

# INFLUENCE DE LA VARIABILITÉ HYDRO CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES EN EAU DANS LE BASSIN DU MÔ AU CENTRE-OUEST DU TOGO

Pessièzoum ADJOUSI  
Université de Lomé (Togo)

*Email : [adjoussi@hotmail.com](mailto:adjoussi@hotmail.com)/ [padjoussi@univ-lome.tg](mailto:padjoussi@univ-lome.tg)*

Dametoti YAMOULA  
Université de Lomé (Togo)

**Résumé :** Le but poursuivi par cette étude est d'analyser l'influence de la variabilité hydro-climatique sur les ressources en eau dans le bassin du Mô au centre-Ouest du Togo. Les chronologiques de températures, de précipitations, d'évapotranspiration, et d'humidité de 1961 à 2019 ont été utilisées, de même que les données de débits. Les méthodes utilisées sont basées sur les formules mathématiques et différents traitements statistiques notamment les tests de ruptures de PETTITT, de BUIHAND, la Segmentation de HUBERT, l'indice centré réduit de NICHOLSON et de LAMB, et la formule simplifiée des différents tests statistiques utilisée à la DGMN. L'analyse des paramètres hydro-climatique montre que les températures ont augmenté en moyenne de 0,8°C. Cette augmentation a été plus prononcée sur les valeurs minimales (1°C et 1,1°C) que sur les valeurs maximales (0,6°C à 0,7°C) respectivement à Sokodé et Sotouboua. Quant à la pluviométrie, malgré l'augmentation de 342,5 mm soit 26,8% à Fazao et 32,5 mm soit 2,8% à Sotouboua, constatée après la décennie 1980, la tendance est globalement à la baisse. Les débits d'écoulement des rivières ont varié parallèlement à la pluviométrie. Le débit moyen annuel de la rivière principale est passé de 20 m<sup>3</sup>/s à 14,9 m<sup>3</sup>/s alors que le débit maxi annuel est passé de 80 m<sup>3</sup>/s à 74,1m<sup>3</sup>/s entre les décennies 1980 et 1990. Les résultats de l'analyse du bilan hydro-climatique montrent une réduction annuelle de la période d'abondance en eau de quatre à trois mois et confirme cette baisse des écoulements. Dans l'ensemble les températures et l'évapotranspiration sont caractérisées par une tendance à la hausse alors que les précipitations et les écoulements ont connu une baisse sensible. Ce qui a des conséquences sur les ressources en eau disponible notamment la vidange rapide des nappes souterraines, le tarissement précoce des cours d'eau accentués par les effets de la nature du substratum géologique.

**Mots-clés :** Variabilité hydro-climatique, Bassin du Mô, Bilan hydro-climatique, Hydrologie.

**Abstract:** The aim of this study is to analyze the influence of hydro-climatic variability on the water resources of the Mô basin in central-western Togo. Temperatures, desires, evapotranspiration, and humidity timelines from 1961 to 2019 were used, along with flow data. The methods used are based on the mathematical formulas and various statistical treatments, in particular the rupture tests of PETTITT, of BUIHAND, the segmentation of HUBERT, the reduced centered index of NICHOLSON and of LAMB, and the simplified formula of the various statistical tests used. at the DGMN. The analysis of the hydroclimatic parameters shows that the temperatures increased on average by 0.8 ° C. This increase was more pronounced on the minimum values (1 ° C and 1.1 ° C) than on the maximum values (0.6 ° C). C at 0.7 ° C) respectively in Sokodé and Sotouboua. As for precipitation, despite the increase of 342.5 mm or 26.8% in Fazao and 32.5 mm or 2.8% in Sotouboua, observed after the 1980s, the trend is generally downward. River flows have varied in parallel with precipitation. The average annual flow of the main river has increased from 20 m<sup>3</sup> / s to 14.9 m<sup>3</sup> / s while the maximum annual flow has increased from 80 m<sup>3</sup> / s to 74.1 m<sup>3</sup> / s between the 1980s and the 1990s. hydro-climatic balance, an annual reduction in the period of abundance of water from four to three months and confirms this decrease in flows. Overall, temperatures and evapotranspiration are characterized by an increasing trend, while requirements and flows have decreased considerably. This has consequences on the available water resources, in particular the rapid emptying of underground water, the early drying up of rivers, accentuated by the effects of the nature of the geological substrate.

**Keywords:** Hydro-climatic variability, Mô basin, Hydro-climatic balance, Hydrology.

## Introduction

La variabilité hydro-climatique observée au cours de ces dernières années n'épargne aucun pays au monde. En Afrique, cette variabilité hydro-climatique qui sévit depuis les années 1970, s'est traduite par des inondations, des sècheresses et des vagues de chaleurs

qui conduisent à des pénuries d'eau. Face à cette situation d'importantes études ont été menées en Afrique de l'Ouest et Centrale notamment au Sénégal, en Côte d'Ivoire, au Burkina Faso, au Bénin et au Cameroun. La variabilité climatique a été mise en évidence par plusieurs travaux de recherche notamment ceux de KOUMASSI D. H., (2014 p. 154) ; AHOUSSE K. E. et al. (2013 p. 30-50), LEINO G., (2007, p. 1-486) et ARDOIN-BARDIN S., (2004, p. 8). Ces travaux ont montré l'impact de la variabilité climatique en général et de la variabilité pluviométrique en particulier sur les ressources en eau, les écosystèmes et sur l'environnement.

Certains auteurs comme FOSSOU R. M. N. et al. (2014, p. 125), AHOUSSE K. E. et al., (2013, p. 38), AMOUSSOU E., (2010, p. 9), HOUEDAKOR K. Z., (2010, p. 10-25), VISSIN E., (2007, p. 25) ; ont trouvé que la variabilité hydro-climatique en Afrique de l'Ouest et Centrale, a des implications directes ou indirectes sur les ressources en eau qui touchent particulièrement de nombreux secteurs d'activités en passant par l'agriculture, le plus grand consommateur en eau, l'élevage, la pêche, le transport, le commerce, l'hydraulique et l'industrie. Ainsi, les précipitations qui constituent la fonction d'entrée principale des cours d'eau et des nappes d'eau souterraine se raréfient, suivies d'une dégradation de leur qualité physico-chimique.

Selon les experts du GIEC en 2008, p. 10-45, les sociétés africaines, spécifiquement celles de l'Afrique occidentale présentent une sensibilité accrue aux situations extrêmes (inondations, sécheresses et pénurie d'eau) en raison de la fragilité de leur structure économique, et de leur tissu social et démographique. Ces phénomènes extrêmes entraînent fréquemment une paralysie économique, des situations graves de famines et de pertes en vie humaine voir un déplacement massif des populations (FOSSOU R. M. N. et al., 2014, p. 145, ARDOIN-BARDIN S., 2004, p. 115). Les conséquences du changement et de la variabilité climatique sur les économies des pays africains sont donc indéniables ; ce continent étant le plus vulnérable (GIEC, 2008, p. 108-155 ; FAO, 2012, p 40-56). Pour les experts du GIEC (2008, p. 35-89), les événements climatiques extrêmes devraient probablement devenir plus fréquents avec le réchauffement climatique. Ces événements ont un impact négatif sur les agrosystèmes (l'agriculture, l'élevage), les écosystèmes naturels (les ressources naturelles) qui sont des secteurs sur lesquels reposent l'essentiel des économies nationales ouest-africaines et surtout sur les ressources en eau qui conditionnent tous les secteurs d'activités humaines.

Au Togo, à l'instar des autres pays de la sous-région, la variabilité pluviométrique au cours de ces dernières décennies ajoutées à la pression démographique, rend un accès difficile aux ressources en eau. Une analyse de la variabilité pluviométrique en Afrique de l'Ouest et spécifiquement au Togo par ADJOUSSE P., (2000, p. 1-120) et ISSAOU L., (2014, p. 1-264) dans le Togo méridional, a bien montré, une tendance à la baisse pluviométrique et à la sécheresse ces dernières années, avec une fréquence apparente de périodes sèches au niveau des régimes hydrologiques des différents bassins versants (AMOUSSOU E., 2010 p. 5 ; HOUEDAKOR K. Z., 2010, p. 12-25). Ceci se traduit par la pénurie d'eau dans presque toutes les régions notamment celles situées sur le socle birimien : ruptures d'eau dans les zones urbaines de la ville de Kara et de Sokodé à l'intérieur du pays ; tarissement des cours d'eau (rivières Kara, Mò).

Dans le bassin versant du Mò à l'instar des autres bassins de la Sous-région et du Togo, plusieurs événements extrêmes liés à la variabilité hydro-climatique, notamment l'augmentation des températures extrêmes (mini et maxi), les pluies intenses et crues exceptionnelles, mais aussi les sécheresses, les étiages, les tarissements rapides des rivières, vidange progressive des nappes entraînant des pénuries d'eau ont été enregistrés. Ces événements génèrent d'importants impacts sur les activités humaines, notamment sur l'agriculture, principale source de revenus des populations du bassin. Ces perturbations auront tendance à devenir intenses et plus fréquents dans l'avenir, (GIEC, 2008, p. 45-55).

Compte tenu de nombreuses conséquences que les modifications pluviométriques et hydrologiques pourraient engendrer sur la disponibilité des ressources en eau, il convient de répondre à la question fondamentale suivante : En quoi la variabilité hydro-climatique peut-elle influencer la disponibilité des ressources en eau et la dynamique hydrologique du bassin versant du Mò ? Ainsi, la présente étude sur le bassin du Mò a pour principal objet d'évaluer l'incidence de la variabilité hydro-climatique sur les processus et les régimes hydrologiques, ainsi que sur la disponibilité des ressources en eau.

Le bassin du Mò est un sous bassin du grand complexe de la Volta situé en Afrique de l'Ouest. Il est situé au Centre-Ouest du Togo à cheval entre les régions de la Kara et la Centrale, et représente la zone de transition entre le bassin de la Volta et la Chaîne des Dahomeyides. Il est limité à l'Ouest par le bassin de la Volta qui s'ouvre grandement

sur le territoire ghanéen, à l'est par les monts Togo qui l'isole de la plaine orientale drainée par le Mono et ses affluents. Au nord et nord-est par les sous bassins de l'Oti-Sud et de la Kara ; et au Sud et sud-est par le sous bassin des Rivières du Sud et les Monts Fazao.

La plupart des cours d'eau prennent leur source sur la chaîne des Monts Togo, laquelle influence sur leur régime hydrologique. Dans la région du bassin du Mô, les cours d'eau présentent un régime saisonnier. En saison sèche, ils subsistent par des mares de stagnation d'eau. La rivière Mô considérée autrefois comme un cours d'eau pérenne (ORSTOM 1961, p. 12-21), a perdu cette considération au cours de ces dernières décennies. Elle prend sa source sur le versant sud-est du massif d'Alédjo (monts Alédjo-Kadara) et traverse la chaîne des monts Togo au Nord du Fazao. Les principaux affluents du Mô sont : Katcha, Kamassi, Bouale, Sako. Le régime de drainage est de type tropical, lié au régime pluvial.

Les figures 1 et 2 représentent le réseau hydrographique dont la rivière Mô est le principal cours d'eau. Le Mô présente une seule pointe de crue annuelle qui s'observe en août-septembre. Celle des étiages se situe en saison sèche (janvier-février).

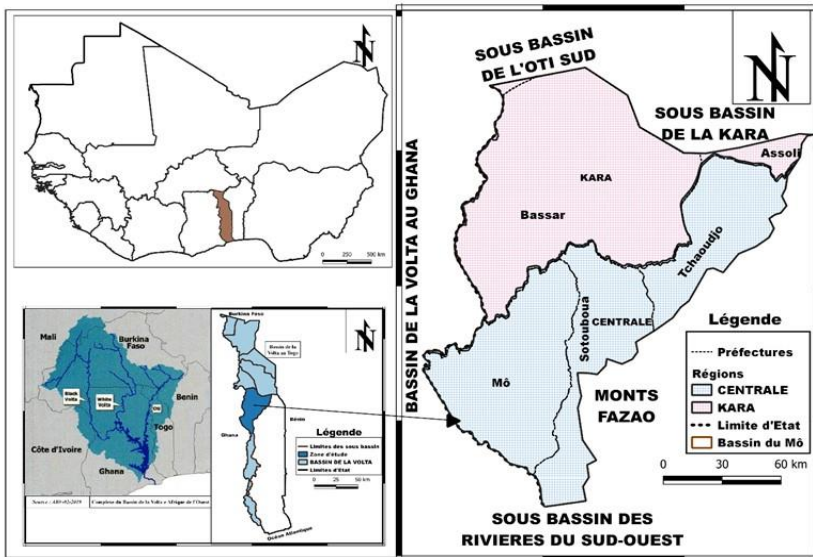


Figure 1 : Présentation du bassin versant du Mô

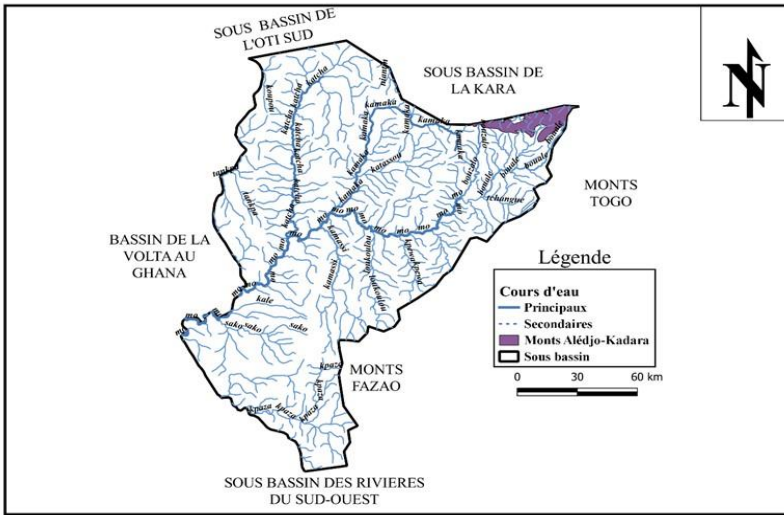


Figure 2 : Réseau hydrographique du bassin du Mò

De sa source à son exutoire dans la Volta au Ghana, la rivière, figure 2, s'étend sur une longueur de 160 km, avec un débit moyen de  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  et un débit maximal de plus de  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ . Avec la variabilité climatique actuelle, ces débits sont passés à un déclin concomitant et fortement prononcé à une baisse moyenne. Jusqu'en 1961 aucune station de contrôle n'a encore été installée sur le Mò. Deux stations situées sur le Kama et le Bouale (affluents du Mò) permettaient le contrôle des débits depuis 1959 (ORSTOM, 1961, p. 1-164).

## 1. Matériel et Méthode

### 1.1. Matériels d'étude

#### 1.1.1. Matériel de terrain

Le matériel utilisé sur le terrain rassemble les outils tels que la carte topographique version numérique des feuilles de Bassar, Sokodé, Sotouboua et Djarkpanga ; un GPS et un appareil photo numérique.

#### 1.1.2. Les travaux de terrain

La technique de collecte des données de terrain nécessaires pour le présent travail s'est organisée autour des observations directes sur le terrain et de la collecte des informations par enquête auprès des services compétents travaillant dans le domaine de l'eau dans le bassin (réseau d'adduction en eau potable).

### 1.2. Les méthodes

Pour réaliser cette étude, plusieurs méthodes statistiques ont été utilisées dans le traitement des données et dans l'analyse et la présentation des résultats. Parmi les procédures statistiques souvent utilisées dans l'étude des séries hydro-climatologiques, la méthode de calcul d'indices centrés réduits à partir de la formule de Lamb (1982) et de Nicholson (1988), celle des procédures logées dans le logiciel Chronostat ont été mises en œuvre dans le cadre de cette recherche en raison de leur efficacité prouvée dans de nombreux travaux.

A cela s'ajoutent les calculs de déficit pluviométrique et d'écoulement par la formule de Turc, les coefficients d'écoulement, de débit et de tarissement par la loi de Maillet, utilisés en hydrologie.

Le traitement des données a rassemblé plusieurs formules mathématiques. Cependant l'application des méthodes de Lamb (1982) et de Nicholson (1988), ainsi que les différents tests statistiques de détection de ruptures et de tendance de Hubert, de Pettitt et de BUIHAND, a permis de mettre en évidence la variabilité climatique notamment, des paramètres climatiques considérés plus hauts (pluviométrie, température, humidité relative et évapotranspiration). Cette étude statistique a permis d'analyser l'évolution spatio-temporelle de ces paramètres climatiques.

- Le test de PETTITT a permis de vérifier la stationnarité de la série pluviométrique. La procédure de la segmentation de HUBERT est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne dans une même série.
- La formule mathématique utilisée par la DGMN a été aussi utilisée dans la détermination des ruptures. Elle s'écrit :  $U_t = 2 * W_t - t * (n+1)$

Avec  $W_t$  : cumul de rang de la variable considérée ;  $t$  : nombre d'année et  $n$  : nombre total d'année.

- L'utilisation de la relation Pluie/Débit a permis de déceler les changements dans l'écoulement superficiel qui pourraient être dus aux événements d'origine anthropique (la régularisation des débits superficiels par les activités agricoles).
- La mise en évidence de l'indice de NICHOLSON (1988) et LAMB (1982) a permis de voir les tendances climatiques ou hydro-climatiques et de différencier les périodes sèches des périodes humides par rapport aux périodes normales. Cet indice est exprimé par la formule suivante :

$$I. AC = X_i - X / \sigma(x)$$

Avec I.A = indice d'anomalie standardisé

$X_i$  = valeur moyenne de la variable considérée  $X$  = moyenne de la série,  $\sigma(x)$  = écart type de la série.

Une échelle de classification a été choisie en vue de classer les années selon les différentes périodes :

- Si  $IAC < -3/2$ , l'année est très déficitaire ;
- Si  $IAC \in [-3/2 ; -1/2[$ , l'année est déficitaire ;
- Si  $IAC \in [-1/2 ; 1/2]$ , l'année est normale ;
- Si  $IAC \in ]1/2 ; 3/2]$ , l'année est excédentaire ;
- Si  $IAC > 3/2$ , l'année est très excédentaire.

Le bilan hydro-climatique a permis de mettre en évidence l'effet de la péjoration climatique sur la disponibilité des ressources en eau dans le bassin. Il comprend le bilan climatique et le bilan hydrologique. Le bilan climatique a permis d'évaluer l'influence de la péjoration des événements climatiques sur les ressources en eau. On distingue le bilan climatique potentiel qui est obtenu à partir de l'évapotranspiration potentielle et le bilan climatique réel qui est déduit à partir de l'évapotranspiration réelle. Ces deux bilans ont permis de déterminer les périodes de disponibilité en eau (périodes humides) et les périodes de manque ou de pénurie d'eau (périodes sèches). Le calcul du bilan climatique potentiel a permis de mettre en évidence la péjoration pluviométrique sur les ressources en eau. Il est déterminé par la formule suivante :

$$BCP = P - ETP$$

Avec  $P$  = pluie en mm ;  $ETP$  = évapotranspiration en mm ;

- Le bilan climatique potentiel est positif si  $P - ETP > 0$  alors l'année pluviométrique est humide ou excédentaire ;
- Le bilan climatique potentiel est négatif ; Si  $P - ETP < 0$  alors l'année pluviométrique est sèche ou déficitaire ;
- Le bilan climatique potentiel est stable ou en équilibre si  $P - ETP = 0$  alors l'année pluviométrique est normale.

Le bilan hydrique a permis d'évaluer la disponibilité des ressources en eau pour les systèmes notamment les écosystèmes et les agrosystèmes. Il est exprimé par l'indice de l'aridité (BRIGODE et al., 2013, P. 3-12) :

$$I.A = ETP/P$$

Avec  $I.A$  : Indice d'aridité ;  $ETP$  = Evapotranspiration en mm ;  $P$  = Pluie annuelle en mm



Si  $I.A < 1$ , il y'a disponibilité en eau en abondance pour la plante ;

- Si  $I.A > 1$ , la disponibilité en eau est insuffisante pour un développement optimal de la plante
- Si  $I.A = 1$ , la plante ne gagne ni ne perd de l'eau

En résumé, plus l'IA augmente moins les ressources en eau sont disponibles (pour la plante) dans les réservoirs de subsurface et vice versa.

Les outils de traitement des données notamment le tableur Excel Version Office 2016 et le logiciel Khronostat Version 10.1 pour le traitement statistique des données climatiques et hydrologiques ; le logiciels QGIS Version 3.8 pour la cartographie et la spatialisations des données ont été également utilisés.

## **2. Résultats**

### **2.1. La variabilité climatique à l'échelle du bassin du Mô**

L'analyse des données des différentes stations du bassin indique que la variabilité climatique s'observe à divers niveaux, journalier, mensuel, annuel, interannuel et décennal. En effet, depuis la fin de la décennie 1960 et le début de celle de 1970, le bassin du Mô connaît une variabilité climatique significative. Cette variabilité se traduit par de profonds bouleversements locaux des conditions climatiques et des phénomènes climatiques exceptionnels. L'observation des séries chronologiques de température, de précipitations, d'évapotranspiration (ETP) et d'humidité relative permet d'apprécier cette variabilité. Ce sont ces dernières qui affectent le plus la disponibilité des ressources en eau.

#### **2.1.1. Les températures**

La variation mensuelle de la température montre que les températures maximales ont varié entre  $27^{\circ}\text{C}$  (août) et  $37,8^{\circ}\text{C}$  (mars) pour les deux stations (Sokodé et Sotouboua) du bassin. Le maxi des températures maximales est obtenu donc au mois de mars tandis que le mini des maxi est enregistré au mois d'août. Les valeurs minimales ont varié entre  $13,7^{\circ}\text{C}$  (décembre) et  $24,7^{\circ}\text{C}$  (avril). Le maxi des températures minimales a été enregistré au mois d'avril alors que le mini des valeurs minimales est obtenu au mois de décembre. L'observation de ces valeurs minimales montre donc que les températures chutent jusqu'à moins de  $15^{\circ}\text{C}$  à  $16^{\circ}\text{C}$  aux mois de décembre-janvier.

La baisse significative des températures aux mois de décembre (pour les mini) et août (pour les maxi) est liée soit à la descente

(décembre-janvier) de l'alizé de Nord-Est communément appelé Harmattan, un vent chaud et sec qui souffle du Nord-Est vers le Sud-Ouest et adoucie le climat régional ; soit à l'abondance pluviométrique (pour le mois d'août).

À l'échelle interannuelle les températures à Sokodé (1961-2019) et à Sotouboua (1982-2019) connaissent une hausse, Figure 3. Que ce soit à la station de Sokodé ou à celle de Sotouboua, les températures moyennes annuelles ont fluctué entre 25° et 28°C. Les températures moyennes minimales et maximales dans le bassin ont évolué entre 18° à 35°C. La comparaison entre les sous périodes 1961-1990 et 1991-2019 a permis de mieux percevoir cette augmentation de la température.

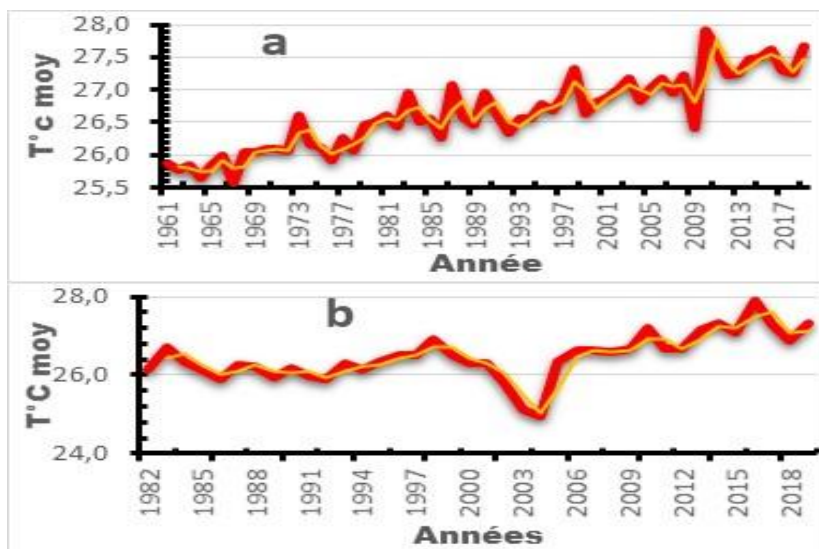
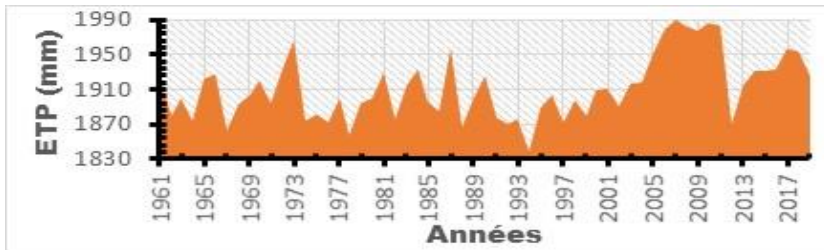


Figure 31 : Variation annuelle et interannuelle des températures à Sokodé (a) et à Sotouboua (b)

Ces différentes variations de la température caractérisées par une augmentation, renforcent l'instabilité des lignes de grains et favorisent une forte évaporation des ressources en eau du sol avec un rapide tarissement des cours d'eau. Ce qui n'est pas sans conséquences sur les réservoirs souterrains.

### 2.1.2. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

C'est l'évaporation et la transpiration qui commandent la succession des saisons hydrologiques. Faibles en saison humide, elles accroissent les débits. Fortes en saison sèche, elles prélèvent suffisamment d'eau et entraînent avec le régime pluviométrique, un assèchement complet des rivières.



Source : A partir des données de la DGMN, février 2020

Figure 4 : Variation annuelle et interannuelle de l'ETP à Sokodé

La figure 4 montre la variation annuelle et interannuelle de l'ETP. Elle est passée de 1838,7 mm (1994) à 1989,7 mm (2007) soit une différence de 151,0 mm. Depuis 2003, les valeurs annuelles de l'ETP restent toujours au-dessus de la moyenne normale de la série (1911,6 mm) à l'exception de 2012. De 1961-1964, 1974-1980 et 1991-2002, les valeurs de l'ETP sont inférieures à la moyenne normale de la série. L'augmentation de l'ETP est proportionnelle à l'augmentation de la température et inversement proportionnelle à la baisse de l'humidité du sol. Ce qui a des conséquences sur les ressources en eau disponible, qui subissent une baisse sensible. L'analyse de l'humidité relative permet de mieux assimiler cette baisse.

### 2.1.3. L'humidité relative

Le secteur du bassin versant du Mô enregistre de forte humidité relative (50-80%), Figure 5.

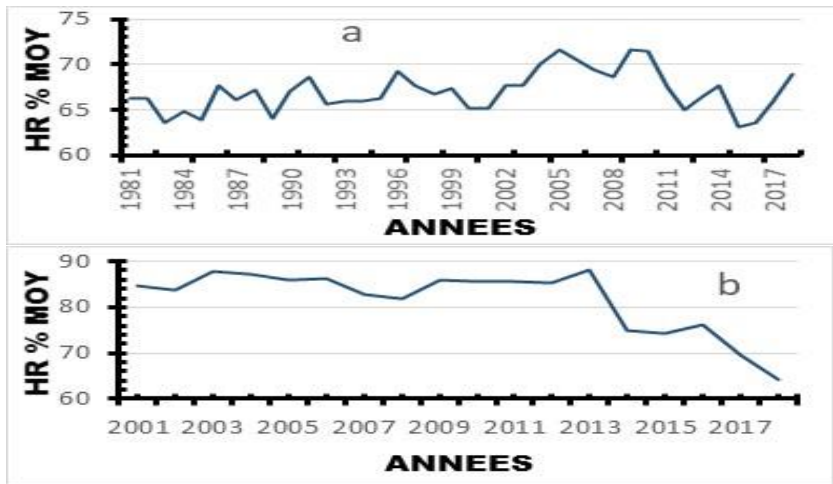


Figure 5 : Variation annuelle et interannuelle de l'humidité relative à Sokodé (a) et à Sotouboua (b)

L'analyse de la figure 5 montre que l'humidité relative est abondante au cours des années où la pluviométrie est abondante avec une faible évaporation liée à la baisse de la température. Ainsi, elle existe pendant au moins une saison (saison humide) soit trois mois (juillet-août-septembre) affilés pendant lesquels les précipitations sont supérieures à l'évapotranspiration. Les valeurs minimales et moyennes à Sotouboua indiquent une baisse de l'humidité relative au cours de ces dernières années (moins de 50%) alors que celles des maximales indiquent une reprise après la baisse significative constatée en 2010. A Sokodé, toutes les valeurs indiquent une reprise de l'humidité relative constatée depuis 2015. Ainsi, les années 2005 à 2009 et 2010 sont marquées par une augmentation de l'humidité relative minimale à Sokodé (53%) et en 2013 à Sotouboua (75%). La variation annuelle de l'humidité relative a permis de distinguer les années humides avec abondances des ressources en eau des années sèches avec insuffisances de la disponibilité en eau pour diverses activités.

#### 2.1.4. Les précipitations

Les précipitations moyennes annuelles ont varié dans l'espace entre 872,4 mm (en 1961) – 2087,0 mm (en 1963) à la station de Sokodé ; 611,6 mm (en 2008) – 2837,5 mm (en 2016) à la station de Fazao et 863,6 mm (1982) – 1661,4 mm (2003) à la station de

Sotouboua ; soit une moyenne générale de 1303,2 mm sur l'ensemble des stations étudiées.

L'analyse interannuelle et pluriannuelle des précipitations a permis de distinguer trois phases : une première phase caractérisée par des années excédentaires, une seconde phase caractérisée par des années à pluviométrie normale et une troisième phase caractérisée par des années de déficits pluviométriques.

Ainsi, à la station de Sotouboua, trente années sur les cinquante-neuf années étudiées ont été identifiées comme années excédentaires avec une pluviométrie annuelle supérieure à 1300,5 mm (valeur normale de la série). Soit six années au cours la décennie 1970, cinq années au cours de la décennie 1980, trois au cours de la décennie 1990, sept dans la décennie 2000 et sept encore dans la décennie 2010 et enfin deux au cours de la dernière décennie (2020). Comme années déficitaires, vingt-neuf années ont été identifiées dont quatre au cours de la décennie 1970, cinq au cours de la décennie 1980, sept dans la décennie 1990, trois dans la décennie 2000, encore trois dans la décennie 2010 et sept au cours de la dernière période.

A Sokodé, les années excédentaires (>1319,6 mm) sont vingt-six, soit huit au cours de la décennie 1970, six dans la décennie 1980, une seule année dans la décennie 1990, cinq dans la décennie 2000, quatre au cours de la décennie 2010 et sept au cours de la dernière décennie. Les années déficitaires (<1319,6mm) sont trente-trois dont deux dans la décennie 1970, quatre dans la décennie 1980, neuf au cours de la décennie 1990, cinq au cours de la décennie 2000, six au cours la décennie 2010 et sept entre 2011 et 2019, Figure 6.

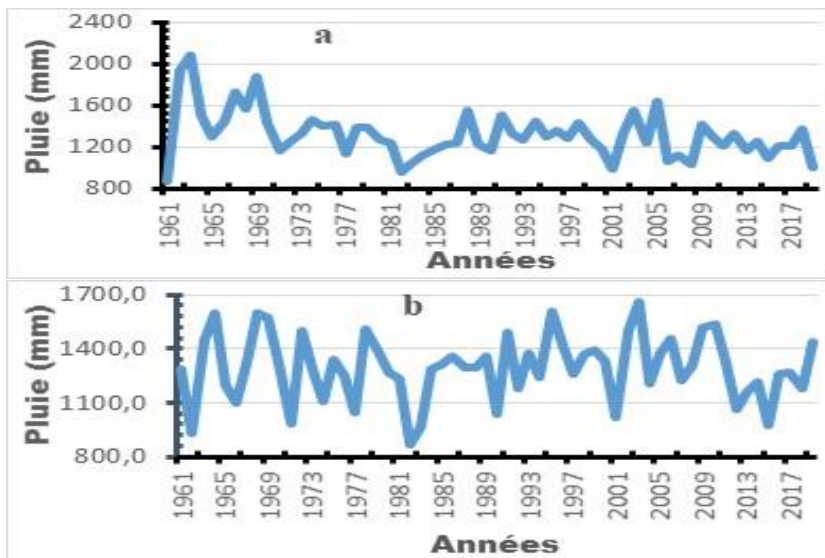


Figure 6 : Variation interannuelle de la pluviométrie à Sokodé (a) et Sotouboua (b)

La station de Fazao, Figure 7, enregistre trente années excédentaires (>1295,4mm) avec sept années entre 1960 et 1970, cinq entre 1971 et 1980, huit entre 1981 et 1990, six entre 1991 et 2000 et enfin quatre entre 2010 et 2019. Les années déficitaires (<1295,4mm) sont aussi au nombre de trente : quatre dans la décennie 1970, cinq dans la décennie 1980, deux dans la décennie 1990, quatre au cours de la décennie 2000, toute la décennie 2010 et cinq années entre 2011 et 2019.

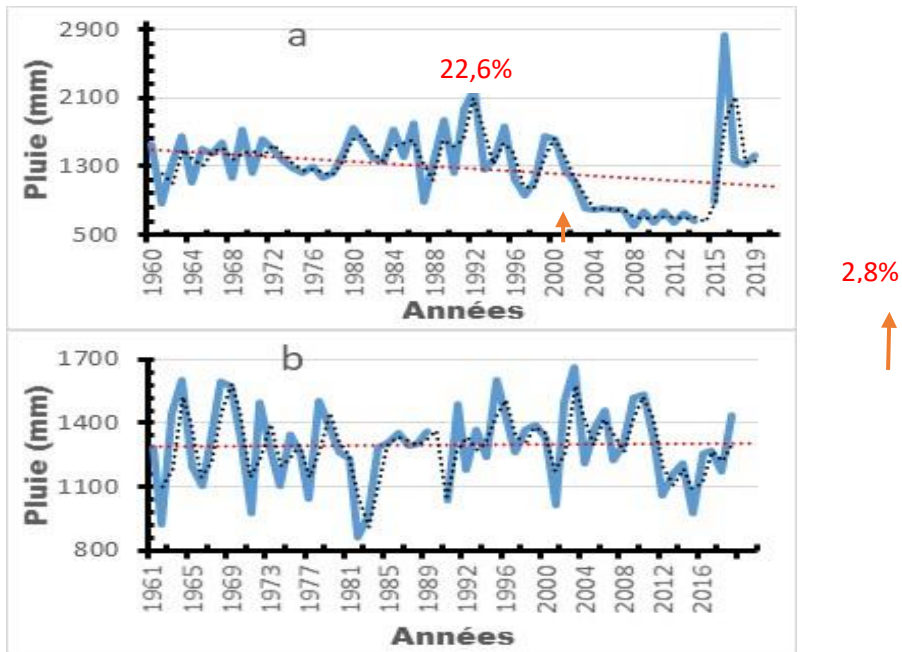


Figure 7 : Tendances et Ruptures dans les séries pluviométriques à Fazao (a) et à Sotouboua (b)

L'analyse des moyennes annuelles de précipitations, Figure, 7 à partir des tests de rupture sur l'ensemble du bassin et à la station de Sokodé, montre l'absence d'une période de rupture sur la période 1961-2019, mais plutôt une relative tendance à la baisse. Cependant, dans les stations de Fazao et de Sotouboua, on constate des périodes de rupture avec respectivement une augmentation de la pluviométrie de 22,6% (2015) et 2,8% (1990). Cette augmentation insignifiante à la station de Sotouboua peut expliquer l'absence de rupture de données par les différents tests statistiques (PETTIT et Segmentation de HUBERT). Ces ruptures pluviométriques entraînent des changements importants dans l'alimentation en ressources en eau. Elles contribuent à une légère augmentation des débits d'écoulement de surface. Mais cette augmentation n'est pas suffisante pour l'alimentation des nappes souterraines.

Une baisse progressive des années excédentaires au profit des années déficitaires a été constatée dans toutes les stations étudiées.

Cette baisse à des conséquences directes sur les ressources en eau de surfaces et indirectes sur la recharge des nappes d'eau souterraines.

## **2.2. La variabilité hydrologique à l'échelle du bassin du Mô**

Le régime hydrologique d'un cours d'eau se définit par les variations de son débit d'écoulement. Il est fortement dépendant du régime pluviométrique. À l'échelle mensuelle l'écoulement est maximal dans le bassin à partir du mois de septembre, un mois après le maximum pluviométrique. La disponibilité en eau pour l'écoulement de surface s'observe en saison pluvieuse notamment de juin à novembre. L'écoulement des rivières s'estompe à partir de décembre jusqu'en mai.

La période de hautes eaux est souvent caractérisée par des débordements du cours d'eau principal (crues de septembre) qui perturbent les activités socio-économiques : agriculture, transport. La décrue amorcée en octobre atteint son niveau critique entre décembre-janvier et l'étiage survient très tôt en février et se maintient jusqu'à fin avril sans écoulement (débit nul). La valeur du débit moyen estimée à 20 m<sup>3</sup>/s à la fin des années 1960 est moins de 15 m<sup>3</sup>/s à la fin des décennies 1980 et 1990. Au cours de la même période, la valeur du débit maximal qui était estimée à 80 m<sup>3</sup>/s est inférieure à 75 m<sup>3</sup>/s, soit une réduction de plus 5 m<sup>3</sup>/s.

La variation des débits, va en étroite ligne avec la variation pluviométrique. Une étude comparative de ces deux paramètres hydro-climatiques (pluie-débit) confirme cette hypothèse. Les mois aux débits élevés sont des mois à forte pluie. Cette comparaison a permis ainsi de conclure que la baisse pluviométrique a une incidence plus significative sur l'écoulement que sur la disponibilité des ressources en eau. Avec l'influence des changements climatiques actuels et des activités humaines (occupation du sol, l'exploitation du gravier et du sable fluvial), la décrue des débits semble encore prononcée aujourd'hui.

L'analyse de la figure 8 montre que l'écoulement est permanent dans tout le bassin de juin à octobre souvent décalé d'un mois. L'écoulement de surface étant directement lié à la pluviométrie, les mois pluvieux sont les mois d'écoulement. L'analyse des moyennes mensuelles de débits montre que le débit maximal est toujours enregistré au mois de Septembre. Ceci pourrait s'expliquer par les pluies abondantes du mois d'août. Les mois les plus pluvieux ne sont pas directement les mois où l'écoulement est plus important.



L'écoulement d'un mois est souvent compensé par la pluviométrie du mois précédent.

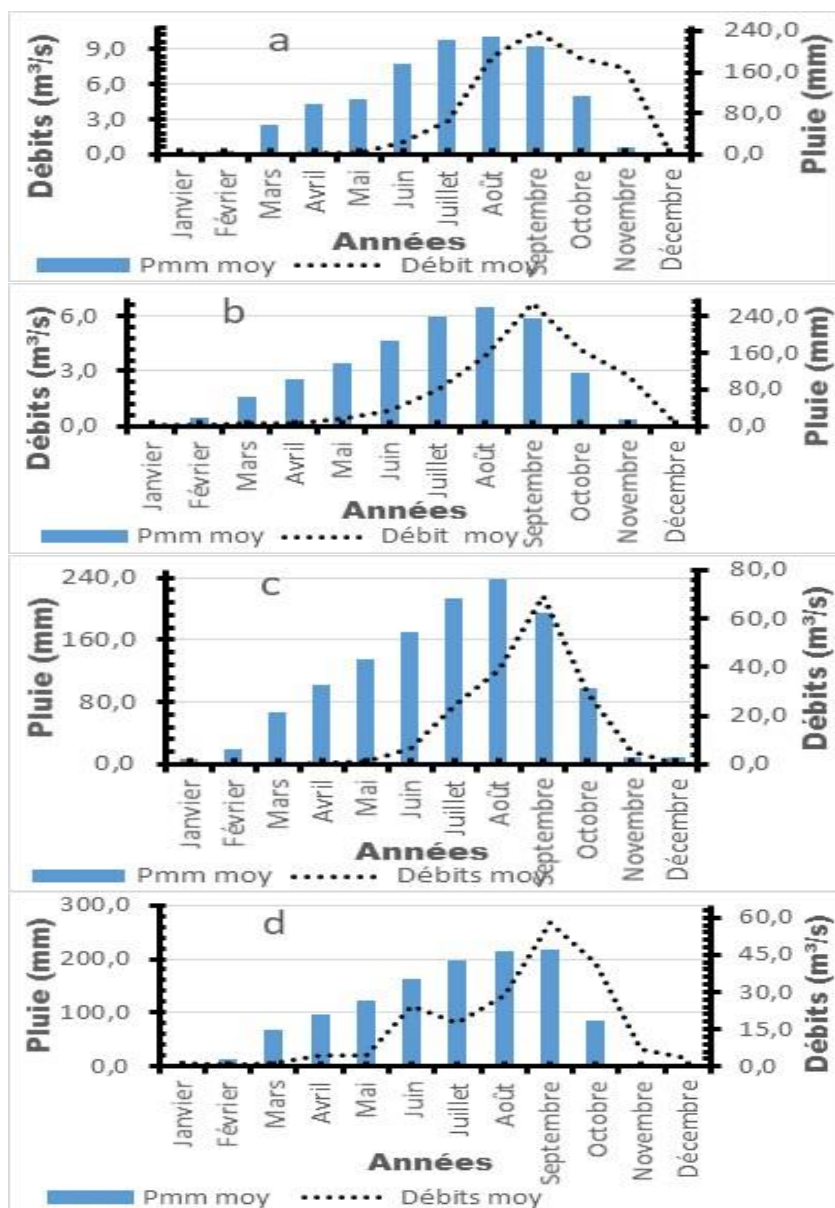


Figure 8 : Relation pluie-débit mensuels à Sokodé-Bassar (a), Kama-Bassar (b) et à Boulougou (c, d)

Source : A partir des données de la DGMN et DRE, août 2020

L'écoulement est presque inexistant de décembre à avril, Figure 8. L'écoulement au mois de mai est très faible. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les premières pluies du mois de mai sont destinées à la saturation des horizons superficiels du sol.

La recharge des nappes s'effectue au cours des mois humides (juillet- septembre). Ce qui permet de maintenir l'écoulement pendant les deux premiers mois de la saison sèche (novembre à décembre). Toutefois, dans la partie aval du bassin, sur un substratum de grès (Bassar), le débit est permanent, mais moins important en volume. Ce faible débit est alimenté et maintenu par les eaux d'infiltration. Par contre l'écoulement est presque nul sur le reste des mois de la saison sèche notamment janvier à février ; avec un déficit de recharge qui est plus important. Cette relation pluies-débits est également observée à l'échelle interannuelle où les années de fortes pluviométries sont les années de forts débits et vice versa.

En définitive, les irrégularités mensuelle et saisonnière des pluies sur la zone étudiée montrent aussi un régime pluviométrique variable d'une année à l'autre et d'une localité à l'autre dans l'ensemble du bassin. Sur l'ensemble de la zone d'étude, les précipitations sont relativement homogènes et importantes. Cette importance peut s'expliquer par sa position géographique, la présence orographique et des forêts. La variabilité pluviométrique peut laisser penser à un régime tropical soudano-guinéen avec des totaux pluviométriques concentrés sur quatre mois de l'année (juin, juillet août et septembre). Cette variabilité comme le montre la figure 9 avec des ruptures n'est pas sans conséquences sur la disponibilité des ressources en eau.

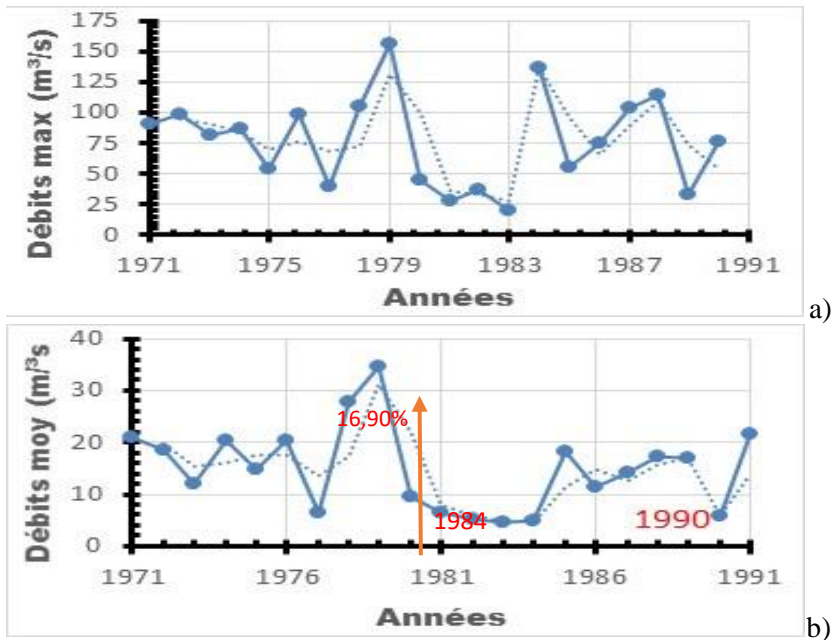


Figure 9: Ruptures de débits d'écoulement à Boulougou (a, b)

La figure 9 montre les différentes ruptures de l'écoulement des rivières dans le bassin du Mô. La rivière principale (Mô) a enregistré une augmentation d'écoulement maximal de 16,90 % à partir 1984 avec une tendance à la hausse des débits ; alors les écoulements moyens ont enregistré une baisse sensible de -8,34% avec une tendance à la reprise à partir de 1990. La rupture des valeurs maximales avec augmentation des écoulements et des valeurs moyennes avec diminution des écoulements, montre que les débits minimums sont très affectés par la baisse. Le début des écoulements est lent au début la saison des pluies avec un tarissement rapide à la fin de la saison. Cependant les écoulements sur le Kama-Bassar ne présentent aucune rupture depuis 1962 à 1990 malgré leur baisse.

### 2.3. Impacts sur les ressources en eau

#### - Ecoulement de surface

L'influence principale de cette variabilité hydro-climatique est ressentie sur la disponibilité des ressources en eau. En effet, l'instabilité des paramètres climatiques telle que la pluie entraine celle hydrologiques et par conséquent l'instabilité des recharges et des

réserves en eau de surface et du sous-sol avec toutes les conséquences connexes. Afin de mettre en évidence ces impacts, il s'avère important de faire le bilan hydrique du bassin par le calcul de l'indice d'aridité.

L'indice de l'aridité est le rapport de l'évapotranspiration réelle (ETP) et la pluie efficace (P). L'indice d'aridité est un indicateur d'évaluation des réserves en eau disponible pour le développement optimal des plantes. La sous-période qui va de 1991-2018 a connu une aridité plus sévère que la sous-période qui va de 1961-1990 ; avec seulement trois mois (juillet-août-septembre) d'abondance des ressources en eau pour les plantes par rapport à la dernière période (1961-1990) qui en avait quatre (juin-juillet-août-septembre). Il faut remarquer aussi une accentuation de la fréquence de l'indice d'aridité aussi bien sur les mois en abondance que sur les mois déficitaires.

Du point de vue annuel, les années à pluviométrie excédentaire présentent plus de mois en abondance (5 à 6 mois), comme c'est le cas de 1969 et 1963. Les années déficitaires présentent moins de mois à disponibilité en eau suffisante pour le développement des plantes. Elles n'ont que trois mois (juillet à septembre) en abondance sur toute l'année ; parfois même deux mois (juillet-août ou intercalé d'un mois : septembre) comme c'est le cas de 1961 et 1982. Les années considérées comme normales en pluviométrie ne le sont pas forcément pour les besoins en ressources en eau pour la plante. Puisque, la disponibilité en eau dans les différents réservoirs du sol dépend non seulement de la quantité d'eau qui arrive au sol mais aussi de la quantité d'eau qui s'évapore (ETR) ou susceptible de s'évaporer (ETP).

La variabilité climatique agit également sur les écoulements de surface, planche 1. L'écoulement de surface ou le ruissellement dépend du régime pluviométrique du bassin et de la succession des saisons humides et des saisons sèches. Sachant que de Novembre à Avril, c'est la saison sèche, l'écoulement n'est perceptible dans le bassin qu'en saison pluvieuse. Cependant, la différenciation de cet écoulement est liée à plusieurs facteurs notamment l'intensité de la pluie, la nature du substratum, l'inclinaison de la pente, la géométrie du bassin (la forme) et la nature du couvert végétal.



Planche 1 : Période de tarissement de la rivière Mò à Sokodé-Bassar et à Taka (Djarkpanga),  
 Source : Cliché Yamoula : Travaux de terrain, décembre 2019

La planche 1 montre la période de tarissement du cours d'eau principal. De novembre à avril la demande évaporatoire et de transpiration est très importante. Ce qui correspond à la période de stress hydrique. Les pertes par évapotranspiration couplées avec l'absence des pluies favorisent le tarissement des cours d'eau. Ainsi, le tarissement qui commence généralement en novembre finit par l'étiage des cours d'eau quelques semaines après les vidanges des nappes (libres et semi-captives), Planche 2.



Planche 2 : Périodes des hautes eaux à la station Sokodé-Bassar et à Taka,  
 Source : Cliché Yamoula : Travaux de terrain, août 2020

La planche 2 montre la période de hautes eaux de la rivière Mô qui correspond aux mois et aux années très pluvieux. Les années moins pluvieuses sont marquées par un important tarissement.

Connaissant la période du début de décrue des rivières dans le secteur d'étude, la période de tarissement est celle qui va du début de la décrue (novembre) jusqu'à la période d'étiage (janvier), Figure 9.

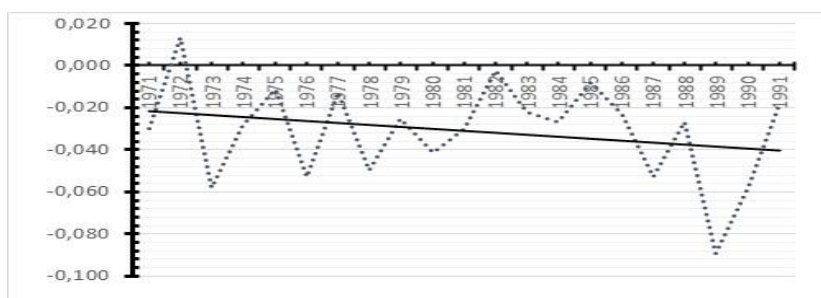


Figure 10 : Courbe de variation des débits de tarissement dans le bassin (0-1)

L'analyse de la figure 10 montre que le coefficient de tarissement a varié entre -0,01 à 0,02 au cours des décennies 1980 et 1990, avec une tendance à la baisse après 1990. Or la baisse du coefficient de tarissement traduit l'amélioration des effets de tarissement des cours d'eau ; et de la vidange moins rapide des nappes. Cette baisse du coefficient de tarissement peut témoigner le changement des conditions climatiques constaté après 1990.

- Ecoulement souterrain

Les données sur les nappes souterraines sont inexistantes. L'exploitation de quelques chroniques disponibles sur les forages dans le secteur d'étude et le calcul du coefficient de tarissement, ont permis de retracer les tendances d'évolution de la ressource. La disponibilité en eau dans les couches inférieures du sol pour l'écoulement est appelée écoulement souterrain. Dans les régions tropicales la recharge des nappes et le renouvellement des réserves en eau dépendent uniquement de l'infiltration des eaux de pluie qui échappent à l'évaporation et à l'écoulement de surface. L'infiltration est la différence entre la lame d'eau précipitée et la somme de la lame d'eau évaporée et celle ruisselée. L'infiltration est faible dans le bassin versant en raison de la nature du substratum géologique, une zone de socle. La faible infiltration réduit le temps de démarrage de

l'écoulement lors d'une averse, mais par contre augmente la durée de l'étiage des cours d'eau avec une vidange rapide des nappes.

En résumé, les déficits d'écoulements observés pourraient être le résultat de l'effet conjugué de la récession pluvieuse constatée à Fazao et à Sokodé, et d'importantes pertes d'eau par évaporation. Le tarissement rapide des cours d'eau du bassin peut être accentué par la présence d'une végétation de tecks qui bordent ces cours d'eau. La cause climatique de la conservation de l'ETP élevée, est accentuée par la nature du substratum où les nappes situées dans les altérites sont peu abondantes. Bien que la température soit très élevée en novembre, l'alimentation phréatique soutient les débits jusqu'en décembre-janvier ou la descente et l'installation de l'alizé du N-E va accélérer la disparition de l'eau dans les rivières. L'épuisement des nappes en février et mars accentue la disparition des débits d'étiages.

### **3. Discussion**

Les fluctuations ascendantes et descendantes des paramètres hydro-climatiques coïncident avec les disponibilités en eau dans le bassin. Les résultats obtenus de la variabilité hydro-climatique, ont permis de mettre en évidence l'incidence de la variabilité hydro-climatique sur les ressources en eau. L'augmentation de la température a induit directement des effets sur les ressources en eau à travers la forte évaporation et la baisse pluviométrique. L'incidence de la pluviométrie a été directement observée sur les ressources en eau de surface et indirectement sur les eaux souterraines. Le déficit d'écoulement dans le bassin d'étude est plus prononcé (décennies 1980 et 1990) que celui de la pluviométrie, tout comme dans les autres bassins Ouest-africain comme le soutient ARDOIN BARDIN S (2004, p. 108).

La diminution de la pluviosité, la sécheresse et l'augmentation de la température entraînent la pénurie des ressources en eau dans le bassin comme le démontrent les travaux de HOUEDAKOR K. Z., (2010, p. 145). L'analyse des différents paramètres climatiques et hydrologiques ont montré l'instabilité hydro-climatique qui a régné dans le bassin versant du Mô entre 1961 et 2019. Ainsi, les ressources en eau sont les plus affectées par cette instabilité. La disponibilité en eau de surface a considérablement baissé au cours de cette période. Puisque l'écoulement dépend directement de la pluviométrie. Une baisse pluviométrique induit considérablement une forte baisse de l'écoulement de surface. Les réservoirs souterrains ayant subi une vidange souffrent dans leur reconstitution. L'alimentation des nappes

a progressivement diminuée puisqu'elle dépend de l'infiltration des eaux de pluie qui percolent dans les couches inférieures du sol. Les réserves en eau du sol ou du sous-sol (réserves de de subsurface) a été également réduit, entraînant une réduction du couvert végétal. Ce qui ne permet pas de disposer suffisamment d'eau à la saison défavorisée (saison sèche) pour les diverses consommations. Ces résultats sont confirmés par les travaux de AMOUSSOU E. (2010, p. 160) dans le bassin du Mono.

La diversité des substrats géologiques a joué sa part dans la chute des débits d'infiltration et de l'écoulement. Elle a eu pour corollaire la faible infiltration. Les fluctuations de l'écoulement dans la basse vallée du Mô, détermine le rôle joué par le substratum géologique dans le processus d'écoulement et aussi la dynamique géomorphologique de la rivière, du fait de l'évolution de dépôts sédimentaires et du développement de l'agriculture. Ce qui explique le fait que la plupart des puits forés ont un faible débit. Les réserves d'eau souterraines diminuent au fur et à mesure que le déficit pluviométrique s'accroît. Les effets de la variabilité climatique mesurée sur la pluviométrie sont amplifiés au niveau des cours d'eau et de la recharge des nappes. Ces résultats renforcent les conclusions tirées des études sur la pluviométrie et confirment l'hypothèse de l'impact de la variabilité hydro-climatique sur les ressources en eau. Cette seconde hypothèse sur la réduction significative des précipitations et plus encore des écoulements annuels subie par l'Afrique de l'ouest et centrale a été abordé par ARDOIN BARDIN S. (2004, p. 12-25) et LEINOU G. (2007, p. 76-78). L'analyse de la dynamique hydrologique à l'échelle de bassin versant a été largement discutée par E. AMOUSSOU (2010 p. 1-315) dans ses travaux sur le Mono.

## **Conclusion**

L'analyse spatio-temporelle des précipitations dans le bassin-versant du Mô de 1961-2019 montre que la répartition pluviométrique est naturellement fonction de la géographie et de l'altitude, et confirme que les régions de montagne et de forêt sont les plus arrosées. Les précipitations varient de 636 à 2200 mm sur les monts (Fazao et Alédjo) et 1000 à 1500 mm dans la zone de plaine, plateaux et collines. Les différentes corrélations réalisées ont montré que la pluie est le premier facteur déterminant de l'écoulement, de la recharge des nappes et de la disponibilité des ressources en eau dans le bassin versant.



La diminution des pluies et l'augmentation de la température, de l'évapotranspiration et de l'aridité des sols, la sécheresse, les changements remarquables au niveau du climat en général, provoquent des difficultés à se procurer de l'eau. Ce besoin essentiel non satisfait, peut entraîner le stress hydrique et les maladies hydriques (cholera) voir l'insécurité alimentaire. L'étude du bilan hydro-climatique dans le sous bassin du Mô a permis la mise en évidence de l'impact des fluctuations climatiques sur l'écoulement et la recharge. Le bassin étant situé en majeure partie sur le socle précambrien, la nature du substratum géologique du bassin versant influence l'écoulement. Ces paramètres pédo-géologiques influencent également les disponibilités hydrologiques selon leur conductivité et transmissivité. Les résultats de cette étude révèlent que les conséquences des perturbations hydro-climatiques sur les ressources en eau et sur les activités humaines se traduisent entre autres par l'assèchement précoce des rivières, les sécheresses ; ce qui a un impact sur les rendements agricoles et le bouleversement du calendrier agricole classique. Selon les prévisionnistes de la DGMN, les divers modèles prévoient que la région de Bassar, située dans le bassin d'étude serait la zone la plus chaude du pays au cours des décennies avenir. Pour faire face à ces différents changements hydro-climatique, l'étude approfondie de la gestion de ressources en eau dans le bassin doit être envisager.

### Références bibliographiques

- ADJOUSSE Pessièzoum, 2000, *Changement climatique global : Evaluation de l'évolution des paramètres climatiques au Togo*, Mémoire de maîtrise, Département de géographie, Université de Lomé, 126 p.
- AMOUSSOU Ernest, 2010, *Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest)*, Université de Bourgne, Thèse de doctorat, 315 p.
- ARDOIN-BARDIN Sardine, 2004, *Variabilité hydro-climatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne*, Thèse de doctorat, Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 441 p.
- AHOUSSE Kouassi Ernest, KOFFI Yao Blaise, KOUASSI Amani Michel, SORO Gbombélé, SORO Nagnin & BIÉMI Jean, 2013,

- « Étude de la variabilité hydro-climatique et de ses conséquences sur les ressources en eau du Sud forestier et agricole de la Côte d'Ivoire : cas de la région d'Abidjan Agboville », in J. Pure App. Biosci., pp 30-50
- FAO, 2012, *Faire face à la pénurie d'eau : un cadre d'action pour l'agriculture et la sécurité alimentaire*, 38e Rapports sur l'eau, 97 p.
- FOSSOU N'guessan Marie Rosine, SORO Nagnin, TRAORE Vieux Boukhaly, LASM Théophile, SAMBOU Soussou, Tanina SORO, Rodrigue Kotchi OROU, Mohamed Talla CISSE & KANE Alioune, 2014, « Variabilité climatique et son incidence sur les ressources en eaux de surface : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro, Centre-Est de la Côte d'Ivoire en Afrique de l'Ouest », 17 pp 118-134.
- GIEC, Juin 2008, Changement climatique et eau, Document technique VI, 237 p.
- HOUEDAKOR Koko Zébéto, 2010, *Les Ressources en eau : étude géographique dans l'espace Volta-Mono*, Thèse de doctorat unique, Département de géographie, Option géographie physique, Université de Lomé, 380 p.
- ISSAOU Latifou, 2014, *Risques climatiques dans le sud-Togo : manifestations, impacts et stratégies d'adaptation*, Thèse de doctorat, Université de Lomé, Département de géographie, 264 p.
- KOUMASSI Dogla Hervé, TCHIBOZO A. Eric, VISSIN Expedit et HOUSSOU, 2014, « Analyse fréquentielle des évènements hydro-pluviométriques extrêmes dans le bassin de la Sota au Bénin », Afrique SCIENCE 10(2) (2014) 137 - 148, 12 p.
- LIENOU Gaston, 2007, *Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les transports de matières en suspension de quelques bassins versants représentatifs au Cameroun*, Thèse de doctorat, Université d'HydroSciences Montpellier, 486 p.
- ORSTOM-Togo, 1961, *Annuaire hydrologiques du Togo*, 168 p.
- VISSIN Expédit, 2007, *Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger*, Thèse Doctorale, Université de Bourgogne, Spécialité : Hydroclimatologie, 311p.