

LE NIAOULE ET SON BASSIN : ETUDE HYDROLOGIQUE

Amadou Abdoul SOW

Département de Géographie
Université Cheikh Anta DIOP de Dakar (Sénégal)
E-mail : amsow310@hotmail.com

Résumé

Cette étude hydrologique analyse les facteurs de l'écoulement dans le bassin du Niaoulé, facteurs qui déterminent les modalités de l'écoulement fluvial. Celles-ci sont analysées à travers le régime moyen et sa variabilité et l'écoulement journalier. L'analyse montre que malgré une pluviométrie relativement abondante (environ 800 mm/an), l'écoulement connaît des débits très faibles avec plusieurs mois, dans l'année hydrologique, qui enregistrent un nombre très important de jours marqués par l'arrêt total de l'écoulement, témoin de la sévérité des étiages.

Mots clés : Bassin versant, débit, écoulement fluvial, régime, variabilité.

Abstract:

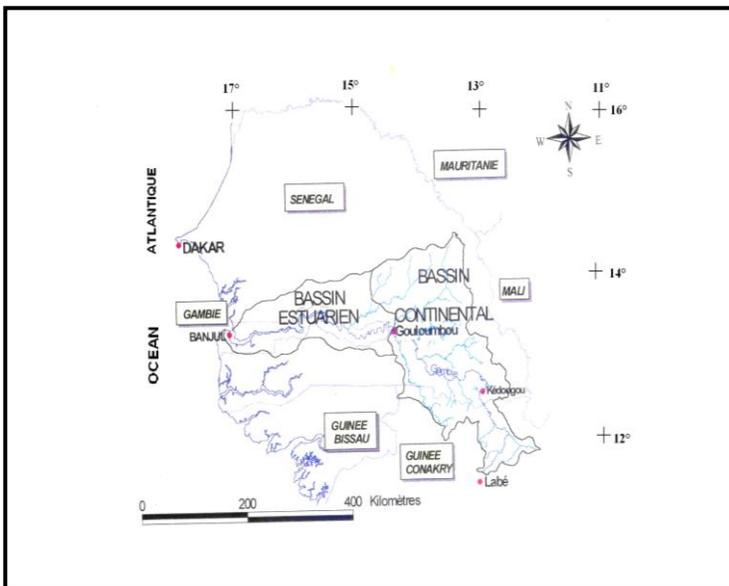
This hydrological study analyzes the factors of the flow in the *Niaoulé* basin, factors which determine the modalities of the fluvial flow. These modalities are analyzed through the average rate of flow and its variability and daily flow. The analysis shows that in spite of a relatively abundant rainfall (approximately 800 mm/an), the rate of flow is very low, with several months in the hydrological year with an important number of days marked by the total stopping of the flow, as an evidence of the severity of the low water.

Keywords: Catchment area, river flow, rate discharge, variability.

Introduction

Le Niaoulé est un affluent de rive droite du fleuve Gambie¹. Son bassin versant couvre une superficie de 1230 km², soit 1.6 % du bassin de Gambie qui fait 77054 km². Le bassin du Niaoulé s'étend entre les latitudes 13°24' et 13°54' N et entre les longitudes 13°12' et 13°44' Ouest (carte 1). Le bassin est équipé avec la station hydrométrique de Niaoulé-Tanou située à environ dix kilomètres de la confluence avec la Gambie.

Carte 1 : Bassin de la Gambie



Les données et méthodes

Toutes les données climatiques de l'étude proviennent de l'Agence nationale de l'aviation civile du Sénégal (ANACIM). Il s'agit des données de la station synoptique de Tambacounda observée

¹ Le fleuve Gambie est un des cours d'eau de l'Afrique de l'Ouest qui traverse la Guinée, le Sénégal et la Gambie qui lui donne son nom. L'essentiel de ses affluents se trouve en territoire sénégalais où se déroulent 71% de la superficie du bassin soit 54631 km².

depuis 1919. Elles sont de bonne qualité et disponibles au pas de temps mensuel. La période d'étude s'étend sur 88 ans (1919-2010) période sur laquelle la moyenne a été déterminée ainsi que les paramètres d'analyse comme le coefficient de variation, les écarts entre valeurs extrêmes et les coefficients pluviométriques mensuels. Les autres données climatologiques concernent les moyennes mensuelles de l'évaporation, des températures moyennes et l'humidité relative pour la période 1970-2000, soit 30 ans.

Les données hydrométriques proviennent de la Direction Générale de Planification des ressources en eau du Sénégal (DGPRE). Le bassin ne dispose que d'une station hydrométrique, la station de Niaoulé Tanou, suivie depuis 1970. Les données analysées couvrent une période de 24 ans, période pour laquelle nous déterminons les modules moyens mensuels.

La méthodologie adoptée dans ce travail s'articule autour de quatre axes. Il s'agit de : (i) de l'analyse des facteurs de l'écoulement, (ii) la caractérisation du régime pluviométrique et de sa variabilité, (iii) du régime hydrologique moyen et de sa variabilité, leur comparaison et (iv) l'analyse de l'écoulement journalier à travers 2 années caractéristiques, l'année la plus humide et l'année la plus sèche. L'analyse montre que malgré une pluviométrie importante (environ 800mm/an), et des caractéristiques géologiques généralement favorables à la constitution de réserves souterraines, l'écoulement du Niaoulé reste très indigent, avec de faibles débits.

1. Les facteurs de l'écoulement dans le bassin

La géologie, le relief et le système de pentes qui l'accompagne, les sols qui porte la végétation constituent les facteurs stables du bassin. La pluviométrie (donnée aléatoire) qui dépend du climat, de même que les températures et les effets induits comme l'évaporation ont une large influence sur les modalités de l'écoulement.

1.1. La géologie du bassin

La seule structure géologique qui apparaît dans le bassin du Niaoulé est le bassin sédimentaire du Continental Terminal. Selon Michel (1973), il s'agit d'éléments remaniés sous un climat semi-aride qui ont formé les faciès grès-argileux du Continental Terminal de

l'Oligocène au Pliocène. Localement, on rencontre une cuirasse ferrugineuse et des sables limoneux dans les talwegs. Quand la cuirasse est démantelée, elle abrite une nappe phréatique généralisée, laquelle nappe peut soutenir les débits d'étiage.

Enfin des failles, des fractures ou linéaments tectoniques dans les zones de broyage des roches rendent celles-ci perméables favorisant ainsi l'infiltration des eaux.

L'histoire géologique et tectonique du bassin permet ainsi d'identifier deux types de formations caractérisées par leur grande perméabilité variant du Nord au Sud du bassin :

- Les alluvions et sables graveleux dans lesquels les argiles sont pratiquement inexistantes, ce qui donne une formation perméable comme en témoignent les nappes temporaires dans les alluvions fluviales.
- Les sables et les grès du Continental Terminal à perméabilité d'interstices qui peuvent donner lieu à une nappe assez bien fournie.

Ces formations très perméables du bassin du Niaoulé peuvent donner lieu à des réserves souterraines, qui peuvent soutenir les basses eaux extrêmes, à condition que l'alimentation pluviale soit suffisante (entre 600 et 800 mm de pluie/an).

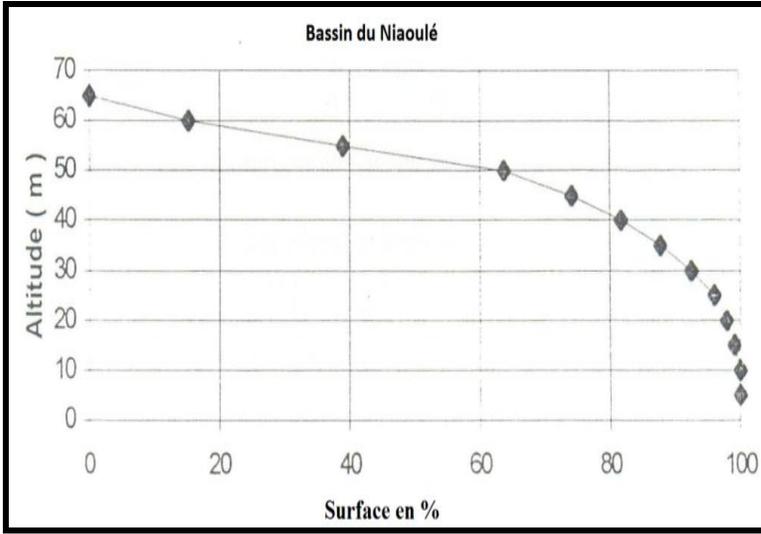
1.2. Le relief et le système de pentes

Le relief du bassin du Niaoulé est assez uniforme avec des altitudes très faibles dans l'ensemble. Le point culminant, avec 65 m, se trouve à l'extrême Nord-est du bassin. L'altitude minimale qui correspond à 10 m est notée vers l'exutoire. Le relief est constitué d'un plateau tabulaire de 40 m d'altitude en moyenne. La répartition des altitudes présente deux tranches d'altitude exprimée par la courbe hypsométrique (Konaté 1998) :

- 88% du bassin se trouvent en dessous de 40 m, correspondant aux versants, pentes et glacis d'épandage qui cernent la zone de confluence du Niaoulé avec la Gambie.
- 12% du bassin se situent entre 40 et 65 m, il s'agit de plateaux et buttes résiduelles recouverts de lithosols sur cuirasse.

La courbe hypsométrique du bassin (fig.1) permet de caractériser le relief et fournit des renseignements sur l'allure générale des pentes dans le bassin.

Figure1 : Courbe hypsométrique du bassin versant du Niaoulé



Source : Konaté 1998

Le tableau 1 résume l'essentiel des données morphométriques du bassin. L'indice de pente, IP^1 , défini par M. Roche (1963), est égal à 0.004 pour le bassin du Niaoulé traduisant ainsi une très grande faiblesse des pentes du bassin. L'indice de pente a une grande influence sur l'écoulement. C'est elle qui, en définitive, constitue le

¹ Cet indice de pente est basé uniquement sur la courbe hypsométrique et sur la notion de rectangle équivalent. Il est déterminé de la manière suivante :

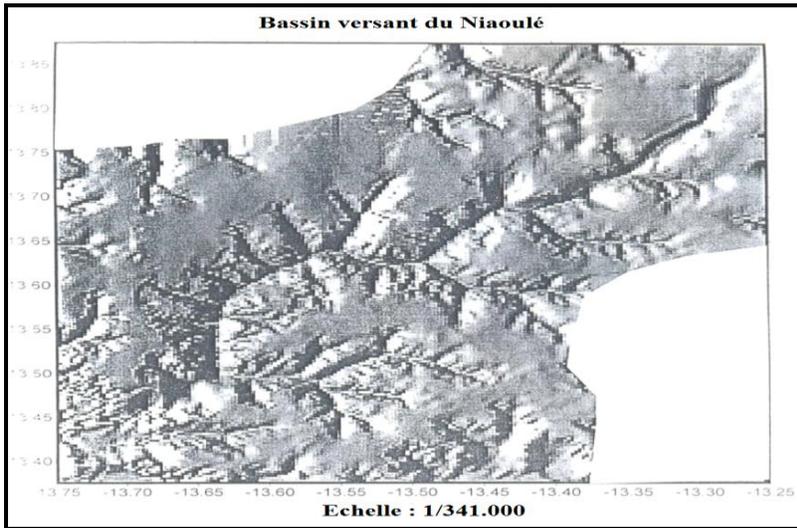
$$IP = \frac{D}{L}$$

D est égale à la dénivelée simple ou altitudes comprises entre H 5% - H 95%. L est la longueur du rectangle équivalent. Le rectangle équivalent est un rectangle qui a la même superficie A, même coefficient de compacité K et même distribution hypsométrie que le bassin. Sa longueur L et sa largeur l se calculent de la manière suivante :

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K} \right)^2} \right] \text{ et } l = \frac{K\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K} \right)^2} \right]$$

facteur principal de ruissellement, qui sera d'autant plus important et rapide que le relief sera vigoureux. Cette faiblesse des pentes, due aux variations des altitudes qui sont peu importantes, a pour conséquence une diminution de la vitesse de l'écoulement, donc une atténuation des débits de crue et des pertes par évaporation plus importantes.

Figure 2: Modèle numérique de terrain du bassin versant du Niaoulé



Source : Konaté 1998

La forme du bassin exprimée par le coefficient de compacité Gravelius Kc^1 et qui est égal à 1.25 traduit une forme assez allongée, qui est plus apte à écouler l'eau.

¹ Le coefficient de compacité Gravelius $K.C$ qui est le rapport entre le périmètre (P) du bassin versant et le périmètre du cercle qui a la même superficie que le bassin versant. L'indice de compacité se calcule comme suit :

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \text{ ou } Kc \approx 0,28 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

P est le périmètre stylisé du bassin ; A est la superficie du bassin.

Tableau 1 : Caractéristiques morphométriques du Niaoulé à la station de Niaoulé Tanou

Cours d'eau	Coordonnées de la station		Superficie (km ²)	Coefficient de forme de Gravelius	I.P (m/km)	Altitude maximale en m	Altitude minimale en m	Pente moyenne du B.V en %
	Latitude	Longitude						
Niaoulé	13° 29'	13° 41'	1230	1.25	0.004	65	10	0.5

Le bassin du Niaoulé est entièrement situé sur les formations perméables du Continental Terminal. Le relief est très mou avec un réseau hydrographique en arêtes de poisson (carte 2). Le cours d'eau dispose sur ses deux rives d'affluents d'importance secondaire qui convergent vers le talweg principal. Le tableau 2 suivant donne la hiérarchisation du réseau hydrographique.

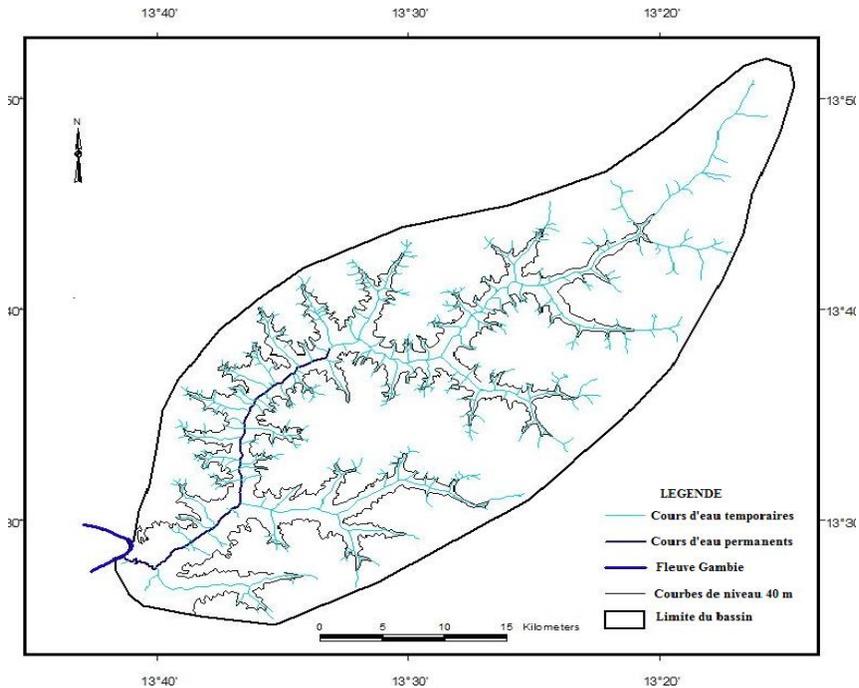
Tableau 2 : Classification et longueur des thalwegs sur le Niaoulé

Ordre	Nombre	Longueur en km
1	237	182.9
2	48	155.9
3	8	46.4
4	2	30.1
5	1	41.2

Source : Konaté 1998

La densité de drainage, qui exprime le rapport entre la longueur totale des cours d'eau du réseau et la superficie du bassin, est égale à 0.41 km/km² en raison de l'importance des formations perméables du bassin, associées à des pentes très faibles, dans un bassin allongé NE-SW (carte 2).

Carte 2 : Réseau hydrographique du bassin versant du Niaoulé



Source : Base de données du Centre du suivi écologique.

1.3. Les sols et la végétation du bassin

Les sols et la végétation ont un rôle important dans l'écoulement d'un cours d'eau. Deux phénomènes ont laissé leur empreinte sur les sols du bassin versant du Niaoulé. Le cuirassement et la latérisation qui sont déterminants non seulement sur la capacité d'infiltration des sols mais aussi sur leur aptitude à porter une végétation importante.

Les facteurs de cuirassement sont nombreux dans le bassin du Niaoulé, aussi, on trouve dans le bassin du Niaoulé, d'épaisses cuirasses qui couvrent les plateaux à manteau latéritique et qui coiffent les sommets tabulaires du bassin. En contre-bas des reliefs tabulaires, les cuirasses se sont développées sur des glacis souvent étagés.

1.3.1. Les sols du bassin du Niaoulé (carte 3)

Trois grands types de sols sont rencontrés dans le bassin versant du Niaoulé. Le tableau 3 sert de base à l'analyse des types de sols dans le bassin du Niaoulé.

1.3.1.1. Les sols sur matériau gravillonnaire

Ce type est le plus représenté avec 39.61% des sols du bassin et est développé sur éboulis de cuirasse accumulés au pied des escarpements de la cuirasse. Ce sont des sols non climatiques d'apport hydromorphes, divisés en deux familles :

- les sols plus ou moins argileux des plateaux (11.56%) dans le Nord-est du bassin ;
- les sols plus ou moins limoneux à argileux des plateaux (28.05%) occupant la plus grande partie du bassin.

Ces sols se raccordent dans les axes de drainage et sont ainsi affectés par le phénomène d'engorgement, favorisé par la topographie plane du relief qui ralentit l'écoulement.

1.3.1.2. Les sols minéraux bruts

Dans le bassin, il s'agit surtout de sols minces qui résultent d'une importante érosion. On distingue deux sous groupes :

- les régosols sur matériau gravillonnaire de démantèlement des cuirasses qui représentent 12.34% de l'extension des sols du bassin ;
- les lithosols sur cuirasse qui, avec 21.53% de superficie couverte, sont les plus représentés.

Ces sols occupent les bordures des plateaux et interfluves de topographie plane, ils sont riches en matières organiques et sont souvent associés aux sols évolués.

1.3.1.3. Les sols ferrugineux tropicaux

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés (26% des sols du bassin) sont subdivisés en deux familles :

- les ferrugineux tropicaux sur matériaux argilo-sableux à argileux plus ou moins limoneux de colmatage qui

représentent 14.12% des sols du bassin et qui occupent les plateaux (Pereira 1966) ;

- ceux, sur matériau sablo-argileux à argilo-sableux qui se sont développés sur des produits remaniés du Continental Terminal par le réseau hydrographique. Très répandus sur tous les axes de drainage du Niaoulé, ils recouvrent 11.78% de la superficie du bassin.

Tableau 3 : Répartition des types de sols sur le bassin du Niaoulé

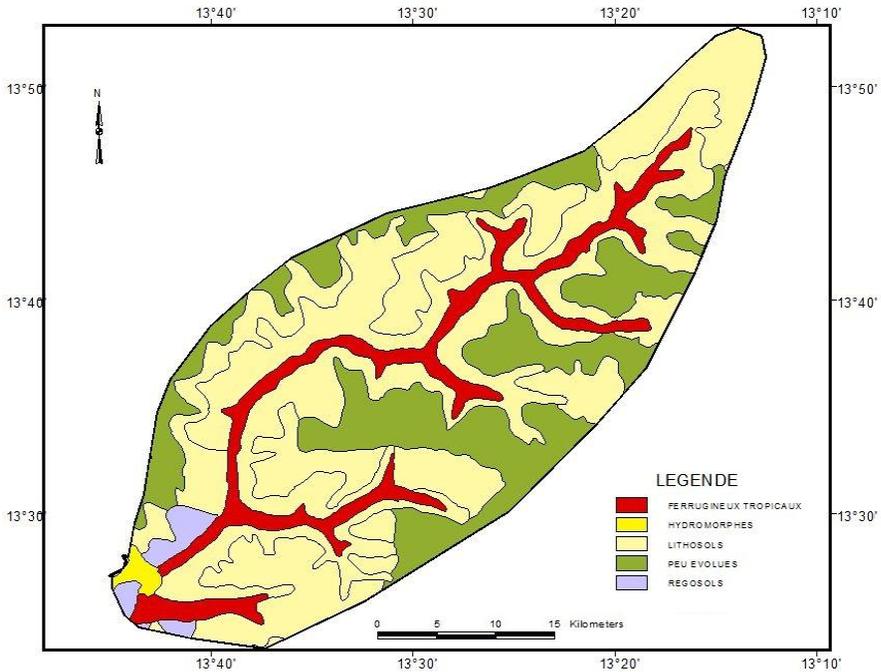
Sols sur matériaux gravillonnaires		Sols minéraux bruts		Sols ferrugineux tropicaux	
		Régosols	Lithosols		
Plus ou moins argileux des plateaux	Plus ou moins limoneux à argileux des plateaux	sur matériau gravillonnaire	Sur cuirasses	Sur matériau de colmatage des pentes et sols gravillonnaires plus ou moins argileux des plateaux	Sur matériau sablo-argileux et colluvio-alluvial
11.56%	28.05%	12.34%	21.53%	14.12%	11.78%

Source : Konaté (1998)

Les sols dans l'ensemble du bassin sont minces et peu profonds en raison de leur évolution peu importante et de leur origine (sols d'apport ou d'érosion). Ainsi, ils ont une faible capacité à contenir des nappes superficielles importantes. Cependant les sols ferrugineux tropicaux relativement profonds offrent des possibilités plus grandes par rapport aux sols peu évolués ou aux sols minéraux bruts des plateaux.

L'eau peut aussi s'infiltrer dans les zones de démantèlement de la cuirasse et alimenter une nappe profonde. L'étude des sols est aussi importante pour leur capacité à entretenir une végétation, autre facteur de l'écoulement.

Carte 3 : Esquisse pédologique du bassin du Niaoulé



Source : Base de données du Centre de suivi écologique

1.3.2. La répartition de la végétation dans le bassin

La végétation est, de façon générale, liée à l'abondance des pluies, à la nature des sols et parfois à des conditions locales particulières. La savane est la formation la plus répandue dans le bassin du Niaoulé. Elle va de la savane boisée à la savane arborée à arbustive, avec quelques portions de forêt claire.

1.3.2.1. La savane boisée

C'est la formation la plus étendue qui couvre plus de la moitié de la superficie du bassin, avec des espèces très variées. Elle est plus dense dans les larges vallées et sur les sols sableux colluviaux. On y rencontre des espèces comme *Andropogon gayanus*, *Anogeissus leiocarpa* et *Andropogon amplexans*...

Les espèces comme *Sterculia setigera*, *Bombax costatum*, *Cordyla pinnata*, *Combretum glutinosum* et *Combretum nigricans* se développent sur les plateaux à sols ferrugineux tropicaux.

1.3.2.2. La savane très boisée et les forêts claires

Elles couvrent les sols hydromorphes argileux avec des espèces d'arbres caractéristiques comme *Anogeissus leiocarpa*, *Pterocarpus erinaceus*, *Kaya senegalensis*, *Terminalia macroptera*, *Celtis indigoflora*, *Elaeis guineensis*...

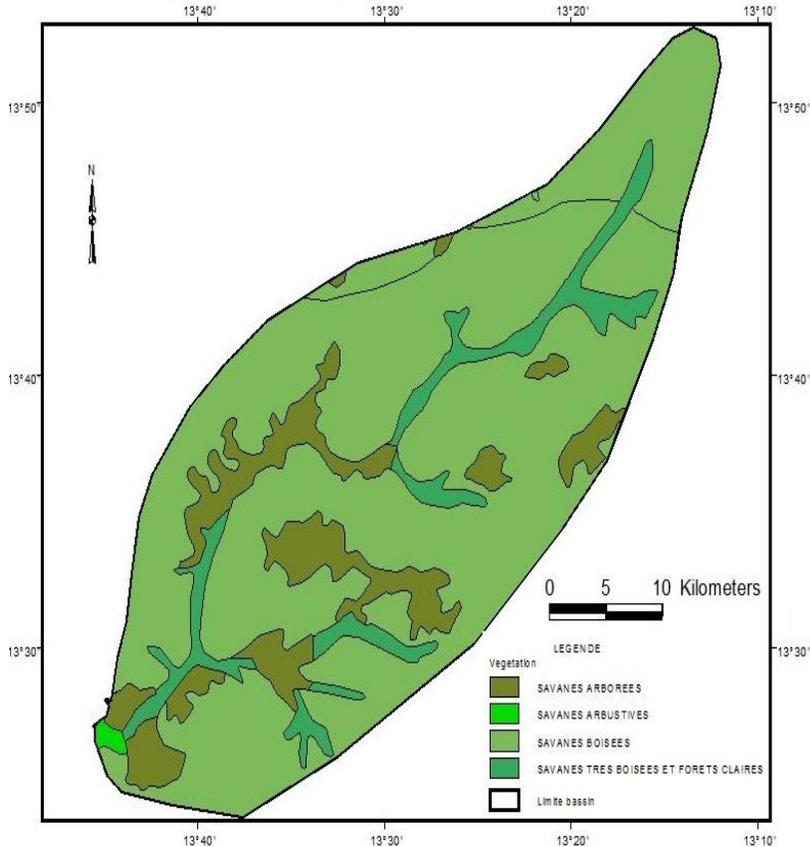
1.3.2.3. La savane arborée

Peu étendue dans le bassin du Niaoulé, elle se développe sur les plateaux et les surfaces pénéplanées. Les arbres dominants sont *Terminalia macroptera*, *Pterocarpus erinaceus* et *Cordyla pinnata* avec un tapis herbacé d'*Andropogonées*.

1.3.2.4. La savane arbustive

Localisée au Sud-ouest du bassin vers l'exutoire, elle ne recouvre qu'une faible portion du bassin, avec des espèces présentes dans les vallées comme *Andropogon gayanus*, *Pennisetum pedicullatum*, *Pichrostachys glomerata*, *Mitragyna inermis*.

Carte 4 : Esquisse de la végétation du bassin versant du Niaoulé



Source : Base de données du Centre de suivi écologique

La présence de cuirasse ne favorise pas l'installation de grands arbres, sauf localement quand elle est démantelée, surtout sur les rebords des plateaux.

2. La pluie et sa variabilité dans le bassin

L'alimentation du Niaoulé, cours d'eau en milieu tropical, est exclusivement pluviale. Les pluies, qui dépendent du climat, de même que les températures qui conditionnent les mécanismes de l'évaporation, définissent les modalités de l'écoulement fluvial.

2.1. Le régime pluviométrique et sa variabilité

Le régime pluviométrique est lié à la quantité annuelle de pluie reçue, mais surtout de sa répartition et de la durée de la saison

pluvieuse. La station synoptique de Tambacounda située entre 13°46' N et 13°41'O à 49 m d'altitude est la station de base pour l'analyse du régime pluviométrique. Elle est observée depuis 1919 et la série analysée est longue de 88 ans (1919-2010).

L'évolution intermensuelle de la pluie met en évidence une longue saison des pluies de 6 mois, qui débute en mai (51 % des observations) et se termine en octobre (52 % des cas observés). Le maximum pluviométrique est sur le mois d'août (41% des cas) et les pluies sont concentrées entre les mois de mai à octobre.

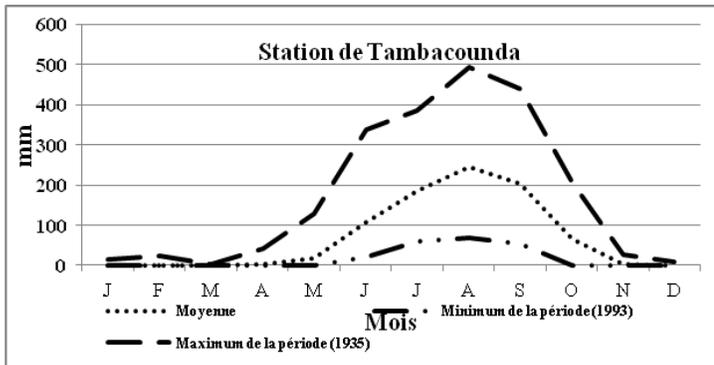
Tableau 1 : Données moyennes d'analyse de la pluie en mm à la station de Tambacounda de 1919 à 2010 (88 ans)

Descripteurs	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN	NJP
Moyenne	0	1	0	2	17	108	184	246	202	65	2	0	830	65
Ecart type	1,6	3	0,6	6,2	22,8	57,2	61	101,4	85,3	46,4	4,8	1,4	194,9	10,9
Coefficient de variation	6,8	4,5	3,9	3,6	1,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,7	2,5	3,7	0,2	0,2
Minimum de la période (1993)	0	0	0	0	0	21	60	68	55	0	0	0	434	55
Maximum de la période (1935)	14	24	4	42	129	338	385	495	441	207	27	8	1246	75
Ecart en mm	14	24	4	42	129	317	325	427	386	207	27	8	812	20
Coefficient pluviométrique en %	0	0	0	0	2	13	22	30	24	8	0	0	100	
Début de la saison pluvieuse en %	0	0	1	12	51	16							100	
Maximum de la saison pluvieuse en %						2	16	41	21				100	
Fin de la saison pluvieuse en %										52	24	4	100	

NJP : nombre de jours de pluie ; **Coefficient de variation** : Rapport de l'écart type de la série/moyenne ; **Ecart en mm** : différence entre les maximum et minimum de la série observée ; **Coefficient pluviométrique** : Rapport en % de la pluie moyenne mensuelle/la pluie moyenne annuelle

En fait les trois mois de juillet à septembre concentrent 76 % de la pluie reçus, quand on y ajoute le mois de juin, les quatre mois concentrent 89 % du total pluviométrique annuel. Le mois d'août a un coefficient pluviométrique de 30 % soit : 427 mm, suivi de septembre 24 % et juillet 22 %. Le reste de l'année peut enregistrer de faibles totaux : mai 2 % du total annuel et octobre 8 % de ce total. La hauteur moyenne annuelle est de 830 mm pour les 88 ans, ce qui est relativement important (tableau n°4).

Figure 3 : Évolution moyenne mensuelle de la pluviométrie à Tambacounda (1919-2010)



Le nombre de jours de pluie est aussi élevé, à l'image du module pluviométrique annuel. Il atteint en moyenne annuelle, 64 jours avec une variabilité faible. Le coefficient de variation est de 0,2. La précipitation moyenne annuelle reste variable quoique faiblement (0,2). L'année la plus humide des 88 ans d'observation est l'année 1935 qui a reçu 1246 mm en 74 jours de pluie. L'année la plus « sèche » est observée en 1993 avec 434 mm en 55 jours de pluie.

On peut donc noter partout, à quelques exceptions près (fig. 3) :

- que le maximum intervient toujours, quel que soit le caractère de l'année, au mois d'août ;
- en année « humide » le début de la saison pluvieuse est normal (mai), en revanche la fin est tardive (novembre) ;
- en année « sèche », en revanche, le début de la saison pluvieuse est tardif et la fin normale, soit une saison pluvieuse plus courte avec une pluviométrie moins copieuse. Toutefois le maximum demeure toujours en août.

Ce régime est stable au regard de la place du maximum pluviométrique mensuel qui se situe toujours au mois d'août. Il est tropical, unimodal, (avec une seule saison pluvieuse qui dure six mois de mai à octobre et une saison non pluvieuse qui dure également six mois).

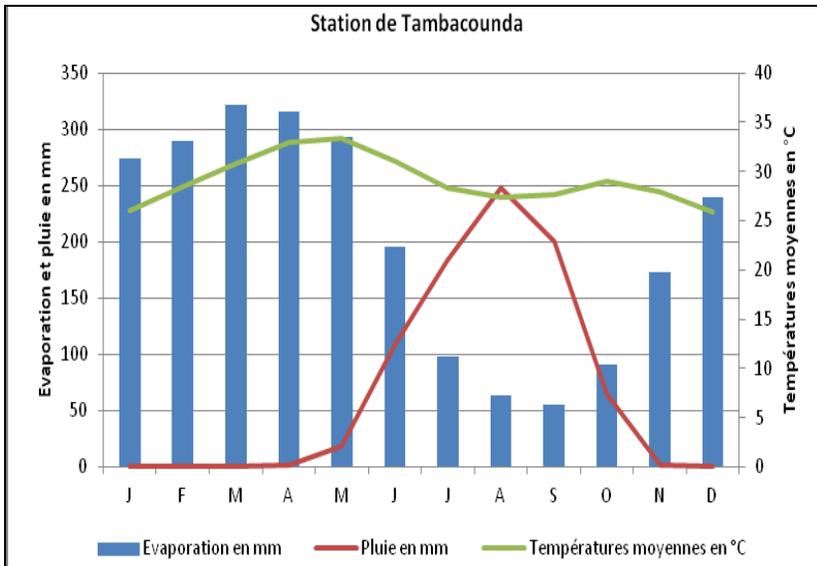
Tableau 2 : Données moyennes mensuelles de quelques éléments du climat à la station de Tambacounda (1970-2000)

Descripteurs	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN
Evaporation en mm	274	289	322	316	293	196	98	63	55	91	173	240	201
Pluie en mm	0	1	0	2	18	109	184	248	200	65	2	0	829
Températures moyennes en °C	26,0	28,4	30,8	32,9	33,4	31,0	28,3	27,4	27,6	29,0	27,9	25,9	29,1
Humidité relative moyenne	27	25	26	30	40	59	75	80	80	71	50	33	49,7

L'analyse comparée de quelques éléments du climat (fig.4) montre que le bassin se trouve dans le domaine Nord soudanien avec deux grandes saisons qui divisent l'année.

- De novembre à avril une période de six mois durant laquelle l'évaporation enregistre son maximum en février avec 322 mm. La température moyenne connaît son maximum principal à la fin de cette période en mai (33.4°C) et l'humidité relative enregistre ses valeurs les plus faibles (moins de 50 % d'humidité relative). La siccité de l'air fait que les précipitations enregistrées durant cette saison sont très faibles, voire inexistantes. C'est la saison non pluvieuse ou saison sèche (tableau 5).
- De mai à octobre une seconde période de six mois durant laquelle l'humidité relative augmente dès le mois de juin avec 59 % et atteint son maximum au mois d'août et septembre avec 80 %. La température moyenne mensuelle y connaît son minimum secondaire en août (27.4°C), mois qui enregistre le maximum pluviométrique. Les mois de mai à octobre enregistrent des précipitations. C'est la saison pluvieuse et la pluie constitue le facteur principal qui commande l'écoulement dans le bassin.

Figure 4 : Evolution comparée de paramètres du climat dans le bassin versant du Niaoulé



Tous les facteurs analysés ont une influence sur l'écoulement du Niaoulé, influence qui peut favoriser ou limiter le ruissellement :

- le relief très peu élevé du bassin, avec ses faibles altitudes s'accompagnant de pentes très faibles, ralentit l'écoulement et favorise les pertes par évaporation ;
- le seul faciès, très homogène de dépôts continentaux du Continental Terminal, présent sur le bassin, a un caractère très perméable qui peut favoriser une infiltration. Les réserves souterraines, si elles sont bien alimentées, peuvent soutenir les débits d'étiage ;
- les sols gravillonnaires du bassin ont une faible capacité de rétention, ce qui se traduit par des délais de saturation réduits. Les lithosols sur cuirasse, en raison de la faiblesse des pentes, créent des zones de rétention de surface, ce qui contribue à réduire la lame d'eau écoulee, au profit de l'évaporation.

Il ressort de cette synthèse que, malgré une pluviométrie relativement élevée (830 mm/an), les autres facteurs, excepté la géologie, contribuent à réduire la durée de l'écoulement ainsi que les disponibilités en eau de surface.

L'écoulement dans le bassin est mesuré à la station hydrométrique de Niaoulé Tanou. Elle contrôle l'ensemble du bassin versant (1230 Km²) ; elle est située à 13°48'N et 13°68'W, sur un radier à environ dix kilomètres de la confluence de la rivière avec la Gambie. L'échelle de mesure des hauteurs d'eau est composée de 5 éléments et est rattachée à deux bornes cotées dans le système I.G.N à 54,28 m. Le zéro de l'échelle est calé à 9,68 m I.G.N.

Tableau 3 : Présentation de la station de Niaoulé Tanou

Superficie du bassin en Km ²	Latitude Nord	Longitude Ouest	Altitude du zéro de l'échelle	Date de création
1230	13°48'	13°68'	9.68m	16 août 1970

Tous les relevés de hauteurs d'eau n'ont pas été traduits en débits pour des raisons liées soit à l'absence de jaugeages soit à l'arrêt de l'appareil enregistreur. Les seules valeurs de hauteurs d'eau (en cm), observées à la station et traduites en débits, sont celles qui couvrent la période allant de 1970 à 1993, soit 24 ans d'observations complètes. C'est cette série que nous utilisons pour l'analyse.

2.2. L'écoulement et son régime

Le tableau 7 présente les données d'analyse du régime moyen annuel du Niaoulé.

Tableau 7 : Station hydrologique de Niaoulé Tanou : Débit en m³/s de 1970 à 1993 (24 ans)

Descripteurs	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	An
Moyenne	0,04	0,36	0,85	0,70	0,69	0,16	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
CMD	0,18	1,50	3,55	2,92	2,88	0,66	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ecart-type	0,12	0,43	0,80	0,93	1,04	0,39	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36
Coefficient de Variation	0,36	0,83	1,07	0,75	0,67	0,41	0,36	0,37					0,66
Maximum de la série	0,50	1,38	2,88	3,47	3,39	1,67	0,14	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12
CMD	0,45	1,24	2,57	3,10	3,02	1,49	0,13	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Minimum de la série	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecart de la série	0,50	1,38	2,88	3,47	3,39	1,67	0,14	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12

CMD : Coefficient Mensuel de Débit qui est le rapport du débit d'un mois sur le débit moyen annuel. Quand le CMD est ≥ 1 il s'agit d'un mois de la période de hautes eaux, s'il est < 1 le mois est considéré comme un mois de la période de basses eaux.

L'évolution des valeurs moyennes mensuelles de débits traduit deux périodes :

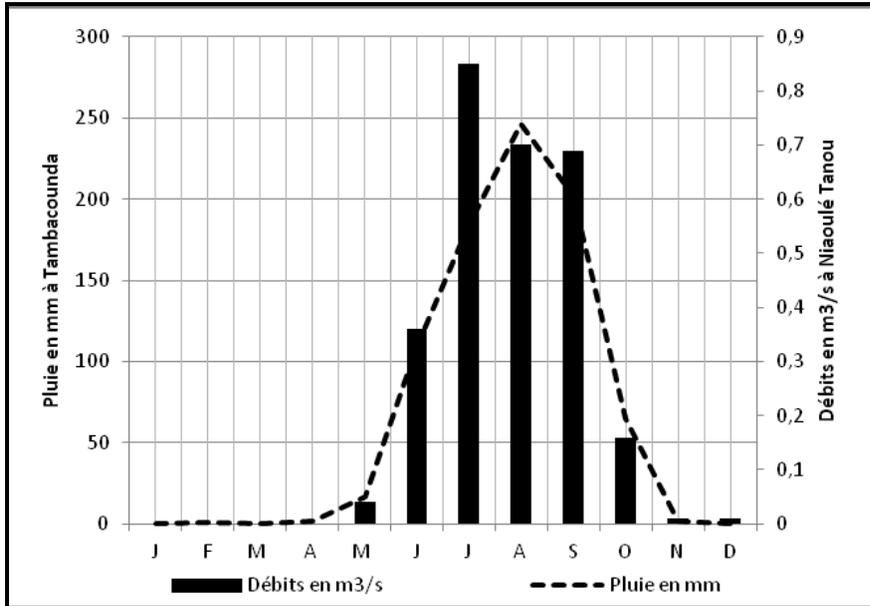
- une période de montée des eaux qui va d'avril à juillet où le débit passe de $0,00 \text{ m}^3/\text{s}$ à $0,85 \text{ m}^3/\text{s}$ soit un accroissement total de $0,85 \text{ m}^3/\text{s}$. Entre avril et mai le module augmente de $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$, soit 5% en valeur relative. Entre mai et juin le module passe de $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ à $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ soit une augmentation brute de $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$ (37%) par rapport au module de mai, ce qui est important. Entre juin et juillet le module passe de $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ à $0,85 \text{ m}^3/\text{s}$ soit une augmentation de $0,49 \text{ m}^3/\text{s}$, la plus forte augmentation qui fait 58% en valeur relative. La montée des eaux se fait ainsi en quatre mois : d'avril à juillet, juillet correspondant au maximum mensuel ;
- une période de descente des eaux qui s'amorce dès le maximum de juillet. En août le débit diminue faiblement passant de $0,85 \text{ m}^3/\text{s}$ (juillet) à $0,70 \text{ m}^3/\text{s}$, soit une diminution de $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ (-18%). La plus forte diminution du débit intervient entre septembre et octobre. Entre ces deux mois, le module passe de $0,69 \text{ m}^3/\text{s}$ à $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ soit une baisse de $0,53 \text{ m}^3/\text{s}$ (-63%), ce qui est très élevé. De juillet à septembre le débit du Niaoulé diminue, en trois mois, de $0,69 \text{ m}^3/\text{s}$, soit 82,2 %. Si on y ajoute la baisse de 17,1 % qui intervient entre septembre et octobre, la rivière, en quatre mois, perd 99,2% du débit, débit qui s'annule dès janvier et la rivière est à sec le reste de l'année (figure 5).

La décroissance des modules est plus lente que la montée, elle s'effectue en cinq mois (juillet-novembre).

L'écoulement dure huit mois à Niaoulé Tanou de mai à décembre, période qui couvre la saison pluvieuse qui s'étend de mai à octobre (figure 5). Le débit maximum mensuel intervient un mois (en juillet)

avant le maximum pluviométrique qui est d'août. Ce qui est précoce. C'est un régime pluvial, unimodal.

Figure 5 : Courbe comparative de la pluviométrie et des débits moyens mensuels



Le tableau 7 révèle la faiblesse et la modicité des débits du Niaoulé à la station de Niaoulé Tanou durant la période 1970-1993. Les débits mensuels faibles n'atteignent jamais $1\text{m}^3/\text{s}$. Le coefficient mensuel de débit (CMD), montre que quatre mois ont un $\text{CMD} \geq 1$ correspondant à la période de hautes eaux (juin, juillet, août et septembre) et le reste de l'année hydrologique (8 mois) correspond à la période des basses eaux. Ce qui est conforme au régime tropical pur.

Le régime du Niaoulé à Niaoulé Tanou est de type pluvial tropical pur. Il traduit d'une manière assez nette le régime des pluies du bassin, seule source d'alimentation (figure 5).

L'accroissement brutal des modules entre juin et juillet est lié à l'installation effective de la saison pluvieuse, les pluies du mois de mai (17 mm à Tambacounda) étant faibles n'occasionnent pas un écoulement important. En revanche celles du mois de juillet (108 mm)

expliquent l'augmentation du débit de 0.49 m³/s soit 58% entre juin et juillet. Cette forte augmentation de la pluie situe le maximum hydrologique en juillet, il est précoce par rapport au maximum pluviométrique. Cela montre l'absence ou la faiblesse de la rétention des sols qui aurait pu entraîner un décalage entre le maximum de l'écoulement intervenant après le maximum de la pluie.

Entre septembre et octobre, la chute brutale des modules est liée à la décroissance rapide des pluies qui passent de 202 mm en septembre à 65 mm en octobre. Et cela au moment où le mois d'octobre enregistre le second maximum thermique avec 29°C et les températures accélèrent le ressuyage des sols. Le mois de novembre marque la fin de l'écoulement liée à l'arrêt des pluies. Ce qui explique, par ailleurs, les débits nuls enregistrés dès le mois de janvier et l'absence totale d'écoulement durant quatre mois.

Ces débits nuls sont aussi révélateurs de l'absence de soutien par les réserves souterraines des débits d'étiage, quoique le bassin soit dans l'ensemble perméable. Mais, comme les autres paramètres de l'écoulement, le régime saisonnier est caractérisé par une grande variabilité.

3.1 La variabilité du régime moyen

La variabilité du régime est mesurée à travers deux années caractéristiques par rapport à la moyenne. L'année du débit moyen annuel le plus élevé (l'année hydrologique humide 1971) et du débit moyen annuel le plus faible (l'année hydrologique sèche 1988).

Tableau 8 : Débits moyens mensuels des années caractéristiques du Niaoulé

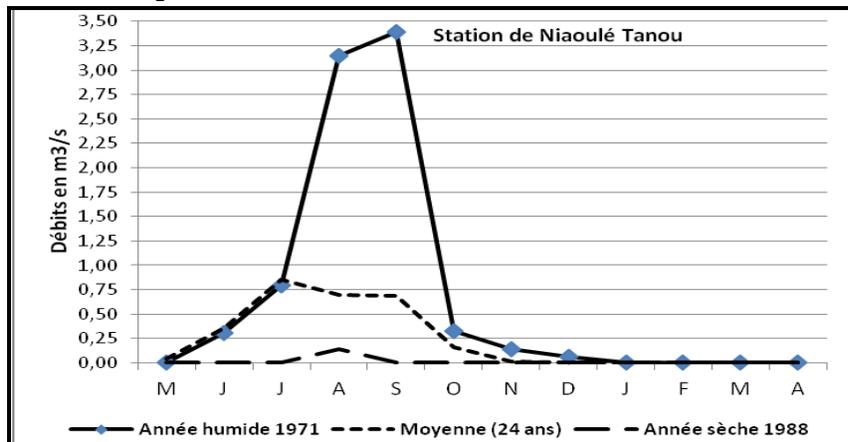
Descripteurs	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	An
Année humide 1971	0,00	0,30	0,80	3,15	3,39	0,33	0,14	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68
Année Moyenne (24 ans)	0,04	0,36	0,85	0,70	0,69	0,16	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
Année sèche 1988	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01

L'année humide 1971 connaît un écoulement qui dure sept mois (juin à décembre). Le maximum de septembre est tardif par rapport à l'année moyenne et l'année ne connaît que 3 mois de hautes eaux : juillet, août et septembre. Le mois de juin contrairement à l'année moyenne n'est plus un mois de hautes eaux. Toutefois l'écoulement, même s'il est réduit à 7 mois est nettement plus abondant.

L'année la plus sèche, 1988, ne connaît qu'un seul mois d'écoulement, l'écoulement se réduisant en une intumescence en août. Ce qui est signe d'extrême variabilité du régime du Niaoulé.

Le régime du Niaoulé, quelle que soit la caractéristique de l'année hydrologique (Fig.6), dépend de l'évolution pluviométrique et reste un régime pluvial, tropical pur et unimodal.

Figure 6 : Evolution comparée des débits aux années caractéristiques



L'analyse de l'écoulement journalier permet de mieux appréhender la variation saisonnière des débits.

3.2 L'écoulement journalier

L'évolution des débits journaliers est aussi analysée pour les années caractéristiques humide 1971 et sèche 1988 (figure 7).

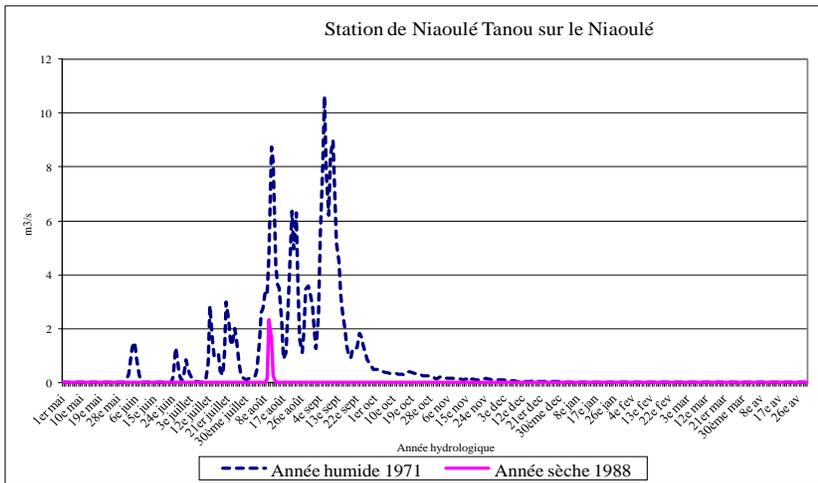
L'année hydrologique humide 1971 n'a que 82 jours d'écoulement et le maximum journalier est enregistré le 06 septembre 1971 avec un débit de pointe de 11,57m³/s. Il est suivi d'une chute importante deux jours après (le 08/09/1971) et le débit se réduit à 5,56 m³/s, soit une décroissance de 6,1m³/s. Le débit augmente ensuite pour atteindre, le

10 septembre, 9,3 m³/s. A partir de cette date, le débit diminue rapidement et progressivement jusqu'à l'arrêt total de l'écoulement.

L'hydrogramme montre une série de montées et de descentes des débits (fig. 7), fluctuations des débits journaliers étroitement liées à la répartition journalière des pluies. Chaque averse pluvieuse se manifeste par un « pic » appelé « fausse crue ».

Pour l'année hydrologique sèche 1988, l'écoulement débute le 10 août avec un débit maximum de 2,96 m³/s. Il est suivi d'une chute importante du débit dès le 11 août 1988, le débit diminue rapidement et progressivement jusqu'à l'arrêt total de l'écoulement le 13 août de la même année. L'écoulement n'a duré que 3 jours, ce qui témoigne d'une grande variabilité.

Figure 7 : Hydrogrammes journaliers des années caractéristiques humide et sèche à Niaoulé Tanou



L'analyse des débits journaliers permet de constater leur variabilité, leur extrême irrégularité, voire la brutalité de l'écoulement. L'écoulement ne dure que quelques jours dans l'année et s'arrête pendant plus de la moitié de l'année, ce qui est révélateur de la sévérité des étiages et traduit également la faiblesse des réserves capables de soutenir les débits en l'absence d'alimentation. En année moyenne, l'écoulement ne dure que 93 jours contre 272 jours sans écoulement. Ce qui donne une idée de l'indigence de l'écoulement

dans le bassin du Niaoulé, les réserves souterraines ne parvenant pas à soutenir l'écoulement au-delà du mois de décembre. Le tableau 9 donne les caractéristiques de l'écoulement journalier aux années « humide 1971 » et « sèche 1988 ».

Tableau 9 : Caractéristiques de l'écoulement journalier à Niaoulé Tanou

Descripteurs	Nombre de jours d'écoulement	Nombre de jours à débit nul	Nombre de jours où le débit $Q \geq 11/s.km^2$
Année humide 1971	199	166	58
Année sèche 1988	5	360	2

On note l'importance du nombre de jours sans écoulement, du nombre de jours où le débit journalier n'atteint pas $11/s.km^2$. Ces constats sont révélateurs de la modicité des débits dans le bassin versant. Le nombre de jours avec des débits nuls est aussi très élevé quel que soit le caractère de l'année hydrologique.

Conclusion

Le bassin versant Niaoulé avec une superficie de $1230 km^2$ ne représente que 1,6 % de la superficie du bassin de la Gambie ($77.054 km^2$). Petit affluent de rive droite, le cours d'eau ne participe que très peu au débit terminal de la Gambie. Durant la période 1971-1993, le fleuve n'a écoulé que $4.609.000 m^3/an$, d'où de faibles disponibilités en eau de surface. L'écoulement est caractérisé par sa brièveté, allant jusqu'à l'arrêt total pendant de nombreux jours durant l'année (plus de la moitié).

Cette situation révèle une absence de pondération des débits du cours d'eau, alors que le facteur lithologique semble assez favorable à la constitution de réserves souterraines en raison de la perméabilité des terrains. Cette perméabilité devrait toutefois être relativisée par le fait que les sols du bassin, notamment les sols ferrugineux, se caractérisent par l'individualisation d'un niveau fortement induré à moyenne profondeur qui favorise le ruissellement hypodermique au détriment de l'alimentation des réserves souterraines.

La dégradation du couvert végétal peut aussi avoir comme

conséquence la formation d'organismes pelliculaires à la surface du sol ; croûte durcie en l'absence de micro-organismes, liée au passage répété des feux de brousse. Cette croûte favorise plus le ruissellement que l'infiltration des eaux.

En réalité, le seul soutien des débits d'étiage dans le bassin est dû à la restitution des quantités d'eau accumulées dans les alluvions ou aquifères superficiels du cours d'eau, alluvions constituées de graviers et sables caractérisés par une forte perméabilité. Et ce soutien est faible, d'où la faiblesse de l'écoulement, le cours d'eau s'assèche dès l'absence des pluies et ceci pendant un nombre important de jours dans l'année.

Bibliographie

- Cheperon P. et Guigen N., 1974. *Etude hydrologique du bassin continental du fleuve Gambie*. Rapport terminal PNUD projet REG 60. ORSTOM Avril 74-2 tomes.
- Dione O., 1998. *Contraintes et évolution climatique récente du Sénégal oriental : impacts sur le milieu physique*. Programme Sénégal oriental. 416 pages et annexes.
- Gomis D., 2000. *Synthèse hydrologique du fleuve Gambie en amont de Gouloumbou*.
- Homard Humphreys, 1974. *Études hydrologiques et topographiques du bassin de la Gambie*. Rapport terminal tome 1. Rapport principal. Ref. 40360, 124 p. + cartes et figures.
- Konate L., 1998. *Les Bas-fonds dans le réseau hydrographique du fleuve Gambie : (Cartographie, Régime hydrologique, Valorisation Agricole et Typologie)*, Thèse doctorat 3^{ème} cycle, Département de géographie, UCAD, 183 pages, 42 figures, 71 tableaux, 14 photos et annexe
- Lamagat J. P, Albergel et al., 1990. *Monographie hydrologique du fleuve Gambie ORSTOM*, Dakar. 247 p.
- Lo H. M., 1984. *Le bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou*. Thèse 3e cycle, Laboratoire de Géographie Physique, Université de Nancy II, 396 p.
- Michel P., 1973. *Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie : Etude géomorphologique Tome 1, Tome 2, Tome 3*, 752p, 91 photos, 9 planches, 6 cartes. ORSTOM, Dakar.

- Pereira B. S., 1966. *Note explicative de la carte pédologique du Sénégal au 1/200.000^e. Feuilles de Tambacounda et Bakel Sud.* Rapport Office de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer Dakar, 53 p.
- Roche M., 1963. *Hydrologie de surface.* Editions Gauthier-Villars Paris, 430 p.
- Rougerie G., 1960. *Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire forestière.* Thèse Lettres, Géographie, Université de Paris et Mémoire Institut Fondamental d'Afrique Noire, Sénégal, 58, 542 p.