

**Scientific peer review paper preparation**

**UCAD, Sénégal**

**Projet WEFE-SENEGAL**

**Auteurs**:   
*Awa NIANG, Abdoulaye FATY, Mbayang THIAM   
&   
Alioune KANE*

# LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ACEWATER** | **:** | African Center of Excellence on Water Sciences and Technology |
| **BAU** | **:** | Business-As-Usual |
| **CER** | **:** | Croissance Économique Rapide |
| **DEC** | **:** | Durabilité Environnementale Coordonnée |
| **LCM** | **:** | Land Change Modeler |
| **ODD** | **:** | Objectifs de Développement Durable |
| **PRACAS** | **:** | Programme d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise |
| **PSE** | **:** | Plan Sénégal Émergent |
| **REFRAN-CV** | **:** | Regional Frequency Analysis of Climate Variables |
| **SDG** | **:** | Sustainable Development Goals |
| **SIG** | **:** | Système d’Information Géographique |
| **UCAD** | **:** | Université Cheikh Anta Diop de Dakar |

# INTRODUCTION

Sur la base des travaux réalisés dans le cadre du projet WEFE Sénégal qui consiste à analyser différentes problématiques de dégradation environnementale, exacerbées par les effets du changement climatique, ainsi que la forte interdépendance entre la sécurité de l’approvisionnement en eau, la sécurité alimentaire et la sécurité énergétique (Nexus). Cette interdépendance doit, notamment, être prise en compte dans la gestion du barrage de Manantali (barrage à usages multiples), du barrage de Gouina et des futurs barrages de Gourbassi et Koukoutamba. Dans la moyenne vallée et le delta, l’agriculture irriguée est la principale activité qui emploie une grande partie de la population active et fournit l’essentiel des revenus des ménages. Une meilleure maîtrise de la ressource permettra d’assurer une meilleure régulation avec la production d’électricité, le développement de l’agriculture irriguée, le développement des cultures traditionnelles de décrue et la fourniture d’eau pour les parcs des oiseaux du Djoudj au Sénégal et du Diawling en Mauritanie. Afin de mieux comprendre les interactions entre la gestion des ressources en eau liée au Nexus Eau-Énergie-Agriculture dans un contexte de changement climatique et l’évolution des activités agricoles dans une économie rurale.

Ce projet avec sa composante scientifique veut contribuer à:

1. Renforcer le système et organiser les connaissances techniques/scientifiques sur ces différents phénomènes dans le bassin du fleuve Sénégal, en collaboration avec les acteurs techniques locaux et régionaux ;
2. proposer des mesures de gestion durable en cohérence avec les politiques et la gouvernance du bassin, tenant compte des politiques régionales (Politique Énergétique Commune, Schéma Directeur de Transport de l’Énergie, Plan d’Action Régional pour l’Amélioration des Cultures Irriguées, Plan d’Action Stratégique Environnemental) et nationales (PSE, PRACAS…).

C’est dans ce cadre que l’UCAD est chargée d’exécuter certaines activités du projet à savoir la mise à jours de la base de données hydro-climatiques des stations du bassin - de la rédaction de rapport sur la vulnérabilité climatique en prenant en charges les impacts climatiques sur les ressources en eau et de la dynamique d’occupation du sol et de la modélisation agro climatique. Ces rapports sont valorisés par des articles scientifiques. Ainsi, les résumés d’articles sont présentés dans ce présent rapport.

# PROPOSITIONS D’ARTICLES

## Proposition n°1 : DÉTERMINATION DE SCÉNARIOS D’OCCUPATION DU SOL DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE SÉNÉGAL

**Auteurs UCAD :** *Awa NIANG, Abdoulaye FATY, Mbayang THIAM, Alioune KANE*

**Auteurs JRC** : *Marco PASTORI, Cesar CARMONA-MORENO*

**Résumé**

Dans le bassin versant du fleuve Sénégal, l’occupation des terres connaît une dynamique importante du fait des activités humaines intenses mettant l’écosystème en équilibre précaire. L’objectif de cette étude est de quantifier la dynamique paysagère et d’explorer les futurs possibles de l’occupation des sols à partir des outils de télédétection, de SIG et de la modélisation spatio-temporelle. Les données socio-économiques et images Modis-Terra (2007, 2014 et 2019) ont été utilisées. Une classification multi-date a permis de quantifier les changements d’occupation des terres. Le modèle Land Change Modeler (LCM) a permis de simuler et de faire des projections jusqu’à l’horizon 2030 de l’occupation des terres du bassin versant du fleuve Sénégal. Il ressort des résultats qu’entre 2007 et 2019, une régression sensible des formations végétales naturelles (des plans d’eau et forêts et savanes arborées) et une progression des formations anthropiques (mosaïques de cultures et de jachères) pour la même période. Les trois scenarii Business-As-Usual (BAU), Croissance Économique Rapide (CER) et Durabilité Environnementale Coordonnée (DEC), extrapolant les tendances actuelles, montrent qu’à l’horizon 2030 (horizon ODD) ce paysage sera dominé par les mosaïques de cultures et jachères (environ 18%). Les ressources ligneuses occupent 32, 13% de la superficie du secteur dans le scénario DEC, 31.2 % dans le scénario BAU et 31.4 % dans le scénario CER. Le scénario DEC donne l’espoir que la restauration et la préservation des ressources végétales est encore possible si les décideurs en prennent conscience.

**Mots clés** : *Scénario d’occupation du sol - changement climatique - modélisation spatio-temporelle - Restauration - Préservation des ressources végétales*

**Abstract**

In the Senegal River watershed, land use is undergoing significant dynamics due to intense human activities that place the ecosystem in a precarious balance. The objective of this paper is to quantify the landscape dynamics and explore the possible futures of land use through remote sensing, GIS and spatio-temporal modeling tools. Modis-Terra socio-economic and image data (2007, 2014, and 2019) were used. A multi-date classification was used to quantify land use changes. The Land Change Modeler (LCM) model was used to simulate and project land use in the Senegal River watershed up to 2030. The results show that between 2007 and 2019, there will be a significant regression of natural vegetation formations (water bodies, forests and wooded savannahs) and an increase in anthropogenic formations (mosaics of crops and fallow land) for the same period. The three scenarios Business-As-Usual (BAU), Rapid Economic Growth (REC) and Coordinated Environmental Sustainability (CES), extrapolating the current trends, show that by 2030 (SDG horizon) this landscape will be dominated by mosaics of crops and fallow land (about 18%). Woody resources occupy 32.13% of the area in the DEC scenario, 31.2% in the BAU scenario and 31.4% in the CER scenario. The DEC scenario gives hope that restoration and preservation of plant resources is still possible if decision makers are aware of it.

**Keywords**: *Land use scenario - Climate change - Spatio temporal modeling - Restoration - Preservation of plant resources*

## Proposition n°2 : ANALYSE DE LA DEMANDE ET DES REGLES DE GESTION DE L’EAU DANS LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE SÉNÉGAL : APPROCHE PAR LE MODELE WEAP21

**Auteurs UCAD :** *Awa NIANG, Abdoulaye FATY, Mbayang THIAM, Alioune KANE*

**Auteurs JRC** : *Marco Pastori, Cesar CARMONA-MORENO*

**Résumé**

La problématique de la gestion de l’environnement et des ressources naturelles a pris une importance considérable dans tous les débats internationaux ainsi que les recherches scientifiques. A la conclusion de nombreuses études et comparaisons faites dans différents bassins versants du monde et de l’Afrique, la problématique de l’eau n’est pas seulement liée à la quantité, mais aussi et surtout aux modes de gestion et d’exploitation des ressources en eau dans les hydrosystèmes. Le bassin du Sénégal qui couvre une surface de 325.000 km2 répartis entre quatre (04) États de l’Afrique de l’Ouest a connu un conflit d’usages et d’usagers liés au mode de gouvernance de la ressource partagée. L’objectif de cet article est d’évaluer les règles de gestion de l’eau en se basant sur les méthodes d’allocation du modèle WEAP21.

Les résultats des simulations montrent une assez bonne synergie entre l'irrigation, la navigation et la production hydroélectrique. Par exemple, le barrage de Manantali, bien que permettant de répondre aux besoins actuels au soutien des basses eaux dans la vallée et le delta et ce, même durant les années de faible hydraulicité, ne sera pas en mesure, seul, de faire face à des demandes en soutien d’étiage supérieures à 200 m3/s. L’étude met en exergue les impacts de l’aménagement conjoint du haut Bafing et de la Falémé par une augmentation considérable (un peu plus de 400% en moyenne) de la production d’énergie hydroélectrique du bassin. Les résultats, bien que faibles, peuvent être positifs sur les aménagements en aval avec notamment une légère augmentation (environ 2 à 10% selon la politique de gestion adoptée) de la production d’énergie annuelle du barrage de Manantali ainsi qu’une plus grande efficacité de la régulation des débits entrants dans ce dernier, permettant ainsi un meilleur soutien aux étiages.

**Mots-clés***: Règle de gestion –Usages – Usagers – Hydrosystème - Bassin du fleuve Sénégal*

**Abstract**

The issue of environmental and natural resource management has taken on considerable importance in all international debates and scientific research. At the conclusion of numerous studies and comparisons made in different watersheds of the world and Africa, the water issue is not only related to the quantity, but also and especially to the modes of management and exploitation of water resources in the hydrosystems. The Senegal River Basin, which covers an area of 325,000 km2 spread over four (4) West African States, has experienced a conflict of uses and users related to the governance of the shared resource. The objective of this paper is to evaluate the water management rules based on the allocation methods of the WEAP21 model.

The results of the simulations show a fairly good synergy between irrigation, navigation and hydroelectric production. For example, the Manantali dam, while meeting the current needs for low water support in the valley and delta, even in years of low water levels, will not be able to meet the demands for low water support in excess of 200 m3/s on its own. The study highlights the impacts of the joint development of the Upper Bafing and Falémé rivers through a considerable increase (slightly more than 400% on average) in the basin's hydroelectric power production. The results, although small, can be positive for downstream developments, with a slight increase (about 2 to 10% depending on the management policy adopted) in the annual energy production of the Manantali dam, as well as greater efficiency in regulating the flows entering the dam, thus providing better support for low water levels.

***Keywords****: Management rule – Uses – Users – Hydrosystem – Senegal River Basin*

## Proposition n°3 : VARIABILITÉ CLIMATIQUE ET VULNÉRABILITÉ ENVIRONNEMENTALE EN AFRIQUE DE L’OUEST. ANALYSE À PARTIR DE L’OUTIL L-MOMENT

**Auteurs:** *Awa NIANG, Cesar CARMONA-MORENO, Abdoulaye FATY, Marco Pastori, Mbayang THIAM, Alioune KANE*

**Résumé étendu**

L’évolution climatique récente au Sahel et dans le bassin du fleuve Sénégal a été largement étudiée au cours des trente dernières années (Leroux, 1988 ; Le Borgne, 1988 ; Dione, 1996 ; Sagna, 1998). La disponibilité d’une importante masse de données permet d’analyser l’évolution climatique sur plusieurs décennies et autorise également la réalisation d’études prospectives. Un des principaux constats est la constance de la variabilité climatique, avérée à presque toutes les stations du Sahel (Servat *et al*., 1998 & 1999). Un autre constat, c’est le déficit pluviométrique généralisé depuis le début des années 1970 malgré une légère reprise notée au début des années 2000 mais sans que l’on retrouve les conditions de qui prévalaient dans les années 1950. Le Projet AMMA (2002) sur la variabilité de la Mousson Africaine a démontré que le passage de conditions humides (dans les années 50 et 60) à des conditions beaucoup plus sèches (dans les années 70 à 90) sur tout le Sahel représente un des signaux inter-décennaux les plus forts observés sur la Planète au cours du 20ème siècle.

Dans le cadre de la Phase 1 du Projet des Centres d’Excellence du NEPAD, le réseau WANWATCE en collaboration avec JRC[[1]](#footnote-2) avait travaillé sur une analyse régionale de la variabilité des précipitations basée sur l’approche L-Moment (Maeda *et al.*, 2012) et appliquée à la région de l’Afrique de l’Ouest et le Sénégal (Niang, 2014). Sur la base des observations des stations au sol de différents pays de la sous-région, des ré-analyses climatiques issues de WorldClim, différents scénarios de distribution des précipitations basés sur L-Moment et élaborés à l’aide de l’outil d’analyse fréquentielle REFRAN-CV[[2]](#footnote-3). Cette approche testée et validée sous d’autres contextes climatiques (Eslamian & Feizi, 2007 ; Núñez-Galeano & Giraldo-Osorio, 2016) permet de réaliser une prospective sur l’évolution des précipitations aux horizons 2030 et 2050 à l’échelle sous-régionale. Le principal constat est que la dynamique actuelle des précipitations en Afrique de l’Ouest risque de se maintenir dans les années à venir, c'est-à-dire fortement variables et irrégulières mais avec une forte probabilité de survenue d’événements extrêmes comme les sécheresses ou les inondations.

La dégradation climatique constatée en Afrique de l’Ouest est aussi accompagnée d’une baisse du potentiel aux ressources en eau de surface pour de nombreux états ouest-africains dont le Sénégal. D’après les estimations réalisées par le PNUE[[3]](#footnote-4) sur les ressources en eau à l’échelle africaine, cette région pourrait vivre une situation critique très critique à l’horizon 2025 (UNEP, 2007). La réduction des écoulements serait encore plus marquée dans la région sahélienne avec une baisse des débits qui est estimée entre 40 et 60% depuis le début des années 1970 (Ouedraogo, 2001). Les conséquences sur l’environnement sont d’autant plus marquées qu’il s’agit d’une région à économie essentiellement rurale. L’agriculture étant la principale activité génératrice de revenus, tout ceci laisse présager d’une rareté accrue de l’eau de surface avec tous les impacts que l’on peut en attendre au niveau socio-économique, justifiant d’ailleurs la multiplication de programmes d’aménagements hydro-agricoles dans les grands bassins hydrographiques (Sénégal, Gambie, Volta, Niger). Les variations interannuelles très marquées de la pluviométrie des décennies récentes ont eu comme conséquence des années extrêmement sèches, aggravant l’impact environnemental et socio-économique du déficit d’ensemble. Cette variabilité climatique soulève d’ailleurs des questions importantes pour le développement durable de toute la région, notamment pour ce qui concerne la dégradation des terres et la sécurité alimentaire.

**Mots-clés***: Variabilité climatique –Vulnérabilité environnementale– Analyse fréquentielle– Pluviométrie - Bassin du fleuve Sénégal*

**Extended abstract**

Recent climatic changes in the Sahel and in the Senegal River basin have been extensively studied over the past thirty years (Leroux, 1988; Le Borgne, 1988; Dione, 1996; Sagna, 1998). The availability of a large amount of data allows for the analysis of climatic evolution over several decades and also allows for prospective studies. One of the main observations is the constancy of climatic variability, which has been proven at almost all Sahelian stations (Servat *et al.*, 1998 & 1999). Another observation is the generalized rainfall deficit since the early 1970s, despite a slight recovery in the early 2000s, but without the conditions that prevailed in the 1950s. The AMMA Project (2002) on the African monsoon’s variability demonstrated that the transition from wet conditions (in the 1950s and 1960s) to much drier conditions (in the 1970s to 1990s) over the entire Sahel represents one of the strongest inter-decadal signals observed on the planet during the 20th century.

Within the framework of Phase 1 of the NEPAD Centers of Excellence Project, the WANWATCE network in collaboration with JRC has worked on a regional analysis of rainfall variability based on the L-Moment approach (Maeda *et al.*, 2012) and applied to the West Africa region and Senegal (Niang, 2014). Based on observations from ground stations in different countries in the sub-region, climate re-analyses from WorldClim, different precipitation distribution scenarios based on L-Moment were developed using the frequency analysis tool REFRAN-CV. This approach tested and validated under other climatic contexts (Eslamian & Feizi, 2007; Núñez-Galeano & Giraldo-Osorio, 2016) allows for a prospective analysis on the evolution of precipitation by 2030 and 2050 at the sub-regional scale. The main finding is that the current dynamics of rainfall in West Africa is likely to continue in the coming years, i.e., highly variable and irregular but with a high probability of occurrence of extreme events such as droughts or floods.

The climate degradation observed over West Africa is also accompanied by a decrease in the potential for surface water resources for many West African states, including Senegal. According to UNEP assessments of water resources for Africa, this region could be in a very critical situation by 2025 (UNEP, 2007). The reduction in runoff would be even more marked in the Sahelian region, with a drop in flows estimated at between 40 and 60% since the early 1970s (Ouedraogo, 2001). The consequences on the environment are all the more marked as this is a region with an essentially rural economy. Since agriculture is the main income-generating activity, all of this points to an increased scarcity of surface water with all the impacts that can be expected at the socio-economic level, justifying the multiplication of hydro-agricultural development programs in the major river basins (Senegal, Gambia, Volta, Niger). The very marked interannual variations in rainfall in recent decades have resulted in extremely dry years, aggravating the environmental and socio-economic impact of the overall deficit. This climatic variability raises important questions for the sustainable development of the entire region, particularly with regard to land degradation and food security.

***Keywords***: Climate variability - Environmental vulnerability - Frequency analysis - Rainfall - Senegal River Basin

**Références**

Dione (O.), 1996. — Évolution climatique récente et dynamique fluviale dans les hauts bassins des fleuves Sénégal et Gambie. *Thèse doctorat, Université Lyon III Jean Moulin*, 428 p.

Le Borgne (J.), 1988. — La pluviométrie au Sénégal et en Gambie. *UCAD, Dépt. de Géographie, Labo. de Climatologie*, 93 p.

Leroux (M.), 1988. — La variabilité des précipitations en Afrique de l’ouest : les composantes aérologiques du problème. Veille Climatique Satellitaire, n°22, ORSTOM/CMS, pp. 26-45.

Maeda (E. E.), Arevalo (J. A.), Carmona-Moreno (C.), 2012. — Characterisation of global precipitation frequency through the L-moments approach. *Royal Geographical Society*, 45.1, 98-108.

Niang (A.), 2014. — Vulnérabilité de l’environnement et des ressources en eau dans l’estuaire du Sénégal. Dynamique et impacts de la brèche de la Langue de Barbarie entre 2003 et 2013. *Thèse de Doctorat Unique de l’*UCAD, École doctorale « Eau, Qualité et Usages de l’Eau »(EDEQUE), mention : Ressources en Eau ; Spécialité : Hydrologie Continentale, 319 p.

Sagna (P.), 1998. — Étude des lignes de grains en Afrique de l’ouest. *Thèse de Doctorat d’État*, UCAD, Département de Géographie, Tome 1, 192 pages ; Tome 2, 241 pages.

UNEP, 2007. — Global Environmental Outlook. GEO 4 Environment for Development. UNEP 2007, 572 p.

Servat (E.), Paturel (J.-E.), Kouamé (B.), Travaglio (M.), Ouédraogo (M.), Boyer (J. F.), Lubès-Niel (H.), Fritsch (J.-M.), Masson (J.-M.), Marieu (B.), 1998. — Identification, caractérisation et conséquences d’une variabilité hydrologique en Afrique de l’Ouest et centrale. *IAHS Publication*, vol. 252, 323-337.

Servat (E.), Paturel (J.-E.), Lubès-Niel (H.), Kouamé (B.), Masson (J.-M.), Travaglio (M.), Marieu (B.), 1999. — De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l’Ouest et centrale non sahélienne. *Revue des Sciences de l’Eau, vol. 12, No.2, 363-387*.

Ouedraogo (M.), 2001. — Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante: normes hydrologiques et modélisation régionale. Thèse de doctorat, Université de Montpellier 2, 258 p.

Eslamian (S. S.), Feizi (H.), 2007. — Maximum Monthly Rainfall Analysis Using L-Moments for an Arid Region in Isfahan Province, Iran. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Volume 46, pp. 494-503. <https://doi.org/10.1175/JAM2465.1>

Núñez-Galeano (L.) and Giraldo-Osorio (J. D.), 2016. — Adaptation of the L-moments method for the regionalization for maximum annual temperatures in Colombia. *Ing. Univ., vol. 20, no.* 2, pp. xx-xx, 2016, 16 p.

# CONCLUSION

En conclusion, la contribution des différents rapports de l’UCAD dans le cadre du volet sciences du Projet ACEWATER2, a montré que la région de l'Afrique de l'Ouest, en particulier le bassin versant du fleuve Sénégal, a connu une variabilité climatique à long terme et un changement climatique au cours des dernières décennies. Malgré quelques périodes de répit, les statistiques ne plaident pas vraiment pour un retour à de meilleures conditions climatiques, précisément des précipitations.

Au-delà de l'aspect structurel de cette variabilité climatique, de nombreux effets ont été observés sur les activités socio-économiques et l'implication des pratiques socioculturelles. Cette situation se répercute de manière dramatique sur les ressources en eau et notamment sur l'hydrologie des bassins transfrontaliers comme le Sénégal et la Gambie.

# Annexe

## Annexe 1 : Article Climat et DEVELOPPEMENT

1. Joint Research Centre (Ispra, Italy) [↑](#footnote-ref-2)
2. Regional Frequency Analysis – Climate Variability [↑](#footnote-ref-3)
3. Programme des Nations Unies pour l’Environnement [↑](#footnote-ref-4)