

LIENS

Nouvelle Série

Issn 0850 - 4806

Juillet 2020

N°29- Volume 1



Revue Francophone Internationale

Faculté des Sciences et Technologies de l'Éducation et de la Formation (FASTEF)

Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD)

Sénégal

Liens

Nouvelle Série

Issn 0850 - 4806
Juillet 2020
N°29 - Volume 1



Revue de la Faculté
Des Sciences et Technologies
de l'Education et de la
Formation

Université Cheikh Anta Diop de Dakar - Sénégal

Liens

Nouvelle Série

ISSN 0850 – 4806
Juillet 2020
N°29 - Volume 1

Revue Francophone Internationale
Faculté des Sciences et Technologies de l'Education et de la
Formation (FASTEF)
Université Cheikh Anta DIOP de Dakar (UCAD)
Sénégal

B.P. 5036 Dakar – Fann / Sénégal
revue.liens@ucad.edu.sn

Directeur de Publication

Ousseynou THIAM

Directeurs Adjoints

Assane TOURE, Ndèye Astou GUEYE

Comité de Patronage

Ibrahima THIOUB, Professeur, Recteur de l'UCAD

Ibrahima DIOP, Professeur, ancien Doyen de la FASTEF

Amadou Moctar MBOW, ancien Directeur Général de l'UNESCO

Amadou Lamine NDIAYE, Professeur, ancien Recteur

Iba Der THIAM, Professeur, ancien Directeur de l'Ecole Normale Supérieure, ancien Ministre de l'Education Nationale

Comité Scientifique

Mamadi BIAYE, Professeur (UCAD, Sénégal) - Linda ALLAL, Professeur (Genève, Suisse) - Jean Emile CHARLIER, Professeur (Université Catholique de Louvain) - Jean Pierre CUQ, Professeur (Université de Nice Sophia Antipolis) - Fatima DAVIN CHNANE, Professeur (Aix-Marseille Université, France) - Souleymane Bachir DIAGNE, Professeur (UCAD, Sénégal), (Université de Montpellier, France) - Christian Sinna DIATTA, Professeur (UCAD, Sénégal) - Jean DONNAY, Professeur (FUNDP Namur, Belgique) - Kanvaly FADIGA, Professeur (FASTEF-UCAD, Côte d'Ivoire) - André GIORDAN, Professeur (Univ. de Genève, Suisse) - Mamadou KANDJI, Professeur (UCAD, Sénégal) - Jean-Marie DE KETELE, Professeur (FASTEF-UCAD, UCL, Belgique) - Marie-Françoise LEGENDRE, Professeur (Université de LAVAL, Québec) - Jean-Louis MARTINAND, Professeur (FASTEF-UCAD, CACHAN, France) - Mohamed MILED, Professeur (Université de Carthage, Tunisie) - Abdou Karim NDOYE, Professeur (FASTEF-UCAD, Sénégal) - Hamidou Nacuzon SALL, Professeur (FASTEF-UCAD, Sénégal) - Harouna SY, Professeur (FASTEF-UCAD) - Harisoa Tiana RABIZAMAHOLY, Professeur (FASTEF-UCAD, Sénégal) - Carla SCHELLE, Professeur (Université de Mayence, Allemagne) - Jean-Marie VANDER MAREN, Professeur (FSE, Université de Montréal, Québec) - José Luis WOLFS, Professeur (UCL, Belgique) - Eva L. WYSS, Professeur (Université de Coblence, Landau, Allemagne).

Comité de Lecture

Sénégal : Moustapha SOKHNA, (FASTEF-UCAD) - Oumar BARRY (FLSH-UCAD) – Sophie BASSAMA (FASTEF-UCAD) - Madior DIOUF (FLSH-UCAD) - Ousmane Sow FALL (FASTEF-UCAD) - Fatou DIOUF KANDJI (FASTEF-UCAD) - Boubacar KEÏTA (FST-UCAD) – Aboubacry Moussa LAM (FLSH-UCAD) - Mohamed LO (FASTEF-UCAD) - Aymerou MBAYE (FASTEF-UCAD) - Lat Soukabé MBOW (FLSH-UCAD) - Issa NDIAYE (FASTEF-UCAD)) – Papa Mamour DIOP (FASTEF-UCAD) - Boubacar NIANE (FASTEF-UCAD) - Mamadou SARR (FASTEF-UCAD) - Abou SYLLA (IFAN-UCAD) - Serigne SYLLA (FASTEF-UCAD) - Ibrahima WADE (ESP-UCAD).

Afrique : Urbain AMOA (Côte d’Ivoire) - Ahmed CHABCHOUB (Tunisie) Boureima GUINDO (Gabon) - Yvon-Pierre NDONGO IBARA (République du Congo) - Klohinwelle KONE (Côte d’Ivoire.) – Galedi NZEY (Gabon) - T. Jean Baptiste SOME (Burkina Faso).

Amérique : Guy PELLETIER (Canada)

Europe : Christel ADICK (Allemagne) – Mélanie DAVID (Allemagne) - Christian DEPOVER (Belgique) - Jacqueline BECKERS (Belgique) - Marcel CRAHAY (Belgique) - Cécile DEBUGER (Belgique) - Marianne FRENAY (Belgique) - Georges HENRY (Belgique) - Léopold PAQUAY (Belgique) - Marc ROMAINVILLE (Belgique) - Bernadette WILMET (Belgique) - Marguerite ALTET (France) - Pierre CLEMENT (France) - Danielle CROSS (France) - José FELICE (France) - Claudine TAHIRI (France)

Comité de Rédaction

Ousseynou THIAM (FASTEF-UCAD) - Assane TOURE (FASTEF-UCAD) - Ndéye Astou GUEYE (FASTEF-UCAD) - Harisoa T. RABIAZAMAHOLY (FASTEF-UCAD) - Souleymane DIALLO (INSEPS-UCAD) - Bamba D. DIENG (FASTEF-UCAD) - Mamadou DRAME (FASTEF-UCAD) - Manétou NDIAYE (FASTEF-UCAD) - Amadou SOW (FASTEF-UCAD) – Emanuel Dit Magou FAYE (FASTEF-UCAD).

Assistant Informatique

Mamadou Lamine KEBE

Assistante Administrative

Ndèye Fatou NDIAYE SY

SOMMAIRE

EDITORIAL	8
Harouna Sy	14
VIOLENCE A L'ECOLE : LE PIEGE DU NORMATIF	14
Ousséni Sore.....	32
POUR UNE APPROCHE CONTEXTUALISEE DE L'ENSEIGNEMENT/APPRENTISSAGE DU FRANÇAIS EN CONTEXTE PLURILINGUE BURKINABE	32
Babacar Niane	48
LE WAÑÑ DANS L'ENSEIGNEMENT CORANIQUE AU SENEGAL	48
Boukaré Nacoulma	60
LES NOMS DE GUERRE DES CHEFS TRADITIONNELS MOOSE OU ZABUYA : ELEMENTS LINGUISTIQUES USUELS ENSEIGNES DANS LES ECOLES PRIMAIRES BILINGUES MOORE/FRANÇAIS AU BURKINA FASO	60
Koukoua Etienne N'gatta	72
L'INTERROGATION EN ABOURE	72
Oumar Dia	90
COMMENT REUSSIR L'INTRODUCTION DES LANGUES NATIONALES A L'ECOLE FRANÇAISE ?	90
Dionnodji Tchaine	100
ENSEIGNEMENT/APPRENTISSAGE EN/DES LANGUES MATERNELLES TCHADIENNES. POURQUOI ET COMMENT REPENSER LA FORMATION DES MAITRES ?	100
Ousseynou Thiam.....	116
FRANCISATION, FRANCONISATION : LA LANGUE FRANÇAISE EN AFRIQUE	116
Justin Masandi Kisuku Lez	134
PROBLEMATISER LES PRATIQUES EVALUATIVES POUR UNE EVALUATION-SOUTIEN D'APPRENTISSAGE	134

<i>Pierre Baligue Diouf</i>	154
ANALYSE DIDACTIQUE D'OUTILS D'EVALUATION SOMMATIVE EN SVT A LA LUMIERE DE L'APC : CAS D'EPREUVES ADMINISTREES DANS LES INSPECTIONS D'ACADEMIE DE DAKAR ET SAINT-LOUIS	154
Ibn Habib Bawa	176
LA PROCRASTINATION SCOLAIRE, FACTEUR DE MAUVAISES PERFORMANCES DES ELEVES DU SECOND CYCLE DU SECONDAIRE ?	176
Ousmane Bâ, Souleymane Diallo, Amadou Anna Seye	190
L'IMPACT DE L'ENSEIGNEMENT DE L'EDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE SUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'ENFANT AU SENEGAL	190
Mouhamed Abdallah Ly	204
Y'EN A MARRE : LES OPTIONS LANGAGIERES D'UN MOUVEMENT CONTESTATAIRE	204
Bernard Kaboré, Issaka Sawadogo	220
DIRE LA DOULEUR EN SITUATION D'EXTREME VIOLENCE : CAS DE LA PRESSE ECRITE FACE AUX ATTENTATS TERRORISTES DU RESTAURANT CAPPUCCINO AU BURKINA FASO	220
Anatole Bére	232
DITS ET NON-DITS : ANALYSES LEXICOLOGIQUES ET SYNTAXIQUES DE SLOGANS POLITIQUES EN PERIODE DE CAMPAGNE ELECTORALE EN COTE D'IVOIRE	232
Assah N'Détibaye	250
LA REALITE DE LA CORRUPTION DANS L'ADMINISTRATION PUBLIQUE TCHADIENNE	250
Kouadio Adolphe N'goran	268
LES COMMUNAUTES LIBANAISES EN CÔTE D'IVOIRE : EXEMPLE DES CHIITES (1921-2009)	268

Kouakou Kouamé.....	284
ETUDE EXPLORATOIRE DU PROCESSUS D'OCTROI ET DE REMBOURSEMENT DE CREDIT DANS LES ETABLISSEMENTS DE MICROCREDIT	284
Abdou Khadre Fall, Mamadou Tandiag Diaw, Abdou Rakhmane Fall, Babacar Mbengue.....	302
L'ELEVAGE DES PORCS DANS LA COMMUNE DE BAMBEY AU SENEGAL : CARACTERISTIQUES ET CONTRIBUTION DANS LES REVENUS DES MENAGES URBAINS.	302
René Ndimagh Diouf, Cheikh Faye	322
CARACTERISTIQUES DE L'ECOULEMENT ET DES EVENEMENTS EXTREMES (CRUES ET INONDATIONS) DANS LE BASSIN DU BAFING EN AMONT DE MANANTALI	322
Maguèye Ndiaye, Abdoul Ahad Lô	346
CHEIKH AHMAD BAMBA MBACKE UN MYSTIQUE MULTIDIMENSIONNEL.....	346
Mouhamed Moustapha Dièye, Alassane Sow	364
EGLISES EVANGELIQUES A DAKAR : MODES D'IMPLANTATION, MARCHANDISATION DE LA FOI ET PROSELYTISME	364
Secka Gueye	382
LE COUPLE MIXTE, ENTRE SYMPATHIE ET TENSION..	382

EDITORIAL

Contrairement à beaucoup de secteurs fortement indisposés par la COVID 19, la recherche scientifique en Afrique et ailleurs semble bénéficier des ressources nécessaires pour préserver son dynamisme. Pour preuve, *Liens Nouvelle Série*, revue éditée par la Faculté des Sciences et Technologies de l'Éducation et de la Formation (F.A.S.T.E.F.) de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (U.C.A.D.) a reçu pour ce numéro 29 de juillet 2020 cinquante-cinq projets d'article. Les quarante-trois articles acceptés à l'issue d'un processus d'instruction et de révision rigoureux traitent de thématiques variées. Les cadres de recherches sont divers et confirment, s'il en est besoin encore la vocation internationale de la revue. Ce volume 1 rassemble 24 articles relatifs aux sciences de l'éducation (violence scolaire, contextualisation de l'enseignement en Afrique, formation des enseignants, évaluation des apprentissages, éducation physique et sportive) et aux disciplines fondamentales (économie, environnement, religion, littérature).

L'article qui ouvre ce volume est consacré à la violence en milieu scolaire, un phénomène complexe. Au-delà du constat de ses manifestations dans les établissements scolaires du Sénégal, Harouna Sy questionne la subjectivité du discours et l'objectivation de la recherche sur la violence scolaire. L'auteur définit la violence scolaire en discutant les conceptions punitive, répressive mais aussi pédagogique et trouve qu'il est important que la recherche n'occulte pas le contexte dans lequel elle est observée.

Sept contributions sont consacrées à la problématique de la contextualisation et de l'africanisation de l'enseignement. Ousséni Sore aborde la contextualisation de l'enseignement/apprentissage du français au Burkina Faso. Le chercheur montre la légitimité d'une approche nouvelle de l'enseignement de la langue française au regard de la complexité linguistique et socioculturelle du pays. Babacar Niane invite à réfléchir sur l'approche pédagogique du *waññ* appelé aussi *boole* ou mémorisation du Coran. Il explique cette science pédagogique, créée par des *kaan* (ceux qui ont mémorisé le Saint Coran) wolofs, au Sénégal, et met en exergue des méthodes d'enseignement intéressantes. A son tour, Boukaré Nacoulma étudie l'exploitation des noms de guerre des chefs traditionnels moose à travers l'éducation à la citoyenneté dans les écoles bilingues mooré/français. Au Burkina Faso, les programmes

d'enseignement participent à la valorisation de la culture mooaga. L'article débouche sur des propositions didactiques visant à promouvoir la citoyenneté. Quant à Koukoua Etienne N'gatta, son article porte sur l'interrogation en abouré, une langue kwa, parlée au sud-est de la Côte d'Ivoire. Ce travail d'intérêt linguistique et didactique actualise les recherches sur l'enseignement des langues africaines et la nécessité d'impliquer les chercheurs des sciences du langage. La réflexion proposée par Oumar Dia sur les expériences menées dans le système éducatif sénégalais démontre les étapes de l'introduction des langues nationales à l'école française. Mais, pour Dionnodji Tchaïne, la réussite de l'enseignement/apprentissage en/des langues maternelles est un défi majeur pour le système éducatif tchadien. La place des artefacts pédagogiques dans l'apprentissage et la qualité de la formation des enseignants méritent une attention particulière. Enfin Ousseynou Thiam aborde deux concepts : la francisation et la franconisation africaines. Sa contribution retient que l'offre linguistique et culturelle de l'enseignement de la langue française a beaucoup évolué et les bénéficiaires aussi. Le chercheur trouve que le rôle de l'institution scolaire, les nouveaux artefacts d'apprentissage de la langue, les défis de l'équité et de la qualité rendent compte de la complexité des contextes et de l'intégration effective de la langue française dans le patrimoine éducatif, linguistique et culturel des pays.

Un article explore la question de la formation. Justin Masandi Kisuku Lez présente une recherche sur la formation des enseignants du secondaire de Kinshasa, de la République Démocratique du Congo en interrogeant leurs pratiques d'évaluation formative. La recherche met en relief la mise en œuvre de stratégies lacunaires et l'insuffisance à soutenir les apprentissages des élèves. L'auteur trouve des contingences contextuelles qui rendent peu efficace cette pratique que la formation doit s'évertuer à prendre en charge.

Deux articles portent sur la question de l'évaluation. En examinant l'évaluation des apprentissages et les performances scolaires au Sénégal dans la discipline des sciences de la vie et de la terre (SVT), Pierre Baligue Diouf démontre la non-congruence des pratiques évaluatives avec le programme qui prône l'approche par les compétences (APC) dans les établissements d'enseignement moyen et secondaire au Sénégal. Dans la même veine, Ibn Habib Bawa propose une contribution à la compréhension des performances scolaires des élèves

du second cycle du secondaire au Togo en s'intéressant à la procrastination scolaire. Les résultats portent sur les qualités psychométriques, la performance et le genre, croisés aux disciplines de Français et de mathématiques.

L'éducation physique et sportive (EPS) est questionnée par Ousmane Bâ, Souleymane Diallo et Amadou Anna Sèye. Ces auteurs interrogent précisément l'impact de la pratique de l'EPS sur le développement de l'enfant au Sénégal. Leur objectif consiste à vérifier si le développement de l'enfant se bonifie de l'apprentissage de l'EPS. Leurs résultats sont éclairants quant à la plus-value de l'EPS dans la construction cognitive, physiologique et sociale de l'élève.

Trois articles abordent des problématiques (socio)linguistiques émergentes. D'abord, Mouhamed Abdallah Ly répond à la question : comment la prouesse discursive des jeunes de « Y'en marre » a-t-elle pu se jouer de la surveillance du pouvoir, de la méfiance des élites ? Inscrite dans le domaine des sciences du langage, la recherche propose une réflexion sur la « vocalisation du désespoir des jeunes » et les ressources linguistiques de la contestation. Ensuite, Bernard Kaboré et Issak Sawadogo traitent la question de la caractérisation du discours de la presse écrite locale face à la souffrance et à la mort causées par les attentats terroristes. La stratégie discursive déployée par la presse écrite au Burkina Faso pour relater les faits de manière à susciter l'émotion auprès de l'opinion publique suite aux attaques du 15 janvier 2016 lui sert de matière pour analyser le discours des journalistes où l'émotion tient une grande place. Enfin, Anatole Bère tente de cerner les stratégies discursives des politiques lors des élections municipales du 13 octobre 2018 en Côte d'Ivoire précédées d'une période de campagne électorale marquée par l'usage de slogans à travers des affiches fréquentes. L'auteur les analyse et arrive à la conclusion que la plupart des slogans des candidats sont construits suivant une logique d'enrôlement d'une jeunesse qui représente une frange importante de la population électorale. La structure des slogans est y est étudiée pour comprendre les stratégies discursives qui les sous-tendent.

Cinq articles traitent de l'économie et de l'environnement. Assah N'Détibaye oriente sa recherche sur l'Administration publique tchadienne en y examinant la place de la corruption. La contribution explique que la crise de compétences et la crise financière actuelle font prospérer la corruption. Le cadre méthodologique est empirique et les résultats montrent que ce fléau fait écueil au développement

économique du pays et à l'efficacité gouvernementale. En revanche, Kouadio Adolphe N'goran explore l'expansion socio-économique et l'enracinement d'une communauté confessionnelle en Côte d'Ivoire. Son travail de recherche porte principalement sur les chiites libanais (1921-2009) et démontre que la construction et la préservation de leur harmonie et les racines de leur communauté se font à travers l'éducation. Cependant la proximité de cette communauté avec le Hezbollah est une entrave à leurs actions socioéconomiques. Kouakou Kouamé montre les implications sociolinguistiques dans l'analyse du risque de non-remboursement. Il se fonde son analyse sur la conjugaison des sciences du langage et celles de l'économie, la configuration, les profils sociolinguistiques (marché et emprunteur) et du recours à un interprète pour justifier sa thèse. A leur tour, Abdou Khadre Fall, Mamadou Tandiang Diaw, Abdou Rakhmane Fall et Babacar Mbengue mènent une recherche sur l'élevage des porcs au niveau de la commune de Bambey au Sénégal. Avec des données quantitatives, les résultats mettent en relief les caractéristiques socioéconomiques des éleveurs, la conduite technique, l'évaluation leurs performances économiques leur genre, leur âge moyen, les catégories socioprofessionnelles qui s'y intéressent, les modes de conduite, l'effectif total des porcs... Par ailleurs, réfléchissant sur l'environnement avec une approche géographique, René Ndimag Diouf et Cheikh Faye articulent les événements extrêmes, la variabilité climatique, le faible niveau de maîtrise des eaux et des mauvaises conditions de remplissage des réservoirs et les économies nationales des pays du sahel. Cet article analyse les caractéristiques de l'écoulement du bassin du Bafing en amont de Manantali et leurs implications sur les inondations dans les espaces environnants et la rentabilité de l'économie.

Deux articles sont consacrés à des sujets d'orientation religieuse. Celui de Maguèye Ndiaye et d'Abdoul Ahad Lô invite à la rencontre de Cheikh Ahmad Bamba Mbacké qui fut un soufi modéré, un ascète, rompu à la dévotion, attaché à la sunna du prophète. La création d'un ordre religieux confrérique appelé la Muridiyya, la quête de l'agrément divin, la pratique du soufisme rigoureux, conforme au Coran et à la sunna, la production intellectuelle, religieuse, en prose et en poésie, dans des domaines aussi variés sont étudiés pour mieux faire connaître Khadimu-r Rasul, le serviteur du prophète. Dans le même sillage, Mouhamed Moustapha Dièye et Alassane Sow partagent les résultats de leur recherche sur les stratégies d'implantation, des églises

évangéliques à Dakar. L'adaptation locale et le cosmopolitisme sont des composantes de leurs stratégies. La promesse de "Born Again", les activités d'aide, de prières et des séances de guérison facilitent la promotion de ces églises pentecôtistes. L'étude révèle que les églises tentent de contourner les contraintes liées aux codes d'attribution des lieux de culte, en misant sur la location et l'achat.

Enfin, Secka Gueye interroge les malentendus des rapports entre le Nord et le Sud, à partir d'une approche littéraire de *Mirages de Paris* et *Un Chant écarlate*. L'étude présente le couple mixte, met en relief l'élan de sympathie, dresse des portraits croisés avant d'exposer les tendances caricaturales qui traduisent des relations d'opposition dans un espace de rencontre de deux cultures qui appellent à l'intercompréhension, à l'interculturel.

En somme, ce premier volume traduit la vitalité de la recherche dans beaucoup de pays en Afrique et mutualise des cadres de référence méthodologiques essentiellement empiriques et producteurs de résultats probants. Il est complété par un second volume contenant des contributions aussi diverses que significatives sur les sciences de l'éducation et sur les disciplines fondamentales.

Ousseynou Thiam

René Ndimag Diouf, Cheikh Faye

CARACTERISTIQUES DE L'ÉCOULEMENT ET DES ÉVÈNEMENTS EXTREMES (CRUES ET INONDATIONS) DANS LE BASSIN DU BAFING EN AMONT DE MANANTALI

Résumé

Les événements extrêmes ponctuent la variabilité climatique qui agit directement sur les économies nationales des pays du sahel, en raison du faible niveau de maîtrise des eaux et des mauvaises conditions de remplissage des réservoirs. Cet article vise à analyser les caractéristiques de l'écoulement du bassin du Bafing en amont de Manantali et leurs implications sur les inondations dans les espaces environnants. L'équation de la tendance linéaire a été utilisée pour déterminer la nature de la tendance de l'écoulement. Les séries de débits écoulés sont également subdivisées en sous-périodes pour identifier les tendances décennales. L'indice d'anomalies hydrologiques (IAH) a été utilisé pour déterminer les années de sécheresse et d'humidité. L'indice de saisonnalité calculé a montré que la plupart des débits s'écoulent en août, septembre et octobre. Les tendances linéaires ont montré que l'augmentation du rendement hydrométrique annuel est principalement due à une augmentation des débits écoulés en septembre (qui enregistre 31,4% du débit annuel), suivi d'août et d'octobre. L'analyse des séries a révélé que les débits écoulés ont augmenté entre 2000-01 et 2014-15. Les résultats de ces deux dernières sous-périodes (1995-2004 et 2005-2014) montrent une augmentation des débits écoulés (d'environ 92,8 m³/s au taux de 2,32 m³/s par an) qui pourrait être responsable des inondations notées dans le delta et la vallée du fleuve Sénégal, d'où l'importance d'en tenir compte dans la conception des barrages.

Mots-clés : tendances, écoulement, évènements extrêmes, bassin du Bafing

Abstract

Extreme events punctuate climatic variability which acts directly on the national economies of the Sahel countries, due to the low level of water control and the poor conditions of filling tanks. This article aims to analyze the characteristics of the flow of the Bafing basin upstream of

Manantali and their implications on the floods in the surrounding areas. The linear trend equation is used to determine the nature of the flow trend. The series of past flows are also subdivided into sub-periods to identify ten-year trends. The Hydrological Anomaly Index (HAI) is used to determine the years of drought and humidity. The calculated seasonality index showed that most of the flows take place in August, September and October. Linear trends have shown that the increase in annual hydrometric yield is mainly due to an increase in flows in September (which accounts for 31.4% of annual flow), followed by August and October. Analysis of the series revealed that flow rates increased between 2000-01 and 2014-15. The results of these last two sub-periods (1995-2004 and 2005-2014) show an increase in flow rates (by approximately 92.8 m³ / s at the rate of 2.32 m³ / s per year) which could be responsible floods noted in the delta and the Senegal river valley, hence the importance of taking them into account in the design of dams.

Keywords: trends, flow, extreme events, Bafing River Basin

Introduction

Au cours des dernières décennies, le changement climatique a été l'un des sujets les plus brûlants de la climatologie et de l'hydrologie. Au-delà des températures, les précipitations et l'écoulement sont considérés comme des éléments les plus importants qui peuvent directement refléter le changement climatique. Le changement climatique est à l'origine de l'accentuation des catastrophes naturelles et des phénomènes extrêmes (sécheresse, inondations, etc. (GIEC, 2014). Les événements extrêmes de précipitations provoquent souvent une série d'événements hydrologiques extrêmes tels que les sécheresses et les inondations (Xu & *al.*, 2015). Dans cette situation, les zones où la principale source de revenus économiques dépend de l'agriculture peuvent être influencées de toute évidence par les changements des précipitations et de la température et leurs impacts sur les ressources en eau (Radinovi'c & C'uric', 2012). Depuis le début du 21^e siècle, de nombreuses études sur les précipitations extrêmes et sur l'écoulement (Sighomnou, 2004, Milly *et al.*, 2005, Sharma *et al.*, 2010) à l'échelle mondiale, régionale et nationale ont été faites. Ces études ont indiqué le bouleversement climatique depuis les années 1970 qui s'est traduit

par une tendance générale à la baisse des débits du fleuve dans certaines régions du globe, particulièrement en l’Afrique de l’Ouest.

Devant la succession d’épisodes climatologiques (sécheresses et inondations) et hydrologiques (crues et étiages) extrêmes, il est fréquent d’invoquer sur la base d’analyse des données, le changement climatique pour expliquer leur augmentation. C’est dans ce sillage que de nombreuses études ont été faites sur le bassin versant du fleuve Sénégal (Sow, 2007, Bodian, 2011, Faye, 2013 ; 2017, Faye *et al.*, 2015). Le bassin du fleuve Sénégal a connu une variabilité climatique depuis les années 1970 marquée par une baisse des précipitations (Sow, 2007) qui s’est traduit par une diminution importante des écoulements de surface (Faye *et al.*, 2015), comme l’attestent les années 1983 et 1984 où l’écoulement a même cessé à Bakel. Cette baisse des écoulements a impacté négativement sur de très nombreux secteurs d’activités (production agricole, industrie, alimentation en eau potable, navigation...), installant le bassin dans une crise écologique sans précédente (Tropica Environnemental Consultants, 2008).

Fidèle à sa mission de préservation de l’équilibre des écosystèmes dans le bassin du fleuve Sénégal, l’Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) veille au grain en faisant des prélèvements hydrométriques réguliers sur les cotes du fleuve. Pour remédier à cette baisse des écoulements, assurer une meilleure maîtrise des ressources en eaux et impulser des actions de développement, l’OMVS a réalisé d’importants aménagements sur le fleuve Sénégal, les barrages de Diama (en 1986) et de Manantali (en 1988). Dans ce contexte de déficit hydrologique, la mise en place de ces ouvrages a permis la maîtrise des écoulements sur le tronçon du Bafing et la gestion des crues en aval du bassin du fleuve Sénégal (à partir de Bakel). Seulement, de nouvelles études ont mis en exergue la hausse de la pluie et de l’écoulement dans la zone, ce qui présage d’une amélioration du régime hydrologique (Ali *et al.*, 2008, Niang, 2008 ; Bodian, 2014 ; Faye *et al.*, 2015) et d’une recrudescence des inondations.

Une situation d’inondation existe lorsque le débit d’une rivière ne peut être évacué dans les marges de son chenal normal, l’eau se répandant sur les terres basses adjacentes occupées par les terres agricoles ou urbaines, y compris les zones résidentielles (Strahler & Strahler, 2003, Abashiya, 2006). Au cours des dernières années, il y a eu une augmentation des inondations qui ont causé des dégâts en terme de pertes de vies humaines et matérielles. (Abashiya *et al.*, 2017). Pourtant,

d'importantes crues et des débordements du fleuve Sénégal sont indiqués dans les récits des voyageurs, les documents historiques et les anciennes cartes géographiques bien avant 1903 (début des premières mesures de hauteurs d'eau). Les grandes crues répertoriées sont celles de 1827, 1841, 1843, 1853 (Kane, 2002), entraînant des débordements du fleuve si grands que leurs habitations étaient pleines d'eau jusqu'au premier étage (Hardy, 1921).

Les inondations dévastatrices surviennent lors des pluies diluviennes dans de nombreuses parties du pays. Des études ont montré que le bassin du fleuve Sénégal est sujet à de fréquentes inondations et sécheresses en raison de la grande variabilité interannuelle des précipitations; les effets les plus dévastateurs de ces événements extrêmes, en particulier les inondations, sont le lessivage des terres agricoles, affectant la production agricole et la sécurité alimentaire, la destruction des habitations, les risques accrus pour la santé et la propagation des maladies infectieuses (Sawa, 2002, Abashiya *et al.*, 2017). La ressource peut donc devenir un problème en raison de sa surabondance comme ce fut le cas avec les inondations dévastatrices de 1890, 1906 et 1950 (Roche, 2003). Le bassin du Bafing n'a pas été épargné et les fortes averses qui s'y abattent provoquent souvent des inondations occasionnant des désagréments.

Dans un contexte climatique marqué par une éventuelle augmentation de l'occurrence et de l'impact des inondations dans les années à venir, il est indispensable de pouvoir analyser les variables hydrologiques en vue de proposer aux populations des mesures adaptées. C'est dans cet ordre d'idées que la présente étude a été initiée dans le haut bassin du fleuve Sénégal, notamment le bassin du Bafing qui est sujet depuis quelques années à des excédents hydrométriques. Le but de cet article est d'analyser les caractéristiques de l'écoulement dans le bassin du Bafing en amont de Manantali afin d'examiner les implications sur les inondations. Cela revêt une importance capitale car les crues et les inondations constituent des risques naturels contre lequel il faut se protéger aussi bien par la prévention que par la prévision. En outre, la gestion rationnelle des eaux du bassin du fleuve Sénégal et du barrage de Manantali, et la maîtrise des inondations dans la vallée nécessitent une meilleure connaissance des crues sur les tronçons non aménagés.

1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est le haut bassin du fleuve Sénégal, un espace qui s'étend, du point de vue administratif, sur le Nord-ouest de la Guinée Conakry et le Sud-est du Mali avec une superficie de 21290 km² à la station hydrométrique de Bafing Makana (*Figure n° 1*).

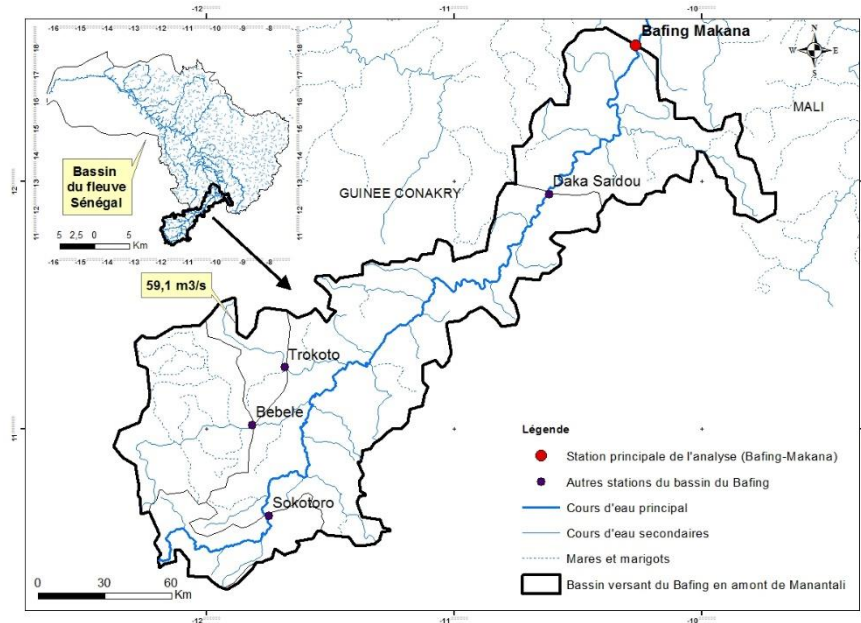


Figure 1 : Localisation du haut bassin du Sénégal, ainsi que des stations hydrométriques

Le bassin du Bafing est situé entre les latitudes 10°30' et 12°30' N et les longitudes 12°30' et 9°30' W (*Figure n° 1*). Le réseau hydrographique du haut bassin est dense mais les sols et les formations géologiques ne permettent pas l'existence de nappes importantes (Rochette, 1974). En effet, les roches dures représentent près de 54 % des affleurements (Coly, 1996). Le relief de la zone d'étude est constitué de plaines et de plateaux d'altitude variant de 215 à 1389 m (Bodian, 2011) et traduisant l'importance du volume montagneux du Fouta Djallon et la forte incision du relief. Sa végétation est dense mais présente des signes de dégradation due aux effets conjugués des facteurs naturels et anthropiques (CSE, 2006). Le haut bassin du fleuve Sénégal se situe dans le climat guinéo-soudanien caractérisé par une seule saison des pluies dans l'année qui va d'avril à octobre (Dione,

1996). La pluviométrie moyenne annuelle sur la période 1923-2005 varie entre 2000 mm au Sud du bassin et 1200 mm au Nord (Bodian, 2011). La température y est plus variable et l'humidité relative demeure plus basse. L'harmattan, chaud et sec d'origine sud-est saharienne, souffle au maximum en saison sèche. Le haut bassin, au régime hydrologique essentiellement pluvial, subit fortement les déficits pluviométriques (Olivry, 1994). L'écoulement est concentré entre les mois de juillet et d'octobre avec un maximum en septembre.

L'analyse du modèle numérique d'altitude, montre que du point de vue topographie, le bassin est allongé du Sud vers le Nord, des massifs du Fouta Djallon (1445 m) aux étendues dunaires et sableuses du Nord, en Mauritanie et au Sénégal. Le point culminant du bassin est 1330 m avec une altitude moyenne de 1000 dans les massifs guinéens. C'est à ces altitudes que le Bafing et la Téné prennent leur source pour couler vers le Nord en direction du Mali (*Figure n° 2*). En revanche la vallée et le delta constituent des régions de basses altitudes, composées de plateaux et de plaines. A la latitude de Richard-Toll, les hautes levées sont relayées par une vaste zone d'inondation d'altitude moyenne inférieure à 2 m IGN. L'impact des écoulements dans le haut bassin étudié sur les risques d'inondations dans la vallée et le delta s'explique par la faiblesse de l'altitude, à laquelle s'ajoutent les modifications de l'occupation des sols (installation des populations dans des zones inondables et aménagements de périmètres hydro agricoles).

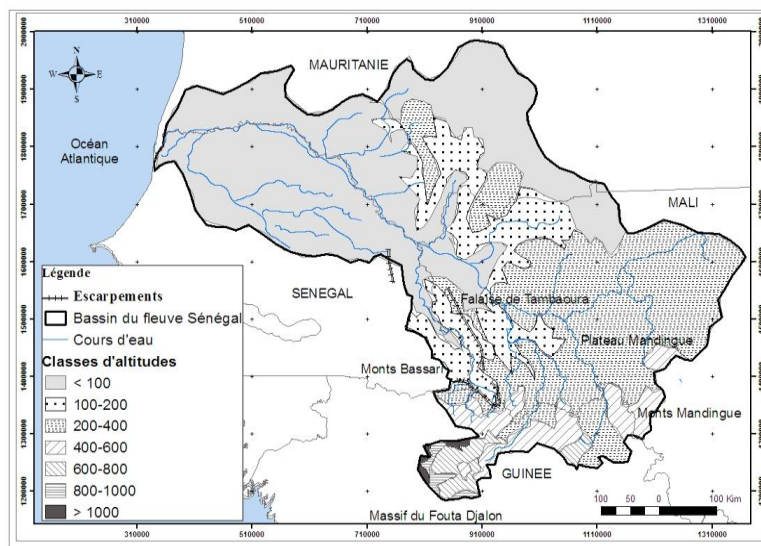


Figure 1: Carte du modèle numérique d'altitude du bassin du fleuve Sénégal (Source : STRM, résolution 30m)

2. Données et méthodes

2.1. Données

Les données de base sont constituées de relevés hydrométriques mensuels provenant de la station hydrométrique de Bafing-Makana (Tableau n° 1). Les données ont été mises à notre disposition par l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS). Les données sont disponibles de 1975 à 2014. La variable d'étude est le débit mensuel de la période 1975-76 à 2014-15. La station de Bafing-Makana obéit à des critères de continuité, de durée de l'information disponible et de qualité des données. Son choix s'est également effectué de manière à permettre une couverture plus homogène possible de la zone d'étude. Cette station contrôle l'essentiel des débits du haut bassin du fleuve Sénégal en amont du barrage de Manantali. Pour cette étude, seuls les débits mensuels pour les mois de hautes eaux (juillet-octobre auxquels on a rajouté les mois de novembre et décembre où l'écoulement est non négligeable) et annuels ont été utilisés. La principale raison de l'utilisation de juillet à décembre est que 95% du débit écoulé dans le bassin se situent dans ces mois.

2.2. Méthodes

2.2.1. Coefficients standardisés de Skewness et de Kurtosis

La normalité dans les séries de débit a été testée en utilisant les coefficients standardisés des statistiques de Skewness (Z_1) et de Kurtosis (Z_2) tels que définis par Sandra Brazel et Robert Balling (1986). Le coefficient standardisé de l'asymétrie de Skewness (Z_1) est calculé comme suit :

$$Z_1 = \frac{\left[\frac{\left(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \frac{3}{N} \right)}{\left(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \frac{2}{N} \right)^{\frac{3}{2}}} \right]}{\left(\frac{6}{N} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

Et le coefficient standardisé de l'aplatissement de Kurtosis (Z_2) est déterminé comme suit :

$$Z_2 = \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \frac{4}{N} \right)}{\left(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \frac{2}{N} \right)^2} \right] - \frac{3}{\left(\frac{24}{N} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

Où, \bar{x} est la moyenne à long terme des valeurs de x_i , et N est le nombre d'années dans l'échantillon. Ces statistiques ont été utilisées pour tester l'hypothèse nulle dans les échantillons temporels individuels d'une population avec une distribution normale (gaussienne). Si la valeur absolue de Z_1 ou Z_2 est supérieure à 1,96, un écart significatif par rapport à la courbe normale est indiqué au niveau de confiance de 95%.

2.2.2. Indice relatif de saisonnalité

L'indice relatif de saisonnalité (IS) de la série des débits écoulés a également été calculé en utilisant les statistiques de Walsh et Lawler (1981). Cela est fait afin de montrer le type de régime dans lequel l'écoulement du bassin du Bafing peut être classé. Cet indice est calculé comme suit :

$$IS = \frac{1}{R} \sum_{n=1}^{n=12} \left| \bar{x}_n - \frac{R}{12} \right| \quad (3)$$

Où \bar{x}_n est le débit écoulé du mois n et \bar{R} le débit moyen écoulé sur la période

2.2.3. Test de Cramer

Les séries des débits écoulés ont également été subdivisées en sous-périodes non chevauchantes de 10 ans (1975-1984, 1985-1994 ; 1995-2004 ; 2005-2014) afin de déterminer les tendances décennales. Le test de Cramer (Lawson *et al.*, 1981) a ensuite été utilisé pour comparer les moyennes des sous-périodes avec la moyenne de toute la série. La statistique t_k est calculée comme suit :

$$t_k = \left(\frac{n(N-2)}{N-n(1+\tau_k^2)} \right)^{\frac{1}{2}} \tau_k \quad (4)$$

Où τ_k est une mesure standardisée de la différence entre les moyennes données comme :

$$\tau_k = \frac{\bar{x}_k - \bar{x}}{S} \quad (4)$$

Où \bar{x}_k est la moyenne de la sous-période de n-années, \bar{x} et S sont respectivement la moyenne et l'écart-type de la série entière et t_k est la valeur de la distribution t étudiée avec N-2 degrés de liberté. Il est ensuite testé par rapport à la table de répartition « étudiée » à un niveau de confiance de 95% approprié à un test bilatéral. Il est admis que la différence entre la moyenne globale et la moyenne de certaines parties de l'enregistrement est significative chaque fois que t_k est en dehors des limites de la probabilité bilatérale de la distribution gaussienne (égale à 1,96 à un niveau de confiance de 95%).

2.2.4. Indice des anomalies hydrologiques

L'indice des anomalies hydrologiques (IAH) est similaire à l'indice des anomalies pluviométriques, proposé en 1965 (Van Rooy, 1965, mentionné par Loukas *et al.*, 2003) qui peut être utilisé dans de nombreuses zones climatiques. Conformément à la méthodologie, les données doivent être ordonnées pour mettre en évidence les anomalies positives et négatives. L'équation de calcul a la forme suivante :

$$IAH = 3[(D_i - \bar{D})(\bar{m} - \bar{D})] \text{ Pour les anomalies positives} \quad (5)$$

$$IAH = -3[(D_i - \bar{D})(\bar{x} - \bar{D})] \text{ Pour les anomalies négatives} \quad (6)$$

Où D_i est le débit de l'année i , \bar{D} le débit moyen de la série sur l'échelle temporelle considérée, \bar{m} la moyenne des dix valeurs les plus élevées de D de la série et \bar{x} la moyenne des dix valeurs les plus faibles de la série. Les valeurs de seuil arbitraires de +3 et -3 ont été assignées à la moyenne des dix anomalies positives et négatives les plus extrêmes.

Dans cette étude, une classification modifiée de la RAI a donc été adoptée. L'IAH nous fournit une caractérisation hydrologique facile de tout intervalle et ses valeurs sont évaluées selon un système de classification donnée dans le *Tableau n° 1*.

Tableau 1: Classification des séquences de sécheresse selon l'IAH

Valeurs de l'ILP	Séquences de sécheresses	Valeurs de l'ILP	Séquence humides
$00 < IAH < 1,0$	En limites normales	$00 < IAH < 1,0$	En limites normales
$-1,0 < IAH < -2,0$	Peu sèche	$1,0 < IAH < 2,0$	Peu humide
$-2,0 < IAH < -3,0$	Modérément sèche	$2,0 < IAH < 3,0$	Modérément humide
$-3,0 < IAH < -4,0$	Fortement sèche	$3,0 < IAH < 4,0$	Très humide
$IAH < -4,0$	Excessivement sèche	$IAH > 4,0$	Excessivement humide

2.2.5. Tendances linéaires des séries

Les courbes de tendance linéaires et la moyenne mobile ont été calculées et tracées à la fois pour les débits mensuels (juillet à octobre) et annuels (écoulement et crue) pour la station de Bafing Makana, en utilisant l'outil statistique Microsoft Excel (2013), afin d'examiner la nature de la tendance. Dans ce travail, la moyenne mobile sur cinq ans a été adoptée afin de lister les séries temporelles, réduisant ainsi les

fluctuations irrégulières et mettant en évidence celles qui sont régulières.

3. Résultats

Les valeurs de l'indice relatif de saisonnalité (IS) calculées sont différentes de 0 et mettent donc en évidence une grande variation saisonnière des débits écoulés dans le bassin du Bafing (*Tableau n° 2*). Il n'est positif que sur les mois (de juillet à octobre) qui ont un CMD supérieur ou égal à 1, ce qui correspond à la période de hautes eaux dans ce bassin qui a un régime tropical de transition. Ces quatre mois à IS positif représentent un peu plus de 84% du débit écoulé sur l'année dans le bassin avec un mois de septembre, mois du maximum de l'écoulement, qui représente à lui seul 31,4% du débit annuel. Il est suivi du mois d'août et d'octobre avec respectivement 26,9% et 16,9% du débit annuel écoulé sur la période. Les mois de novembre (-0,01) et de décembre (-0,05), malgré des IS négatifs, ont un écoulement non négligeable avec respectivement 190 m³/s (soit 7,25% du débit annuel écoulé) et 83,8 m³/s (soit 3,20% du débit annuel écoulé) et retenus dans cette analyse de de l'écoulement et des événements extrêmes (inondations) dans le bassin du Bafing.

Tableau 2 : Statistiques générales des débits écoulés dans le bassin du Bafing de 1975 à 2014

Paramètres	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	AN
Moyenne	4,4	44,4	235	704	822	441	190	83,8	47,3	26,9	12,6	5,1	218
Ecart type	6,2	30,9	86,4	180	223	131	74,6	25,2	14,1	9,3	5,7	3,5	45,8
CV	1,40	0,69	0,36	0,25	0,27	0,29	0,39	0,30	0,29	0,34	0,45	0,68	0,2
Proportion %	0,17	1,70	8,97	26,9	31,4	16,9	7,25	3,20	1,81	1,03	0,48	0,20	94,6
CMD	0,02	0,20	1,08	3,23	3,77	2,02	0,87	0,38	0,22	0,12	0,06	0,02	1,00
Indice de saisonnalité IS	-0,08	-0,07	0,01	0,19	0,23	0,09	-0,01	-0,05	0,07	0,07	0,08	0,08	0,92

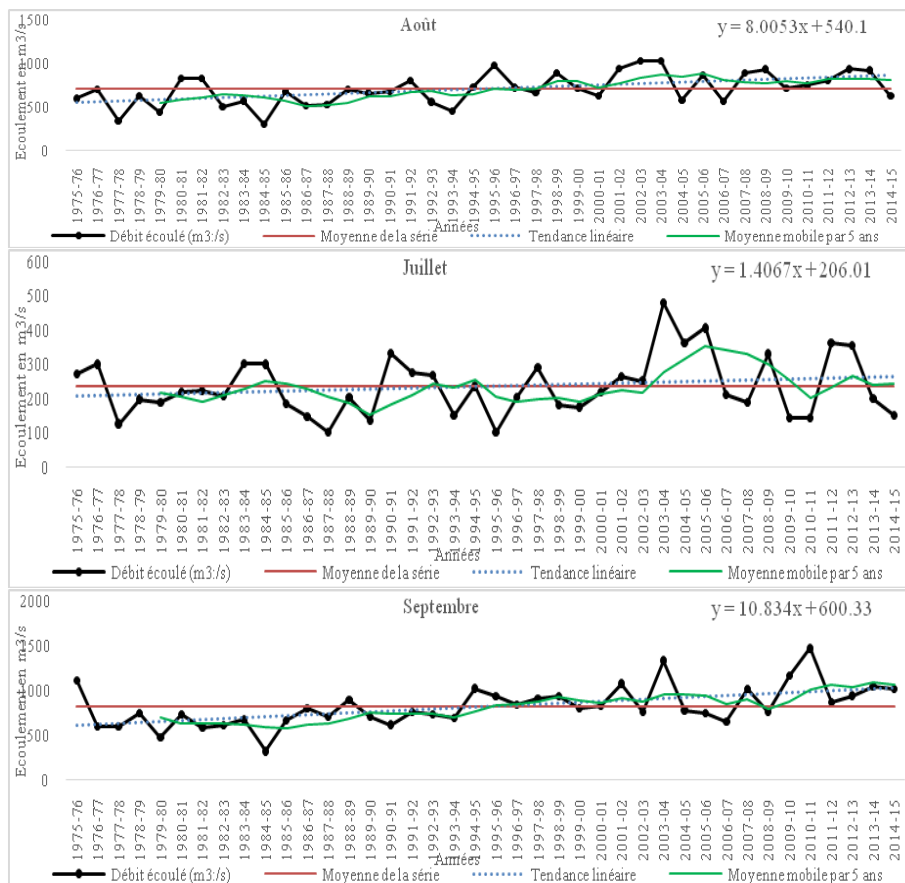
Skewness (Z ₁)	3,08 *	1,94	0,72	-0,11	0,67	0,71	1,84	0,83	0,66	0,54	0,69	0,81	0,1
Kurtosis (Z ₂)	11,5 *	4,92 *	0,31	-0,49	1,17	0,18	4,03	0,59	-0,06	0,03	0,24	0,12	-0,1
Tendance (m ³ /s/ans)	0,074	0,109	1,406	88	10,88	4,26	1,458	0,88	0,54	0,4	0,25	0,11	2,32
Total changement (m ³ /s/40 ans)	2,96	4,36	56,24	320	432	170,4	58	35,2	21,6	16	10	4,4	92,8

* Significatif au niveau de confiance de 95%

Les statistiques générales des débits écoulés mensuels (juillet-décembre) et annuels de la zone d'étude présentées dans le *Tableau n° 2* montrent que les résultats de Z₁ et Z₂ ont été acceptés comme indicatifs de normalité au niveau de confiance de 95% à l'exception de Z₂ pour le mois de novembre (4,03) qui montre un écart significatif par rapport à la normale. La valeur annuelle de Z₁ (0,1) est positive et très proche de 0, ce qui indique une répartition de la distribution presque symétrique autour de la moyenne. Pour la mesure d'aplatissement (Z₂) qui apporte des informations importantes autour des extrémités et du pic d'une distribution, sa valeur annuelle de -0,1 négative et très proche de 0 indique un aplatissement de la distribution presque normale. Par conséquent, les données ont été utilisées sans aucune transformation. Le *Tableau n° 2* montre également que le pic de la période de hautes eaux est en septembre avec des débits moyens écoulés de 822 m³/s et un écart-type de 223.

Les valeurs des tendances des données des débits écoulés sont également présentées dans le *Tableau n° 2*, alors que la *Figure n° 3* montre la présentation graphique des tendances des débits mensuels écoulés lissés avec la moyenne mobile sur 5 ans. Les résultats des lignes de tendance linéaires mensuelles (*Figure n° 3*) pour la période d'étude (1975-2014) ont clairement montré une augmentation générale des débits écoulés sur tous les mois (quoique non significative sur certains). L'estimation des changements des débits annuels écoulés sur la période d'étude indique une augmentation d'environ 92,8 m³/s au taux de 2,32 m³/s par an.

Il en résulte des tendances linéaires que l'accroissement du rendement hydrologique annuel découle principalement de l'augmentation substantielle des débits écoulés en septembre (432 m³/s au rythme de 10,8 m³/s par an), suivi du mois août (320 m³/s au taux de 8 m³/s par an). Un examen général des moyennes mobiles sur cinq ans par mois (Figure n° 3) montre que les débits écoulés ont connu une hausse entre les années 2000 et la fin de la période d'étude (2014-15). La Figure n° 3 montre que les débits annuels écoulés sont généralement supérieurs à la moyenne de la série (221 m³/s) de 1995 à 2014 (seules 1996, 2000, 2004 et 2006 ont un débit inférieur). Cela est une indication supplémentaire de l'augmentation des tendances ces dernières années. La période (1979-1997) dans laquelle la moyenne mobile sur cinq ans était inférieure à la moyenne de la série coïncidait avec la sécheresse des années 1980 dans le bassin.



Caractéristiques de l'écoulement et des événements extrêmes (crues et inondations) dans le bassin du Bafing en amont de Manantali

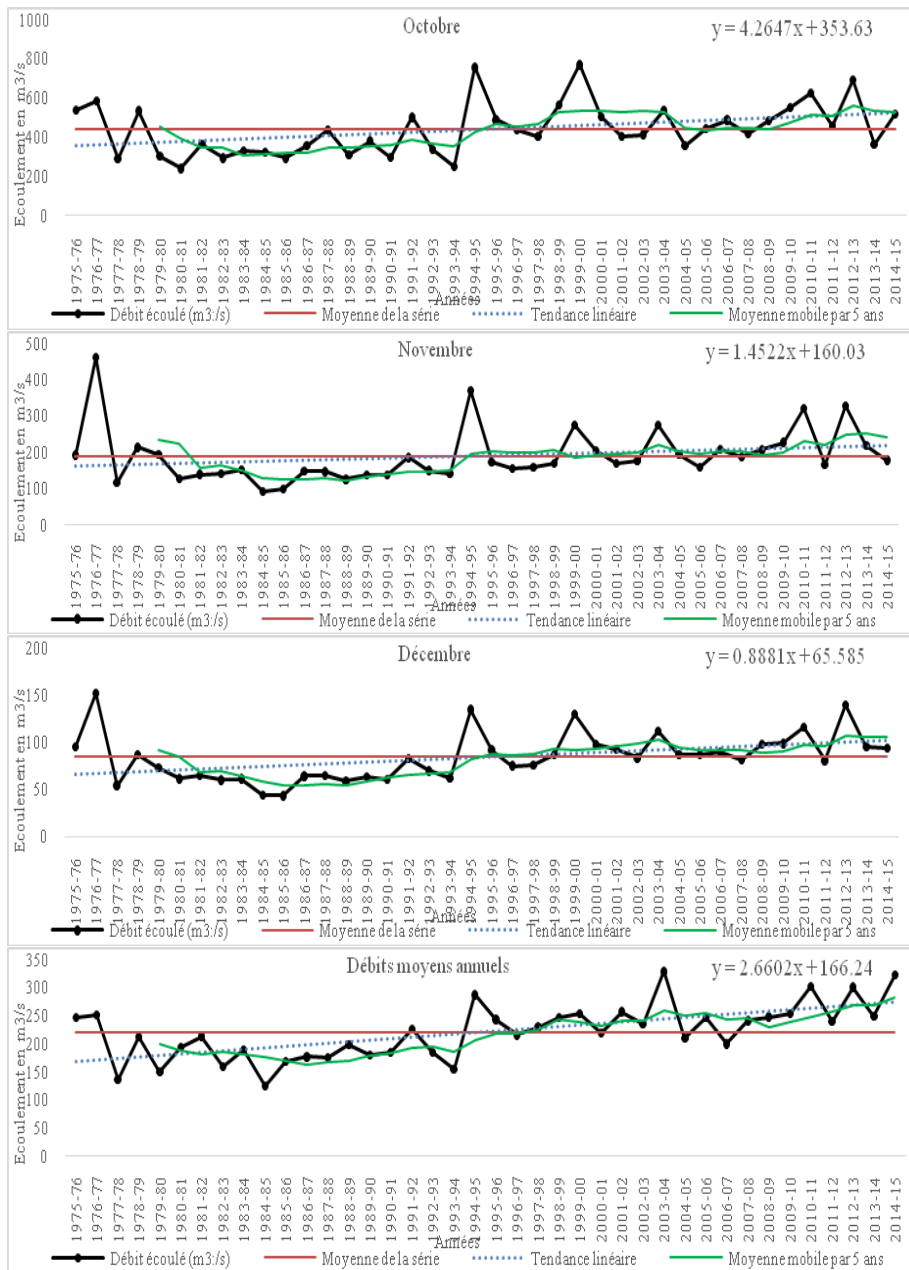


Figure 2: Tendances des débits écoulés dans le bassin du Bafing à Bafing Makana (de juillet à décembre)

Les résultats de l'analyse de la sous-période non chevauchante décennale (test de Cramer) pour les débits écoulés mensuels et annuels de la zone d'étude présentée dans le **Tableau n° 3** ont montré que les sous-périodes 1975-1984 et 1985-1994, aux valeurs inférieures à la moyenne de la série, sont plus sèches (valeurs du test négatives), mais non statistiquement significatif à un niveau de confiance de 95%. En revanche, les sous-périodes 1995-2004 et 2005-2014 montrent un écoulement en hausse (valeurs du test positives) qui coïncide avec les récentes inondations notées dans la vallée et le delta du fleuve Sénégal (2003, 2010, 2012, 2013...) susceptibles de causer des dégâts importants sur la vie et les activités socioéconomiques, ce qui pose avec acuité le problème de la protection de ces zones vulnérables en période de hautes eaux.

Tableau 3: Résultats de l'analyse des sous-périodes sans chevauchement sur 10 ans (test de Cramer) dans le bassin du Bafing de 1975 à 2014

Date	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	AN
1975-84	1,10	1,97	0,07	5,60	6,47	3,14	0,63	2,35	2,59	3,06	2,87	1,20	5,12
1985-94	-4,32	-4,89	2,40	2,74	1,83	2,50	2,36	3,87	4,53	4,43	5,27	4,29	3,93
1995-04	1,40	0,27	1,32	4,49	2,92	2,39	0,38	2,35	2,85	2,01	3,60	2,62	3,80
2005-14	1,36	2,06	1,07	3,60	4,80	3,25	2,64	3,86	4,21	5,41	4,37	2,63	5,28

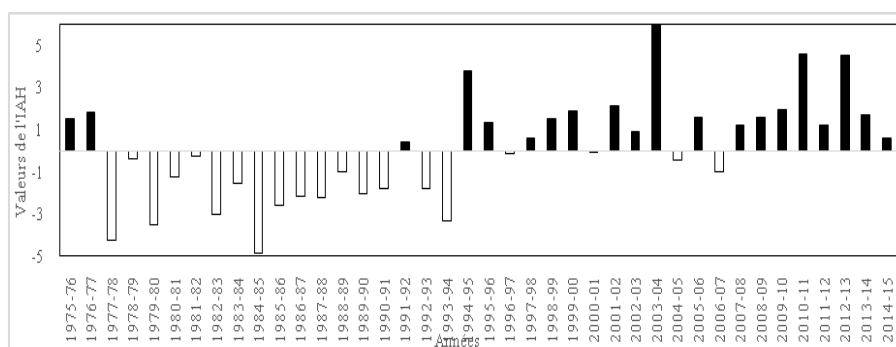


Figure 3 : Occurrence des années humides et sèches dans le bassin du Bafing de 1975 à 2014

Les années humides et sèches sont représentées à la *Figure n° 3* et les statistiques des années excessivement humides, très humides, modérément humides, légèrement humides et presque normales sont indiquées dans le *Tableau n° 4*. L'examen de la *Figure n° 3* indique autant d'années sèches (20 ans) que d'années humides, en particulier au cours des deux dernières décennies (1995-2014) très largement humides. Seules trois années humides sont situées sur les deux premières décennies (1975-1994) très largement sèches. L'occurrence des années humides présentée dans le *Tableau n° 4* a montré que trois années (2003, 2010 et 2012) soit 8% de la série sont apparues dans des conditions excessivement humides, Ces résultats correspondent aux inondations notées dans la vallée et le delta du fleuve Sénégal. Pour illustrer cela : à suite à la rue d'octobre 2003, le risque d'inondation était tellement élevé qu'il fallait ouvrir canal pour sauver la ville de Saint-Louis, soumise à des inondations fluviales récurrentes à la fin de la saison des pluies. En effet, depuis l'ouverture de la brèche, la ville a été en partie épargnée car son élargissement spectaculaire, qui est devenue la nouvelle embouchure, Ceci a permis d'évacuer rapidement les eaux lors de ces crues. Cependant, en corollaire, les courants marins ont fortement modifié le régime hydrologique (Durand *et al.*, 2010).

Tableau 4 : Années d'occurrence des conditions sèches, humides et normales dans le bassin du Bafing de 1975 à 2014

Séquences de sécheresses	Caractéristiques			Séquence humides	Caractéristiques		
	Nb.	%	Années		Nb.	%	Années
En limites normales	6	15	1978, 1981, 1996, 2000, 2004 et 2006	En limites normales	4	10	1991, 1997, 2002 et 2014
Peu sèche	5	13	1980, 1983, 1988, 1990 et 1992	Peu humide	11	28	1975, 1976, 1995, 1998, 1999, 2005, 2007, 2008, 2009, 2011 et 2013
Modérément sèche	4	10	1985, 1986, 1987 et 1989	Modérément humide	1	3	2001

Fortement sèche	3	8	1979, 1982 et 1993	Très humide	1	3	1994
Excessivement sèche	2	5	1977 et 1984	Excessivement humide	3	8	2003, 2010 et 2012
Total	20	50	-	Total	20	50	-

Sur la série, la seule année (1994) considérée comme très humide correspond aux premiers débordements importants récents constatés au cours de la saison de hautes eaux 1994-95 et correspondant à une crue moyenne. Au cours de cette année, 120000 personnes se sont retrouvées sans abri dans la région de Saint-Louis, occasionnant le déplacement des populations en proie à des problèmes sanitaires et à l'inondation des terres cultivables. Cette année-là, le débit maximum observé pendant la crue à Bakel fut de $4\,160\text{ m}^3/\text{s}$ le 1^{er} septembre 1994, valeur qui n'avait jamais été dépassée depuis le pic de $4800\text{ m}^3/\text{s}$ enregistré en 1975. Cependant, des débits plus importants ont déjà été observés sans déclencher les inondations catastrophiques de nos jours, comme par exemple le débit journalier le plus élevé observé à Bakel en septembre 1967 avec $6740\text{ m}^3/\text{s}$ (Kane, 2002).

Enfin, une seule dans la série est considérée comme modérément humide (2001) et 11 années (soit 28%) se situent dans des conditions légèrement humides (ce fut le cas en 1975, 1976, 1995, 1998...). Un examen attentif de ces quatre catégories d'années humides (excessivement humides, très humide, modérément humide et légèrement humide) a montré que 17 des 20 années humides (soit un pourcentage de 85%) se sont produites au cours de ces 20 dernières années (1995-2014), ce qui indique une augmentation de l'écoulement dans le bassin du Bafing en amont de Manantali.

4. Discussion

Cet article vise à analyser les caractéristiques de l'écoulement du bassin du Bafing en amont de Manantali et leurs implications sur les inondations dans les espaces environnants. Les tendances linéaires ont montré que l'augmentation du rendement hydrométrique annuel est principalement due à une augmentation des débits écoulés en septembre (qui enregistre 31,4% du débit annuel), suivi d'août et d'octobre. L'analyse des séries a révélé que les quatre mois à IS positif

représentent un peu plus de 84% du débit écoulé sur l'année dans le bassin avec un mois de septembre, mois du maximum de l'écoulement, qui représente à lui seul 31,4% du débit annuel. De plus, les débits écoulés ont augmenté entre 2000-01 et 2014-15. Les résultats de ces deux dernières sous-périodes (1995-2004 et 2005-2014) montrent une augmentation des débits écoulés (d'environ 92,8 m³/s au taux de 2,32 m³/s par an). Cette hausse des débits est responsable des inondations notées dans le delta et la vallée du fleuve Sénégal. Des études ont montré que le bassin du fleuve Sénégal est sujet à de fréquentes inondations et sécheresses en raison de la grande variabilité interannuelle des précipitations.

Les résultats de cette étude suggèrent la fin de la sécheresse durant les années 1990 et montrent que la zone du bassin du Bafing a connu une période d'humidité au milieu des années 1990. L'augmentation de la pluviométrie et de l'écoulement dans le bassin au cours des deux dernières décennies vient confirmer les travaux de nombreux en Afrique de l'Ouest (Ali *et al.*, 2008, Niang, 2008, Diouf, 2011, Bodian, 2014, Faye *et al.*, 2015, Abaje *et al.*, 2017, Abashiya *et al.*, 2017). Ces travaux ont suggéré la fin de la sécheresse sahélienne durant les années 1990. Les résultats obtenus sont également en accord avec l'étude de Faye *et al.* (2015) sur l'évaluation des ressources en eaux du fleuve Sénégal dans un contexte de changement climatique et d'aménagements des bassins versants où ils mettent en exergue la hausse de l'écoulement dans la zone présageant d'une amélioration du régime hydrologique, par comparaison à la période de sécheresse des années 1970 et 80. Même si la persistance et la durabilité de la hausse de l'écoulement dans le bassin du Bafing restent encore à prouver, ce scénario a des implications sur les récentes inondations dans la vallée et le delta du fleuve Sénégal. Néanmoins, les résultats de cette étude sont en contradiction avec d'autres travaux (L'Hôte *et al.*, 2003, Frappart *et al.*, 2009, Lebel & Ali, 2009) qui estiment que la pluviométrie évolue peu depuis la fin des années 1960 et reste déficitaire.

Cette étude reste une contribution parmi les nombreuses études faites sur le bassin versant du fleuve Sénégal (Sow, 2007, Bodian, 2011, Faye, 2013 ; 2017, Faye *et al.*, 2015). Ce bassin du fleuve Sénégal a connu une variabilité climatique depuis les années 1970 marquée par une baisse des précipitations (Sow, 2007) qui s'est traduit par une diminution importante des écoulements de surface (Faye *et al.*, 2015),

comme en attestent les années 1983 et 1984 où l'écoulement a même cessé à Bakel. Dans ce contexte de déficit hydrologique, la mise en place de ces ouvrages a permis la maîtrise des écoulements sur le tronçon du Bafing et la gestion des crues en aval du bassin du fleuve Sénégal (à partir de Bakel). Seulement, de nouvelles études (Ali *et al.*, 2008, Niang, 2008 ; Bodian, 2014 ; Faye *et al.*, 2015), à l'image de celle-ci, ont mis en exergue la hausse de la pluie et de l'écoulement dans la zone, ce qui présage d'une amélioration du régime hydrologique et d'une recrudescence des inondations.

Conclusion

La présente étude a permis de mettre en évidence, à travers les résultats des lignes de tendance linéaires mensuelles et annuelles sur la période d'étude (1975-2014), une augmentation générale des débits écoulés. L'augmentation du rendement hydrologique annuel est principalement due à l'augmentation substantielle des débits écoulés en septembre. Les moyennes mobiles sur cinq ans montrent que les débits écoulés ont augmenté entre les années 2000 et la fin de la période d'étude (2014). L'accroissement des débits écoulés au cours des dernières années, conjugué à des drainages inadéquats et à l'habitation dans des *zones non aedificandi*, est responsable des récentes inondations dans le bassin du Bafing en amont de Manantali.

Dans le bassin du fleuve Sénégal, la construction de grands barrages s'est accompagnée de modifications radicales de son fonctionnement hydrologique. Ces bouleversements conjugués avec l'installation des populations dans des zones inondables appartenant au lit majeur du fleuve et les aménagements de périmètres hydro agricoles, ont pris une ampleur considérable. Dans ce contexte, la lutte efficace contre les inondations passe par un relèvement des quais qui ne peuvent aujourd'hui contenir qu'une crue moyenne et une édification de digues sur les zones menacées. Aujourd'hui, le principal défi dans le cadre de l'après barrages, est d'arriver à une meilleure compréhension de la nouvelle dynamique fluviale, et à une bonne connaissance du fonctionnement actuel de l'ensemble de l'hydro système d'un bassin versant fortement métamorphisé. Dans un contexte climatique marqué par une éventuelle augmentation de l'occurrence et de l'impact des inondations dans les années à venir, il est indispensable de procéder à l'analyse des variables hydrologiques qui est la première étape à faire dans toute proposition de stratégies de remédiation. La conception et

l'exécution des ouvrages de drainage doivent prendre en considération la croissance des débits écoulés dans le bassin. Il est également nécessaire que les populations soient sensibilisées sur les conséquences néfastes des inondations sur l'environnement. La mise en place et l'amélioration d'un système d'alerte rapide et efficient mis en place par l'OMVS pour surveiller à la fois les inondations et les sécheresses aiderait sans conteste à améliorer le bien-être des populations riveraines.

Références bibliographiques

Abaje, I.B., Sawa, B.A., Iguisi, E.O. and Ibrahim, A.A. (2016). Impacts of Climate Change and Adaptation Strategies in Rural Communities of Kaduna State, Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 9 (1): 97 – 108.

Abashiya, M. (2006). Influences of Manmade structures on floods in the Northern parts of Kaduna metropolis, Nigeria. Unpublished M.Sc. Thesis, Department of Geography A.B.U. Zaria.

Abashiya, M., Abaje, M., Iguisi, I.B., Bello, E.O., Sawa, A.L., Amos, B.A., and Musa, B.B. (2017). Randall characteristics and occurrence of floods in Gombe metropolis, nigeria abashiya. *Ethiopian Journal of Environmental Studies & Management*, 10(1): 44-54.

Ali, A., Lebel, T. et Amami, A. (2008). Signification et usage de l'indice pluviométrique au Sahel. *Sécheresse*, 19 (4), 227-235.

Bodian, A. (2011). *Approche par modélisation pluie-débit de la connaissance régionale de la ressource en eau : Application au haut bassin du fleuve Sénégal*. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

Bodian, A. (2014). Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest) », *Physio-Géo* [En ligne], Vol 8 |, mis en ligne le 12 janvier 2014, URL : <http://physio-geo.revues.org/4243> ; DOI : 10.4000/physio-geo.4243. Consulté le 17 février 2015.

Brazel, S. W. and Balling, R. C. (1986). Temporal Analysis of Long-Term Atmospheric Moisture Levels in Phoenix, Arizona. *J. Climate Annal. Meteor.*, 23, 112-117.

- Coly, A. (1996). *Le système fluvio-lacustre du Guiers : étude hydrologique et gestion quantitative intégrée*. Thèse de 3^{ème} cycle, UCAD, Dakar.
- CSE (2006). *Etude d'impacts des feux de brousses sur l'eau, les sols et la végétation dans la partie guinéenne du bassin du fleuve Sénégal*. Rapport OMVS, Dakar.
- Dione, O. (1996). *Evolution climatique récente et dynamique fluviale dans les hauts bassins des fleuves Sénégal et Gambie*. Thèse de doctorat, Université Lyon 3 Jean Moulin, Lyon.
- Diouf, R. Nd. (2011) *Etude hydro-pluviométrique des bassins versants urbains de la presqu'île du Cap-Vert*. Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, FLSH, département de géographie, UCAD, Dakar.
- Durand, P., Anselme, B. et Thomas, Y.-F. (2010). *L'impact de l'ouverture de la brèche dans la langue de Barbarie à Saint-Louis du Sénégal en 2003 : un changement de nature de l'aléa inondation ?* », GéoProdig, portail d'information géographique, En ligne <http://geoprodig.cnrs.fr/items/show/37611>, consulté le 17 /02/ 2020.
- Faye, C. (2013). *Evaluation et gestion intégrée des ressources en eau dans un contexte de variabilité hydroclimatique : cas du bassin versant de la Falémé*. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar.
- Faye, C. (2017). Une évaluation comparative des séquences du stress hydrique et de la sécheresse par indicateurs et par échelles de temps dans le bassin du Bafing en amont de Manantali. *Espace Géographique et Société Marocaine (Numéro 19)*, pp. 171 à 188.
- Faye, C., Diop, E.S. et Mbaye, I. (2015). Impacts des changements de climat et des aménagements sur les ressources en eau du fleuve Sénégal : caractérisation et évolution des régimes hydrologiques de sous-bassins versants naturels et aménagés. *Belgeo*, 4, 1-22.
- Frappart, F., Hiernaux, P., Guichard, F., Mougou, E., Kergoat, L., Arjounin, M., Lavenue, F., Koite, M., Paturel, J.E., Lebel, T. (2009). Rainfall regime across the Sahel band in the Gourma region, Mali. *Journal of Hydrology*, 375: 128-142.
- GIEC (2014). Changements climatiques 2014. Impacts, vulnérabilité et adaptation. *Résumé à l'intention des décideurs*. Contribution du Groupe

de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 40 p.

Hardy, G. (1921). *La mise en valeur du Sénégal de 1817 à 1854*. Paris, Larose.

Kane, A. (2002). Crues et inondations dans la basse vallée du fleuve Sénégal. *Gestion intégrée des zones inondables tropicales*, IRD Éditions, 2002, 197-208.

L'hote, Y., Mahe, G., Some, B. & Triboulet, J.-P. (2003). Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues. *Hydrol. Sci. J.* 47(4), 563–572.

Lawson, M.P. Balling, R.C. Peters, A.J. and Rundquist, D.C. (1981). Spatial analysis of secular temperature fluctuations. *Journal of Climatology*, 1: 325-332.

Lebel, T. et Ali, A. (2009). Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990-2007), *Journal of Hydrology*, 375 (1-2), 52-64.

Loukas, A., Vasiliades, L., Dalezios, N.R. (2003). *Intercomparison of meteorological drought indices for drought assessment and monitoring in Greece*.

Milly, P. C. D., Dunne, K.A. and Vecchia, A.V. (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438, 347-350.

Niang, A.J. (2008). *Les processus morphodynamiques, indicateurs de l'état de la désertification dans le Sud-Ouest de la Mauritanie. Approche par analyse multisource*. Thèse de Doctorat, Université de Liège (Belgique).

Olivry, J.C. (1996). Etude régionale sur les basses eaux ; les effets durables du déficit des précipitations sur les étiages et les tarissements en Afrique de l'ouest et du centre. XIIème journée hydrologiques de l'Orstom, Montpellier, 10-11 oct, 14 p.

Radinovic', D. and C' Uric', M. (2012). Some evidence on European monsoon existence, *Theor. Appl. Climatol.*, 110, 11–15.

Roche, P.A. (2003). L'eau, enjeu vital pour l'Afrique, *Afrique contemporaine*, n°205, printemps 2003 En ligne

<http://www.cairn.info/revue-afrique-contemporaine-2003-1-page-39.htm>), consulté le 17/04/2018.

Rochette, C. (1974). *Le bassin du Fleuve Sénégal. Monographies hydrologiques*. Orstom, Dakar.

Sawa, B.A. (2002). Trend in temporal variability of occurrence of wet and dry spells north of latitude 10°N in Nigeria. In Iguisi, E. O. (Ed). *The Zaria Geographer* (pp. 34-41). Vol. 15 No 1, Zaria – Nigeria.

Sharma, T.C., Panu, U.S. (2010). Analytical procedures for weekly hydrological droughts: a case of Canadian rivers. *Hydrological Sciences Journal*, 55 (1), 79-92.

Sighomnou, D. (2004). *Analyse et redéfinition des régimes climatiques et Hydrologiques du Cameroun : perspectives d'évolution des ressources en eau*. Thèse Doctorat d'Etat, Université de Yaoundé 1, Département des Sciences de la Terre, 291 p.

Sow, A. A. (2007). *L'hydrologie du Sud-est du Sénégal et de ses Confins guinéo-maliens : les bassins de la Gambie et de la Falémé*, Thèse doctorat d'Etat Es lettres et sciences humaines, UCAD, FLSH, Département de Géographie, Dakar

Strahler, A.N. and Strahler, A.H. (2003). *Introducing Physical Geography* (3rd ed) John Wiley and Sons Inc Cambridge. M. A. pp 499-502.

Tropica Environnemental Consultants (2008). EIES Pipeline Eaux Falémé SMC, Rapport d'audience publique dans le cadre de l'étude d'impact environnemental du projet d'installation et d'exploitation d'une conduite de pompes d'eau de la Falémé vers la mine de la Sabodala Mining Company.Sénégal.

Van Rooy, M. P. (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14, 43–48.

Walsh, R.P.D. and Lawler, D.M. (1981). Rainfall seasonality: description, spatial patterns and change through time. *Weather*, 36: 201-208.

Xu, Z. X., Yang, X. J., Zuo, D. P. Chu, Q., and Liu, W. F. (2015). Spatiotemporal characteristics of extreme precipitation and temperature: a case study in Yunnan Province, China. *Proc. IAHS*, 369, 121–127.

LES AUTEURS

BA Ousmane, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.

BAWA Ibn Habib, Université de Lomé, Togo.

BERE Anatole, Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire.

DIA Oumar, Université Gaston Berger de Saint-Louis, Sénégal.

DIALLO Souleymane, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.

DIAW Mamadou Tandiang, Université de Thiès, Sénégal.

DIEYE Mouhamed Moustapha, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.

DIOUF Pierre Baligue, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.

DIOUF René Ndimag, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.

FALL Abdou Khadre, Université Alioune Diop de Bambey, Sénégal.

FALL Abdou Rakhmane, Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural, Dakar, Sénégal.

FAYE Cheikh, Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal.

GUEYE Secka, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.

KABORE Bernard, Université Joseph Ki Zerbo, Burnika Faso.

KOUAME Kouakou, Université Alassane Ouattara, Côte d'Ivoire.

LO Abdoul Ahad, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.

LY Mouhamed Abdallah, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.

MASANDI KISUKU Lez Justin, Université Pédagogique Nationale (UPN) de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

MBENGUE Babacar, Université Alioune Diop de Bambey, Sénégal.

N'DETIBAYE Assah, Université de N'Djaména, Tchad.

N'GORAN Kouadio Adolphe, Université Alassane Ouattara, Côte d'Ivoire.

NACOULMA Boukaré, Université Joseph Ki-Zerbo, Burnika Faso.
NDIAYE Maguèye, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.
NIANE Babacar, l'Université de Thiès, Sénégal.
SAWADOGO Issaka, Université Joseph Ki Zerbo, Burnika Faso.
SEYE Amadou Anna, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.
SORE Ousséni, Université Joseph Ki-Zerbo, Burkina Faso.
SOW Alassane, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.
SY Harouna, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.
TCHAIÏNE Dionnodji, Université de N'Djaména, Tchad.
THIAM Ousseynou, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.