

**ANALYSE DES VARIATIONS DE LA RECHARGE DES EAUX
SOUTERRAINES DU SOCLE DE DIMBOKRO, ZONE TROPICALE
HUMIDE DU CENTRE-EST DE LA CÔTE D'IVOIRE, FACE AU
CHANGEMENT CLIMATIQUE**

**Emile Assiè ASSEMIAN^{*}, Michel Hermann Kouakou KANGA,
Konan KOUASSI, Jean-Julius Koffi YAO et Emile Brou KOFFI**

*Université Alassane Ouattara (UAO), UFR CMS (Communication Milieu et
Société), Département de Géographie, Laboratoire de Géographie,
01 BP V 18 Bouaké 01, Côte d'Ivoire*

*Correspondance, e-mail : assmilea1@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de ce travail est de montrer l'impact du réchauffement climatique sur la recharge des nappes d'eau souterraine du département Dimbokro, qui est situé dans une zone tropicale humide du centre-est de la Côte d'Ivoire. Des tests de détection de rupture tels que le test de Pettitt, la procédure de la segmentation de Hubert, la méthode bayésienne et l'indice de Nicholson, ont été appliqués à la série climatique de 1920 à 2013 de la station de Dimbokro. Les résultats montrent tous une rupture unique en 1968 dans la série pluviométrique. On distingue donc une période humide de 1920 à 1968, avec de fortes pluviométries, dont la moyenne annuelle est 1423 mm, et une période déficitaire de 1969 à 2013 dans laquelle, les pluies sont faibles, avec une moyenne annuelle de 1154 mm, soit une réduction de 18,90 %. On observe aussi une évolution de basses températures en période humide, avec une moyenne de 26,67°C et une tendance de hautes températures en période déficitaire, dont la moyenne est 27,01°C. Cette rupture en 1968 met en évidence, des modifications des régimes hydrologiques. En effet, la méthode du bilan hydrologique appliquée montre qu'en période humide, les recharges marquent des tendances fortes, alors qu'en période déficitaire, elles sont généralement faibles. Ainsi, la recharge moyenne annuelle des nappes d'eau souterraine, en période humide est 202 mm, en période déficitaire, elle est 141 mm, soit une réduction de 30,69 %. Ces recharges dépendent fortement de la pluviométrie, la raison pour laquelle, l'apparition du changement climatique, a entraîné systématiquement une baisse de l'alimentation des aquifères de socle du département de Dimbokro.

Mots-clés : *changement climatique, recharge, eau souterraine, Côte d'Ivoire.*

ABSTRACT

Analysis of the variation of the refill from the ground water of Dimbokro rock, the humid tropical zone of center-east of Côte d'Ivoire, face climatic changeable

The objective of this work, is to show the impact of climatic rise on the refill of the ground water of Dimbokro department, which is situated in humid tropical zone of center-east of Côte d'Ivoire. For to be made, the tests of the detection of breaking, like the pettitt test, segmentation of Hubert, the bayesien method and Nicholson indices, have been applied on the climatic series of 1920 to 2013, of Dimbokro station. The result show all, a unique breaking from 1968 in the rain series. We distinguish so a humid period of 1920 to 1968, where the annual rain are abundant, with an average of 1413 mm, and a deficit period which goes of 1969 to 2013, where the annual rain are weak, with an annual average value of 1154 mm, that is a reduction to 18,90 %. We observe also an evolution of low temperature from humid period, with an average of 26,67°C and a trend of high temperature in deficit period, which the average is 27,01°C. This breaking from 1968 highlights the modifications of hydrologist diet. In fact, the method hydrologic balance applied, show that, in humid period, the refills mark the strong trends, when in deficit period, they are generally weak. In this way, the annual average refill of the ground water, in humid period is 202 mm, but in deficit period, it's 141 mm, so we are 30,69 % of reduction. The refills depend strongly of the rain, that is the reason, the apparition of climatic changeable has carried away systematically a fall of the feeding of ground water in Dimbokro department.

Keywords : *climatic changeable, refill, ground water, Côte d'Ivoire.*

I - INTRODUCTION

L'Afrique est l'un des continents le plus vulnérable au changement climatique, une situation qui est aggravée par les contraintes de développement, y compris une forte dépendance sur l'agriculture, les ressources en eau, une pauvreté généralisée et une faible capacité d'adaptation [1]. 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 [2]. C'est un phénomène global de transformation du climat caractérisé par une augmentation générale des températures (notamment liée aux activités humaines), et qui modifie durablement les équilibres météorologiques et les écosystèmes [3]. En effet, de façon naturelle, une

grande partie de l'énergie en provenance du soleil est absorbée par l'atmosphère, les sols et les océans. La partie restante est directement réfléchi vers l'espace. La terre émet en retour, un rayonnement infrarouge que les nuages et les gaz à effet de serre absorbent et réémettent en grande partie vers le sol pour le réchauffer. On estime que sans cet effet de serre de l'atmosphère, la température moyenne à la surface de la terre serait au plus de $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$, au lieu des $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ en moyenne que nous connaissons [3]. Une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, entraînerait systématiquement une croissance de la chaleur de la surface terrestre. Les activités humaines telles que l'utilisation de combustibles fossiles, l'exploitation des forêts tropicales et l'élevage du bétail libèrent d'énormes quantités de gaz à effet de serre, qui viennent s'ajouter à celles naturellement présentes dans l'atmosphère, renforçant ainsi, l'effet de serre et le réchauffement de la planète [4, 5].

Un grand nombre de ces gaz sont naturellement présents dans l'atmosphère, mais l'activité humaine accroît les concentrations de certains d'entre eux, en particulier le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O), et des gaz mineurs comme l'hexachlorofluorocarbure (HCFC), le perfluorocarbures (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF_6) [6-8]. Le CO_2 est le gaz à effet de serre le plus produit par les activités humaines; il est responsable de 63 % du réchauffement de la planète causé par l'homme [9 - 11]. La combustion du charbon et du pétrole produit du dioxyde de carbone et du protoxyde d'azote [12]. La disparition des forêts (déforestation), conduit systématiquement à l'augmentation de CO_2 dans l'atmosphère [13]. Les arbres contribuent à réguler le climat en absorbant le dioxyde de carbone (CO_2) de l'atmosphère [14]. Ainsi, lorsqu'ils sont abattus, cet effet positif est perdu, ce qui aggrave l'effet de serre. D'autres gaz à effet de serre sont émis en moindres quantités, mais ils retiennent la chaleur bien plus efficacement que le CO_2 [12].

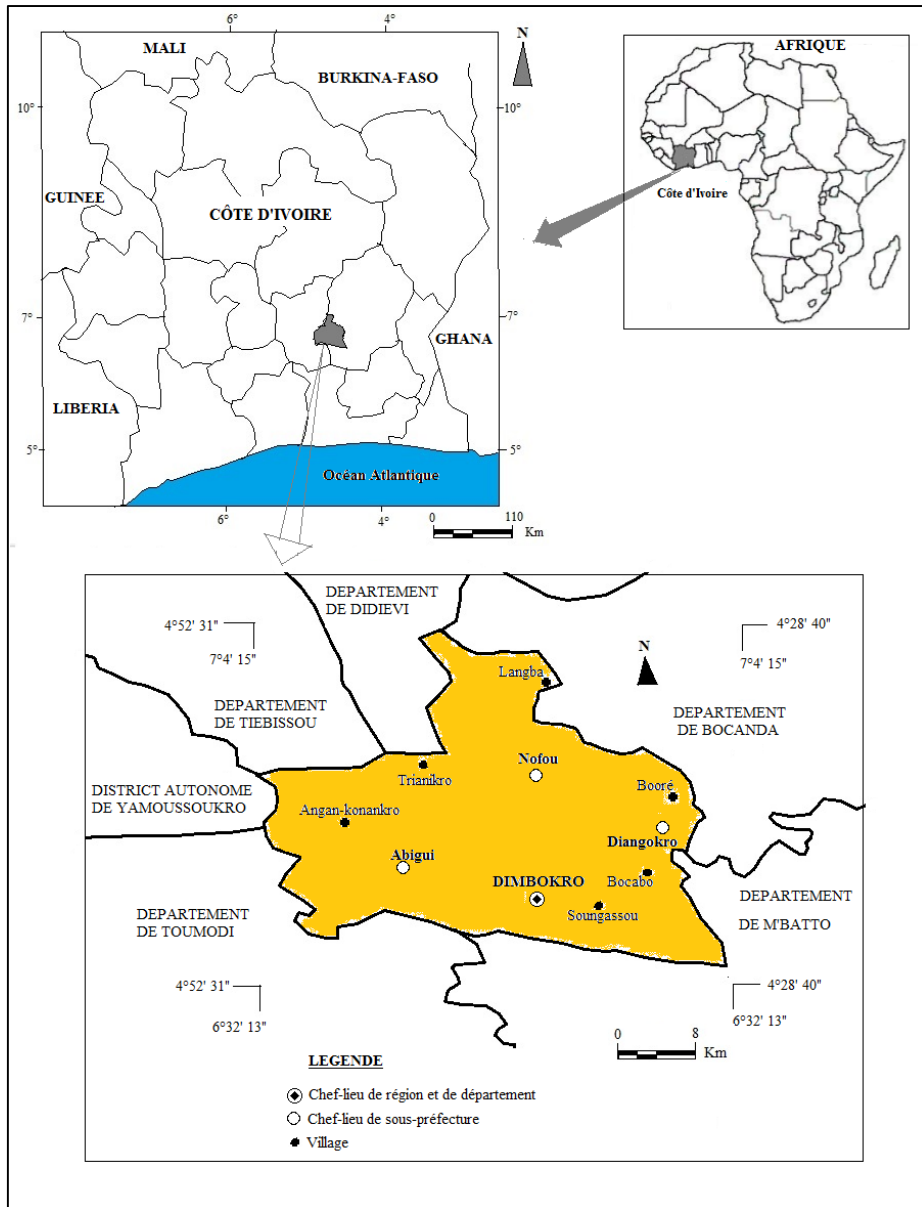
Le méthane par exemple, est responsable de 19 % du réchauffement de la planète causé par l'homme, tandis que cette proportion s'élève à 6 % pour le protoxyde d'azote [14]. L'augmentation de l'élevage de bovins et des ovins, produisent de grandes quantités de méthane lorsqu'ils digèrent leur nourriture [15]. La température moyenne de la planète a subi une augmentation de $0,85^{\circ}\text{C}$ par rapport à la fin du XIX^e siècle [1, 16]. Chacune des trois dernières décennies a été plus chaude que toutes les décennies précédentes, depuis le début des relevés statistiques en 1950. Les plus grands climatologues mondiaux pensent que les activités humaines sont très probablement la principale cause du réchauffement observé depuis le milieu du XX^e siècle [9, 17]. L'occurrence des changements climatiques peut se traduire par d'importantes modifications brutales dans les régimes climatiques [18 - 21]. Dans ce contexte, la compréhension et la caractérisation de la variabilité spatio-

temporelle des paramètres climatiques, et les tendances de leur évolution, s'avèrent importantes pour la gestion et la protection durable de l'environnement. La Côte d'Ivoire, à l'instar de toute l'Afrique de l'ouest subit depuis la fin des années soixante, d'importantes variations spatio-temporelles des régimes climatiques, avec des conséquences sur l'agriculture qui est la principale activité des populations [18]. A l'échelle régionale, l'Afrique de l'ouest a vécu une sécheresse à partir des années 70 et qui s'est prolongée de près de trente ans, avec des conséquences majeures sur les économies [22]. Dans le centre-est de la Côte d'Ivoire, la pluviométrie a considérablement varié au cours des dernières décennies. On observe en effet, de longues saisons sèches et de faibles pluviométries en saison pluvieuse [23]. Aujourd'hui, à cause de la forte pression anthropique pour la culture du café et du cacao, la forêt dense est quasi-existante pour favoriser de bonne pluviométrie dans cette localité du pays. Pour mieux comprendre l'impact des variabilités climatiques sur les ressources en eaux souterraines, indispensables pour la survie des populations de la région du centre-est de la Côte d'Ivoire, il est absolument nécessaire d'étudier l'évolution de la recharge des aquifères. L'objectif donc de ce travail est d'analyser la variabilité temporelle des recharges des nappes d'eau souterraine du département de Dimbokro, sous l'influence du changement climatique.

II- MÉTHODOLOGIE

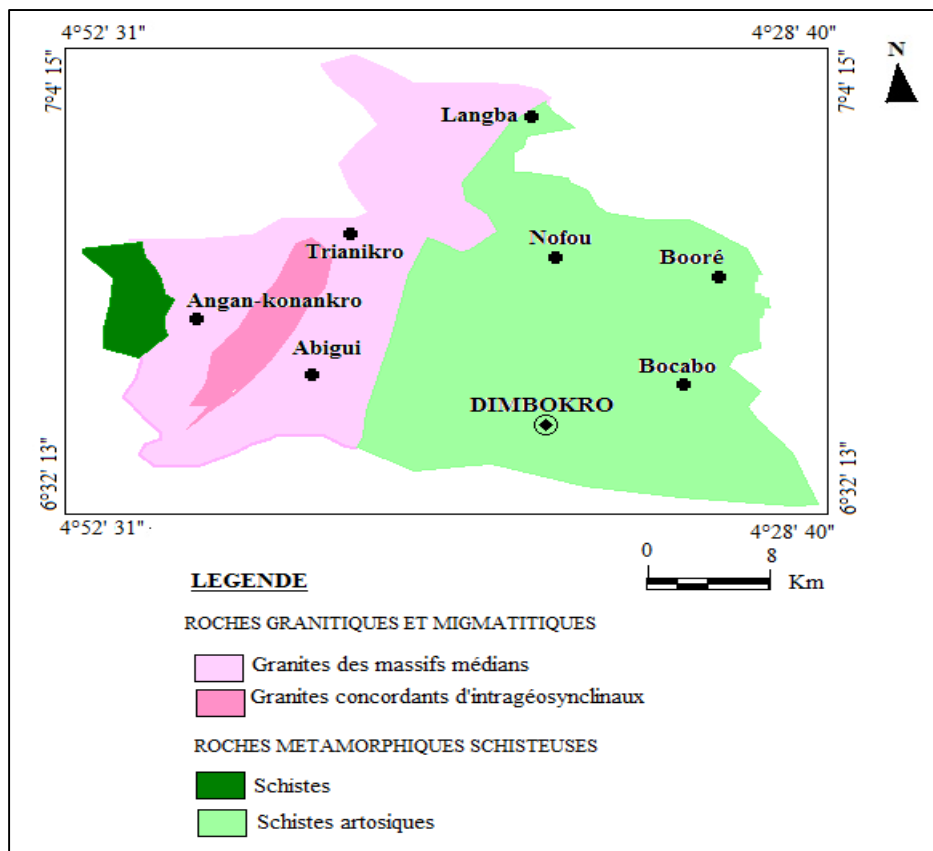
II-1. Présentation de la zone d'étude

Le département de Dimbokro est localisé au centre-est de la Côte d'Ivoire, dans la profonde échancrure du « V Baoulé », précisément entre les longitudes 4°52' 31'' et 4°28' 40''ouest, et les latitudes 7°4' 15'' et 6°32'13''nord (**Figure 1**). Il a une superficie de 1611 km² et une population d'environ 181603 habitants. Le milieu physique est un peu accidenté, car le relief présente une monotonie dans l'ensemble. Cependant, on y rencontre quelques mamelons ne dépassent pas 300 m d'altitude. Il est formé dans sa partie orientale de plaines vallonnées à dominante schisteuse et à l'ouest de terres basses. Ce relief monotone repose généralement sur des roches cristallines et métamorphiques. On rencontre donc les granites massifs médians, les granites concordants, les schistes et les schistes artosiques (**Figure 2**). L'aquifère est un socle, avec un horizon altéritique à la partie supérieure et en dessous, un horizon fissuré et la roche saine. Leur productivité en eau souterraine est modeste, contrairement aux aquifères des milieux continus. L'alimentation de la nappe d'eau souterraine de cet aquifère de socle semble être sous la dépendance de la pluviométrie [24]. Les sols sont ferrallitiques, fortement désaturés, gravillonnaires et peu profonds. Ils portent des forêts très dégradées à cause de la déforestation. La région s'est spécialisée dans les cultures de rentes que sont le café et le cacao, qui ont fait jadis, la gloire du département. Mais depuis quelques années, de nouvelles cultures ont fait leur apparition. Il s'agit du palmier à huile, de l'hévéa et des vivriers. L'igname est la principale culture de subsistance des populations. Le département se trouve dans le bassin versant du N'zi.



(Source CCT/ BNETD)

Figure 1 : Situation géographique du département de Dimbokro



(Source Direction de la Géologie de Côte d'Ivoire)

Figure 2 : Carte géologique du département de Dimbokro

II-2. Données et matériel

Les données climatiques ont été fournies par la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Il s'agit des données de la station de Dimbokro dans laquelle, nous avons les séries pluviométriques, des températures, les humidités relatives, les vitesses des vents, les abaques et les facteurs correctifs de la région de la période 1920 à 2013. Les cartes topographiques et les cartes géologiques de Dimbokro (établies au 1/200000 et 1/ 50000) ont été fournies par le CCT/BNETD et la direction de la géologie. Enfin, l'institut national de la statistique (INS) a fourni les données des populations. Les logiciels utilisés pour les traitements sont : Khronostat fourni par l'IRD, le programme EVC développé par Coulibay et Biemi en 1997 pour le calcul de l'ETP et ETR, et Excel pour les études statistiques et les représentations graphiques. Enfin, pour la réalisation des cartes, nous avons utilisé le logiciel MapInfo 11.

II-3. Méthodes

II-3-1. Mise en évidence du changement climatique

La méthodologie de cette étude a commencé par une analyse statistique de la série pluviométrique de 1920 à 2013. Ainsi, la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation ont été calculés. Le coefficient de variation (CV), qui est le rapport entre l'écart-type et la moyenne, permet d'apprécier la dispersion de la pluviométrie autour de la moyenne. Des tests de détection de rupture dans une série pluviométrique ont été élaborés pour mettre en évidence, un changement climatique. On peut citer entre autre, le test de [25], la procédure de segmentation de [26], l'indice de [27], la méthode bayésienne de [28] et le test de Biushand et ellipse de bois [29]. 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 [23]. La mise en évidence des ruptures permet de segmenter la série en deux ou plusieurs périodes qui représentent les différents changements. Dans cette étude, pour la détection des ruptures, nous avons appliqué quatre tests. Le premier est le test de Pettitt. Il consiste à décomposer la série principale de N éléments en deux sous séries à chaque instant t compris entre 1 et N-1. La série principale présente une rupture à l'instant t, si les deux sous-séries ont des distributions différentes. Les variables de Pettitt (U) sont définies par l'Équation 1 suivante :

$$U = \sum_{\substack{0 \leq i \leq m \\ 0 < j < n}} D(i, j) \quad (1)$$

où, $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$; $\text{sgn}(x) = 1$ si $x > 0$; $\text{sgn}(x) = 0$ si $x = 0$; $\text{sgn}(x) = -1$ si $x < 0$; $\text{sgn} : \text{signe de } (x_i - x_j) = x$

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

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

L'absence de rupture dans la série de taille N constitue l'hypothèse nulle. Si l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de la rupture est donnée à cet instant, définissant le maximum en valeur absolue de la variable U. L'indice de [27] ou l'indice pluviométrique (Ip) est une variable centrée réduite qui traduit l'écart de la pluie d'une année i à la pluie moyenne de la période considérée par rapport à l'écart type. Cet écart traduit soit des excédents, soit des déficits pluviométriques annuels de la série climatique. Ainsi, les successions des périodes excédentaires et déficitaires permet de mettre en évidence, les changements climatiques de cette série. L'expression mathématique de l'indice de Nicholson est définie par l'équation 3 suivante :

$$I_p = \frac{P_i - P}{\sigma} \quad (3)$$

I_p : indice de Nicholson ou indice pluviométrie de l'année i ; P_i : pluie totale de l'année i ; P : moyenne pluviométrique de la période considérée ou de la série ; σ : écart-type de cette série.

Par ailleurs, une confirmation des résultats de détection des changements, pourrait être vérifiée par un graphique montrant les grandes tendances dans l'évolution des températures moyennes annuelles de la série, et le calcul de la moyenne de chaque période détectée par les tests. La méthode bayésienne de [29] vise à confirmer ou à infirmer l'hypothèse d'un changement de moyenne dans la série. Il s'agit d'une approche paramétrique dont l'application sur une série nécessite une distribution normale des valeurs de celle-ci. L'absence de rupture dans la série constitue l'hypothèse nulle. La procédure repose sur le modèle mathématique 4 suivant :

$$X_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i = 1, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i = \tau + 1, \dots, N \end{cases} \quad (4)$$

où les ε_i sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance σ^2 . Les variables τ , μ , δ et σ sont des paramètres inconnus. τ et δ représentent respectivement la position de la rupture dans le temps, et l'amplitude du changement sur la moyenne. Le changement éventuel (la position et l'amplitude) correspond au mode des distributions a posteriori de τ et δ . La méthode fournit donc la probabilité que la rupture se produise au moment τ dans une série où, on suppose a priori qu'il y a effectivement un changement à un moment indéterminé. La procédure de la segmentation de [26] fournit au moyen d'un algorithme spécifique, une ou plusieurs dates de ruptures qui séparent des segments contigus dont les moyennes sont significativement différentes. Les résultats obtenus sont définis par rapport au nombre de segments. La segmentation est retenue lorsque l'écart quadratique entre elle et la série est minimum. Cette condition est nécessaire, mais non suffisante pour la détermination optimale. On définit i_k avec $k = 1, 2, \dots, m$, le rang dans la série initiale de l'extrémité terminale du $k^{\text{ième}}$ segment \bar{X}_k , la moyenne du $k^{\text{ième}}$ segment, D_m l'écart quadratique entre la série et la segmentation considérée. L'écart quadratique dans ces conditions est exprimé par l'Équation 5 suivante :

$$D_m = \sum_{k=1}^{k=m} d_k \quad (5)$$

avec, $d_k = \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i_k} (X_i - \bar{X}_k)^2$; (d_k doit être minimum)

Cette méthode présente l'avantage de pouvoir rechercher des changements multiples de moyenne dans une série hydrométéorologique. Une fois les ruptures déterminées pour chaque test, une synthèse sera faite pour mettre en évidence, les différentes périodes de changement climatique et évaluer leurs recharges des aquifères dans cette localité.

II-3-2. Méthode du bilan hydrologique pour le calcul des recharges

La recharge ou l'infiltration efficace est la quantité d'eau qui s'infiltré dans le sous-sol et alimente la nappe d'eau souterraine. Sa détermination est dépendance de la pluviométrie, de l'évapotranspiration réelle et du ruissellement qui dépend de la nature de sol, du milieu géologique, la couverture végétale et la morphologie du milieu. Plusieurs méthodes permettent de calculer la recharge. Celle que nous allons appliquer est le bilan hydrologique [30 - 33] : ***L'Équation*** générale du bilan hydrologique annuel (6) est la suivante :

$$P = ETR + R + Ie \quad (6)$$

avec, P : la pluviométrie totale annuelle (mm) ; ETR : l'évapotranspiration réelle annuelle (mm) ; R : le ruissellement de surface total annuel qui arrive à l'exutoire du bassin (mm) ; Ie : la recharge annuelle (mm).

Ainsi, pour le calcul de la recharge, on a $Ie = P - (ETR + R)$. La pluviométrie étant connue, il faut donc estimer ETR et R , avant de déduire la valeur de Ie . Il existe plusieurs méthodes permettant de calculer l'évapotranspiration réelle (ETR). On peut citer entre autre : la méthode de [34 - 36]. Chacune de ces méthodes a ses avantages et ses limites. Pour la détermination des paramètres du bilan hydrique, nous avons opté pour la méthode de Thornthwaite mensuelle. On fera donc la somme des 12 ETR mensuelles pour déduire la valeur de l' ETR annuelle. La fiabilité de la méthode de Thornthwaite dans notre étude se résume, à la superficie de la zone d'investigation et au calcul du bilan hydrologique qui est mieux exprimé par celle-ci [37]. Dans la pratique de cette méthode, les principaux paramètres recherchés sont l'évapotranspiration (ETP), l'évapotranspiration réelle (ETR) et l'excédent du bilan ($P-ETR$). On calculera ensuite, la recharge (Ie) après avoir estimé le ruissellement annuel qui arrive à l'exutoire du bassin. Ainsi, pour le calcul de l' ETP de chaque mois, Thornthwaite propose ***L'Équation 7*** suivante :

$$ETP = 16 \left(\frac{10.t}{I} \right)^\alpha F(\lambda) \quad (7)$$

avec, ETP : évapotranspiration potentielle (mm / mois) ; t : température

mensuelle moyenne en degré Celsius ; α : fonction complexe de l'indice thermique ($\alpha = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239$);

I : Indice thermique annuel est calculé selon l'équation ci-dessous :

$$I = \sum_{i=0}^{12} i$$

avec, $i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$: indice thermique mensuels

$F(\lambda)$: facteur correctif est fonction de la latitude du lieu considéré (donné par des tables) L'ETP mensuelle étant calculée, les valeurs de l'ETR sont estimées selon l'algorithme de Thornthwaite de la **Figure 3** suivante :

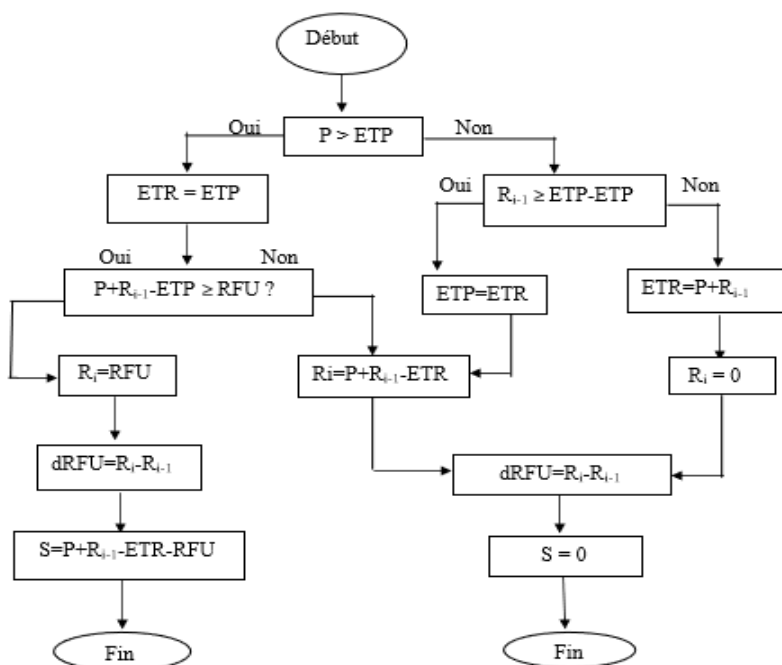


Figure 3 : Algorithme de calcul de l'ETR selon Thornthwaite

RFU = réserve en eau du sol facilement utilisable par les plantes. Elle est fixée ici à 100 mm selon [38], compte tenu de la nature argileuse des altérites du bassin. Elle est aussi fixée à 100 mm selon la recommandation de Thornthwaite pour les terrains argilo-sableux. Elle peut être abaissée ou augmentée selon la nature des terrains et le type de climat; R_{i-1} = réserve effective du mois précédent ; R_i : Réserve effective du mois en cours ; ΔRFU = variation des réserves ; S = surplus disponible pour l'écoulement superficiel ou souterrain.

Une fois l'ETR calculé, il faut maintenant déterminer le ruissellement total annuel (R). De manière générale, sur un bassin versant ou dans un lieu donné, le coefficient de ruissellement (C) est le rapport du volume d'eau ruisselée R par le volume d'eau précipitée P [39, 40]. On a alors les *Équations 8 et 9* suivantes :

$$C = \frac{R}{P} \quad (8)$$

$$\text{ainsi on a , } R = C.P \quad (9)$$

Les valeurs couramment admises pour le coefficient de ruissellement C sont : les Forêts bois : C = 0,05 à 0,1 ; les Prairies : C = 0,1 à 0,15 ; les cultures : C = 0,2 (blé à maturité) à 0,7 (vigne) ; les zones résidentielles : C = 0,4 à 0,5 ; les zones urbaines denses : C = 0,7 à 0,8 ; les zones totalement imperméables : C = 1, [39, 41 - 44]. Dans la zone d'étude, le coefficient de ruissellement est calculé au niveau de l'est de la Côte d'Ivoire dont Dimbokro y est en grande partie intégré. Ce coefficient est évalué à 6,77 %, soit 0,0677 selon [39] dans le bassin de Bayakokoré situé à l'est non loin de Dimbokro. Ainsi, à partir de cette valeur, les ruissellements ou les lames d'eau écoulées R de chaque année, furent estimés en fonction des précipitations annuelles (R= C.P). Pour le calcul de la recharge annuelle (Ie), on déduit donc $Ie = P - (ETR + R)$. Les recharges moyennes dans chaque période de changement climatique sont estimées et son graphique en fonction des années, est fait pour évaluer les différentes tendances d'alimentation des nappes d'eau souterraine de cette région.

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Résultats

III-1-1. Détection de rupture

La série pluviométrique moyenne annuelle de 1920 à 2013 de la station de Dimbokro a été analysée à l'aide de quatre méthodes de détection de rupture qui sont le test de Prettitt, la procédure de segmentation de Hubert, la méthode bayésienne et l'indice de Nicholson. Les résultats montrent que la série des pluies annuelles analysées, présente des ruptures presque identiques et très proches. Le résultat du test de Pettitt montre que la série pluviométrique présente une rupture unique en 1967 (*Figure 4*). La rupture est identifiée avec un seuil de confiance de 99 %, avec une probabilité de dépassement de la valeur critique du test égale à $1,51.10^{-2}$. En effet, la courbe de la variable U du test de Pettitt présente une phase croissante de 1920 à 1967 et une phase décroissante de 1968 à 2013. Ces phases sont séparées par une pointe d'amplitude en 1967. Les parties croissantes et décroissantes expriment l'étalement sur deux périodes climatiques différentes.

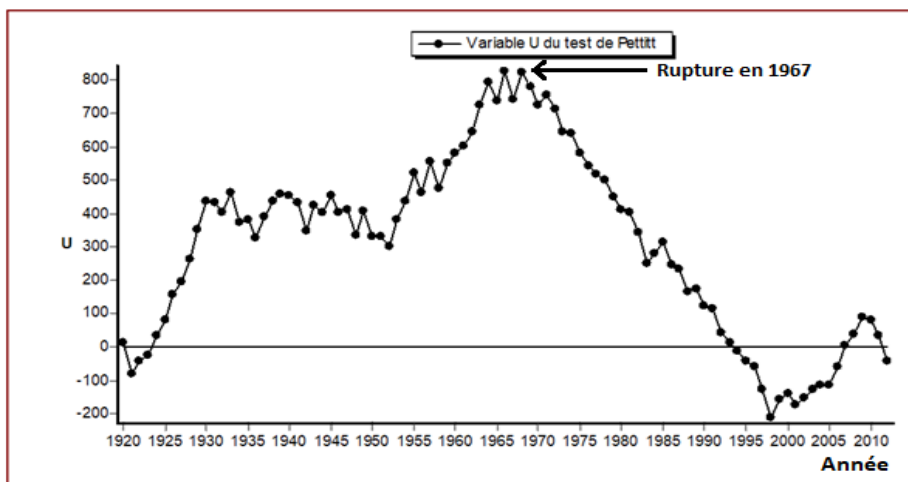


Figure 4 : Graphe du test de Pettitt sur la série pluviométrique 1920-2013

Le résultat du test de la segmentation de Hubert sur la série pluviométrie est très proche à celui du test de Pettitt. Le niveau de signification du test de Scheffé est 1 % et la rupture en 1968 a été mise en évidence. En plus, le résultat de ce test montre avec exactitude que la période 1920 à 1968, la moyenne des pluies annuelles est 1423,011 mm, avec un écart type égale à 235,842 mm. De même, au niveau de la période 1969 à 2013, la moyenne des pluies annuelles est 1154,002 mm et l'écart type est 139,169 mm (*Tableau 1*). La différence pluviométrique est 269,009 mm. Ce constat montre que la période 1920 à 1968 est plus humide que la période 1969 à 2013. La période 1920-1968 est donc la période humide et la période 1969-2013 est la période déficitaire.

Tableau 1 : Résultat du test de segmentation de Hubert

Segmentation de Hubert
Niveau de signification du test de Scheffé: 1%

Début	Fin	Moyenne	Ecart type
1920	1968	1423,011	235,842
1969	2013	1154,002	139,169

Au niveau du résultat de la méthode bayésienne de Lee et Heghinian, la date de rupture est le même que celle de la procédure de segmentation de Hubert. En effet, le mode de la fonction densité de probabilité à postériori de la position du point de rupture est 0,1415 en 1968. (*Figure 5*). Il montre qu'il y a donc deux grandes périodes de variabilité climatique dans la série pluviométrique 1920-2013.

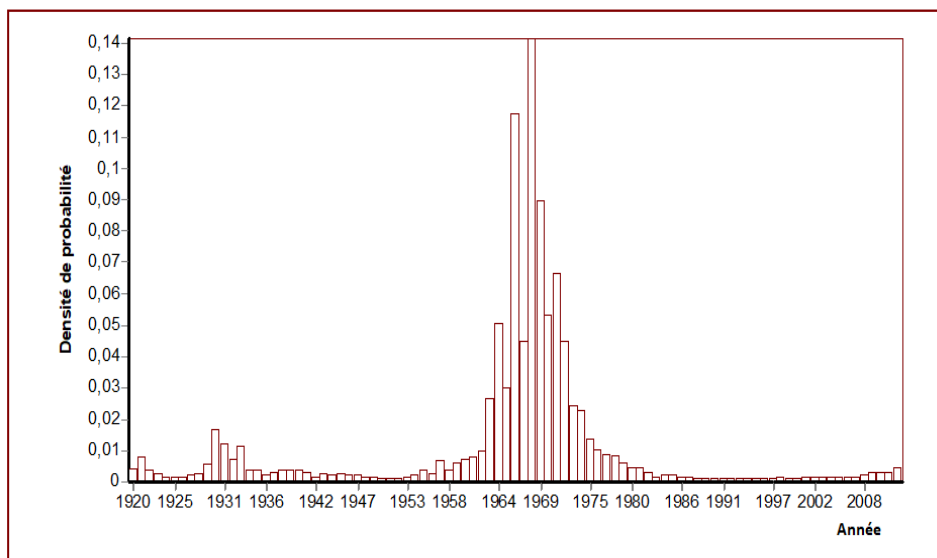


Figure 5 : Graphique de la densité de probabilité en méthode Bayésienne de Lee et Heghinian

L'étude de la variabilité interannuelle des indices pluviométriques (indice de Nicholson) de la station de Dimbokro, montre aussi deux grandes tendances de variabilité climatique (**Figure 6**). On a une période humide de 1920 à 1968, où les indices sont caractérisés par une alternance de plusieurs valeurs positives et peu de valeurs négatives. Les indices positifs caractérisent les pluies supérieures à la moyenne et sont plus représentés dans la période humide. La période déficitaire de 1969 à 2013 est dominée par une succession de plusieurs indices négatifs, montrant que les pluies annuelles sont presque toutes faibles et inférieures à la moyenne. La variation des températures moyennes annuelles en fonction des années montre aussi deux grandes tendances d'évolution en suivant la période de rupture 1968, obtenues à l'aide des différents tests (**Figure 7**). Une tendance de basses températures de 1920 à 1968, avec une moyenne de $26,67^{\circ}\text{C}$ et une tendance de hautes températures de 1969 à 2013, avec une moyenne de $27,01^{\circ}\text{C}$, soit une hausse de $0,34^{\circ}\text{C}$. Ce qui signifie que les périodes humides ont aussi des températures relativement faibles, alors qu'en période déficitaire, on observe des tendances de températures un peu élevées. Il s'agit donc de l'apparition du réchauffement climatique dans cette région de Dimbokro. Tous ces résultats montrent qu'il y a deux grandes périodes de variabilité pluviométrique : une période humide de 1920 à 1968 et une période déficitaire de 1969 à 2013. Ce phénomène de réchauffement climatique aura donc une influence certaine sur les recharges des nappes d'eau souterraine de la région de Dimbokro dont nous allons justifier.

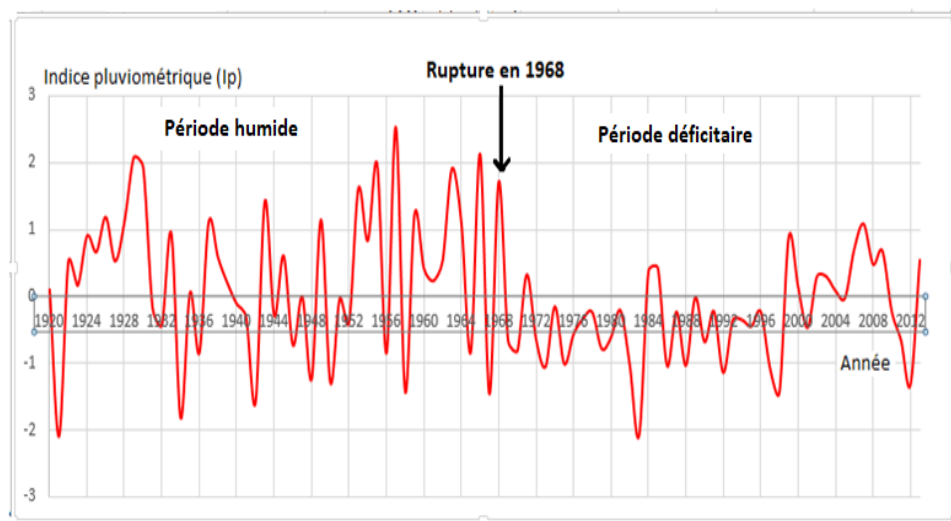


Figure 6 : Graphique de l'indice de Nicholson montrant les périodes de variabilités pluviométriques

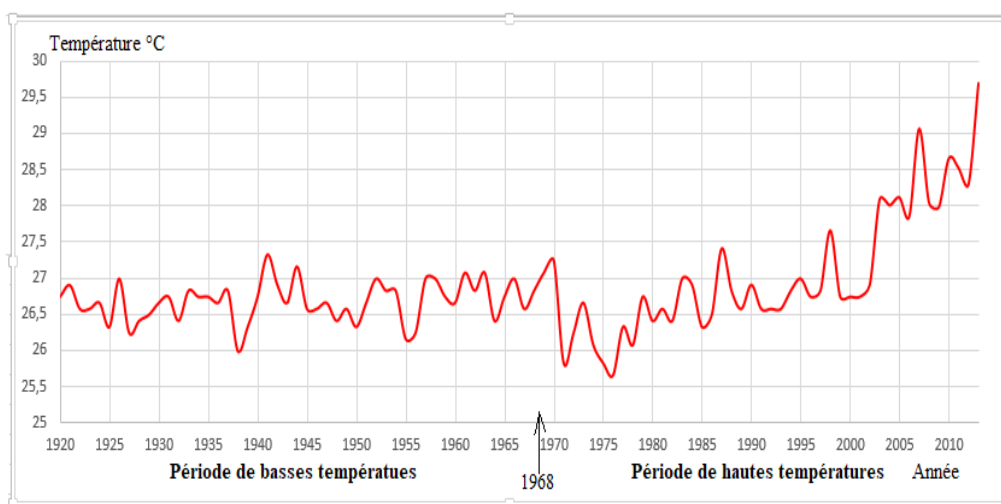


Figure 7 : Mise en évidence des deux tendances des évolutions des températures

III-1-2. Bilan hydrique et recharge des aquifères de socle

L'impact des variabilités climatiques sur la pluviométrie et l'évapotranspiration sont perceptibles dans le département de Dimbokro. En effet, la moyenne des pluies de 1920 à 2013 est 1266,04 mm, l'écart type est 205,84 mm. La représentation graphique des pluies annuelles et d'excédent du bilan, montrent deux grandes tendances (**Figures 8 et 9**). En période humide,

les pluies sont généralement supérieures à la valeur moyenne, alors qu'en période déficitaire, elles sont faibles et en grandes parties, inférieures à la moyenne. Au niveau de l'excédent du bilan, nous observons les mêmes évolutions. En période humide, les excédents du bilan sont généralement élevés, alors qu'en période déficitaire, il est dans l'ensemble faible.

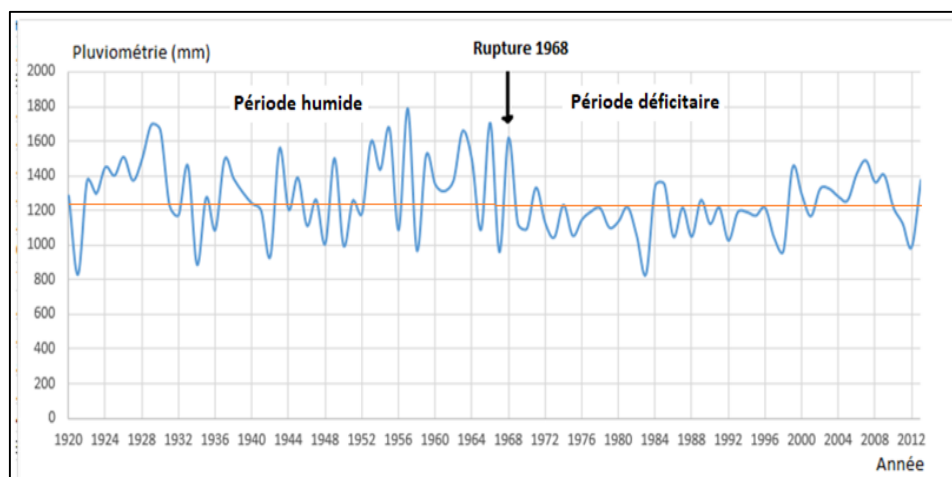


Figure 8 : Variabilité de la pluviométrie en fonction du temps

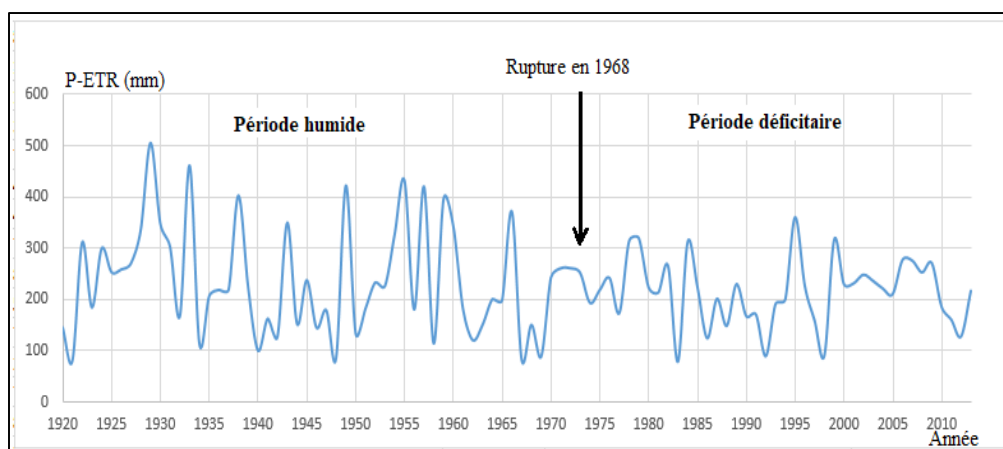


Figure 9 : Variabilité de l'excédent hydrique en fonction du temps

Pour mieux évaluer les variabilités des ressources en eau dans cette région tropicale, nous avons calculé les paramètres du bilan hydrologique moyen mensuel et annuel en période humide et en période déficitaire. Les résultats sont résumés dans *les Tableaux 2, 3 et 4*. L'analyse des tableaux montre que la pluie moyenne annuelle, qui était estimée à 1423 mm en période humide, est passée à 1154 mm en période déficitaire, soit une baisse de 18,90 %.

L'excédent ou la pluie efficace, qui était de 287 mm en période humide, est réduit à 190,1 mm en période déficitaire, soit une baisse de 33,76 %. Le ruissellement moyen annuel, en période humide est 85 mm, en période déficitaire, on a 49,1 mm, soit une baisse de 41,76 %. La recharge moyenne annuelle, en période humide est 202 mm ; cette valeur est réduite à 141 mm en période déficitaire, soit une baisse de 30,69 %. On peut déduire que le réchauffement climatique a réduit considérablement la recharge des aquifères de ce socle.

Tableau 2 : Bilan mensuel en période humide (1920-1968)

MOIS	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aôut	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
P (mm)	19	25	91	189	230	246	192	59	78	158	101	35	1423
ETP (mm)	71	60	104	104	116	115	107	106	106	127	106	109	1231
ETR (mm)	19	25	91	104	116	115	107	106	103	127	105	108	1126
Surplus (mm)	0	0	0	0	98	59	98,1	37,1	0	0	0	0	292,2
Réserve du sol	0	0	0	35	47	51	51,2	26,1	0	24	23	0	257,3
Variation de RFU	0	0	0	35	61	31	0	0	0	-14	-40	-60	13
P-ETR (mm)	0	0	0	85	114	131	85	-57	-25	31	-4	-73	287

Tableau 3 : Bilan mensuel en période déficitaire (1969-2013)

MOIS	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aôut	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
P (mm)	16,2	28	92	141	194	212	121	49	60,3	143	78	19	1154
ETP (mm)	95,1	96	101	102	105	101	102	103	114	105	120	103	1248
ETR (mm)	16,2	28	60,5	102	105	101	102	79,1	94	105	83,1	88	963,9
Surplus (mm)	0	0	0	0	58	65	44,1	7,5	0	0	0	0	174,6
Réserve du sol	0	0	0	25	46	37	9	20	39	20	11	0	207
Variation de RFU	0	0	0	51	45	39	0	0	0	-30	-33	-45	27
P-ETR (mm)	0	0	31,5	39	89	111	19	-30,1	-33,7	38	-5,1	-69	190,1

Tableau 4 : Récapitulatif des paramètres du bilan hydrologique

Paramètres du bilan hydrologique	Période humide (1920 - 1968)	Période déficitaire (1969 - 2013)
Pluviométrie : P (mm)	1423	1154
ETP (mm)	1231	1248
ETR (mm)	1126	963,9
Excédent : P-ETR (mm)	287	190,1
Ruissellement: Q (mm)	85	49,1
Recharge: Ie (mm)	202	141

III-1-3. Variabilité de la recharge

La recharge des aquifères en milieu de socle est essentiellement sous la dépendance des pluies. Dans la région d'étude, la recharge moyenne de la période 1920 à 2013 est 176,5 mm, avec un écart type égal 76,77 mm. Le graphe de l'évolution des recharges annuelles en fonction du temps a été représenté et illustré par la **Figure 10**. Ce graphique fait ressortir deux grandes évolutions des recharges annuelles. En effet, en période humide, les recharges sont généralement supérieures à la moyenne et surtout très forte, alors qu'en période déficitaire, les recharges sont en grandes parties inférieures à la valeur moyenne. Le réchauffement climatique a donc réduit la recharge des nappes d'eau souterraine de la région de Dimbokro.

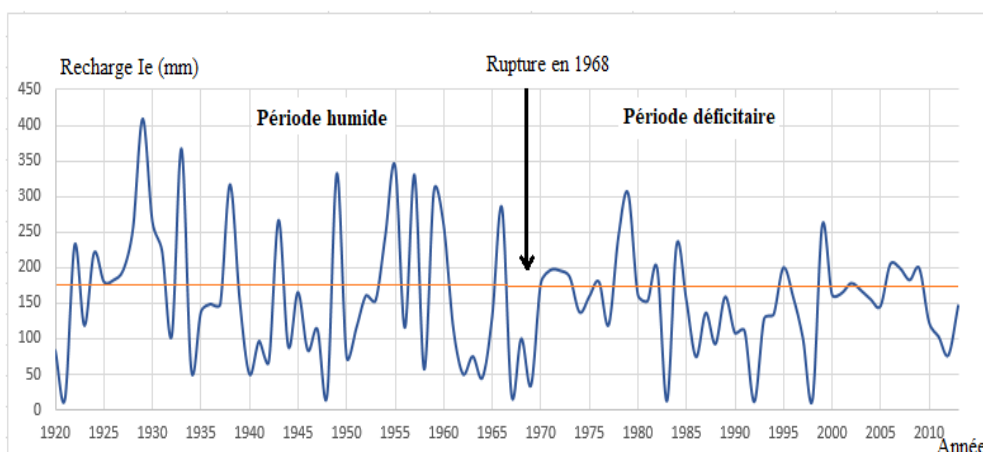


Figure 10 : Variabilité de la recharge en fonction du temps

Une étude de la corrélation entre les pluviométries et les recharges dans les différentes périodes a été faite et représentée par la **Figure 11**. On observe, en effet, une forte corrélation entre les pluviométries annuelles et les recharges en période humide, avec un coefficient de corrélation égale à 0,97 (**Figure 11 a**). Ce qui signifie que les fortes pluviométries successives entraînent systématiquement à de fortes recharges des eaux souterraines. En période déficitaire, il y a certes une corrélation remarquable, avec un coefficient de corrélation égal à 0,77, mais il est largement inférieur à celui de la période humide (**Figure 11b**). Cette faible corrélation en période déficitaire montre que les alternances de faibles pluviométries successives, ne favorisent pas d'importantes infiltrations de l'eau dans l'aquifère.

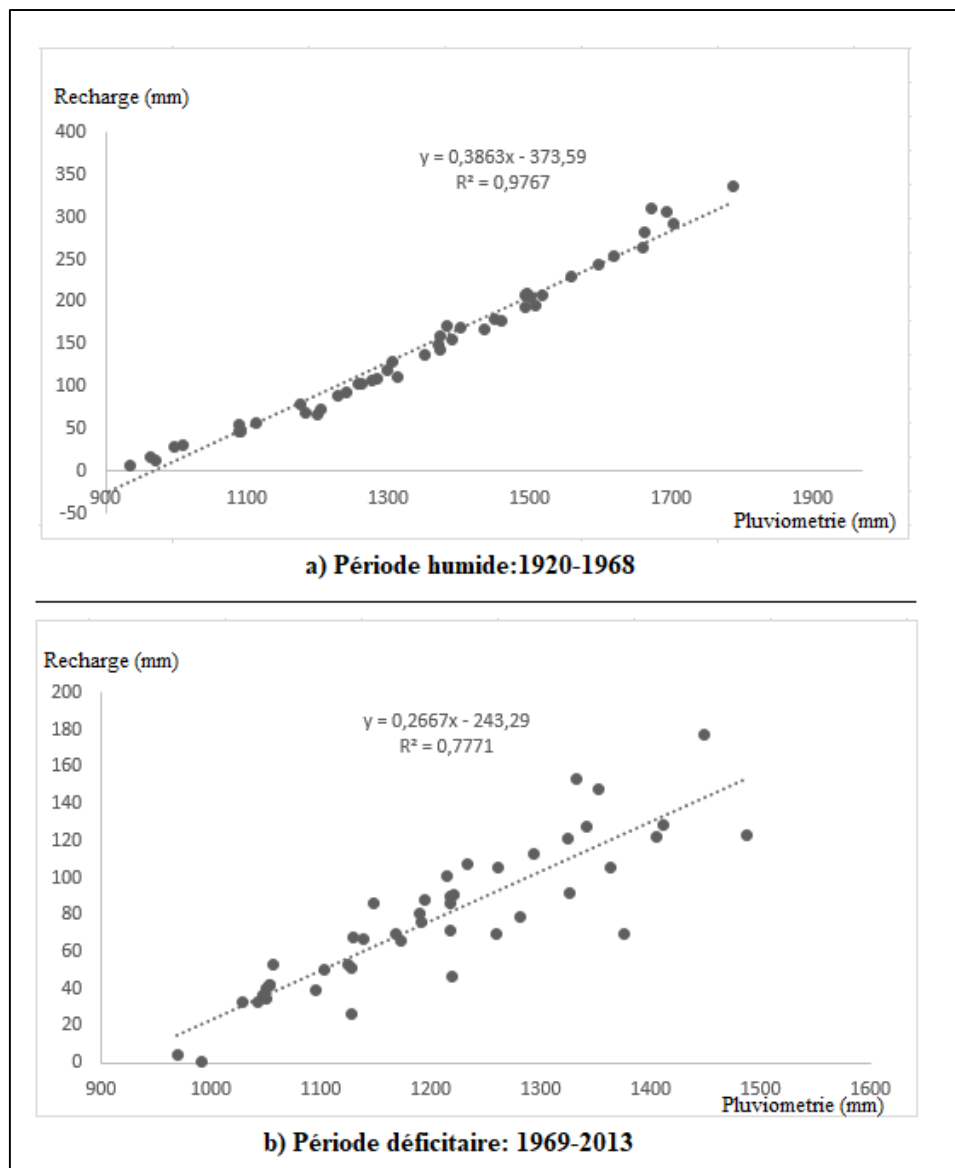


Figure 11 : Corrélation entre les recharges et les pluviométries

III-2. Discussion

Les dates de rupture obtenues pour la série pluviométrique du département de Dimbokro est 1967 et 1968, selon le test de Pettitt, la procédure de segmentation de Hubert, la méthode bayésienne et l'indice de Nicholson. Ces années de rupture appartiennent à la période de rupture de la plus part des stations pluviométriques en Afrique de l'ouest, particulièrement en Côte d'Ivoire, située entre 1966 et 1972 [45 - 51]. Le département de Bongouanou,

situé aussi dans la zone est de la Côte d'Ivoire, enregistre de même, une année de rupture égale à 1968 [23]. Toutes les zones de l'est de la Côte d'Ivoire semblent avoir senti les effets du changement climatique la même année. Le déficit pluviométrique est en moyenne 18,90 %, presque le même ordre de grandeur que celui de Bongouanou qui est 19 %. C'est aussi pratiquement le même ordre de grandeur que les résultats obtenus dans les régions sahélo-soudaniennes par les auteurs des références [19, 51, 52]. Cette similitude de variabilité climatique serait aussi perçue identique dans toute la zone tropicale [2, 53]. Par ailleurs, ce changement des précipitations est aussi accentué par une augmentation de la température de l'air dans la région de Dimbokro, à la différence supplémentaire de 0,34°C en moyenne ; ce qui entraîne des impacts très négatifs sur les ressources en eau. Il ne peut être exclu que cette hausse des températures et la baisse de la pluviométrie soient aussi localement liées à la régression des forêts denses sempervirentes (effets liés à l'albédo et à une moindre évapotranspiration) [15, 54, 55]. Il y a aussi régionalement, de la variabilité de la dynamique de la circulation des moussons ouest-africaine [56, 57]. En effet, l'apparition de la période déficitaire a pour conséquence, la réduction de la recharge de 33,69 % en moyenne annuelle. Cette réduction est proche aux travaux effectués par [23] dans le département de Bongouanou, situé à l'est de la Côte d'Ivoire. On a aussi observé les mêmes tendances à la baisse dans la région de Bondoukou, située au nord-est de la Côte d'Ivoire [39]. Depuis l'apparition du changement climatique en Côte d'Ivoire, tous les secteurs de l'est, le centre et le nord ont subi des réductions très considérables de leur pluviométries annuelles, ce qui a réduit les recharges des aquifères de socle.

IV - CONCLUSION

Comme la plupart des pays de la zone tropicale, la Côte d'Ivoire est aussi victime des changements climatiques. Cette étude réalisée au centre-est de son socle, précisément le département de Dimbokro, met en évidence ce phénomène et donne une idée de son impact sur l'alimentation des nappes d'eau souterraine. En effet, les tests de détection des ruptures tels que le test de Pettitt, la procédure de segmentation de Hubert, la méthode bayésienne et l'indice de Nicholson appliqués montrent une rupture en 1968 qui met en évidence, deux périodes de variabilité climatique. Une période humide qui va de 1920 à 1968, avec une moyenne pluviométrique forte égale à 1423 mm et une période déficitaire de 1969 à 2013 dont la pluviométrie moyenne annuelle est de 1154 mm. La région a donc subi une baisse pluviométrique de 18,90°C en moyenne. On observe une tendance de basses températures en période humide, avec une moyenne de 26,67°C et une tendance de hautes températures en période déficitaire, dont la moyenne est de 27,01°C. Les recharges des nappes d'eau souterraine qui sont essentiellement dépendantes de la pluviométrie, ont donc subi aussi des réductions non négligeables aux effets de

ce réchauffement climatique dans la région de Dimbokro. Le bilan hydrique montre qu'en période humide, la recharge moyenne annuelle est de 202 mm et en période déficitaire, elle est de 141 mm, soit une baisse de 30,69 %. En plus, en période humide, la majorité des recharges annuelles sont supérieures à la moyenne de 1920 à 2013, alors qu'en période déficitaire presque toutes les recharges sont inférieures à cette moyenne. On observe aussi une forte corrélation entre les pluviométries et les recharges en période humide, mais en période déficitaire, cette corrélation est un peu forte. Enfin le ruissellement moyen annuel, en période humide est 85 mm, en période déficitaire, on a 49,1 mm, soit une baisse de 41,76 %.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) de la Côte d'Ivoire, pour avoir fourni les données climatiques, afin que ce travail soit réalisable.

RÉFÉRENCES

- [1] - G. CONWAY, La science du changement climatique en Afrique: Impacts et adaptation. Document de travail n° 1. Institut Grantham pour le changement climatique. Imperial. College de Londres, (2009). Disponible à www.elsenburg.com/TRD/globalwarm/downloads/science.pdf
- [2] - GIEC (Groupe International d'Etude du Climat), Changement climatique. Rapport de synthèse (2007). <http://www.ipcc.ch>
- [3] - GIEC (Groupe International d'Etude du Climat), Rapport spécial sur la gestion des risques d'événements extrêmes et des catastrophes pour améliorer l'adaptation au changement climatique (SREX) (2012) : <http://ipccwg2.gov/SREX/report/>
- [4] - C. KARAKOSTA, H. DOUKAS, J. PSARRAS, Transfert de technologies par le changement climatique : Définition d'un modèle énergétique durable. Rapport sur les énergies renouvelables et durables, 14 (2010) 1546 - 1557 p.
- [5] - B. ADIAFFI, Apport de la géochimie isotopique, de l'hydrochimie et de la télédétection à la connaissance des aquifères de la zone de contact « socle-bassin sédimentaire » du sud-est de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat, Université Paris Sud, Paris, France (2008) 230 p.
- [6] - <https://ec.europa.eu/clima/change/causes.fr>, (février 2018)
- [7] - <https://www.novethic.fr/lexique/detail/rechauffement-climatique.html>, (février 2018)
- [8] - https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/gaz_a_effet_de_serre_ges.php4, (février 2018)

- [9] - OMM, (Organisation météorologique mondiale), (2012)
<http://www.wmo.int>
- [10] - K. C. URAMA, T. ISOUN, M. MBOOU, Technologies du changement climatique entre le Nord et le Sud Global: Défis et opportunités pour les États-Unis d'Amérique et l'Afrique. Communication présentée à la Conférence Sud Voices, Centre Woodrow Wilson internationaux, Washington DC, Juin (2012)
- [11] - M. BOKO, I. NIANG I, A. NYONG, C. VOGEL, A. GITHEKO, M. MEDANY, B. OSMAN-ELASHA, R. TABO, P. YANDAB, l'Afrique. Changement climatique 2007 : Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, ML Parry, O.F. Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden et CE Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge Royaume-Uni, (2007) 433 - 467
- [12] - P. DESANKER, C. MAGADZA, A. ALLALI, C. BASALIRWA, M. BOKO, G. GIEUDONNE, T. DOWNING, P.O. DUBE, A. GIHEKO, M. GIHENDU, P. GONZALEZ, D. GWARY, B. JALLOW, J. NWAFOR, Climate change : Impacts, adaptation, and vulnérabilité. Cambridge, university Press, (2001) 487 - 531
- [13] - O. E. BOUBACAR Rapport national. Forêt, pâturages et changements climatiques en Mauritanie. Nouakchott : ministère de l'Environnement et du développement Durable.
www.fao.org/forestry/29277.0a57890bfbed897c1b0d1de4b6cffe7bc
- [14] - D. G. OCKWELL, J. WATSON, G. MACKERRON, P. PAL, F. YAMIN, Considérations des politiques De facilitation des transferts de technologies à faible teneur en carbone aux pays en développement. Politique énergétique, 36 (2008) 4104 - 4115 p.
- [15] - S. AYKUT, A DAHAN, Gouverner le climat : 20 ans de négociations internationales Paris : Presses de Sciences Po, (2015) 749 p.
- [16] - OMS (Organisation mondiale de la Santé). Changement climatique et santé. (2012) Disponible
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/en/13/05/2013>
- [17] - GIEC-(Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) Rapport spécial sur la gestion des risques d'événements extrêmes pour améliorer l'adaptation au changement climatique, (2010), <http://ipccwg2.gov/SREX/report/>
- [18] - MERF, Plan d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques (2009) 88 p.
- [19] - H. MEDDI, M. MEDDI, Variabilité des précipitations annuelles du nord- ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, 20, 52 (2009) 57 - 65
- [20] - FRANCE ** SENAT Changement climatique : les incidences sur les îles du Pacifique : actes du colloque du 9 juin 2015 / groupe interparlementaire d'amitié France-Vanuatu- îles du Pacifique. Paris : Sénat, (2015) 86 p.
- [21] - GIEC, (Groupe International de l'étude du climat), Répartition des émissions mondiales de gaz à effet de serre par secteur, (2014) https://www.notre-planete.info/terre/climatologie_meteo/changement-climatique-GES.php, (juin 2018)

- [22] - J. E. PATUREL, E. SERVAT, B. KOUAME, H. LUBÈS-NIEL, J. M. MASSON, J. F. BOYER, M. TRAVAGLIOT, M. MATIEU Variabilité pluviométrique en Afrique humide le long du Golfe de Guinée. Approche régionale intégrée. *PHI-V*, 16, (1997) 1 - 31
- [23] - A. E. ASSEMIAN A. E., F. K. KOUAME, É. V. DJAGOUA, K. AFFIAN, J. P. R. JOURDA, M. ADJA, T. LASM, J. BIEMI, Étude de l'impact des variabilités climatiques sur les ressources hydriques d'un milieu tropical humide : cas du département de Bongouanou (Est de la Côte d'Ivoire). *Rev. Sci. Eau*, 26, (2013) 247 - 261, <http://www.erudit.org/revue/rseau/2013/v26/n3/1018789ar.pdf>
- [24] - P. LACHASSAGNE P., R. WYNS, B. DEWANDEL. The fracture permeability of hard rock aquifers is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova*, 23, (2011) 145 - 161.test
- [25] - A. N. PETTITT, A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Stat.*, 28 (1979) 126 - 135
- [26] - P. HUBERT P., J. P. CARBONNEL, A. CHAUCHE, Segmentation des séries : Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *J. Hydrol.*, 110, (1989) 349 - 367
- [27] - S. E. NICHOLSON S. E., Recent rainfall fluctuation in Africa and their relationship to past conditions over the continent. *Holocene*, 4 (1994) 121 - 131
- [28] - A. F. S. LEE, S. M. HEGHINIAN, A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables - A Bayesian approach. *Technometrics*, 19 (4) (1977) 503 - 506
- [29] - T. A. BUIHAND, Tests for Detecting a Shift in the Mean of Hydrological Time Series *Journal of Hydrology*, Vol. 58, 5 (1984) 51 - 69 p.
- [30] - <http://sfa.univ-poitiers.fr/geosciences/wp-content/uploads/sites/7/2014/11/TD-2h-CR-ANaveau-Etu-2014.pdf>, (mars 2018)
- [31] - https://www.dictionnaire-environnement.com/bilan_hydrologique_ID5211.html, (mars 2018)
- [32] - <https://www.erudit.org/fr/revues/cgq/1968-v12-n25-cgq2599/020784ar.pdf>, (mars 2018)
- [33] - <https://www.erudit.org/fr/revues/cgq/1968-v12-n25-cgq2599/020784ar.pdf>
- [34] - L. TURC, Évaluation des besoins en eau irrigation évapotranspiration potentielle. *Ann. Agron.*, 12 (1931) 13 - 49
- [35] - C. W. THORNTHWAITTE, An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, 38, (1948) 55-94
- [36] - H. L. PENMAN, Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc.*, A1931032, (1948) 120 - 145
- [37] - P. BROCHET P., N. GERBIER, L'évaporation : aspect agrométéorologique, évaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle. *Monographie Meteorol. Nat.*, 65 (1974) 95 p.
- [38] - J. BIEMI, Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique par télédétection de bassins versants subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest. Hydrostructurale hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillon et aire granitique de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse Doct.ès Sc. Nat. Université de Cocody, Abidjan, (1992) 479 p.

- [39] - M. YOUAN TA Contribution de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques à la prospection hydrogéologiques du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : cas de la région de Bondoukou Nord-Est de la Côte d'Ivoire. Thèse unique de doctorat, université de Cocody, Abidjan, (2008) 236 p.
- [40] - https://fr.wikipedia.org/wiki/Coefficient_d%27%C3%A9coulement, (mars 2018)
- [41] - https://www.ccpbs.fr/media/2014/03/EI_annexe3_etude_hydro.pdf, (mars 2018)
- [42] - <https://www.sidesa.fr/tous-les-articles/eaux-et-milieux-aquatiques/inondations-ruissellement/coefficient-de-ruissellement>, (mars 2018)
- [43] - http://www.grr.ulaval.ca/gae_3005/Labos/Ref/CH_12_R_Qmax.pdf, (mars 2018)
- [44] - <http://www.risques-meteo.ac-versailles.fr/IMG/pdf/evaluer-vegetation.pdf>, (mars 2018)
- [45] - M. ADJA, Étude de l'état hydrique saisonnier du bassin versant de la Bagoé dans un contexte de variabilité climatique. Départements de Boundiali et Tengréla (milieux soudanosahéliens au nord-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse unique, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2009) 170 p.
- [46] - Y. BROU, Analyse et dynamique de la pluviométrie dans le Sud forestier ivoirien : recherche de corrélation entre les variables climatiques et les variables liées aux activités anthropiques. Thèse de 3e cycle, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, (1997) 211 p.
- [47] - Y. BROU, E. SERVAT, J. PATUREL, Activités humaines et variabilité climatique : cas du sud forestier ivoirien. IAHS, 252 (1998) 365 - 373
- [48] - P. HUBERT P., J. P. CARBONNEL, Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest. *J. Hydrol.*, 95 (1987) 165 - 183
- [49] - P. HUBERT, J. P. CARBONNEL, A. CHAOUICHE, Segmentation des séries : Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *J. Hydrol.*, 110 (1989) 349 - 367
- [50] - H. LUBÈS-NIEL H., J. MASSON, J. PATUREL, E. SERVAT Variabilité climatique et statistiques. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Rev. Sci.Eau*, 11 (1998) 383 - 408
- [51] - J. PATUREL, E. SERVAT et M. DELATTRE, Analyse des séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. *J. Sci. Hydrol.*, 43 (1998) 937 - 945
- [52] - E. SERVAT., J. PATUREL, H. LUBÈS-NIEL, B. KOUAME, J. M. MASSON, M. TRAVAGLIO, M. OUEDRAOGO et J. BOYER, Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. IAHS, 252 (1998) 323 - 337
- [53] - V. MORON, Régionalisation et évolution des précipitations tropicales annuelles (1946 - 1992), *Sécheresse*, 7 (1996) 25 - 34

- [54] - B. SEGUIN, « Le changement climatique : conséquences pour les végétaux », Quaderni (En ligne), mis en ligne janvier 2012, <http://quaderni.revues.org/525>
- [55] - M. LEGAY M., F. MORTIER, P. MENGINLECREULX, T. CORDONNIER, « La gestion forestière face aux changements climatiques: tirons les premiers enseignements », Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n° 3, « Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques », (2007) 95 - 102 p.
- [56] - P. LEGAGNEUX, N. CASAJUS, K. CAZELLES, C. CHEVALLIER, M. CHEVRINAIS, L. GUERY, C. JACQUET, M. JAFFRE, M. J. NAUD, F. NOISETTE, P. ROPARS, S. VISSAUL, P. ARCHANBAULT P, J. BETY, D. BERTEAUXB and D. GRAVEL Our House Is Burning : Discrepancy in Climate Change vs. Biodiversity Coverage in the Media as Compared to Scientific Literature. *Front. Ecol. Evol.* 5:175. Doi : 10.3389/fevo.(2017).00175, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2017.00175/full>