



RECENTES VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES PARAMETRES PLUVIOMETRIQUES ET LEURS IMPACTS SUR LES ÉCOULEMENTS DU FLEUVE MARAHOUE (COTE D'IVOIRE).

RECENT VARIATIONS IN SPACE-TIME OF RAINFALL SETTINGS AND THEIR IMPACT ON FLOW RIVER MARAHOUE (IVORY COAST).

IRIE G .R , SORO G. E., GOULA BI T.A.*

Laboratoire Géosciences et Environnement
Université Nangui Abrogoua
02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

**iguyrichard@gmail.com*

RESUME

Le but de cette étude est d'analyser l'évolution de la pluviométrie notamment après l'année 2000 et ses incidences sur les écoulements sur le bassin versant de la Marahoué. Pour ce faire, des approches statistiques ont été mise en œuvre sur des séries de données pluviométriques et hydrométriques sur la période 1970-2008. Sur la période 1970-2000, les analyses statistiques montrent une alternance de période humide (1970-1980) et sèche (1981-2000). La période sèche a été marquée par un déficit pluviométrique de l'ordre de 15% à 37% selon les zones du bassin versant. Il a été également observé un retour à une phase humide sur la période 2001-2008 sur le bassin. La période de déficit pluviométrique qu'a enregistré le bassin a eu une incidence notable sur les écoulements avec des baisses de l'ordre de 50% aux stations hydrométriques de Zuénoula et Bouaflé. Cependant, à partir de 2001, l'écoulement sur le bassin devient excédentaire avec la reprise pluviométrique mettant ainsi en exergue l'influence notable de la variation pluviométrique sur les débits du fleuve Marahoué et ses affluents.

Mots-clés : Variabilité climatique, Pluviométrie, Ecoulement, bassin versant de la Marahoué,

ABSTRACT

The aim of this study is to analyze the evolution of rainfall especially after 2000 and its impact on runoff in the watershed Marahoué. In this perspective, statistical approaches have been implemented over a series of rainfall and flow data on the period from 1970 to 2008. Over the period 1970-2000, statistical analyzes show an alternation of wet period (1970-1980) and dry (1981-2000). The dry period is shown by a rainfall deficit of 15% to 37%. It was also observed a return to wet period of 2001-2008 in the basin. The rainfall deficit period that recorded the basin has had a significant impact on flows with declines of around 50% in the hydrometric stations. However, since 2001, there has been higher than normal flows in the basin after the rainfall recovery. This highlights the significant influence of rainfall variation on the flow rates of Marahoué River.

Keywords: Climate Variability, rainfall, flow, watershed Marahoué,

INTRODUCTION

La variabilité climatique dont les causes sont difficiles à cerner, peut se manifester par de longues périodes de sécheresse avec pour conséquences des effets négatifs sur le cycle hydrologique, l'environnement et les activités socio-économiques. Une tendance à la baisse de la pluviométrie a été observée en Afrique de l'ouest à partir de la fin des années 60 et au début des années 70 jusqu'au début de la décennie 90 (Bricquet *et al.*, 1997 ; Servat *et al.*, 1999). En Côte d'Ivoire, des travaux (2005 ; Bigot *et al.*, 2005 ; Goula *et al.*, 2006 ; Savané *et al.*, 2001), ont montré qu'une tendance à la sécheresse s'est manifestée à partir de la fin de la décennie 1960. Un des enjeux majeurs des recherches sur un phénomène complexe comme la variabilité climatique est de quantifier son impact sur les écoulements, qui peut différer d'une région à une autre. En outre, l'apparition de quelques années humides à la fin après l'année 2000 amène à s'interroger sur la fin de la période sèche qui dure depuis le début des années 1970. Des auteurs ont tenté d'apporter des réponses à ces incertitudes en rattachant la décennie 2000 aux décennies sèches antérieures (L'Hôte *et al.*, 2002 ; Mahé *et al.*, 2004). Mais leurs études sont beaucoup plus limitées à la région sahélienne et ne permettent donc pas de confirmer ou d'infirmer, dans les régions tropicales, l'idée d'un retour à des conditions climatiques plus humides, comparables à la situation des années 1950 et 1960. C'est dans un tel contexte que cette étude a été initiée en Côte d'Ivoire sur le

bassin versant de la Marahoué, à cheval en entre le régime tropical au nord et équatorial au sud.

L'objectif de cette étude est d'analyser les réactions du bassin versant de la Marahoué face aux récentes variations des précipitations en Côte d'Ivoire. La méthodologie a consisté à l'aide d'approche graphique et statistique d'analyser la variabilité interannuelle des précipitations sur la période 1970-2008 et ses ponctuelles incidences sur les écoulements de surface au niveau du bassin versant de la Marahoué.

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La Marahoué (ou Bandama Rouge) prend sa source au Sud-Ouest de la ville de Boundiali. Le bassin versant du fleuve Marahoué est un sous bassin du bassin versant du fleuve Bandama qui a une superficie de 97 000 km², soit environ 30% de la superficie de la Côte d'Ivoire (Avenard, 1971). La superficie du bassin de la Marahoué est de 24 300 km². La longueur du cours d'eau principal est de 550 km. Le cours d'eau principal, la Marahoué est encadré par deux affluents : le Béré à l'Est et le Yani ou Bahoroni à l'Ouest, il se jette dans le Bandama blanc à l'endroit où se trouve le village de Bozi, peu après la ville de Bouaflé.

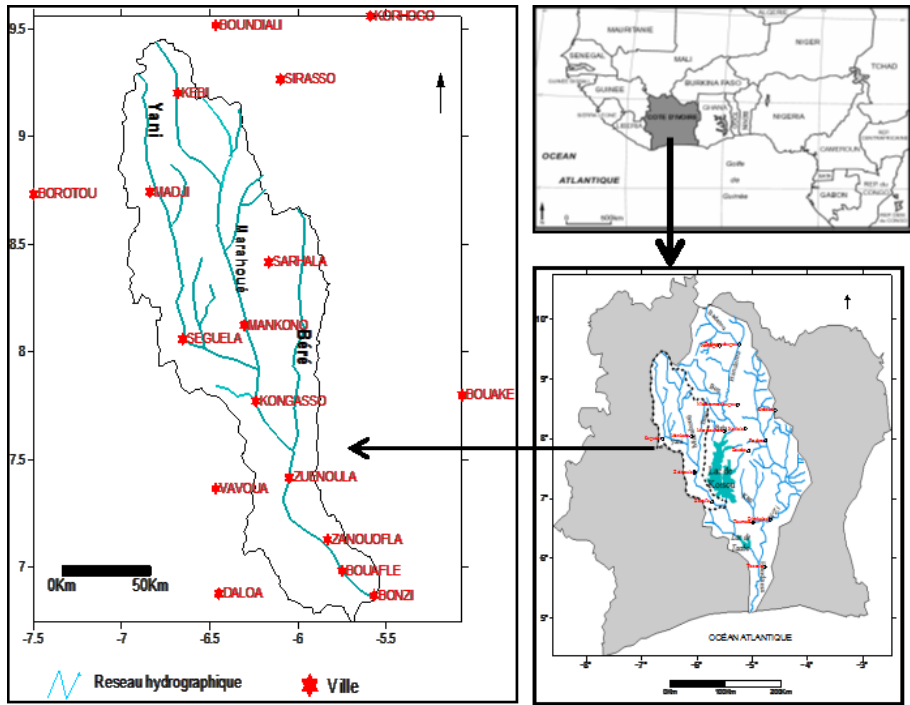


Figure 1 : Situation géographique du bassin versant de la Marahoué

DONNEES HYDRO-CLIMATOLOGIQUES

Les données climatiques utilisées proviennent de la Société de Développement et d'Exploitation Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique notamment de la Direction Météorologie Nationale. Les stations utilisées pour cette étude sont présentées dans le tableau 1. Les séries pluviométriques des postes étudiés sont complète à 92%. Le comblement des données manquantes a été faite par la méthode de double cumul avant leur utilisation.

Quant aux données hydrométriques, elles ont été obtenues auprès de la Sous-Direction de l'hydrologie, structure sous tutelle de la Direction de l'Hydraulique Humaine (DHH). Le choix de ces deux stations est basé sur la longueur des séries et le pourcentage d'années complètes. 11% des modules annuels de Bouaflé et 30% de ceux de Zuénoula ont dû être reconstitués pour

homogénéiser la durée d'étude sur la période 1967-2008. Des régressions linéaires entre les débits des stations ont permis ces comblements.

Tableau 1 : Stations pluviométriques et hydrométriques utilisées

| Station | Type de station | Période d'étude | Taux de lacunes |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Borotou | pluviométriques | 1970-2008 | 8% |
| Boundiali | pluviométriques | 1970-2008 | 8% |
| Sarhala | pluviométriques | 1970-2008 | 8% |
| Sirasso | pluviométriques | 1970-2008 | 8% |
| Vavoua | pluviométriques | 1970-2008 | 8% |
| Zuénoula | pluviométriques | 1970-2008 | 8% |
| Bouaflé | pluviométriques | 1970-2008 | 8% |
| Zuénoula | hydrométrique | 1967-2008 | 11% |
| Bouaflé | hydrométrique | 1967-2008 | 30 % |

METHODOLOGIE

Evolution interannuelle des paramètres hydro-climatiques

Méthode des indices de Nicholson (1980)

La méthode des indices de Nicholson (1980) permet de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires au sein d'une série chronologique. Pour chacun des postes pluviométriques et hydrométriques retenus, un indice annuel de la variable a été déterminé. Il se définit comme une variable centrée réduite exprimée par l'équation suivante :

$$I = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (1)$$

Avec :

I_i : Indice annuelle de la variable pluviométrique ou hydrométrique ;

x_i : Module annuel de la variable de l'année i ;

\bar{x} : Moyenne interannuelle de la variable sur la période d'étude ;

σ : Ecart type de la série pluviométrique sur la période d'étude.

Filtre non récursif passe bas de Hanning d'ordre 2

La méthode filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2, appelée aussi moyenne mobile pondérée, permet d'éliminer les variations saisonnières dans une série chronologique. Le calcul des totaux pluviométriques ou hydrométriques pondérés est effectué au moyen des équations présentées par Assani (1999) dont le principal est :

$$X_{(t)} = 0,06X_{(t-2)} + 0,25X_{(t-1)} + 0,38X_{(t)} + 0,25X_{(t+1)} + 0,06X_{(t+2)} \quad (2)$$

Pour $3 \leq t \leq (n - 2)$

Où $X(t)$ est le total pluviométrique ou hydrométrique pondéré du terme t , $X(t-2)$ et $X(t-1)$ sont les totaux pluviométriques observés de deux termes qui précèdent immédiatement le terme t , et $X(t+2)$ et $X(t+1)$ sont les totaux pluviométriques ou hydrométriques observés de deux termes qui suivent immédiatement le terme t . Les valeurs pluviométriques pondérées sont ensuite centrées et réduites pour mieux visualiser les périodes d'excédent et de déficit pluviométriques ou hydrométriques.

Test de Pettitt (1979)

Le test de rupture vient en appoint aux indices standards car l'existence de modification brutale dans les séries chronologiques est une cause possible de la rupture de l'homogénéité de ces séries (Kouakou et al., 2007). Le test de Pettitt a été retenu dans cette étude. C'est un test non-paramétrique qui dérive de la formulation du test de Mann-Whitney. Il a été utilisé dans de nombreux travaux (Servat et al., 1998 ; Paturol et al., 1998 ; Lubès-Niel et al., 1998).

Détermination des déficits pluviométriques

Cette méthode consiste à déterminer le pourcentage de variations de la moyenne de la série considérée (pluie, débit,...) d'une sous-période T_i autour de la période T considérée (Mahé et Olivry, 1995). Pour de la variable pluviométrique dont la série chronologique présente une rupture, cette méthode

précise le pourcentage de variation de la moyenne autour de la date de rupture en appliquant la formule suivante :

$$D = \frac{\bar{x}_j}{\bar{x}_i} - 1 \quad (3)$$

Où :

\bar{x}_j : Moyenne de la période après la rupture ;

\bar{x}_i : Moyenne de la période avant la rupture ;

Si $D \geq 0$ alors il y a un excédent pluviométrique ou de débit de la période après la rupture par rapport à celle avant la rupture ;

Si $D < 0$ on parle de déficit pluviométrique ou de débit de la période après la rupture par rapport à celle avant rupture.

Interpolation et cartographie

La méthode d'interpolation du krigeage a été appliquée aux valeurs de déficits ou d'excédents pluviométriques et aux valeurs d'indices pluviométriques. Elle a donc permis spatialiser les paramètres hydro-climatiques.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Variabilité interannuelles des pluies

Analyse temporelle des pluies

Régime tropical de transition (zone nord)

La figure 2 permet de dégager (3) trois périodes pluviométriques. Il s'agit de la période humide, de la période sèche et de la reprise de la pluviométrie. Globalement, avant 1975, la pluviométrie était excédentaire avec des indices positifs sur l'ensemble des stations de la zone nord du bassin versant. La période 1976-2000 a été caractérisé par une baisse pluviométrique entraînant un déficit important marqué par des indices négatifs. Cette période a été très longue comparativement à la période humide. Par ailleurs, on observe une reprise

pluviométrique à partir 2001 aux stations de Boundiali et Sirasso. Quant aux stations de Borotou et Sarhala, la reprise a commencé en 2003.

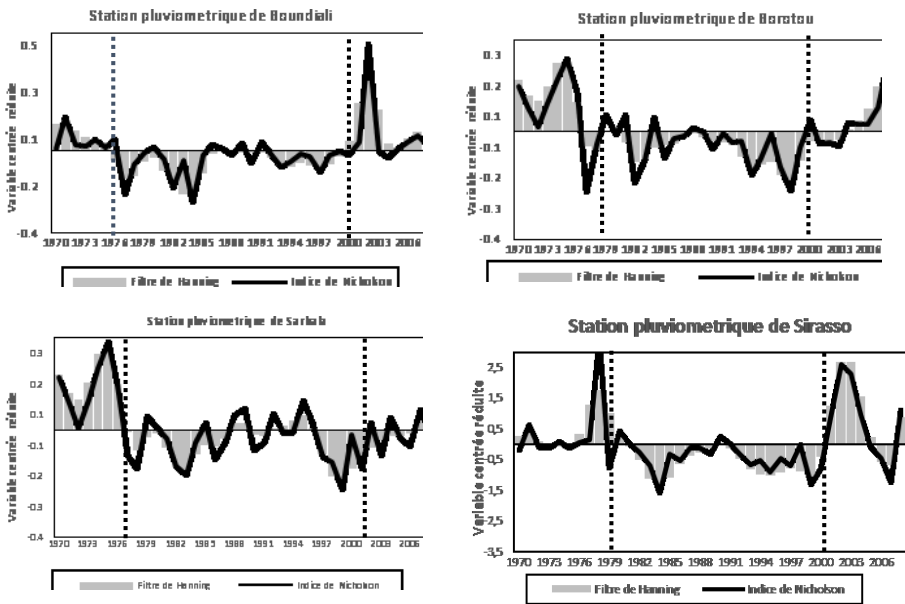


Figure 2 : Variabilité temporelle des précipitations en zone tropical de transition

Régime équatorial de transition atténué (zone sud)

Le climat équatorial de transition atténué présente, à quelques différences près, les mêmes caractéristiques que le climat soudanais. De 1970 à 1980, la période est caractérisée par des indices positifs aux stations de Zuénoula, Vavoua et Bouaflé (Figure 3). De 1981 à 2000, on observe des indices négatifs, indiquant le caractère déficitaire de cette période. Après la période déficitaire, on note une reprise de la pluviométrie au sud du bassin versant (figure 4).

Récentes variations spatio-temporelles des paramètres pluviométriques et leurs impacts sur les écoulements du fleuve Marahoue (Cote d'Ivoire)

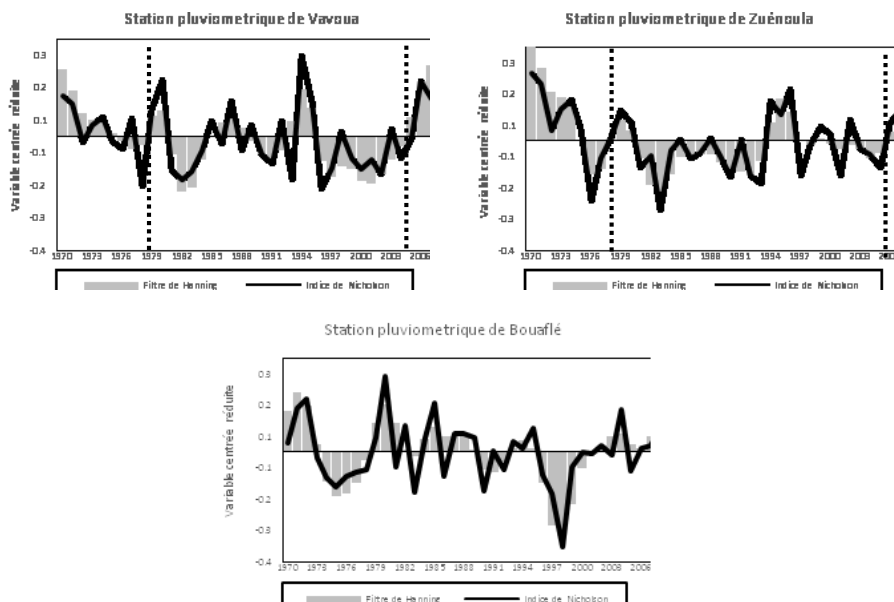


Figure 3 : Variabilité temporelle des précipitations en zone équatoriale de transition atténuée

Ruptures pluviométriques

Il apparaît que la majorité des ruptures sont concentrée sur la période 1972-1976 pour toutes les stations à l’exception de Sirasso où aucune rupture n’a été détectée (tableau 2). L’apparition des années de rupture dans les séries pluviométriques s’est faite de façon irrégulière sur l’ensemble du bassin versant indépendamment des zones climatiques.

Tableau 2 : Ruptures détectées dans les séries pluviométriques

| Zone climatique | Stations | Périodes | Date de la rupture |
|-----------------|-----------|------------|--------------------|
| Nord | Boundiali | 1970 -2008 | 1976 |
| | Sirasso | 1970 -2008 | pas de rupture |
| | Borotou | 1970 -2008 | 1976 |
| | Sarhala | 1970 -2008 | 1976 |
| Centre | Zuénoula | 1970 -2008 | 1974 |
| | Vavoua | 1953 -2008 | 1974 |
| | Bouaflé | 1950 -2008 | 1972 |

Analyse spatiale des pluies

Variabilité spatiale des pluies annuelles

L'analyse décennale de l'évolution spatio-temporelle de l'indice pluviométrique du bassin versant de la Marahoué de la période 1970-2008 (Figure 4). L'on constate que la décennie 1970-1979 est plus humide. À partir de la décennie 1980-1989, la sécheresse a fait son apparition sur le bassin versant, mais avec des intensités variables suivant les périodes. En effet, la pluviométrie est restée déficitaire sur la décennie suivante 1990-1999 avec toutefois une accentuation plus marquée sur la décennie 90. Enfin, l'on observe une période qui s'apparente à une période de reprise des précipitations sur la période 2000-2008. Du point de vue spatial, la sécheresse est bien marquée sur tout le bassin.

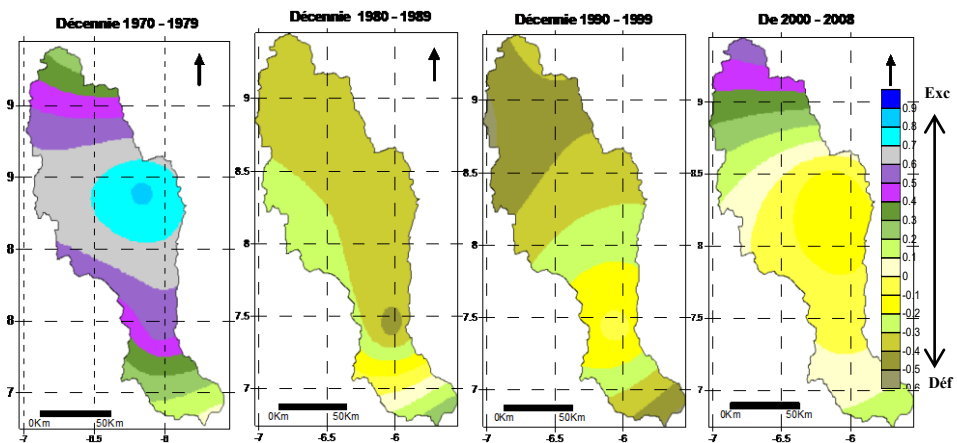


Figure 4 : Évolution spatio-temporelle par décennie des indices pluviométriques du bassin versant de la Marahoué

Variabilités spatiales des déficits pluviométriques

L'analyse spatiale de la distribution quantitative (excès ou déficit) de la pluviométrie est présentée dans la figure 5. Ainsi, la décennie 1970-1979 a été particulièrement déficitaire en pluie. En effet, ce déficit varie de 10% à 20% sur la quasi-totalité du bassin à l'exception de la partie Nord-est où le déficit se situe entre 0 et 10%. Au cours de la décennie 1980-1989, les précipitations ont continué à baisser. Le déficit sur la majeure partie du nord bassin versant atteint

les 40% puis décroît progressivement vers le sud du bassin entre 20% à 30% dans le centre et 10% à 20% au sud.

Par ailleurs, la décennie 1990-1999 est globalement déficitaire en précipitation. Le déficit remarqué sur la décennie présente s'est rependu sur la totalité du nord du bassin variant entre 30% à 40%. Elle s'est aussi accentuée dans le sud où le manque de pluie varie entre 20% à 30%. La décennie 2000-2008 a été moins déficitaire que les deux décennies précédentes. La pluviométrie est positive et varie entre 10% et 0% sur une peu petite partie dans l'extrême nord du bassin. Elle est ensuite négative sur le reste du bassin dans les proportions différentes entre 0% à 20% au nord, dans le centre 20% à 40% et 20% à 30% au sud.

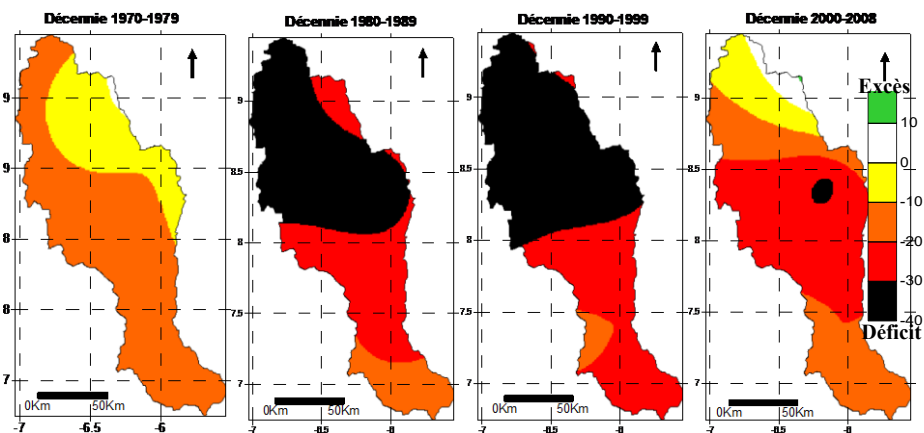


Figure 5 : Evolution décennale des déficits et excès pluviométriques sur le bassin versant de la Marahoué

Variabilité interannuelles des écoulements

Les stations de Zuénoula et Bouaflé ont été choisie pour suivre la variabilité hydrologique du bassin pour la longueur de sa série. L'évolution des indices centrés réduits doublée par le filtrage de Hanning permet de distinguer les périodes de fluctuations des modules annuels de débits suivantes (Figure 6) :

- une période excédentaire de 1967 à 1979 marquée par une abondance des écoulements indique une période humide ;

- une période déficitaire de 1980 à 2000 correspond à une période sèche marquée par une forte baisse des écoulements de la rivière avec des pics en 1991 et 1997 ;
- une période excédentaire de 2001-2008 annonce un retour de l’humidité à la fin de la période d’observation.

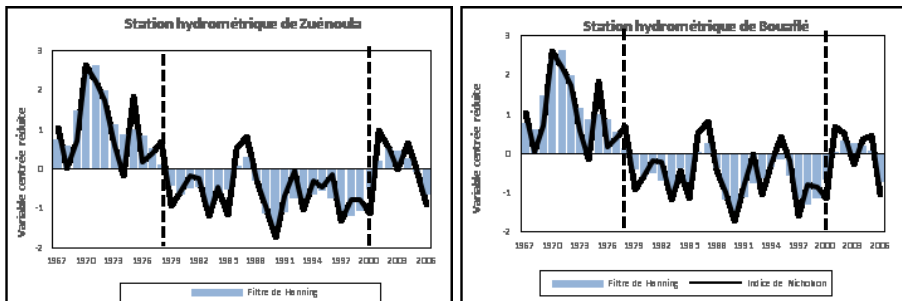


Figure 6 : Variation des modules annuels des débits de la Marahoué à Zuénoula et Bouaflé (1967-2008)

Le test de Pettitt a permis de mettre en évidence trois sous-séries homogènes dont deux phases hydrologiques humides et une phase hydrologique sèche. La deuxième phase hydrométrique humide est sans doute le résultat de la reprise des précipitations observées à partir 2002. Il est noté que l’année 1978 apparaît comme l’année de rupture pour les séries hydrologiques des deux stations. Cette rupture ainsi détectée dans les modules hydrologiques de la Marahoué, est la conséquence de la baisse générale des précipitations. Les écoulements de la Marahoué ont baissé de 50% (station de Zuénoula) à 51% (station de Bouaflé), conséquence direct du déficit pluviométrique (tableau 3).

Tableau 3 : Années de rupture intervenues dans les séries de débit et leurs incidences sur les écoulements

| Cours d'eau | Station | Module (m ³ /s) | | période | rupture | Variation après rupture |
|-------------|----------|----------------------------|---------------|-----------|---------|-------------------------|
| | | Avant rupture | Après rupture | | | |
| Marahoué | Zuénoula | 2704 | 1344 | 1967-2008 | 1978 | 50 % |
| Marahoué | Bouaflé | 2939 | 1443 | 1967-2008 | 1978 | 51% |

Sensibilité du régime hydrologique aux variations annuelles de la pluie

La sensibilité du régime hydrologique aux variations de la pluie a été mise en évidence par la relation de cause à effet entre les précipitations annuelles et les débits annuels à Bouaflé sur la période 1970-2008. Il a été confronté sur un même graphique, les variables centrées et réduites de la station pluviométrique de Bouaflé à celles des débits de Bouaflé sur la Marahoué. L'analyse montre que la courbe des débits annuels se superpose relativement bien à celle de la pluviométrie annuelle dans le bassin. En effet, avant 1978, les valeurs prises par les indices pluviométriques et des débits sont généralement positives ; ce qui permet de dire que cette période est humide. Après 1978, les valeurs des indices des deux paramètres sont quasiment négatives. Cette période 1978-2000 est dite sèche. Après 2000 la période redevient humide du au retour des pluies. Le régime du cours d'eau principal du bassin versant de la Marahoué suit donc la variabilité pluviométrique (figure 7).

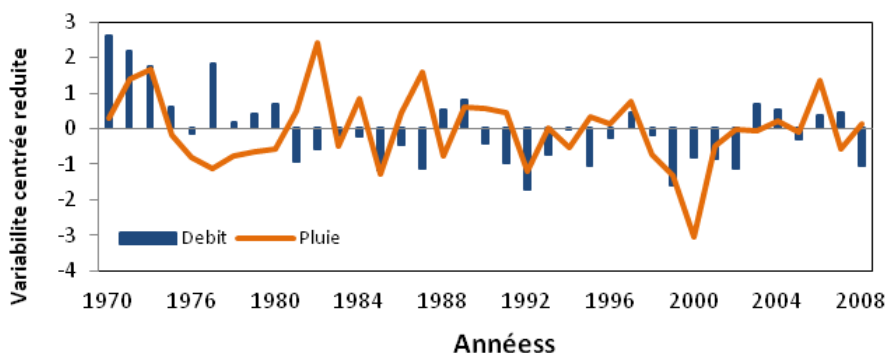


Figure 7 : Sensibilité hydrologique de la Marahoué aux variations annuelles de la pluie. : Cas de la station de Bouaflé (1970-2008)

Influences des variations saisonnières de la pluviométrie sur le régime hydrologique

L'évolution saisonnière des précipitations à Boundiali (nord) et Bouaflé (sud) en fonction des régimes hydrologiques du bassin de la Marahoué ont été examinées.

Il ressort de l'examen des graphes de la figure 8 que, Le régime pluviométrique de Boundiali dans le nord du bassin est différent de celui de Bouaflé dans le sud

du bassin. En effet, Le régime bimodal de la pluie à Boundiali c'est transformé à un régime pluviométrique unimodal à Bouaflé.

On remarque aussi que, dans le nord, le pic des hautes eaux à Bouaflé coïncident avec le mois le plus pluvieux de Boundiali. Dans sud du bassin le régime hydrologique est de même nature que ceux de la pluviométrie, c'est-à-dire que le régime unimodal des pluies donne naissance à un régime hydrologique unimodal. Cependant, le début de la montée des eaux intervient un mois après le mois le plus pluvieux.

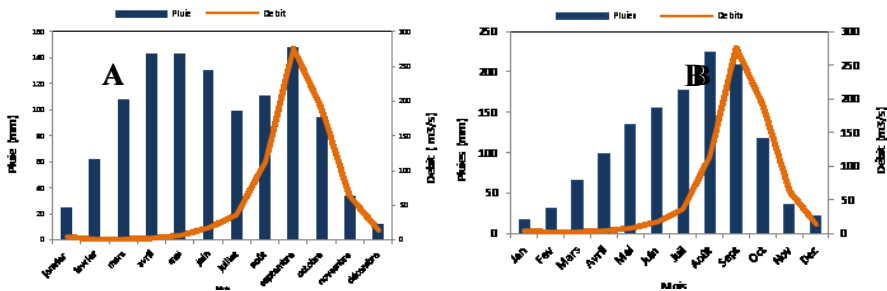


Figure 8 : Variations moyennes mensuelles des écoulements à Bouaflé en fonction de la pluviométrie à Boundiali A) et Bouaflé B), entre 1970-2008

DISCUSSION

L'analyse des variations de la pluie à l'aide d'approche graphique et statistique sur la période 1970-2008, fait apparaître une courte période humide (1970-1980) suivi une longue période sèche (1981-2000) qui se termine par une légère reprise de l'activité pluvieuse près l'année 2000. La période sèche observée a été marquée par un déficit pluviométrique important sur tout le bassin versant avec un pic en 1999. Il est noté également la mise en évidence une alternance de périodes humides et sèches comme déjà soulignée par les travaux de Kouassi (2007), Ardoin (2004), Ouedraogo (2001), Savané et al. (2001), Paturol et al. (1998) et Servat (1998). En outre, les déficits pluviométriques observés (15-37%), consécutifs à ces ruptures sont plus importants que ceux constatés à l'intérieur du pays sur les bassins du Sassandra, Bandama et Comoé de même ceux enregistrés en Afrique tropicale humide qui sont de l'ordre de 20-25% ou moins (Servat et al., 1999 ; Goula et al, 2006 ; Kouakou et al., 2007). Par ailleurs, les résultats de la présente étude montrent au niveau de la pluie, une

légère hausse de la pluviométrie à la fin de la décennie 2000. Ce même constat a été fait par Brou *et al.* (2005).

Les incidences des fluctuations pluviométriques sur les écoulements de surface ont été mises en exergue au cours de cette étude. En effet, les fluctuations interannuelles des modules aux stations de Zuénoula et Bouaflé de 1970 à 2008 sont également marquées par une alternance de période humide et sèche suit une légère hausse des écoulements après l'année 2000. Contrairement aux pluies les ruptures dans série hydrométriques sont apparues avec un peu retard en 1978 au deux stations. Cela s'explique par le fait que la réponse aux activités pluvieux n'est pas directe et la baisse de la pluviométrie c'est fait de manière hétérogène sur le bassin. Les déficits hydrologiques après les ruptures sont importants et sont compris entre 50% et 51% respectivement à Zuénoula et Bouaflé. Ces résultats concordent avec ceux d'E. SERVAT *et al.* (1997), d'A. O. AKA (1999), de M. OUÉDRAOGO (2001) et de B. S. ARDOIN (2004). Ces valeurs élevées de déficit hydrique sont dû à un effet amplificateur lié aux caractéristiques du bassin versant.

La similarité des ruptures identifiées au sein des séries chronologiques de pluies et de débits souligne la dépendance des écoulements sur le bassin versant à la variation des précipitations. Ces résultats sont en accord avec ceux des travaux de LUBÈS-NIEL *et al.*, (1998), de MAHÉ *et al.*, (1998), de SERVAT *et al.* (1998), de OUÉDRAOGO (2001), de ARDOIN (2004) et de MAHÉ *et al.*, (2005). Cependant, le déficit pluviométrique n'explique pas toujours la tendance décroissante des apports. En effet, au-delà d'une réponse annuelle immédiate de l'écoulement des cours d'eau imputable à une saison des pluies déficitaires, la durabilité du déficit hydrologique est plutôt liée à l'effet cumulé des longues années de sécheresse. Ces résultats obtenus sont en accord avec ceux des travaux d'OLIVRY *et al.*, (1998), de SERVAT *et al.*, (1998) et de MAHÉ *et al.*, (2002) et (2005). Le décalage qui existe entre les déficits pluviométriques et hydrométriques pourrait être lié à un déficit d'alimentation des cours d'eau par les nappes, aux mutations de la surface du bassin comme cela a été souligné par SERVAT *et al* et Aussi des averses ayant prévalu, des conditions lithologiques du bassin versant et de l'occupation des sols (RÉMÉNIÉRAS, 1976 ; SAIDI, 1995).

CONCLUSION

Une baisse de la pluie annuelle est notée dans le bassin versant de la Marahoué sur la période 1980-2000 avec des déficits de l'ordre de 15 à 37 %. Les analyses statistiques couplées avec des méthodes graphiques sont mis en évidence l'apparition de quelques années excédentaires à la fin de la décennie 2000 attestant ainsi de la hausse de la pluviométrie sur le bassin versant. Par ailleurs, l'écoulement du bassin versant de la Marahoué a répercuté ce contexte pluviométrique par une diminution générale des débits moyens annuels de 1970 à 2000 et une augmentation après 2000 sur les stations de Zuénoula et de Bouaflé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AKA A. O. (1999). Variabilité des écoulements et activités anthropiques. Cas du bassin du Bandama en Côte d'Ivoire. *Thèse de doctorat, Université de Montpellier II*, 243p.
- ARDOIN B. S. (2004). Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. *Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier II*, 440 p.
- AVENARD J.M. (1971). Aspect de la géomorphologie. in : "Le milieu naturel de Côte d'Ivoire", mém. ORSTOM, Paris, n° 50 : 1-72.
- BIGOT S., BROU T. Y., OSZWALD J., DIEDHIOU A., HOUDENOU C. (2005). Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. *Sécheresse*, 16 (1), pp.14 -21.
- BIGOT S., BROU Y. T., BONNARDOT V., SERVAT E. (2002). Interannual stability of rainfall patterns in the Ivory Coast over the period 1950-1996. *International Association of Hydrological Sciences*, 274, pp.507-514.
- BROU Y.T., SERVAT E., PATUREL J.E. (1998). Activités humaines et variabilité climatique : cas du Sud forestier ivoirien. IAHS Publication, n° 252, pp.365-373.
- FONTAINE B., JANICOT S., ROUCOU P. (1999). Coupled ocean-atmosphere surface variability and its climate impacts in the tropical Atlantic region, *Climate Dynamic* 15, pp 451-73.
- GOULA B. T. A., KOUASSI V. J., SAVANE I. (2006). Impacts du changement climatique sur les ressources en eau en zone tropicale humide : cas du Bandama en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 18 (1), pp.1-11.
- HUBERT P., CARBONNEL J. P., CHAUCHE A. (1989). Segmentation des séries hydrométriques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest. *Journal of hydrology*, 110, p. 349-367.

- HUBERT P., CARBONNEL J. P. (1987). Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest. *Journal Hydrologique*, 95, pp. 165-183.
- IPCC. (1995). Second Assessment-Climate change 1995. Summaries of the Policymaker of the Three Working Group report. *IPCC*, Geneva, Switzerland, 64p.
- JANICOT S., FONTAINE B. (1993). L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest. *La Météorologie*, 8 (1), pp.28-51.
- KOUADIO Y., OCHOU D. A., SERVAIN J. (2002). Atlantic influence on the rainfall variability in Côte d'Ivoire. *Geophysical Research Letters*, 30, pp.8005-801.
- MAHÉ G., PATUREL J.E., SERVAT E., CONWAY D., DEZETTER A. (2005). Impact of land use change on soil water holding capacity and river modelling of the Nakambe River in Burkina-Faso. *Journal of Hydrology*, 300, pp. 33-43.
- MAHÉ G., DRAY A., PATUREL J. E., CRES A., KONE F., MANGA M., CRES F. N., DJOUKAM J., MAIGA A., OUEDRAOGO M., SERVAT E. (2002). Climatic and anthropogenic impacts on the flow regime of the Nakambe River in Burkina Faso. *International Association of Hydrological Sciences*, 274, pp.69-76.
- MAHÉ G., DESSOUASSI R., BANDIA C., OLIVRY J. C. (1998). Comparaison des fluctuations interannuelles de piézométrie, précipitation et débit sur le bassin versant du Bani à Douana au Mali. *International Association of Hydrological Sciences*, 252, pp.289-295.
- MAHE G. ET OLIVRY J.C. (1995). Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'ouest et centrale de 1951 à 1989. *Sécheresse* 6(1), 109-17.
- OUEDRAOGO M. (2001). Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale. *Thèse de doctorat, Université de Montpellier II*, 257p.
- PATUREL J. E., SERVAT, E., DELATTRE M. O. (1998). Analyse des séries de longue durée en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. *Journal des sciences hydrologiques*, 43 (6), pp.937-946.
- PETTITT A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Statist.*, 28(2), pp. 126-135.
- SAIDI M. E. (1995). Contribution à l'hydrologie profonde et superficielle du bassin du Souss (Maroc) : Climatologie, hydrogéologie, crues et bilans hydrologiques en milieu sub-aride. *Thèse de Doctorat, Paris-Sorbonne, France*, 197p.
- SAVANE I., COULIBALY K. M. ET GIOAN P. (2001). Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région sémi-montagneuse de Man. *Sécheresse*, 12 (4), pp.231-237.
- REMENIERAS G. (1976). L'hydrologie de l'Ingénieur. *Eyrolles*, 2nd édition, 456p.

- SERVAT E., PATUREL J. E., KOUAME B., TRAVAGLIO M., OUEDRAOGO M., BOYER J. F., LUBES-NIEL H., FRITSCH J. M., MASSON J. M. ET MARIEU B. (1998). Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et centrale. *IAHS Publication*, n°252, pp. 323-337.
- SULTAN B., SERVAT E., MALEY J., MAHE G. (2001). Interrelation entre les forêts tropicales et la variabilité climatique : une synthèse des études récentes. *Sécheresse*, 12 (4), pp.221-229.
- TYSON P. D., DYER T. G. J, MAMETSE M. N. (1975). Security changes in South African rainfall: 1880 to 1972. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 101, p.817-833.