

VARIABILITÉ DE LA PLUVIOMÉTRIE ET SON INCIDENCE SUR LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES : CAS DU DÉPARTEMENT DE TIIASSALÉ, CÔTE D'IVOIRE

Rosine Marie N'guessan FOSSOU*, **Aristide DOUAGUI**,
Auguste Kouamé KOUASSI, **Williams Guehi ABA**
et **Lanciné Droh GONE**

*Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement
(SGE), Laboratoire Géosciences et Environnement,
02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire*

(reçu le 29 Avril 2022; accepté le 31 Mai 2022)

* Correspondance, e-mail : dellia120@yahoo.fr

RÉSUMÉ

La présente étude porte sur la variabilité de la pluviométrie et son incidence sur les ressources en eau souterraines : Cas du Département de Tiassalé (Côte d'Ivoire). Les séries mensuelles de pluies (1948 - 2008) et de température maximale (1958 - 2008) de la station de Tiassalé ont été utilisées à cet effet. La méthodologie consiste à appliquer des tests statistiques sur les séries chronologiques de pluie et de recharge afin d'identifier et de comparer l'indépendance, l'homogénéité, la tendance et l'année probable de rupture. Les résultats montrent que la pluviométrie de la zone d'étude est caractérisée par une alternance de période excédentaire de 1948 à 1969 et déficitaire 1970 à 1998 suivis d'une courte période humide de 1999 à 2008. La variabilité pluviométrique présente une hétérogénéité avec une rupture en 1970 qui s'accompagne d'une tendance à la baisse de 13 %. Cette baisse pluviométrique a entraîné un déficit de la recharge en eau souterraine de 53 %. La durée des saisons reste inchangée. Cependant les écarts saisonniers de pluies avant et après rupture sont importants et pratiquement identiques pour tous les mois. Les mois de recharge avant rupture qui étaient d'environ 3 sont passé à un seul mois après rupture. Ce travail fournit des connaissances au secteur agricole dépendant de la pluviométrie.

Mots-clés : *variabilité climatique, pluviométrie, tests statistiques, recharge, eau souterraines, Côte d'Ivoire.*

ABSTRACT

Rainfall variability and its impact on groundwater resources : case of Tiassalé Department, Côte d'Ivoire

This paper studies the variability of rainfall and its impact on groundwater resources: case of Tiassalé Department (Côte d'Ivoire). Monthly rainfall (1948-2008) and maximum temperature (1958 - 2008) series from the Tiassalé station were used for this purpose. The methodology consists of applying statistical tests on the rainfall and recharge time series in order to identify and compare independence, homogeneity, trend and probable break year. The results show that rainfall in the study area is characterized by alternating periods of surplus from 1948 to 1969 and deficit from 1970 to 1998 followed by a short wet period from 1999 to 2008. Rainfall variability is heterogeneous, with a break in 1970 accompanied by a 13 % downward trend. This decrease in rainfall led to a 53 % deficit in groundwater recharge. The length of the seasons remains unchanged. However, the seasonal differences in rainfall before and after disruption are significant and similar for all months. The months of recharge before disruption which were about 3 months, become only one month after disruption. This work provides knowledge to the rainfall-dependent agricultural sector.

Keywords : *climate variability, rainfall, statistical tests, recharge, groundwater, Côte d'Ivoire.*

I - INTRODUCTION

Le changement climatique qui se manifeste par de fortes augmentations des températures, la montée du niveau des mers, des variations dans les conditions météorologiques et la baisse de la pluviométrie, occasionnent des effets néfastes sur les écosystèmes naturels [1]. Le réchauffement global va augmenter la fréquence et l'intensité des événements extrêmes avec notamment une multiplication des périodes de canicule et une extension des zones d'inondation et de sécheresse. Les communautés pauvres seront les plus vulnérables du fait de leurs capacités d'adaptation limitées et leur grande dépendance de ressources à forte sensibilité climatique telles que les ressources en eau et les systèmes de production agricole [2]. Ces changements climatiques abordés à l'échelle mondiale, ont fait l'objet d'études plus ciblées en Afrique de l'Ouest et Centrale [3, 4] et au Sahel [5, 6]. L'Afrique de l'ouest, dont l'économie est fondée sur le secteur primaire (l'agriculture pluviale) apparaît comme une région particulièrement sensible [1, 7]. La baisse très marquée de la pluviométrie observée dans cette région au cours des décennies 1970 et 1980

a eu des répercussions importantes, aux plans hydrologique [8] et agronomique [9], mais aussi économique et social [10]. Le Sud-Est de la Côte d'Ivoire n'est pas resté en marge [11]. En effet, le département de Tiassalé subit la baisse de la pluviométrie sur ses ressources en eau de surface par une baisse de 54 %. Ce tarissement du N'zi à partir de 1971 n'a pas provoqué de changement sur la durée des saisons qui reste identique. Cependant les écarts saisonniers des écoulements avant et après rupture sont importants et pratiquement identiques pour tous les mois. Sur le plan agronomique et économique la principale activité est l'agriculture. Cependant, celle-ci connaît un déclin croissant depuis les années 70 à cause de sa vulnérabilité aux aléas climatiques. L'objectif de la présente recherche est d'étudier la variabilité de la pluviométrie et son incidence sur les ressources en eau souterraines dans le département de Tiassalé (Côte d'Ivoire). Cette étude représente un guide agricole pour une meilleure exploitation et une gestion durable de la ressource en eau souterraine.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Présentation de la zone d'étude

Le département de Tiassalé (*Figure 1*) se situe entre les longitudes 4°30' et 5° Ouest et les latitudes 5°30 et 6°15' Nord. Selon le recensement de 2014 [12], la population de Tiassalé est estimée à plus de 180.000 habitants. L'activité économique principale est l'agriculture. Le paysage géomorphologique est majoritairement constitué des plateaux occupés par les cultures de rente et d'exportation (café, cacao, palmier à huile, hévéa, banane douce et ananas) et les cultures vivrières (riz, maïs, maraîchers, taro, banane plantain, igname, etc.). L'on rencontre par endroit des vallées et des collines qui culminent à 108 mètres en moyenne. Le climat est de type tropical humide localement appelé « climat attiéen » [13]. Le réseau hydrographique de la zone d'étude est constitué du Bandama et de ses affluents dont le N'zi. En effet, la Côte d'Ivoire est drainée par un réseau hydrographique constitué de 4 principaux fleuves dont le Bandama, le Cavally, la Comoé, le Sassandra, auxquels s'ajoutent des cours d'eau côtiers et des affluents du Niger et de la Volta (*Figure 1*).

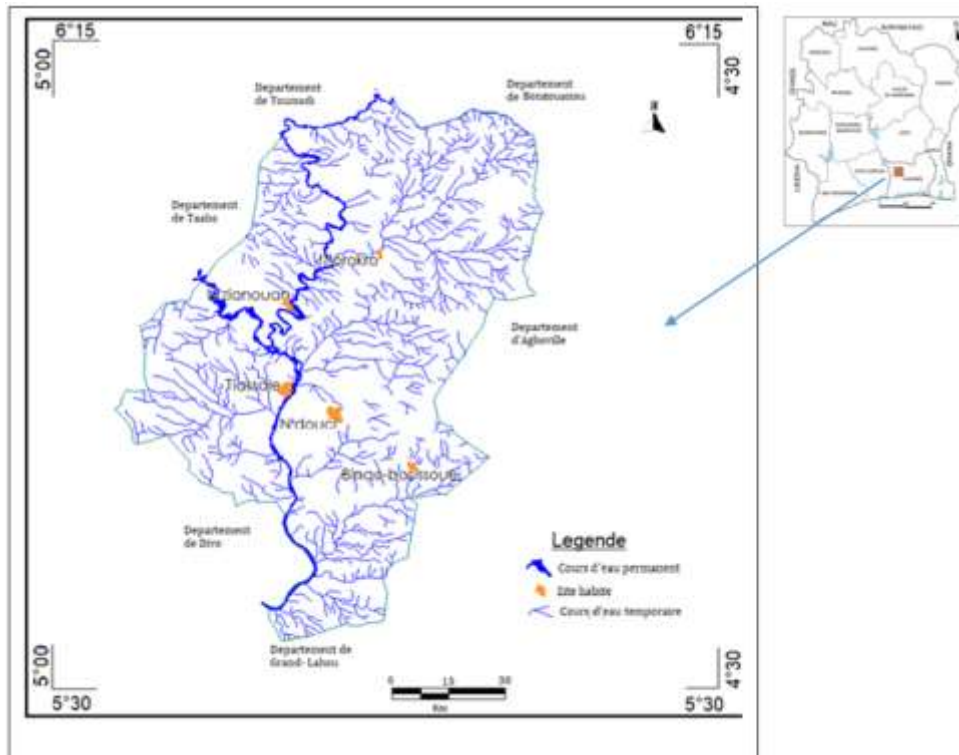


Figure 1 : Situation géographique du département de Tiassalé

II-2. Données

Les données pluviométriques ont été fournies par la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire Météorologique (SODEXAM). Les mesures de pluviométries (1948 à 2008) et de températures (1958 à 2008) proviennent de la station météorologique de Tiassalé. Le logiciel Khronostat a été utilisé pour faire les études statistiques.

II-3. Méthodes

La méthodologie consiste à appliquer des tests statistiques (tests d'indépendances et d'homogénéités) sur la série pluviométrique étudiée afin de connaître sa variation. Ensuite à calculer la recharge du mois le plus pluvieux sur la même période et à appliquer les tests statistiques sur la recharge. Enfin, l'étude analyse et compare les deux variations.

II-3-1. Indices pluviométriques

Ces méthodes permettent de découper les séries chronologiques de chaque station pluviométrique en années excédentaires ou déficitaires et d'en

connaître les grandes tendances. L'indice pluviométrique de Nicholson et le filtre passe bas de Hanning d'ordre 2 encore appelée moyennes mobiles pondérées ont été utilisées.

- **Indice pluviométrique de Nicholson**

C'est un indice qui permet de mesurer l'écart par rapport à une moyenne établie sur une longue période en se référant aux données des stations. L'indice pluviométrique annuel est défini comme une variable centrée réduite. Il est obtenu par l'Équation suivante [14] :

$$I_h = \frac{X_i - X_m}{\sigma} \quad (1)$$

avec, I_h : Indice pluviométrique ; X_i : Hydrométrie de l'année i ; X_m : Hydrométrie moyenne interannuelle sur la période de référence ; σ : Écart type de l'hydrométrie interannuelle sur la période de référence.

L'indice pluviométrique traduit ainsi un excédent ou un déficit pluviométrique pour l'année considérée par rapport à la période de référence.

- **Filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2 (moyennes mobiles pondérées)**

C'est une méthode qui permet d'éliminer les variations saisonnières dans une série chronologique donnée. Le calcul des totaux pluviométriques pondérés est effectué au moyen de différentes équations [15]

II-3-2. Tests statistiques de détection d'indépendance

Les tests les plus répandus portent sur la constance de la moyenne de la série tout au long de sa période d'observation. Le test d'indépendance utilisé est l'autocorrélogramme. L'hypothèse nulle dans cette étude est "série aléatoire" ou "série indépendante".

- **Test de l'autocorrélogramme**

L'autocorrélogramme donne le caractère aléatoire ou non d'une série chronologique. En effet on suppose qu'il existe des dépendances significatives entre les termes successifs d'une série non aléatoire. Dans ce test, si une série chronologique est aléatoire, alors pour N grand, $n_k \approx 0$ pour toute valeur de k non nulle. La série chronologique étudiée est dite "indépendante" ou "aléatoire" (l'hypothèse nulle H_0 est acceptée) si tous les points du graphe sont à l'intérieur de l'intervalle de confiance considéré.

II-3-3. Tests statistiques de détection d'homogénéité ou de rupture

Plusieurs méthodes statistiques de détection de rupture existent : test de Pettitt [16], test de segmentation [17], procédure bayésienne et la statistique U de Buishand. Dans cette étude l'hypothèse nulle est "série homogène" ou "absence de rupture".

II-3-3-1. Test de segmentation

La procédure de segmentation de séries chronologiques a été présentée [17] et ensuite complétée [18, 19]. Le principe de cette procédure est de « découper » la série en m segments ($m > 1$) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s). Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne dans une série chronologique. L'hypothèse nulle H_0 est « la série étudiée est stationnaire ». Si la procédure ne produit pas de segmentation d'ordre supérieur ou égal à 2, l'hypothèse nulle n'est pas acceptée.

II-3-3-2. Méthode de Cusum

Elle consiste à calculer la somme cumulée du paramètre à étudier. Soit X_1, X_2, \dots, X_{60} représentent 60 points de données. Il s'agit de la somme cumulée des différences entre les variables et la moyenne. Les sommes cumulées sont calculées comme suit :

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{60}}{60} \quad (2)$$

II-3-3-3. `B. Test de Pettitt (1979)

Le test de Pettitt est une version modifiée du test de Man-Whitney [16]. Il permet de vérifier la stationnarité de la série pluviométrique. L'absence de rupture dans la série (X_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle. Dans ce test, l'hypothèse « absence de rupture » ou « série homogène » est acceptée si la probabilité de dépassement est supérieure au seuil de signification α qui est égal à 0,05.

II-3-4. Calcul de variations moyennes

Pour les variables hydroclimatique dont la série chronologique présente une rupture, les variations moyennes sont calculées de part et d'autre de la rupture [18], en appliquant l'Équation suivante :

$$D = \frac{X_j}{X_i} - 1 \quad (3)$$

avec, D : le déficit hydroclimatique ; X_j : la moyenne sur la période après rupture ; X_i : la moyenne sur la période avant rupture.

II-3-5. Méthode de Thornwaithe (1948)

Le bilan hydrologique est calculé à partir de la méthode de Thornwaithe. La méthode utilise les valeurs moyennes des variables (pluies, température). L'ETP est la quantité d'eau que cède à l'atmosphère par transpiration de la plante et par évapotranspiration du sol, une prairie dont l'alimentation en eau n'est pas limitée (humidité proche de la capacité au champ). L'ETP est calculée à partir de l'Équation suivante :

$$ETP_{(mm/mois)} = 1,6 \times \left(\frac{10\theta}{I} \right)^a F(\lambda) \quad (4)$$

avec, θ : température mensuelle moyenne en degré Celsius ; a : est une fonction complexe de l'indice I défini comme suit ;

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad (5)$$

I : représente un indice thermique annuel, somme de douze indices thermiques mensuels ; i , $i = (\theta/5)^{1,514}$; $F(\lambda)$: coefficient de correction en fonction de la latitude du lieu considéré, donné par des tables.

L'ETR est la valeur effective de l'eau évapotranspirée dans les conditions d'humidité du sol. L'ETR se calcul selon l'organigramme de Thornwaithe [19].

- **Calcul de l'infiltration**

Le bilan hydrologique d'un bassin versant permet d'évaluer les apports et sorties d'eau, sur une période de temps déterminée, qui correspond à une année hydrologique complète. Il sert à vérifier la cohérence de l'ensemble des données recueillies et calculées : mesure de précipitation, calcul d'évapotranspiration, mesure de l'écoulement moyen. Le calcul du bilan est nécessaire pour la connaissance du milieu géographique, pour mieux définir les besoins globaux et chiffrés du milieu ainsi que, pour l'évaluation du volume des ressources en eau souterraine (infiltration) et de surface (ruissellement). Le bilan hydrologique d'un bassin se traduit par l'Équation qui suit :

$$P = ETR + R + I + \Delta W \quad (6)$$

avec, P : précipitation moyenne annuelle en mm ; ETR : évapotranspiration réelle moyenne en mm ; R : ruissellement moyen annuel en mm ; I : infiltration

moyenne annuelle en mm ; ΔW : variation des réserves du sol. Pour une longue période d'observation, le terme ΔW est nul. A l'échelle du cycle hydrologique annuel les variations de stock s'annulent sur un bassin [20].

III - RÉSULTATS

III-1. Étude statistique de la pluviométrie

III-1-1. Variation de l'indice de Nicholson

L'évolution des indices pluviométriques de la station de Tiassalé est représentée à la **Figure 2**. La fluctuation interannuelle montre une baisse considérable des pluies à partir de 1970 jusqu'en 1997, suivis d'une hausse jusqu'en 2008. Trois périodes distinctes caractérisent, l'évolution pluviométrique annuelle : une période excédentaire, une période déficitaire et une courte période excédentaire. Le **Tableau 1** résume les caractéristiques de ces trois périodes :

- la période humide s'étend de 1948 à 1969 avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1359,91 mm ;
- la période sèche s'étend de 1970 à 1998 avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1045,81 mm, toute la période est sèche ;
- la seconde période humide s'étend de 1999 à 2008 avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1482,19 mm .

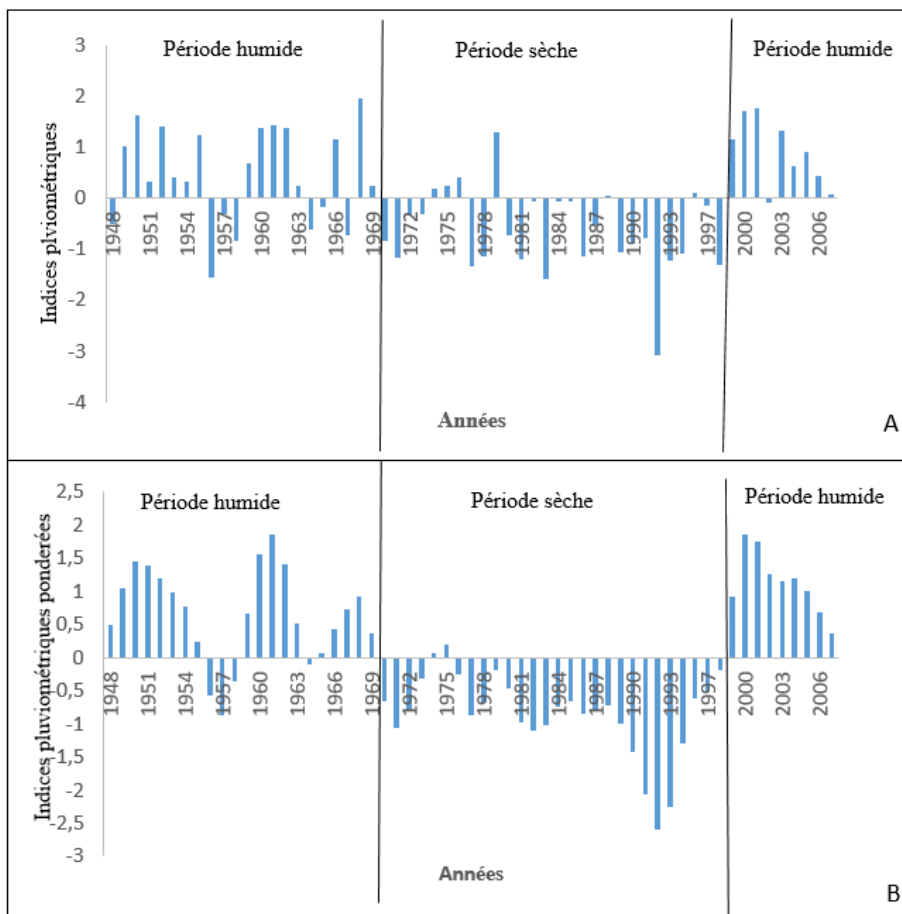


Figure 2 : Évolution annuelle de la pluviométrie à la station de Tiassalé
 A : indices pluviométriques, B : indices pluviométriques pondérés

Tableau 1 : Caractéristiques pluviométriques des périodes excédentaires et déficitaires de la station de Tiassalé

Pluies annuelles (mm)	Période excédentaire (1948 - 1969)	Période déficitaire (1970 - 1997)	Période excédentaire (1998 - 2008)
Maximale	1792,90	1598,80	1734,90
Minimale	780,10	339,90	1201,50
Moyenne	1343,86	1045,81	1482,19

III-1-2. Test d'indépendance : Autocorrélogramme

La **Figure 3** montre l'autocorrélogramme des séries pluviométriques de la station. L'analyse de cette figure montre un seul point en dehors de l'intervalle

de confiance considéré (95 %). Cela est insignifiant. Alors l'hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée. La série pluviométrique de Tiassalé n'est pas aléatoire. La moyenne de la série pluviométrique est presque constante sur toute la période d'analyse.

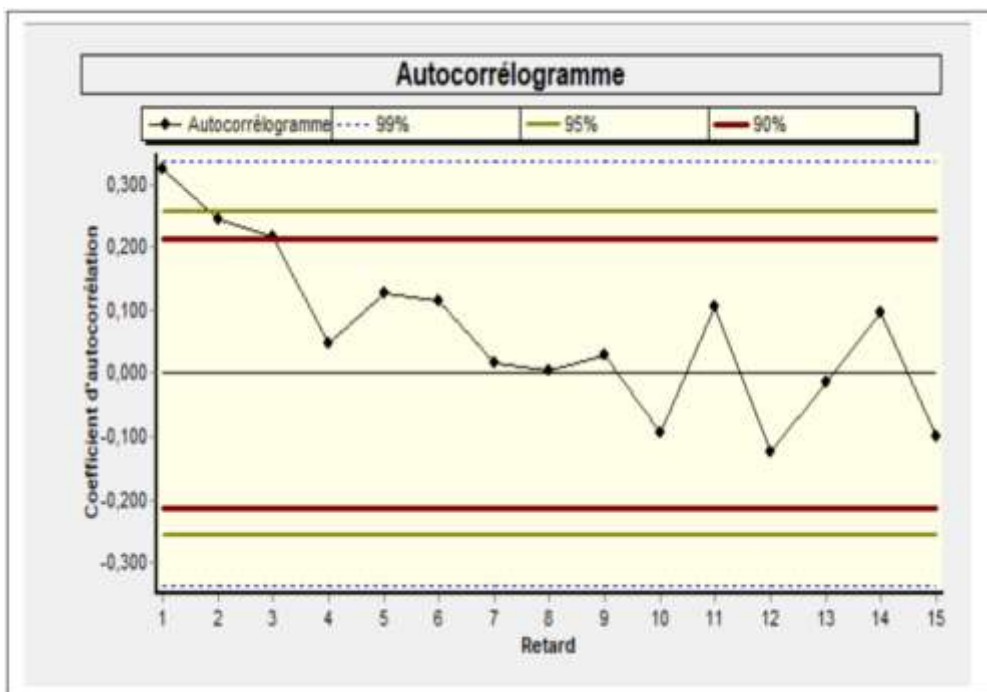


Figure 3 : Résultat du test d'autocorrélogramme

III-1-3. Test d'homogénéité

Les résultats présentés sont ceux des tests de Pettitt, de segmentation et de cusum.

III-1-3-1. Analyse du graphique des sommes cumulées : Cusum

La **Figure 4** illustre les résultats du graphique des sommes cumulées à la station étudiée. L'analyse de cette figure montre trois périodes distinctes. La première est dite humide et se situe entre 1948 et 1990 avec un pic en 1970. La deuxième est dite sèche, elle se situe entre 1991 et 2004 avec un pic en 1998. Enfin la troisième période très courte (2005 - 2008) présente une hausse de la pluviométrie.

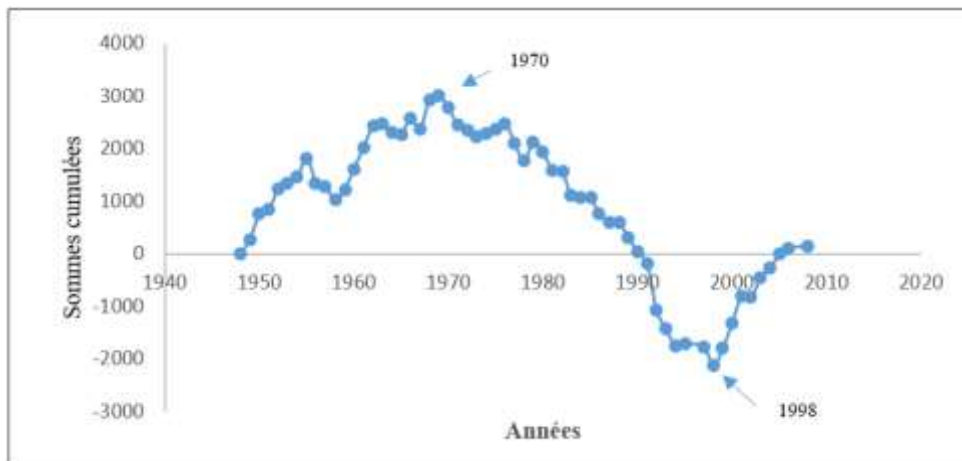


Figure 4 : Résultat du test de Cusum

III-1-3-2. Test de Segmentation

La **Figure 5** montre les résultats du test de segmentation. L'analyse de cette figure montre qu'il y a 3 segmentations. La première se situe de 1948 à 1968, la deuxième de 1970 à 1998 et la troisième plus Courte de 1999 à 2008. L'hypothèse nulle (série homogène) est donc rejetée. La série pluviométrique observée à Tiassalé présente une rupture significative.

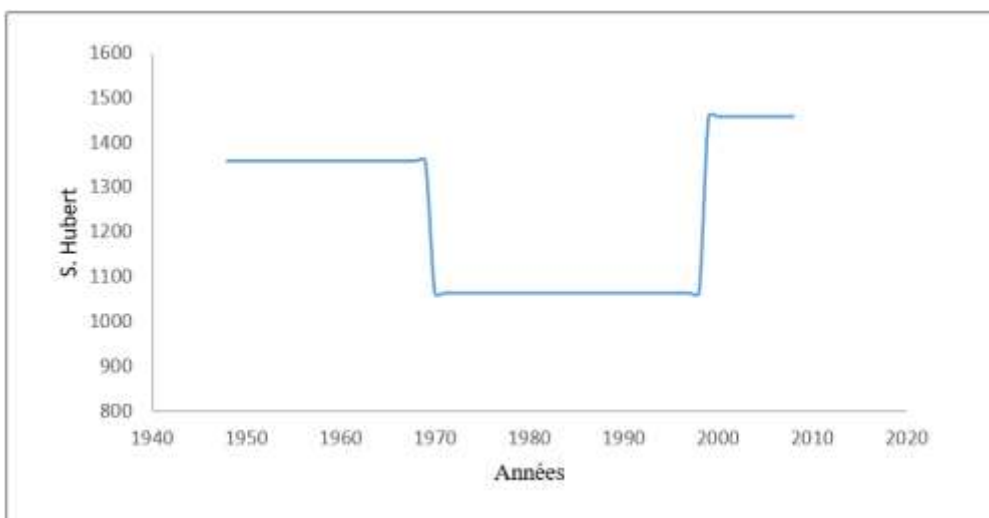


Figure 5 : Résultat du test de segmentation

III-1-3-3. Test de Pettitt

Le **Tableau 2** présente les résultats du test de Pettitt. L'analyse du tableau montre que la probabilité de dépassement est supérieure au seuil de signification α qui est égal à 0,05. L'hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée à 95 %. Cependant, la probabilité de dépassement est inférieure au seuil de signification α de 0,01. L'hypothèse nulle (absence de rupture) est rejetée à 90 %. La série pluviométrique de Tiassalé n'est pas homogène, elle est hétérogène avec une rupture brusque détectée en 1969. La **Figure 6** montre que la tendance de cette rupture est à la baisse à partir de 1969.

Tableau 2 : Résultats du test de Pettitt

Paramètres	Station Tiassalé
Probabilité de dépassement	0,07
Seuil de signification (α)	0,05
Conclusion	Non
Année de rupture	1969

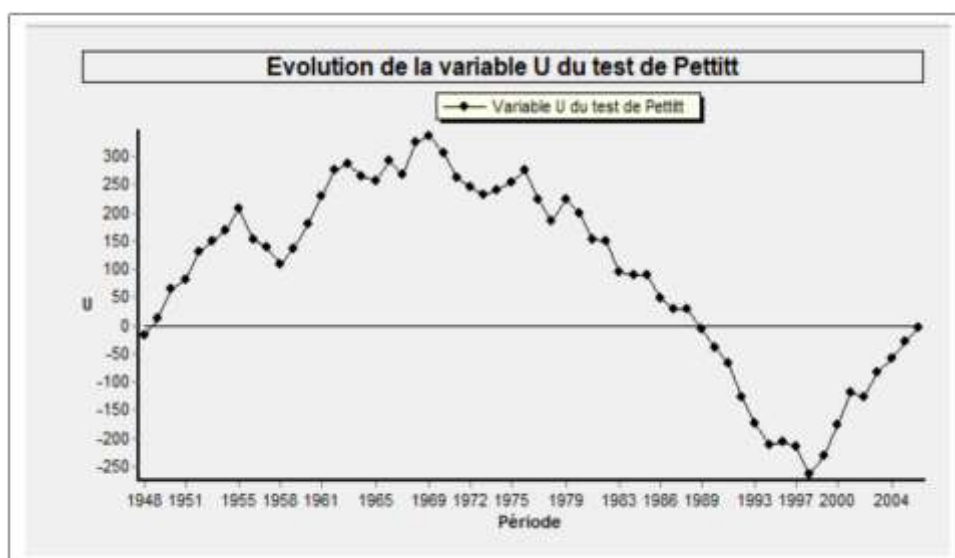


Figure 6 : Résultats du test de Pettitt

III-2. Synthèse des tests statistiques

Le **Tableau 3** montre la synthèse des résultats des tests statistiques de la pluviométrie à la station de Tiassalé. La variation de la pluviométrie étudiée montre un caractère aléatoire, cependant elle est hétérogène avec des périodes humides et sèches, une année de rupture en 1970 suivis d'une tendance à la baisse.

Tableau 3 : Synthèse des résultats d'indépendance et d'homogénéité

Station	Test d'indépendance Serie aléatoire			Test d'homogénéité Serie homogène		Année de rupture
	Autocorrélogramme	cusum	Segmentation	Pettitt	Indice pluviométrique	
Tiassalé	oui	non	non	non	non	1970

III-3. Variation saisonnière de la pluviométrie

La **Figure 7** montre les fluctuations mensuelles de la pluviométrie avant et après la rupture. L'analyse de cette figure montre une allure similaire avant et après la rupture. En effet, l'évolution mensuelle des pluies avant et après rupture se superpose assez bien. Ces résultats indiquent que la succession des saisons ne connaît pas de changement entraînant un décalage ou une suppression des saisons pluvieuses. Ainsi, la durée des saisons pluviométriques n'a pas changé mais c'est la hauteur de pluie qui est affectée. Elle a diminué sur presque tous les mois après la rupture sauf les mois de janvier, mai et aout. Cette baisse est plus sévère pour les mois de juin et octobre. Le mois de juin reste le mois le plus pluvieux avant et après rupture de pluies

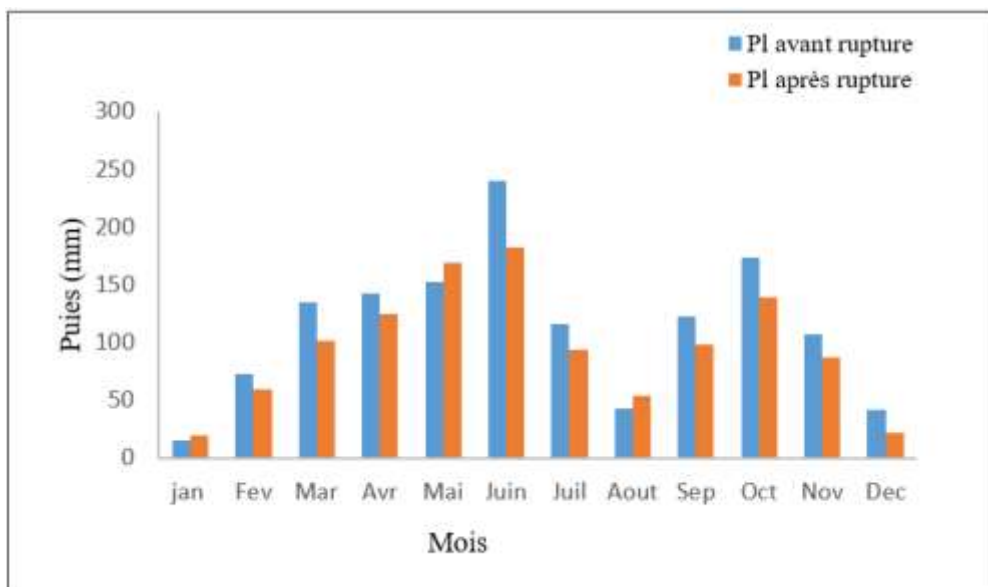


Figure 7 : Évolution saisonnière de la pluviométrie avant et après rupture (1948 - 2008)

III-4. Test statistique de l'excédent du bilan du mois de juin

L'analyse des graphes de la **Figure 8** indique que la variation interannuelle de l'infiltration des mois de Juin divise la période d'observation en période humide et sèche. En effet, il y a la période excédentaire caractérisée par des infiltrations fortes et moyennes et la période déficitaire où les infiltrations sont faibles, irrégulières ou inexistantes. La période déficitaire commence à partir de 1970. Ces résultats sont l'une des conséquences de la baisse de la pluviométrie survenue en 1970. L'absence prolongée de la pluviométrie accompagnée d'une température toujours constante ont entraîné une réduction de l'infiltration dans la zone d'étude.

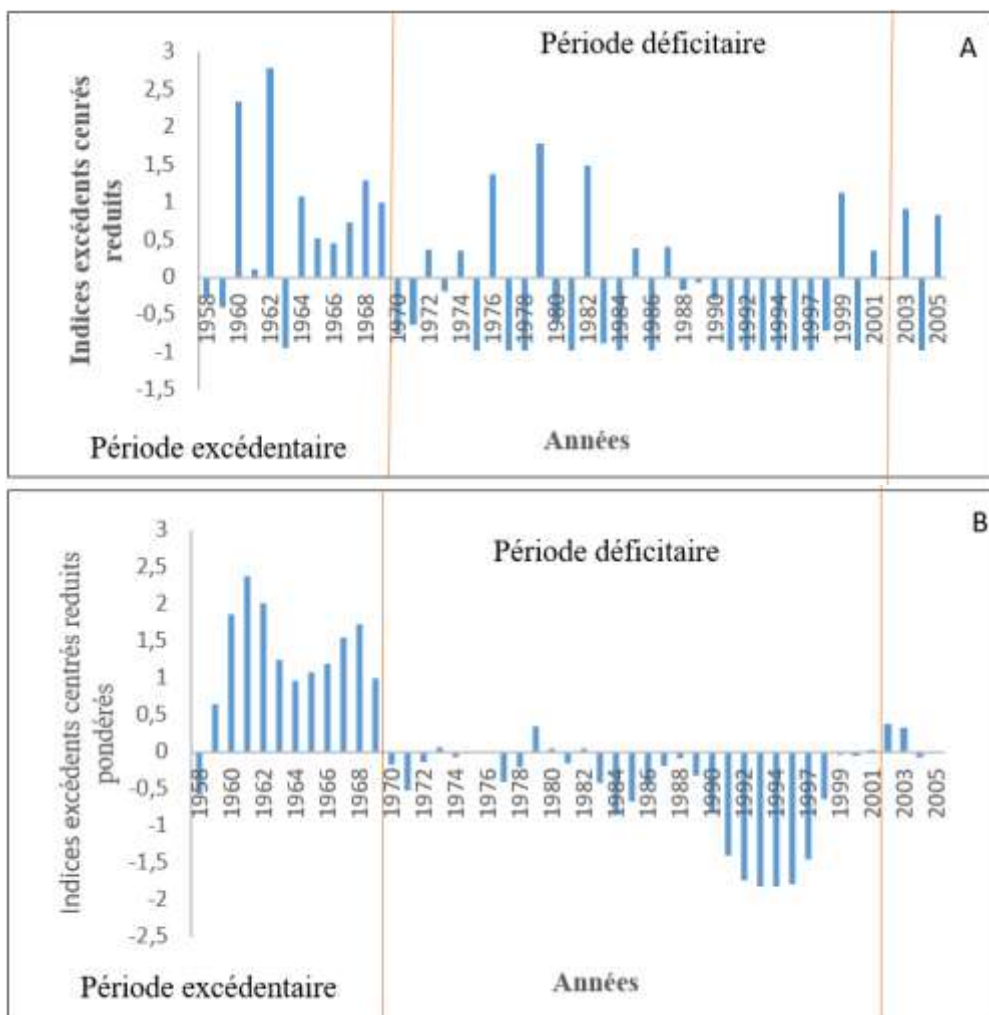


Figure 8 : Évolution annuelle de la recharge à Tiassalé
A : indices recharges, B : indices recharges pondérés

III-5. Incidence de la baisse de la pluviométrie sur la recharge

La **Figure 9** illustre l'évolution mensuelle de la pluie et de l'ETP avant et après rupture pluviométrique de 1970. L'analyse de cette figure montre que la recharge qui se faisait sur trois (3) mois dont juin, juillet et à un degré moindre en octobre (saison pluvieuse) avant la rupture, se fait seulement sur 1 mois (juin) après la rupture quand la pluviométrie est largement supérieure à l'ETP.

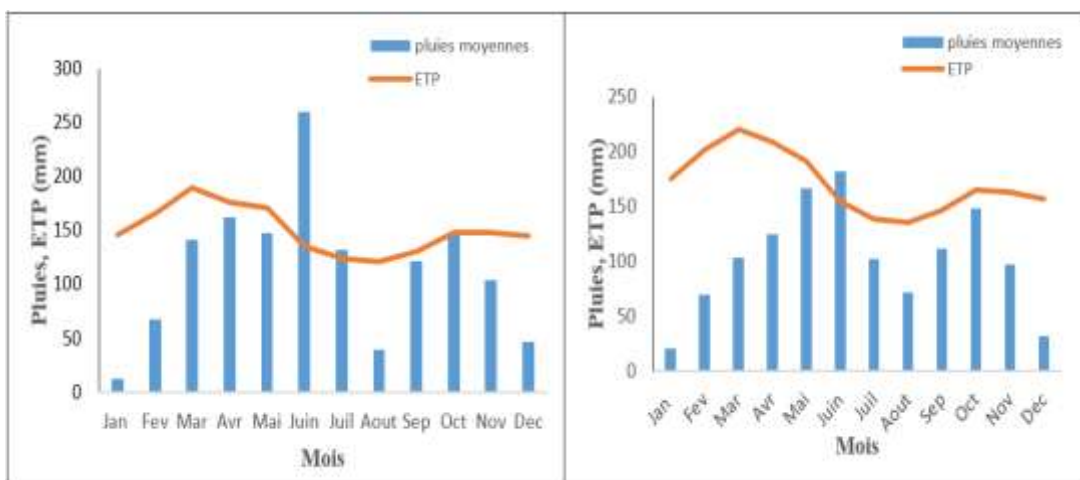


Figure 9 : *Évolution saisonnière de l'ETP et de la pluie (1958 - 2008)*

Le **Tableau 4** montre les caractéristiques des périodes excédentaires et déficitaires. Le tableau indique que le déficit pluviométrique est de 13%. Tandis que celui de la recharge est de 53%. L'année de la rupture est la même. De façon similaire la pluviométrie et la recharge ont commencer à baissé à partir de 1970.

Tableau 4 : *Caractéristiques des périodes excédentaires et déficitaires*

Variables	Avant rupture			Après rupture			Déficit (%)	Années de rupture
	Max	min	moy	Max	min	moy		
Pluviométrie	1792,90	780,10	1343,86	1734,90	339,90	1156,44	13	1970
Recharge	274,27	2,77	115,90	200,97	0	54,34	53	1970

Max : maximum - min : minimum - Moy : moyenne

IV - DISCUSSION

IV-1. Variation de la pluviométrie

Les résultats de la variation de la pluviométrie dans la zone de Tiassalé montrent un caractère hétérogène de la série de pluie étudiée avec des périodes humides et sèches. L'année de rupture détectée est 1970 avec une tendance à la baisse. Les résultats des tests d'homogénéité et des indices centrés réduits sont concordants. Les trois segmentations détectées par le test de Hubert sont similaires aux trois périodes identifiées par les indices pluviométriques. La baisse de la pluviométrie dans cette zone est en accord avec plusieurs travaux menés en Côte d'Ivoire. Ainsi, la même période de rupture (1968) a été trouvée à Dimbokro et (1975) à Bocanda [21] ; Différents auteurs ont également, relevé la même période de rupture (1969) à Dimbokro [22, 23]. Ces ruptures montrent que cette zone géographique est sous l'influence de la fluctuation du régime pluviométrique observée à la fin des années 1960 et au début des années 1970 en Afrique de l'Ouest et Centrale sahélienne comme non sahélienne [24 - 26]. Le déficit pluviométrique enregistré de 13 % est similaire à celui enregistré dans la région du N'zi qui varie entre 11 et 12 % [21] ainsi que dans le bassin-versant béninois du fleuve Niger [10].

IV-2. Incidence de la baisse de la pluviométrie sur les eaux souterraines

La baisse de la pluviométrie dans la zone d'étude a entraîné une baisse considérable de la lame d'eau infiltrée de 53 % à partir de 1970. Les résultats de la variation annuelle des pluies et de la recharge sont concordants. L'année de rupture des deux variables sont identiques. De ce fait, le bilan hydrologique met en évidence une baisse de la pluviométrie dont la conséquence est le déficit hydrique souterrain important dans la zone. Cette situation s'ajoute à une évapotranspiration très importante dans la région. Cette zone appartient au climat tropical humide, caractérisée par des températures relativement élevées. En effet, la pluviométrie n'est pas assez élevée pour équilibrer l'ETP en termes de bilan. Cette insuffisance de la pluviométrie face à une évapotranspiration importante a été observée dans la même région [27]. Un déficit significatif de 30,69 % a également été obtenu au centre-est du pays [9, 28]. L'évaluation de la recharge des nappes des bassins en Côte d'Ivoire a fait l'objet de nombreuses études [29 - 33]. La plupart de ces études, qui utilise la méthode de bilan de Thornthwaite trouvent également des valeurs de la recharge généralement faible et sont pour la plupart inférieures à 10 % des précipitations. La variation saisonnière de la pluie et de l'ETP a indiqué l'origine de la baisse de la recharge annuelle. La recharge qui se faisait sur trois (3) mois dont juin, juillet et à un degré moindre en octobre (saison pluvieuse) avant la rupture, se fait seulement sur 1 mois (juin). Cette baisse de la recharge annuelle est donc la conséquence de la baisse des pluies des mois pluvieux. Ce cas a été observé [34] dans la

région de Dimbokro. Il trouve une réduction des mois de recharge. Le bilan saisonnier montre aussi une réduction de l'infiltration du mois de juin à partir de 1970. Il s'ensuit un déficit agricole à l'origine de la baisse des rendements du café et du cacao au lendemain des années 70 dans cette région. Cette réduction de l'infiltration a été observée aussi dans le bassin de Dimbokro [23]. Il trouve à partir de la modélisation pluie-débit, une recharge de 5 % de la précipitation totale annuelle. Cependant, la baisse de la pluviométrie n'est pas la seule cause du déficit de la recharge, il faut tenir compte de la nature du sol, de l'occupation du sol et de l'action anthropique de manière à comprendre le mécanisme d'infiltration des eaux souterraines dans cette zone.

V - CONCLUSION

La présente étude a pour objectif d'analyser la variabilité pluviométrique à Tiassalé sur une longue série chronologique de pluie en vue de connaître son impact sur la recharge des eaux souterraines. Une période excédentaire de 1948 à 1969 et une période déficitaire de 1970 à 1998, ainsi qu'une petite période humide qui s'étend de 1999 à 2008 ont été identifiées. L'année probable de la rupture est 1970. La tendance de cette rupture est à la baisse avec un déficit de 13 %. Cette baisse de la pluviométrie à partir de 1970 a provoqué un déficit important de la recharge des eaux souterraines de 53 % à partir de la même année. Toutefois, il faut tenir compte des autres phénomènes susceptibles de perturber l'infiltration. Ces résultats peuvent servir de source de réflexion dans l'adaptation au réchauffement climatique.

RÉFÉRENCES

- [1] - GIEC, Bilan des changements climatiques, Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième, Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Genève, (2007) 103 p.
- [2] - GIEC, Rapport spécial des Groupes de travail I et II du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat sur la gestion des risques d'événements extrêmes et des catastrophes pour améliorer l'adaptation au changement climatique, Cambridge, Royaume-Uni et New York, (2012) 20 p.
- [3] - J. E. PATUREL, E. SERVAT et M. O. DELATTRE, *Journal des sciences hydrologiques*, 43 (3) (1998) 937 - 945
- [4] - A. M. KOUASSI, F. KOFFI, Y. B. KOFFI, K. B. DJE, J. E. PATUREL et S. OULARE, *European Journal of Geography Environment, Nature, Paysage*, (2010) 513 p.
- [5] - L. LE BARBE, T. LEBEL, *Journal of Hydrology*, Vol. 188 et 189, (1997) 43 - 73

- [6] - T. LEBEL, A. DIEDHIOU, H. LAURENT, *Journal of geophysical research*, Volume 108 Issue D8, (2003) 11 p.
- [7] - E. W. VISSIN, "Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger", Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, (2007) 311 p.
- [8] - R. M. N. FOSSOU, N. SORO, V. B. TRAORE, T. LASM, S. SAMBOU, T. SORO et A. KANE, *Afrique SCIENCE*, 10 (4) (2014) 118 - 134
- [9] - R. M. N. FOSSOU, T. LASM, N. SORO, T. SORO, G. SORO, O. Z. DE LASME, D. B AKA, O. Z. ONETIE, *Larhyss Journal*, 21 (2015) 97 - 120
- [10] - E. AMOUSSOU, "Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest)" Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, (2010) 315 p.
- [11] - R. M. N. FOSSOU, T. D. SORO, O. K. KOUADIO et L. D. GONE, *Afrique SCIENCE*, 20 (3) (2022) 146 - 158
- [12] - RGPB, Résultats globaux, (2014), <https://www.ins.ci/documents/rgpb/ivoirien18plus.pdf>
- [13] - GeoHive (2004), Population de Côte d'Ivoire <http://www.geohive.Com/cd/link.php?xml=ci&sln=ed>
- [14] - P. J. LAMB, *Nature*, 299 (1982) 46 - 47
- [15] - A. ASSANI, *Sécheresse*, 10 (4) (1999) 245 - 252
- [16] - A. N. PETTITT, "A non-parametric approach to the change -point problem", *Application Statis*, 28 (2) (1979) 126 - 135
- [17] - P. HUBERT, J. P. CARBONEL et A. CHAOUICHE, *Journal of Hydrology*, 110 (1989) 349 - 367
- [18] - B. S. ARDOIN-BARDIN, "Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne", Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France, (2004) 437 p.
- [19] - J. BIEMI, "Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale hydrodynamique, hydrochimique et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aire granitique de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire)". Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, (1992) 479 p.
- [20] - G. MAHE, J. C. OLIVRY, R. DESSOUASSI, D. ORANGE, F. BAMBA et E. SERVAT, *Sciences de la Terre et des Planètes*, Paris, (2000) 689 - 692
- [21] - R. M. N. FOSSOU, E. G. SORO, S. DOSSO et L. D. GONE, *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, 36 (2020) 171 - 192
- [22] - B. T. A. GOULA, I. SAVANE, B. KONAN, V. FADIKA et G. B. KOUADIO, *Vertigo - La revue en sciences de l'environnement*, 7 (1) (2006) 1 - 12
- [23] - A. M. KOUASSI, "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, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, (2007) 210 p.
- [24] - P. HUBERT et J. P. CARBONEL, *Journal of Hydrology*, 95 (1987) 165 - 183
- [25] - P. HUBERT, J.P. CARBONEL et A. CHAUCHE, *Journal of Hydrology*, 110 (1989) 349 - 367
- [26] - J. E. PATUREL, H. LUBES, E. SERVAT et M. O. DELATTRE, "Etude des séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne", XIIème journées hydrologiques de l'ORSTOM, Montpellier, (1996b) 10 - 11
- [27] - G SORO, "Évaluation quantitative et qualitative des ressources en eau souterraines dans la région des lacs (centre de la côte d'ivoire) : hydrogéologie et hydrochimie des aquifères discontinus du district de Yamoussoukro et du département de Tiebissou". Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, (2010) 250 p.
- [28] - E. A. ASSEMIAN, M. H. K. KANGA, K. KOUASSI, J. J. K. YAO et E. B. KOFFI, *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, 31 (2018) 84 - 107
- [29] - N. SORO, "Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du Sud-Est de la Côte d'Ivoire : bassin versant de la Mé", Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université Scientifique Technologique et Médicale de Grenoble, France, (1987) 243 p.
- [30] - I. SAVANE, "Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle cristallin d'Odienné (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Apports de la télédétection et d'un Système d'Information Hydrogéologique à Référence Spatiale". Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, (1997) 386 p.
- [31] - K. F. KOUAME, "Hydrogéologie des aquifères discontinus de la région semi-montagneuse de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire). Apport des données des images satellitaires", Thèse de 3ème cycle, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, (1999) 194 p.
- [32] - K. E. AHOUSI, "Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville", Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, (2008) 270 p.
- [33] - M. B. SALEY, "Systèmes d'information à référence spatiale, discontinuités pseudo images et cartographies thématiques des ressources en eau de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire)", Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, (2003) 209 p.
- [34] - M. KOITA, "Caractérisation et modélisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère fracturé en zone de socle. Région de Dimbokro-Bongouanou (Centre Est de la Côte d'Ivoire)", Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, (2010) 220 p.