



## **CARACTERISATION DES SEQUENCES DE SECHERESSE METEOROLOGIQUE A DIVERSES ECHELLES DE TEMPS EN CLIMAT DE TYPE SOUDANAIS : CAS DE L'EXTREME NORD- OUEST DE LA COTE D'IVOIRE**

***SORO G.E.<sup>1</sup>, ANOUMAN D. G.L.<sup>1</sup>, GOULA BI T.A.<sup>1</sup>, SROHOROU B.<sup>2</sup>,  
SAVANE I.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>Laboratoire Géosciences et Environnement  
Université Nangui Abrogoua  
02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Direction de la Météorologie Nationale  
SODEXAM  
15 BP 950 Abidjan 15, Côte d'Ivoire

\*ge\_soro@yahoo.fr

### **RESUME**

Le nord-ouest de la Côte d'Ivoire, comme la plupart des régions tropicales a connu une alternance de périodes humide et sèche. Dans un contexte climatique de plus en plus perturbé par les activités anthropiques, il est indispensable d'analyser les épisodes secs à diverses échelles temporelles en vue de proposer aux populations des mesures d'atténuation ou d'adaptation en matière de gestion de l'eau. Dans cette perspective, trois stations disposant des plus longues séries pluviométriques ont été analysées. L'analyse a utilisé les valeurs de l'indice standardisé des précipitations calculé pour des échelles de temps de 5 ans, 35 ans et 70 ans. Les résultats indiquent que les sécheresses les plus remarquables de par leur intensité, leur durée et leur fréquence se sont produites durant la période 1970-1999 et cela quelle que soit l'échelle de temps considérée. Ces épisodes secs ont atteint leur paroxysme en 1983 et 1987 avec des sécheresses de type extrêmement sévères. Les stations de Tengréla et Boundiali à l'extrême nord sont les plus affectées par la sécheresse. En outre, il ressort des analyses que l'échelle de temps à long terme semble la mieux appropriée pour décrire avec plus de précision les épisodes secs.

**Mots clés :** Changement climatique, Pluviométrie, Sécheresse, Indice statistique, Côte d'Ivoire.

## ABSTRACT

The northwest of Cote d'Ivoire, as most tropical regions has alternating wet and dry periods. In a context climate more and more disrupted by human activities, it is essential to analyze the dry spells at various time scales in order to propose to the people of mitigation and adaptation measures in the field of water management. In this perspective, three stations with longer rainfall series were analyzed. The analysis used the values of the standardized precipitation index calculated for time scales of 5 years, 35 years and 70 years. The results indicate that the most remarkable for their drought intensity, duration and frequency occurred during the period 1970-1999 and regardless of the time scale considered. These dry spells have reached their peaks in 1983 and 1987 with extremely severe droughts type. The stations of Tengrela and Boundiali located north of the study area are most affected by drought. In addition, it analyzes showed that the time scale long-term seems more appropriate to describe with more details the dry spells.

**Keywords:** Climate Change, Rainfall, Drought, Statistics Index, Côte d'Ivoire.

## INTRODUCTION

La sécheresse est une des conditions climatiques extrêmes affectant plus de personnes que toute autre forme de catastrophe naturelle (Wilhite, 2000). L'occurrence, depuis les dernières décennies, d'importantes sécheresses occupant de grands territoires sur tous les continents souligne l'importance de ce phénomène (Beaudin, 2007). Les pays en voie de développement tout comme les pays industrialisés en sont touchés. Alors que les effets peuvent être désastreux, voir mortels dans les pays sous-développés, les conséquences associées aux sécheresses dans les pays industrialisés sont plutôt d'ordre économique, environnemental et social. Selon Obassi (1994), près de 1,3 milliards en sont mortes de causes directes ou indirectes.

L'évaluation et la prévision de la sécheresse fournit des renseignements précieux pour les planificateurs des ressources en eau et les décideurs politiques pour faire face aux conséquences de la sécheresse. En raison de la relation complexe entre les différents facteurs physiques qui participent à l'occurrence et à la persistance de la sécheresse, il est difficile de donner une définition précise de la sécheresse. C'est une des principales raisons pour lesquelles les décideurs et les planificateurs des ressources en eau ont des difficultés à reconnaître et à planifier les périodes de sécheresse. Par conséquent, la gestion de la sécheresse

repose sur les indices statistiques pour décider quand commencer la mise en œuvre des mesures de conservation de l'eau ou d'atténuation (Khadr et al., 2009). Plusieurs indices ont été proposés par les chercheurs pour quantifier la sévérité de la sécheresse qui sont liés à des variables hydro-météorologiques. Parmi les indices de sécheresse les plus populaires on a : l'indice Palmer (Palmer, 1965), l'indice de l'approvisionnement en eau de surface (Shafer et Dezman, 1982), l'indice standardisé de précipitation (McKee et al., 1993), l'indice de sécheresse effective (Byun et Wilhite, 1999), l'indice de sécheresse des débits (Nalbantis et Tsakiris, 2009), l'indice hydrologique normalisé (Sharma et Panu, 2010), l'indice normalisé de l'évapotranspiration maximale (Vicente-Serrano et al., 2010), l'indice régional de la zone de sécheresse (Fleig et al., 2011) et indice agricole de référence de la sécheresse (Woli et al., 2012). Chaque indice a ses propres forces et faiblesses. Mishra et Singh (2010) ont fait un examen exhaustif des différents indices de sécheresse résumant leur utilité et les limites. Par ailleurs, une bonne critique sur les indices de sécheresse base de télédétection est donnée par Bayarjargal et al. (2006) et Niemeyer (2008). Parmi tous les indices de sécheresse, l'indice standardisé de sécheresse (SPI) est le plus populaire dans la caractérisation de la sécheresse météorologique. Cet indice est largement utilisé à travers le monde pour l'analyse de la sécheresse surtout météorologique (Hayes et al., 1999; Wu et al., 2004; Pashiardis et Michaelides, 2008; Ibrahim et al., 2010; Tirandaz et Eslami, 2012; Jacobi et al., 2013; Jouilil et al., 2013). L'indice standardisée de sécheresse présente des avantages en termes de cohérence statistique, et à la capacité de décrire à la fois à court terme et à long terme les impacts de la sécheresse à travers les différentes échelles de temps. La nature probabiliste de l'indice standardisée de sécheresse lui permet d'être comparable entre les différents sites (Mirabbasi et al., 2013).

Certains scénarios des changements planétaires indiquent que l'occurrence et l'impact des sécheresses risquent d'augmenter dans les années à venir (Watson et al., 1997). Dans un tel contexte climatique, il est indispensable de pouvoir analyser les séquences de sécheresse météorologique en vue de proposer aux populations des mesures d'atténuation ou d'adaptation au cas échéant. C'est dans ce cadre que la présente étude a été initiée dans l'extrême nord-ouest de la Côte d'Ivoire. Cette région est une zone pâturage et de forte production agricole et elle est sujette depuis plusieurs années à des déficits pluviométriques.

## **PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

La zone d'étude est située dans l'extrême nord-ouest de la Côte d'Ivoire entre les longitudes  $-6^{\circ}24$  et  $7^{\circ}34$  Ouest et les latitudes  $9^{\circ}30$  et  $10^{\circ}29$  Nord (Figure 1). Du point de vue administratif, la zone est limitée au nord par la région du Folon, à l'ouest par la Guinée, au sud par les régions du Bafing, Worodougou et Béré et à l'est par la région du Poro. Le relief de la zone d'étude est constitué de

plaines et de plateaux d'altitude variant de 300 à 500 m. On y rencontre également les chaînes de montagne de Madinani. Sa végétation est dominée par la savane. L'extrême nord-ouest se situe dans le climat soudanais. La pluviométrie annuelle varie de 1000 à 1700 mm. Le climat soudanais est marqué par une saison de pluie et une saison sèche (Figure 2). La température y est plus variable et l'humidité relative demeure plus basse. L'harmattan, chaud et sec d'origine sud-est saharienne, souffle au maximum en janvier.



Figure 1 : Localisation géographique de la zone d'étude

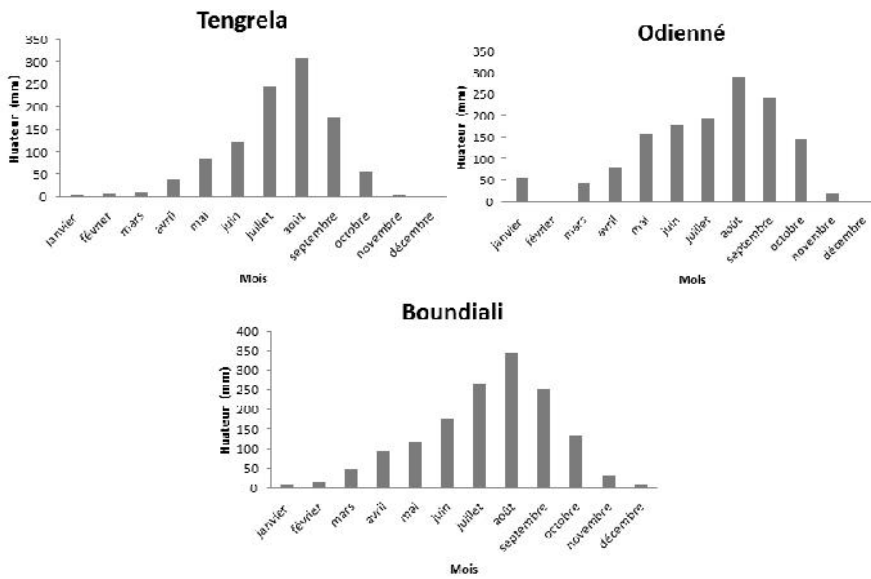


Figure 2 : Régime pluviométrique de la zone d'étude

## DONNEES ET METHODES

### Données d'étude

Les données de base sont constituées de relevés pluviométriques journaliers provenant de trois postes pluviométriques (Tableau 1). Les données ont été mises à disposition par la Direction de la Météorologie Nationale de la Côte d'Ivoire et la compagnie Coton-Ivoire. La variable d'étude est la pluie annuelle de la période 1940 à 2010. Les postes sélectionnés, obéissent à des critères de continuité, de durée de l'information disponible et de qualité des données. Le choix des postes s'est également effectué de manière à permettre une couverture la plus homogène possible de la zone d'étude. Ces postes présentent toutes des séries chronologiques de 71 ans de mesures.

**Tableau 1:** Postes pluviométriques retenus pour l'étude

Code	Nom	Latitude Nord	Longitude Ouest	Altitude (m)	Période
1090006400	Boundiali	9°31	6°28	421	1940-2010
1090016000	Odienné	9°30	7°34	434	1940-2010
1090019300	Tengréla	10°29	6°24	356	1940-2010

### Méthodes

#### Contrôle des données

Cette méthode s'applique à une station pluviométrique dont on procède une série continue de mesure sur 20 ans au moins. Elle part du principe que la pluviométrie annuelle est une variable aléatoire indépendante dont la loi de probabilité est constante dans le temps. L'échantillon obtenu ne doit donc présenter ni tendance (à la hausse ou à la baisse) ni phénomène cyclique. Pour vérifier cette hypothèse, on dresse le graphique de la moyenne mobile sur (2n+1) année à partir de la formule suivante :

$$M_i = \frac{1}{2n+1} (P_{i-1} + P_{i-n+1} \dots P_{i+n-1} + P_{i+1}) \quad (1)$$

n: nombre de valeur de part et d'autre de l'année de calcul ;

i: l'année de calcul ;

M<sub>i</sub>: moyenne de (2n+1) valeur entourant l'année i.

Le contrôle à travers la moyenne mobile est purement qualitatif et ne peut conduire au calcul de nouvelle valeur. Par contre dans le cas de résultat

douteux, il convient d’effectuer un control par comparaison à des stations voisines.

### Caractérisation des séquences de sécheresse météorologique

#### Justifications du choix de l’indice *statistique*

Le choix de l’indice standardisé des précipitations (dénommé en anglais, SPI, Standardized Precipitation Index), mis au point par McKee *et al.* (1993) est lié au fait que cet indice présente des avantages en termes de cohérence statistique et à la capacité de décrire à la fois à court terme et à long terme les impacts de la sécheresse à travers les différentes échelles de temps (McKee *et al.*, 1993). Dans la présente étude, les échelles de temps à court terme (5 ans), moyen terme (35 ans) et à long terme (70 ans) sont utilisées. La nature probabiliste de l’indice SPI lui permet d’être comparable entre les différents sites (Mirabbasi *et al.*, 2013).

#### Indice Standardisé des Précipitations

L’indice (McKee *et al.*, 1993; Hayes, 1996) standardisé des précipitations « SPI » (Standardised Precipitation Index) a été développé en vue de quantifier le déficit des précipitations pour des échelles de temps multiples qui vont refléter l’impact de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources en eau pour une période donnée. Il est exprimé mathématiquement comme suit :

$$SPI = \frac{(P_i - P_m)}{S} \tag{2}$$

$P_i$  : Pluie de l’année  $i$  ;

$P_m$  : Pluie moyenne de la série sur l’échelle temporelle considérée ;

$S$  : Ecart-type de la série sur l’échelle temporelle considérée.

Etudier cet indice permet également de distinguer les années sèches des années humides ou les années déficitaires des années excédentaires. Une sécheresse sévit lorsque le SPI est consécutivement négatif et que sa valeur atteint une intensité de -1 ou moins et se termine lorsque le SPI devient positif. On effectue une classification de la sécheresse suivant les valeurs du SPI (Tableau 2).

**Tableau 2:** Classification des séquences de sécheresse selon SPI

Valeur de la SPI	Séquence de sécheresse
-0,99 à 0,99	Proche de la normale
-1,00 à -1,49	Modérément sèche
-1,50 à -1,99	Sévèrement sèche
-2,00 et moins	Extrêmement sèche

### ***Paramètres descriptifs des séquences de sécheresse***

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

#### ***Fréquence des séquences de sécheresse***

La fréquence cumulée (F) de 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.

#### ***Durée maximale des séquences de sécheresse***

La durée est l'une des caractéristiques importante 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 ou termine cette sécheresse d'avec l'année ou elle débute ; le résultat obtenu est ajouté d'un.

$$(A_{\text{fin}} - A_{\text{début}}) + 1 \quad (3)$$

$A_{\text{fin}}$  : 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.

#### ***Intensité des séquences de sécheresse***

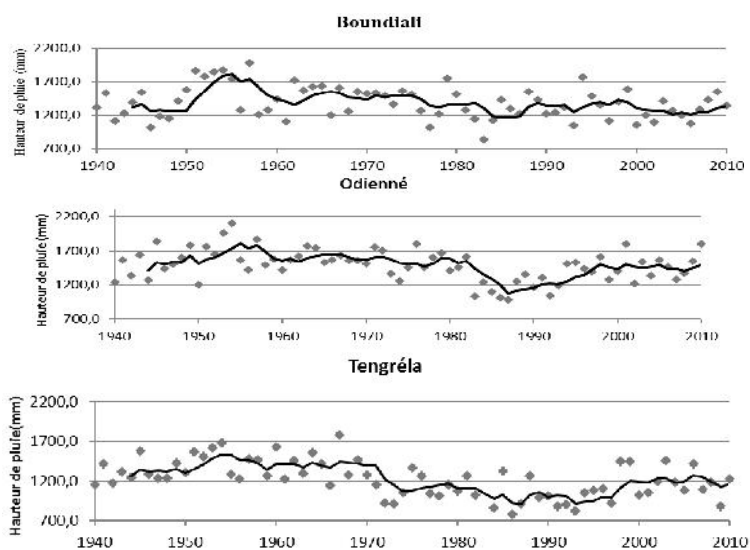
L'intensité de la sécheresse peut être défini comme étant l'ampleur et la gravité des conséquences du déficit de précipitations. Elle peut être évaluée à l'aide des valeurs du SPI. Dans le cadre de cette étude, la valeur extrême du SPI a été considérée comme valeur de référence de l'intensité de la sécheresse.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### Analyses

#### *Qualité intrinsèque des données pluviométriques*

L'évolution des hauteurs de pluie annuelle associée à la courbe de la moyenne mobile calculée sur 5 ans (pour lisser les valeurs) permettent d'identifier le caractère fortement aléatoire de la pluie (Figure 3). L'analyse montre que les courbes de la moyenne mobile calculée sur 5 ans suivent l'évolution des pluies annuelles des différentes stations. Cela indique que les séries chronologiques ne comportent pas de valeurs aberrantes. Elles peuvent donc faire l'objet un traitement statistique.



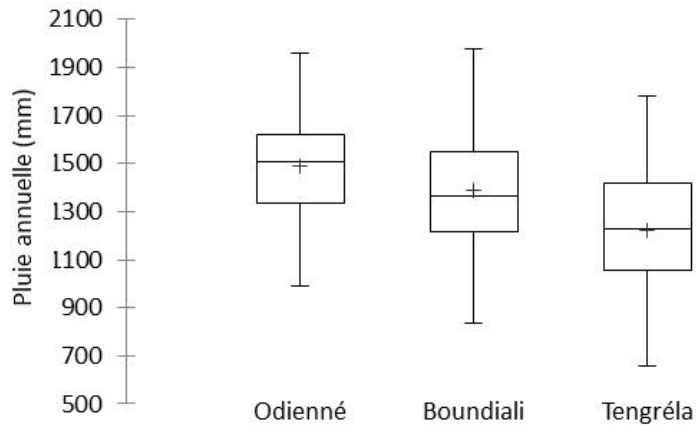
**Figure 3 :** Evolution temporelle des cumuls annuels de pluie associée à la courbe de la moyenne mobile calculée sur 5 ans

#### *Statistiques de base des pluies annuelles*

Les caractéristiques statistiques telles que le minimum, le 1<sup>er</sup> décile, la moyenne, la médiane, 3<sup>ième</sup> décile et le maximum des pluies annuelles des stations étudiées sont résumés à l'aide des boîtes à moustaches (Figure 4). L'analyse montre que les séries de la station d'Odienné et Boundiali sont asymétriques. Il est à noter que les hauteurs de pluies annuelles les plus élevées ont été recueillies à la station de Odienné. Ces hauteurs de pluie varient entre 991 mm et 2096 mm avec une moyenne de 1487 mm. La seconde station la plus



arrosée est celle de Boundiali avec 1385 mm de pluie annuelle. La station de Tengréla est la moins arrosée de la zone avec 1219 mm par an.



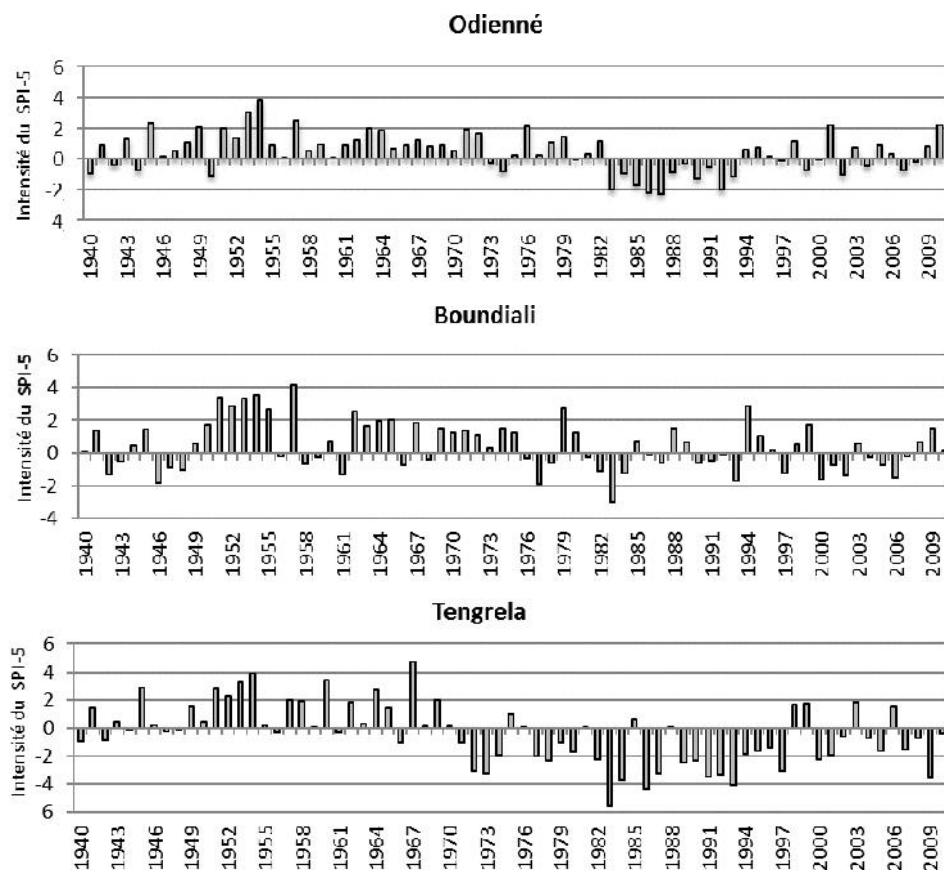
**Figure 4 :** Caractéristiques statistiques des pluies annuelles des stations étudiées.

## **Caractérisation de la sécheresse météorologique**

### **Sécheresse météorologique à court terme**

L'analyse des valeurs de SPI à court terme montre qu'avant 1970, très peu de séquences sèches ont été observées dans la plupart des stations étudiées (Figure 5). Ainsi, de 1940 à 1970, 11 séquences sèches, 4 séquences sèches et 8 séquences sèches ont été respectivement observées au niveau des stations de Boundiali, Odienné et Tengréla. Il est à noter que durant ces 31 années, la station de Boundiali a connu 3 années successives de sécheresse (1946-1948). De 1970 à 1999, les stations d'Odienné et de Tengréla ont connu des périodes de très longues sécheresses. Ces événements secs ont duré 11 années (1983-1993) à Odienné et 9 années (1989-1997) à Tengréla. Quant à la station de Boundiali, elle a eu une alternance de période sèche et humide avec deux périodes de 4 années successives de sécheresse (1981-1984) et (1990-1993).

L'indice statistique SPI a révélé que la période 2000-2010 a connu un important déficit pluviométrique. La station de Tengréla, 9 événements de sécheresse qui ont été recensés répartis sur les périodes suivantes : 2000-2002, 2004-2005 et 2007-2010. Durant cette période, 7 années sur 11 ont connu un déficit pluviométrique à la station de Boundiali. Ces épisodes secs ont été observés de 2000 à 2002 et de 2004 à 2007. Quant à Odienné, elle a eu une alternance de période sèche et humide suivi de 2 années de sécheresse (2007-2008).



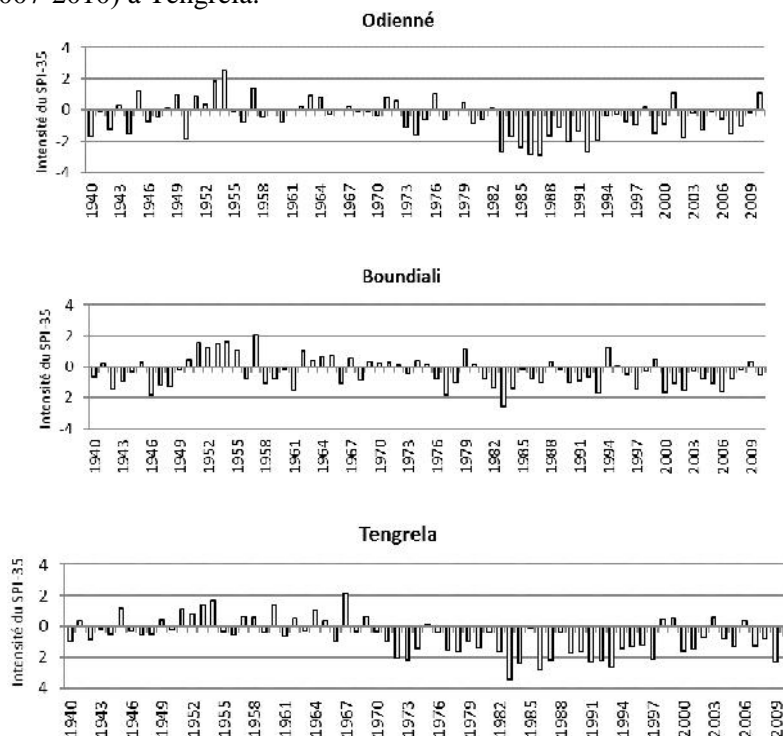
**Figure 5 :** Evolution de la sécheresse météorologique à court terme à l'aide de l'indice standardisé de précipitation aux stations d'Odienné, Boundiali et Tengréla

### Sécheresse météorologique à moyen terme

A moyen terme, les trois premières décennies ont été marquées par une alternance de séquences humide et sèche au niveau des stations étudiées (Figure 6). Toutefois, Boundiali et Odienné ont connu 4 années de sécheresses successives (1958-1961). Avant cette période, Boundiali en a connu d'autres, notamment celle de 1942 à 1944 (3 ans) et de 1946 à 1948 (4 ans).

Durant la période 1970 à 1999, de très longues séquences de sécheresse ont été enregistrées au niveau des stations analysées. Sur cette période, 19, 22 et 27 séquences sèches ont été respectivement enregistrées à Boundiali, Odienné et Tengréla. Parmi celles-ci certaines ont eu une apparition consécutives notamment durant 7 ans (1981-1987) à Boundiali, 15 ans (1983-1997) à Odienné et 22 ans (1971-1997) à Tengréla. La sécheresse météorologique s'est

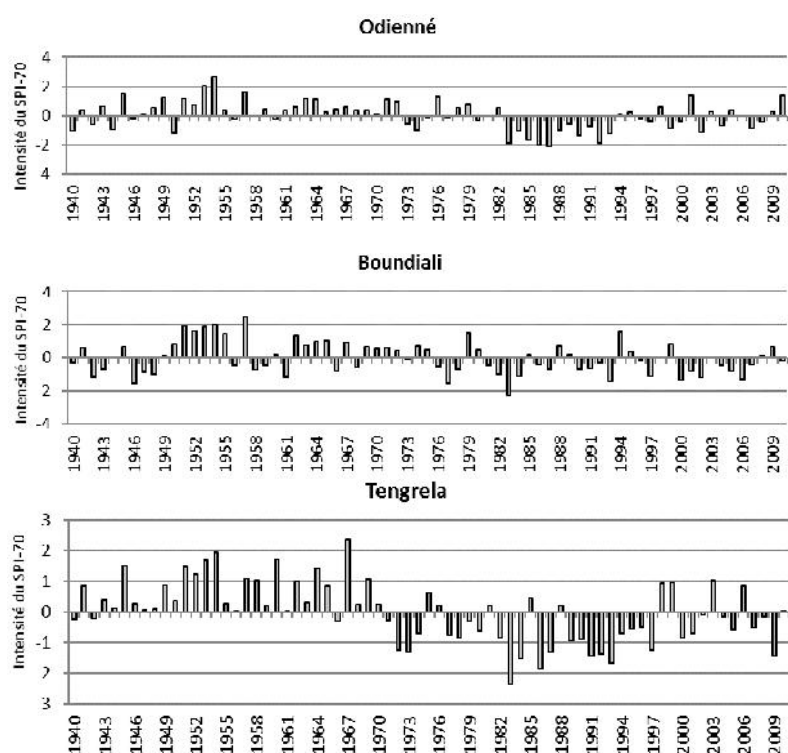
fait aussi ressentir dans la dernière période (2000-2010), avec pratiquement 9 années successives (2000-2008) à Boundiali, 8 ans (2002-2009) à Odienné et 4 ans (2007-2010) à Tengréla.



**Figure 6 :** Evolution de la sécheresse météorologique à moyen terme à l'aide de l'indice standardisé de précipitation aux stations d'Odienné, Boundiali, et Tengréla

### Sécheresse météorologique à long terme

Peu de séquences sèches ont été détectées à long terme sur les stations étudiées (Figure 7). La station de Boundiali a connu des périodes successives de sécheresse (1942-1943), (1946-1948) et (1958-1959). Durant la période de 1970-1999, Odienné et Tengréla ont enregistré plus de séquences de sécheresse. Parmi les 20 années sèches à Odienné, 11 ont été consécutives. A la station de Tengréla, on a détecté des séquences sèches consécutives entrecoupées par 1 ou 2 années de séquences humides. Boundiali quant à elle a connu une période d'alternance de séquences sèche et humide. Cette station a également été marquée par une période de 3 années successives (1976-1978) et deux période de quatre années (1981-1984 ; 1990-1993). La période 2000-2010 a été très sèche à Boundiali et Tengréla avec 8 séquences sèches chacune. Odienné a plutôt été caractérisée par une alternance de séquences humides.



**Figure 7 :** Evolution de la sécheresse météorologique à long terme à l'aide de l'indice standardisé de précipitation aux stations d'Odienné, Boundiali, et Tengrela

### Analyse des paramètres descriptifs des séquences de sécheresse

#### *Intensité des séquences de sécheresse*

Au cours des 71 années analysées, les sécheresses les plus remarquables de par leur intensité ont été celle des années 1983 et 1987 (Tableau 3). Les épisodes secs détectés en 1983 et 1987 ont été qualifiés extrêmement sévères en termes d'intensité. La station de Tengrela située au nord de la zone d'étude a été la plus affectée en termes d'intensité quelle que soit l'échelle de temps considérée.

**Tableau 3 :** Intensité des séquences de sécheresses enregistrées durant la période 1940 à 2010 à court, moyen et long termes

Echelle de temps	Paramètre	Boundiali	Odienné	Tengréla
Court terme (SPI-5)	Intensité (SPI)	-3,04	-2,3	-5,56
	Type	Extrêmement Sévère	Extrêmement Sévère	Extrêmement Sévère
	Date d'occurrence	1983	1987	1983
Moyen terme (SPI-35)	Intensité (SPI)	-2,57	-2,89	-3,39
	Type	Extrêmement Sévère	Extrêmement Sévère	Extrêmement Sévère
	Date d'occurrence	1983	1987	1983
Long terme (SPI-70)	Intensité (SPI)	-2,29	-2,08	-2,36
		Extrêmement Sévère	Extrêmement Sévère	Extrêmement Sévère
	Date d'occurrence	1983	1987	1983

#### ***Durée des séquences de sécheresse***

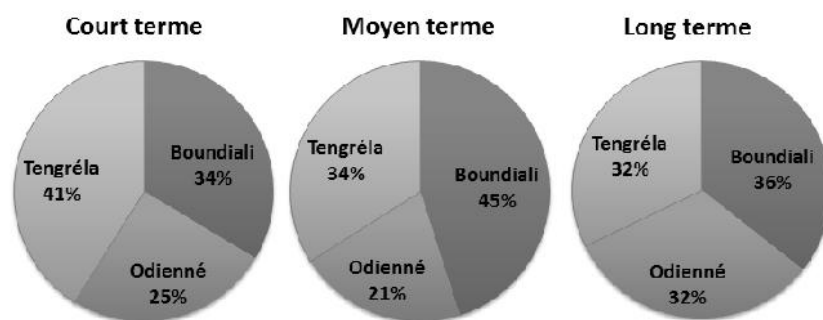
L'analyse de la durée des épisodes de sécheresse montre que celle-ci varie d'une échelle de temps à une autre (Tableau 4). A court terme et à long terme, la station d'Odienné a connu la plus long période de sécheresse avec 11 années de séquences sèches consécutives. A moyen terme, c'est celle de Tengréla qui a connu la plus longue période de sécheresse avec 22 ans d'épisodes secs. Il est a noté que la durée maximale de sécheresse dans cette zone du pays est d'au moins 4 années.

**Tableau 4:** Intensité des séquences de sécheresses enregistrées durant la période 1940 à 2010 à court, moyen et long termes

Echelle de temps	Paramètre	Boundiali	Odienné	Tengréla
Court terme (SPI-5)	Durée maximale (ans)	4	11	9
Moyen terme (SPI-35)	Durée maximale (ans)	9	15	22
Long terme (SPI-70)	Durée maximale (ans)	4	11	9

**Fréquence des séquences de sécheresse**

L’analyse de la fréquence des épisodes de sécheresse observée dans l’extrême nord-ouest montre que celles-ci sont inférieures à 50% quelle que soit l’échelle de temps et la station considérée (Figure 8). Toutefois, à court terme, la station de Tengréla dans l’extrême nord du pays semble la plus affectée par les séquences de sécheresse suivi de Boundiali avec respectivement 41% et 34%. A moyen et long termes, la station de Boundiali semble la plus affectée par les épisodes secs. Il est a noté quelle que soit l’échelle de temps, la station d’Odienné est la moins affectées par les séquences de sécheresse.



**Figure 8 :** Fréquences des séquences de sécheresse durant la période 1940-2010 à court, moyen et long termes aux stations de Tengréla, Boundiali et Odienné

## **DISCUSSION**

L'analyse de l'indice standardisé des précipitations (SPI) a révélé que l'extrême nord-ouest de la Côte d'Ivoire a connu un important déficit pluviométrique après 1970 avec des pics en 1983 et 1987. Ces pics ont été caractérisés par des sécheresses de types extrêmement sévères. Ces résultats confirment les recherches effectués par Mahé et al. (2001) et Bigot et al. (2005) en Afrique de l'Ouest. En Côte d'Ivoire, les travaux de Goula et al. (2006) ont montré que les décennies 1970-1979, 1980-1989, et 1990-1999 ont été des périodes sèches. A l'Ouest du pays, les études de Savané et al. (2001) ont également mentionnés une baisse de la pluviométrie sur la période 1970-2000. Selon Brou et al. (2005), la baisse pluviométrique 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 observés au cours de la présente étude. En effet, la période 2000-2010, les indices statistiques ont détecté dans la zone d'étude d'importantes séquences de sécheresse.

Par ailleurs, les évolutions des valeurs de l'indice SPI à court, moyen et long termes des différentes stations montrent que la région d'Odienné est la moins touchée par les séquences de sécheresse. Cela pourrait être lié à la distribution spatiale de la pluie au niveau de la région 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.

Il est noté que les résultats obtenus à court, moyen et long termes varient selon le paramètre d'intérêt de la sécheresse. En effet, au niveau de la durée des séquences de sécheresse, les résultats obtenus sont identiques à court et long terme, mais différent de celle à moyen terme. Au niveau de la fréquence, les résultats obtenus sont semblables à moyen et long termes, mais différent de celle à court terme. Quant à l'intensité de la sécheresse, les résultats obtenus sont identiques (type, occurrence) quelle que soit l'échelle de temps. Ces analyses montrent les effets de l'échelle de temps d'études sur la caractérisation des paramètres des séquences sèches. En effet, plus le temps choisi est long, c'est-à-dire plus y a des données historiques, plus l'indice statistique varie peu et permet de définir avec plus de précision les épisodes secs. D'où la nécessité d'utiliser des échelles de temps à long terme pour mieux caractériser les séquences sécheresse. Ce même constat par Lopez et al. (2006) dans l'État de Chihuahua (Mexique).

Dans cette étude, la sécheresse a été caractérisée à l'aide de données pluviométriques. Cette approche est fortement tributaire de la qualité des données pluviométriques mesurés *in situ*. En Espagne, Beaudin (2007) a préféré utiliser la combinaison des indicateurs satellitaires TCI (indice des conditions thermiques) et VCI (Indice des Conditions de végétation) qui eux utilisent

l'imagerie satellitaire pour le suivi des conditions météorologiques et environnementales.

Ces indices utilisent les données du capteur AVHRR du satellite NOAA 11 car ce capteur offre la possibilité d'acquérir les données journalières pour un territoire désiré. L'association de ces indicateurs satellitaires augmente la précision et la surveillance des conditions de sécheresse et aide à expliquer la contribution des températures dans l'analyse des sécheresses.

## CONCLUSION

Au terme de ce travail, l'on retient que le nord-ouest de la Côte d'Ivoire a été affecté par plusieurs périodes sèches sur la période 1940 à 2010. Les sécheresses les plus remarquables de par leur intensité, leur durée et leur fréquence ont été observées durant la période 1970-1999 et ce quelle que soit l'échelle de temps considéré. Ces épisodes secs ont atteint leur paroxysme en 1983 et 1987 avec des sécheresses de type extrêmement sévères. Des trois stations étudiées, celles de Tengréla et Boundiali semblent les plus affectées par la sécheresse. Des trois échelles de temps considérées, celle à long terme semble la mieux appropriée pour décrire les séquences de sécheresse car à ce pas de temps, l'indice devient stable permettant ainsi de définir avec plus de précision les épisodes secs.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAYARJARGAL Y., KARNIELI BAYASGALAN A., KHUDULMUR M., GANUSH S. C., TUCKER C. J. (2006). A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis. *Remote Sensing Environment*, 105, 9-22.
- BEAUDIN I. (2007). Potentiel de la télédétection pour le suivi et la caractérisation des conditions de sécheresse en milieu méditerranéen. rapport de Maîtrise en Sciences Géomatiques, Université Laval, 233p.
- BIGOT S., BROU Y.T., OSZWALD J., DIEDHIOU A. (2005). Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. *Sécheresse*, 1 (6), 5 - 13.
- BROU Y.T. (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.
- BYUN H. R., WILHITE D.A. (1999). Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 12, 2747-2756.
- FLEIG A.K., TALLASSEE L.M., HISDAL H., HANNAH D.M. (2011). Regional hydrological drought in north-western Europe: linking a new



- Regional Drought Area Index with weather types. *Hydrological Process*, 25 (7), 1163-1179.
- GOULA B. T. A., SAVANE I., KONAN B., FADIKA V., KOUADIO G. B. (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), 1-12.
- HAYES M.J., SVOBODA M.D., WILHITE D.A., VANYARKHO O.V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index *Bulletin of American Meteorological Society*, 80 (3), 429-438.
- HAYES M. (1996). Drought Indices. National Drought Mitigation Center. Consulté en ligne: <http://enso.unl.edu/ndmc>.
- IBRAHIM K., WAN ZIN W., JEMAIN A. (2010). Evaluating the dry conditions in Peninsular Malaysia using bivariate copula. *Anziam Journal*, 51, pp. C555-C569.
- JACOBI J., D. PERRONE D. (2013). A tool for calculating the Palmer drought indices. *Water Resources Research*, 49 (9), 6086-6089.
- JOUILIL I., BITAR K., SALAMA H., AMRAOUI., MOKSSIT A., TAHIRI M. (2013). Sécheresse météorologique au bassin hydraulique OUM ER RBIA durant les dernières décennies, *Larhyss Journal*, 12, 109-127
- KHADR M., MORGENSCHWEIS G., SCHLENKHOFF A. (2009). Analysis of meteorological drought in the Ruhr basin by using the standardized precipitation index. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 57, 607-616.
- LOPEZ D.N., ROBLES C.A.M., GADSDEN H., REYES-GÓMEZ V.M. (2006). Caractérisation, à diverses échelles de temps, des séquences de sécheresse dans l'État de Chihuahua (Mexique). *Sécheresse*, 17 (4), pp. 467-74.
- MAHÉ G., L'HOTE Y., OLIVRY J. C., WOTLING W. (2001). Trends and discontinuities in regional rainfall of West and Central Africa. *Hydrological Sciences Journal*, 46 (2), pp. 211-226.
- McKEE T.B., DOESKEN N.J., KLEIST J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scale. 8th Conference on Applied Climatology, 179-184.
- MISHRA A.K., SINGH V.P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202-216.
- MIRABBASIA R., ANAGNOSTOUB E.N., FAKHERI-FARDA A. DINPASHOHA Y., ESLAMIANC S. (2013). Analysis of meteorological drought in northwest Iran using the Joint Deficit Index. *Journal of Hydrology*, (492), 35-48.
- NALBANTIS I., TSAKIRIS G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23, 881-897.
- NIEMEYER S. (2008). New drought indices. *Water Management*, 80, 267-274.

- OBASSI G.O. (1994). WMO's Role in the International Decade for Natural Disaster Reduction. *Bulletin of American Meteorological Society*, 75-9.
- PALMER W. (1965). Meteorological Drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, 58p.
- PASHIARDIS S., MICHAELIDES S. (2008). Implementation of the standardized precipitation index (SPI) and the reconnaissance drought index (RDI) for regional drought assessment: a case study for Cyprus. *European Water* 23/24, 57-65.
- SAVANE I., COULIBALY K. M., GION P. (2001). Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man, *Sécheresse*, 12 (4), 231-237.
- SHAFER B.A., EDEZMAN L.E. (1982). Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In: Proceedings of the Western Snow Conference. Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 164-175.
- SHARMA T.C., PANU U.S. (2010) Analytical procedures for weekly hydrological droughts: a case of Canadian rivers. *Hydrological Sciences Journal*, 55 (1), 79-92.
- TIRANDAZ M., ESLAMI A. (2012). Zoning droughts and wetness trends in north of Iran: A case study of Guilan province. *African Journal of Agricultural Research*, 7(15), 2320-2327.
- VICENTE-SERRANO S. M., BEGUERIA S., LOPEZ-MORENO. J. I. (2010). A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index –SPEI. *Journal of Climate*. 23 (7), 1696-1718.
- WILHITE D.A. (2000). Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. Drought: A Global Assessment Routledge, London, UK.
- WOLI P. JONES J.W., INGRAM K.T., FRAISSE C.W. (2012). Agricultural reference index for drought. *Agronomy Journal*, 104 (2), 287-300.
- WU H., HAYES M. J., DONALD A., WILHITE A., SVOBODA M. D. (2004). The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *International Journal of Climatology*, 25, 505-520.