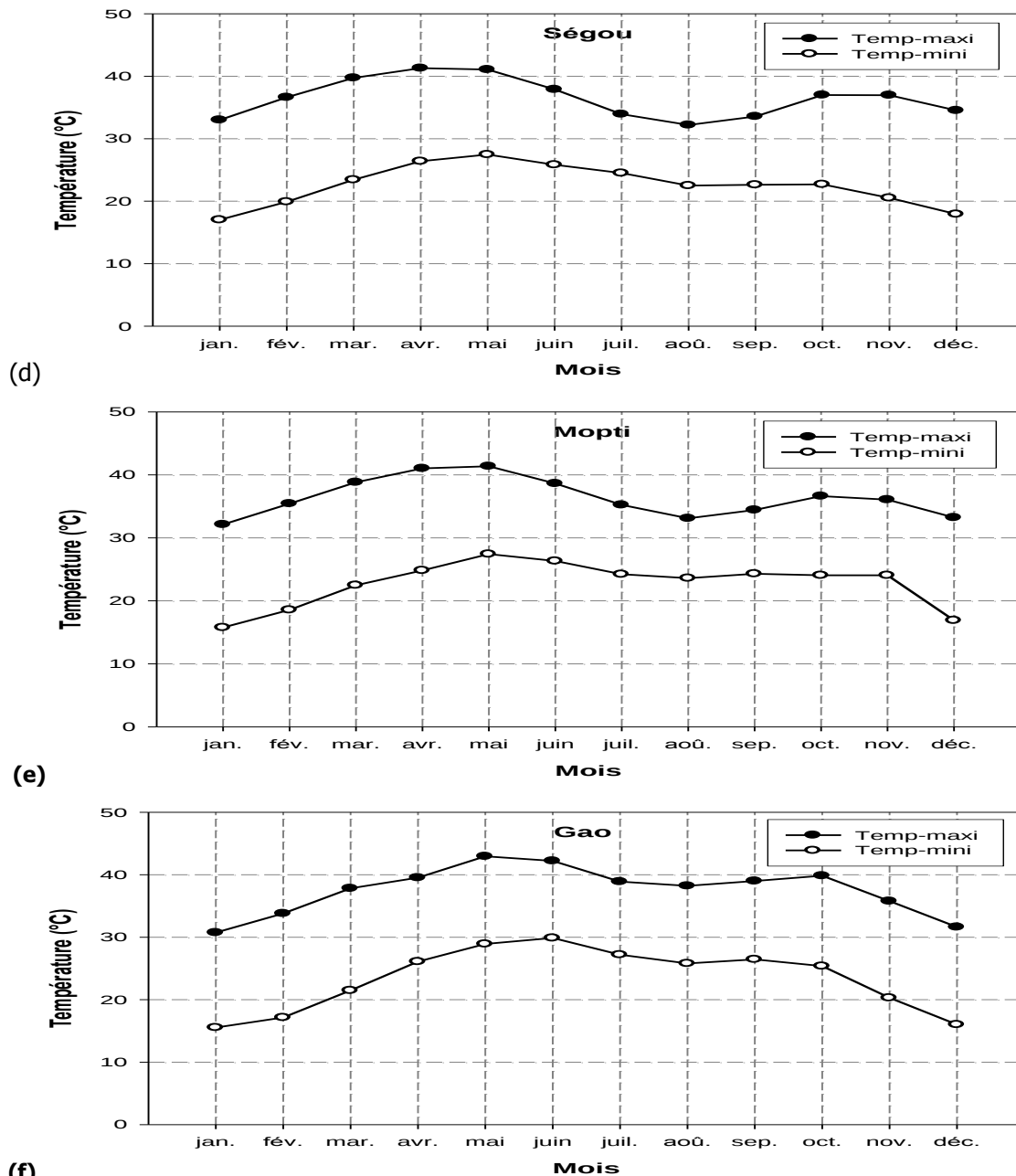


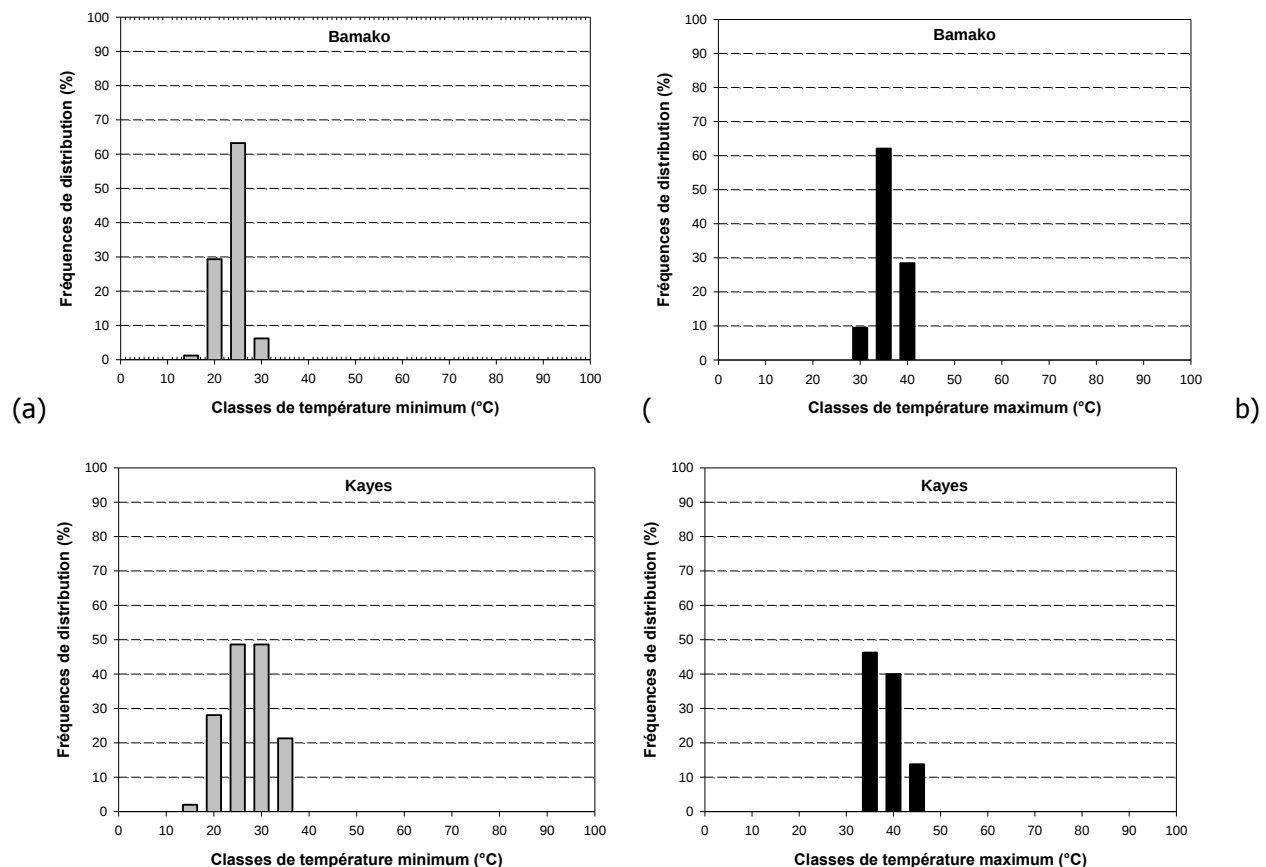
Figure 2 : Variations mensuelles des moyennes des températures minimales et des maximales enregistrées dans les six villes considérées durant les quatre décennies de la période d'étude (1970-2009).

4.3. Fréquences de distribution des températures

Les fréquences de distribution des moyennes mensuelles des températures minimales et maximales sont représentées sur la figure 3 ci-dessous.

Pour Bamako, les températures minimales et les températures maximales sont distribuées suivant différentes classes de température durant les quatre décennies considérées. Environ 1,5% des températures minimales sont de classe de 11-15 ; 29% des températures minimales sont de classe 16-20 ; 63% des températures minimales sont de classe 21-25 ; 6% des températures minimales sont de classe 26-30 ; 9,5% des températures maximales sont de classe 26-30 ; 62% des températures maximales sont de classe 31-35 ; 28% des maxima sont de classe 36-40. Pour Kayes, les températures minimales et les maximales durant les quatre décennies considérées sont distribuées suivant différentes classes de température (en °C). Environ 2% des températures minimales sont de classe 11-15 ; 28% des températures minimales sont de classe 16-20 ; 48,5% des températures minimales sont de classe 21-25 ; 21% des températures minimales sont de classe 26-30. Environ 46% des températures maximales sont de classe 31-35, 40% ; des températures maximales

sont de classe 36-40 ; 14% sont de classe 41-45. Pour Sikasso, les températures minimales et maximales sont distribuées différentes classes de température ($^{\circ}\text{C}$) durant les quatre décennies considérées. Environ 9% des températures minimales sont de classe 11-15 ; 26,5% des minima sont de classe 16-20 ; 64,5% des températures minimales sont de classe 21-25. Environ 16,5% des températures maximales sont de classe 26-30 ; 62% des maximales sont de classe 31-35 ; 21,5% des températures maximales sont de classe 36-40. Pour Ségou, les températures minimales ou maximales sont distribuées suivant différentes classes de température durant les quatre décennies considérées. Environ 2% des températures minimales sont de classe 11-15 ; 29,5% des températures minimales sont de classe 16-20 ; 5% des températures minimales sont distribuée à la classe 21-25 ; 20% des températures minimales sont de classe 26-30 ; Environ 3,5% des températures maximales sont de classe 26-30 ; 49% des températures maximales sont de classe 31-35 ; 42% des températures maximales sont de classe 36-40 ; 4,5% de températures maximales sont de classe 41-45. Pour Mopti, les températures minimales et maximales sont distribuées suivant différentes classes de température ($^{\circ}\text{C}$). Environ 7,5% des températures minimales sont de classe 11-15 ; 24,4% des températures minimales sont de classe 16-20 ; 50,5% des températures minimales sont de classe 21-25 ; 17,5% des minima sont de classe 26-30. Environ 5,5% des températures maximales appartiennent à la classe 26-30 ; 48% des températures maximales sont de classe 31-35 ; 38,5% des températures maximales appartiennent à la classe 36-40. Pour Gao, les températures minimales et maximales sont distribuées suivant différentes classes de température ($^{\circ}\text{C}$). Environ 9,5% des températures minimales sont à la classe 11-15 ; 23% des températures minimales appartiennent à la classe 16-20 ; 21,5% des températures minimales sont de la classe 21-25 ; 44,5% des températures minimales appartiennent à la classe 26-30 ; 1% des températures minimales sont de la classe 31-35. Environ 7,5% des températures maximales sont de la classe 26-30 ; 24% des températures maximales appartiennent à la classe 31-35 ; 48,5% des températures maximales sont de classe 36-40 ; 20% des températures maximales appartiennent à la classe 41-45.



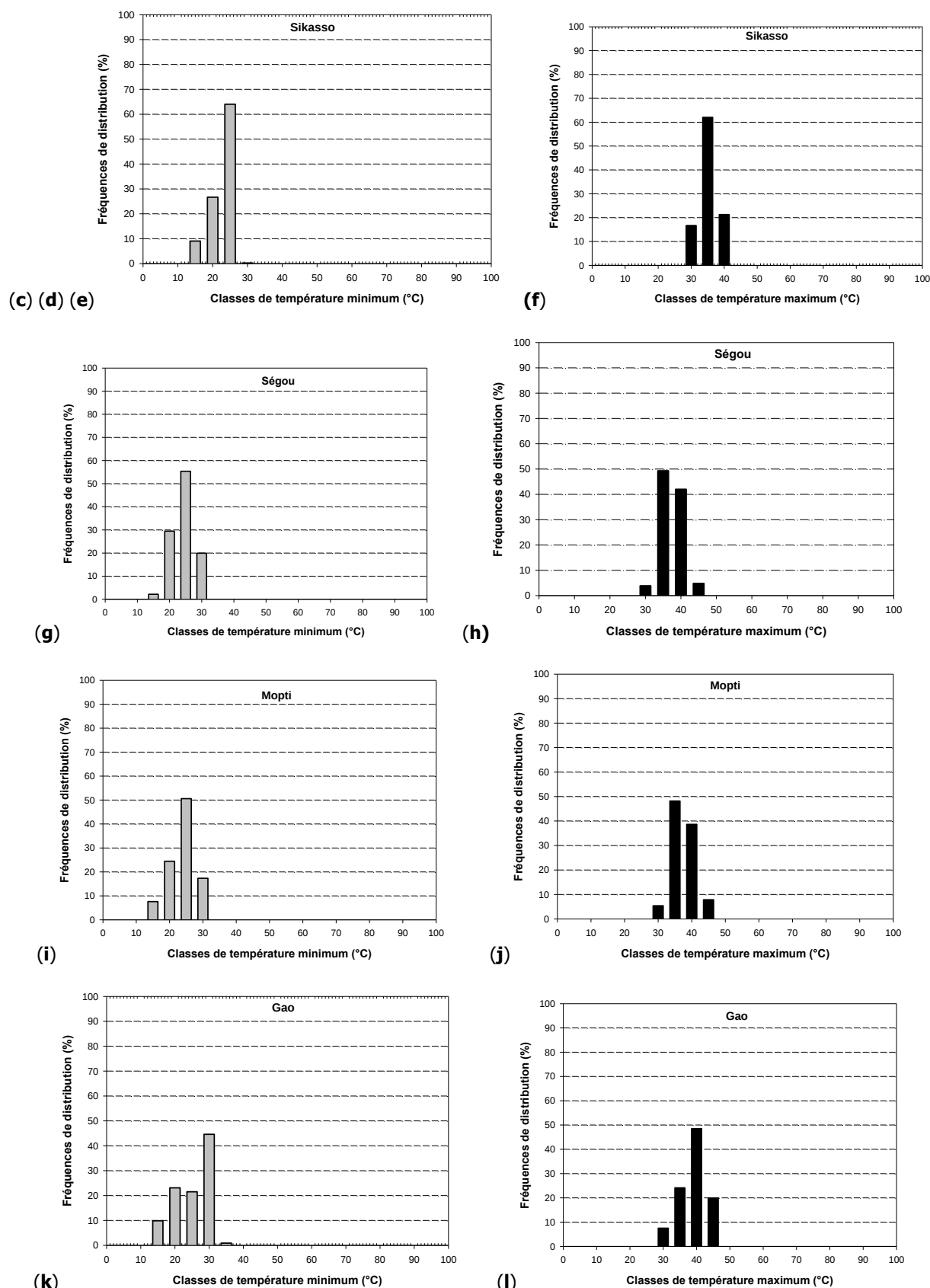


Figure 3 : Fréquences de distribution des moyennes mensuelles des températures minimales et maximales enregistrées dans les six villes considérées durant les quatre décennies de la période d'étude (1970-2009).

4.4. Anomalies des températures

Les anomalies des moyennes annuelles de températures minimales et maximales pour les six villes considérées, Bamako, Kayes, Sikasso, Ségou, Mopti et Gao, ont été déterminées par le calcul de l'écart entre la valeur annuelle de température minimale (ou température maximale) de chaque année des quatre décennies de la période d'étude et la moyenne des valeurs annuelles des températures minimales (ou températures maximales) sur l'ensemble des années (40 ans, soit quatre décennies) constituant les quatre décennies de la période d'étude (1970-2009). Soit : Anomalies des moyennes annuelles de températures minimales = $(T_{\text{mini,annuelle}} - T_{\text{mini, moyenne}})/s$. De formule similaire est appliquée pour les anomalies des moyennes annuelles de températures maximales. Soit : Anomalies des moyennes annuelles de températures maximales = $(T_{\text{maxi,annuelle}} - T_{\text{maxi, moyenne}})/s$. Dans les deux cas, s est l'écart-type des températures sur l'ensemble des quatre décennies d'étude.

Les variations interannuelles des anomalies des moyennes annuelles de températures minimales et maximales sont représentées sur la figure 5 ci-dessous. Ces anomalies présentent de faibles tendances positives et négatives par rapport à la normale.

Pour la ville de Bamako, les anomalies de températures minimales indiquent une faible tendance négative par rapport à la normale de 1970 à 1976, avec de valeurs comprises entre -0,60 °C et -0,10 °C. Sauf en 1973, l'anomalie est positive et égale à la valeur 0,50 °C. De 1977 à 1998, les anomalies de températures minimales indiquent une tendance positive par rapport à la normale, avec de valeurs comprises entre 0,20 °C et 1,20 °C. De 1999 à 2009, les anomalies de températures minimales indiquent une faible tendance négative par rapport à la normale. Sauf en 2002 où l'anomalie est positive et égale à 0,30 °C. De même, les anomalies de températures maximales pour Bamako, présentent une tendance positive de 1970 à 1973 par rapport à la normale, avec de valeurs respectives 0,70 °C, 0,70 °C, 0,30 °C et 0,70 °C. De 1974 à 1988, les anomalies de températures maximales indiquent une tendance négative par rapport à la normale, avec de valeurs comprises entre -1,50 °C et -0,10 °C. Sauf les années 1983, 1987, où les anomalies sont positives égales respectivement à 0,20 °C et 0,60 °C. De 1990 à 2009, ces anomalies présentent de valeurs positives et de valeurs négatives par rapport à la normale, comprises entre -1,20 °C et 0,50 °C. Les années 1989, 1991 et 1993 où les anomalies sont nulles, donc ces sont considérées comme années normales.

Pour la ville de Kayes, les anomalies de températures minimales indiquent une tendance négative par rapport à la normale de 1970 à 1999, avec de valeurs comprises entre -4,10 °C et -0,10 °C. Mais l'année où l'anomalie est nulle, est supposée une année normale. De 2000 à 2005, ces anomalies indiquent une tendance positive de valeurs comprises entre 0,10 °C et 1,10 °C. De 2006 à 2009, elles indiquent une tendance négative de valeurs respectives -0,60 °C, -0,30 °C et -0,50 °C. Sauf en 2007, l'anomalie est positive et égale à 1,20 °C. De même, les anomalies de températures maximales pour Kayes, présentent de 1970 à 1999, une tendance négative par rapport à la normale, de valeurs comprises entre -2,00 °C et -0,10 °C. Sauf les années 1995 et 1996, les anomalies sont positives et de valeurs respectives 0,20 °C et 0,50 °C. De 2001 et 2007, les anomalies de températures maximales présentent une tendance positive par rapport à la normale de valeurs comprises entre 0,20 °C et 0,90 °C. En 2008, l'anomalie est négative et égale à -0,20 °C et elle est nulle en 2009 qui est supposée dans ce cas comme une année normale.

Pour la ville de Sikasso, les anomalies de températures minimales présentent une tendance négative par rapport à la normale, de valeurs comprises entre -2,10 °C et -0,20 °C. Sauf en 1973 et 1998 où les anomalies sont positives, de valeurs respectivement égales à 0,60 °C et 0,20 °C. De 1990 à 2009, les anomalies de températures minimales présentent une tendance positive par rapport à la normale, de valeurs comprises entre 0,10 °C et 0,80 °C. Sauf en 1992, 1994, 1995, 1999, 2000, et 2008 où les anomalies sont négatives et égales soit à -0,10 °C ou soit -0,20 °C. L'année 2001 correspond à une année normale, année d'anomalie nulle. Les anomalies de températures maximales présentent simultanément des tendances négative et positive par rapport à la normale. De 1970 à 1974, les anomalies sont positives de valeurs comprises entre 0,30 °C et 2,70 °C. De 1975 à 1987 les anomalies de températures maximales présentent à la fois des valeurs positives et négatives, et sont comprises entre -0,60 °C et 0,80 °C. De 1988 à 2000, les anomalies de températures maximales présentent une tendance négative par rapport à la normale, de valeurs comprises entre -1,00 °C à -0,10 °C. Sauf en 1996 et en 1998, les anomalies sont positives et égales à la valeur 0,20 °C. De 2001 à 2009, les anomalies de températures maximales présentent une tendance positive par rapport à la normale, de valeurs dont certaines sont égales à 0,10 °C et d'autres égales à 0,20 °C. Mais les années 2001 et 2008 correspondent à des années normales (anomalies nulles). L'année 2006 a une tendance négative et égale à -0,10 °C.

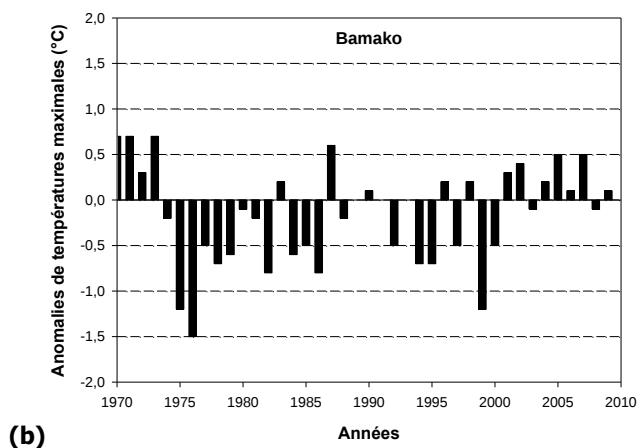
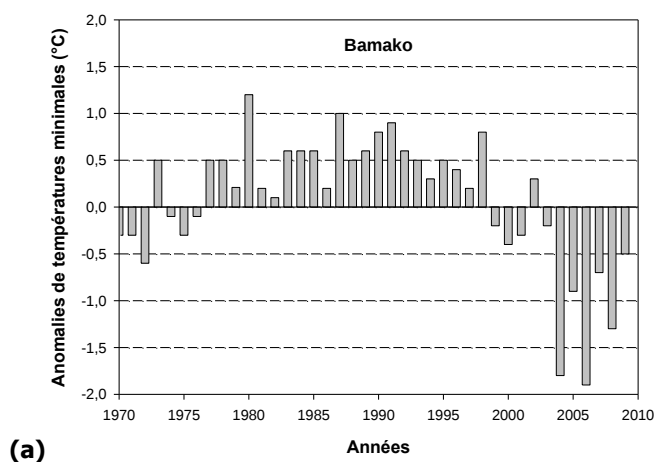
Pour la ville de Ségou, de 1970 à 1979, les anomalies de températures minimales présentent une tendance négative par rapport à la normale, avec des valeurs entre -1,50 °C et -0,50 °C. De 1980 à 1995, elles présentent encore une tendance négative par rapport à la normale, avec des valeurs entre -0,60 °C et -0,10 °C. Sauf les années 1980, 1983, 1985 et 1987, les anomalies de températures minimales sont positives et égales aux valeurs respectives 0,30 °C, 0,20 °C, 0,30 °C et 0,70 °C. De 1996 à 2009, les anomalies de températures minimales présentent à la fois des valeurs positives et négatives par rapport à la normale et comprises entre -0,40 °C à 0,60 °C. Les anomalies de températures maximales pour Ségou,

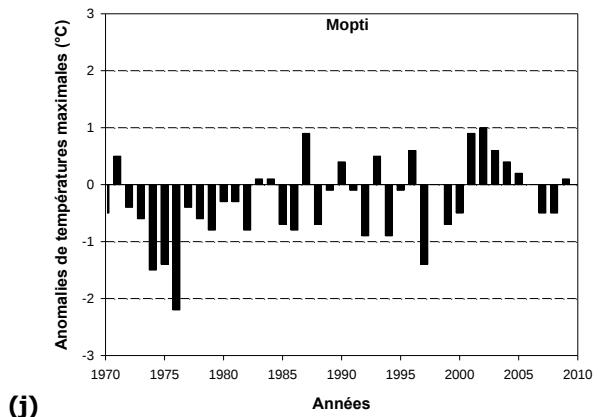
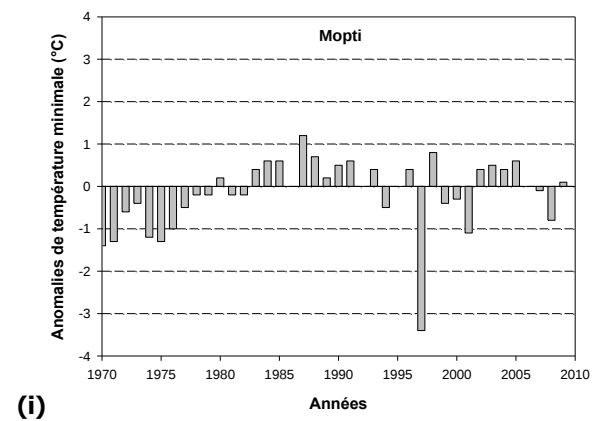
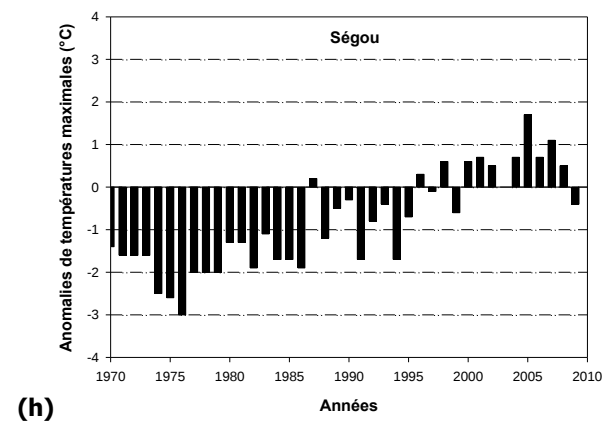
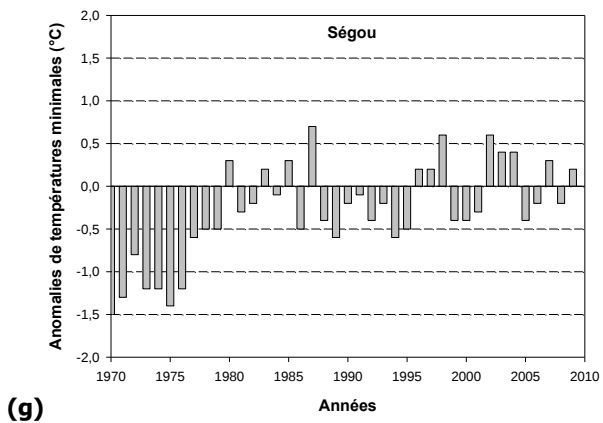
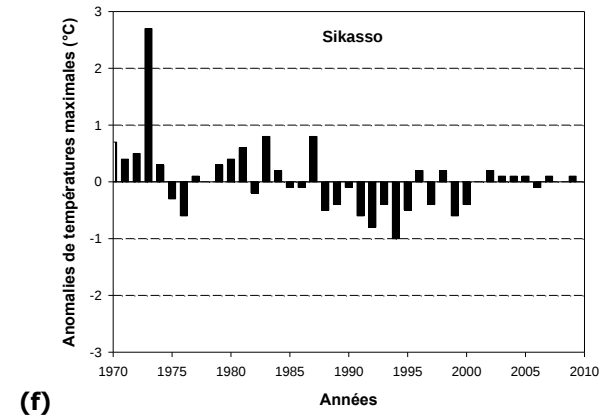
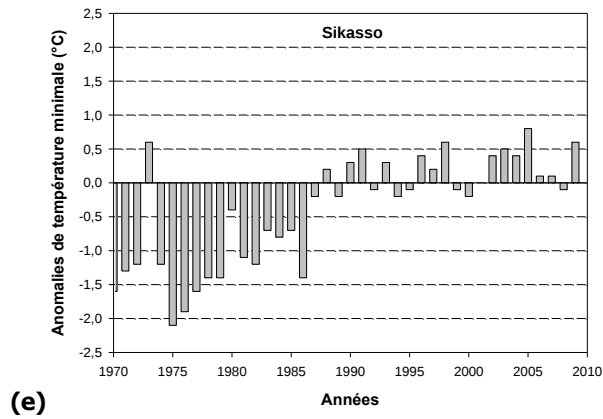
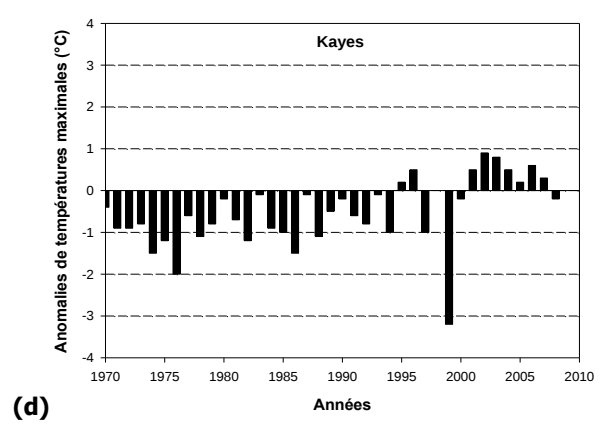
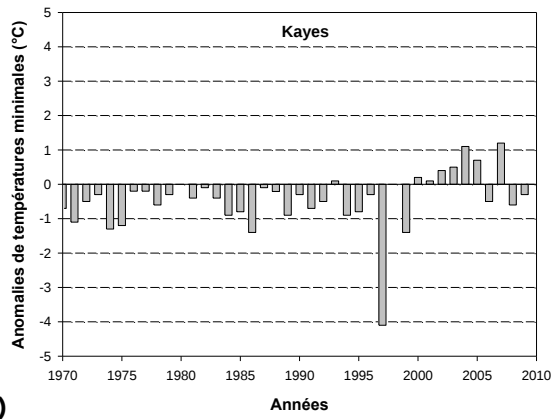
présentent une tendance négative par rapport à la normale de 1970 à 1995, avec des valeurs comprises entre $-3,00^{\circ}\text{C}$ et $-0,30^{\circ}\text{C}$. Sauf l'année 1987, où l'anomalie est positive et égale à $0,20^{\circ}\text{C}$. De 1996 à 2009, les anomalies de températures maximales présentent une tendance positive par rapport à la normale, de valeurs comprises entre $0,30^{\circ}\text{C}$ et $1,70^{\circ}\text{C}$. Sauf les années 1997, 1999 et 2009 sont négatives et égales respectivement à $-0,10^{\circ}\text{C}$, $-0,60^{\circ}\text{C}$ et $-0,40^{\circ}\text{C}$. L'année 2003 correspond à une année normale (année d'anomalie nulle).

Pour la ville de Mopti, les anomalies de températures minimales présentent une tendance négative par rapport à la normale de 1970 à 1989, de valeurs comprises entre $-1,40^{\circ}\text{C}$ et $-0,20^{\circ}\text{C}$. Sauf en 1980, l'anomalie est positive et égale à $0,20^{\circ}\text{C}$. De 1983 à 1993, les anomalies de températures minimales présentent une tendance positive par rapport à la normale, de valeurs comprises entre $0,20^{\circ}\text{C}$ et $1,20^{\circ}\text{C}$. L'année 2006 ayant une anomalie nulle, est supposée une année normale. De 1994 à 2009, les anomalies présentent à la fois de valeurs négatives et positives comprises entre $-3,40^{\circ}\text{C}$ à $0,80^{\circ}\text{C}$. Les années 1995 et 2006 correspondent à des années normales, années où les anomalies sont nulles. Les anomalies de températures maximales pour Mopti présentent une tendance négative de 1970 à 1982 par rapport à la normale, de valeurs comprises entre $-2,20^{\circ}\text{C}$ à $-0,30^{\circ}\text{C}$. De 1983 à 2009, les anomalies de températures maximales présentent à la fois de valeurs positives et négatives par rapport à la normale, de valeurs comprises entre $-1,40^{\circ}\text{C}$ et $1,00^{\circ}\text{C}$. L'année 2006 correspond à une année normale (année d'anomalie nulle).

Pour la ville de Gao, les anomalies de températures minimales présentent une tendance négative de 1970 et 1982 par rapport à la normale, de valeurs comprises entre $-1,50^{\circ}\text{C}$ et $-0,10^{\circ}\text{C}$. Sauf en 1981, l'anomalie est positive et égale à $0,10^{\circ}\text{C}$. De 1983 à 2007, les anomalies de températures minimales présentent à la fois de valeurs positives et de valeurs négatives par rapport à la normale, et toutes comprises entre $-0,90^{\circ}\text{C}$ et $0,60^{\circ}\text{C}$. Les années 1985 et 2000 ont des anomalies nulles et correspondent à des années normales. Pour Gao, les anomalies de températures maximales présentent une tendance négative de 1970 à 1986 par rapport à la normale, avec de valeurs comprises entre $-1,10^{\circ}\text{C}$ et $-0,10^{\circ}\text{C}$. Les années 1970 et 1980 ont des anomalies positives et respectivement égales à $0,20^{\circ}\text{C}$ et $0,10^{\circ}\text{C}$. Les années 1973 et 1983 correspondent aux années normales (années d'anomalies nulles). De 1987 à 2007, les anomalies de températures maximales pour Gao présentent à la fois de valeurs positives et de valeurs négatives par rapport à la normale, et comprises entre $-0,90^{\circ}\text{C}$ et $0,60^{\circ}\text{C}$. Les années 1995, 1997, 1998, et 2006 correspondent à des années normales (années d'anomalies nulles). Signalons que pour la ville de Gao, les données sur la température manquaient pour les années de 2008 et 2009.

Pour l'ensemble des six villes, Bamako, Kayes, Sikasso, Ségou, Mopti et Gao, les variations interannuelles des températures minimales et maximales présentent des faibles tendances par rapport à la normale, parfois avec quelques valeurs considérables de plus ou de moins. Ce qui suggère que les températures minimales et maximales variaient peu annuellement dans ces six villes considérées durant les quatre décennies de la période d'étude (1970 - 2009).





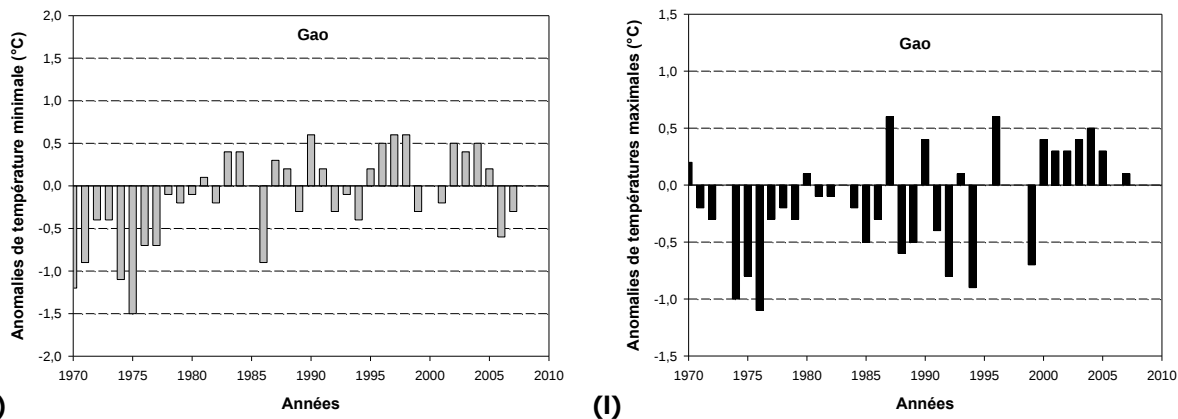


Figure 5 : Anomalies des moyennes annuelles de températures minimales et maximales enregistrées dans les six villes considérées durant les quatre décennies de la période d'étude (1970-2009).

4.5. Tableaux récapitulatifs des données sur les périodes décennales

Les tableaux récapitulatifs portent des données de températures minimales $T_{\min}$ et températures maximales $T_{\max}$, de température moyenne T_{moy} ($T_{\text{moy}} = (T_{\min} + T_{\max})/2$) et d'écart de température ΔT ($\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$) entre les températures maximales et les températures minimales sur les quatre périodes décennales considérées 1970 – 1979 ; 1980 – 1989 ; 1990 – 1999 ; 2000 – 2009. Les températures minimales pour l'ensemble de ces six villes durant les quatre décennies varient de plus de 18,50 °C à plus de 23 °C. Les températures maximales pour l'ensemble des six villes considérées varient environ 30 °C à plus de 37 °C. La température moyenne varie environ 26 °C à plus de 30 °C pour l'ensemble de ces six villes. Les valeurs des écarts de températures entre les températures maximales et les températures minimales sont environ 11 °C à plus de 14 °C pour l'ensemble de six villes considérées.

Tableau 1 : Valeurs des températures minimales $T_{\min}$ et maximales $T_{\max}$, de la température moyenne T_{moy} et de l'écart de température ΔT durant les quatre périodes décennales de 1970 à 2009 de Bamako.

Bamako				
Périodes décennales	$T_{\min}$ (en °C)	$T_{\max}$ (en °C)	T_{moy} (en °C)	ΔT (en °C)
1970 - 1979	21,55	34,47	28,01	12,92
1980 - 1989	22,20	34,45	28,82	12,25
1990 - 1999	22,08	34,49	28,28	12,41
2000 - 2009	20,85	34,85	27,85	14

Tableau 2 : Valeurs des températures minimales $T_{\min}$ et maximales $T_{\max}$, de la température moyenne T_{moy} et de l'écart de température ΔT durant les quatre périodes décennales de 1970 à 2009 de Kayes.

Kayes				
Périodes décennales	$T_{\min}$ (en °C)	$T_{\max}$ (en °C)	T_{moy} (en °C)	ΔT (en °C)
1970 - 1979	22,68	36,18	29,43	13,50
1980 - 1989	22,78	34,47	28,62	11,69
1990 - 1999	20,17	32,86	26,51	12,69
2000 - 2009	23,64	37,57	30,60	13,93

Tableau 3 : Valeurs des températures minimales $T_{\min}$ et maximales $T_{\max}$, de la température moyenne T_{moy} et de l'écart de température ΔT durant les quatre périodes décennales de 1970 à 2009 de Sikasso.

Sikasso				
Périodes décennales	$T_{\min}$ (en °C)	$T_{\max}$ (en °C)	T_{moy} (en °C)	ΔT (en °C)
1970 - 1979	19,87	33,97	26,92	14,10
1980 - 1989	20,75	33,85	27,30	13,10
1990 - 1999	21,58	33,30	27,65	12,05
2000 - 2009	21,67	33,72	27,70	12,05

Tableau 4 : Valeurs des températures minimales $T_{\min}$ et maximales $T_{\max}$, de la température moyenne T_{moy} et de l'écart de température ΔT durant les quatre périodes décennales de 1970 à 2009 de Ségou.

Ségou				
Périodes décennales	$T_{\min}$ (en °C)	$T_{\max}$ (en °C)	T_{moy} (en °C)	ΔT (en °C)
1970 - 1979	21,74	34,49	28,11	12,75
1980 - 1989	22,64	35,27	28,95	12,63
1990 - 1999	22,56	35,96	29,26	13,40
2000 - 2009	22,84	37,05	29,94	14,21

Tableau 5 : Valeurs des températures minimales $T_{\min}$ et maximales $T_{\max}$, de la température moyenne T_{moy} et de l'écart de température ΔT durant les quatre périodes décennales de 1970 à 2009 de Mopti.

Mopti				
Périodes décennales	$T_{\min}$ (en °C)	$T_{\max}$ (en °C)	T_{moy} (en °C)	ΔT (en °C)
1970 - 1979	21,69	35,54	28,61	13,85
1980 - 1989	22,85	36,04	29,44	13,19
1990 - 1999	22,34	36,04	29,19	13,70
2000 - 2009	22,46	36,43	29,44	13,97

Tableau 6 : Valeurs des températures minimales $T_{\min}$ et maximales $T_{\max}$, de la température moyenne T_{moy} et de l'écart de température ΔT durant les quatre périodes décennales de 1970 à 2009 de Gao.

Gao				
Périodes décennales	$T_{\min}$ (en °C)	$T_{\max}$ (en °C)	T_{moy} (en °C)	ΔT (en °C)
1970 - 1979	22,88	37,20	30,04	14,32
1980 - 1989	23,49	37,44	30,46	13,95
1990 - 1999	23,76	37,43	30,60	13,67
2000 - 2009	18,93	30,31	24,62	11,38

5. CONCLUSION

Durant les quatre décennies de la période d'étude de 1970 à 2009, pour l'ensemble des six villes considérées, à savoir, Bamako, Kayes, Sikasso, Ségou, Mopti et Gao, les variations interannuelles des moyennes de températures minimales et maximales présentent de faibles variabilités d'une année à une autre. Leurs valeurs sont comprises entre 19 °C et 24 °C pour les températures minimales. Pour les températures maximales, les valeurs des variations interannuelles sont comprises entre 33 °C et 37 °C. Durant les quatre décennies de la période d'étude, les variations mensuelles des températures minimales et maximales présentent aussi de faibles variabilités pour l'ensemble des six villes considérées. Elles varient environ entre 15 °C et 30 °C pour les températures minimales, et environ entre 30 °C et 43 °C pour les températures maximales. Les fréquences de distribution des moyennes mensuelles des températures minimales indiquent que le plus grand pourcentage de température est de la classe 21-25 °C pour les villes de Bamako, Kayes, Sikasso, Ségou et Mopti, et de la classe 26-30 °C pour la ville de Gao.

Les fréquences de distribution des moyennes mensuelles de températures maximales indiquent que le plus grand pourcentage de température est de la classe 31-35 °C pour les villes de Bamako, Kayes, Sikasso, Ségou et Mopti, et de la classe 36-40 °C pour la ville de Gao. Pour l'ensemble de ces six villes, les variations interannuelles des anomalies de températures minimales et maximales présentent aussi de faibles variabilités par rapport à la normale, avec parfois quelques valeurs considérables de plus ou de moins. Il y a aussi des années où les anomalies de températures (minimales ou maximales) sont nulles, donc ces années sont considérées normales.

Toutes ces variations interannuelles, mensuelles durant les quatre décennies de la période étude (1970 – 2009) indiquent que les températures minimales et maximales varient peu pour l'ensemble de ces six villes considérées, Bamako, Kayes, Sikasso, Ségou, Mopti et Gao. Enfin, les tableaux récapitulatifs des données de température durant les quatre décennies de la période d'étude indiquent aussi des valeurs proches les unes des autres pour les températures minimales, les températures maximales, la température moyenne et l'écart entre les températures maximales et les températures minimales.

Remerciements : Nos remerciements sont adressés à la Direction Nationale de la Météorologie du Mali (DNM), aujourd'hui devenue Agence Mali Météo, pour l'acquisition des données sur la température de 1970 à 2009 des stations météorologiques de Bamako, de Kayes, de Sikasso, de Ségou, de Mopti et de Gao.

6. REFERENCES

- [1]. Introduction à la climatologie, André HUFTY, Edition Deboeck, 524 pages, 2001.
- [2]. Le Sahel face aux changements climatiques. Enjeux pour un développement durable : Le réchauffement climatique. Bulletin mensuel (numéro spécial). CILSS - AGRHYMET, juin 2010.
- [3]. Les Changements climatiques en Afrique de l'ouest. Performances Management Consulting, octobre 2009.
- [4]. Programme d'action national d'adaptation aux changements climatiques (PANA), Direction Nationale de la Météorologie du Mali (DNM), (juillet 2007).
- [5]. Etats des lieux Changements Climatiques au Mali. Rapport d'étude de la Délégation Intercoopération pour le Sahel, décembre 2007.



Cite this article: Cheick Diarra, Mody Sow, et Lassina Dembele. VARIABILITE DES TEMPERATURES MINIMALES ET MAXIMALES DURANT QUATRE DECENNIES RECENTES DE 1970 A 2009 DANS SIX GRANDES VILLES DU MALI. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2019; 8(5): 200-215.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>