

LARHYSS Journal

JOURNAL DU LABORATOIRE DE RECHERCHE EN HYDRAULIQUE SOUTERRAINE ET DE SURFACE

www.larhyss.net

Le Journal des Sciences Hydrauliques

Faculté des Sciences et de la Technologie
UNIVERSITE MOHAMED KHIER - B.P 145 RP 07000 BISKRA - ALGERIE

40
Dec 2019

ISSN 1112 - 3680



SOMMAIRE

Dynamiques des ressources en eau dans le bassin de l'Anambe (haute Casamance-Sénégal) <i>Mballo I., Sy O., Thior M.</i>	7
Daily and instantaneous flood forecasting using artificial neural networks in a North-West Algerian watershed <i>Cherki K.</i>	27
Head loss computation in a divergent circular pipe <i>Achour B., Amara L.</i>	45
Evaluation of the hydraulic characteristics of flow over broad crested weir by using ANSYS fluent <i>Bentalha C. Remini B.</i>	67
Le système ancestral de partage des eaux de crues de l'oasis de Metlili (Algérie) : un patrimoine hydraulique oublié ! <i>Remini B., Ouled Belkhir C.</i>	81
Analyse quantitative et qualitative des ressources en eaux souterraines de la région de Katiola (Côte d'Ivoire) <i>Gnamba F.M., Baka B., Sombo A.P., Kpan O. J., Oga Y.M.</i>	117
L'oasis d'El Guerrara (Algérie) : irrigation et recharge des nappes assurées par les inondations <i>Remini B.</i>	135
Les courants de densité : un phénomène naturel qui se manifeste dans les milieux arides <i>Remini B.</i>	165
Calcul hydraulique d'un ouvrage de franchissement de la digue piste de l'axe Tove-Hetin-Sota dans le sud du Bénin <i>Hountondji B., Codo F. P., Abalot S.S.J., Sintondji L.O.</i>	195
L'Algérie : de la boue au fond des barrages, que faire ? <i>Remini B.</i>	213



DYNAMIQUES DES RESSOURCES EN EAU DANS LE BASSIN DE L'ANAMBE (HAUTE CASAMANCE-SENEGAL)

DYNAMICS OF WATER RESOURCES IN ANAMBE BASIN (UPPER CASAMANCE- SENEGAL)

MBALLO I., SY O., THIOR M.

Département de Géographie, U.F.R. Sciences et Technologies, UASZ, Laboratoire de Géomatique et d'Environnement, BP 523 Ziguinchor (Sénégal).

i.mballo841@zig.univ.sn

RESUME

La quête de la sécurité alimentaire par les pays soudanohéliens (durement frappés par les déficits pluviométriques observés depuis 1970) a conduit le gouvernement sénégalais à initier des politiques d'aménagement et de gestion des ressources en eau à l'échelle des bassins versants. C'est ainsi que Société de Développement Agricole et Industriel (SODAGRI) a été créée en 1974 et a été chargée de l'aménagement du bassin de l'Anambé, affluent de la Kayanga en Casamance (sud du Sénégal), dont la partie centrale est une vaste cuvette inondable de l'ordre de 16 000 ha. La présente étude s'appuie sur l'exploitation de résultats d'enquêtes (questionnaires et guides d'entretien administrés au niveau de 15 villages), couplée à l'analyse des données hydroclimatiques du bassin. Les résultats des Coefficients Mensuels de Débits (CMD) ont montré que les ressources hydriques du bassin sont d'apport pluviométrique et par conséquent les débits des différents cours d'eau du bassin varient au rythme de l'hivernage. Les débits mensuels maximum et minimum sont respectivement de 28,32 m³/s (octobre) et de 2,32 m³/s (avril et mai) en 1993. La variabilité hydroclimatique a entraîné une insécurité alimentaire qui concerne 74 % des producteurs durant la contre-saison.

Mots clés : Dynamiques, ressources en eau, bassin de l'Anambé, Haute Casamance et Sénégal

ABSTRACT

The quest for food security by the sudnosahelian countries (hard hit by the rainfall deficits observed since 1970) led the Senegalese government to initiate policies for the arrangement and management of water resources at the watershed level. Thus, Society of agricultural and industrial development was created in 1974 and was responsible for the development of Anambe basin, a tributary of Kayanga in Casamance (southern Senegal), of which the central part is a large floodplain basin of the order of 16 000 hectares. This study is based on the use of survey results (questionnaires and guides administered at the level of 12 villages), coupled with analysis of basin hydroclimatic data. The results of the Monthly Flow Coefficients (CMD) showed that the water resources of the basin are of rainfall input and consequently the flows of the various streams of the basin vary with the rate of wintering. Maximum and minimum monthly flows are 28.32 m³/s (October) and 2.32 m³/s (April and May) in 1993, respectively. This hydroclimatic variability led to food insecurity affecting 74% of producers during the off-season.

Keywords: Dynamics, water resources, Anambe basin, Upper Casamance and Senegal.

INTRODUCTION

La suffisance des ressources en eau est une préoccupation mondiale de première importance, à laquelle les sociétés modernes doivent répondre urgemment, en adoptant notamment des mesures et des programmes de gestion concertée : « la gestion de l'équilibre entre la demande en eau et la ressource disponible est un enjeu central du débat mondial sur la gestion de l'eau » (Mermet, et Treyer, 2001).

Partout dans le monde, la pression sur les ressources en eau et en particulier sur les ressources en eau de surface est à la hausse, principalement en raison de la demande croissante et de la dégradation de la qualité de l'eau (Mangoua et al., 2019). Les régions les plus concernées par la question de rareté de l'eau sont les domaines arides et semi-arides, et tout particulièrement ceux soumis à une forte croissance démographique (Treyer, 2005).

Les pressions exercées sur les ressources en eau mettent en lumière l'interdépendance hydrologique, sociale, économique et écologique dans les bassins de fleuves, de lacs et des aquifères. Elle rend nécessaire une plus grande

intégration en terme de développement et de gestion des ressources en eau et des sols (GWP, 2009).

Intrinsèquement, la problématique de la gestion des ressources en eau revêt une dimension géographique : elle conjugue les questions climatiques, hydrologiques, sociales et économiques. En ce sens, elle est intégratrice des composantes du concept même de développement. Cependant, l'agrégation de la problématique de la gestion des ressources en eau à l'échelle nationale ou régionale ne prend pas en compte la variabilité de la disponibilité en eau dans l'espace, variabilité qui peut, par conséquent, cacher des problèmes localisés. Les ressources en eau de l'Anambé sont constituées par les apports pluviométriques et les écoulements de la Kayanga détournés par le barrage Confluent pour le remplissage de la cuvette de l'Anambé. Les unes et les autres dépendent du régime climatique caractérisé par l'alternance d'une saison sèche assez courte et d'une saison des pluies plus longue (Dacosta, 2005).

L'initiative du bassin de l'Anambé est le résultat d'une approche reposant sur une vision partagée et visant à partager tous les bienfaits apportés par l'aménagement et la bonne gestion des ressources en eau dans la région dans une perspective d'atteinte d'une autonomie alimentaire (Hathie, 2015). La vie agricole du Bassin est largement tributaire des précipitations, ce qui fait que la satisfaction des besoins en eau des plantes, et par conséquent l'importance des emblavures, dépendent beaucoup du rythme climatique et principalement de la physionomie de l'hivernage (Sy et Mballo, 2017).

La gestion des ressources en eau est l'un des grands enjeux de nos sociétés contemporaines. Les ressources en eau sont renouvelables mais limitées, or les besoins humains ne cessent de croître et les milieux sont de plus en plus transformés par l'homme ce qui présente de nombreuses incidences sur l'eau, en quantité comme en qualité. La gestion intégrée des ressources en eau ambitionne de mieux prendre en compte les différentes dimensions des ressources et leurs liens avec les territoires en améliorant l'articulation des politiques qui y sont conduites. La sécheresse est un phénomène naturel apparaissant dans toutes les régions du monde et particulièrement en Afrique de l'Ouest (Mirabbasia et *al.* 2013 ; Savane et *al.*, 2001). Depuis plusieurs décennies, les pays du Sahel font face à des conditions agro-climatiques et environnementales difficiles marquées par des cycles de sécheresse dont l'impact négatif sur les capacités productives affecte sérieusement les populations. Celles-ci tirent l'essentiel de leur subsistance d'une agriculture dépendante de la pluviométrie et dont la vulnérabilité s'est accrue du fait de la forte variabilité climatique.

C'est dans ce contexte que les aménagements du bassin de l'Anambé ont été entrepris pour parler la variabilité climatique et contribuer à l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire. Deux barrages ont été construits dans l'optique de bien gérer les ressources en eau du bassin et permettre une double culture irriguée. L'objectif de cette étude est d'analyser les dynamiques des ressources en eau du bassin de l'Anambé.

MATERIELS ET METHODES

Zone d'étude

Le bassin de l'Anambé est situé en Haute Casamance, dans la région de Kolda, entre 12°20 et 13°40 de latitude Nord, 13° et 16° de longitude Ouest. Il couvre une superficie de quelques 110.000 ha dont près de 55.000 ha aptes à des cultures irriguées (Figure 1). Les activités du bassin ont commencé en 1978, quatre ans après la création de la Société de Développement Agricole et Industriel du Sénégal (SODAGRI). Six secteurs (1, 2, 3, 4, 5 et G) ont été aménagés et répartis en quatre unions hydrauliques en fonction des stations de pompages. A la tête des unions, on a une Fédération des Producteurs du Bassin de l'Anambé (FEPROBA).

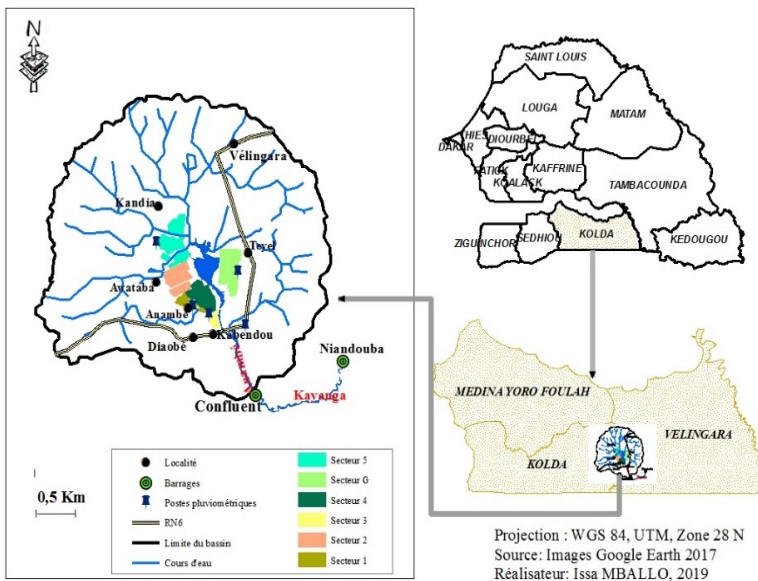


Figure 1 : carte de situation du bassin de l'Anambé. Mballo, 2019

Nous avons établi un échantillonnage de 364 producteurs pour l'ensemble des secteurs du périmètre aménagé (tabl.1). Pour chaque union hydraulique, nous avons interrogé 10 % des membres. Notre unité d'échantillonnage est l'union. On entend ici par union « une association de GIE appartenant au même secteur du grand périmètre ». L'unité déclarante est le GIE et l'unité de référence est le producteur ou la productrice. Les enquêtes ont été menées dans 15 villages, à raison de trois villages par Commune, soit au total 5 Communes. Ce travail a été facilité par l'acquisition du répertoire des producteurs du bassin de l'Anambé.

Tableau 1 : Echantillonnage d'enquête dans le bassin de l'Anambé

Secteurs	Nombre de producteurs	Nombre de producteurs enquêtés
Union secteurs 1 et 2	453	45
Union secteurs 3 et 4	1058	106
Union secteur 5	790	79
Union secteur G	1338	134
Total	3639	364

Méthode de calcul des Coefficients de Débits Mensuels (CMD)

Le coefficient mensuel de débits défini par Maurice Pardé : CMD est le rapport entre le débit d'un mois sur le débit moyen annuel.

$$CMD = \frac{Q(m^3/s)d'lmois}{Q(m^3/s)moyen}$$

Quand le CMD est ≥ 1 , il s'agit d'un mois de hautes eaux et quand le CMD est < 1 , il s'agit d'un mois de basses eaux.

Indice standardisé des précipitations (ISP)

La compréhension qu'un déficit pluviométrique a un impact différent sur les eaux souterraines, le stockage des réservoirs, l'humidité du sol et le flux d'écoulement ont conduit au développement de l'indice standardisé des précipitations (ISP) (McKee *et al.* 1993). L'ISP est un indice simple qui est adopté en 2009 par l'organisation mondiale de la météorologie (OMM) comme un instrument mondial pour mesurer les sécheresses météorologiques (Jouilil *et al.*, 2013). Il est exprimé mathématiquement comme suit :

$$ISP = \frac{(P_i - P_m)}{s}$$

Avec P_i : la pluie du mois ou de l'année i ; P_m : la pluie moyenne de la série sur l'échelle temporelle considérée ; S : l'écart-type de la série sur l'échelle temporelle considérée. L'ISP à 12 mois (janvier-décembre) reflète les modèles de précipitations à long terme. Ces délais sont habituellement liés aux flux d'écoulement, aux niveaux des réservoirs et même aux niveaux des eaux souterraines à des échelles de temps plus longues.

Tableau 2 : Classification des séquences de sécheresse selon l'ISP

Valeurs de l'ISP	Séquences de sécheresses	Valeurs de l'ISP	Séquences humides
$0,00 < ISP < -0,99$	Légèrement sèche	$0,00 < ISP < 0,99$	Légèrement humide
$-1,00 < ISP < -1,49$	Modérément sèche	$1,00 < ISP < 1,49$	Modérément humide
$-1,50 < ISP < -1,99$	Sévèrement sèche	$1,50 < ISP < 1,99$	Sévèrement humide
$ISP < -2,00$	Extrêmement sèche	$2,00 < ISP$	Extrêmement humide

RESULTATS

Les régimes fluviaux dans le bassin de l'Anambé

Le régime hydrologique est la réponse d'un bassin versant aux facteurs physiques stables et aux aléas climatiques (Faye, 2013). L'année hydrologique, en raison du mode d'alimentation exclusivement pluvial des cours d'eau tropicaux, débute en mai et se termine en avril. Dans le bassin de l'Anambé comme dans l'ensemble des bassins fluviaux tropicaux, elle compte huit mois d'une année civile et quatre mois de l'année suivante. L'étude du régime hydrologique est faite à partir des coefficients mensuels de débit (CMD) qui est le rapport entre le débit d'un mois considéré et le débit moyen annuel. Ces coefficients permettent de définir les périodes de hautes eaux et les périodes de basses eaux. Selon la classification de Pardé (1968), un CMD supérieur ou égal à 1 correspond à une période de hautes eaux et un CMD inférieur à 1 est assimilé à une période de basses eaux. En zone tropicale, l'alimentation fluviale est exclusivement pluviale.

Tableau 3 : Distribution mensuelle du débit de la Kayanga en 1977.

Mois	Mai	Jui	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr
Débits	0,30	0,33	1,02	0,98	2,94	2,36	0,75	0,49	0,58	0,44	0,37	0,32
CMD	0,33	0,36	1,12	1,08	3,24	2,60	0,83	0,55	0,64	0,49	0,40	0,36

L'examen du tableau 3 montre que les CMD de la Kayanga varient en fonction des mois. Cette variation est liée aux quantités de pluie qui sont enregistrées en hivernage. Le CMD le plus important est noté en septembre (3,24) qui correspond au maximum pluviométrique dans la zone. Celui le plus faible est observé en Mai et il est de 0,33 (tabl.4). On note globalement quatre mois de hautes eaux à savoir Juillet (1,12), Aout (1,08), Septembre (3,24) et Octobre (2,60).

Tableau 4 : Distribution mensuelle du débit de la Kayanga en 1993.

Mois	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr
Débites	2,32	3,6	7,8	8,47	25,3	28,3	8,81	4,23	3,33	2,9	2,58	2,32
CMD	0,28	0,43	0,94	1,02	3,03	3,4	1,06	0,51	0,4	0,35	0,31	0,28

Le tableau 4 indique également quatre mois de hautes eaux (Aout, septembre, Octobre et Novembre). Le CMD le plus élevé (3,4) en 1993 est noté en octobre, ce qui explique un léger décalage de la saison des pluies (tabl.4).

Tableau 5 : Distribution mensuelle du débit de la Kayanga en 2003.

Mois	Mai	Juin	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr
Débites	0,18	0,28	0,33	0,48	0,65	0,60	0,55	0,51	0,35	0,27	0,21	0,18
CMD	0,47	0,72	0,85	1,26	1,69	1,57	1,45	1,32	0,91	0,70	0,55	0,45

L'analyse du tableau 5, montre aussi une distribution irrégulière des débits au niveau de la Kayanga en 2003. Cela est dû en partie à la nature du régime fluvial qui est pluvial tropical avec une évolution monogénique. Le CMD, le plus élevé est enregistré en septembre avec 1,69 et celui le plus faible en Avril avec 0,45 (tabl.5).

Tableau 6 : Caractéristiques de la Kayanga en 1993

Paramètres	Caractéristiques
Mode d'alimentation	Alimentation pluviale
Mois du maximum	Octobre avec 28,32 m3/s
Mois du minimum	Avril et Mai avec 2,32 m3/s
Nature du régime	Régime simple, pluvial tropical avec une évolution monogénique
Nombre de mois de hautes eaux	4 mois (A, S, O, N)
Nombre de mois de basses eaux	8 mois (le reste de l'année)
Type du régime	Régime fluvial tropical de transition

L'analyse des coefficients mensuels des débits du bassin de la Kayanga montre que son alimentation est exclusivement pluviale. Les mois du maximum et du minimum correspondent respectivement à 28,32 m³/s et 2,32m³/s. On compte quatre mois de hautes eaux (Aout, Septembre, Octobre et Novembre) et 8 mois de basses eaux (le reste de l'année). Nous avons donc, un régime fluvial tropical de transition (tabl.6).

Le régime fluvial tropical de transition et sa variabilité

Pour étudier l'écoulement du régime fluvial de transition dans un bassin, on peut passer par l'analyse du régime moyen et de sa variabilité. L'étude du régime fluvial de transition dans le bassin de l'Anambé est faite à partir de l'écoulement de la Kayanga et celui de l'Anambé.

L'analyse des données du tableau 5 montre une phase de montée et une phase de descente des eaux (fig.2).

La phase de montée des eaux

La période de montée des eaux va de mai à septembre et coïncide avec la crue annuelle.

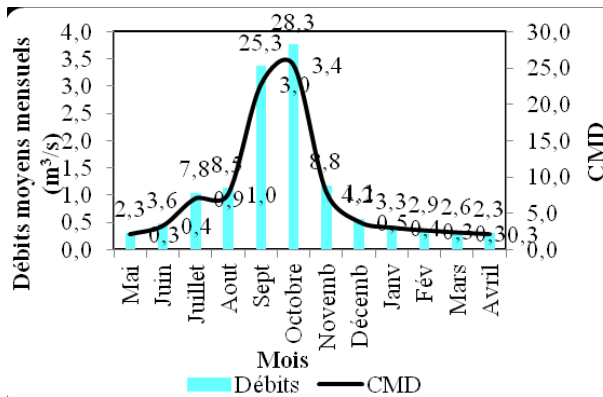


Figure 2 : Hydrogramme de crue évolution mensuelle des débits moyens et des Coefficients Mensuels de Débits à la Kayanga (1993)

On note une augmentation de 20,52 m³/s de Juin à Octobre. Le débit maximum de 28,32m³/s est enregistré en Octobre. Cette période correspond à l'hivernage au Sénégal. C'est durant ces mois que les plus fortes précipitations sont enregistrées dans les différentes stations du pays.

La phase de descente des eaux

Les plus faibles débits sont enregistrés aux mois d'avril et mai avec 2,32 m³/s au niveau de la Kayanga. La baisse est de 1,01m³/s de Janvier à Mai. Elle est plus brutale d'Octobre à Décembre avec un débit de 24,12m³/s. Cette période correspond à la fin de la saison des pluies dans la partie Sud du Sénégal.

Tableau 7 : Distribution mensuelle des Débits de la Kayanga et de l'Anambé à Niappo en1993

Mois	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr
Déb/m	0,75	1,16	2,54	2,74	8,17	9,16	2,85	1,4	1,07	0,94	0,8	0,75
CMD	0,28	0,43	0,94	1,01	3,03	3,39	1,06	0,5	0,4	0,35	0,3	0,28

L'analyse du tableau 7 montre que la distribution mensuelle des débits de la Kayanga au niveau de Niappo est très irrégulière. Le débit maximum est de 9,16 m³/s et celui du minimum est de 0,75 m³/s.

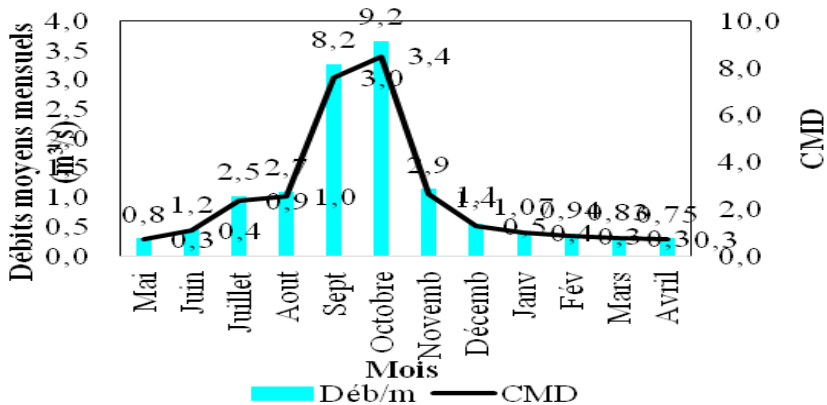


Figure 3 : Distribution mensuelle de la Kayanga et l'Anambé à Niappo (1993)

On note à la fois une phase ascendante et une autre descendante. De Janvier à Mai et d'Octobre à Décembre, on note une baisse des débits de la Thiayanga et de l'Anambé à Niappo. De Janvier à Mai, le débit de la Kayanga et de l'Anambé à Niappo est passé de 1,07m³/s à 0,75m³/s. On note une chute brutale du débit de d'Octobre à Décembre, car on est passé de 9,16 m³/s à 1,37m³/s (fig.3).

LA CONSTRUCTION DU CONFLUENT NIOKOLA KOB-KOULOUNTOU ET DU CANAL KAYANGA-KOULOUNTOU : UNE REPOSE A LA SECHERESSE HYDROLOGIQUE DU BASSIN DE L'ANAMBE

La construction de ce barrage sur le Niokolo Koba pourrait pallier la problématique de la sécheresse (fig.4). Du moment où la contre-saison reste un véritable casse-tête dans le bassin, ce barrage donnerait la possibilité d'emblaver plus d'espace mais également d'accroître les rendements agricoles. La mise en place d'un tel barrage doit s'accompagner du creusement d'un canal reliant la Koulountou et la Thiayanga : ce qui permettrait le déversement des eaux de Niokolo Koba et de Koulountou sur la Thiayanga et le renforcement des capacités de l'Anambé donc le potentiel du périmètre irrigué et le développement d'autres activités économiques telles que la pisciculture, le maraichage, etc.

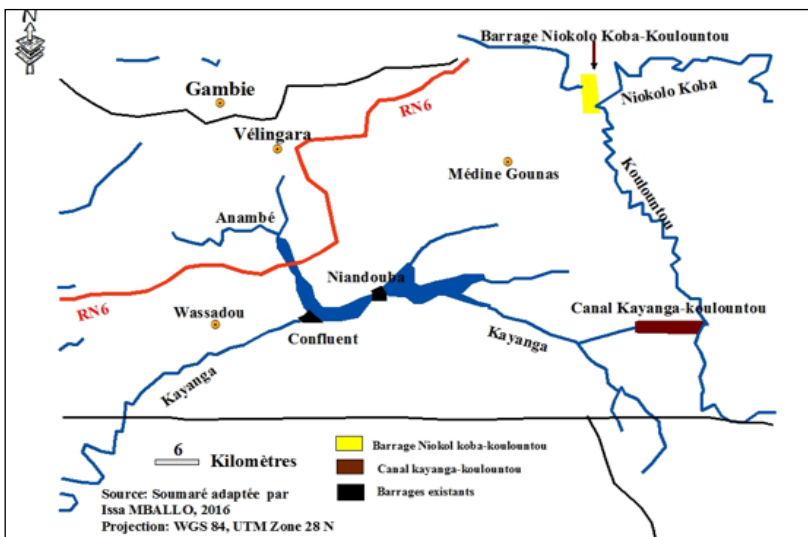


Figure 4 : Barrage du confluent Niokolo Koba-Koulountou et canal Kayanga-Koulountou (Mballo, 2019)

La réalisation de ce barrage pourrait accroître les superficies au niveau du périmètre aménagé mais également développer des activités économiques (pêche, maraichage...) et par conséquent améliorer le revenu des populations implantées sur l'axe Niokolo Koba-Koulountou- Kayanga-Anambé. La mise en

place d'un tel barrage pourrait augmenter les débits de la Kayanga et permettre de satisfaire les besoins en eau pour la contre-saison.

Au-delà des contraintes hydroclimatiques, on peut noter des contraintes pédologiques liées à la granulométrie, au manque de jachère. Cette dernière consiste à laisser un sol au repos pendant au moins une saison entière et est utilisée par 34 % des producteurs.

INDICES STANDARDISES DES PRECIPITATIONS

Les précipitations du bassin sont soumises à de fortes variations dues aux facteurs globaux et aux dynamismes régionaux et continentaux. A l'instar des mécanismes généraux qui régulent le climat tropical, le régime pluviométrique de cette région dépend en grande partie de la mousson dite de la zone de convergence intertropicale (ZCIT). La méthode des indices standardisés des précipitations a été appliquée et a permis de bien apprécier la variabilité pluviométrique dans zone d'étude (Tabl.8).

Tableau 8 : Fréquences des occurrences de sécheresse des stations retenues de 1951 à 2016. Mballo, 2019

Séquences	Vélingara	Dabo	Kounkané	Bonconto
Extrêmement humide	4,5	3,1	1,5	1,5
Sévèrement humide	4,5	6,2	3,0	3,0
Modérément humide	7,6	9,2	13,6	6,1
Légèrement humide	34,8	27,7	28,8	24,2
Légèrement sèche	33,3	38,5	40,9	27,3
Modérément sèche	12,1	10,8	7,6	6,1
Sévèrement sèche	3,0	4,6	3,0	1,5
Extrêmement sèche	0,0	0,0	1,5	30,3
Total	100	100	100	100

Les ISP utilisés pour l'évaluation du déficit pluviométrique de 1951 à 2016 montrent une importante fluctuation des périodes sèches et humides avec une forte tendance à la sécheresse, notamment sur la période 1971-2000. L'examen du tableau 8 montre que les postes pluviométriques de Kounkané (légère avec 40,9 %, modérée avec 7,6 %, sévère avec 3 % et extrême avec 1,5 %) et de Bonconto (légère avec 27,3 %, modérée avec 6,1 %, sévère avec 1,5 % et extrême avec 30,3 %) ont enregistré l'ensemble des catégories de sécheresse. Par opposition, toutes les stations et les postes ont enregistré l'ensemble des séquences humides de 1951 à 2016. On note une humidité globalement légère et

une fréquence de l'humidité extrême très faible, car elle est de 1,5 % à Bonconto et à Kounkané, de 4,5 % à Vélingara et de 3,1 % à Dabo (tab.8).

CONSEQUENCE DE LA VARIATION CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES HYDROLOGIQUES DU BASSIN DE L'ANAMBE

La conséquence immédiate de la variation climatique est la variation hydrologique. Les débits des différents cours d'eau du bassin varient en fonctions des apports pluviométriques. Les années sèches se matérialisent par des débits faibles au niveau de la Kayanga et de l'Anambé, les principaux cours d'eau du bassin (photo 1).



Photo 1 : Chenal d'amenée asséché et Rivière Anambé à sec (SODAGRI, 2003)

Ces deux photos prises à la date du 11 avril 2003, montrent à suffisance, d'une part la vulnérabilité du régime hydrologique du réseau hydrographique du bassin de l'Anambé et d'autre part les insuffisances d'une vision générale du phénomène fondée sur des données chiffrées et de surcroît portant sur une grande échelle chronologique. Ce déficit hydrologique s'explique par les sécheresses climatiques observées au cours des trois années consécutives, à savoir 2000, 2001 et 2002. Cette situation, au-delà des écoulements de surface, avait en 2003, gravement affecté les nappes superficielles au point de provoquer une véritable pénurie d'eau que les populations riveraines, particulièrement celles de Kounkané, gardent encore avec chagrin, en mémoire. Sur le plan agricole, les conséquences étaient non seulement multiples mais surtout foncièrement importantes. Cette sécheresse avait annulé toute possibilité de culture de contre-saison et par voie de conséquence, les chances pour le producteur, d'obtenir des revenus additionnels nécessaires pour la stabilité sociale et la réduction (à défaut de l'éradication) de la durée de la période de soudure. Pourtant à la surprise générale, cette situation quasi d'aridité a été vite suivie par un excédent pluviométrique dès l'hivernage de la même année qui a

même entraîné un déversement à la fois des barrages de Niandouba, du confluent (photo 2).



Photo 2 : Les barrages Niandouba et Confluent en déversement (Mandiang et Baldé, août 2003)

La conséquence immédiate de ces déversements est l'inondation des parcelles au niveau du périmètre aménagé. Les producteurs étaient surpris par cette situation car déjà en Avril, il n'y avait pas d'eau au niveau de l'Anambé. Beaucoup de parcelles étaient abandonnées à l'époque.

GESTION DES RESSOURCES EN EAU PAR DES AMENAGEMENTS HYDROAGRICLES

La variabilité hydroclimatique constitue une menace pour des petits exploitants en quête d'une sécurité alimentaire. Elle a globalement causé une baisse des rendements agricoles et a entraîné beaucoup dynamiques en milieu rural. Le projet d'aménagement du bassin de l'Anambé s'inscrit en droite ligne des objectifs du gouvernement visant à réduire la dépendance du Sénégal dans le domaine des importations de céréales, en particulier le riz, et à développer l'économie rurale. Le développement d'une agriculture irriguée dans le bassin de l'Anambé passe ainsi par la promotion d'une culture industrielle du riz, l'amélioration conséquente des revenus des agriculteurs par la création de conditions de travail agricole toute l'année, et la transformation de l'économie agricole régionale. Le bassin de l'Anambé abrite des aménagements depuis 1978 quatre ans après la création de la Société de Développement Agricole et Industriel du Sénégal (SODAGRI).

De la construction de deux barrages hydroagricoles : confluent (1984) et Niandouba (1997)

La construction des barrages du confluent (1984) et de Niandouba (1997) a contribué à une meilleure gestion des ressources en eau du bassin durant toute l'année. Les producteurs ont la possibilité de cultiver en hivernage comme en contre-saison. Le barrage du confluent a une capacité de stockage de 59 millions de m³ d'eau et celui de Niandouba a une capacité maximale de stockage estimée à 130 millions de m³ d'eau, soit un total de 189 millions de m³ d'eau (tabl.9 et 10). Le coût global des investissements du programme de développement du bassin de l'Anambé s'élève à 56 milliards en terme nominal et à 81 milliards de FCFA 2008. Ces coûts englobent la réalisation des barrages, les stations de pompage, les aménagements et le réseau d'irrigation, ainsi que les infrastructures sociales (école, santé, hydraulique).

Tableau 9 : Caractéristiques techniques du barrage du Confluent (1984)

Barrage du confluent	
Evacuateur de crue	Barrage en terre
Type déversoir frontal en béton (20m) ;	Digue de couronnement d'une longueur de 210 m et hauteur de 10 m ;
Vannes wagon de 35m ³ /s ;	Débit de 2m ³ /s ;
Canal de fuite en aval ;	Côte d'exploitation minimale ;
Un seuil de côte de déversement de 22,30 ING ;	Capacité moyenne de stockage : 59 millions de m ³ dont 48 utilisables.
Un bassin de dissipation.	

Créé en 1983, le barrage du confluent est composé de deux principaux éléments : la digue de couronnement qui permet le stockage de l'eau et l'évacuateur de crue qui assure le dégagement des surplus de la retenue. Il fut le premier à être construit au profit de la mise en valeur du périmètre irrigué du bassin de l'Anambé. Le choix du site est purement stratégique, en ce sens qu'il permet l'accumulation en un unique réservoir, l'essentiel des eaux des trois principaux cours du réseau hydrographique de la zone.

Ces deux barrages doivent permettre la mise en valeur de 5000 ha en hivernage et de 3000 ha en contre-saison même s'il faut noter que ces objectifs d'emblavures n'ont jamais été atteints.

Tableau 10 : Caractéristiques techniques du barrage de Niandouba (1997)

Barrage de Niandouba		
Evacuateur de crue	Ouvrage de restitution	Barrage en terre
Un déversoir de 100 m de long d'une capacité de 400 m ³ /s ;	Un chenal d'amenée d'une longueur de 300 m et d'une largeur de fond de 77 m ;	Digue de couronnement d'une longueur totale de 1320 m ;
Un bassin de dissipation de l'énergie ;	Un ouvrage de restitution d'une capacité de 8,5 m ³ /s ;	Hauteur maximale : 18 m ;
Un canal de fuite en aval ;	Une galerie de restitution 2,5*2,5 d'une longueur de 42 m.	Capacité de stockage : moyenne de 85 millions de m ³ et maximale de 130 m ³ ;
Un canal ou côte de déversement de 30,9 ING.		Côte d'exploitation.

Modèle de gestion des aménagements hydroagricoles

La figure 5 montre le mode d'organisation des producteurs du bassin de l'Anambé. Elle est faite par échelons. On peut distinguer des GIE, des producteurs, des unions et une fédération. Littéralement, les producteurs s'organisent en GIE. Ces derniers sont répartis, en fonction des secteurs du périmètre aménagé, en quatre (04) unions hydrauliques qui à leur tour forment la Fédération des Producteurs du Bassin de l'Anambé (FEPROBA).

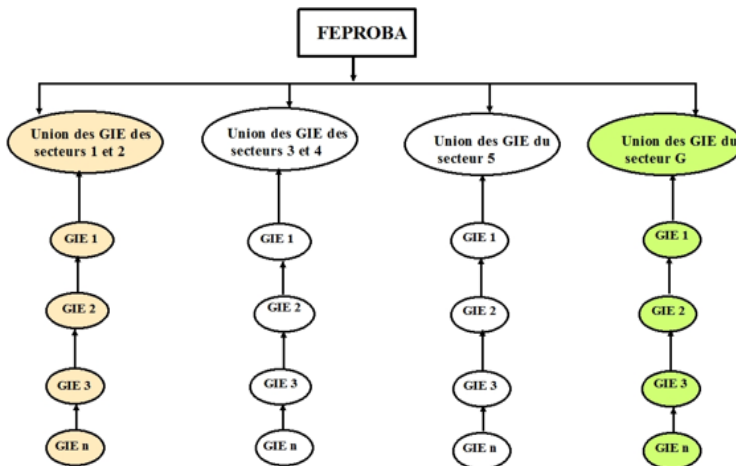


Figure 5 : Modèle organisationnel des producteurs du bassin de l'Anambé, Mballo, 2019

Les unions, d'un point de vue opérationnel, sont organisées en fonction des stations de pompage. L'union a pour rôle d'organiser la chaîne de production d'amont en aval. Mais les échecs répétés surtout en termes de production, de commercialisation, de gestion de crédit ont conduit à la création en juillet 2000 de la fédération des producteurs du bassin de l'Anambé (FEPROBA), pour mieux coordonner les actions des unions.

ANALYSE DE L'EVOLUTION DES EMBLAVURES DANS LES PERIMETRES AMENAGES DU BASSIN DE L'ANAMBE

L'évolution des emblavures dans le bassin a été fluctuante (fig.6). Parmi les facteurs explicatifs, on peut noter la variation des ressources hydriques du bassin et l'irrégularité de certains producteurs dans les périmètres.

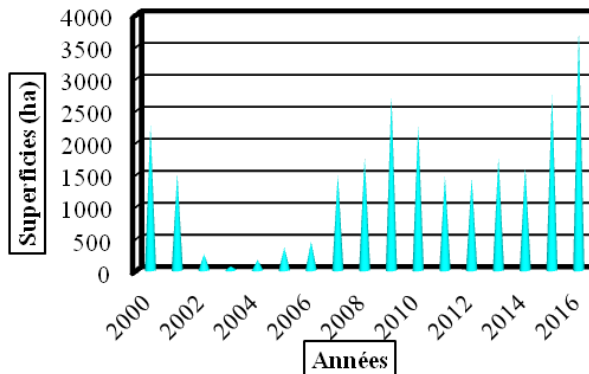


Figure 6 : Evolution des superficies en riz de 2000 à 2016 dans le bassin de l'Anambé.

Au total, 16 264 ha ont été emblavés entre 2000 à 2012, soit une moyenne annuelle de 1 251 ha. Les emblavures durant ces 12 années sont très en deçà des objectifs de 5000 ha malgré une nette amélioration des emblavures en riz dans le bassin à partir de 2009. L'évolution des emblavures de 2000 à 2016 montre une évolution en dents-de-scie. Elle est croissante de 2000 à 2011, de 2013 à 2017. Il faut noter que les superficies emblavées ont augmenté à partir de 2014. Cette hausse est due en grande partie aux différentes politiques et programmes agricoles entrepris par l'Etat du Sénégal durant la période. Nous pouvons citer le PRACAS, le PNAR, le Pasaël, etc. Un important lot de matériel agricole a été acquis dans le bassin durant ces cinq dernières années, ainsi que des intrants.

Les producteurs prennent généralement les intrants (engrais, herbicides, etc.) par prêt, après avoir fourni un apport de 32 000 FCFA auprès des Unions. Ils bénéficient d'un prêt de 4 sacs d'urée, 4 sacs d'engrais MPK et d'herbicides par parcelle labourée. La dette est payée après récolte en riz paddy. La récolte est généralement faite par la moissonneuse ou à la faucille. La lenteur des moissonneuses batteuses due globalement à leur insuffisance par rapport à la demande, oblige certains producteurs à utiliser la faucille par peur de perdre leur riz. Les enquêtes ont montré que 90% des producteurs utilisent la moissonneuse pour la récolte du riz. La variabilité des ressources en eau entraîne une insécurité alimentaire en riz qui selon les enquêtes concerne 74 % des producteurs.

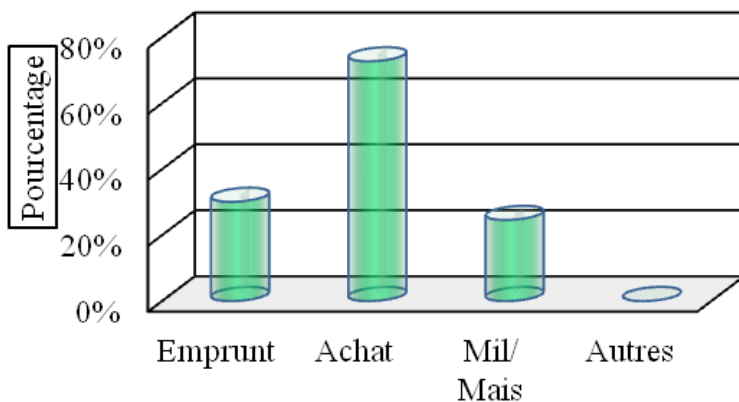


Figure 7 : Mode d'adaptation des producteurs du bassin à la pénurie de riz

La figure 7 montre les modes d'adaptation des producteurs du bassin devant la pénurie de riz. Les enquêtes révèlent que 72,7 % des producteurs achètent et 30,1 % font recours à l'endettement pour survivre. Il convient de souligner que les émigrés jouent un rôle important dans le bassin, car l'argent qu'ils envoient est souvent utilisé pendant les périodes de soudure. Certains sont couverts par la solidarité villageoise en recevant gratuitement du riz de la part des voisins qui sont plus aisés. L'autre facteur important est le nombre de parcelles exploitées par producteur. Les producteurs ayant une seule parcelle, arrivent difficilement à satisfaire leurs besoins en riz. Il suffit d'accuser un retard de labour pour faire une saison morte.

CONCLUSION

Les analyses hydroclimatiques ont montré des dynamiques des ressources en eau du bassin de l'Anambé. Les débits de la Kayanga, principal cours d'eau du bassin de l'Anambé, varient en fonction des apports pluviométriques. Le calcul des CMD de la Kayanga, le principal cours d'eau du bassin de l'Anambé, indique également quatre mois de hautes eaux (Aout, septembre, Octobre et Novembre) qui correspondent au maximum pluviométriques dans la zone. Ce qui place le bassin dans un régime fluvial tropical de transition. Notre analyse a montré que le régime fluvial de transition dans le bassin de l'Anambé est fait à partir de l'écoulement de la Kayanga et celui de l'Anambé. L'évaluation du déficit pluviométrique de 1951 à 2016, à travers les ISP, montre une importante variation des périodes sèches et humides avec une forte tendance à la sécheresse.

Dans les conditions normales de pluviométrie, les ressources en eau mobilisables dans le complexe Kayanga-Anambé devraient suffire pour assurer une double culture sur 5000 et 3000 ha, respectivement en saison des pluies et en contre-saison.

Malgré les efforts d'aménagements consentis dans le bassin, la gestion actuelle et les comportements des différents acteurs est source d'inquiétudes quant à la dynamique environnementale dans cet agrosystème où n'existe aucun programme de suivi des paramètres environnementaux en fonction du degré d'aménagement et de la mise en valeur agricole. On peut envisager la construction du Confluent Niokolo koba-Koulountou et du canal Kayanga-Koulountou dans une perspective d'augmentation des débits d'eau de la Kayanga et de l'Anambé et par conséquent une hausse des superficies exploitables.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BALDE, A., DIOP O. (2013). Relance de la Mise en valeur du périmètre irrigué du bassin de l'Anambé : des stratégies coûteuses, inefficaces et inefficaces, revue de géographie du Lardyme, 18p.
- DACOSTA, H., COLY, A., SOUMARE, P. O. (2005) : Adéquation de l'Offre et de la demande en Eau, dynamique hydrologique de l'Anambé (Sénégal), 16p.
- 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, Ucad, 312p.

- HATHIE, I. (2015). Evaluation économique ex-post des barrages de Niandouba et Confluent au Sénégal, 66p.
- JOUILIT, I. K., BITAR, H., SALAMA, I., AMRAOU, MOKSSIT A., TAHIRI, M. (2013). Sécheresse météorologique au bassin hydraulique OUM ER RBIA durant les dernières décennies, Larhyss Journal, 12, pp.109-127.
- MCKEE, T. B., DOESKEN, N. J., KLEIST, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, 17-22 January 1993, pp.179-184.
- MBALLO, I. (2016). Projet d'autosuffisance en riz et développement des aménagements hydroagricoles dans le bassin de l'Anambé », Mémoire de Master II, UASZ, 128p.
- MERMET, L., TREYER, S. (2001). « Quelle unité territoriale pour la gestion durable de la ressource en eau ? », Annales des Mines, pp. 67-79.
- MIRABBASIA R., ANAGNOSTOUB E.N., FAKHERI-FARDA A. DINPASHOHA Y., ESLAMIANC S. (2013). Analysis of meteorological drought in northwest Iran using the Joint Deficit Index, Journal of Hydrology, Vol.492, Issue 7, pp. 35-48.
- N'GUESSAN B. V. H., OGA Y. M. S., YAPI A. F., KOUADIO B. H., BIEMI J., AFFIAN K. (2018). Caractérisation de la sécheresse météorologique dans la région de la Marahoue (centre-ouest de la Côte d'Ivoire) : apport de l'indice standardisé de Précipitation (spi), Larhyss journal, N°33, pp. 41-50.
- SAVANE I., COULIBALY K. M., GION P. 2001. Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man, Science et changement planétaire/Sécheresse, Vol.12, Issue 4, pp. 231-237.
- SOUGOUFARA, A. (2011). Analyse de la performance de la Sodagri dans la mise en œuvre du projet d'appui au développement rural dans le bassin de l'Anambé dans la région de kolda (PADERBA), Master 2 professionnel en Sciences de gestion, spécialisation en gestion de projet, 95p.
- SOW, O. (2013). Analyse des déterminants de la mise en valeur des aménagements hydroagricoles du bassin de l'Anambé, des stratégies des acteurs et des contraintes de l'environnement de production, 55p.
- SY, O., MBALLO, I. (2017). Vulnérabilité et insécurité alimentaire dans le bassin de l'Anambé : l'exploitation familiale à croisée des chemins, N° Décembre Folofolo, 35p.
- TREYER, S. (2005). « La disponibilité des ressources naturelles en eau comme facteur limitant du développement. Un débat prospectif à l'échelle mondiale », Etudier des écologies futures, Bruxelles, Editions P.I.E.-Peter Lang, p. 303-323.
- GWP (2009). Manuel de gestion intégrée des ressources en eau par bassin, Elanders, Suède, 112 p.