

# Variabilité climatique et ressources en eaux de la région des grands ponts (Sud de la Côte d'Ivoire)

## Climate variability and water resources in the region of the great bridges (South of Côte d'Ivoire)

Louan Odile BLE<sup>1\*</sup>, Félix Kouadio KOFFI<sup>2</sup>; Gnamba Serge DEGNY<sup>3</sup>, Tanina Drissa SORO<sup>4</sup>,

<sup>1,2</sup>Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et de Géomatériaux (SSEG), Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup>Laboratoire des Eaux, Institut National d'Hygiène Publique (INHP), BP VI4 Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>4</sup>Laboratoire des Sci. et Technologies de l'Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

### Info. Article

#### Historique de l'article

Reçu le 29/06/2021

Révisé le 01/12/2021

Accépté le 27/12/2021

#### Mots-clés:

Variabilité climatique, ressources en eau souterraine, volume d'eau mobilisé,

**Keywords:** Spring water, pollution, hydrochemistry, potability, mineralization

### RESUME

La présente étude vise à analyser les incidences de la variabilité climatique sur les ressources hydriques de la région des grands ponts dans la perspective d'une gestion durable des ressources en eau. La caractérisation de la variabilité climatique et de son impact sur les ressources en eau s'est faite par l'application de plusieurs méthodes statistiques couplées à celles de Turc. Les travaux ont été basés sur les données annuelles de précipitation de 1970 à 2018 et des données de débits de 1979 à 2004. L'étude hydroclimatique montre une fluctuation des régimes pluviométriques et hydrologiques marquée par une alternance de périodes sèches, humides et normales. La recharge des nappes souterraines par l'infiltration efficace, enregistre une baisse depuis la rupture climatique de 2000 allant de 138,1 mm avant l'année de rupture à 124,7 mm après 2000, soit un déficit d'infiltration de 10 %. Cependant, on observe une reprise significative des débits moyens à partir de la rupture observée en 2000 au sein des séries pluviométriques caractérisant une augmentation de la pluviométrie dans les localités de Dabou. Elles s'accompagnent d'une hausse des précipitations allant de 8 à 19 %. La recharge des eaux de surface à travers le ruissellement enregistre une hausse de 31%.

#### Abstract

This study aims to analyze the effects of climate variability on water resources in the region of the great bridges in the perspective of sustainable management of water resources. The characterization of climate variability and its impact on water resources was done by applying several statistical methods coupled with those of Turkish. The work was based on annual precipitation data from 1970 to 2018 and discharge data from 1979 to 2004. The hydroclimatic study shows a fluctuation in rainfall and hydrological regimes marked by an alternation of dry, wet and normal periods. Groundwater recharge by infiltration. The recharge of underground water tables by effective infiltration has recorded a decrease since the climatic rupture of 2000, going from 138.1 mm before the rupture year to 124.7 mm after 2000, that is to say an infiltration deficit of 10%. However, we observe a significant recovery in average flows from the rupture observed in 2000 within the rainfall series characterizing an increase in rainfall in the localities of Dabou. They are accompanied by an increase in precipitation ranging from 8 to 19%. Surface water recharge through runoff has increased by 31%.

\* **Auteur Correspondant: L. O. BLE**

Laboratoire des Sciences du So, de l'Eau et de Géomatériaux (SSEG), Université Félix Houphouët Boigny de Cocody- UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières- BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire. Bleodile2@gmail.com

## 1. INTRODUCTION

L'Afrique de l'Ouest a connu de profonds changements caractérisés par une baisse considérable des pluies. Cette baisse de pluie a eu pour conséquence une diminution des écoulements de surface de 60% durant les périodes humides [1]. Pour comprendre les effets du changement climatique sur l'environnement, de nombreuses

études sur la variabilité climatique [2,3], ont été entreprises dans plusieurs régions de l’Afrique de l’Ouest et Centrale. Les études antérieures ont montré qu’une tendance à la sécheresse s’est manifestée à partir de la fin de la décennie 1960 et le début des années 70. Cette sécheresse a provoqué un tarissement des cours d’eau et une baisse des niveaux piézométriques des nappes en Côte d’Ivoire. Cette situation est à l’origine du déplacement de la boucle du Cacao en Côte d’Ivoire. Initialement cette boucle était située au Centre-Est du pays elle est maintenant à l’Ouest dans la région de Soubré. A l’instar de la région de Soubré, le Sud-Ouest du pays est intéressant à bien des égards. Cette région produit plus de 100 à 200000 tonnes de cacao par an, contre 4000 tonnes en 1975.

Cette activité agricole modifie fortement la qualité et la dynamique de l’eau dans le milieu. C’est pour parvenir à une meilleure connaissance du régime hydrologique, et connaître le mode de tarissement des rivières que cette étude a été initiée. La méthodologie s’est basée sur une exploitation des images satellitaires de quatre scènes acquises en novembre 1986 à partir du satellite Landsat TM et des données climatologiques et piézométriques obtenues auprès de la Société de Développement et d’Exploitation Aéroportuaire Aéronautique et de Météorologie (SODEXAM) et du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA). Ces données ont été couplées avec trois campagnes réalisées en juin, juillet et Août 2019 dans la région des grands ponts. Il s’agit d’étudier le régime de recharge des nappes à partir de la méthode du bilan hydrologique de Turc.

Les populations et les pouvoirs publics se trouvent acculés par les conséquences des aléas climatiques [4]. L’étude de la variabilité climatique a donc un intérêt particulier tant pour la recherche scientifique, pour la mise en évidence d’une stratégie locale d’adaptation des populations à ces aléas climatiques. [5].

### 1.1 PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE

La zone d’étude est comprise entre 3° 40 et 5° de latitude Nord et 4° 40 et 6° de longitude Ouest (Fig.1). Sa superficie est de 5500 km<sup>2</sup>. La région, couvre entièrement les départements de Dabou (chef-lieu de région), Jacqueline et de Grand-Lahou. Le Sud de Côte d’Ivoire est ainsi soumis à un climat qui se caractérise par quatre (4) saisons ; une grande saison pluvieuse, d’avril à juillet, pendant laquelle l’on enregistre les deux tiers de la totalité des pluies annuelles, une saison sèche, de juillet à septembre (c’est la saison la plus froide de l’année), une petite saison pluvieuse, de septembre à novembre et une grande saison sèche, de décembre à mars.

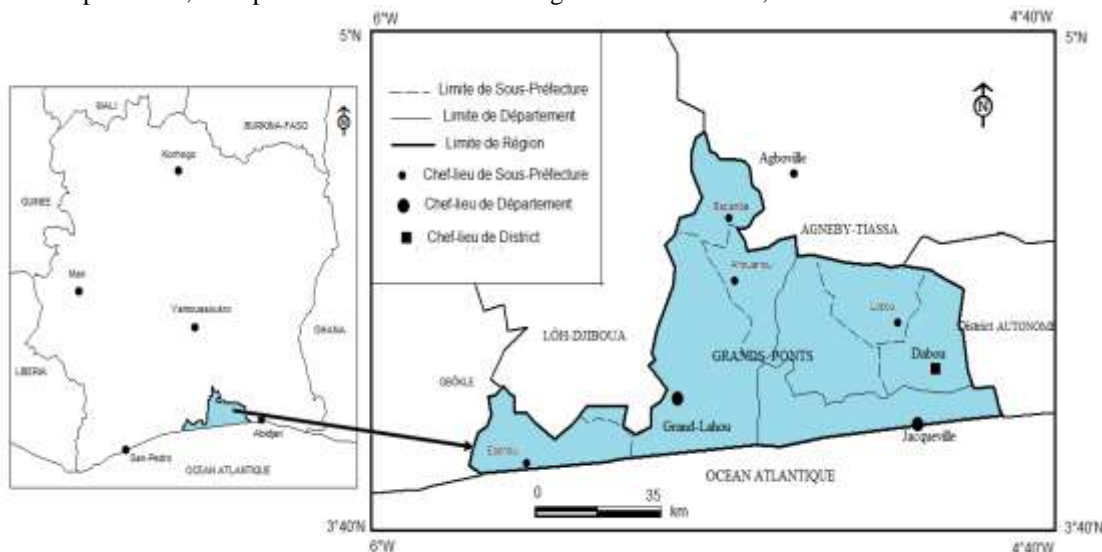


Figure 1. Localisation de la zone d’étude

## 2. DONNÉES ET MATÉRIELS

### 2.1. Données climatologiques

Les données climatologiques (Pluviométrie, Température, Humidité relative, Evapotranspiration réelle et potentielle) sont issues du réseau de mesures de la Société de Développement et d’Exploitation Aéroportuaire Aéronautique et de Météorologie (SODEXAM) de la Côte d’Ivoire et du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA).

### 2.2. Données hydrologiques

Les données hydrométriques concernent les moyennes mensuelles des débits mesurés à la station d’Agboville (débit de la rivière Agneby). Celles-ci ont été obtenues auprès de la Direction de l’Hydraulique de Côte d’Ivoire. La période d’étude obtenue à cette station est de 1970 à 2004. (Tabl. 1).

Tableau 1. Liste des stations étudiées

Stations	Période d'observation	Lacunes	% années complètes
Dabou	1970-2019 (49 ans)	2	96
Grang-Lahou	1971-2017 (46 ans)	4	91,2
Abidjan	1971-2019( 48 ans)	3	93,75
Agnéby	1970-2004 (34 ans)	5	85

### 2.3 Méthodologie

#### a. Indice de Nicholson

L'indice de NICHOLSON apparaît comme une variable centrée et réduite. Cette méthode permet de suivre les fluctuations des régimes pluviométriques et hydrologiques.

$$IP = \frac{Xi - \bar{X}}{\sigma} \tag{1}$$

avec :

Ip : indice pluviométrique ; Xi : la pluviométrie de l'année i ;

$\bar{X}$  : la moyenne sur la période d'observation  $\sigma$  l'écart type de la pluviométrie sur la période d'observation.

#### b. Filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2

Une meilleure observation des fluctuations interannuelles s'obtient en éliminant les variations saisonnières. Dans ce cas, les totaux pluviométriques annuels sont pondérés en utilisant les équations suivantes [6].

$$X(t) = 0,06x_{(t-2)} + 0,25x_{(t-1)} + 0,38x_t + 0,25x_{(t+1)} + 0,06x_{(t+2)} \quad \text{Pour } 3 \leq t \leq (n-2) \tag{2}$$

Où X (t) est le total pluviométrique pondéré du terme t ;  $X_{(t-2)}$  et  $X_{(t-1)}$  sont les totaux pluviométriques principaux observés des deux termes qui précèdent immédiatement le terme t.  $X_{(t+2)}$  et  $X_{(t+1)}$  sont les totaux pluviométriques observés des deux termes qui suivent immédiatement le terme t.

Les totaux pluviométriques pondérés des deux premiers [X (1), X (2)] et des deux derniers [X (n-1), X (n)] termes de la série sont calculés au moyen des expressions suivantes (n étant la taille de la série) :

$$X_{(1)} = 0,54X_{(1)} + 0,46X_{(2)} \tag{3}$$

$$X_{(2)} = 0,25X_{(1)} + 0,5X_{(2)} + 0,25X_{(3)} \tag{4}$$

$$X_{(n-1)} = 0,25X_{(n-2)} + 0,5X_{(n-1)} + 0,25X_{(n)} \tag{5}$$

$$X_{(n)} = 0,54X_{(n)} + 0,46X_{(n-1)} \tag{6}$$

Les indices centrés et réduits des hauteurs pluviométriques annuelles pondérées obtenues sont calculés pour mieux distinguer les périodes de déficit et d'excédent pluviométriques. Les séries de débits sont soumises aux mêmes procédures de calculs que les séries pluviométriques

#### c. Test de Pettitt

Il permet de vérifier la stationnarité de la série pluviométrique. Cette série étudiée est divisée en 2 échantillons respectivement de taille m et n. Les valeurs des 2 échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. Une étude statistique est définie à partir des deux sommes ainsi déterminées, et testée sous l'hypothèse nulle d'appartenance des deux sous échantillons à la même population. L'absence de rupture dans la série (Xi) de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N, les séries chronologiques (Xi) i =1 à t et t + 1 à N appartiennent à la même population. Ce test repose sur le calcul de la variable  $U_{t,N}$  définie par :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t (Dij) \tag{7}$$

$$Dij = \text{sgn} (Xi - Xj) \text{ avec } \text{sgn} (X) = 1 \text{ si } X > 0, 0 \text{ si } X = 0 \text{ et } -1 \text{ si } X < 0 \tag{8}$$

Au cas où l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant t définissant le maximum en valeur absolue de la variable  $U_{t,N}$ .

**d. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian**

La méthode bayésienne [7], 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 suivant :

$$X_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_{ii} = 1, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_{ii} = \tau + 1, \dots, N \end{cases} \tag{9}$$

où les  $\varepsilon_i$  sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2$ . Les variables  $\tau$ ,  $\mu$ ,  $\delta$  et  $\sigma$  sont des paramètres inconnus.  $\tau$  et  $\delta$  représentent respectivement la position de la rupture dans le temps et l'amplitude du changement sur la moyenne.

**e. Calcul du coefficient de tarissement**

La courbe de tarissement est tracée à partir des débits journaliers de 1970 à 2004 à la station de l'Agneby à Agboville. Cette courbe est établie à partir, du débit journalier le plus élevé de l'année  $Q_0$  (considéré comme débit initial).

**f. Courbe de tarissement et volume d'eau mobilisé par les aquifères**

La courbe de tarissement est tracée à partir des débits journaliers de 1970 à 2004 à la station de l'Agneby à Agboville. Les débits sont mesurés tous les dix jours, jusqu'à ce qu'ils remontent de façon significative. En régime non influencé, on estime que la courbe annuelle de tarissement est l'expression de la vidange du réservoir souterrain. La quantité d'eau récupérée à la station de jaugeage correspond exclusivement aux volumes dynamiques (V) mobilisés par ensemble des aquifères du bassin. Expression en  $m^3$  du volume écoulé à chaque instant t est donnée par l'équation :

$$V = \int_0^{+\infty} Q_0 e^{-kt} dt \tag{10}$$

ce qui donne :

$$v = \frac{Q_0}{K} (1 - e^{-kt}) \tag{11}$$

$Q_0$  est exprimé en  $m^3/s$  et multiplié par 86 400 et calculé en jours-1 avec 1 jour = 86400 secondes et K est le coefficient de tarissement).

**2.4 Bilan hydrique**

Pour la détermination du bilan hydrique, la méthode de Turc a été choisie, compte tenu des données disponibles. Son établissement passe par la détermination de certains paramètres dont l'évapotranspiration (ETR), le ruissellement (R), et l'infiltration (I), d'où l'expression suivant :

$$P = ETR + R + I \tag{12}$$

Où P : précipitation ; ETR : évaporation directe et transpiration des plantes ; R : ruissellement de surface et ruissellement hypodermique ; I : infiltration.

**3. RÉSULTATS**

**3.1 Fluctuation interannuelle des données climatiques**

La température moyenne annuelle (fig. 2) évolue en dent de scies avec une tendance générale à la hausse depuis les années 1971 avec une valeur maximale de 27,9°C en 2010 et un minimum en 1979 (25,7°C). Cette tendance est bien confirmée par le coefficient directeur de la droite exprimant l'évolution de la température en fonction de l'année, valeur de 0,0293. En observant l'évolution de la température et celle de la pluviométrie (fig. 3) on constate que les deux courbes évoluent inversement.

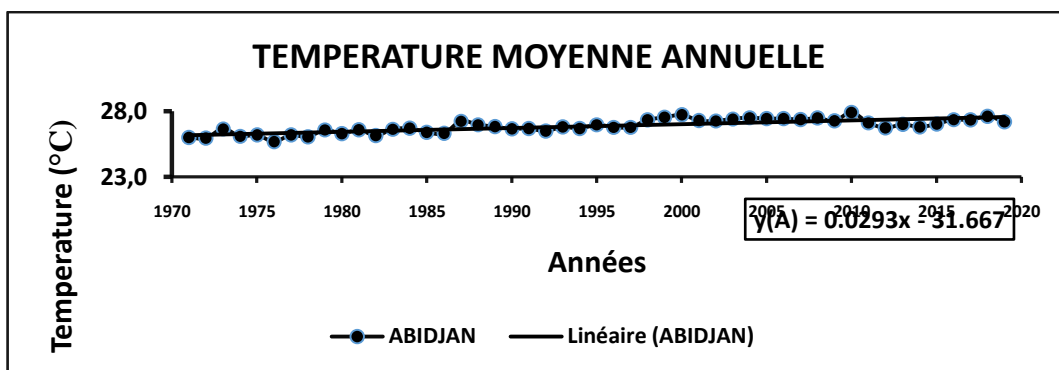


Figure 2. Evolution de la température moyenne annuelle à la station d’Abidjan (1971-2019)

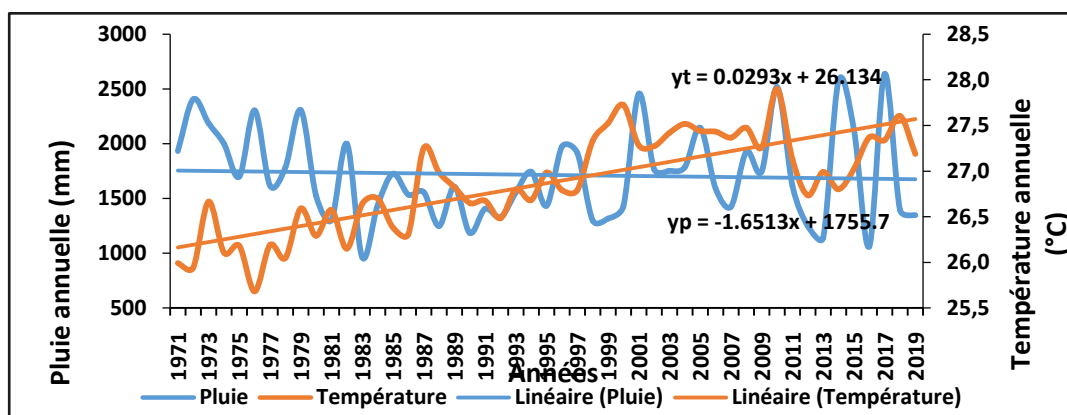


Figure 3. Evolution de la température moyenne annuelle (station d’Abidjan) et de la pluviométrie (station de Dabou) sur la période 1971-2019

### 3.2 Fluctuation interannuelle de la pluviométrie

Les figures 4, 5 et 6 montrent l’évolution des indices centrés réduits. Les données pluviométriques enregistrées aux stations d’Agboville (1981-2014), de Dabou (1970-2018) et de Grand-Lahou (1971-2017) apportent des informations importantes sur les différentes périodes excédentaires et déficitaires de la région et les différentes valeurs de ces indices permettent de déterminer les périodes humides, normales et sèches.

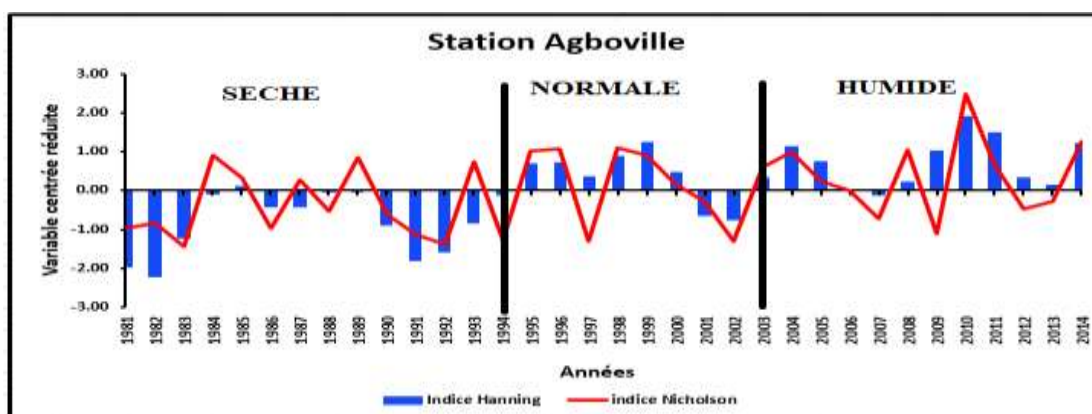


Figure 4. Evolution interannuelle de la station d’Agboville de 1981-2014

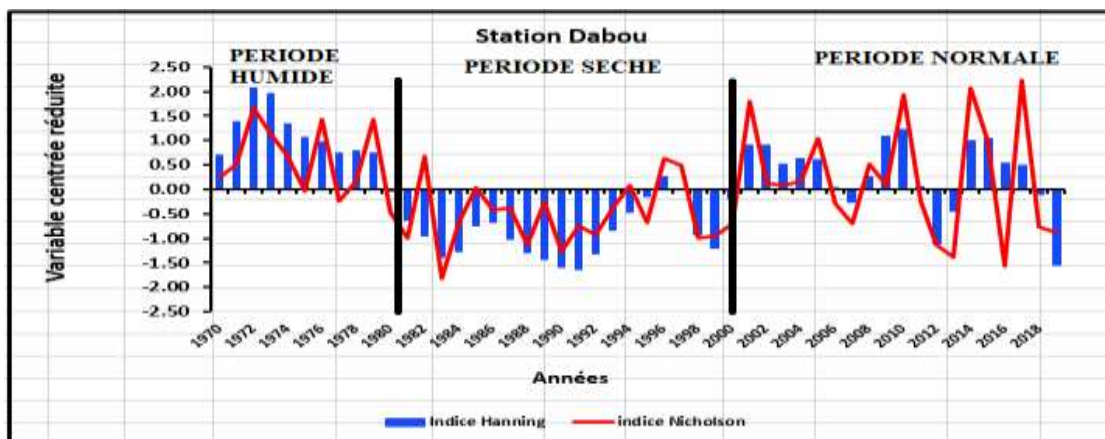


Figure 5. Evolution interannuelle de la pluviométrie à la station de Dabou de 1970-2018

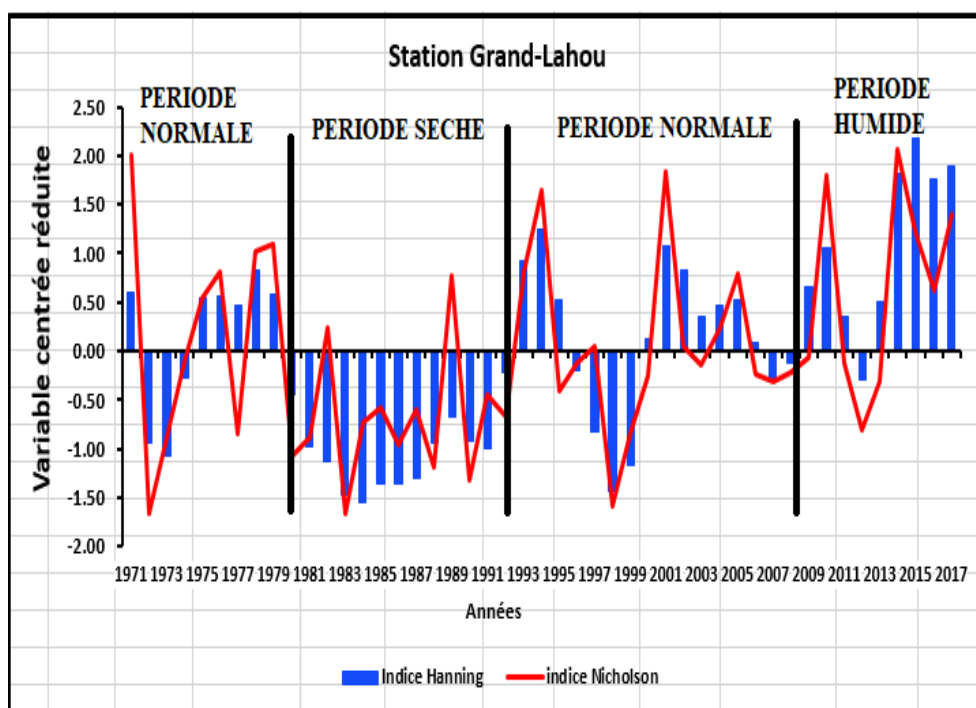


Figure 6. Evolution interannuelle de la pluviométrie à la station de Grand-Lahou de 1971-2017.

Ainsi, la fluctuation interannuelle de la pluviométrie à Agboville se caractérise par trois (3) grandes périodes. Une période sèche de 1981 à 1993 avec une moyenne de 1599,6 mm soit un déficit pluviométrique d'environ 100mm de pluie, une période normale de 1995 à 2002 avec une moyenne de 1697,4 mm et une période humide de 2003 à 20014 avec une moyenne de 1796,8 mm soit un excédent pluviométrique de 102mm. La période sèche comporte deux années remarquables : 1982 et 1992 avec une pluviométrie de 1320,59 soit un déficit de 374,51 mm et une pluviométrie de 1336,20 avec un déficit de 358,9 mm. La période humide comporte également deux périodes remarquables, 2010 et 2014 avec une pluviométrie respectivement de 2339,29 mm soit un excédent de 644,19 mm par rapport à la moyenne interannuelle de la période d'étude considérée. Ces différentes périodes se distinguent plus nettement avec l'indice de Nicholson combiné au filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2.

La variation interannuelle de la pluviométrie à Dabou, s'illustre par une période humide de 1970 à 1980 avec une moyenne de 1961,38 mm soit un excédent pluviométrique de 245mm par rapport à la moyenne interannuelle qui est 1716,4, une période sèche de 1981 à 2001 présentant une moyenne de 1544,2 mm soit un déficit de 172mm et une période normale voir même humide. La période humide de la série présente trois années remarquables à savoir, 1972, 1976 et 1979 avec des pluviométries respectives de 2495,8 mm (un excédent de

689,4 mm), 2304,6 mm (soit un excédent de 588,2 mm) et 2307,8 mm soit un excédent de 591,4 mm par rapport à la moyenne interannuelle de la période d'étude considérée.

La période normale présente quatre années ayant une pluviométrie remarquable. Ce sont les années 2001, 2010, 2014 et 2017 avec des pluviométries respectives de 2456.1 mm, 2517 mm, 2571,9 mm et 2638,3 soit des excédents respectifs de 739,7 mm, 800,6 mm, 855,5 mm et 921,9 mm à la station de Grand-Lahou. La fluctuation interannuelle est caractérisée par deux périodes normales allant de 1971-1979 et 1993-2008, séparées par une période sèche de 1980 à 1992 avec une moyenne de 1273,95 mm de pluie soit un déficit de 273,35mm. Une période humide de 2009 à 2017 avec une moyenne 1798,64 mm soit un excédent 251,3 mm. La première période normale de cette série présente une année remarquable : 1971, très arrosée, avec une pluviométrie de 2328,7 mm soit un excédent pluviométrique de 781,37 mm. Quant à la période sèche, l'année déficitaire est 1983 avec une moyenne pluviométrique annuelle de 897,4 mm. La seconde période normale présente deux années remarquables : 1994 et 2001 avec des moyennes pluviométriques annuelles respectives de 2191,2 mm et 2264,5 mm soit des excédents pluviométriques de 643,87 mm et 717,17 mm par rapport à la moyenne interannuelle de la période d'étude.

### 3.3 Fluctuation interannuelle du régime hydrologique

La série hydrométrique de la station Agneby a un débit interannuel moyen de 157,1 m<sup>3</sup>/s pour la période d'étude considérée. On y distingue deux grandes périodes :

- une période sèche de 1979 à 1988 avec une moyenne 124.4 m<sup>3</sup>/s. Au cours de cette période, on observe deux années de basses eaux, 1981 et 1986 avec des débits respectifs de 25,3 m<sup>3</sup>/s et 25,8 m<sup>3</sup>/s et trois années de hausses eaux, 1979, 1984 et 1987 avec des débits respectifs de 235,8 m<sup>3</sup>/s, 232,3 m<sup>3</sup>/s et 228,8 m<sup>3</sup>/s.
- une période normale de 1989 à 2004 avec une moyenne de 177,5 m<sup>3</sup>/s. On a deux dates de hausses eaux, 1989 avec un débit de 393,1 m<sup>3</sup>/s et 2004 avec un débit annuel de 317,5 m<sup>3</sup>/s et deux dates de basses eaux en 1992 et 1998 avec des débits respectifs de 51, m<sup>3</sup>/s et 43,6 m<sup>3</sup>/s.

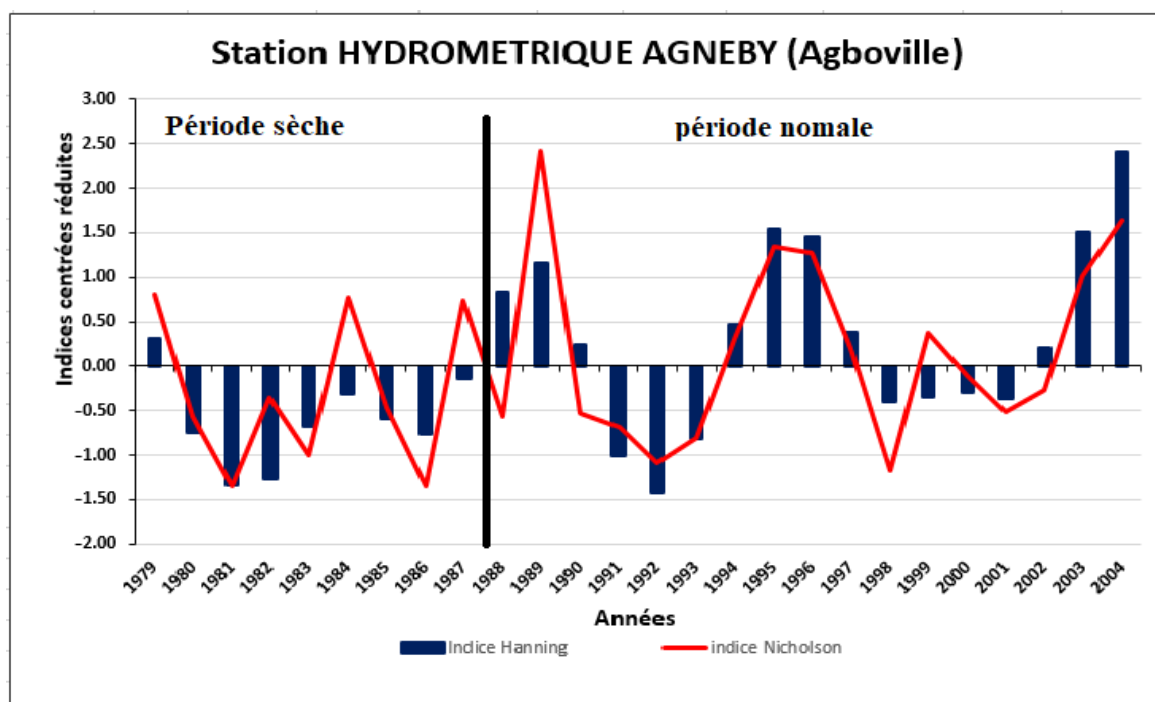


Figure 7. Evolution interannuelle du débit à la station d'Agneby Agboville de 1979-2004

### 3.4 Ruptures dans les séries chronologiques

Les résultats obtenus à partir de la méthode bayésienne sont consignés dans le (tabl. 2) L'analyse du tableau montre que les ruptures observées dans les différentes stations se manifestent à des dates différentes. On enregistre donc une rupture en 1979 pour la station de Dabou, et une rupture tardive en 2013 pour Grand-Lahou.

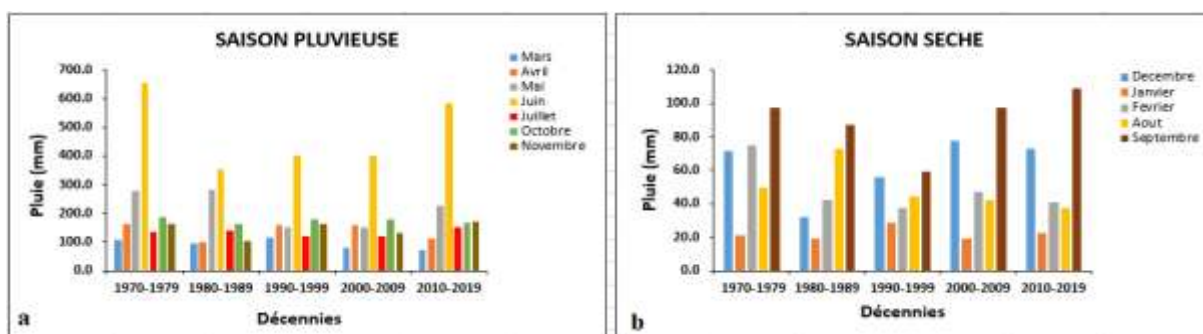


**Tableau 2.** Dates et probabilité de rupture des séries pluviométriques selon Lee et Heghinian

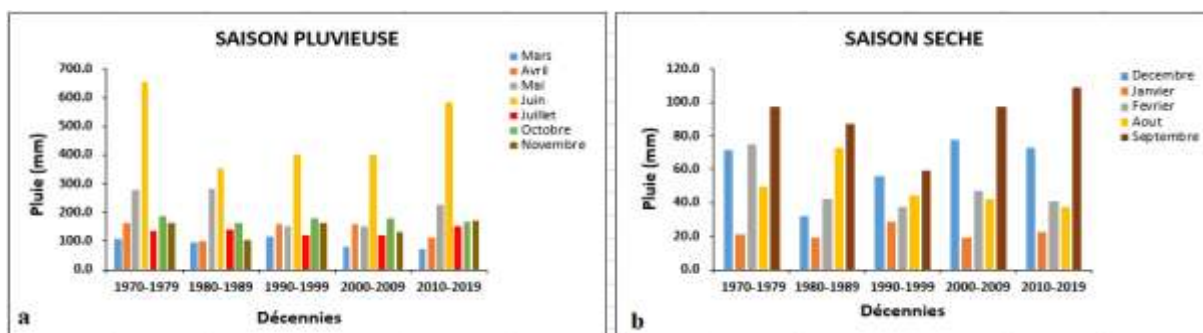
Station	Période d’observation	Date de rupture	Probabilité associée
Dabou	1970 à 2018	1979	0,1417
Grand-Lahou	1971 à 2016	2013	0,2699

### 3.5 Variabilité saisonnière de la pluviométrie

L’analyse des figures 8 et 9 montre que la variabilité pluviométrique se manifeste par une modification importante de la pluviométrie mensuelle au cours des différentes périodes concernées par notre étude. Pour la station de Dabou on constate que la décennie 1970-1979 est la plus arrosée avec des pics d’environ (654,6 mm) enregistrés dans le mois de juin, pour la décennie 2010-2019 le pic est de (586,2 mm). Pendant la saison sèche, le mois le moins arrosé est celui de janvier et le mois le plus arrosé est celui de septembre. A la station de Grand-Lahou, la décennie 1971-1980 est la plus arrosée.



**Figure 8.** Variation de la pluviométrie à Dabou sur la période de 1970-2019 au cours de la saison pluvieuse (a) et de la saison sèche (b)



**Figure 9.** Variation de la pluviométrie à Grand-Lahou sur la période de 1971-2010 au cours de la saison pluvieuse (a) et de la saison sèche (b)

### 3.6 Tarissement des cours d’eau et volumes d’eau mobilisés par les aquifères

La figure 10 montre les courbes de tarissement avant et après rupture de l’année 1993. La courbe de tarissement décroît fortement et passe à 25m<sup>3</sup>/s. Le graphe b présente trois tendances. Elle présente une diminution considérable du débit au bout de 20 jours allant 38m<sup>3</sup>/s à 15m<sup>3</sup>/s. Elle se stabilise entre le 20<sup>ème</sup> et le 30<sup>ème</sup> jour et diminue pour atteindre la valeur de 2m<sup>3</sup>/s vers le 60<sup>ème</sup> jour.



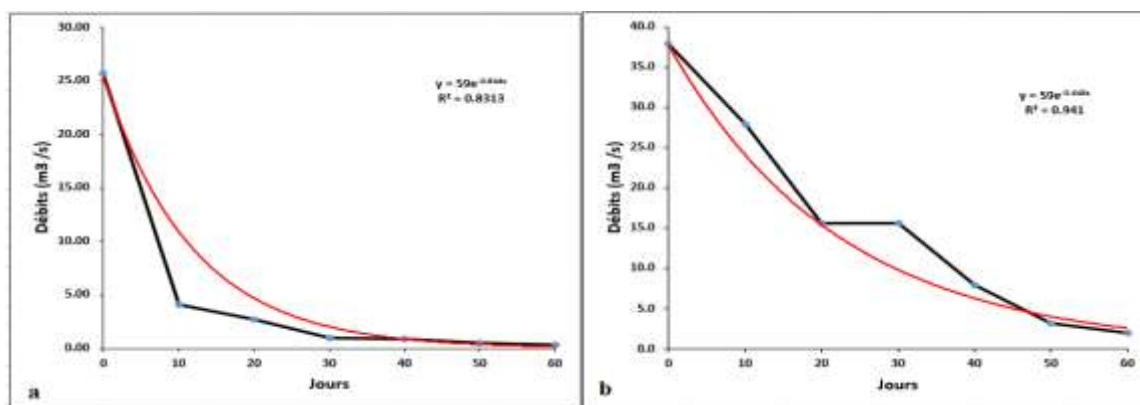


Figure 10. Courbes de tarissement avant(a) et après (b) rupture de la rivière Agneby de 1979 à 2004

### 3.7 Pluviométrie et coefficients de tarissement

La figure 11 montre l'évolution de la pluviométrie et du coefficient de tarissement à la station de Dabou sur la période 1979-2004. La diminution de la pluviométrie entraîne une augmentation de du coefficient de tarissement.

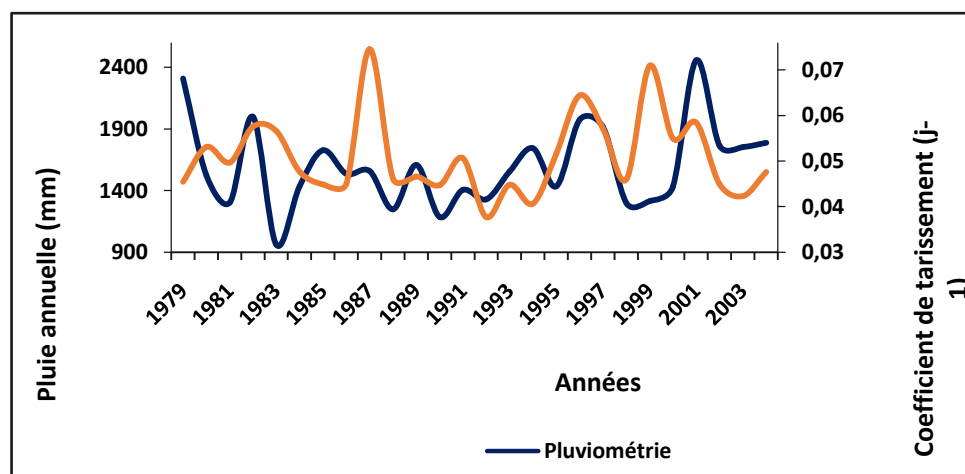


Figure 11. Evolution de la pluviométrie et du coefficient de tarissement à la station de Dabou de 1979-2004

### 3.8 Bilan hydrologique

L'analyse du tableau 3 montre que dans la région de Dabou, les précipitations (P) sont estimées en moyenne à 1714,43 mm, l'écoulement (R) est de 287,46 mm soit environ 16,8 % de la lame d'eau précipitée sur la région. L'infiltration (I) est d'environ 132,91mm soit 7,7 % des précipitations. La perte d'eau par évapotranspiration réelle (ETR) est estimée à 1294,06 mm soit 75,5 % des précipitations. L'excédent en eau constitue une source potentielle de réalimentation des sources d'eau de la région. Les valeurs de l'évapotranspiration réelle et celle de la lame d'eau ruisselée déterminées après la rupture sont nettement élevées par rapport à celles déterminées avant la rupture, soit un excédent de 6,34% et 31% respectivement pour l'évapotranspiration réelle et le ruissellement. Par contre, la lame d'eau infiltrée est en baisse depuis la rupture avec un déficit de 10%.

Tableau 3. Variation moyenne des paramètres du bilan hydrologique à la station de Dabou de 1971- 2019

Paramètres	Moy. (avant rupture)	Moy. (après rupture)	Variation moy. (%)
Précipitation	1657,83	1803,79	8
Evapotranspiration réelle	1263,02	1343,07	6,3
Ruissellement	256,68	336,05	31
Infiltration	138,12	124,67	10

## 4. DISCUSSIONS

### 4.1 Fluctuation de la pluviométrie

L'utilisation du filtre passe-bas et l'indice de Nicholson a mis en évidence les périodes de déficits et d'excédents pluviométriques de façon plus nette. Durant la période sèche, une année particulièrement sèche apparaît dans chacune des stations étudiées. Il s'agit de l'année 1983. Elle s'intègre dans la période des grandes sécheresses survenue en Afrique de l'Ouest et particulièrement en Côte d'Ivoire : 1971 ; 1972 ; 1983 et 1984 [8].

D'une manière générale, les fluctuations enregistrées montrent une baisse de la pluviométrie au niveau de la région à partir de la fin des années 1970 et une reprise de la pluviométrie à partir des années 1993. Ce résultat obtenu corrobore les travaux antérieurs réalisés dans le Bassin Versant de l'Agnéby [9], qui soulignent la baisse des précipitations à partir des années 1980. Cette baisse des précipitations a été signalée par plusieurs auteurs dans différentes régions du pays.

### 4.2 Rupture climatique et excédent pluviométrique

L'analyse du résultat, fourni par l'application du test de Pettitt sur la série chronologique observée, montre que l'hypothèse nulle de ce test (formulée par l'absence de rupture) a été rejetée au seuil de confiance 90 % aussi bien à Dabou, Grand-Lahou qu'à Agboville. En effet, le test de Pettitt identifie une rupture significative avec un seuil de dépassement lorsque la chronique étudiée est suffisamment longue (plus de 50 années d'observation). Notre étude présente des chroniques de moins de 50 années d'observation. Cependant des ruptures secondaires sont observées en 1994 à Agboville, en 2000 à Dabou et Grand-Lahou. Ces ruptures caractérisent le début d'une augmentation de la pluviométrie dans ces différentes localités ; elles sont donc en phase avec les découpages donnés par le filtre passe-bas de Hanning et l'indice de Nicholson.

Ces années de rupture ne s'intègrent pas à l'intervalle des ruptures de 1966-19971 signalé par les auteurs précédents. Cependant la chronique de notre étude est très récente. Les conséquences de ces ruptures sont les hausses pluviométriques importantes enregistrées aux stations étudiées et mise en évidence déjà par les indices de Nicholson et le filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2. Ce résultat est bien confirmé par le calcul de la variation moyenne de la pluviométrie qui présente un excédent pluviométrique compris entre 8% et 19% avec une moyenne de 13%. Ce résultat concorde parfaitement avec la réalité de 2019 où de fortes pluies ont été observées sur plusieurs jours et dans plusieurs régions de la Côte d'Ivoire, particulièrement dans la région des grands ponts.

### 4.3 Impacts hydrologiques

La période d'observation (1970-2019 à Dabou, 1971-2017 à Grand-Lahou et 1981-2014 à Agboville) dans la région de Grand-Ponts est marquée par une augmentation pluviométrique. Les régimes hydrologiques de l'Agneby ont également subi de profondes modifications au cours de la période 1979-2004 à la station hydrométrique de l'Agneby à Agboville. La hausse de la pluviométrie a eu pour effet une augmentation des apports d'eau qui alimentent les cours d'eau de la région. Cette augmentation est marquée par une rupture très significative identifiée en 1993 sur cette station. L'excédent d'écoulement est très important et est estimé à 44 %, soit environ le double du déficit pluviométrique enregistré à Grand-Lahou (19%). L'excédent d'écoulement est dû non seulement à la forte pluviométrie enregistrée mais également au drainage des cours d'eaux périphériques sur le bassin. La rupture hydrologique et les ruptures climatiques identifiées, établissent l'influence de l'augmentation de la pluviométrie sur les écoulements de surface dans le secteur d'étude. Ces résultats confirment ceux obtenus à partir des tests de rupture.

### 4.4 Impact des précipitations sur la recharge des aquifères

Le régime de la recharge de l'aquifère analysé à travers la lame d'eau infiltrée représente environ 8% de la moyenne interannuelle des précipitations enregistrées au cours de la période d'étude soit un volume d'eau moyen de 731 500 000m<sup>3</sup>. Ce résultat est justifié par la présence de l'argile dans les horizons profonds du sol. La recharge de la nappe se fait de façon locale. La lame d'eau infiltrée déterminée après la rupture climatique présente un déficit de 10% qui correspond à un volume de 13450m<sup>3</sup>. En effet, la région des grands ponts a connu durant ses dernières décennies une croissance démographique (la population de Dabou en 2010 était estimée à 82021 elle est passée à 88430 en 2014 [10], soit une augmentation de 8% en 4 ans). L'activité humaine marquée par la déforestation, les feux de brousse, l'utilisation abondante d'eau dans les plantations industrielles ; tout cela

peut affecter directement ou indirectement la recharge de l'aquifère. L'occupation du sol a pour conséquence la réduction des aires d'infiltration. Par contre, la lame d'eau ruisselée présente une moyenne interannuelle de 287,46mm soit un volume d'eau de 1 581 030 000m<sup>3</sup>. La moyenne avant rupture qui était de 256,68mm est passée à 336,05mm, soit un excédent de 31% avec un volume d'eau de 436 535 000m<sup>3</sup>.

L'occupation du sol est donc le moteur du ruissellement. La valeur d'infiltration calculée par la méthode de Turc est de 132,91mm soit 8 % des précipitations, elle est inférieure à celles calculées [11], qui est de 234 mm à Adiaké et à Alépé, mais pour des chroniques différentes (1980-1999). La valeur de l'infiltration est sensiblement égale à celle déterminée par les auteurs [12], soit 135 mm à Alépé pour la chronique (1961-2000). Les valeurs d'infiltration obtenues dans la présente étude sont cependant inférieures à celles obtenues [13], à Abidjan qui était de 411 mm sur la chronique (1972-1994) et celle obtenue [14], est de 375 mm sur la chronique (1987-1998) à Man. Pour ces auteurs, la diminution de la lame d'eau infiltrée est en partie liée à la baisse des pluies. Cependant, l'infiltration n'est pas toujours tributaire de la pluviométrie ; car, il existe d'autres facteurs comme la "taille" de la chronique considérée, l'ETP qui accentue les pertes d'eau par évaporation, les espèces végétales en place, aussi la nature des terrains traversés et surtout l'occupation du sol.

## 5. CONCLUSION

L'étude hydroclimatique de la région des Grands-ponts s'inscrit dans le vaste contexte de variabilité climatique qu'avait connu l'Afrique de l'Ouest au cours des décennies 1970 à 1990. Ainsi, l'analyse des précipitations montre une fluctuation de régimes pluviométrique et hydrologique avec une première tendance de baisse intervenue au cours des années 1980 et une seconde tendance de hausse à partir de 1993. Durant la période d'observation, une année particulièrement sèche apparaît dans les différentes stations. Il s'agit de l'année 1983. La fluctuation des régimes est marquée par une alternance de périodes sèches, humides et normales. Les méthodes statistiques soulignent des ruptures qui marquent une modification du régime pluviométrique et hydrologique entre 1993 et 2000. Ces ruptures s'accompagnent d'une hausse des précipitations allant de 8% à 19% avec des débits d'environ 45%.

L'analyse de la variabilité intra-saisonnière montre que la variabilité pluviométrique se manifeste par une modification importante de la pluviométrie mensuelle au cours des différentes périodes. De cette modification apparaît des mois pluvieux dont le maximum est en juin et des mois secs en janvier. L'excédent d'écoulement à la station de l'Agneby à Agboville montre ainsi la répercussion de la pluviométrie sur les écoulements. L'impact de la hausse pluviométrique sur la disponibilité des ressources en eau se traduit par une diminution des coefficients de tarissement et une augmentation du volume d'eau mobilisé par les aquifères après l'année 1993.

Au niveau de la recharge des eaux de surface, l'impact de la hausse pluviométrique se manifeste par une hausse de 31% du ruissellement moyen qui est passé de 256,68 mm au cours de la période 1971-2000 à 336,05mm de 2001 à 2019. Quant à la recharge des nappes souterraines par l'infiltration efficace, elle est en baisse depuis la rupture climatique de 2000. Il ressort de tout ce qui précède que sur les quarante-neuf (48) années qui constituent la période d'analyse, les réserves souterraines ont été fortement sollicitées au cours de vingt (20) dernières années. On constate une tendance de baisse de la pluviométrie de l'année 1979 à 1993 dans la station de Dabou, mais, ce déficit a été conséquemment compensé par la recharge exceptionnelle de 2009 à 2019. Bien que les moyennes de précipitation avant rupture soient de 1657,83mm à 1803,79 après rupture, la lame d'eau infiltrée est en baisse depuis la rupture avec un déficit de 10%.

La région étant essentiellement agricole, et dépendante des pluies, une adaptation des cultivateurs aux changements climatiques est requise. Toutefois, cette action pourrait atteindre ses objectifs que si les autorités administratives s'impliquent effectivement en mettant en place des programmes de formation, de suivi des acteurs de l'agriculture sur le terrain.

## REFERENCES

- [1]. Ahoussi K. E.; 2008. 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 Unique de l'Université de Cocody (Abidjan), Côte d'Ivoire, 270p.
- [2] Adja M, G ; Djémin E, J ; N'Dri O F-A ; 2019. Apport de l'Analyse Hydrologique et de la Modélisation de la Relation Pluie-Débit dans le Suivi Quantitatif des Ressources en Eau dans un Contexte de Variabilité Climatique: Cas du SousBassin Versant du Kouto (Nord de la Côte d'Ivoire).
- [3] Aké G.E ; Kouadio H ; Dongo K ; Dibi B ; Kouamé FK & Biémi J ; 2010. Application des méthodes DRASTIC et SI pour l'étude de la vulnérabilité à la pollution par les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) de la nappe de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Int. J. Biol. Chem. Sci., 4(5) : 1675-1692

- [4] Ake G. E ; 2001. Evaluation des ressources en eau souterraine de la région de Bonoua. Mémoire de DEA des Sciences de la Terre. Université de Cocody, 72p.
- [5] Assani A. ; 1999. Analyse de la **variabilité** temporelle des précipitations (1916-1996) à Lubumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation océanique (El Niño/La Niña), Sécheresse, Vol.4, N°10, 245-252.
- [6] Lee A.F.S & Heghinian S. M; 1977. A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables: A Bayesian approach. *Technometrics*, vol. 19, n° 4, p. 503-506.
- [7] Biemi J ; 1992. Contribution à l'étude géologique, hydrologique et par télédétection des bassins versants subsaharien du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 480p.
- [8] Brou Y. T., Servat E. & Paturel J-E ; 1998. Contribution à l'analyse des interrelations entre activités humaines et variabilité climatique : cas du Sud forestier ivoirien. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, Sciences de la terre et des Planètes, Elsevier, n°327, pp. 833-838.
- [9] Brou Y. T; 1997. Analyse et dynamique de la pluviométrie dans le sud forestier ivoirien : recherche de corrélations entre les variables climatiques et les variables liées aux activités anthropiques. Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université de Cocody, 211p.
- [10] Goula B. T. A., Savane I., Konan B., Fadika V. & Kouadio G. B ; 2006. Etude comparative de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau des bassins du N'zo et du N'zi (Côte d'Ivoire), Sém. Int., 23-24 Nov. 2005, pp. 5-36.
- [11] Mahe G., Olivry J. C. & Servat E; 2005. Sensibilité des cours d'eau ouest-africains aux changements climatiques et environnementaux : extrêmes et paradoxes. IAHS Publication, n°296, pp. 169-177.
- [12] Kouassi A.M ; 2007. Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 210p.
- [13] Rgph ; 2014. Recensement Général de la population en Côte d'Ivoire.
- [14] Saley B.M. 2003 "Système d'Information Hydrogéologique à Référence Spatiale, discontinuités, pseudo-images et cartographie thématique 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.