

# **Analyse des sécheresses hydrologiques et météorologiques de la sous-préfecture de Korhogo, zone tropicale soudanienne du nord de la Côte d'Ivoire**

## **Analysis of hydrological and meteorological droughts in the Korhogo sub-prefecture, a tropical Sudanian zone in northern Côte d'Ivoire**

<sup>1</sup>ASSEMIAN Assiè Emile, <sup>2</sup>SANGRE Youssouf et <sup>3</sup>KOFFI Kan Alexis

### **Résumé**

La sous-préfecture de Korhogo, située au nord de la Côte d'Ivoire, a connu des périodes de sécheresse. Dans un contexte où le changement climatique perturbe de plus en plus les activités anthropiques, il est indispensable d'analyser les épisodes secs en vue de proposer aux populations des mesures d'atténuation ou d'adaptation en matière de gestion de l'eau. Dans cette perspective, le test de Pettitt appliqué sur les séries des précipitations et des débits des cours d'eau de 1960 à 2010 de la zone d'étude, montre une rupture unique en 1971, avec une période excédentaire de 1960 à 1971 et une longue période déficitaire de 1971 à 2010. L'indice standardisé des précipitations SPI appliqué sur la série pluviométrique et l'indice standardisé des écoulements SSFI appliqué sur la série des débits montrent que la période excédentaire est caractérisée par des séquences d'humidité modérée et forte. Par contre, la longue période déficitaire présente une alternance de séquences de sécheresse modérée, forte et extrême, avec par endroit, un peu d'humidité modérée. Les sécheresses les plus remarquables de par leur intensité, leur durée et leur fréquence ont été observées durant la période 1971-1976 et 1979-1982 pour l'indice SPI et 1978-1990 et 2000-2007 pour l'indice SSFI. Nous pouvons conclure que la période déficitaire est une période sèche.

**Mots clés : Korhogo, Côte d'Ivoire, sécheresse météorologique et hydrologique**

### **Abstract**

The Korhogo sub-prefecture, located in the north of Cote d'Ivoire, like most tropical regions, has experienced periods of drought. In a climatic context increasingly disturbed by anthropogenic activities, it is essential to analyze dry spells in order to propose mitigation or adaptation measures to the populations in terms of water management. In this perspective, the Pettitt test applied to the series of precipitation and river flows from 1960 to 2010 in the study area shows a unique break in 1971, with a surplus period from 1960 to 1971 and a long deficit period from 1971 to 2010. The standardized precipitation index SPI applied to the rainfall series and the standardized runoff index SSFI applied to the flow series show that the surplus period is characterized by sequences of moderate and high moisture. In contrast, the long period of deficit shows alternating sequences of moderate, strong and extreme drought, with some moderate moisture in places. The most remarkable droughts in terms of intensity, duration and frequency were observed during the period 1971-1976 and 1979-1982 for the SPI and 1978-1990 and 2000-2007 for the SSFI. We can conclude that the deficit period is a dry period.

**Keywords: Korhogo, Côte d'Ivoire, meteorological and hydrological drought**

### **Introduction**

La sécheresse est définie comme un déficit de précipitations sur une période de temps prolongée qui provoque une pénurie d'eau pour une activité dans un secteur de l'environnement (OMM, 2012, p 15). Elle est un phénomène universel qui touche plusieurs pays dont la Côte d'Ivoire en fait partie. Le centre, le nord et l'est sont caractérisés par des

diminutions très considérables des pluviométries depuis des années 1970 (B.T.A. GOULA, 2006, p. 5). Elle a des effets néfastes sur l'ensemble des secteurs, à savoir l'environnement, le social et l'économie. Sa gestion nécessite de mettre à la disposition des organes concernés les informations nécessaires de son suivi afin de prendre les mesures d'atténuation et les programmes de réponses qui permettent de minimiser ses impacts (C. FAYE et al, 2015, p. 21).

Depuis quelques années, plusieurs études ont porté sur les changements climatiques, dont plusieurs se sont attardées sur les sécheresses. Selon l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), de 1967 à 1991, 1,4 milliards de personnes ont été affectées par les sécheresses et 1,3 milliards en sont mortes de causes directes ou indirectes (OMM, 2012 p 17). Selon certains scénarios des changements planétaires, l'occurrence et l'impact des sécheresses risquent d'augmenter dans les années à venir (OMM, 2012, p. 20). L'augmentation de la population humaine qui entraîne une pression accrue sur l'environnement y contribue grandement. Dans plusieurs régions du globe, une pratique agricole non-adaptée aux conditions environnementales et climatologiques, combinée à la surexploitation des réserves hydriques accélèrent le processus des sécheresses et entraînent parfois, une situation irréversible, la désertification (M. RODOUAN et al. 2018, p. 180). Il est à noter que la sécheresse est un phénomène naturel complexe et ne dispose pas d'une définition précise. Ainsi, elle se manifeste uniquement par certains indices et paramètres dont plusieurs chercheurs ont essayé de les identifier.

En effet, ces indices permettent d'identifier les différents types de sécheresse (météorologique, agricole, hydrologique et économique), son intensité, sa durée, son étendue spatiale et sa probabilité de récurrence. La plupart de ces indices sont fondés sur deux concepts à savoir : l'année normale, et le seuil qui indique la sécheresse. Les sécheresses dites météorologiques sont basées sur le degré d'aridité d'une période sèche par rapport à la normale (L. MOHAMMED, 2008, p. 15). C'est donc un déficit des précipitations sur une longue période dans une localité. Ces définitions doivent être considérées spécifiques à une région puisque les conditions météorologiques normales changent grandement d'une région à l'autre (I JOULIT et al, 2013, p102).

La sécheresse hydrologique est due à un déficit en eau de surface et souterraine. Les sécheresses en eaux souterraines existent lorsque la recharge des aquifères est inférieure à la recharge annuelle moyenne sur une période de plus d'un an. Puisque peu de données concernant les aquifères sont disponibles, ce type de définition est peu utilisé. Les sécheresses agricoles : quant à elles, font un rapport entre les caractéristiques des sécheresses météorologiques ou hydrologiques et les impacts sur le milieu agricole. Elles portent sur l'insuffisance des précipitations, la différence entre l'évapotranspiration réelle et le manque en eau des sols et des réserves hydriques. La difficulté de définir la sécheresse pousse les chercheurs à définir des indicateurs de ce phénomène. Ces indicateurs permettent de déterminer d'une façon scientifique le seuil indiquant la sécheresse à différentes échelles de

temps et de définir des classes d'appartenance à cet événement en fonction de sa sévérité (R. MIRABBASIA, et al, 2013, p39). Ils assurent également le suivi de la sécheresse et la détection à différents stades de son évolution. Certains scénarios des changements planétaires indiquent que l'occurrence et l'impact des sécheresses risquent d'augmenter dans les années à venir. Dans un tel contexte climatique, il est question d'analyser les séquences de sécheresse météorologique et hydrologique dans la sous-préfecture de Korhogo, zone tropicale des savanes nord de la Côte d'Ivoire, en vue de proposer aux populations, des mesures d'atténuation ou d'adaptation.

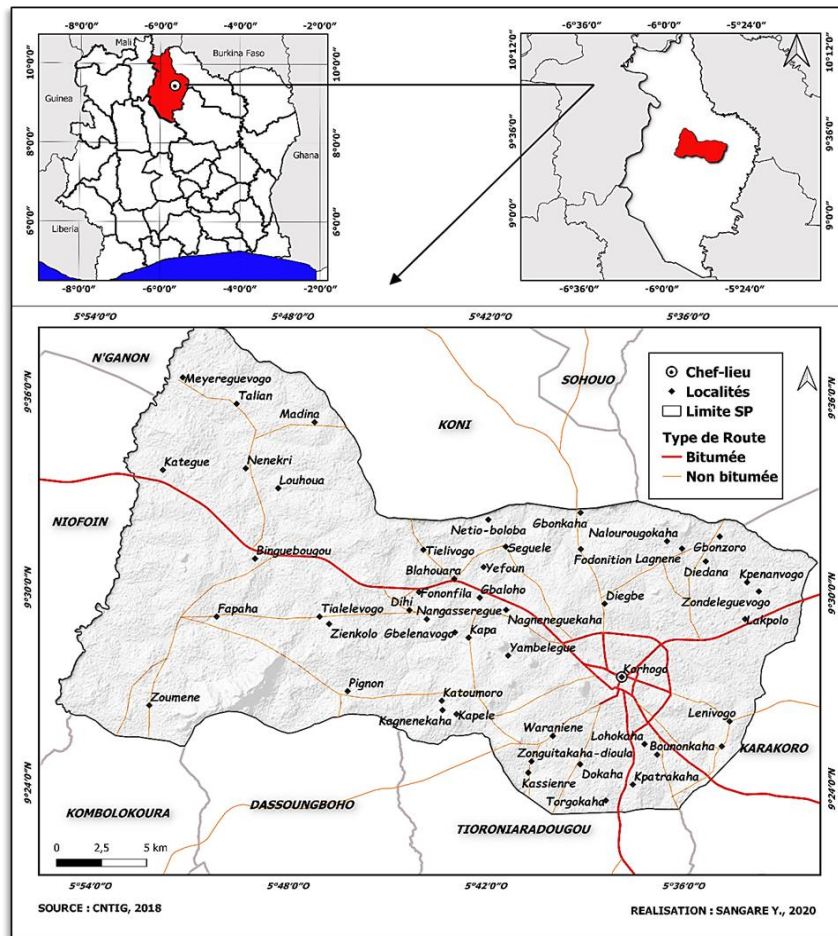
L'objectif de ce travail est donc d'analyser la dynamique hydrologique et pluviométrique de la région à travers l'évolution des débits des cours d'eaux et des pluies, afin de mettre en évidence les effets des sécheresses hydrologiques et météorologiques par l'estimation de certains indicateurs de sécheresse. Il est spécifiquement question de mener une étude de sécheresse hydrologique et météorologique dans la sous-préfecture de Korhogo.

### **1. Présentation de la zone d'étude**

La sous-préfecture de Korhogo est située dans la région du Poro, au nord de la Côte d'Ivoire, précisément entre les longitudes 5°54' et 5°36' ouest et les latitudes 9°24' et 9°36' nord (figure1). Elle couvre une superficie de 645 km<sup>2</sup>. Le climat dans la sous-préfecture de Korhogo est de type tropical soudanien déterminé par le passage du Front Intertropical (Y SANGARÉ, 2020 p 51). Il s'agit d'un climat à régime uni modal (une saison rigoureusement sèche et une saison des pluies). La saison des pluies est caractérisée par de fortes pluies irrégulières tombant essentiellement entre les mois d'avril et octobre. La saison sèche commence en novembre et se termine en mars. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 800 et 1500 mm, avec une température moyenne annuelle de 26,7°C (Y SANGARÉ, 2020 p 52). Le relief est un plateau d'altitudes variant entre 300 et 400 m. Le contexte géologique de la région du Poro s'intègre dans l'histoire du craton ouest africain.

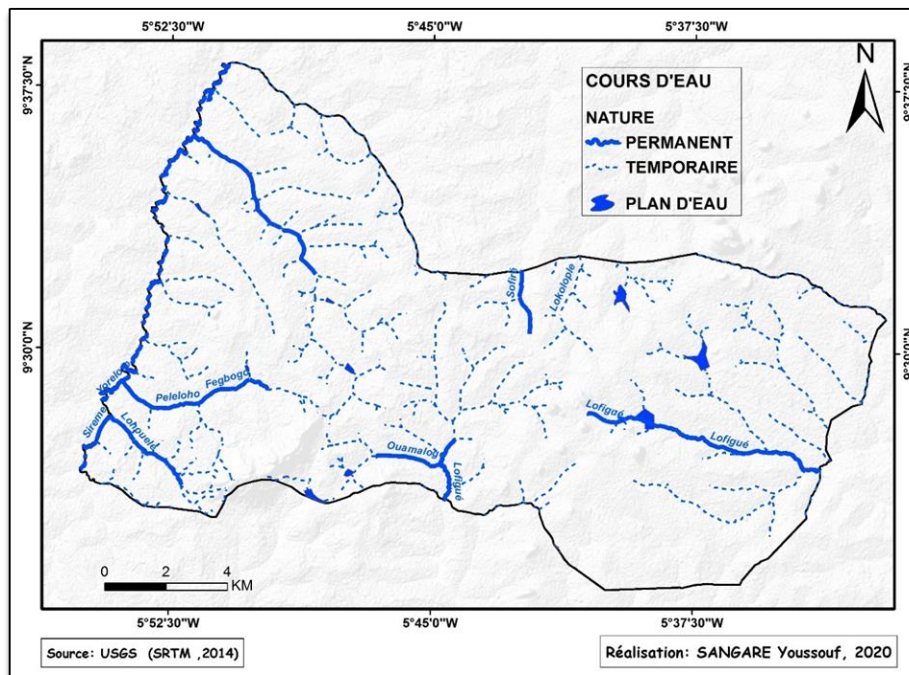
Cette région appartient au socle cristallin et cristallophyllien. Les formations géologiques composant le sous-sol de la région sont une succession de bandes de roches métamorphiques (schisteuses ou migmatitiques) et surtout de roches plutoniques (K. POTHIN, 1988, p211). La végétation dominante est la savane (des savanes arborées, des savanes arbustives et des savanes herbeuses) (Y SANGARÉ 2020, p56). Le réseau hydrographique est plus ou moins dense, avec les principales rivières pérennes comme : Lofigué, Fegbogo, Lonpueld, Sofiré, Ouamalog, Lokolope, Siremo (figure 2).

Figure 1. Situation géographique de la sous-préfecture de Korhogo



Source CNTIG, 2018

Figure 2. Réseau hydrographique de la sous-préfecture de Korhogo



## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Données et matériels

La donnée cartographique utilisée dans ce travail est la carte topographique (échelle 1/50000). Cette carte géoréférencée selon le système de projection WGS 84 UTM Zone 30 N, a été fournie par le Centre de Cartographie et de Télédétection CCT. Elle a été digitalisée par couches d'informations afin d'en extraire la zone d'étude. Les données climatiques de la station de Kohogo de la série 1960 et 2010, ont été fournies par la SODEXAM (Société d'Exploitation pour le Développement Aéroportuaire et Météorologique de la Côte d'Ivoire). Les données hydrométriques sont constituées des débits mensuels des cours d'eau issues de la station hydrométrique de Badikaha (des débits du cours d'eau sur la rivière Lofigué). Elles ont été fournies par la direction de l'hydrologie du Ministère des eaux et forêts. Ces données, au pas de temps mensuel, couvrent une période de 50 ans allant de 1960 à 2010. Les logiciels utilisés dans cette étude sont Excel et Xlstat pour les traitements statistiques et les tests de détection de rupture et Arcgis 10.2 pour la cartographie.

### 2.2. Méthodes

#### 2.2.1. Régime pluviométrique et le Test de Pettitt pour la détection des ruptures

Les traitements ont commencé par des études graphiques des pluies et des débits en fonction des mois pour apprécier les périodes humides et sèche dans l'année sur la série 1960 à 2010. Ensuite, pour la détection des ruptures et les périodes de variabilités hydroclimatiques sur la série pluviométrique et la série des débits des cours d'eau, le test de A.N PETTITT (1979, p. 129) fut appliqué. En effet, une rupture est définie comme un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives définissent les séries chronologiques étudiées (E SERVAT et al, 1999, p. 366). Le test de Pettitt est non-paramétrique. L'absence d'une rupture dans la série ( $X_i$ ) de taille  $N$  constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant  $t$  compris entre 1 et  $N$ , les séries chronologiques ( $X_i$ )  $i=1$  à  $t$  et  $t+1$  à  $N$  appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable  $U_t$ , définie par :

$$U_t = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n D_{ij}$$

Avec  $D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$  ;  $\text{sgn}(X) = 1$  si  $X > 0$  ;  $\text{sgn}(X) = 0$  si  $X = 0$  ;  $\text{sgn}(X) = -1$  si  $X < 0$ .

La probabilité (Prob) de dépassement d'une valeur  $k$  est définie et permet d'apprécier l'importance de la rupture.

$$\text{Prob}(k_n > k) \approx 2 \exp / \text{Prob}(k_n > k) \approx 2 \exp(-6 k^2/n^3 + n^2)$$

L'absence de rupture dans la série de taille N constitue l'hypothèse nulle. Au cas où l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant t définissant le maximum en valeur absolue de la variable  $U_t$ .

### 2.2.2. Etudes des sécheresses météorologiques et hydrologiques

La sécheresse est un déficit des disponibilités en eau par rapport à une situation considérée comme normale pour une période donnée dans une région déterminée. Il existe plusieurs types de sécheresse qui sont : la sécheresse météorologique, hydrologique, agricole et socio-économique. Pour cette étude, l'accent sera mis sur l'étude des sécheresses météorologiques et hydrologiques pour mieux cerner l'influence des variabilités climatiques sur les ressources hydriques.

L'indice de sécheresse météorologique ou indice standardisé des précipitations (SPI) (Standardized Precipitation Index) a été développé par T.B MCKEE et al (1993, p. 180). C'est un indicateur statistique utilisé pour la caractérisation des sécheresses locales ou régionales. Basé sur un historique de précipitation de longue durée, le SPI permet de quantifier l'écart des précipitations d'une période (déficit ou surplus) par rapport aux précipitations moyennes historiques de la période. Cet indicateur permet de faire ressortir les déficits pluviométriques sur la période considérée. Ces déficits extrêmes caractérisent les périodes de sécheresses. Selon l'échelle de temps choisie, le SPI permet différentes interprétations. Le SPI de 1 mois reflète le court terme et les conditions de son application peuvent être liées étroitement à l'humidité du sol ; le SPI de 3 mois fournit une évaluation saisonnière des précipitations ; les SPI de 6 et 9 mois indiquent la tendance à moyen terme des précipitations. Quant aux PSI estimé sur une série de plusieurs années, il permet de caractériser les années humides et les années sèches (S KHAN et al., 2008, p. 163).

Pour apprécier la sécheresse hydrologique, une approche similaire à celle du SPI est utilisée. Elle se base sur l'indice standardisé des écoulements SSFI (Standardized Stream Flow Index), introduit par R MODARRES (2007, p225). L'indice de sécheresse hydrologique SSFI est analogue à l'indice standardisé des précipitations SPI. Ainsi, il a été développé en vue de quantifier le déficit hydrologique pour des échelles de temps multiples. Le SSFI offre l'avantage de contrôler la sécheresse hydrologique et/ou l'approvisionnement en eau à court, moyen, et long terme. Il se calcule comme le SPI en remplaçant les valeurs des précipitations par les débits des cours d'eau. Dans notre étude les indices SPI et SSFI sont calculés sur une série annuelle des précipitations et des débits de 1960 à 2010. La formule de calcul du SPI et du SSFI est établie de la manière suivante :

$$\text{SPI/SSFI} = \frac{(X_i - X_m)}{\varphi}$$

**$X_i$**  : précipitation totale pour l'année i (mm) ou débit de l'année i ( $m^3/s$ )

**Xm** : précipitation moyenne annuelle sur la série ou débit moyen de la série sur l'échelle temporelle considérée

$\varphi$  : écart-type des précipitations sur la série ou écart-type des débits sur l'échelle temporelle considérée

Les classifications des intensités des sécheresses météorologiques et hydrologiques sont illustrées par le tableau 1 selon T.B MCKEE et al (1993, p. 181) et R MODARRES (2007, p. 226).

**Tableau1 : Classification des intensités des sécheresses hydrologiques et météorologiques**

|                     |                         |                         |                          |                           |                       |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| SPI/SSFI<br>$x > 2$ | SPI/SSFI<br>$1 < x < 2$ | SPI/SSFI<br>$0 < x < 1$ | SPI/SSFI<br>$-1 < x < 0$ | SPI/SSFI<br>$-2 < x < -1$ | SPI/SSFI<br>$x < -2$  |
| Humidité<br>extrême | Humidité<br>forte       | Humidité<br>modérée     | Sècheresse<br>modérée    | Sècheresse<br>forte       | Sècheresse<br>extrême |

Source : T.B. MCKEE et al (1993, p 181)

### 2.2.3. Paramètres descriptifs des séquences de sécheresse

Dans les études de sécheresse, il est important de caractériser le début et la fin d'une sécheresse (durée), son intensité et sa fréquence.

La fréquence cumulée (F) d'une sécheresse donne une idée sur l'occurrence des séquences sèches sur une période d'étude. Elle est obtenue en faisant le rapport de l'effectif cumulé des séquences sèches par l'effectif total des années pluviométriques.

La durée est l'une des caractéristiques importantes de la sécheresse. En effet, si une sécheresse débute rapidement sous certains régimes climatiques, il faut généralement au moins deux à trois mois avant de s'installer dans d'autres régions. Elle peut ensuite persister pendant des mois voire des années. Le calcul de la durée se fait comme suit :

- analyser une série de données sur une longue période afin de déterminer la période la plus sèche ;

- faire la soustraction entre l'année où termine cette sécheresse avec l'année où elle débute ; le résultat obtenu est ajouté d'un.

$$(A_{\text{Fin}} - A_{\text{début}}) + 1$$

$A_{\text{fin}}$  : Année de la fin de la période sèche ;

$A_{\text{début}}$  : Année du début de la période sèche ;

Pour cette étude, la durée maximale sera considérée comme paramètre caractéristique de la durée des séquences sèches.

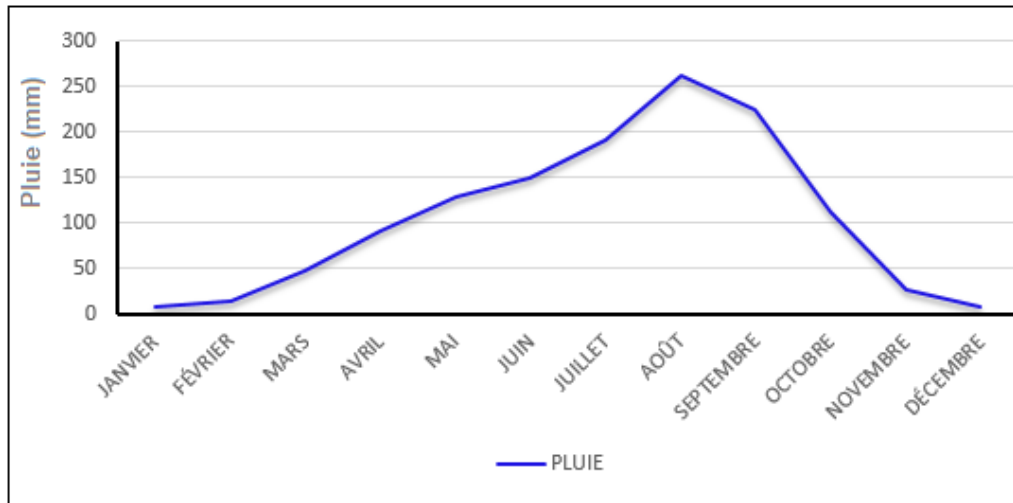
L'intensité de la sécheresse peut être définie comme étant l'ampleur et la gravité des conséquences du déficit de précipitations. Elle peut être évaluée à l'aide des valeurs du SPI ou SSFI. Dans le cadre de cette étude, les valeurs extrêmes du SPI ou SSFI ont été considérées comme valeurs de référence des intensités de sécheresse.

### 3. Résultats

#### 3.1. Caractéristiques des régimes pluviométriques et hydrométriques

La représentation graphique de la pluviométrie moyenne mensuelle sur la série 1960-2010 montre une courbe uni modale, avec deux saisons dans cette localité. La saison sèche qui commence en novembre et prend fin en mars, et la saison pluvieuse qui commence en avril et se termine en octobre. Les mois les plus pluvieux sont les mois août et septembre. Les mois de décembre, janvier et février sont les plus secs, car la pluviométrie y est faible (figure 3).

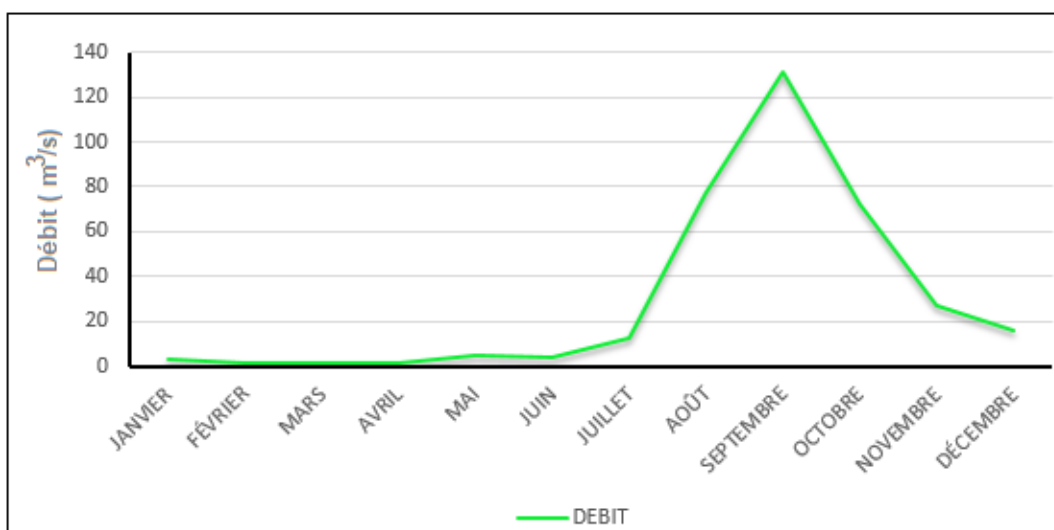
**Figure 3. Evolution mensuelle des régimes pluviométriques, Station de Korhogo**



Source : SODEXAM, 2021

Par ailleurs, la courbe de l'évolution des débits en fonction des mois a la même allure que celle du régime pluviométrique, car les débits des cours d'eau dans le mois dépendent directement de la pluviométrie (figure 3 et 4).

**Figure 4. Evolution mensuelle du régime hydrométrique, station Badikaha**



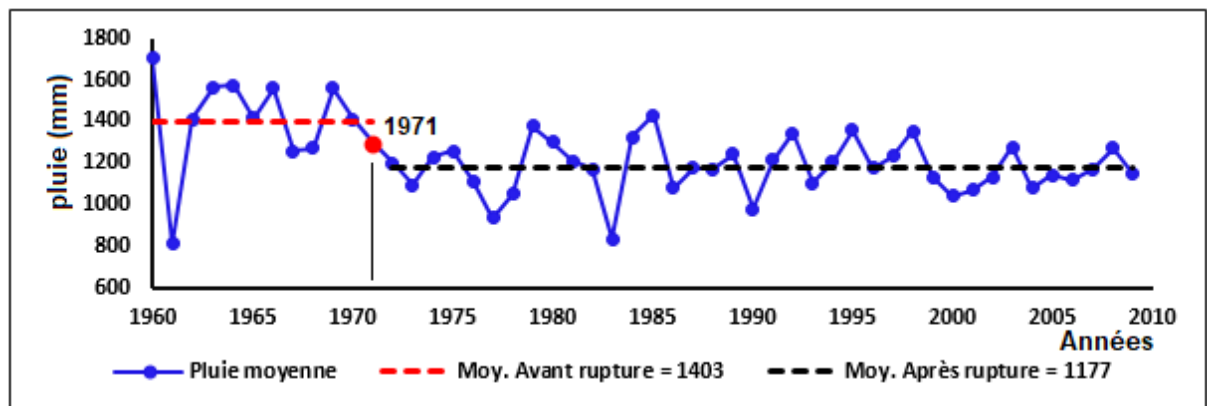
Source : Direction de l'hydrologie, 2021

Les mois aout, septembre et octobre sont des périodes à forts débits des cours d'eau. Ce sont donc les mois les plus humides. Les autres mois sont considérés comme les mois déficitaires. Les débits mensuels moyens sont quasiment nuls entre janvier et juin. Le mois de septembre constitue le pic avec une valeur de 131.2 m<sup>3</sup>/s (figure 4). Il correspond au régime tropical de transition caractérisé par une crue unique, d'aôût à octobre dont les valeurs moyennes sont autour 70 m<sup>3</sup>/s. La décrue est rapide de novembre à décembre et succède une longue période d'étiage, de janvier à mai, durant laquelle l'alimentation est en grande partie assurée par les nappes alluviales. En somme, l'année hydrologique est fonction du régime pluviométrique.

### 3.2. Résultats du test de Pettitt

Le test de Pettitt appliqué à la série pluviométrique de 1960- 2010 présente une rupture unique en 1971 (figure 5).

**Figure 5. Date de rupture des données pluviométriques déterminée par le test de Pettitt**



Source : SODEXAM, 2021

La moyenne pluviométrique avant la rupture est de 1403 mm. Après la rupture de 1971, on observe une moyenne de 1174 mm (tableau 2).

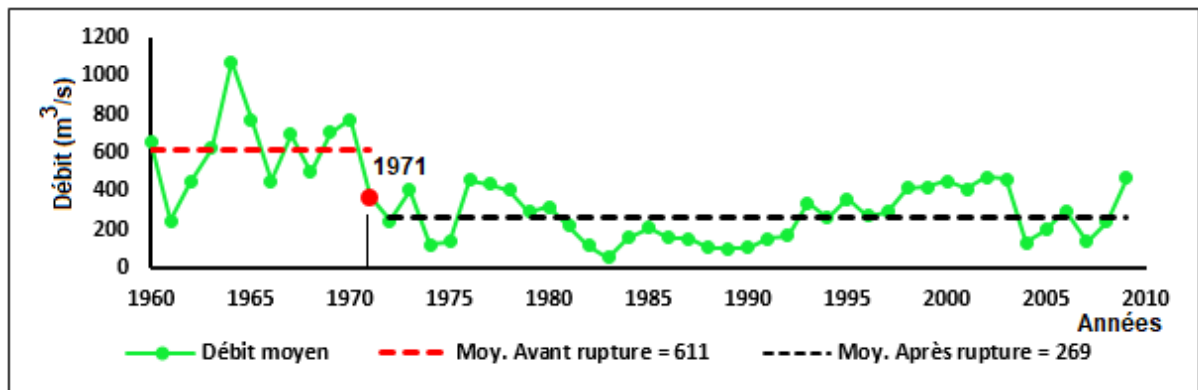
**Tableau 2 Statistiques du test de Pettitt appliqué aux débits et pluies**

| Variable                 | Série | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type | Rupture | Moy. Avant | Moy. Après |
|--------------------------|-------|---------|---------|---------|------------|---------|------------|------------|
| PLUIE (mm)               | 50    | 812     | 1705    | 1229    | 182        | 1971    | 1402       | 1174       |
| DEBIT(m <sup>3</sup> /s) | 50    | 47      | 1073    | 363     | 210        | 1971    | 613        | 284        |

Source : SODEXAM et Direction de l'hydrologie, 2021

La période 1960-1971 est plus humide que la période 1971-2010. Ainsi, la période 1960-1971 est une période excédentaire et la période 1971-2010 est déficitaire. Par ailleurs, le test de Pettitt appliqué à la série des débits du cours d'eau sur la rivière Lofigué, montre aussi une rupture unique en 1971, comme celle des pluviométriques (figure 6). La période 1960-1971 (avant la rupture), la valeur moyenne des débits est de 613 m<sup>3</sup>/s. Après la rupture, c'est-à-dire de 1971 à 2010, on enregistre une valeur moyenne de 284 m<sup>3</sup>/s (tableau 2).

**Figure 6. Date de rupture des données de débits déterminée par le test de Pettitt**



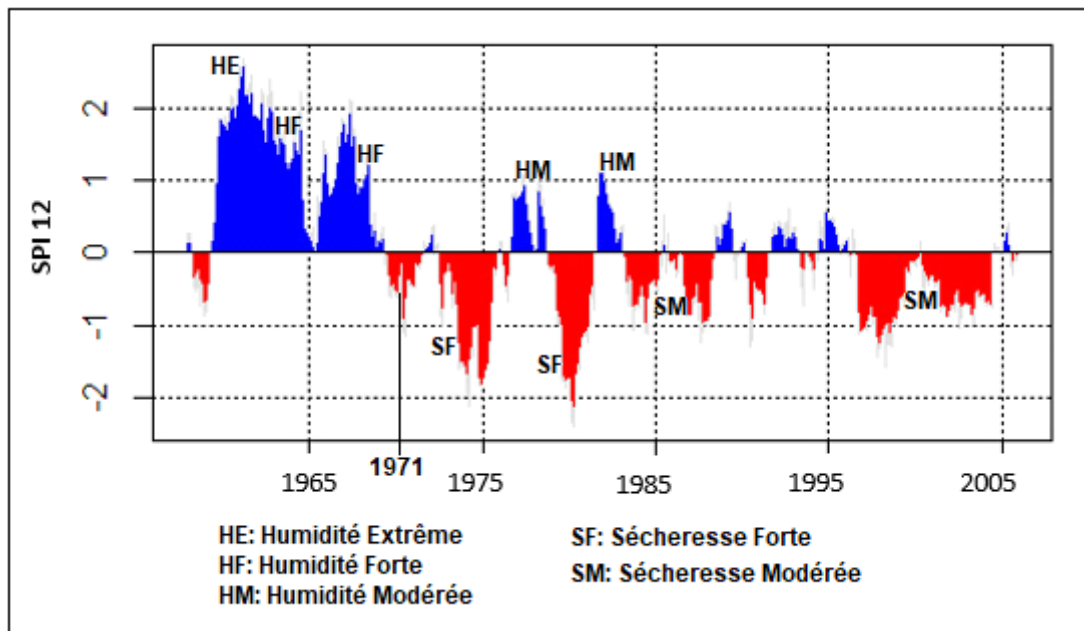
Source : Direction de l'hydrologie, 2021

### 3.3. Caractéristiques des sécheresses météorologiques et hydrologiques

#### 3.3.1. Sécheresse météorologique

La figure 7 met en évidence les phases de sécheresse météorologique au sein de la série chronologique étudiée. Ainsi, deux phases se distinguent essentiellement de l'analyse de cette figure.

**Figure 7 : Evolution interannuelle de l'indice de sécheresse météorologique**



Source : SODEXAM, 2021

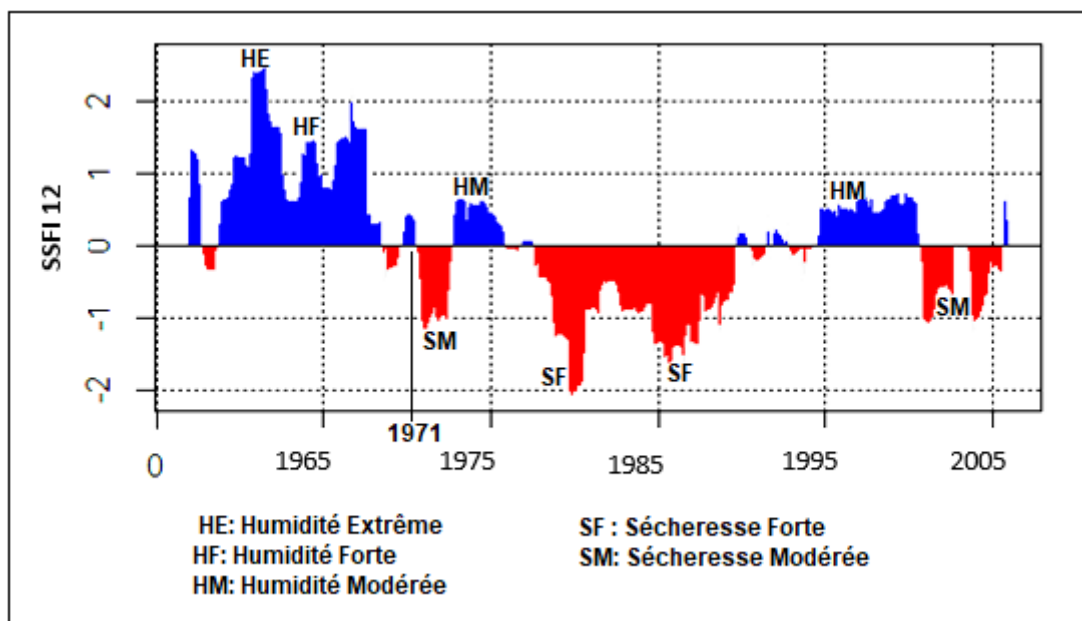
De 1962 à 1971, soit une durée de 10 ans, nous avons une succession de séquences d'humidité extrême et forte. Le maximum est observé en 1964, avec une valeur d'intensité de 2,5. Cette phase correspond à la période excédentaire, donc très humide. En période déficitaire, on observe une alternance de séquences de sécheresse fortes et modérées, et d'humidité modérée. Les séquences d'humidité modérée s'observent entre 1977 et 1979 et entre 1981 et 1983. Ce sont des séquences de courte durée (3 ans). Pour les séquences de

sécheresse, on observe de 1971 à 1976, soit une durée de 6 ans, une sécheresse forte, avec un pic en 1975, de valeur d'intensité -1,8. Ensuite de 1979 à 1982, soit une durée de 4 ans, on observe aussi une séquence de sécheresse forte, avec un pic en 1980 de valeur -2. De même de 1983 à 1992, soit une durée de 10 ans, on a une succession de séquences de sécheresse à intensité SPI modérée. Enfin, de 1997 à 2005, soit une durée de 9 ans, on a deux séquences de sécheresse modérée. Ainsi donc, l'évolution des séquences de sécheresses est fonction de la dynamique de la pluviométrie sur la série considérée.

### 3.3.2. Sécheresse hydrologique

La sécheresse hydrologique est un affaiblissement prolongé des apports pluviométriques au niveau des bassins versants. Un déficit d'écoulement est observé systématiquement au niveau des cours d'eau. La recharge des nappes d'eau souterraine est réduite. Suivant la dynamique des intensités des indices de sécheresse hydrologique matérialisée par la figure 8, il ressort que l'évolution des débits a connu cinq phases de sécheresses hydrologiques notamment 1962-1968 ; 1970-1978, 1978-1990, 1995-2000 et 2000-2007, de durées respectives de 7 ans, 9 ans, 13 ans, 6 ans et 8 ans (figure 8).

**Figure 8. Evolution interannuelle de l'indice de sécheresse hydrologique**



Source : Direction de l'hydrologie, 2021

En effet, la séquence 1962-1968 est marquée par une humidité forte et extrême, avec des valeurs comprises entre 1 et 2,5. Ensuite, la séquence 1970-1978 est caractérisée par une alternance de sécheresse modérée et d'humidité modérée. Par ailleurs, la séquence 1978-1990 est caractérisée par une succession de sécheresses modérées à fortes. Ensuite de 1995-2000, on a une séquence d'humidité modérée. Enfin de 2000- 2007 on observe une séquence de sécheresse modérée. En somme, l'évolution des débits est marquée par des séquences de sécheresses modérées et fortes importantes en période déficitaire (1971-2010). Par contre, la

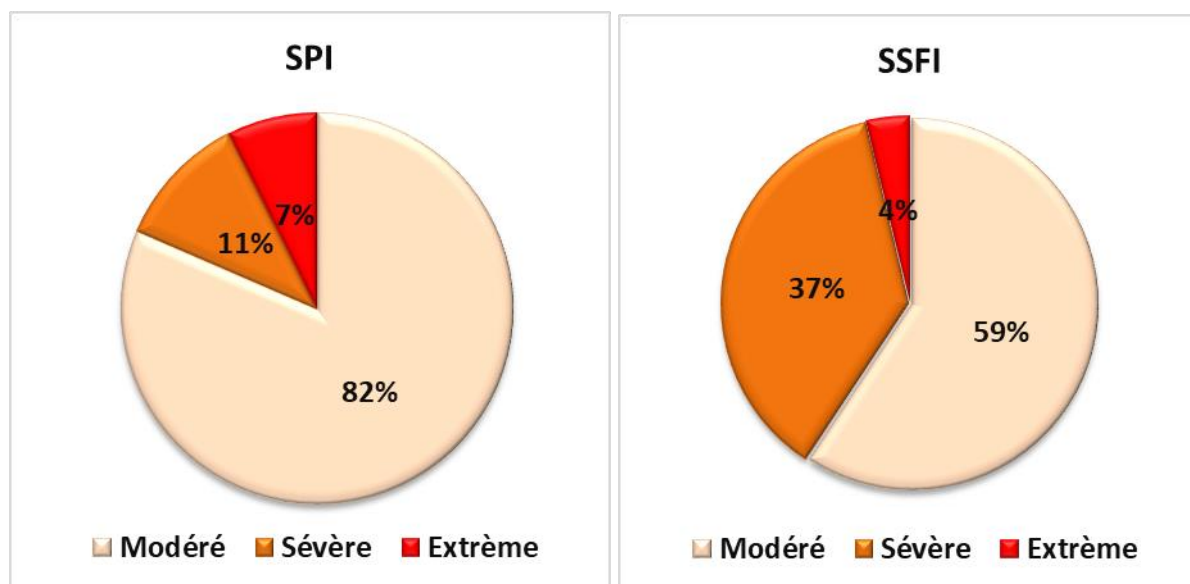
période excédentaire (1960-1971) est caractérisée par une séquence d'humidité modérée et forte.

De ces analyses et ces observations, on peut donc dire que la sécheresse météorologique influence potentiellement le fonctionnement ou le comportement hydrologique. Les précipitations sont la principale source d'alimentation des eaux de surface par la relation de transformation des pluies en débits. En effet, la période d'humidité dans la sécheresse météorologique, avant la rupture correspond à la phase d'humidité dans la sécheresse hydrologique. Après la rupture de 1971, on observe dans les deux cas de sécheresse, des alternances des intensités de sécheresse modérées et fortes presque dans les mêmes séquences. Par ailleurs, c'est des variations saisonnières de la pluviométrie que se déterminent les phases de crues et d'étiages des cours d'eau. Ainsi, la diminution des intensités et quantité de pluies sur un espace donné entraîne inéluctablement une baisse du potentiel hydrologique.

### 3.3.3. Fréquences des sècheresses météorologiques et hydrologiques

L'analyse de la fréquence des sècheresses permet de caractériser la récurrence de celles-ci relativement à la longueur des données. La figure 9 présente les fréquences de sécheresse hydrologique SSFI et pluviométrique SPI. La fréquence des épisodes de sécheresse observée dans la sous-préfecture est marquée par les sécheresses modérées qui touchent le plus. En effet, les séquences sécheresses modérées représentent 82% des sécheresses météorologiques et 59 % des sécheresses hydrologiques. Quant à l'analyse des durées, elles sont de durées relatives sur la série étudiée. La durée maximale au niveau des sécheresses météorologiques est de 10 ans. Elles se situent sur l'intervalle de 1983-1992. Au niveau des sécheresses hydrologiques, la durée maximale est de 13 ans entre 1978-1990.

**Figure 9 : Fréquences des sécheresses météorologiques et hydrologiques**



Source : SODEXAM et Direction d'hydrologie, 2021

#### 4. Discussion

L'indice de précipitation standardisé (SPI *Standardized Precipitation Index*) est un indicateur statistique communément utilisé pour la caractérisation des sécheresses locales ou régionales (T.B MCKEE et al. 1993, p. 182, M.J HAYES, 1999, p. 430). Il permet d'apprécier l'ampleur de la sécheresse (ou de l'humidité) pour chacune des périodes de la série chronologique (A KHALDI, 2005, p. 131). L'indice de précipitations normalisé est un indice simple, puissant et souple basé sur des données pluviométriques (T.B MCKEE et al., 1993, p. 183). Il est recommandé par l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) en 2009 pour surveiller les sécheresses et gérer les risques liés au climat (W.J GIBBS, 1975, p. 22). Il est basé, comme son nom l'indique sur les données de précipitation et permet de qualifier les sécheresses météorologiques. Il a été développé en vue de caractériser les déficits de précipitation pour une période donnée et correspond à la transformation de la série temporelle des précipitations en une distribution normale standardisée de moyenne nulle et d'écart-type unitaire. L'analyse de l'indice standardisé des précipitations (SPI) a révélé que la sous-préfecture de Korhogo, situé à l'extrême nord de la Côte d'Ivoire, a connu un important déficit pluviométrique après 1971 avec des pics en 1975 et 1980. Ces pics caractérisent des sécheresses de types extrêmement sévères. Ces résultats confirment les recherches effectuées par G MAHÉ et al. (2001, p. 215) et S BIGOT et al. (2005, p. 7) en Afrique de l'Ouest. En Côte d'Ivoire, les travaux de T.A GOULA BI et al. (2006, p. 4) ont montré que les décennies 1970-1979, 1980-1989, et 1990-1999 ont été des périodes sèches. Au nord-ouest du pays, les études de I SAVANÉ et al. (2001, p235) ont également mentionné une baisse de la pluviométrie sur la période 1970-2000. Selon Y.T BROU (2005, p. 101), la baisse de la pluviométrie s'est intensifiée au cours des années 1980 et 1990 avant de connaître une légère hausse dans les années 2000. Il est noté que cette hausse mentionnée par ces auteurs n'a pas été observée au cours de la présente étude. En effet, la période 1971-2010, les indices SPI et SSFI ont détecté dans la zone d'étude d'importantes séquences de sécheresse. Par ailleurs, les évolutions des valeurs de l'indice SPI long termes montrent que la région de Korhogo est la plus touchée par les séquences de sécheresse par rapport la région d'Odienné situé au nord –ouest de la Côte d'Ivoire étudiée par G SORO et al (2014 p. 121). Cela pourrait être lié à la distribution spatiale de la pluie au niveau de la région d'Odienné qui se fait d'ouest vers l'est. En effet, à cause des massifs montagneux du Mont Nimba, cette région d'Odienné reçoit plus de précipitation que celle située à l'extrême nord et nord-est et est donc moins sujette aux épisodes secs. Au niveau des eaux de surface, l'analyse de la relation pluie-débit a montré que le rendement annuel des cours d'eau de la zone d'étude est très corrélé avec la pluviométrie. A.M. KOUASSI (2007, p. 160) a montré une forte corrélation entre les débits du cours d'eau du fleuve N'zi et la lame d'eau précipitée dans son bassin versant. En effet, on parle de sécheresse hydrologique lorsque les nappes phréatiques, les lacs, les rivières et les fleuves présentent un niveau bas. Ce type de sécheresse peut intervenir sous l'effet de plusieurs facteurs : pas de précipitations et/ou une absence d'infiltration en profondeur dans le sol

jusqu'à la nappe phréatique, soit parce que l'eau est captée par la végétation sans d'atteindre le sous-sol. L'indice standardisé des écoulements SSFI, caractérisant la sécheresse hydrologique, a été adapté pour étudier la sécheresse dans l'écoulement fluvial et les réserves souterraines. Il permet de savoir à quel moment la sécheresse prendra fin sur la base des précipitations requises, en établissant le rapport entre l'humidité reçue et l'humidité nécessaire.

## **Conclusion**

La présente étude a permis de mettre en évidence les principales fluctuations des régimes pluviométriques et hydrologiques et de déterminer les différentes périodes sèches sur les différentes chroniques observées. Le test de Pettitt montre une rupture unique en 1971, avec une période excédentaire de 1960-1971 et une longue période déficitaire de 1971 à 2010. Les indices des précipitations standardisées SPI et les indices standardisés des écoulements SSFI calculés montrent que dans l'ensemble, en période excédentaire (1960-1971) des séquences d'humidité modérée et forte ont été observées, mais en période déficitaire (1971-2010) plusieurs séquences de sécheresses modérées, fortes et extrêmes ont été mises en évidence. L'on retient que la sous-préfecture de Korhogo, situé au nord de la Côte d'Ivoire a été affectée par plusieurs périodes de sécheresse après 1971. Les sécheresses les plus remarquables de par leur intensité, leur durée et leur fréquence ont été observées durant la période 1971-1976 et 1979-1982 pour l'indice SPI et 1978-1990 et 2000-2007 pour l'indice SSFI. Ces épisodes secs ont atteint leur paroxysme en 1975 et 1980 avec des sécheresses de type extrêmement sévères.

## **Référence bibliographique**

BIGOT Sylvain., BROU Yao Télesphore., OSZWALD Jean., DIEDHIOU Arman., 2005. Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. *Sécheresse*, 1 (6), p5 - 13.

BROU Yao Télesphore, 2005. Climat, mutation socio-économique et paysages en Côte d'Ivoire, Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches, Université des sciences et techniques de Lille, 212p

FAYE Cheikh, SOW Amadou Abdoul, NDONG Jean Baptiste, 2015. Etude des sécheresses pluviométriques et hydrologique en Afrique de tropicale : caractérisation et cartographie de la sécheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal. *Physio-Geo*. Vol 9. N°3. P17-35.

GIBBS William .John, 1975. Drought-its definition, delineation and effects, In: *Special Environmental. World Meteo.*, Geneva, Switzerland Report, 5, 11-39,.

GOULA BI Tié Albert., SAVANE Issiaka., KONAN Bernard., FADIKA Vamoryba., KOUADIO Gnamien Béatrice, 2006. Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins versants du N'Zo et du N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide). *Vertigo*, 7 (1), p1-12.

HAYES Michael.J., SVOBODA Mark., WILHITE Donald and VANYARKHO Olivier, 1999. Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 80, 3, p429-438.

JOUILIT Mohamed, BITAR Karim, SALAMA Hamine, AMRAOUI Mokssita , TAHIRI Mohamed, 2013. Sécheresse météorologique au bassin hydraulique Oum Er Rbia. Durant les dernières décennies. Larhyss journal n°12, p 109-127.

KHALDI, Abdelkader, 2005. Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida". These de Doctorat Université d'Oran ;239 p

KHAN, Shahbaz., Gabriel & RANA Tejal, 2008. Standard précipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. In: Irrig. Drainage Syst., 22, p. 159-177

KOUASSI Amanin Michel, 2007. Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody (Abidjan-Côte d'Ivoire), 2007, 210 p

MAHÉ Gil., L'HOTE Yann., OLIVRY Jean. Claude., WOTLING William, 2001. Trends and discontinuities in regional rainfall of West and Central Africa. Hydrological Sciences Journal, 46 (2), pp. 211-226.

MCKEE Thomas.B., DOESKEN Nolan, KLEIST John. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scale. 8th Conference on Applied Climatology, pp179-184.

MIRABBASIA Rolan, ANAGNOSTOU Emmanouil Narsiste, FAKHERI Farda, DIMPASHOHA Yao, ESLAMIANC Samuel, 2013. Analysis of meteorological drought in northwest Iran using the Joint Deficit Index. Journal of Hydrology, 492(7), 2013, pp35-48.

MODARRES Reza, 2007. Streamflow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol.21, n° 3, p. 223-233. DOI : [10.1007/s00477-006-0058-1](https://doi.org/10.1007/s00477-006-0058-1)

MOHAMMED Layelman, 2008. Calcul des indicateurs de sécheresse à partir des images NOAA/AVHRR. Rapport encadré par le CRTS. 30P.

OMM, 2012. Organisation Météorologique Mondiale. Guide d'utilisation de l'indice de précipitation normalisé, OMM n° 1090, 25p

OMM, 2009. Organisation Météorologique Mondiale , Guide des pratiques hydrologiques,, Publication n° 168, Genève, 793 pages

PETTITT, A.N.1979. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem". Journal of the Royal Statistical Society. Vol. 28. N°. 2, p. 126-135

POTHIN Koffi., 1988. Pétrographie et géochimie des formations précambriennes de la région d'Odienné (Nord-ouest de la Côte d'Ivoire). Typologie du volcanisme birimien. Tendances évolutives du magmatisme éburnéen. Géochimie de l'Uranium et du Thorium dans les granitoïdes. Thèse Doct. ès Sc. Nat. Université d'Abidjan, 329 p.

RODOUAN Mehdaoui, EL-MOSTTAFI Mili, SEGHIR Aziz, 2018. Caractérisation à l'aide du SPI de la sécheresse climatique dans le bassin versant de Ziz (Sud-Est, Maroc). European Scientific Journal Tuly 2018 edition VOL 14 N°21 ISSN 1857-7881 p177-194.

SANGARÉ Youssouf, 2020. Analyse des potentialités hydrologiques, hydrogéologiques et alimentation en eau potable dans un contexte de variabilité climatique dans la sous préfecture de Korhogo. Université Alassane Ouattara. Mémoire de Master p 186.

SAVANE Issiaka., COULIBALY Karim. Mohamed., GION Pierre, 2001. Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man, Sécheresse, 12 (4), pp231-237.

SERVAT Eric, PATUREL Jean Emmanuel, LUBES-NIEL Hélène, KOUAME Brou, MASSON J.M, TRAVAGLIO Marco, 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. Vol 12, N°2 pp 363-387.

SORO Gneneyougo Emile, GOULA BI Tié.Albert., SROHOROU Bernard., SAVANE Issiaka, 2014. Caractérisation des séquences de sécheresse météorologique à diverses échelles de temps en climat de de type soudanais : cas de l'extrême nord-ouest de la Côte d'Ivoire. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°18, Juin 2014, pp. 107-124.

---

## Auteurs

<sup>1</sup>Université Alassane Alassane Ouattara de Bouaké (Côte d'Ivoire). UFR Communication Milieu et Société CMS, Département de Géographie. Laboratoire de géographie, [assmilea@gmail.com](mailto:assmilea@gmail.com)

<sup>2</sup>Université Alassane Alassane Ouattara de Bouaké (Côte d'Ivoire). UFR Communication Milieu et Société CMS, Département de Géographie. Laboratoire de géographie, [sangreck@gmail.com](mailto:sangreck@gmail.com)

<sup>3</sup>Université Alassane Alassane Ouattara de Bouaké (Côte d'Ivoire). UFR Communication Milieu et Société CMS, Département de Géographie. Laboratoire de géographie, [kanalexis59@gmail.com](mailto:kanalexis59@gmail.com)