

UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

FACULTE DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES

DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE



MEMOIRE DE MAÎTRISE

SYNTHÈSE HYDROLOGIQUE DU FLEUVE GAMBIE EN AMONT DE GOULOUMBOU

Présenté par :

Daniel Eugène Raoul GOMIS

Sous la direction de :

Honoré DACOSTA Maître Assistant

Philippe VAUCHEL Ingénieur hydrologue

Année universitaire : 1999-2000

*A la mémoire
d'Andréas Marcus Molt*

Avant-propos

Ce travail d'étude et de recherche est une modeste contribution à la connaissance du régime hydrologique du fleuve Gambie. La qualité scientifique de celui-ci a vu sa réalisation au laboratoire d'hydrologie de l'IRD (ex ORSTOM). Cette étude nous a permis d'acquérir de nouvelles méthodes de travail en l'occurrence l'utilisation de la statistique et de l'informatique dans le traitement des données.

Ce travail a été possible grâce au dévouement, à la bonne volonté et au sympathique accueil des personnes rencontrées. Il nous est agréable aujourd'hui de leur exprimer nos vifs remerciements pour nous avoir fait bénéficier de leur expérience scientifique et apporté soutiens, encouragements indispensables à l'achèvement de ce travail.

Nos remerciements vont d'abord à Monsieur Honoré Dacosta, maître-assistant au Département de Géographie. C'est lui qui a attiré notre attention sur l'intérêt d'une synthèse hydrologique sur le bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou. Depuis lors, il a assumé la direction scientifique de ce travail en continuant à suivre et à orienter son évolution et ce, malgré ses lourdes responsabilités. Il a mis, gracieusement, à notre disposition son abondante documentation pour nous faire gagner un maximum de temps. Il n'a ménagé ni temps ni peine dans la lecture et la correction de notre manuscrit. C'est grâce à lui que nous avons pu accéder à l'IRD. A ce titre et pour tout le reste, nous tenons à lui exprimer ici toute notre gratitude et nos remerciements. Nous avons été impressionné par sa rigueur scientifique, sa disponibilité, sa patience et sa cordialité.

C'est à Monsieur Philippe Vauchel, ingénieur de recherche à l'IRD, que nous devons notre initiation à l'hydrologie. Nous nous souviendrons toujours de l'accueil très amical qu'il nous a fait au Laboratoire d'Hydrologie de l'IRD de Dakar-Hann et la spontanéité avec laquelle il nous a associé à son programme « appui institutionnel aux brigades régionales du Ministère de l'Hydraulique du Sénégal » pour nous permettre de mener à bien ce travail, veillant constamment à nous mettre dans les meilleures conditions de travail. Nous saisissons ici l'occasion de lui exprimer tous nos remerciements pour avoir accepté de co-encadrer ce travail, ainsi que pour les multiples explications qu'il n'a cessé de nous donner lors des

missions de terrain et au Laboratoire où nous avons appris à nous servir de plusieurs outils et logiciels. Il a su nous montrer toutes les subtilités de l'hydrologie dans ces multiples facettes, faisant preuve de patience et de compréhension envers nous. Nous tenons à lui exprimer ici toute notre reconnaissance pour la confiance, le soutien moral, l'intérêt et l'aide qu'il nous a toujours accordés dans le cadre de ce travail. Ses immenses qualités humaines, son attachement au travail bien fait et son sens de la collaboration nous marqueront pour toujours.

Par la même occasion nous remercions tout le personnel du Laboratoire d'hydrologie de Dakar-Hann, en particulier

- Monsieur Jean P. Lamagat, Directeur de recherche et responsable du Laboratoire d'hydrologie qui nous a été d'un très grand soutien dans la finalisation. Nous tenons à lui exprimer ici notre gratitude pour le temps qu'il nous a consacré malgré son emploi du temps chargé.
- Mrs Noël Guiguen, Lamine Konaté, qui pour avoir mené des travaux de recherche dans la région se sont montrés disposés à discuter, à nous faire bénéficier de leur expérience et Abotsi Kokou Mensah pour sa très grande disponibilité

Nous devons notre découverte de l'hydrologie à Monsieur Amadou Abdoul Sow Maître-assistant au Département de Géographie, car c'est avec lui que nous avons eu nos premiers cours d'hydrologie. Ces observations, critiques et suggestions pertinentes nous ont servi dans la recherche. A travers lui nous exprimons toute notre gratitude au corps enseignant du Département de Géographie particulièrement aux messieurs Tahirou Diaw, Alioune Kane, Paul N'diaye, Ndiacé Diop..

Nos sincères remerciements à Monsieur le Représentant de l'IRD, à l'ensemble de son personnel pour l'aide multiforme et la disponibilité qu'ils nous ont accordées durant tout notre séjour au sein de l'institution. A ce titre nous remercions particulièrement Mrs : Augustin Diémé, Fulgence Seck, Maurice Ndong et Melle Anne Marie Sarr qui, en fonction de leur domaine de compétence nous ont aidé de diverses manières lors des différentes étapes de ce travail.

Nous remercions tout le personnel de la brigade hydrologique de Tambacounda, notamment Mrs Kanouté, Djiby Sokhna, Fodé Ba Cheikh Diagne et Mbaye Thiam. A l'issue de ce travail, nous remercions tous ces lecteurs qui fournissent beaucoup d'effort dans la collecte de données sans lesquelles ce genre de travail reste impossible à réaliser.

Ce travail a permis de tisser des relations amicales très solides. Nous n'oublierons jamais les moments passés avec Maïssa Goudiaby, Aminata Coly. C'est grâce au soutien mutuel que nous avons pu maintenir le cap quand survenaient des moments de doutes.

Nous ne serions oublier nos amis de toujours Stéphane Préira, Alvarez Benga, Samuel Senghor, Aïssatou Lamine Dieng, Emma Sophie Dartey, Cheikh Omar Daw Anastasie Mendy, Yaye Kandja Konaté et tout récemment Aliou Dia.

Il va de soi que c'est grâce aux énormes sacrifices consentis par notre famille toute entière que ce travail a pu être entrepris et achevé. A ce propos nous tenons à remercier profondément ici nos parents Victor et Marie Gomis pour le soutien affectif, moral et matériel. Malgré la distance, ils se sont toujours enquérus de l'évolution de notre travail. Les mots ne sauraient exprimer toute la gratitude et l'amour que nous leur portons.

Nous disons merci à nos aînés Marie Madeleine, Laurice et Anna Gomis, à nos cadets Victor Nicolas et Jean Marc Gomis, à mon oncle Raoul Gomis et à sa femme Eugénie Turpin, à Marie Pierre Tine pour les marques d'amour, d'amitié, de sympathie.

Nous profitons de cette occasion pour renouveler notre amitié à la famille Turpin, à Gérard et Geneviève Pain, à Rodolph et Hiary Rakotomalala ainsi que leurs enfants, à Gilbert Mané et Famille, à May Nseir, Auguste Basséne et à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué d'une façon ou d'une autre à l'élaboration de ce travail.

Table des matières

Avant-propos	
Introduction Générale	1
CHAPITRE I PRESENTATION DU MILIEU PHYSIQUE DE LA REGION D'ETUDE	5
I.1 Situation géographique	6
I.2 Esquisse de l'histoire géologique	8
2.1 Le socle et sa couverture paléozoïque	8
2.2 Le bassin sédimentaire	14
I.3 Les unités géomorphologique	17
I.4 Les sols	21
4.1 Les sols du socles et da sa couverture paléozoïque	23
4.2 Les sols du continental terminal	25
I.5 La végétation	27
CHAPITRE II LES PARAMETRES CLIMATIQUE DU BASSIN DE LA GAMBIE EN AMONT DE GOULOUMBOU	30
II.1 Les mécanismes du climat	31
II.2 Les domaines climatiques du bassin	34
2.1 le domaine sud soudanien	35
2.2 Le domaine nord soudanien	36
II.3 Les précipitations	37
3.1 Le réseau pluviométrique	37
3.2 Les précipitations annuelles et leurs répartitions	40
3.3 Variabilité interannuelle des précipitations	46
3.4 variations des précipitations dans cinq stations	47

CHAPITRE III RESEAUX HYDROGRAPHIQUE TE HYDROMETRIQUE. ETUDE DU REGIME HYDROLOGIQUE DE LA GAMBIE A SES PRINCIPALES STATIONS	51
III.1 Réseau hydrographique	52
III.2 Réseau hydrométrique	55
III.3 Les caractéristiques morphométriques	57
3.1 La forme des bassins versants	57
3.2 Relief, pente et courbe hypsométrique	60
III.4 Critique et élaboration des données hydrométriques de base	63
4.1 les cotes	63
4.1.1 Critiques de données de cotes	65
4.1.2 complètement des données de cotes	67
4.1.2.1 complètement de Mako	67
4.1.2.2 complètement de Simenti	70
4.1.2.3 complètement de Wassadou Aval	72
4.1.2.4 complètement de Gouloumbou	74
4.2 Etalonnage	76
4.2.1 La Gambie à Kédougou	76
4.2.2 La Gambie à Mako	77
4.2.3 La Gambie à Simenti	78
4.2.4 La Gambie à Wassadou aval	79
4.2.5 La Gambie à Gouloumbou	80
4.3 Les débits	81
III.5 Etude des écoulements annuels	83
5.1 Variabilité interannuelle des écoulement : hydraulicité	86
5.2 Etude fréquentielle des modules	88
III.6 Débits mensuels et saisonnalité	94

6.1 Variabilité saisonnière de l'écoulement	100
6.2 Variabilité interannuelle des débits moyens mensuels	102
III.7 Débits classés et caractéristiques	103
III.8 Etude des crues	108
8.1 La forme des crues	108
8.2 La date d'apparition des maximums annuels	111
8.3 Etude statistique des maximums de crue	111
III.9 Etude des étiages et des courbes de tarissement	114
9.1 Etiages	114
9.2 Coefficients de tarissement	115
III.10 Bilan annuel des écoulements.	118
CONCLUSION GENERALE	124
Références bibliographiques	126
Annexes	

LISTES DES FIGURES

CHAPITRE I

- Figure 1.1 : Bassin versant du fleuve Gambie
- Figure 1.2 : Croquis structural des bassins versant du Sénégal et de la Gambie
- Figure 1.3 : carte géologique du bassin de la Gambie en amont de la station de Gouloumbou
- Figure 1.4 : les grands ensembles structuraux du bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou
- Figure 1.5 : perméabilité du bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou
- Figure 1.6 : Schéma du modelé et de l'évolution géologique du haut bassin de la Gambie
- Figure 1.7 : Unité géomorphologique du bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou
- Figure 1.8 : Carte pédologique du bassin de la Gambie en amont de la station de Gouloumbou
- Figure 1.9 : Esquisse cartographique du couvert végétal

CHAPITRE II

- Figure 2.1 : Les déplacements du Front Intertropical pendant l'année
- Figure 2.2 : Moyennes mensuelles de température, évaporation, insolation et humidité relative moyenne à la station de Kédougou
- Figure 2.3 : Moyennes mensuelles de température, évaporation, insolation et humidité relative moyenne à la station de Tambacounda
- Figure 2.4 : Carte du réseau pluviométrique
- Figure 2.5 : Carte des isohyètes de la normale 1921-1950 et 1931-1960
- Figure 2.6 : Carte des isohyètes de la normale 1941-1970 et 1951-1980
- Figure 2.7 : Carte des isohyètes de la normale 1961-1990 et 1971-1998
- Figure 2.8 : Variation des indices pluviométrique du vecteur régional
- Figure 2.9 : Pluviométrie annuelle et moyennes mobiles pondérées des quatre stations du bassin
- Figure 2.10 : Répartition mensuelle des pluies de 1972-1975

CHAPITRE III

- Figure 3.1 :Réseau hydrographique de la Gambie en amont de Gouloumbou
- Figure 3.2 :Réseau hydrométrique et marégraphique du bassin de la Gambie
- Figure 3.3 :Stations hydrométriques du bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou
- Figure 3.4 :Profil en long de la Gambie en amont de Gouloumbou
- Figure 3.5 :Courbe hypsométrique du bassin de la Gambie à Gouloumbou
- Figure 3.6 :Chronogramme des cotes disponibles sur les stations principales de la Gambie
- Figure 3.7 :Modèle utilisé pour le complément de Mako
- Figure 3.8 :Modèle utilisé pour le complément de Simenti
- Figure 3.9 :Modèle utilisé pour le complément de Wassadou Aval
- Figure 3.10 :Modèle utilisé pour le complément de Gouloumbou
- Figure 3.11 :Courbe d'étalonnage de la Gambie à Kédougou
- Figure 3.12 : Courbe d'étalonnage de la Gambie à Mako
- Figure 3.14 : Courbe d'étalonnage de la Gambie à Simenti
- Figure 3.15 : Courbe d'étalonnage de la Gambie à Wassadou Aval
- Figure 3.16 : Courbe d'étalonnage de la Gambie à Gouloumbou
- Figure 3.17 : Carte des isohyètes de la normale 1961-1990 et 1971-1998
- Figure 3.18 :Modèle de propagation Wassadou-Gouloumbou
- Figure 3.19 :Hydraulicité des principaux bassins et sous bassins de la Gambie
- Figure 3.20 :Ajustements de la loi de Pearson 3 aux modules des bassins principaux
- Figure 3.21 : Ajustements de la loi de Galto aux modules des sous bassins
- Figure 3.22 :Répartition annuelle des débits mensuels typiques
- Figure 3.23 :Régime pluviométrique et hydrologique à Kédougou
- Figure 3.24 :Crue 1999 sur le bassin de la Gambie
- Figure 3.25 :Crue à Kédougou et à Gouloumbou en année forte et en année faible
- Figure 3.26 :Ajustements de la loi de Goodrich aux débits maximums
- Figure 3.27 :Courbe de tarissement à partir des débits moyens

Figure 3.28 : Comparaison des différentes courbes de tarissements de la station de Kédougou

Figure 3.29 : Variabilité inter-annuelle des coefficients d'écoulement sur les sous-bassins

LISTES DES TABLEAUX

CHAPITRE II

Tableau 2.1 : Moyennes mensuelles de température, évaporation, insolation et humidité relative moyenne à la station de Kédougou

Tableau 2.2 : Moyennes mensuelles de température, évaporation, insolation et humidité relative moyenne à la station de Tambacounda

Tableau 2.3 : Stations pluviométriques retenues dans l'étude des précipitations

Tableau 2.4 : Hauteurs d'eau précipitées et écart pluviométriques par rapport à 1951-1980

CHAPITRE III

Tableau 3.1 : Caractéristiques principales du réseau hydrographique de la Gambie en amont de Gouloumbou

Tableau 3.2 : Réseau hydrométrique de la Gambie en amont de Gouloumbou

Tableau 3.3 : Les principaux paramètres des bassins versants de la Gambie

Tableau 3.4 : Répartition altimétrique sur le bassin de la Gambie à Gouloumbou

Tableau 3.5 : Résultat de la critique des cotes sur les principales stations de la Gambie

Tableau 3.6 : Modèle de propagation entre Mako et ses voisines

Tableau 3.7 : Modèle de propagation entre Simenti et ses voisines

Tableau 3.8 : Modèle de propagation entre Wassadou aval et ses voisines

Tableau 3.9 : Modèle de propagation entre Gouloumbou et ses voisines

Tableau 3.10 : Modules des bassins et sous bassins de la Gambie

Tableau 3.11 : Modules spécifiques des bassins et sous bassins de la Gambie

Tableau 3.12 : Fréquences des modules des principales stations de la Gambie

Tableau 3.13 : Coefficient d'immodération R et paramètres de K3

Tableau 3.14 : Synthèse de l'étude fréquentielle des modules

Tableau 3.15 : Débits moyens mensuels de Kédougou

Tableau 3.16 : Débits moyens mensuels de Mako

Tableau 3.17 : Débits moyens mensuels de Wassadou Aval

Tableau 3.18 : Débits moyens mensuels de Gouloumbou

Tableau 3.19 :CMD et CV des stations principales de la Gambie

Tableau 3.20 :Débits caractéristiques de Kédougou

Tableau 3.21 :Débits moyens mensuels de Mako

Tableau 3.22 :Débits moyens mensuels de Wassadou Aval

Tableau 3.23 :Débits moyens mensuels de Gouloumbou

Tableau 3.24 :Date, débits Q, débits spécifiques et coefficient de puissance des crues des stations

Tableau 3.25 :Date d'occurrence des crues

Tableau 3.26 :Fréquence des débits de crue sur la Gambie en amont de Gouloumbou

Tableau 3.27 :Coefficients de variation des maximums de crue

Tableau 3.28 :Débits minimums de la Gambie à Kédougou, Mako et Wassadou Aval

Tableau 3.29 :Etude comparative des coefficients de tarissement

Tableau 3.30 :Bilan de l'écoulement sur les bassins principaux de la Gambie

Tableau 3.31 : Bilan de l'écoulement sur les bassins principaux de la Gambie

Tableau 3.32 :Bilan inter-annuel de l'écoulement dans le bassin de la Gambie

Introduction Générale

Abondante ou rare, l'eau est intimement liée au développement. Abondante, elle est source de richesse, rare elle est facteur limitant. La maîtrise des eaux est souvent à la base du développement, des aménagements (construction d'un pont, d'un barrage pour l'irrigation ou pour l'exploitation électrique, d'une station de pompage, d'une route, etc.), de l'amélioration des conditions de vie des hommes. C'est dire que la simple connaissance de l'hydrologie ou en d'autres termes du régime des cours d'eau d'un pays est indispensable à la réalisation d'infrastructures importantes.

Cependant le régime d'un cours d'eau n'est pas statique. Il est sujet à des variations spatiales et temporelles élevées. Les hydrologues sont donc obligés « d'intensifier les recherches » afin de fournir des renseignements sur l'écoulement superficiel pour mieux connaître sa quantité, sa variation et pouvoir procéder aux prévisions de son évolution.

Pour que ces prévisions soient fiables, les séries de données doivent s'étaler sur une longue période, d'où la nécessité d'un suivi à long terme ce qui implique la tenue d'un réseau de mesures réparti sur l'ensemble du bassin versant et de façon continue.

L'obtention de données à long terme, sur les stations hydrométriques qui délimitent des bassins versants, permettra de constituer une banque de données consistante à partir de laquelle on pourra étudier le régime des cours d'eau en terme d'analyse fréquentielle (temps de retour de différents paramètres), à travers ses paramètres principaux (les modules, les crues, les étiages, la saisonnalité, les coefficients d'écoulement, etc...), et de fournir des statistiques utiles aux aménageurs ainsi que des ordres de grandeur sur des bassins non étudiés.

Une telle banque existe sur le fleuve Gambie où on dispose des données depuis 1970. La *Monographie Hydrologique du Fleuve Gambie* reprend les données jusqu'en 1986 soit 17 années d'observation. Cette Monographie a fait une compilation de données mais contient très peu d'analyses : pas d'études d'écoulement en fonction de la géographie physique (sols, géologie), en fonction du climat (relation pluie-débit), en fonction du temps (pas d'études fréquentielles).

Disposant désormais sur certaines stations de 13 années supplémentaires, nous nous proposons donc de réaliser une étude sur les régimes hydrologiques des bassins du fleuve Gambie dans sa partie continentale. La nécessité de cette étude est liée aussi aux divers projets d'aménagements sur la Gambie et ses affluents. Leurs réalisations nécessitent une bonne connaissance des disponibilités en eau et leur répartition saisonnière.

Nous nous efforcerons au cours de ce Travail d'Etude et de Recherche de présenter les facteurs conditionnels de l'écoulement, de dresser l'inventaire des données d'observation (hydrométriques), les critiquer, les interpréter et les analyser; en somme, faire la synthèse hydrologique du bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou.

Notre objectif à la fin de ce travail est :

- de permettre une connaissance précise des caractéristiques hydrologiques des différents bassins de la Gambie
- de fournir le maximum de données qui pourront être utilisées par les chercheurs ou les aménageurs

Pour atteindre le but fixé, nous avons dû suivre une certaine méthodologie.

- Le travail documentaire a été la première étape de ce travail. Il nous a permis d'évaluer l'état des connaissances sur la zone d'étude.
- La seconde étape a consisté à l'élaboration des cartes à l'aide du logiciel ARCVIEW.

Nous avons effectué : le tracé des limites du bassin versant et du réseau hydrographique de la Gambie à partir des cartes topographiques au 1/200.000 réalisées par l'IGN ; les cartes de la géologie au 1/200.000 établies par la Direction des Mines et de la Géologie du Sénégal et celles de la pédologie au 1/500.000 par l'USAID/RSI en 1985.

Malheureusement, ces cartes ne couvrent que la partie sénégalaise de notre bassin. N'ayant donc en notre possession aucune carte guinéenne, nous nous sommes tournés vers les cartes réalisées par Siaka Bamba (1987) dans le cadre de sa thèse pour essayer de couvrir l'ensemble de notre bassin.

- Le traitement des données hydrométriques fut le troisième volet de ce travail. Les stations retenues pour l'étude sont : Kédougou, Mako, Wassadou Aval et Gouloumbou. Nous avons travaillé sur une série de 30 ans de 1970 à 2000. Ce travail, entièrement réalisé avec l'outil informatique, a nécessité l'utilisation de plusieurs logiciels à savoir :
 - Hydrom et plus récemment Hydraccess pour l'élaboration des données de base (saisie des cotes instantanées, digitalisation des limnigrammes et sortie graphique pour vérifier l'état des données).
 - Cormul pour la recherche des corrélations entre stations et la reconstitution des données hydrométriques à partir des cotes.
 - Dixlois pour l'ajustement aux lois statistiques et leur sortie graphique
 - Excel pour les calculs statistiques, l'élaboration des tableaux et graphiques.

C'est au terme de ces différentes étapes que nous avons divisé notre travail en trois parties :

Le **premier chapitre** est consacré à *l'étude du milieu physique* qui comprend une description des facteurs géographiques: géologie et pédologie. Un SIG a été élaboré dans cette partie pour ces deux éléments. La géomorphologie et la végétation complètent cet aperçu géographique.

L'étude du climat est faite dans le **second chapitre**. Dans celui-ci sont abordés les mécanismes du climat, une analyse des précipitations annuelles et leurs variabilités spatiales et temporelles. Les principaux paramètres climatologiques (température, humidité relative, insolation, évaporation) sont inclus dans l'étude des domaines climatiques

Dans le **troisième chapitre**, on s'est d'abord attaché à donner une description du bassin et du réseau hydrographique et hydrométrique. Profils en long, pentes, hypsométrie des bassins, divers autres paramètres de forme constituent, en outre, les premières données susceptibles d'intervenir dans le régime hydrologique. Ensuite, viennent les données de base hydrologiques (critique des données, complètement des petites lacunes) et leur phase d'interprétation : Modules (analyse fréquentielle et extension éventuelle), Crues, Etiages, Saisonnalité, Coefficient d'écoulement, etc.

CHAPITRE I

PRESENTATION DU MILIEU PHYSIQUE DE LA REGION D'ETUDE

I.1 Situation géographique

Situé entre 11° 22' et 14° 40' N, et entre 11° 13' et 16° 42' W, le bassin de la Gambie couvre une superficie de 77.000 km², sur la façade atlantique. Cette extension en latitude et longitude le limite au Nord par les bassins du Sine Saloum et du Ferlo, au sud-est et au sud par le massif du Fouta Djallon en territoire guinéen et le bassin de la Casamance et de la Kayanga au sud, à l'Est par le bassin versant du fleuve Sénégal, et à l'Ouest par l'océan atlantique. Il est drainé par le fleuve Gambie qui s'écoule sur une longueur totale de 1180 km.

Le fleuve Gambie prend sa source à environ 1.150 m d'altitude dans le Fouta Djallon près de Labé sous l'appellation de Dima. Il présente un cours inférieur de 540 km influencé par la marée dont les effets se font sentir jusqu'à quelques km en amont de Gouloumbou. Cette situation a conduit à une subdivision du bassin de la Gambie en deux parties (figure 1.1):

- la partie maritime ou estuarienne d'orientation générale E-W qui est assujettie aux flux et aux reflux de la marée. Elle s'étend de l'embouchure à la station de Gouloumbou (au – delà de la frontière Est de la Gambie où les ondes de marée se font sentir en période de basses-eaux).
- La partie continentale d'orientation SE-NW qui englobe le cours supérieur limité à l'exutoire de Kédougou et le cours moyen situé entre Kédougou et Gouloumbou qui sert de limite entre les deux bassins

Seule la partie continentale du bassin, là où le fleuve Gambie et ses affluents constituent une source d'eau de surface importante, bien que saisonnière, sera prise en compte dans cette étude.

C'est sur la base des travaux effectués par plusieurs auteurs tels que Bassot (1966), Michel (1973), Chaperon et Guigen (1974), Howard Humphreys & Sons (1974), Howard et al.(1984), Lô (1984), Villeneuve (1984), Meybecks et al. (1985), Descroix (1986), Bamba (1987), Lamagat (1990), Konaté (1993, 1998) dans des domaines variés, allant de la géomorphologie à l'hydrologie en passant par la pédologie et la géologie sur le bassin de la Gambie, que s'est faite l'étude des

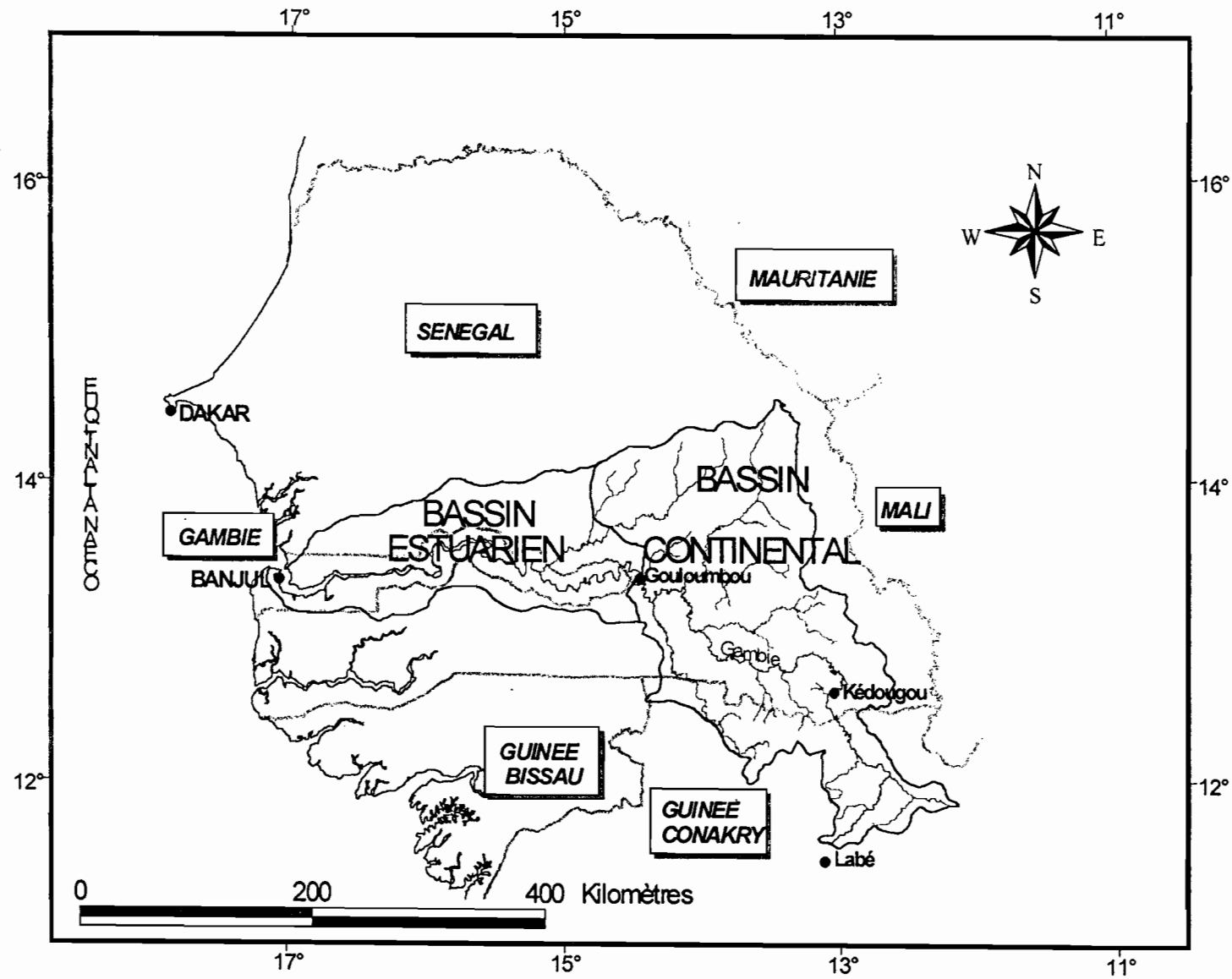


Figure I.1 : Bassin versant du fleuve Gambie

paramètres physiques. Nous éviterons volontairement de nous appesantir sur certains aspects de peur de répétition et paraphrases qui n'apporteront pas plus de lumière à ce qui a été déjà fait. Le lecteur de ce mémoire peu familiarisé avec la région trouvera dans la bibliographie les références d'ouvrages plus complets.

I.2 Esquisse de l'histoire géologique

L'histoire géologique du bassin de la Gambie est étroitement liée à celle du continent africain (figure 1.2). Son évolution a été longue et complexe et a permis la mise en place dans le bassin de la Gambie de deux ensembles géologiques de part et d'autre d'une ligne SW-NE passant par Simenti. On a au SW, les formations anciennes, complexes et diverses du *socle précambrien et de sa couverture paléozoïque* et au NE, les formations sédimentaires plus récentes du *Continental Terminal*. Ces diverses formations sont résumées dans la figure 1.3.

I.2.1 Le socle et sa couverture paléozoïque

Le socle est composé d'un ensemble de roches parmi lesquelles on distingue :

- D'anciennes formations volcaniques, représentées par des andésites, des roches basiques telles que les basaltes, les gabbro qui ont subi un léger métamorphisme.
- Des séries métamorphiques constituées d'un ensemble de schistes, de grauwackes, de quartzites, de cipolins et de roches volcaniques basiques faiblement métamorphisées parmi lesquelles on peut citer les metabasaltes (dans les collines à l'ouest de Baafoundou, dans les massifs verts de Bransan à Makana et Sabodala), les métaandésites (dans le village de Bongnomba et au sud-est de Kanéméré), les métarhyolites (sur le marigot de Nioko Koba et sur la partie sud de la Gambie aux environs de Baandofari) et les pyroxénites (à l'ouest du gué de Mako).
- Des formations d'origine sédimentaires ou volcano-sédimentaires regroupées par Bassot (1966) en deux séries principales : la série de Mako, qui affleure autour de Mako et celle de , Dialé encadrée par les séries de Mako et de Daléma, s'étend de part et d'autre du fleuve Gambie

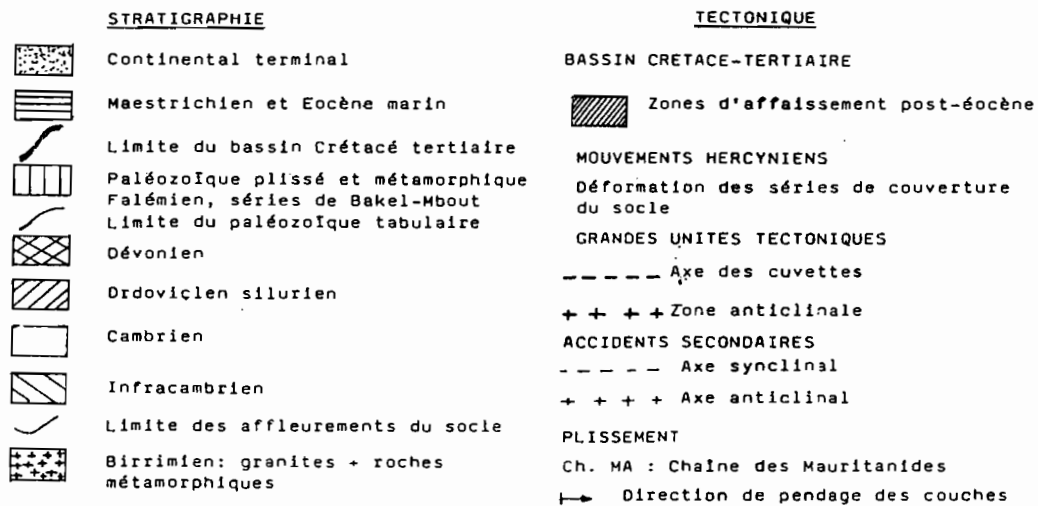
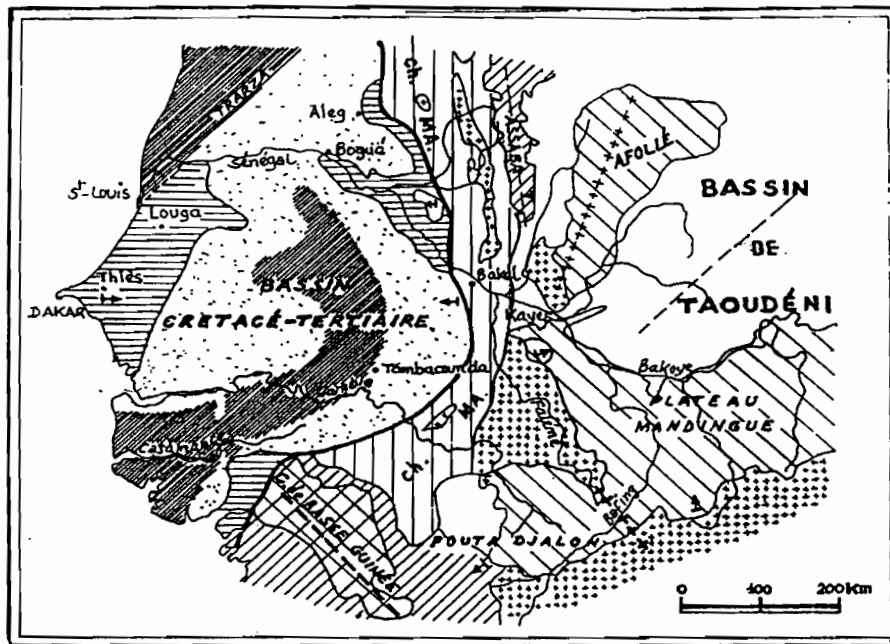


Figure 1.2 Croquis structural des bassins versants du Sénégal et de la Gambie (Michel, 1973)

- Des venues granitiques syntectoniques et tarditectoniques. Les produits d'altérations de ces roches en particulier les roches vertes, se traduisent par la présence d'un horizon argileux de subsurface qui s'oppose aux infiltrations dans une zone où les précipitations sont élevées et le relief marqué (L. Konaté, 1998).

Toutes ces formations du socle ont été recouvertes en discordance par des terrains sédimentaires mis en place au début du paléozoïque.

Ces dépôts ou **couverture paléozoïque** largement présents dans le bassin de la Gambie s'échelonnent de l'infacambrien à l'ordovicien. Ces séries renferment des roches qui ont été plissées, injectées de granites et métamorphisées. Le faciès dominant est le grés.

L'infacambrien est constitué de formations subhorizontales où se distinguent des grés quartzites, des quartzites, des pélites, des argilites et des calcaires. La série de Ségou (figure 1.4) distinguée par Villeneuve (1984), repose sur le socle et est constituée de grés très souvent quartzites, très fissurés, de couleur rose à blanc sale. Présents dans le Fouta Djallon orientale et ses contreforts septentrionaux, les grés quartzites sont latérisés, peu altérés et pratiquement imperméables.

A la fin de l'infacambrien, une régression partielle dans un climat froid et l'installation de glacier, entraînent, la formation de tillite qui marque le début du cambrien qui se caractérise dans son ensemble par la présence de calcaires, de jaspes, de grés et de pélites ainsi que de l'épaisse masse des « schistes de la Falémé » et des « schistes du Mali ». Ces formations se retrouvent dans les contreforts septentrionaux du Fouta Djallon, dans le massif du Mali et de part et d'autre des collines Bassari.

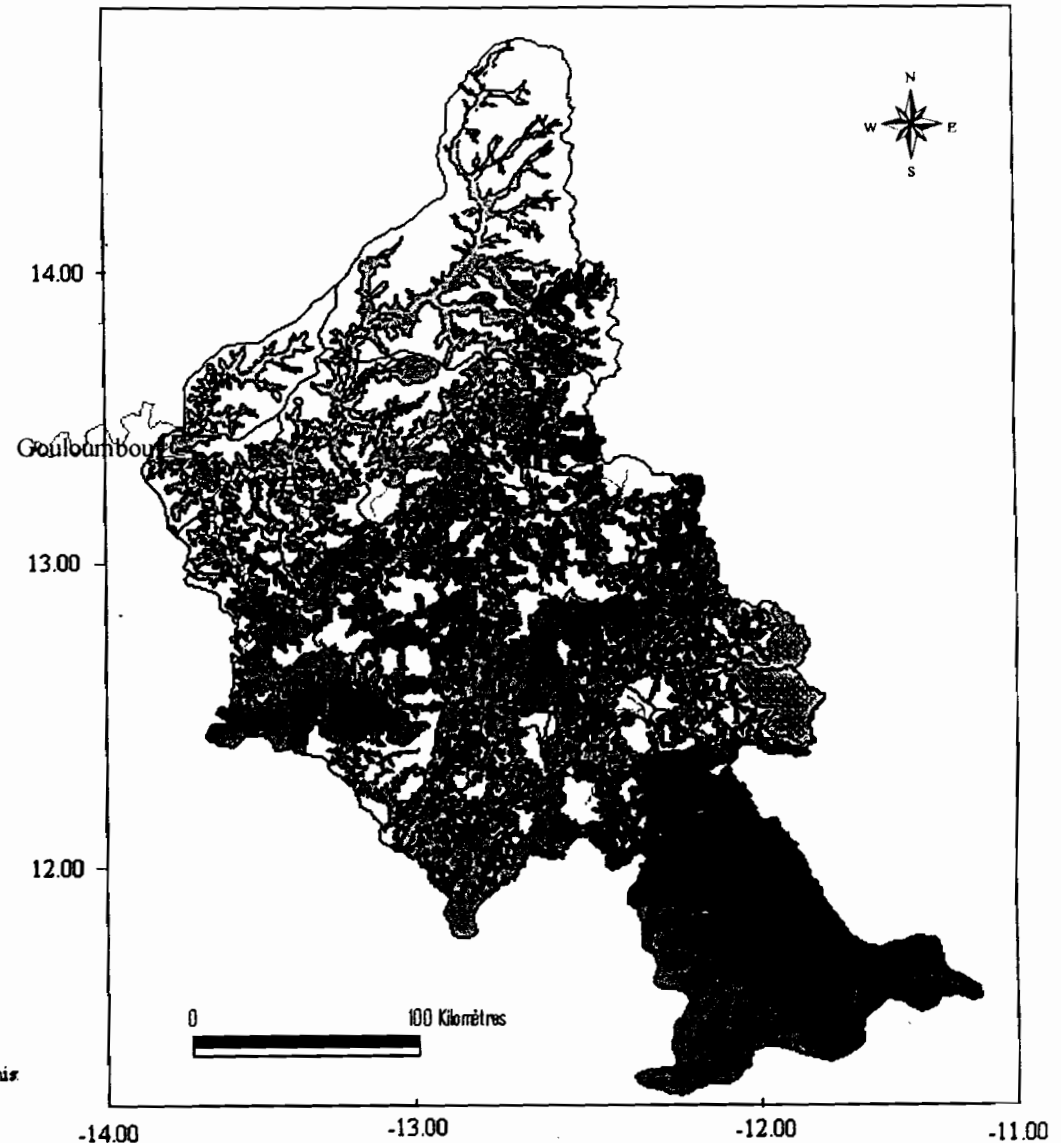
Cette régression partielle, intervenue à la fin du précambrien, s'est accompagnée d'une reprise d'érosion qui a eu pour effet le décapement de la chaîne panafricaine des Bassarides. Les produits de l'arasement de la chaîne vont servir au comblement des dépressions disposées en sillons parallèles à la chaîne, formant ainsi la série du Mali essentiellement argileuse et argilo – gréseuse de type flysch et celle de Youkounkoun constituée de matériaux gréseux avec des conglomérats à teintes dominantes rouge ou brun – rouge.

Figure 1.3

CARTE GEOLOGIQUE DU BASSIN DE LA GAMBIE EN AMONT DE LA STATION DE GOULOUMBOU

Légende

- Cuissances latéritiques en surface continu
- Alluvions récentes
- Continental terminal
- Pélites, silicites, phléanites, grauwackes (schistes de la falémé)
- Grès feldspathiques argileux
- Quartzite indifférencié
- Granite syntectonique
- Andésites
- Tufs et agglomérats
- Rhyolithes, dacites et délnites
- Schistes à amphibole et épidote indifférencié
- Amphibolites
- Roches volcaniques à tendances basiques (basalte, gabbro)
- Granites syntectonique avec tendance dioritique nette
- Granites atectonique
- Roches volcaniques à tendance neutre (andésites) métamorphisées
- Birrimien (d'origine sédimentaire) indifférencié (schiste, grauwackes, quartzites)
- Dolérites
- Eboulis
- Grès quartzites
- Tillite, jaspes, grès
- Grès et quartzites, pélites quelquefois calcareuses
- Rhyolithes, dacites et délnites
- Spélite, andésite de la série des Bassaris et de la Falémé
- Cipolins
- Zones où les formations attribuées au Cambrien et à l'Infra-cambrien ont subi un léger métamorphisme



Une partie du paléozoïque a subi une déformation (plis et failles) pendant la phase hercynienne. Dans les zones les plus tectonisées, les roches ont subi des transformations dans leur structure même ; il y a eu métamorphisme s'accompagnant de la destruction des anciens minéraux et apparitions de minéraux nouveaux. Ces faciès métamorphiques appartiennent à la chaîne panafricaine I des Bassarides qui comprend trois grandes unités étirées en bande de direction nord – sud (figure 1.4):

- La série de la Falémé (groupe de Termesse) est constituée de grés, de jaspe, de schistes ainsi que de nombreux filons de quartz, de pélites, de phanites.
- La série des Bassaris (groupe de Guigan) avec comme faciès dominant le schiste (schistes sériciteux, schistes verts).
- L'unité C qui regroupe en son sein la série de Niokolo – Koba et celle de la Koulountou comprenant les trois formations de Pantié (rhyolites et dacites), de Simenti (tufs rhyolitiques, rhyodacites) et de Damantan (tufs schistosés, cinérites et orthogneiss).

Au Lias et au Trias, les dolérites se sont mises en place dans toutes ces formations. Ce sont des intrusions de roches basiques qui apparaissent surtout dans les reliefs de la boucle de la Gambie et dans les contreforts du Fouta-Djalou. Les dolérites constituent avec les grés, les principaux reliefs du haut bassin de la Gambie.

Au secondaire et au tertiaire, des phénomènes de soulèvements et d'affaissements ont affecté les régions littorales du Sénégal et de la Mauritanie. A la suite de ces mouvements, il s'est formé une cuvette qui va du nord – ouest de la Guinée Bissau à l'ouest de la Mauritanie. Cette cuvette sera envahie par les eaux, du crétacé supérieur à l'éocène, formant ce qu'on appelle : le bassin sénégal – mauritanien qui sera le siège de divers types de sédimentation. La partie méridionale de ce bassin sédimentaire constitue le second ensemble géologique du bassin continental de la Gambie après le socle et sa couverture paléozoïque.

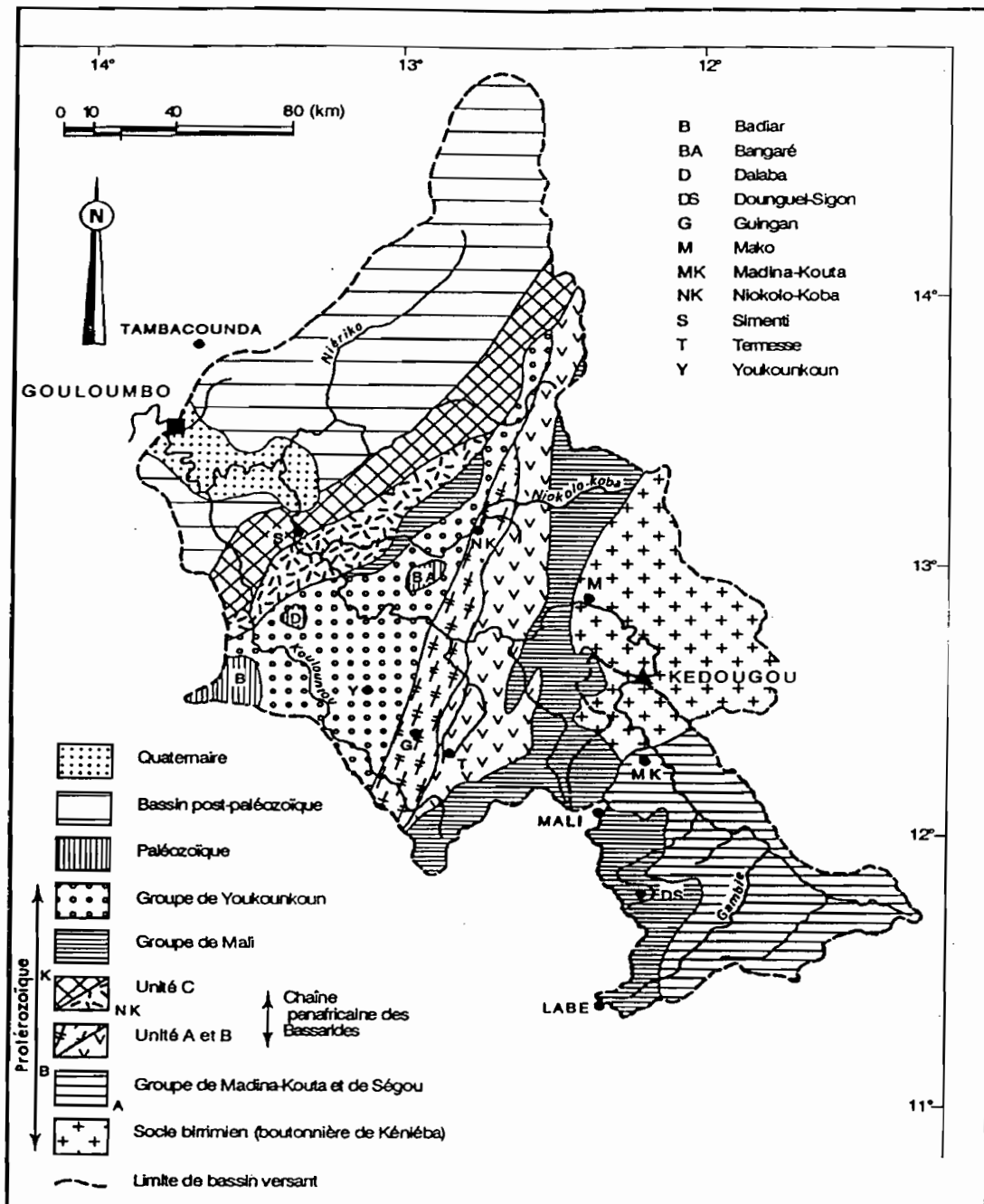


Figure 1.4 les grands ensembles structuraux du bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou

I.2.2 Le bassin sédimentaire

Le bassin sédimentaire est principalement composé en surface par des roches sédimentaires tertiaires et quaternaires. Au départ la sédimentation était surtout sableuse, gréseuse puis argileuse et ensuite calcareuse, marneuse. En fait, la période de sédimentation détritique (sables, grés) a été suivie par une alternance de transgressions marines et de régressions. Ces dernières, occasionnées par le soulèvement du bouclier, vont mettre un terme, à l'éocène supérieur, à la sédimentation marine et installer un environnement continental dans le bassin. Cette phase d'émersion est suivie d'une longue période allant de l'Oligocène au Pliocène où des écoulements en nappes charriant les éléments remaniés sous un climat semi – aride ont formé les faciés grés – argileux du Continental Terminal. La base du Continental Terminal est formée par des argiles de transition qui sont, soit des argiles kaoliniques blanches ou jaunes à interlits de grés rouges, soit des argiles gris – ardoise, litées, associées à un limon ferrugineux ou à des sables ferruginisés rouges. Le faciés le plus fréquent est le grés argileux bariolé, un grés blanc à larges taches d'oxydes de fer. C'est une roche tendre, à grains hétérogènes ou hétérométriques pouvant contenir des lits plus grossiers où les grains de quartz passent à des graviers et des passées plus fines d'argiles kaoliniques blanches et quelques fois, minces niveaux latéritiques. Le grés argileux qui couvre tout le plateau sénégal – mauritanien est issu du démantèlement des massifs anciens. Les grés du Continental Terminal sont aujourd'hui largement représentés par l'affleurement dans le bassin de la Gambie et ses principaux affluents, sous la cuirasse ferrugineuse du quaternaire ancien (figure 1.3)

Cette esquisse de l'histoire géologique nous a permis de faire ressortir deux ensembles géologiques au sein desquels se trouvent des formations variées. En fait, ces derniers jouent une grande influence sur les caractéristiques hydrogéologiques du bassin de la Gambie. H. Lô sur la base de la méthode mise au point par l'IRD (ex. ORSTOM) a dressé une carte faisant ressortir la variation des perméabilités du nord au sud. Sur les différentes classes proposées par cette méthode fondée sur la classification hydrogéologique, seules ont été retenues pour les grands ensembles du bassin quatre classes (figure 1.5) :

- S_1 qui comporte des alluvions et des sables graveleux dans lesquels les argiles sont pratiquement inexistantes, est une formation perméable.

Cette zone correspond aux alluvions fluviales très peu étendues de la Gambie et de la Koulountou. Les nappes temporaires qu'on y rencontre sont alimentées par les crues de ces cours d'eau. La faible profondeur (30 à 40 m selon Chaperon et Guigen, 1974) et la bonne perméabilité rendent leur exploitation facile.

- P_2 est constitué de roches à perméabilité d'interstice dans les sables et grès.

Ces formations se localisent dans toute la partie sédimentaire du bassin de la Gambie, dans les grès et sables argileux hétérogènes du Continental Terminal. En leur sein se trouve la nappe du Continental Terminal. La forte pluviosité qui sévit particulièrement dans la partie septentrionale du bassin, permet à cette nappe de se recharger et de soutenir les débits d'étiages de la Gambie et de ses affluents.

En dessous de la nappe du Continental Terminal (-200 à -400 m au centre du bassin sédimentaire), se trouve la nappe du Maestrichien alimentée par sa zone d'affleurement c'est-à-dire la bordure est du bassin sédimentaire.

Les deux dernières classes occupent le reste du bassin et concernent la région du socle et de sa couverture paléozoïque dominée par des roches cristallines des schistes, granites, quartz, pélites, jaspes, dolérites etc. Il s'agit de :

- P_6 regroupe toutes les roches cristallines ou cristallophyliennes susceptibles, par érosion, de renfermer quelques niveaux aquifères. P_7 comporte des roches recristallisées de type quartzite, calcaire, cristallin totalement étanche, mais pouvant contenir des fissurations

Il n'y a pas dans cette zone une nappe phréatique importante. Les terrains sont peu ou pas perméables, les aquifères discontinus. En dehors des nappes perchées sur les hauts bowé du Fouta, bien alimentées, c'est dans les zones d'altération et dans les fissures que l'on rencontre parfois de l'eau.

Cette répartition de la perméabilité est donc liée à la structure des terrains, à la nature des sols. Puisque les sols obéissent généralement à la géologie et à la géomorphologie, il convient donc avant de les caractériser, d'évoquer les unités géomorphologiques.

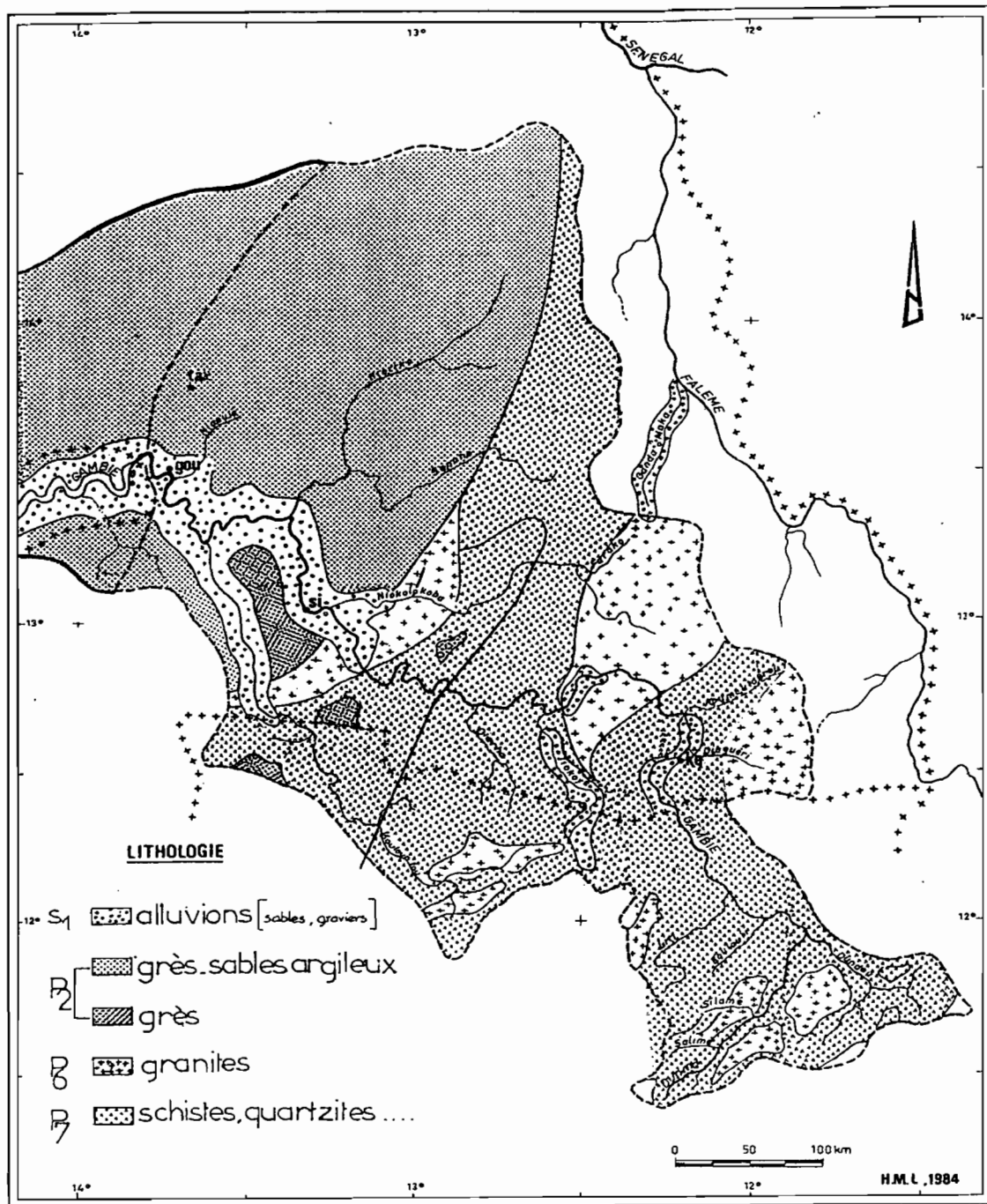


Figure 1.5 Perméabilité du bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou

1.3 Les unités geomorphologiques

L'évolution géomorphologique (figure 1.6) du bassin versant de la Gambie a été grandement influencée par l'évolution paléogéographique qui a été marquée par d'importantes variations climatiques et des oscillations du niveau marin au cours du quaternaire. Les paysages sont relativement variés. C'est dans le haut bassin que l'on trouve les reliefs les plus anciens et les plus élevés (figure 1.7). Ils ont été façonnés il y a plusieurs dizaines de millions d'années et dépendent de la structure géologique c'est-à-dire de la nature et de la disposition des roches.

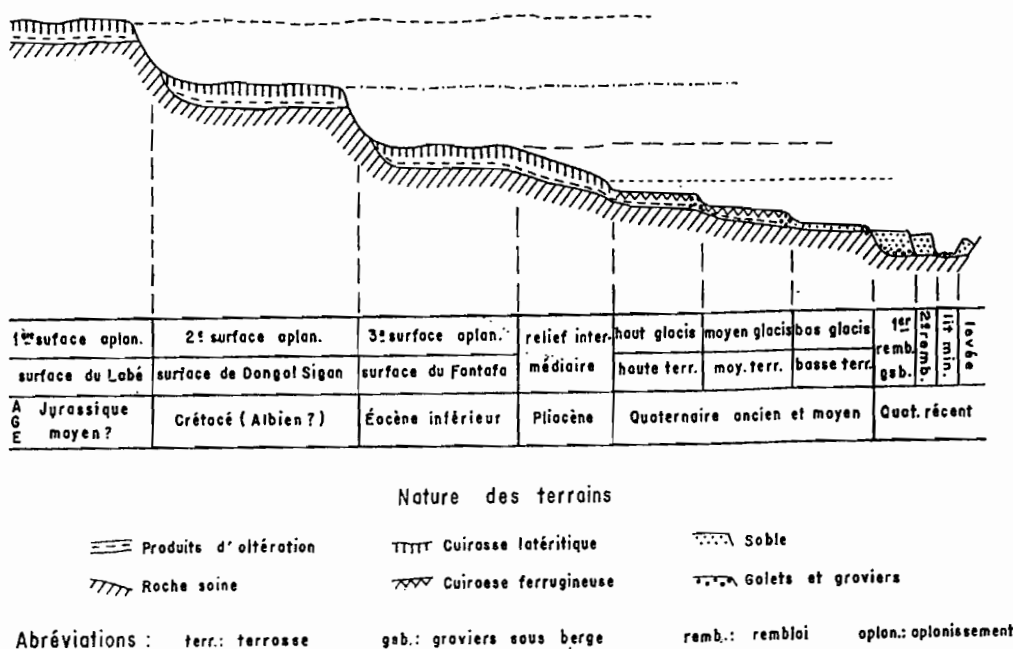


Figure 1.6 Schéma du modelé et de l'évolution géologique du haut bassin de la Gambie (d'après P. Michel (1973))

Dans la région du socle et de sa couverture paléozoïque dominant des montagnes qui se présentent généralement sous forme de plateaux étagés. Elles sont représentées au sud par le rebord nord du massif du Fouta Djallon qui jalonne la frontière Sénégal-guinéenne où on a le massif du Mali qui culmine à 1538 m au Mont Loura, le plateau latéritique ou bowal de Dongol Sigan dont

l'altitude varie entre 850 et 1000 m. Ces hauts reliefs correspondent aux couches monoclinales de l'infra-cambrien et cambrien où les grès quartzites alternent avec des pélites et des sill de dolérites, tronqués par une surface d'érosion.

Des topographies peu accidentées, planes ou ondulées s'étendent largement entre ces lignes de hauteur. Entre la frontière Sénégal-guinéenne et Kédougou la topographie s'abaisse, le relief s'adoucit : on a des bas plateaux ; l'altitude varie maintenant entre 550 et 600 m. Le substrat est constitué de roches variées du socle et de sa couverture paléozoïque. Elles ont été profondément altérées puis déblayées, surtout par érosion mécanique. Au - delà, la région est entaillée par des vallées plus larges.

Entre Kédougou et Simenti se dressent ça et là de grandes buttes isolées. Mais souvent de petits massifs sont groupés ou alignés selon une direction structurale. Ces reliefs abrupts - les reliefs résiduels metabasites birrimiens du socle, des buttes et des petits plateaux des monts Bassari, les reliefs au sud de la grande boucle de la Gambie - sont constitués de différentes roches qui ont mieux résisté à l'altération chimique que les formations environnantes.

L'absence ou la dispersion des éboulis sur les flancs des reliefs entraînent le phénomène de ravinement. C'est le cas surtout dans les monts Bassari où les versants sont striés par de nombreux ravins.

En contrebas de ces reliefs se sont formés, au cours du quaternaire des glacis, parfois étagés (haut, moyen et bas glacis), recouverts ensuite par des cuirasses ferrugineuses qui peuvent contenir des débris de cuirasses latéritiques plus anciennes.

Ces terrains cuirassés ont souvent subi des retouches. La surface plane des cuirasses a été partiellement oblitérée par la fragmentation de la cuirasse et les incisions de petits marigots ; la topographie devient alors ondulée ou vallonnée.

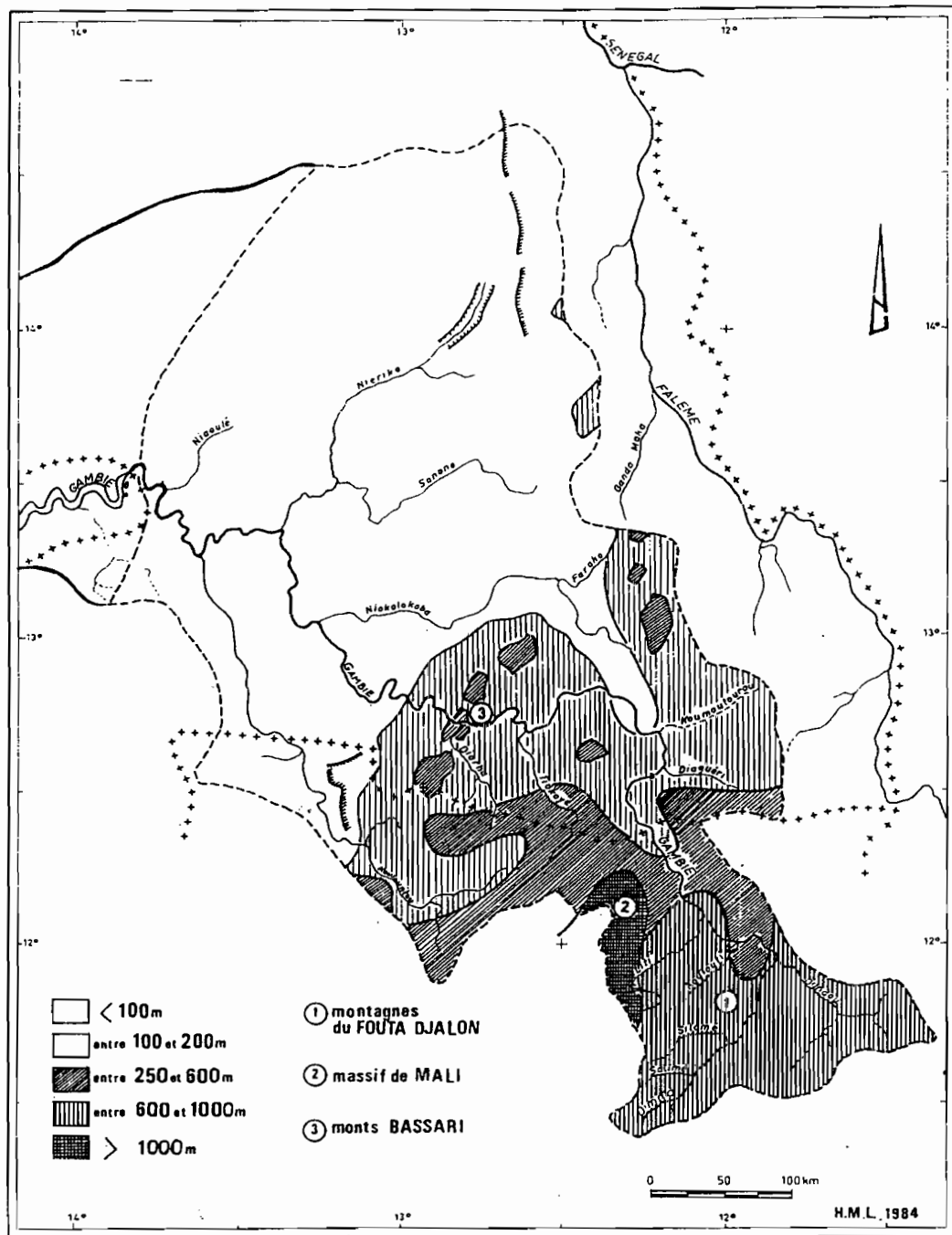


Figure 1.7 Unités géomorphologiques du bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou

Une vaste plaine s'étend sur la moitié de la surface du bassin. C'est *la région du Continental Terminal* et concerne la portion qui se situe en aval de Simenti. Elle est légèrement ondulée. Les formations géologiques sont masquées par la couverture latéritique cuirassée ou remaniée. Cette plaine latéritique est érodée par de nombreux oueds et parsemée de buttes témoins [Ces buttes de gré ne dépassent pas 20 m de hauteur (butte de Wassadou)].

Le plateau de grés argileux du Continental Terminal, selon P. Michel (1973), limite partout le lit majeur de la Gambie et domine par endroit directement le lit mineur. Il atteint des altitudes de 50 – 60 m dans la région de Tambacounda. Ce plateau très monotone est recouvert d'une cuirasse ferrugineuse à texture souvent conglomératique. Un second niveau cuirassé apparaît dans le versant où il forme souvent un replat. Il coiffe aussi les buttes précédant le plateau et se termine en quelques endroits par un poudingue qui représente la moyenne terrasse. Les terrains sablonneux du bas glacis s'étendent entre le plateau ou les buttes et le lit majeur du fleuve. Quelques lambeaux de la basse terrasse jalonnent la bordure de la vallée.

Le paysage géomorphologique du bassin de la Gambie présente un aspect assez hétérogène. Il résulte d'une longue et complexe évolution marquée par des périodes de stabilité et d'instabilité (mouvement, soulèvement épeirogénique) au terme de lesquelles se sont mises en place des formes variées : hauts plateaux, inselbergs, glacis, etc.

« Pendant les périodes de stabilité ont pu se former des sols très évolués, qui reflètent le milieu morphoclimatique. Dès que des changements sont intervenus dans le système morphogénétique, ils se sont immédiatement répercutés sur les sols. En conséquence, l'ensemble de l'évolution géomorphologique oriente la pédogenèse dans une région donnée et permet de comprendre la répartition actuelle des sols » (Michel. P, 1973).

1.4 Les sols

Les sols représentent les transformations de la partie superficielle de la lithosphère, surtout sous l'influence du milieu bioclimatique (Michel. P, 1973). Ils obéissent de manière générale à la géologie et aux processus de formation des unités du relief.

Cette relation existant entre sol, géologie et géomorphologie ressort nettement de la carte morphopédologique du Sénégal réalisée par l'USAID/RSI en 1985. Dans celle-ci une classification des sols a été faite en fonction des formations géologiques rencontrées (formations sur terrains quaternaires ; sur terrains tertiaires et secondaires ; sur roches primaires ou volcano – sédimentaires anciennes) et à l'intérieur de ces formations, les sols ont été classés suivant la topographie (plateaux et buttes résiduels ; versants, pentes et glacis d'épandage ; vallées). L'esquisse pédologique présentée à la figure 1.8 est issue de cette carte. Nous déplorons que cette esquisse n'ait pu couvrir tout notre bassin. Mais quoi qu'il en soit, il nous donne un aperçu des formations présentes.

Le présent chapitre se veut être une synthèse des travaux de nombreux auteurs parmi lesquels nous pouvons citer : R. Maignien (1958), P. Michel (1973), Ph. Duchaufour (1977), H.M. Lô (1984), S. Bamba (1987), L. Konaté (1998).

Les sols du bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou peuvent être regroupés en deux grands domaines suivant la subdivision géologique. D'une part on a le domaine du socle et de sa couverture paléozoïque et d'autre part le domaine du Continental Terminal.

1.4.1 les sols du socle et de sa couverture paléozoïque

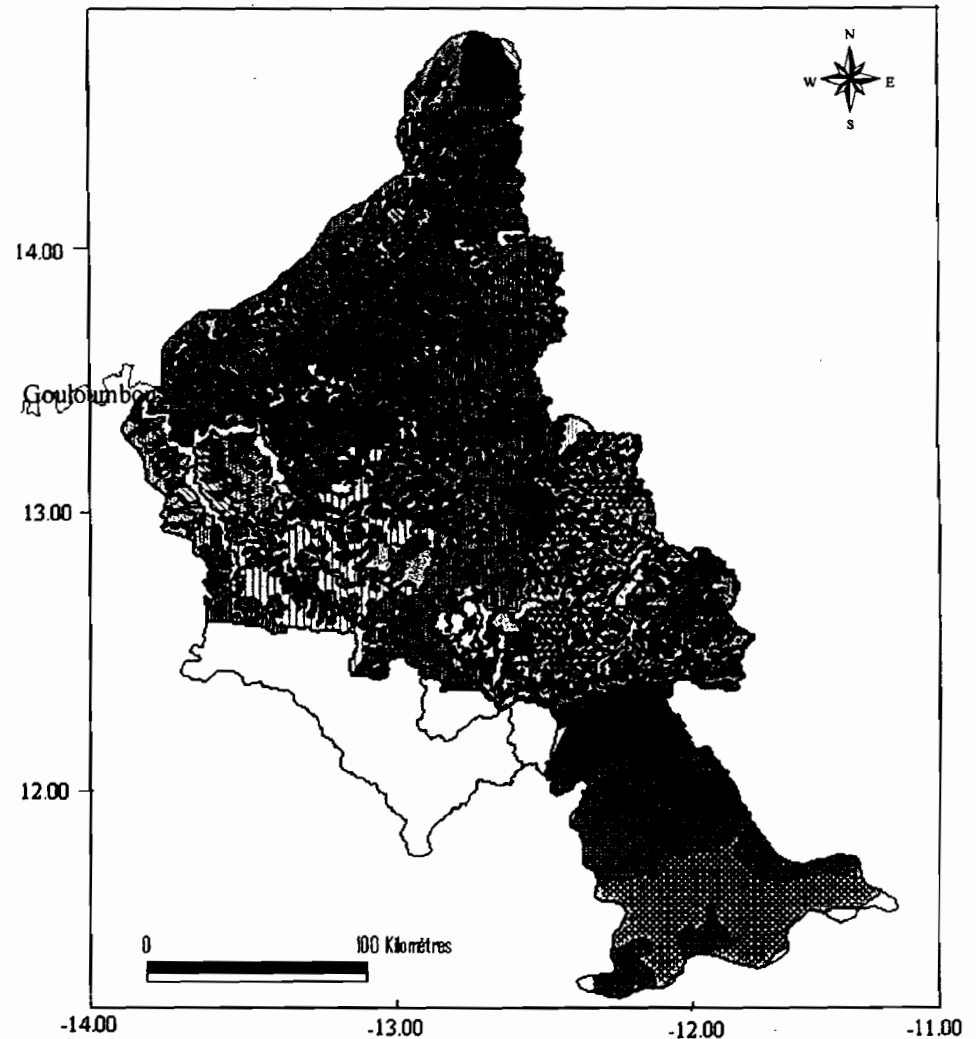
Les caractéristiques pédologiques sont extrêmement variables dans la partie du bassin située *en amont de Simenti*. Les sols correspondent aux unités morphologiques du *socle*. Leurs faciès varient suivant la topographie (collines, glacis, versants, pentes, vallées) et les formations du socle (schistes, granites, grés, roches basiques, acides, etc.).

Figure 1.8

CARTE PEDOLOGIQUE DU BASSIN DE LA GAMBIE EN AMONT DE LA STATION DE GOULOUMBOU

Légende

- Sols peu évolués d'apport hydromorphes, sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau de colmatage.
- ▨ Lithosols sur cuirasse, sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau colluvio-alluvial.
- ▩ Lithosols sur cuirasse, sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire.
- Sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et à tâches.
- Sols peu d'apport, sols hydromorphes.
- Lithosols sur cuirasse.
- Sols hydromorphes sur matériau alluvial.
- ▨ Régosols sur matériau gravillonnaire.
- Lithosols sur cuirasse, sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire.
- Lithosols sur cuirasse et régosols sur matériau gravillonnaire.
- ▨ Sols ferrugineux tropicaux lessivés.
- ▨ Lithosols sur roches basiques diverses et sur cuirasse; sols bruns eutrophes divers, sols vertiques.
- ▨ Sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau dérivé des migmatites.
- ▨ Sols peu évolués d'apport hydromorphes ou régosols sur matériau gravillonnaire.
- ▨ Régosols sur matériau gravillonnaire et sur matériau argileux d'altération.
- ▨ Lithosols sur roches basiques diverses et régosols bruns eutrophes sur débris de roches basiques diverses.
- ▨ Sols vertiques sur matériau argileux gonflant.
- ▨ Lithosols sur cuirasse et sols peu évolués d'apport hydromorphes sur arène granitique graveleuse.
- ▨ Lithosols sur grès sols peu évolués ferrugineux tropicaux sur matériau dérivé des grès, lithosols sur cuirasse.
- ▨ Sols peu évolués d'apport intergrades vertiques.
- ▨ Lithosols sur schistes et sur cuirasse.
- ▨ Sols peu évolués d'apport et sols hydromorphes, sur matériau colluvial.
- ▨ Sols faiblement ferrallitiques; sols ferrugineux tropicaux lessivés; sols peu évolués.
- ▨ Sols vertiques.



On y rencontre des lithosols sur cuirasse, sur roches basiques diverses ; des régosols bruns eutrophes ou sur matériau gravillonnaire ; les sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire ; les sols ferrugineux tropicaux lessivés ; les sols vertiques sur matériau argileux gonflant etc.

Les **régosols à faciés bruns eutrophes** sur débris de roches basiques diverses (schistes à amphiboles) dominent les plus hautes collines aux pentes abruptes des monts Bassari qui culminent à plus de 400 m. Ce sont des sols peu profonds à surface très caillouteuse où on trouve de petits fragments de schistes.

En dessous, à 300 m d'altitude, les **régosols sur matériau gravillonnaire** et les **sols peu évolués d'apport vertiques sur matériau argileux gonflant** colonisent les collines au nord de la vallée de la Gambie. C'est le cas du mont Hassirik situé à l'intérieur du Parc Niokolo – Koba. Dans cet ensemble, les **lithosols sur cuirasse** apparaissent en quelques endroits en tant qu'inclusions mineures. Par contre ils sont fortement présents sur les glacis qui constituent le prolongement des monts Bassari au nord de la Gambie ainsi que sur les interfluves pratiquement plans (altitude comprise entre 80 et 200 m) et extrêmement cuirassés de part et d'autre du fleuve Gambie.

Dans le secteur granitique du bassin, il arrive que ces formations soient associées à des **sols peu évolués d'apport hydromorphes** sur matériau gravillonnaire ou sur arène granitique graveleuse là où les pentes sont généralement faibles et l'élévation inférieure ou égale à 100 m.

Au niveau des glacis situés en bordure ouest des formations sédimentaires entre Gamon et Niokolo-koba, les lithosols sur cuirasse affleurent le plus souvent en corniche aux ruptures de pentes. Quand la cuirasse est profondément démantelée, comme c'est le cas sur le sommet des collines et croupes peu cuirassées qui constituent la limite orientale de la Gambie à Kédougou et correspondant approximativement au secteur occidental du massif de Saraya, des **sols peu évolués d'érosion** sur matériau de démantèlement de cuirasse se mettent en place. Très souvent, il se forme des **sols ferrugineux tropicaux lessivés** sur matériau dérivé des granites aux endroits

où la carapace est profonde. Le haut glacis porte ces types de sols mais sur matériau dérivé de grés.

Sur le groupe de collines abruptes et de plaines intérieures constituées de roches basiques ou roches vertes qui s'étend en arc de cercle depuis le massif de Bandafassi au sud de Kédougou jusqu'à la boucle de Mako s'est développé un nombre de sols assez variés suivant la topographie: lithosols sur roches basiques diverses sur les pentes fortes ; lithosols sur cuirasse et régosols sur matériau gravillonnaire de démantèlement de cuirasse, régosols bruns eutrophes ou vertiques en bas de pentes ; sols bruns eutrophes et sols vertiques dans les plaines.

Les régosols sur matériau argileux d'altération occupent les collines moins élevées des monts Bassari avec une altitude ne dépassant pas 180 m. Ces collines sont situées entre le Diarha et le Tiokoye affluents de rive gauche de la Gambie. Sur les versants de ces monts Bassari se développent des sols peu évolués d'apport hydromorphes avec les sols hydromorphes sur matériau colluvio-alluvial où par endroits des taches ocres et rouilles sont présentes dès la surface et des concrétions rouges à moyenne profondeur.

Quand ils se développent sur un matériau gravillonnaire, ces sols peu évolués d'apport hydromorphes couvrent les axes de drainage. Ceux des glacis de la région de Kédougou se sont formés sur les produits de démantèlement des cuirasses venus colmater les parties basses. Leur structure est massive et leur texture qui varie, du limon argilo-sableux gris beige claire assez gravillonnaire en surface au limon argileux franchement gravillonnaire jaune pâle légèrement bigarré en profondeur, les rend fortement cohésifs. Ils deviennent sensu stricto hydromorphes dans les parties les plus basses.

Les vallées liées aux affluents de la région du Socle sont en général des sols hydromorphes à gley de surface et d'ensemble sur un matériau alluvial varié mais souvent argileux, de limon argileux ou d'argile. En surface, ces sols sont de couleur assez foncée tandis qu'en profondeur ils sont gris ou brun clair avec des traînées et des taches diverses selon le degré d'hydromorphie.

Les fonds des vallées des petits affluents qui jalonnent le Niokolo – Koba sont occupés par les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et taches, développés sur matériau colluvio-alluvial. On les retrouve dans la zone de contact du Socle et du Continental Terminal.

1.4.2 Les sols du Continental Terminal

Les formations sur les grés plus ou moins argileux du *Continental Terminal* sont des sols hydromorphes à gley ou pseudogley, les sols ferrugineux tropicaux lessivés ou non, les régosols sur matériau gravillonnaire, les lithosols sur cuirasse ; etc.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et taches sur matériau colluvio-alluvial connaissent une grande extension dans la région du Continental Terminal où ils recouvrent la quasi-totalité des fonds de vallées situées sur la rive droite de la Gambie. Ces sols sont profonds et présentent une texture variant de sable limoneux ou limon sableux en surface au limon argilo-sableux ou à l'argile sableuse en profondeur. Ils ont une couleur grise ou brune en surface, pâle plus en profondeur et ocre clair dans les horizons inférieurs. Les traces de pseudogley apparaissent en profondeur dans ces sols où le drainage est normal ou modéré.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés occupent aussi la plupart des terrasses et glacis à pente très faible qui bordent la Gambie et la vallée de la Koulountou. Ils sont profonds mais très peu structurés, parfois gravillonnaires ou cuirassés en profondeur. Ils s'y trouvent en position basse sur le matériau colluvio – alluvial ou de colmatage des vallées.

En position moyenne à haute, sur du matériau colluvial, se développent des sols faiblement **ferralitiques**. Ils sont très profonds mais peu différenciés, de couleur rouge à brun rouge, de texture sableuse en surface sur limon argilo – sableux. Leur charge caillouteuse est assez importante.

Le haut des pentes et les bords des plateaux sont occupés par des lithosols sur matériau de démantèlement de cuirasse. En général, sur les pentes alternent les régosols et/ou les sols peu évolués d'apport hydromorphe sur matériau gravillonnaire ; la charge gravillonnaire étant bien sûr plus importante chez les régosols.

Cependant ces régosols et ces sols peu évolués d'apport hydromorphe sur matériau gravillonnaire occupent la surface des plateaux et buttes sillonnés par des vallons et développés sur les grés plus ou moins argileux du Continental Terminal. Les lithosols sur cuirasse sont réduits aux ruptures de pente où la cuirasse affleure en corniche. Ils apparaissent localement sur

les plateaux sous forme de dalles ou de plages de sols jonchées de blocs de cailloux. Cette association des sols est enrichie en rive droite par des sols ferrugineux tropicaux lessivés (sur matériau de colmatage des plateaux avec une texture plus riche en limon, limon argileux sur argile, tronqués et indurés) et des sols peu évolués d'érosion et d'apport sur matériau gravillonnaire.

Les sols peu évolués d'apport, les sols hydromorphes occupent la plupart des cours d'eau majeurs : la haute et moyenne Gambie, la Koulountou. Ce sont, en fait, des vallées à méandres montrant des formations alluviales typiques mais complexes. Sur la rive gauche de la moyenne Koulountou et la partie casamançaise du bassin, les sols peu évolués d'apport se sont développés sur matériau essentiellement colluvial et occupent soit des têtes de vallons et les zones en bordure du lit mineur, soit le fond des vallons. Selon Marc Staljanssens (1985), la couleur de ces sols est relativement uniforme, grisâtre avec un profil assez homogène et friable. Le pseudogley est diffus et peu apparaît à moyenne ou à très faible profondeur. la texture varie du sable au limon sableux avec du limon argilo – sableux en profondeur.

Tout comme la géologie et la géomorphologie, les sols exercent une incidence sur l'hydrologie du bassin de la Gambie. Par exemple les sols ferralitiques présentent une bonne porosité mais leur caractère peu profond favorise le processus d'engorgement. Les sols ferrugineux tropicaux sont peu perméables, profonds et reposent sur une cuirasse. Ces sols connaissent une grande extension dans la région du socle ainsi que les sols argileux. L'infiltration restera donc faible dans cette partie, ce qui réduit les pertes en raison des pentes assez fortes. Par contre cette faible infiltration limite la capacité de rétention des sols ce qui va favoriser l'aménagement des nappes à débits très faibles, incapables de soutenir les écoulements du cours d'eau en période sèche.

I.5 La végétation

Suivant les sols, la géomorphologie et les formations géologiques, une végétation diversifiée s'est développée. Nous aurions bien souhaité, comme pour la géologie et la pédologie, présenter une carte de la végétation qui rendrait compte de la réalité. Mais compte tenu de certains facteurs, une telle chose n'a pu se faire. En lieu et place nous proposons l'esquisse

cartographique de la végétation (figure 1.9) réalisée par Lô (1984) et qui est une présentation des divisions phytogéographiques.

Il ressort de la bibliographie, que les forêts et savanes boisées guinéennes ainsi que les savanes arbustives et les forêts claires sèches soudaniennes constituent les principaux types de végétation de la région *socle et de sa couverture paléozoïque*

Sur les collines, les montagnes peu élevées et les fortes pentes recouvertes par des lithosols sur roches basiques et des régosols bruns formés dans des matériaux parentaux variés se développent des espèces comme *Pterocarpus erinaceus* vènes ou acajou du Sénégal, *Adansonia digitata* (baobab) fréquents sur les collines à dolérites de la région de Ibel – Bandafassi, *mbretum glutinosum* dokki (en peulh), *Bombax costatum*, *Lannea acida*, *Acacia dudgeoni*. Aux niveaux inférieurs, il y a présence de tchombé (peulh), *Feretia apodanthera*, *Oncoba spinosa*, etc.

Les vertisols hydromorphes sur matériau gravillonnaires portent une strate arborée et arbustive assez hétérogène. La végétation ligneuse est très représentée sur les versants à pentes faibles. Le Néré (*Parkia biglobosa*), Caïlcédrat (*Khaya senegalensis*), Baobab (*Adansonia digitata*), fromager (*Ceiba pentandra*) composant l'essentiel du paysage végétal.

Le tapis herbacé est dominé par les grosses graminées. Les hautes plantes de la famille des Andropogonées sont la règle en particulier *Andropogon pseudapricus*, *Andropogon gayanus*.

Les bowé, s'étant développé sur les surfaces latéritiques dont les sols rouges et ferrugineux forment une cuirasse dure, sont généralement dépourvus d'éléments ligneux. Les graminées et des espèces non graminées éparses sont constituées de *Ctenium villosum* et *Andropogon pseudapricus*, *Lapidagathis capituliformis*.

Des savanes fortement boisées et les forêts claires couvrent les sols hydromorphes argileux de la plus grande partie des réseaux hydrographiques. La végétation ripicole diffère de celle présente sur les hauteurs. Les espèces d'arbres caractéristiques sont *Anogeissus leiocarpus*, *Pterocarpus erinaceus*, *Kaya senegalensis* (Caïlcédrat), *Terminolia macroptera*, , *Celtis integrifolia*, *Elaeis guineensis*.

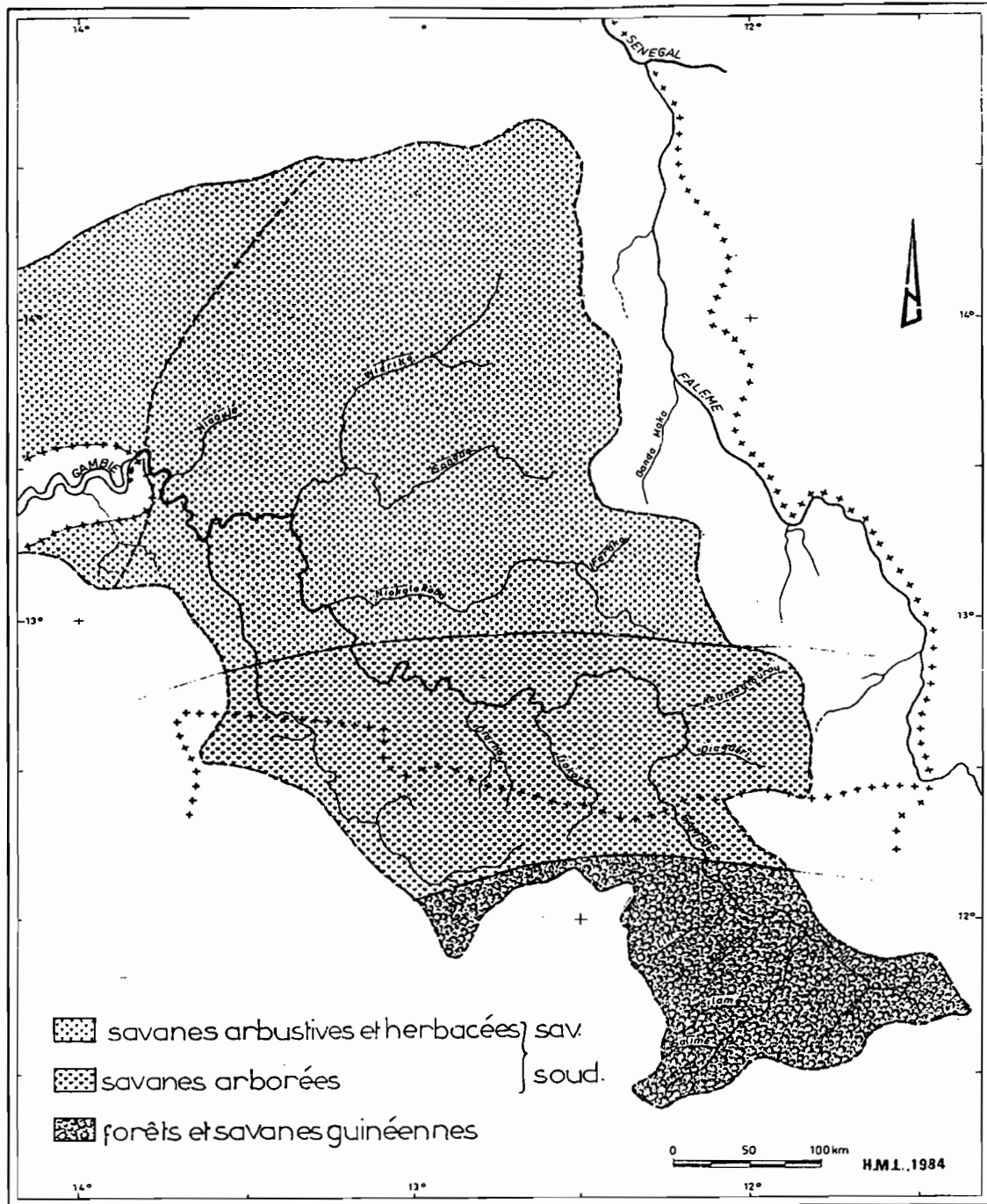


Figure 1.9 Esquisse du couvert végétal du bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou

La strate arborée atteint son maximum de diversité dans ces vallées : de grands arbres comme *Stereospermum kunthianum*, des arbustes comme *Zanha golungensis* ou *Combretum lecardii* ou encore de hautes plantes *Hibicus* à feuilles de *Sterculia*, ou enfin *Macrosphyra longistyla* aux gros fruits noirs en maturité.

Dans les vallées alluviales apparaît aussi la savane herbacée avec, par endroit des peuplement de rôniers (*Borassus flabellifer*) et parfois de bambou (*Oxytenanthera abyssinica*).

Par contre, sur les sols du *Continental Terminal*, bien que la savane soit fortement boisée, la densité de la strate ligneuse peut varier depuis la forêt claire jusqu'à la savane arborée en fonction du défrichement et des feux.

La strate arborée est caractérisée par les espèces comme *Bombax costatum*, *Pterocarpus erinaceus*, *Combretum glutinosum*, *dokki* (en peulh), *Cordyla pinnata*. La strate arbustive, avec des arbres de moindre taille est composée par les espèces telles que *Hexalobus monopetalus*,

Acacia macrostachya, *annona senegalensis*. La couverture herbacée correspond à une haute savane composée de graminée où domine *Andropogon gayanus*.

Au niveau des vallées larges et peu profondes des affluents des rivières permanentes tel que le Nieri ko, la formation varie entre une savane boisée et une forêt selon le degré d'intervention de l'homme. *Anogeissus leiocarpus*, *Piliostigma thonerningii*, *Terminolia macroptera* sont les espèces les plus fréquentes et les plus denses.

La steppe arbustive ou steppe arborée ou savane arborée domine sur les glacis à cuirasse démantelée et présentant des sols ferrugineux tropicaux indurés. C'est une partie du bassin où le sol est trop mince pour favoriser l'installation des végétaux ligneux, le paysage typique est représenté par les termitières – champignons. La flore très pauvre est composée d'espèces remarquablement adaptées aux conditions de résistance à la sécheresse comme *Lepidagathis*.

L'esquisse phytogéographique présentée ici traduit surtout les variations des conditions climatiques entre le bassin amont et le bassin aval. La végétation participe ici à l'élaboration des sols dont les caractéristiques physiques interviennent au niveau de l'infiltration et du ruissellement des précipitations. Enfin, et c'est là son rôle fondamental sur le plan hydrologique la végétation offre un écran protecteurs contre l'agression des précipitations ; par son feuillage réduit la température et par conséquent l'évaporation ce qui a pour effet d'augmenter le volume d'eau écoulé ; par son système racinaire, elle aère le sol et favorise l'installation des nappes mais aussi pompent l'eau des sols et des nappes qu'elle peut atteindre.

Voilà résumés, en quelques mots, les facteurs conditionnels de l'écoulement. Leurs variations spatiales impriment au bassin de la Gambie un comportement hydrologique qui diffère de l'amont vers l'aval. Ce sont eux en association avec la pluie (le facteur essentiel), qui expliquent les modalités de l'écoulement dans le bassin de la Gambie.

CHAPITRE II

LES PARAMETRES CLIMATIQUES DU BASSIN DE LA GAMBIE EN AMONT DE GOULOUMBOU

Introduction

Si toute étude hydrologique nécessite au préalable une bonne connaissance du milieu physique (géologie, sols, végétation, etc.), il apparaît cependant évident que le climat constitue le facteur dominant des régimes hydrologiques surtout dans la zone tropicale (à laquelle appartient notre bassin) où les cours d'eau connaissent une alimentation exclusivement pluviale.

La pluie constituant le phénomène météorologique essentiel à la connaissance du régime hydrologique, l'étude des précipitations a retenu notre attention, plus particulièrement les précipitations annuelles qui conditionnent largement le volume total écoulé par les cours d'eau.

Notre propos dans ce chapitre est de voir le contexte d'évolution de la pluviométrie sur notre période d'étude hydrologique (1970-2000). Pour ce faire nous nous sommes d'abord intéressés à la répartition spatio-temporelle des précipitations annuelles, puis à son évolution à l'échelle régionale et stationnelle.

Mais avant d'aborder l'étude des précipitations, il serait judicieux d'étudier les mécanismes qui régissent les précipitations et de situer le contexte climatique du bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou.

II.1 Les mécanismes du climat (figure 2.1)

La zone tropicale constitue une entité assez caractéristique sur le plan de la circulation atmosphérique et des masses d'air en présence. L'évolution du temps dans la zone tropicale est régie par les grands centres d'action qui enserrant les tropiques : Anticyclones et basses pressions tropicales dont le balancement saisonnier rythme le temps.

Les anticyclones constituent deux ceintures le long des tropiques. Les cellules principales sont centrées sur les océans et elles peuvent être reliées à des cellules saisonnières par des cols isobariques. Le climat du bassin de la Gambie se trouve donc sous la dépendance étroite de deux centres d'actions :

- Au sud, l'Anticyclone de Ste Hélène, débordant largement au nord de l'Equateur géographique pendant l'été boréal, génère les alizés du sud-est détournés en flux de mousson dans l'hémisphère nord. Cette mousson apporte des pluies.

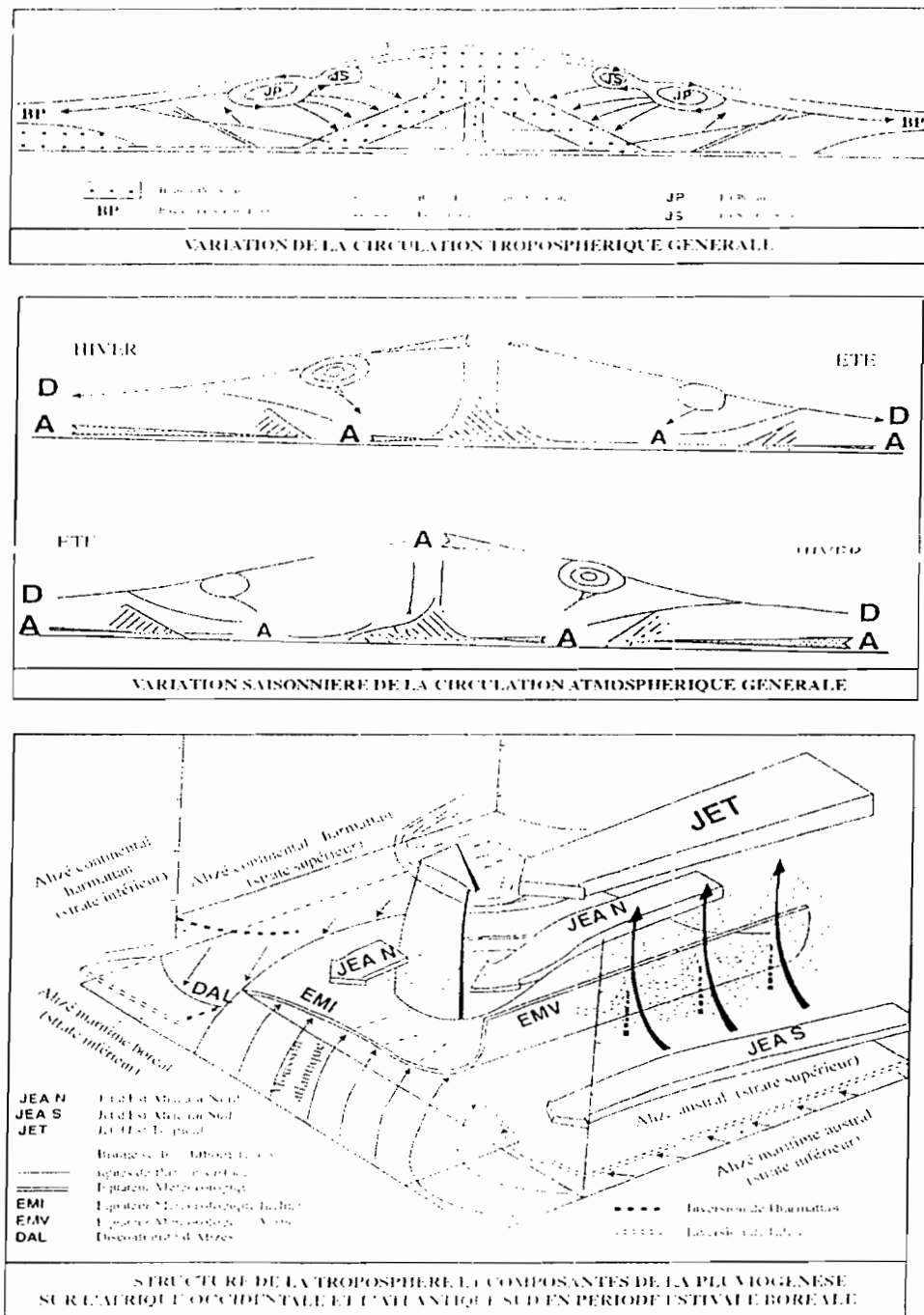


Figure 2.1 Les mécanismes généraux du climat

- Au nord, couvrant le Sahara et faisant suite à l'Anticyclone des Açores qui est le moteur de la circulation d'alizé maritime, une cellule anticyclonique maghrébine pendant l'hiver

boréal qui dirige sur l'intérieur du pays la circulation d'alizé continental ou Harmattan. Elle devient zone de basses pressions en été et est appelée dépression thermique saharienne.

L'alizé continental ou Harmattan, issu de la cellule anticyclonique maghrébine, apporte des masses d'air très sec. Il souffle sur le bassin de la Gambie de Novembre à Avril. Mais sous l'effet du réchauffement progressif du continent et du creusement corrélatif de la dépression thermique continentale (saharienne en été boréal), la circulation d'harmattan s'estompe et disparaît, remplacée par la circulation de mousson provenant de l'anticyclone de Ste Hélène. Dès le mois d'Avril, la mousson commence à envahir le bassin et à progresser vers le nord. Sa limite septentrionale garde dans cette progression une orientation SW-NE., due à la réticence de l'anticyclone des Açores à céder la place, tandis que dans l'intérieur du continent les dépressions thermiques accentuent l'ampleur de la pénétration.

Le remplacement des circulations d'alizés par la circulation de mousson découpe l'année en deux saisons principales : la saison sèche et la saison des pluies. La convergence de ces deux masses d'air sec et humide, entre Harmattan (alizé du N-E) et mousson (alizé du S-W), détermine ici une zone de contact étroite appelé Equateur Météorologique Incliné ou EMI, une zone de basses pressions.

Le EMI se déplace le long de l'année restant sensiblement dirigé le long des parallèles. Ses positions extrêmes sont, en moyenne le vingtième parallèle nord en Août (la dépression saharienne très creuse, et l'anticyclone austral envahissant le golfe de Guinée) et le quatrième parallèle nord en Décembre-Janvier (l'anticyclone saharien, bien marqué, dirige un flux fort et régulier d'harmattan, alors que la mousson est inexistante, l'anticyclone austral s'étant retiré vers le sud).

En février, le EMI amorce sa migration vers le nord ; il atteint le sud du bassin de la Gambie en mars. Le flux d'air tropical sec et très chaud véhiculé par l'harmattan de secteur Est-Nord-Est prédomine sur l'ensemble du bassin. L'alizé maritime est de secteur Nord et intéresse la Gambie maritime et estuarienne. Il est frais et humide à cause de son parcours océanique, puis il se réchauffe et s'assèche lors de son passage sur le continent.

En Avril-Mai, le EMI franchit le 12^{ème} parallèle nord. C'est le début de la saison pluvieuse qui va de Mai à Octobre. dont la première partie est caractérisée par des tornades violentes qui se déplacent en lignes de grains orageux d'est en ouest (LEROUX, 1987).

Le EMI. atteint sa position la plus septentrionale en Août, mois qui correspond au maximum pluviométrique dans toutes les stations du bassin.

Cette remontée du EMI est à l'origine de deux types de précipitations dans notre bassin :

- Les lignes de grains dont le moteur de circulation est le flux d'Est issu le plus souvent de l'anticyclone saharien. Elles se manifestent par des rafales de vent qui dépassent parfois 80 km/heure (Leroux. M, 1983) et qui expliquent le caractère orageux des premières averses communément appelées tornades.
- Les pluies à caractère continu non orageuses ou pluies de mousson

Dés la fin du mois de Septembre et en Octobre, sous l'influence du renforcement des cellules anticycloniques boréales, le EMI entame un retrait rapide vers le Sud contrastant avec la lenteur qui a caractérisé son installation. Ce retrait sera suivi d'une décroissance de la quantité de pluies sur le bassin.

En Novembre, le bassin de la Gambie sera entièrement situé au Nord du EMI ce qui marque le début de la saison sèche.

C'est ce balancement du EMI qui détermine la durée de la saison des pluies, en d'autres termes la répartition spatiale et temporelle des précipitations et partant de là, la division du bassin en domaines climatiques

II.2 Les domaines climatiques du bassin

Les domaines climatiques ont été individualisés en fonction du régime des précipitations (accessoirement du régime thermique) et de la succession des saisons. Il s'agit essentiellement dans le bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou des domaines sud soudanien et nord soudanien.

2.1 Le domaine Sud soudanien

Il correspond au climat tropical de transition dont l'exemple dans notre bassin est Kédougou. Ce domaine enregistre des précipitations supérieures à 1000 mm par an. Sa période pluvieuse s'étend sur 5 à 6 mois. Les températures enregistrées au niveau de la station synoptique de Kédougou sont relativement élevées. Les mois de Mars-Avril-Mai enregistrent les plus fortes valeurs (plus de 30° C pour les températures moyennes, le maximum intervenant en Avril).

La figure 2.2 montre l'évolution mensuelle de quelques variables climatiques : température (maximum (Tx), minimum (Tn) et moyenne (Tm)) , évaporation (Ev), insolation (Ins), humidité relative moyenne (Hrm) présentées dans le tableau 2.1 ci-dessous.

Tableau 2.1 Moyennes mensuelles de Température, Evaporation, Insolation et humidité relative moyenne à la station de Kédougou (d'après L. Konaté, 1998)

Mois Paramètres	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
Tx	34	37	39	40.2	39	35	31.6	32	32.1	33.8	35.1	33.9	35.1
Tn	18	20	24	26.4	26	24	22.4	22	21.6	21.8	19.6	17.1	21.9
Tm	27	29	31	33.3	33	30	27	27	26.9	27.8	27.4	25.5	28.5
Ev	247	242	299	306	252	130	63.9	48	50.8	74.2	124	214.6	170
Ins	255	232	259	265	257	240	218	209	218	247	258	253.4	243
Hrm	25	26	28	32.2	45	68	78.3	80	78.7	72.7	55.8	36.8	52.1

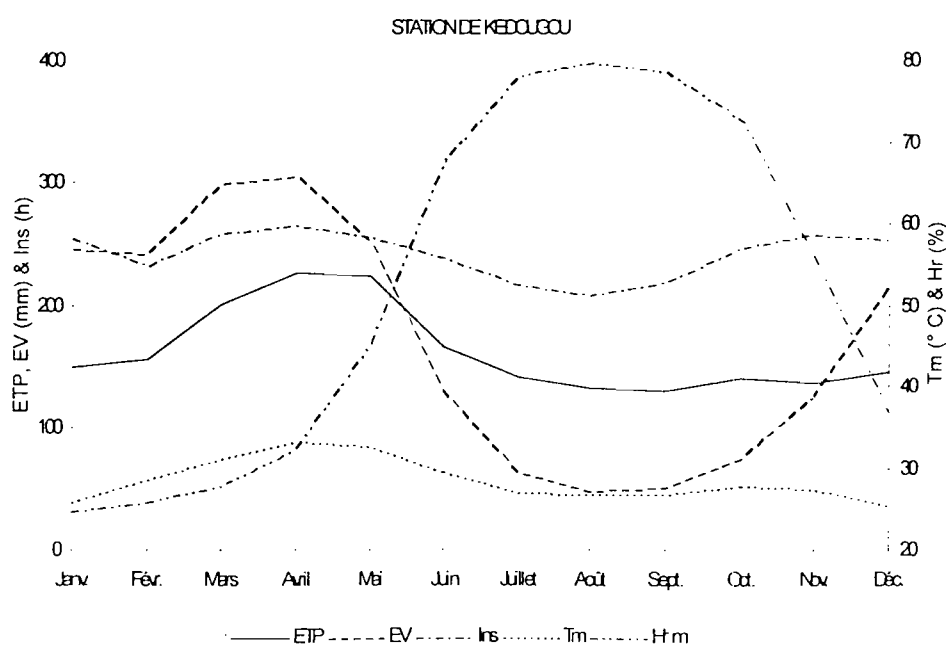


Figure 2.2

2.2 Le domaine Nord soudanien

Comparativement au domaine Sud soudanien, le Nord soudanien se caractérise par une réduction de la saison des pluies qui ne dure plus que 4 mois. Le total précipité n'excède pas les 1000 mm d'eau. La station de référence de ce domaine qualifié de tropical pur est la station de Tambacounda qui enregistre sa température moyenne maximale (33.4° C) un mois après celle de Kédougou c'est-à-dire au mois de Mai.

Le tableau 2.2 et la figure 2.3 présentent quelques paramètres climatiques enregistrés au niveau de la station synoptique de Tambacounda.

Tableau 2.2 Moyennes mensuelles de Température, Evaporation, Insolation et humidité relative moyenne à la station de Tambacounda (d'après L. Konaté, 1998)

Mois Paramètres	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
Tx	38	40	42	42.2	43	41	36.4	35	35.7	38.7	39.1	38	39
Tn	14	16	19	22.2	23	21	20.5	21	20.3	19.8	15.5	13.7	18.9
Tm	26	28	31	33.1	33	32	28.2	28	27.7	29.2	28.3	25.9	29.1
Ev	296	284	334	321	281	204	104	68	59.5	99.7	190	267.3	209
Ins	261	247	281	280	269	239	239	235	238	267	270	255.4	257
Hrm	24	25	26	31.2	40	58	74	80	79	68.4	47.9	29.1	48.4

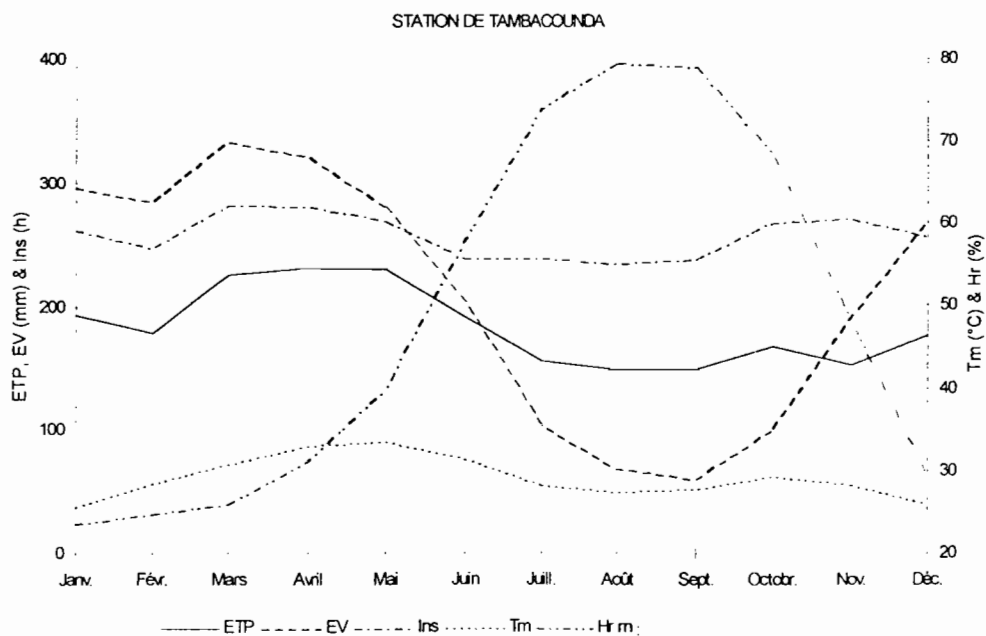


Figure 2.3

II.3 Les précipitations

La plus ou moins grande abondance des précipitations et leurs répartitions saisonnières constituent les facteurs déterminants des différents domaines climatiques.

La grande variabilité spatiale des précipitations est connue grâce au réseau d'observations météorologiques présent dans le bassin et dans son pourtour immédiat.

3.1 Réseau pluviométrique

Le réseau pluviométrique du bassin de la Gambie se caractérise par son inégale répartition spatiale et sa densité irrégulière (figure 2.4). Par exemple le bassin de la Koulountou est pratiquement dépourvu de station pluviométrique. La seule en fonction est celle de Youkounkoun et à elle seule, elle ne nous permet pas de bien cerner le régime pluvial de ce sous bassin de la Gambie et de connaître les apports de cette zone. En plus de cette irrégularité, la qualité du suivi des stations et la durée des périodes d'observation sont très variables (tableau 2.3). Les données recueillies à ces différents postes sont parfois lacunaires, entachées d'erreurs.

Le principal gestionnaire de données pluviométriques et climatiques demeure le service Nationale de la Météorologie. Mais il arrive que des services tels que la SODEFITEX, l'ISRA, l'IRD (ex ORSTOM) gèrent des stations pluviométriques.

A la base des informations qui seront proposées dans cette étude, sont des données déjà homogénéisées sur la période 1921-1998. La méthode utilisée pour l'homogénéisation des données est celle mise au point par BRUNET-MORET qui introduit à partir du traitement de l'ensemble des postes d'une région, un vecteur régional d'indice pluviométrique. Cette homogénéisation des données consiste en une extension des séries courtes, à partir des séries longues d'un poste voisin. Elle aboutit à l'estimation d'une valeur moyenne sur la période d'homogénéisation à partir de la valeur moyenne observée sur une période courte par la différence des valeurs moyennes correspondantes à la station de référence.

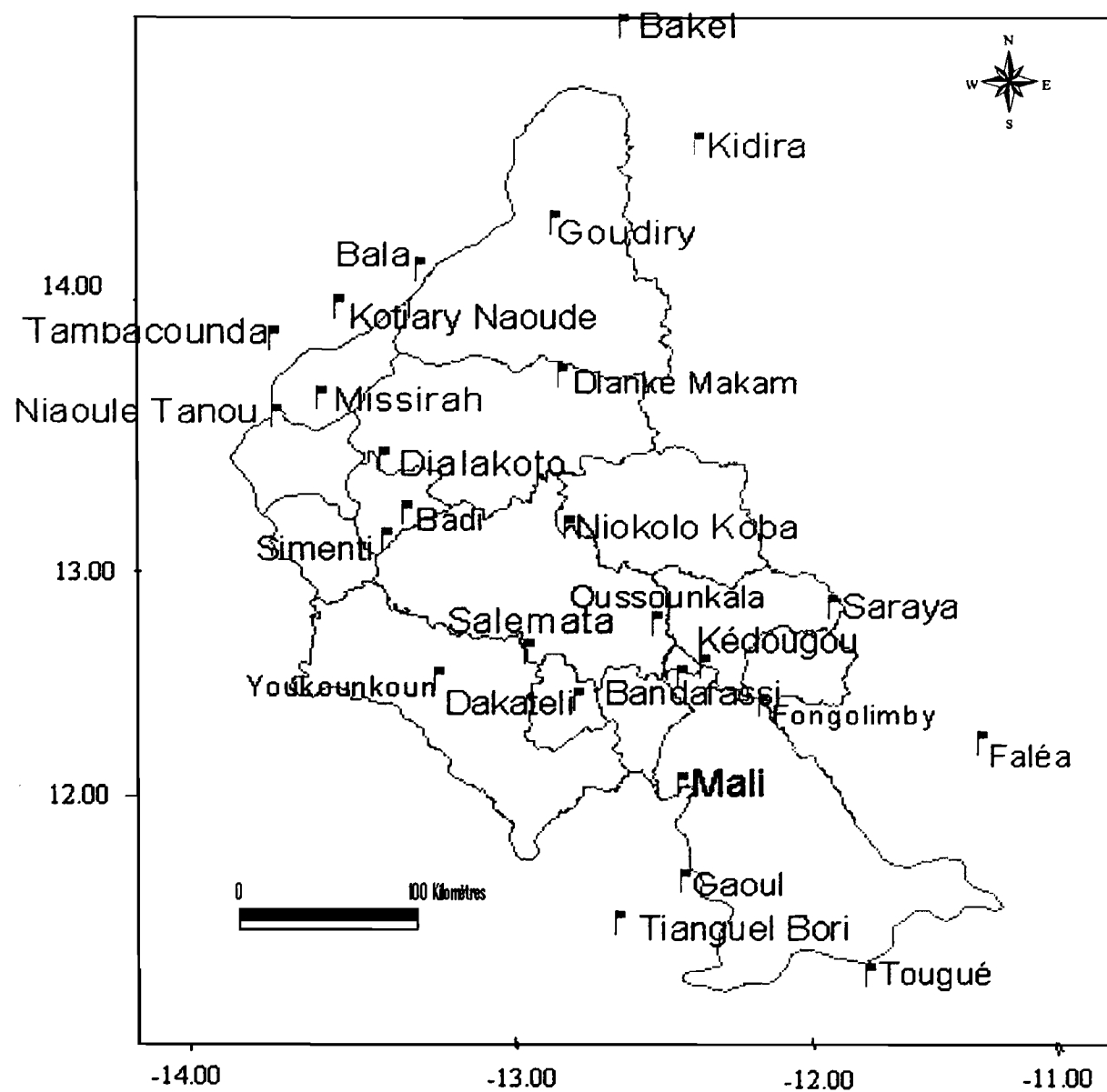


Figure 2.4 Carte du réseau pluviométrique

Tableau 2.3 Stations pluviométriques retenues dans l'étude des précipitations

Stations	Longitude	Latitude	Type	Altitude	période	période d'homg
KEDOUGOU	12.22	12.57	G	178	1918	1921/1998
GOUDIRY	12.72	14.18	M	59	1940	1921/1998
FONGOLIMBY	12.02	12.42	M	396	1963	1921/1998
BANDAFASSI	12.30	12.53	M	161	1975	1921/1998
OUSSOUNKALA-BAGNOMBA	12.38	12.72	M	93	1963	1921/1998
DAKATELI	12.65	12.45	M	126	1975	1921/1998
SALEMATA	12.82	12.63	M	80	1973	1921/1998
SARAYA	11.78	12.78	M	186	1948	1921/1998
KOTIARY NAOUDE	13.45	13.88		27	1963	1921/1998
MISSIRAH	13.52	13.55	M	45	1963	1921/1998
SIMENTI	13.30	13.03	G	47	1967	1921/1998
TAMBACOUNDA	13.68	13.77	G	49	1919	1921/1998
DIALAKOTO	13.30	13.32	M	50	1918	1921/1998
BADI	13.23	13.13	M	36	1973	1921/1998
NIAOULE TANOU	13.67	13.48	M	16	1975	1921/1998
BANI ISRAEL	12.92	13.80	M	64	1977	1921/1998
DIANKE MAKAM	12.70	13.63	M	63	1976	1921/1998
NIOKOLO KOBÀ	12.68	13.07	M	62	1973	1921/1998
BALA	13.17	14.02	M	61	1962	1921/1998
GAOUL	12.30	11.78			1924	1921/1998
MALI	12.30	12.13			1924	1921/1998
TOUGUE	11.67	11.43				1921/1998
YOUKOUNKOUN	13.12	12.53				1921/1998
TIANGUEL BORI	12.52	11.63			1950	1921/1998
FALEA	11.28	12.27				1921/1998

Le bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou a été divisé en deux parties représentant chacune un climat homogène :

- Les postes situés au sud de Kédougou en Guinée
- Les postes situés en climat nord soudanien

On s'est inspiré des résultats du calcul du vecteur régional pour dresser la carte des isohyètes. C'est sur la base de ces fichiers pluviométriques que la variation spatio-temporelle de la pluviométrie annuelle sera analysée. Notre échelle d'analyse a été réduite aux normales pluviométriques que l'on a comparé à la période 1970-1998. Le but étant de voir l'évolution de la pluviométrie sur notre période d'étude (1970-2000).

3.2 Les précipitations annuelles et leurs répartitions

La répartition spatiale des hauteurs annuelles de précipitation a été indiquée sur les cartes des isohyètes des figures 2.5 à 2.7 qui permettent par ailleurs d'estimer les tranches d'eau moyennes précipitées sur les bassins versants.

Ces cartes ont été établies pour les normales 1921-1950, 1931-1960, 1941-1970, 1951-1980, 1961-1990 ainsi que pour la période 1971-1998 et autorisent une comparaison de la pluviosité durant ces différentes périodes. Elles montrent une opposition entre les régions du sud nettement plus arrosées et celles du nord où on note l'écartement beaucoup plus sensible des isohyètes en raison de la faiblesse des précipitations.

Pour la période 1921-1950, l'ensemble du bassin se situe entre les isohyètes 2300 mm situées à l'extrême sud et 700 mm au nord. Seule une infime partie du bassin reçoit moins de 700 mm de pluies (figure 2.5). Par contre la normale 1931-1960 se caractérise par une augmentation de la pluviométrie qui entraîne la migration de l'isohyète 1000 mm qui partage le bassin en deux, bien au dessus du 13° de latitude nord. Le bassin est entièrement compris entre 700 mm au nord et 2400 mm au sud.

Dès la période 1941-1970 s'amorce une phase de décroissance de la pluviométrie qui s'étend jusqu'à nos jours avec un infléchissement de l'ensemble des bandes vers le sud. Elle ne sera vraiment évidente qu'à partir de la normale 1951-1980.

La période 1971-1998 est la plus touchée par cette réduction de la pluviométrie avec le décalage de l'isohyète 1000 mm vers le sud, en deçà du 13° de latitude nord. Le bassin n'est plus compris qu'entre les isohyètes 600 mm au nord avec une partie recevant 500 mm et 1900 mm à l'extrémité sud. C'est donc d'un véritable reflux pluviométrique qu'il s'agit là. La conséquence sera l'empiètement du domaine nord soudanien sur le sud soudanien.

L'exploitation des cartes des isohyètes nous a permis d'expliquer la répartition spatio-temporelle des précipitations et de constater le caractère déficitaire des périodes 1961-1990 et 1971-1998 par rapport aux autres normales dont la 1951-1980 a été établie comme la référence moyenne.

C'est en nous basant sur cette référence qu'on a pu caractériser la pluviosité de chaque période en calculant les écarts pluviométriques à la normale obtenus par la formule :

$$e_i(\%) = \frac{P_i - P_n}{P_n} \cdot 100$$

où e_i est égal à l'écart moyen

P_n le module pluviométrique moyen représenté ici par la normale 1951-1980

P_i le total de l'année considérée

Le tableau 2.4 suivant donne le résultat de ce calcul ainsi que les hauteurs d'eau précipitées pour chaque période.

Comme on peut le percevoir dans ce tableau 2.4, les années présentées sont toutes excédentaires par rapport à 1951-1980 (pour les années humides) ou déficitaires (pour les années sèches).

Toutes les stations utilisées pour l'étude de la pluviométrie dans le bassin connaissent une baisse pluviométrique à partir de la période 1961-1990 qui marque donc le début de la sécheresse dans le bassin. Les déficits varient généralement entre 6.1 % (Kédougou) et 8.9 % (Youkounkoun).

La période 1971-1998 enregistre les plus gros écarts négatifs avec des pourcentages qui atteignent 19.5 % à Youkounkoun ce qui fait un déficit de 10.5 % de plus par rapport au maximum de la normale 1961-1990. Le plus faible déficit enregistré a un pourcentage de 8.4 soit 0.5 % de moins par rapport à l'écart maximal de 1961-1990.

C'est donc dans ce contexte de déficit pluviométrique généralisé que s'est faite l'étude du régime hydrologique du bassin de la Gambie.

Si dans leur ensemble les dernières décennies apparaissent toutes comme étant sèches et celles antérieures comme étant humides, dans le détail les différentes années présentent des dissemblances qui traduisent la grande variabilité interannuelle des pluies.

Tableau 2.4 Hauteurs d'eau précipitées et écarts pluviométriques par rapport à 1951-1952

Périodes		Ecarts 21-50		Ecarts 31-60		Ecarts 41-70				Ecarts 61-90		Ecarts 71-98
Stations	Moy 21-50	(%)	Moy 31-60	(%)	Moy 41-70	(%)	Moy 51-80	Moy 61-90	(%)	Moy 71-98	(%)	
KEDOUGOU	1362.4	1.2	1425.8	5.9	1383.3	2.7	1346.6	1264.3	-6.1	1212.9	-9.6	
FONGOLIMBY	1393.1	0.1	1462.8	5.1	1435.4	3.2	1391.6	1287.1	-7.5	1245.5	-10.0	
BANDAFASSI	1318.2	-1.1	1384.1	3.8	1363.0	2.2	1333.1	1242.9	-6.8	1181.4	-11.2	
OUSSOUNKA-BAG	1138.5	-0.3	1195.5	4.7	1174.6	2.9	1141.5	1066.0	-6.6	1025.1	-10.0	
DAKATELI	1562.5	0.6	1640.7	5.6	1615.6	4.0	1553.9	1452.1	-6.6	1390.8	-10.3	
SALEMATA	1410.3	-0.5	1480.8	4.5	1458.2	2.9	1417.8	1323.5	-6.7	1261.7	-10.8	
SARAYA	1268.1	-0.6	1333.7	4.6	1309.9	2.7	1275.4	1186.0	-7.0	1141.9	-10.3	
KOTIARY-NAOUE	877.7	-0.4	921.6	4.6	912.5	3.5	881.4	822.1	-6.7	785.0	-11.0	
MISSIRAH	882.0	0.1	926.1	5.1	911.8	3.5	880.9	825.6	-6.3	784.1	-10.6	
SIMENTI	979.6	0.3	1028.6	5.3	1012.9	3.7	976.7	917.0	-6.1	879.9	-9.7	
TAMBACOUNDA	948.7	0.7	989.9	5.1	970.6	3.0	942.0	878.1	-6.8	841.9	-10.5	
DIALAKOTO	1008.7	-0.2	1061.7	5.1	1054.3	4.4	1010.3	934.4	-7.5	889.7	-11.8	
BADI	945.8	-0.7	993.1	4.3	977.9	2.7	952.2	887.7	-6.8	849.6	-10.5	
NIAOULE TAN	1055.0	-0.1	1107.8	4.9	1090.8	3.3	1056.1	989.3	-6.3	948.2	-10.0	
DIANKE MAKAM	942.4	0.0	989.6	5.0	974.4	3.4	942.7	880.2	-6.6	847.9	-9.8	
NIOKOLOKB	1042.8	-0.1	1095.0	4.9	1078.2	3.3	1043.6	977.9	-6.3	937.2	-9.9	
BALA	741.3	-1.3	778.4	3.6	771.0	2.6	751.2	702.7	-6.5	669.0	-10.6	
MALI	1829.1	-2.0	1914.2	2.5	1929.0	3.3	1866.9	1769.5	-5.2	1714.7	-8.4	
TOUGUE	2354.5	3.5	2477.5	8.9	2342.1	2.9	2275.3	2073.7	-8.9	1962.2	-13.4	
YOUKOUNKOUN	1493.8	5.9	1460.2	3.5	1461.5	3.6	1410.3	1296.0	-8.1	1148.3	-19.5	
TIANGUEL BORI	2056.4	7.2	2122.2	10.7	2060.9	7.5	1917.4	1776.0	-7.4	1693.8	-11.7	
FALEA	1720.1	-0.3	1795.7	4.1	1768.0	2.5	1724.4	1594.4	-7.5	1534.7	-10.6	

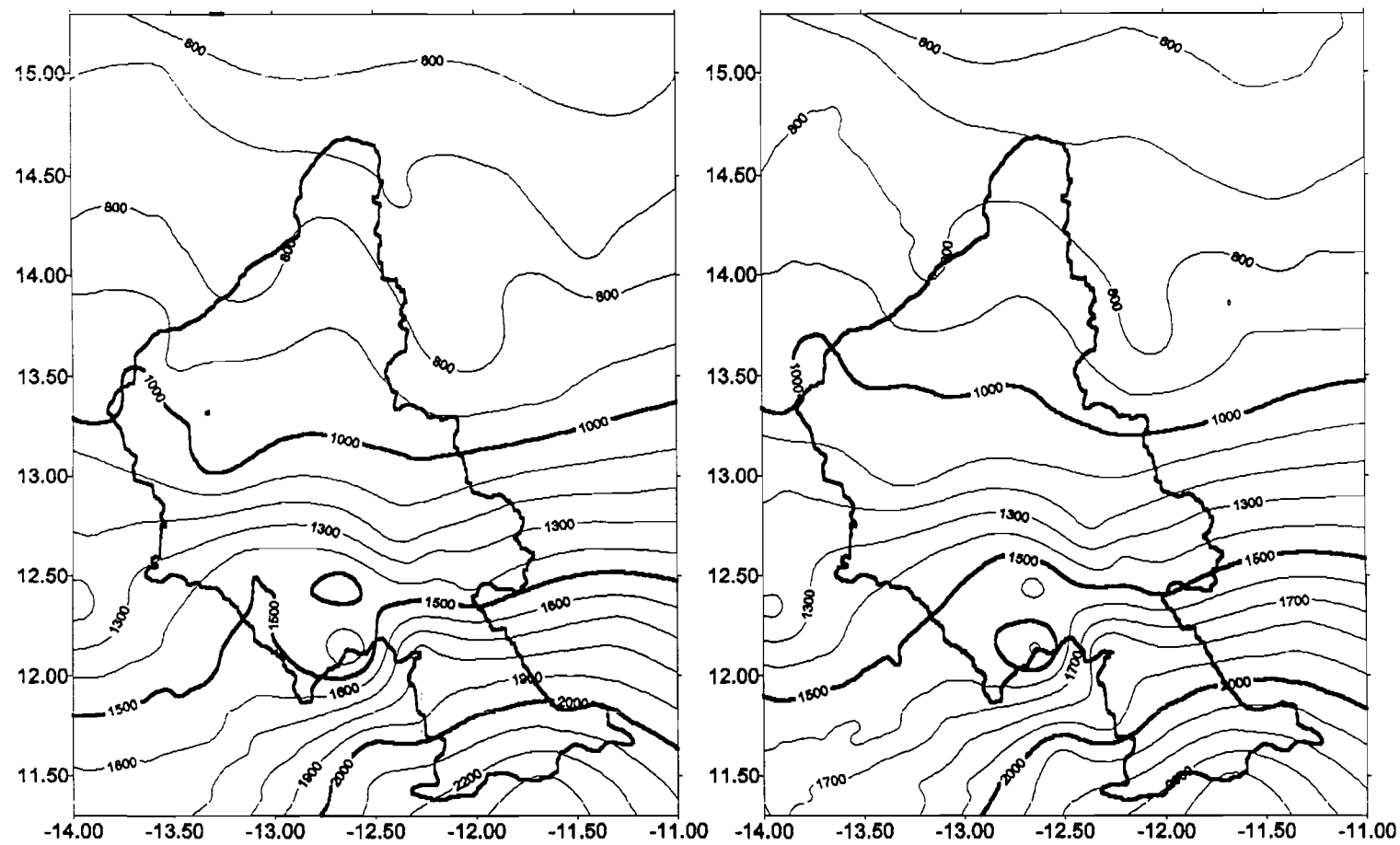


Figure 2.5 Carte des isohyètes de la normale 1921-1950 et 1931-1960

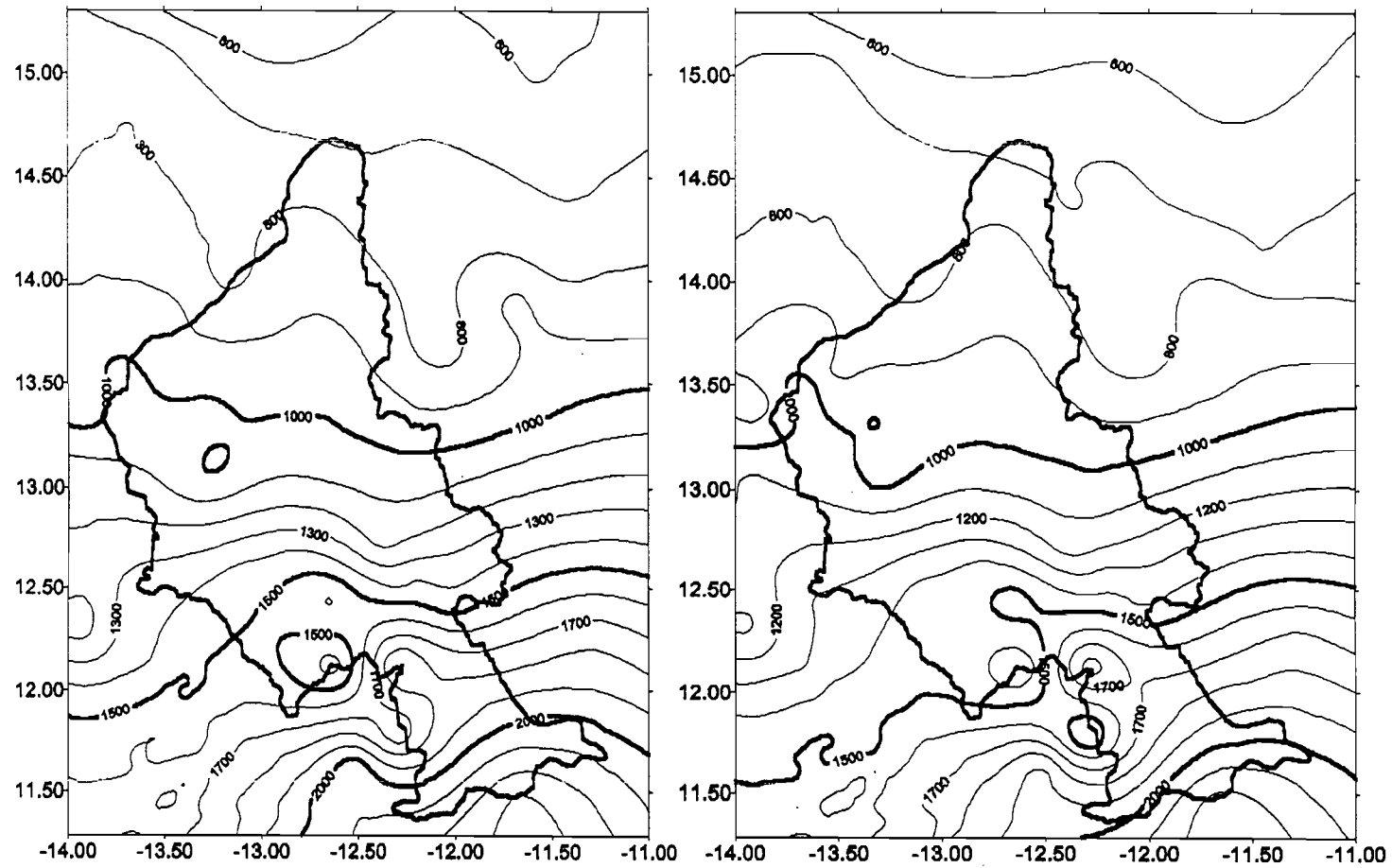


Figure 2.6 Carte des isohyètes de la normale 1941-1970 et 1951-1980

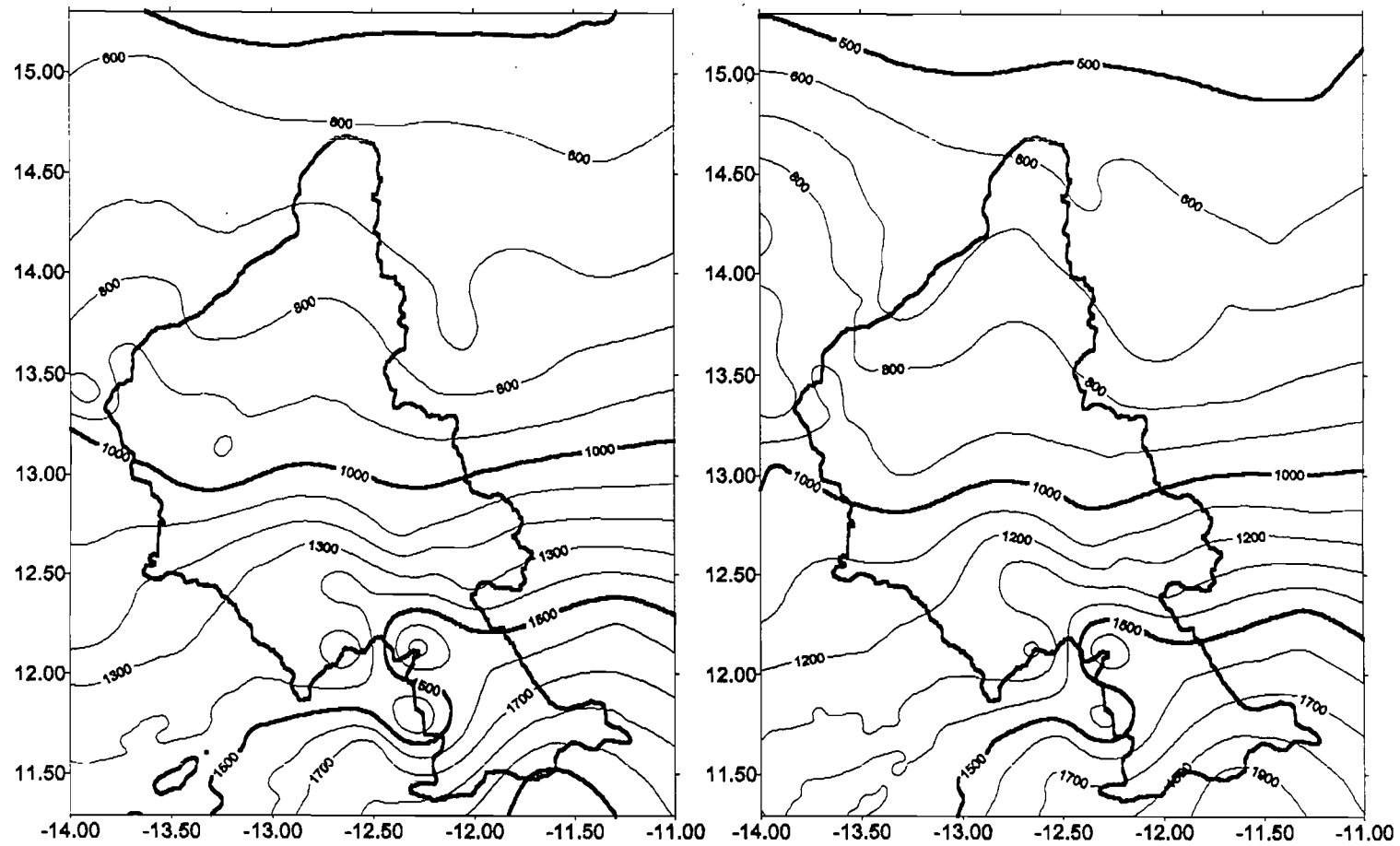


Figure 2.7 Carte des isohyètes de la normale 1961-1990 et de la période 1971-1998

3.3 Variabilité interannuelle des précipitation

Pour caractériser la variabilité de la pluviométrie annuelle, on a pris les valeurs des indices pluviométriques du vecteur régional qui décrit la pluviométrie globale dans la région. De par sa valeur, une année sera déficitaire quand son indice est inférieur à l'unité ou excédentaire dans le cas contraire.

La figure 2.8 montre les variations dans le temps des vecteurs calculés pour les deux zones climatiques : la haute Gambie (Guinée) et la moyenne Gambie.

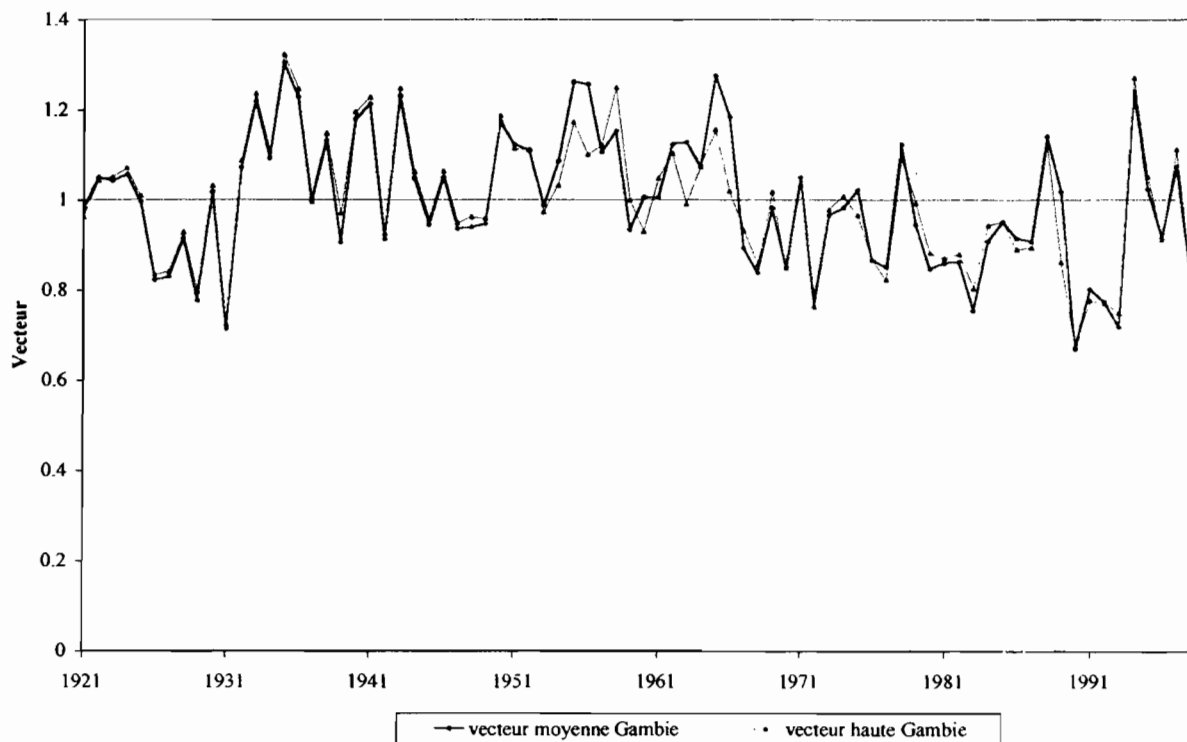


Figure 2.8 Variations des indices pluviométriques des vecteurs régionaux

L'examen de cette figure 2.8 montre que l'évolution globale des précipitations est la même dans ces deux parties du bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou. L'alternance de "pics" et de "creux" (évolution en dents de scie) sur les courbes permet de détecter des périodes sèches et des périodes humides et montre que les années 1961-1998 ne sont pas toutes déficitaires. Par exemple les années 1962-1966, 1978, 1988, 1994 et 1998 décrivent une assez bonne pluviosité avec des excédents entrecoupés par des périodes déficitaires. L'année 1968 marque le début d'une longue sécheresse dans le bassin.

L'application du vecteur régional nous permet de voir les tendances et la variabilité des précipitations à l'échelle régionale. Il serait certes intéressant de voir à présent l'évolution annuelle des précipitations à l'échelle des stations.

3.4 Variations des précipitations dans cinq stations de 1970 à 1998

L'évolution des précipitations annuelles et des moyennes mobiles pondérées est présentée dans la figure 2.9 pour les stations de Tougué, Kédougou, Simenti et Tambacounda.

Cette évolution des précipitations annuelles fait remarquer une variabilité assez marquée qui se caractérise par un profil en dents de scie ; des déficits prononcés pouvant succéder à des hausses parfois sensibles (figure 2.9).

Les moyennes mobiles pondérées ont été calculées d'après la formule :

$$\bar{P}_i = 0.5 \sum_{i=1}^n P_i \times e^{-0.7(t_0 - t_i)}$$

où $\bar{P}_i$ représente la moyenne mobile pondérée de l'année P_i

($t_0 - t_i$), le temps en année séparant P_i de celle de P_0

« Cette méthode présente l'avantage de maintenir les moyennes ainsi calculées, calées dans le temps, avec la réalité des observations et de traduire l'approche d'une réalité physique susceptible d'être interprétée. Ainsi la moyenne mobile pondérée déterminée pour une année donnée dépend de la moitié de l'année en question et pour la moitié des années antérieures, de poids dégressif en remontant dans le temps » (Dacosta, 1989)

L'examen de la courbe des moyennes mobiles (figure 2.9) montre que la station de Kédougou connaît une évolution assez stable des précipitations de 1970 à 1989. Les moyennes mobiles évoluent généralement autour de la moyenne interannuelle ce qui suggère une période assez pluvieuse. A partir de 1990, les moyennes mobiles connaissent une évolution négative (en dessous de la moyenne) d'où un déficit pluviométrique et ce jusqu'en 1993. Au delà, on assiste à une croissance positive.

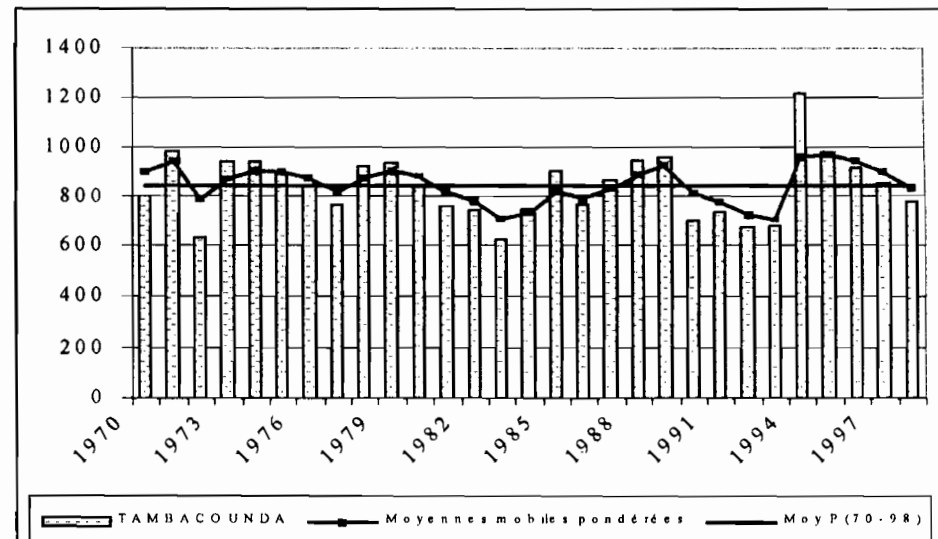
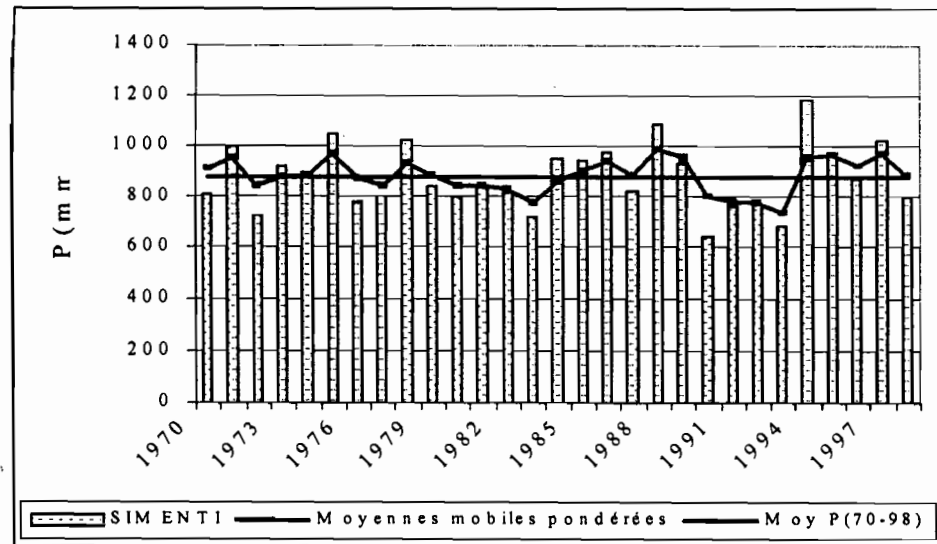
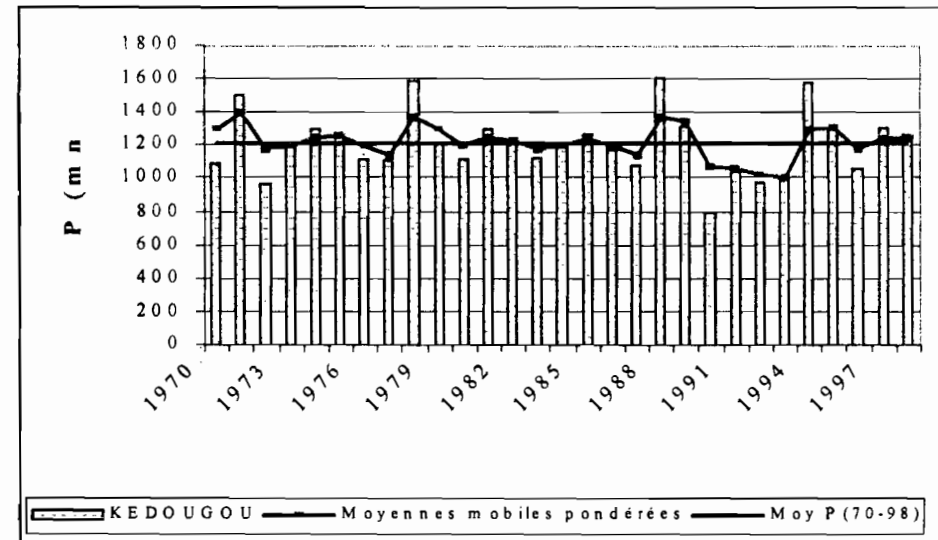
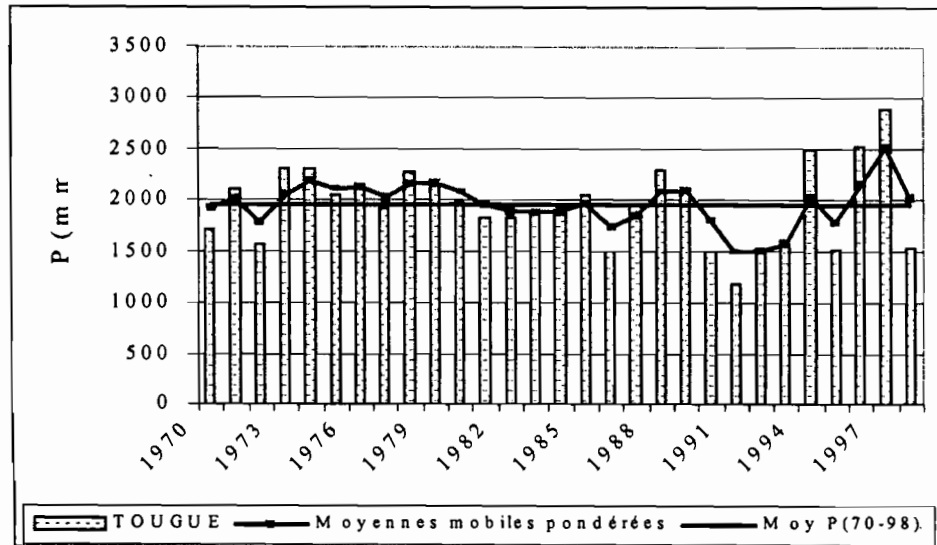


Figure 2.9 Pluviométries annuelles et moyennes mobiles pondérées à quatre stations du bassin de la Gambie.

Pour Simenti et Tambacounda, on a une évolution en dents de scie des moyennes mobiles avec un plus grand étalement de la période déficitaire qui va de 1979 à 1994 interrompue par une reprise positive (au dessus de la moyenne) de 1984 à 1988 pour Simenti et de 1987 à 1989 pour Tambacounda.

En somme la figure 2.9 fait ressortir les tendances des précipitations à l'échelle stationnelle plus représentative de la variabilité interannuelle. et dévoile l'irrégularité interannuelle des précipitations.

Les précipitations dans le bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou sont sujettes à des variations interannuelles. Les écarts observés d'une année à l'autre vont avoir des répercussions sur l'écoulement fluvial quand on sait que la Gambie, à l'instar des autres cours d'eau, connaît une alimentation exclusivement pluviale. Puisque notre période d'observation des données hydrologiques coïncide, au vu de cette étude, avec une période de déficit pluviométrique, Il faut s'attendre également à ce que les écoulements soient minorés par rapport à ce qu'ils auraient été sur des périodes plus anciennes.

Contrairement aux précipitations annuelles, les écarts observés à l'échelle mensuelle n'altèrent pas le régime hydrologique. Les mois les plus pluvieux sont généralement juillet, août et septembre (figure 2.10). Selon que le maximum se situe entre ces trois mois, il peut se produire un léger différé de la pointe de crue.

Répartition des pluies mensuelles de 1972 à 1995

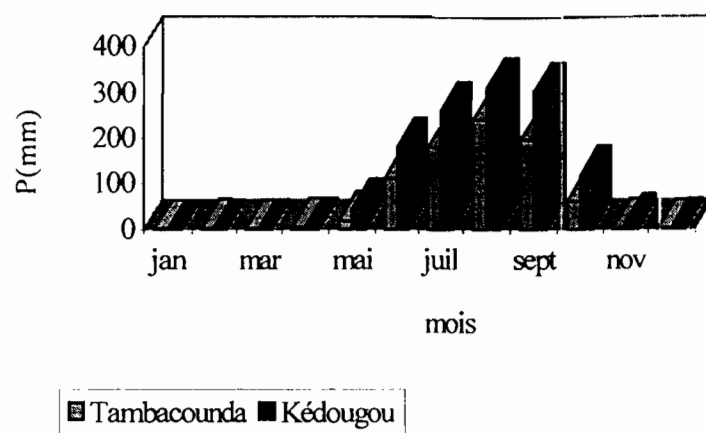


Figure 2.10 (L. konaté, 1998)

Même si les précipitations jouent un rôle fondamental dans la connaissance des modalités de l'écoulement, elles ne sauraient à elles seules nous permettre d'évaluer les disponibilités en eau. Il est nécessaire d'effectuer des mesures aux différentes stations hydrométriques pour mieux cerner les aspects essentiels du régime hydrologique.

CHAPITRE III

RESEAUX HYDROGRAPHIQUE ET HYDROMETRIQUE ETUDE DU REGIME HYDROLOGIQUE DE LA GAMBIE AUX PRINCIPALES STATIONS DE SON COURS PRINCIPAL

Introduction

L'hydrologie du fleuve Gambie et de ses affluents a fait l'objet de plusieurs études (Humphreys & Sons, 1974 ; Lô, 1984 ; Gac et *al*, 1987 ; Lamagat et *al.*, 1990 ; Konaté 1992 ; konaté, 1993 ; Malanda nimy, 1999). Ces travaux ont porté sur des données existantes souvent peu critiquées et parfois lacunaires, sans qu'on ait cherché à mettre en relation les différentes stations du bassin. Même les travaux d'extension réalisés sur les modules mensuels de la Gambie (Dacosta, 1985), compte tenu de la faiblesse des données existantes sur la Gambie, ont dû être réalisés avec le fleuve voisin de la Falémé.

Nous avons donc utilisé les méthodes statistiques et informatiques récentes pour remédier à ce manque. Les caractéristiques de l'écoulement dont les grands traits sont repris dans ce travail sont analysées, dans le bassin de la Gambie à ses principales stations en amont de Gouloumbou, à partir des séries complètes sur la période d'observation (1970-2000) obtenues par ces méthodes.

Ces séries devraient nous permettre de mieux cerner le comportement hydrologique de la Gambie à ses principales stations en amont de Gouloumbou. C'est cette connaissance qui nous permettra, à travers les aspects essentiels de l'écoulement que sont les débits moyens annuels, mensuels et les formes extrêmes de l'écoulement, de dresser un bilan correct et précis des ressources disponibles au niveau des bassins.

L'importance du sujet à traiter nécessite que soient jetées ici les bases de l'étude des régimes hydrologiques de la Gambie. Celles-ci dépendent en premier lieu du réseau hydrographique et du réseau hydrométrique que nous allons décrire rapidement.

III.1 Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la Gambie (figure 3.1) est assez bien hiérarchisé. Son chevelu dense dans sa partie amont diminue progressivement du Sud vers le Nord puis vers l'Ouest en direction de la partie basse du bassin. Cela est dû à la structure géologique, à l'abaissement du relief, et à la décroissance de la pluviométrie.

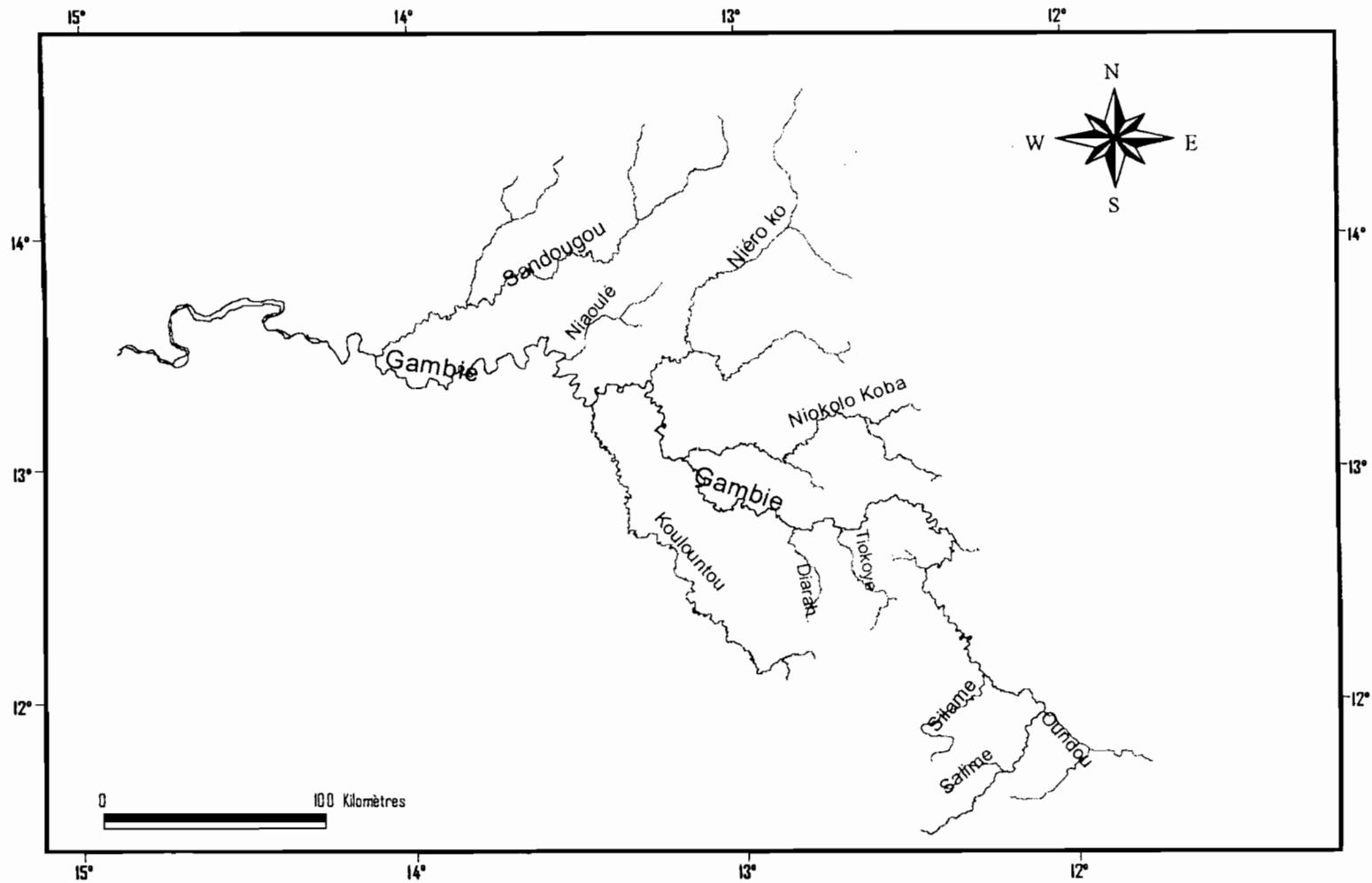


Figure 3.1 Réseau hydrographique de la Gambie en amont de Gouloumbou

C'est dans la partie haute du bassin à pente très forte que les cours d'eau se rassemblent pour former la Gambie qui est peu à peu grossie d'affluents importants.

De sa source, la Gambie se dirige du Sud au Nord vers la frontière sénégalaise. Elle entaille profondément les plateaux latéritiques du Dongol Sigon, franchissant les niveaux durs par des rapides et des chutes.

Au cours de son parcours en territoire guinéen, la Gambie va d'abord prendre une direction Nord-Est. Après sa confluence avec l'Oundou, elle prend une orientation Nord-Ouest. Elle reçoit alors sur la rive gauche le Silamé, et sur la rive droite la Kouloufi, le Matiépou, la Liti. Ce tracé géométrique suggère que le fleuve a suivi d'anciennes fractures, de direction orthogonale et d'âge probablement hercynien (Michel P, 1973).

La Gambie pénètre alors au Sénégal. Après Kédougou, pour contourner les reliefs de dolérites et de metabasites, elle décrit une boucle jusqu'à Mako, au cours de laquelle elle reçoit deux affluents de rive droite : le Diaguiri et le Koumoutourou.

De Mako, le fleuve prend un cours sinueux entre les collines Bassaris selon une direction SE-NW. Il est rejoint à ce niveau par le Tiokoye et le Diarha sur sa rive gauche, et peu avant Simenti, le Niokolo Koba sur sa rive droite. Le fleuve est encaissé dans les plateaux du Continental Terminal. Il se caractérise alors par les méandres du lit mineur qui, en dépit de sa largeur (150 m à 200 m en moyenne), ne suffit pas à contenir les plus fortes crues qui débordent largement au cours des années de forte hydraulité.

Peu après Wassadou, la Gambie reçoit sur sa rive droite, le Niéri-ko, dont le bassin à faible relief est entièrement situé sur les formations perméables du continental terminal, avant d'être rejointe sur sa rive gauche par son plus important affluent la Koulountou. Le Niaoulé, petit affluent de rive droite, est son dernier apport avant Gouloumbou.

C'est bien entendu sur ces différentes unités hydrographiques (dont les caractéristiques principales sont résumées dans le tableau 3.1) que va s'articuler l'étude du régime hydrologique de la Gambie.

Tableau 3.1 Caractéristiques principales du réseau hydrographique de la Gambie en amont de Gouloumbou (d'après Chaperon et Guiguen)

Fleuve Gambie	Longueur (km)	Altitude max. (m)	Altitude min (m)	Dénivelée (m)
Source à Kédougou	243	1125	105	1020
à Mako	328	1125	75	1050
à Simenti	503	1125	10	1115
à Wassadou amont	559	1125	5	1120
à Gouloumbou	658	1125	0	1125
Principaux Affluents				
<i>Oundou</i> à confluence	75	700	250	450
<i>Liti</i> à confluence	84	900	200	700
<i>Tiokoye</i> au pont	65	600	57	543
à confluence	87	600	55	545
<i>Diarha</i> au pont	50	300	50	250
à confluence	63	300	44	256
<i>Koulountou</i> au Parc	208	800	13	787
à Missira Gounas	325	800	2	798
à confluence	333	800	1	799
<i>Niokolo</i> au pont	110	300	50	250
à confluence	190	300	11	289
<i>Niéri-ko</i> au pont	217	110	7	103

III.2 Le réseau hydrométrique

Le réseau hydrométrique (constitué des stations de mesure installées sur les cours d'eau) est d'une importance capitale dans la connaissance des modalités de l'écoulement et l'établissement d'un bilan hydrologique. Sa mise en place procède d'une volonté d'étude systématique de la disponibilité des ressources en eau du pays.

Les premières mesures hydrométriques, effectuées sur la Gambie, datent de 1953 à la station du pont de Gouloumbou. Mais le suivi hydrologique a réellement débuté à partir de l'année 1970, suite à l'installation des stations hydrométriques dans le cadre du projet REG 60 sur les cours moyen (Sénégal) et aval (Gambie). Cet effort d'équipement sera étendu au bassin amont (Guinée) à partir de 1975, période qui correspond à l'ouverture de la plupart des stations hydrométriques sur le bassin. Au total, une cinquantaine de stations a été implantée (figure 3.2) dont une vingtaine dans la partie sénégalaise, mais certaines seront progressivement abandonnées.

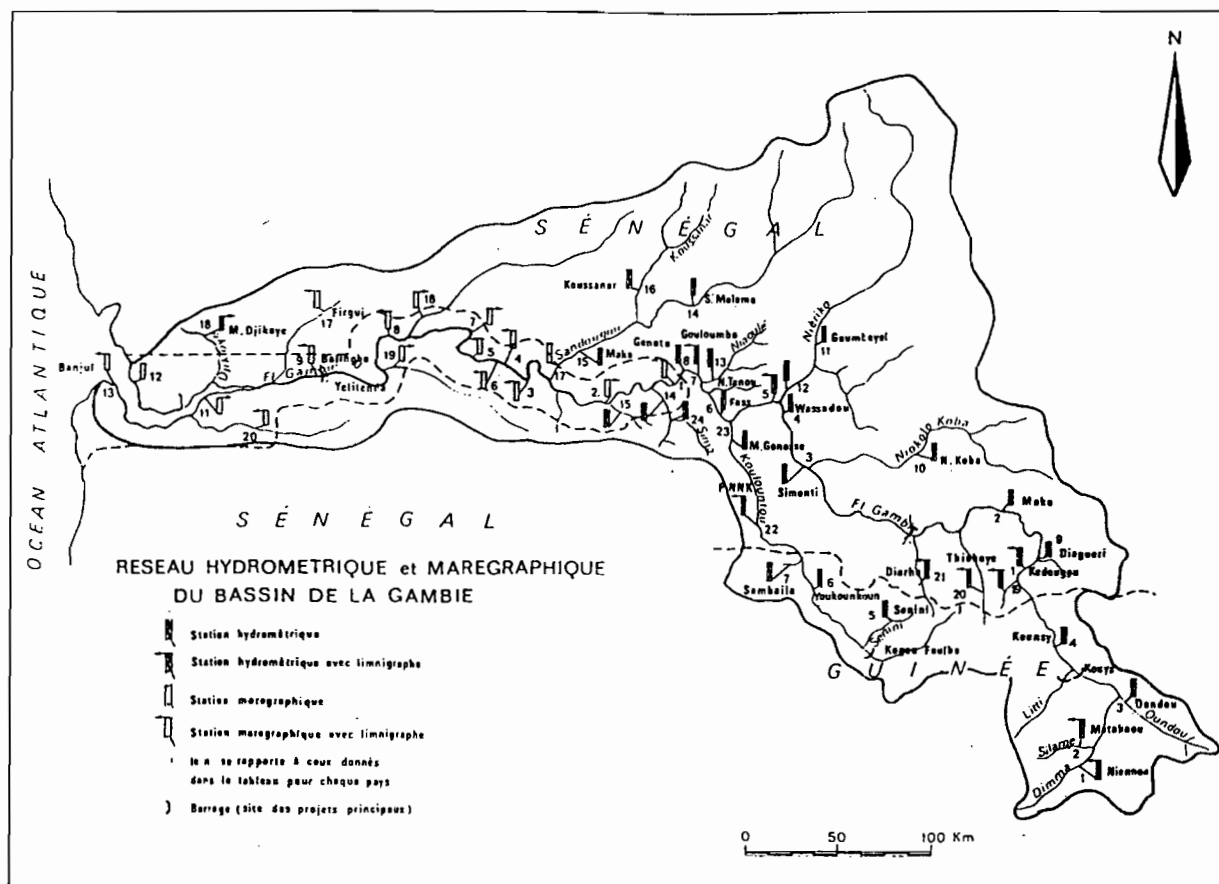


Figure 3.2 – Réseau hydrométrique et marégraphique du bassin de la Gambie

C'est ainsi que sur les 22 stations de base que comptait le réseau au Sénégal, seules 3 (Kédougou, Wassadou Amont, Gouloumbou) étaient restées en activité au moment de la signature, en 1998, de la convention « appui institutionnel aux brigades régionales du Ministère de l'Hydraulique » entre la Mission Française de Coopération et d'Action culturelle à Dakar et le Ministère de l'Hydraulique du Sénégal.

C'est dans le cadre de ce programme que le réseau a été depuis 1998 réorganisé et remis en état, et que 14 stations ont pu être remises en service. Certaines stations secondaires n'ont pas été reprises dans le cadre de la convention. Il s'agit de Guénoto (double emploi avec Gouloumbou), Fass (même motif), Niéri-ko au pont (station influencée par le remous de la Gambie), Niaoulé Tanou, et enfin Sintian Koundara où la disparition complète des installations ne permettait pas de faire le lien entre les mesures récentes et les mesures anciennes. La figure 3.3 situe ces différentes stations du réseau hydrométrique et le tableau 3.2 précise leurs coordonnées.

Tableau 3.2 Réseau hydrométrique de la Gambie en amont de Gouloumbou

Station	Rivière	Latitude Nord	Longitude Ouest
Kédougou	Gambie	12°32'55"	12°10'51"
Mako	Gambie	12°50'49"	12°21'26"
Simenti	Gambie	13°02'00"	13°18'00"
Wassadou Amont	Gambie	13°20'57"	13°22'09"
Wassadou Aval	Gambie	13°20'46"	13°22'46"
Gouloumbou	Gambie	13°28'08"	13°43'07"
Gué PNNK	Koulountou	12°47'00"	13°29'00"
Missira Gounas	Koulountou	13°12'00"	13°37'00"
Diarha au pont	Diarah	12°36'49"	12° 46'19"
Tiokoye au pont	Tiokoye	12°33'59"	12°32'18"
Sili au pont	Sili	12°32'30"	12°16'01"
Diaguiri au pont	Diaguiri	12°37'44"	12° 05'23"
Niokolo Koba au pont	Niokolo Koba	13°04'22 "	12°43'16"
Goumbayel	Niéri-ko	13°41'28"	13°10'35"

L'étude du régime hydrologique de la Gambie et de ses variations de l'amont vers l'aval est donc basée sur ces stations qui définissent des bassins versants. Nous nous proposons de préciser la physionomie et les caractéristiques des bassins versants du cours principal, avant d'analyser les mesures et les observations et d'en interpréter les résultats. En annexe se trouvent les caractéristiques des affluents.

III.3 Les caractéristiques morphométriques des bassins versants

Cette étude permet de déterminer la forme des bassins versants, les pentes et l'analyse des courbes hypsométriques.

3.1 La forme des bassins versants

Elle a été déterminée à partir de la mesure de la superficie A et du périmètre P des différents bassins. Ces paramètres ont été calculés directement par le logiciel Arcview après digitalisation des contours des bassins.

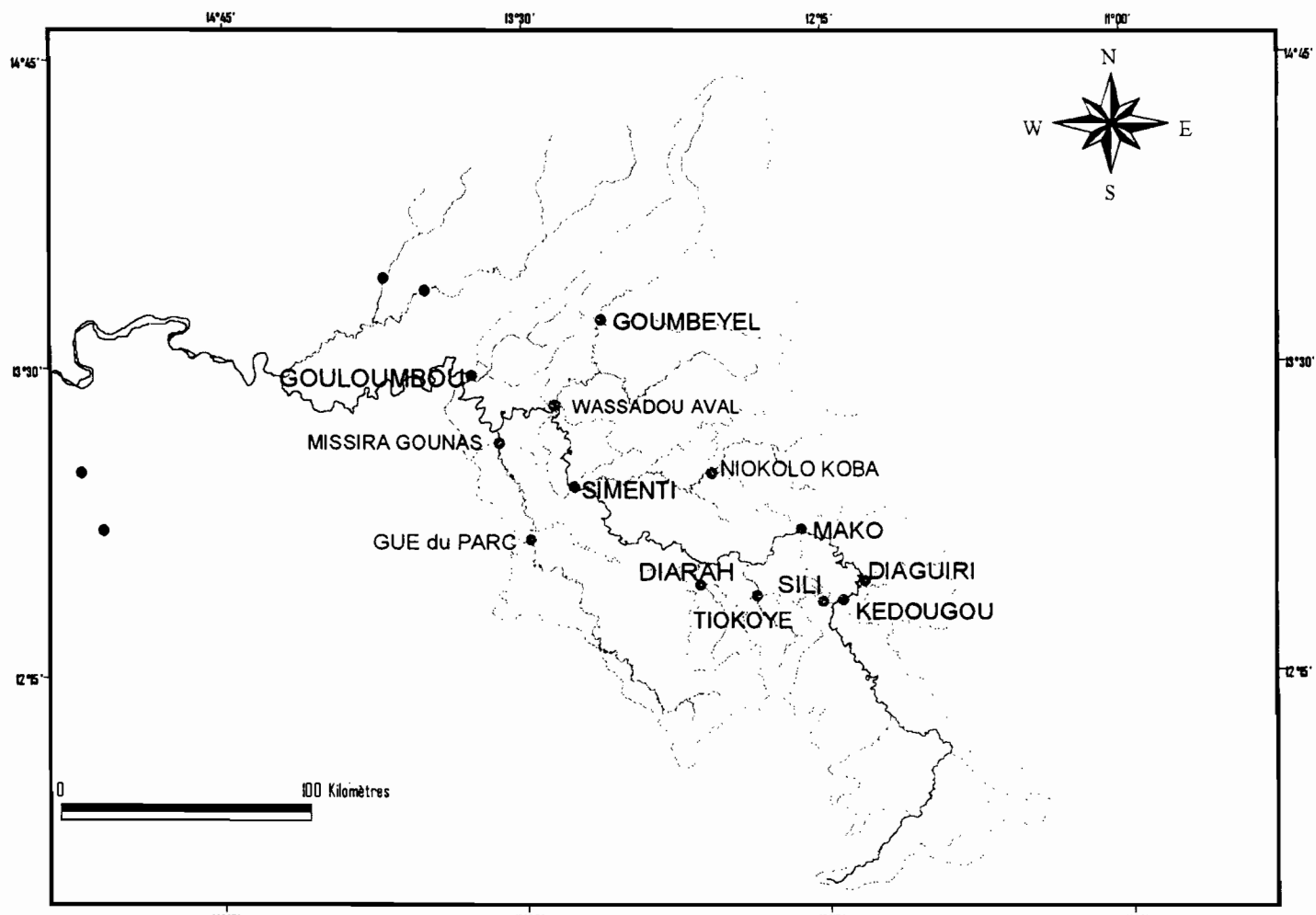


Figure 3.3 Réseau hydrométrique de la Gambie en amont de Gouloumbou

La forme des bassins versants peut se caractériser par le coefficient de Gravelius ou indice de compacité (K_c). Cet indice donne une idée de la forme plus moins allongée des bassins. Il est égal à 1 pour les bassins de forme circulaire et 1.12 pour ceux en forme de carré. Une valeur proche de l'unité indique une capacité à concentrer rapidement ses écoulements vers l'exutoire.

Un autre paramètre est la longueur (L) et la largeur (l) du rectangle équivalent. Le rectangle équivalent permet de comparer des bassins entre eux du point de vue de leur forme. On suppose que l'écoulement sur un bassin donné est à peu près le même, à conditions climatologiques égales, que sur un bassin rectangulaire de même superficie, ayant le même coefficient de compacité et même répartition hypsométrique (Roche M, 1963). Les formules utilisées pour K_c , L et l sont :

$$K_c = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right] \quad l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right]$$

Le tableau 3.3 résume les principaux paramètres physiques pouvant influencer sur l'écoulement.

Tableau 3.3 Principaux paramètres des bassins versants de la Gambie

CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES	STATIONS				
	Kédougou	Mako	Simenti	WassAval	Gouloumbou
S (km²) : Superficie	7653	10564	20403	32992	41945
P (km) : Périmètre	548	724	1034	1323	1408
K_c : Indice de compacité	1.75	1.97	2.03	2.04	1.92
L (km) : longueur du rectangle équivalent	242.43	330	474	607.16	638.28
l (km) : largeur du rectangle équivalent	31.57	32.01	43.05	54.34	65.72
Ig (m/km) : indice global de pente	3.9	2.5	1.62	1.15	1.1
Altitude maximale du bassin (m)	1538	1538	1538	1538	1538
Altitude minimale du bassin (m)	105	75	10	5	0
Pente moyenne du cours d'eau (‰)	4.2	3.2	2.2	2	1.7
Pente du cours d'eau à la station (‰)	1.1	0.35	0.3	0.09	0.05
CARACTERISTIQUES GENERALES					
Structure géologique	socle + paléozoïque		à la limite du socle	63% socle 37%cont. terminal	continental terminal
Perméabilité	faible			bonne	
Capacité de rétention	assez faible			assez forte	
Couvert végétal	forêt dense dégradée galerie forestière forêt claire			forêt dense dégradée forêt claire savane forestière	

3.2 Relief, pente et courbe hypsométrique

La figure 3.4 montre les profils en long de la Gambie et de ses principaux affluents. Cette figure illustre les pentes relativement faibles du cours principal de la Gambie à l'aval de Kédougou, alors que la partie amont et les principaux affluents ont des pentes beaucoup plus fortes.

La description du réseau hydrographique de la Gambie a permis de dégager qualitativement les caractéristiques du bassin de la Gambie et de séparer, en particulier, le haut bassin dominé par de hauts reliefs et des pentes fortes (30 – 40 %, Bamba, 1987), avec un point culminant à 1538 m au Mont Loura situé dans le massif du Mali, du bassin inférieur à très faible relief. C'est donc l'existence de pentes fortes qui confère au profil en long de la Gambie ce caractère irrégulier dans la partie amont.

Le tracé de la courbe hypsométrique de la Gambie en amont de Gouloumbou a été fait sur la base des travaux de Chaperon et Guiguen (tableau 3.4 et figure 3.5). Il nous permet de voir la répartition en surface des différentes tranches d'altitude sur le bassin à l'amont de Gouloumbou. On constate qu'environ 21% de la superficie du bassin est à une altitude supérieure à 200 m, contre 26% entre 100 m et 200 m et 53% entre 0 et 100 m. La courbe hypsométrique permet de calculer l'indice global de pente du bassin qui vaut 0.011 m/km.

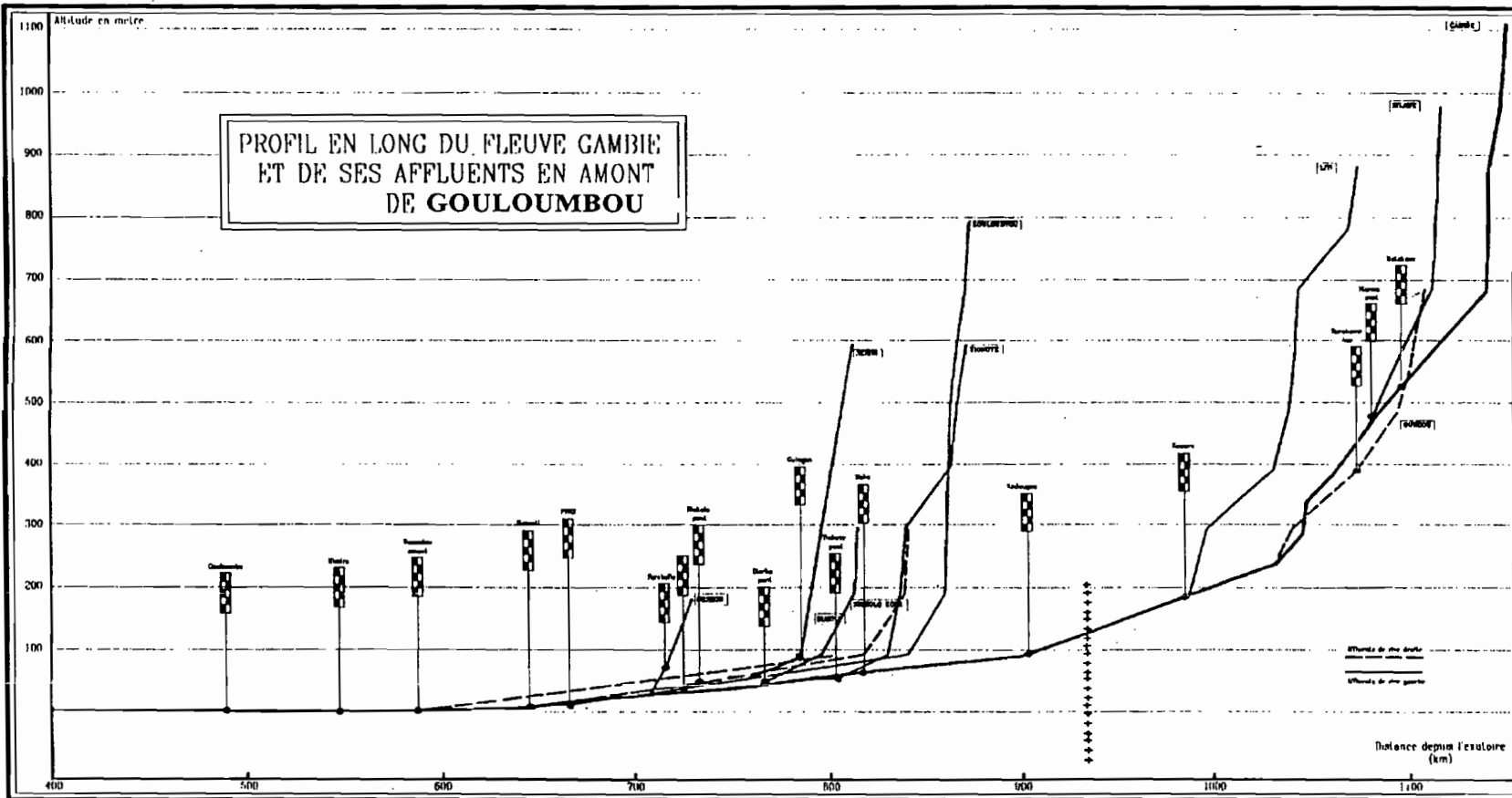


Figure 3.4 Profil en long de la Gambie en amont de Gouloumbou (source Lamagat et al. , 1990)

Tableau 3.4 : Répartition altimétrique et hypsométrique sur le bassin de Gouloumbou
(Chaperon et Guiguen, 1974)

Tranche d'altitude (m)	Surf. Partielle (km ²)	Surface (%)	Surf. Cumulée (km ²)	Surf. Cumulée (%)	Altitude (m)
1400 – 1538		0.05	22	0.05	1400
1300 – 1400		0.06	49	0.11	1300
1200 – 1300		0.1	93	0.21	1200
1100 – 1200		0.16	159	0.37	1100
1000 – 1100		0.22	252	0.59	1000
900 – 1000		0.59	502	1.18	900
800 – 900		1.54	1153	2.72	800
700 – 800		1.66	1853	4.38	700
600 – 700		2.2	2776	6.58	600
500 – 600		3.03	4056	9.61	500
400 – 500		3.36	5476	12.97	400
300 – 400		3.79	7076	16.76	300
200 – 300		4.63	9030	21.39	200
100 – 200		25.4	19770	46.79	100
0 – 100		53.2	42200	99.99	0

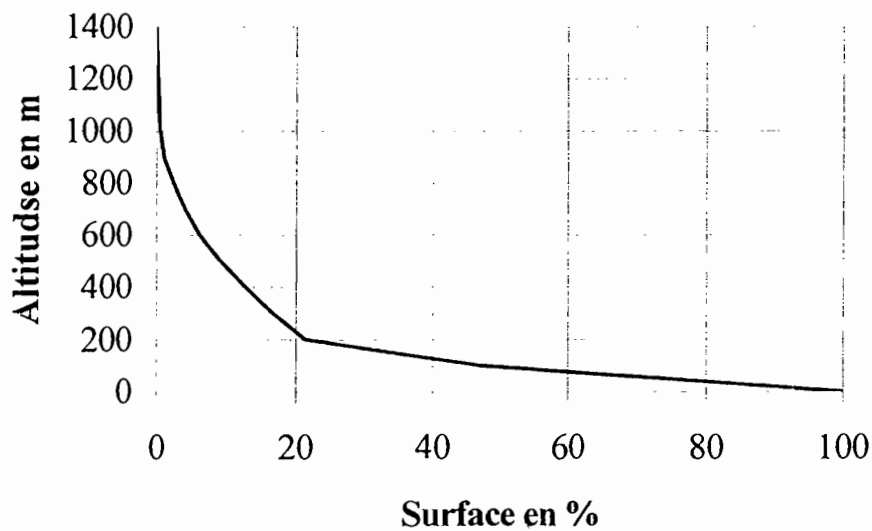


Figure 3.5 : Courbe hypsométrique du bassin versant de la Gambie à Gouloumbou

III.4 Critique et élaboration des données hydrométriques de base

Les données de base acquises grâce au réseau hydrométrique comprennent essentiellement les cotes et les jaugeages. Il convient avant tout de réaliser une analyse critique des cotes, de les compléter si possible, puis d'établir les courbes d'étalonnage qui permettront d'arriver au calcul des débits. C'est ce qui est présenté dans les chapitres suivants, en nous limitant dans le cadre de ce mémoire aux stations du cours principal du fleuve Gambie.

4.1 Les cotes

Les cotes constituent la donnée de base la plus importante en Hydrologie, puisqu'elles serviront ensuite au calcul des débits qui seront la base de l'étude du régime hydrologique. Il convient donc tout d'abord, de réaliser une étude d'homogénéisation des cotes disponibles dans la base de données, car les cotes peuvent présenter de nombreux problèmes : erreurs de copie ou de saisie, décalage des échelles limnimétriques, mauvaises lectures d'observateurs peu consciencieux, fonctionnement ou dépouillement incorrect de limnigraphes, lacunes d'observation, etc.

A part la station de Gouloumbou pour laquelle on dispose de premières observations (discontinues) à partir de 1953, les observations pour la plupart des stations du bassin de la Gambie ont démarré au plus tôt en 1970, dans le cadre du projet Reg 60. Nous avons donc réalisé une homogénéisation (critique et complètement) des cotes de ces stations sur la période 1970-2000.

On trouvera à la figure 3.6 l'ensemble des données disponibles sous forme de chronogramme. On notera que nous avons inclus dans cette figure les données de la Koulountou au Gué du Parc et à Missira Gounas, puisque ces stations peuvent aider à estimer les cotes de Gouloumbou par exemple. Cette figure montre une bonne continuité des données de 1970 à 1990. A partir de 1990, les données se dégradent fortement, et deviennent discontinues (à l'exception de Kédougou) jusqu'en 1998, date du début de la réfection du réseau menée conjointement par le SGPRE et l'IRD.

Cours Principal de la Gambie au Sénégal
Données de Cotes Disponibles avant Critique

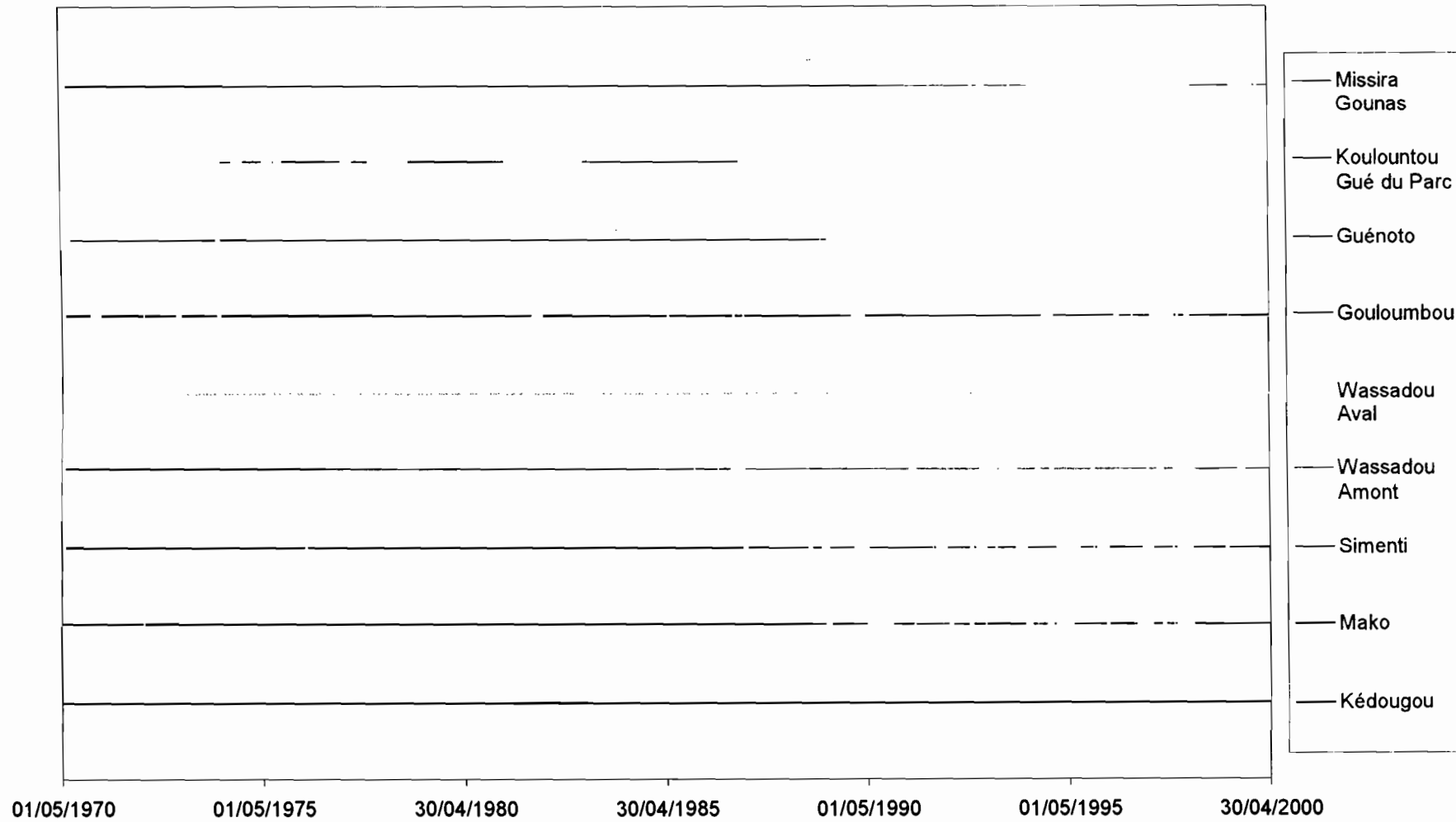


Figure 3.6 Chronogramme des cotes disponibles sur les stations principales de la Gambie

4.1.1 Critique des données de cotes.

La critique des données consiste en l'identification et l'élimination des éventuelles erreurs contenues dans les séries chronologiques des cotes. Cette critique a été conduite à partir des cotes moyennes journalières en utilisant le logiciel CORMUL développé par P. VAUCHEL (IRD). Ce logiciel permet :

- de réaliser des analyses de propagation d'une station à l'autre, au moyen de corrélations par paliers avec décalage de temps variable.
- de réaliser des corrélations simples ou multiples entre stations, ou entre les données d'une station et les estimations faites pour cette station au moyen du modèle de propagation.
- de comparer graphiquement les estimations d'une station avec les données observées.
- de compléter les données manquantes lorsque de bons estimateurs ont été identifiés.

Pour critiquer les données d'une station, on réalise d'abord plusieurs estimations des cotes de cette station au moyen des données observées aux stations voisines. Dans l'idéal, on estime ainsi les cotes moyennes journalières d'une station au moyen des données d'une ou deux stations situées à l'amont, et d'une ou deux stations situées à l'aval. Lorsque des affluents importants peuvent influencer le régime de la station à critiquer, on peut aussi utiliser les stations de ces affluents comme estimateurs (cela a été fait par exemple pour estimer les cotes de Gouloubou à partir de la Koulountou à Missira Gounas).

Lorsqu'une station a été estimée au moyen de plusieurs estimateurs indépendants, on examine alors les graphes superposant les données de la station avec les différentes estimations. Les périodes de données erronées ou fantaisistes qui ne correspondent à aucune des estimations sont alors faciles à détecter. La difficulté provient du fait que les estimateurs eux-mêmes peuvent contenir des erreurs. Il convient donc de faire une première critique sur l'ensemble des stations, d'éliminer les erreurs les plus flagrantes, puis de recommencer les estimations et les analyses graphiques jusqu'à obtenir un ensemble de données cohérentes. Lorsque les données d'une station sont simplement douteuses et non franchement erronées, nous avons pris le parti de conserver ces données en l'état. On trouvera au tableau 3.5 les principales corrections appliquées au fichier des cotes pour chacune des stations.

Tableau 3.5 : Résultat de la critique des cotes sur les principales stations de la Gambie

Station	Période	Commentaire
Kédougou	19-08-88 au 03-09-88	Données fantaisistes
	03-10-88 au 14-10-88	Données fantaisistes
Mako	06-08-70 au 08-08-70	Données fantaisistes
	13-08-70 au 23-08-70	Données fantaisistes
	30-09-79 au 02-10-79	Données fantaisistes
	03-08-87 au 06-08-87	Données fantaisistes
Simenti	07-10-78 au 21-10-78	Données fantaisistes
	11-10-88 au 17-10-88	Données fantaisistes
	01-07-90 au 31-10-90	Données fantaisistes
Wassadou Amont	17-08-72 au 20-08-72	Données fantaisistes
	23-09-78 au 27-09-78	Données fantaisistes
	13-09-83 au 25-09-83	Données fantaisistes
	27-08-85 au 05-09-85	Données fantaisistes
	11-10-85 au 24-11-85	Données fantaisistes
	02-10-86 au 06-10-86	Données fantaisistes
	26-10-86 au 01-12-86	Données fantaisistes
	01-04-88 au 28-05-88	Données fantaisistes
	01-09-89 au 13-10-89	Données fantaisistes
	16-10-90 au 12-10-90	Données fantaisistes
	29-09-91 au 24-10-91	Données fantaisistes
	02-08-92 au 18-08-92	Données fantaisistes
	10-09-92 au 14-09-92	Données fantaisistes
	09-07-93 au 30-07-93	Données fantaisistes
Wassadou Aval	01-05-73 au 28-02-74	Cotes de Wassadou Amont saisies pour Aval
	01-01-89 au 01-05-89	Données fantaisistes
	13-07-90 au 31-07-90	Données fantaisistes
	29-09-91 au 23-10-91	Données fantaisistes
	07-08-92 au 18-08-92	Données fantaisistes
Gouloumbou	01-10-70 au 01-01-71	Données fantaisistes
	30-07-71 au 06-08-71	Données fantaisistes
	10-10-71 au 08-11-71	Données fantaisistes
	03-01-72 au 31-03-72	Données fantaisistes
	03-07-79 au 12-07-79	Données fantaisistes
	03-10-80 au 04-10-80	Données fantaisistes
	01-05-81 au 31-12-81	Année 82 saisie à tort pour 81
	09-08-89 au 13-08-89	Données fantaisistes
Koulountou Gué	05-09-93 au 05-10-93	Dépouillement à l'envers du limnigramme
	01-01-79 au 01-01-80	Données de Missira Gounas saisies à tort
	01-05-83 au 01-03-87	Données de Missira Gounas saisies à tort

4.1.2 Complètement des données de cotes

Lorsque la critique est terminée et que toutes les données erronées ont été supprimées des fichiers, il devient possible de caler les modèles définitifs permettant d'estimer les données d'une station à partir de ses voisines. On notera qu'il est encore possible à ce stade de filtrer les données douteuses pour améliorer la qualité des modèles.

La démarche que nous avons suivie pour mettre au point les modèles consiste à réaliser d'abord des estimations de la station à compléter à partir de ses voisines au moyen d'un modèle de propagation (ou de rétro-propagation si l'on estime une station à partir de sa voisine située à l'aval). On obtient ainsi une table donnant, pour une cote de la station voisine, la cote correspondante à la station à estimer associée à un décalage de temps en jours. Les différentes estimations obtenues pour une station à partir de ses voisines au moyen de ce modèle de propagation peuvent ensuite être combinées par corrélation multiple pour affiner le modèle qui permettra de compléter les données manquantes. Afin de juger de la qualité des modèles utilisés, on donnera systématiquement les valeurs suivantes : le coefficient de corrélation (**R**), l'écart type des résidus de l'estimation (**S**) et l'écart moyen entre les valeurs estimées et observées (**EM**).

4.1.2.1 Complètement de Mako

Trois estimations de la station de Mako ont été réalisées par propagation à partir des stations de Kédougou, Simenti et Wassadou Aval, ce qui nous fournit les estimateurs Mako(Kédougou), Mako(Simenti) et Mako(WassAval). Les modèles obtenus sont donnés au tableau 3.6

La combinaison des estimations faites par propagation donne :

$$\text{Mako} = 0.654 (\text{Mako(Kédougou)}) + 0.356 (\text{Mako(Simenti)}) - 1.2 \quad (R = 0.996, S = 10, EM = 6)$$

$$\text{Mako} = 0.693 (\text{Mako(Kédougou)}) + 0.316 (\text{Mako(WassAval)}) - 1.2 \quad (R = 0.996, S = 10, EM = 6)$$

Lorsque les stations de Kédougou et de Simenti ou de Kédougou et de Wassadou Aval possédaient des données simultanées, ce sont ces modèles qui ont été utilisés pour compléter

les données de Mako. Dans le cas contraire, on a utilisé le modèle de propagation à partir de Kédougou. La figure 3.7 illustre les modèles utilisés pour le complètement de Mako.

Tableau 3.6 : Modèles de propagation entre Mako et ses voisines

Kédougou (cm)	Mako (cm)	Delta T (jours)	Simenti (cm)	Mako (cm)	Delta T (jours)	WassAval (cm)	Mako (cm)	Delta T (jours)
40	-27	1	0	0	-4	30	0	-5
60	10	1	30	47	-4	55	46	-5
80	46	1	60	73	-4	80	67	-5
100	83	1	90	100	-4	105	93	-5
120	123	1	120	124	-2	130	116	-5
140	145	1	150	146	-2	155	134	-5
160	165	1	180	166	-2	180	147	-3
180	183	1	210	186	-1	205	161	-3
200	203	1	240	209	-1	230	175	-3
250	250	1	270	230	-1	330	224	-2
300	298	1	300	245	-1	430	268	-2
350	341	1	400	300	-1	530	306	-2
400	377	1	500	344	-1	630	338	-2
450	412	1	600	377	-1	730	366	-3
500	443	1	700	404	-1	830	393	-3
550	471	1	800	430	-2	930	415	-2
600	495	1	900	456	-2	1030	443	-4
650	519	1	1000	485	-2	1130	474	-4
700	542	1	1100	514	-2	1230	510	-4
750	555	1	1200	546	-2			
800	566	1						
R = 0.994			R = 0.989			R = 0.989		
S = 13 cm			S = 17 cm			S = 17 cm		
EM = 8 cm			EM = 11 cm			EM = 11 cm		

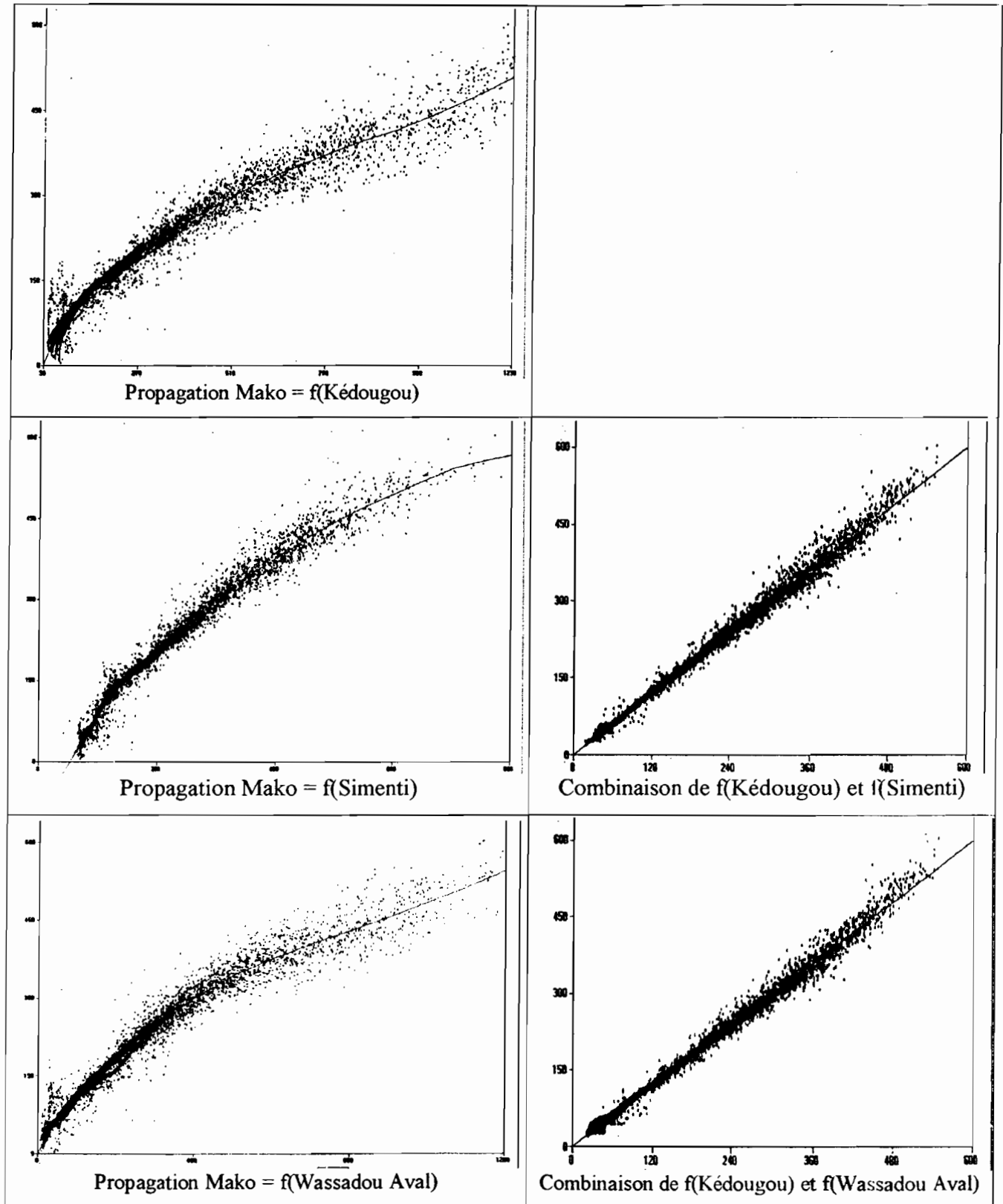


Figure 3.7 : modèles utilisés pour le complèment de Mako

4.1.2.2 Complètement de Simenti

Deux estimations de la station de Simenti ont été réalisées par propagation à partir des stations de Mako et Wassadou Aval, ce qui nous fournit les estimateurs Simenti (Mako) et Simenti (WassAval). Les modèles obtenus sont donnés au tableau 3.7

Tableau 3.7 : Modèles de propagation entre Simenti et ses voisines

Mako (cm)	Simenti (cm)	Delta T (jours)	WassAval (cm)	Simenti (cm)	Delta T (jours)
4	4	1	20	-13	-1
29	20	1	45	12	-1
54	41	1	70	40	-2
79	70	1	95	72	-2
104	96	1	120	97	-2
129	126	1	145	120	-2
154	160	1	170	141	-2
179	196	1	220	182	-1
204	235	1	270	219	-1
254	315	1	320	256	-1
304	418	1	370	293	-1
354	548	1	420	330	-1
404	693	2	520	401	-1
454	841	2	620	478	-1
504	978	2	720	558	-1
554	1147	2	820	656	-1
604	1300	2	920	739	-1
			1020	838	-1
			1120	948	-2
			1220	1110	-2
R = 0.982			R = 0.996		
S = 42 cm			S = 19 cm		
EM = 21 cm			EM = 11 cm		

La combinaison des estimations faites par propagation donne :

$$\text{Simenti} = 0.809 (\text{Simenti}(\text{WassAval})) + 0.195 (\text{Simenti}(\text{Mako})) - 1.1 \quad R=0.997, S=16, EM=9$$

Les graphes montrant la qualité des ajustements sont donnés à la figure 3.8. On remarque l'excellente qualité du modèle de rétro-propagation donnant Simenti à partir de Wassadou Aval. Ces modèles ont été utilisés pour reconstituer les données manquantes de Simenti, en utilisant en priorité le modèle combiné, puis le modèle de propagation $\text{Simenti} = f(\text{Wassadou Aval})$, et enfin le modèle $\text{Simenti} = f(\text{Mako})$ lorsque Wassadou Aval n'avait pas de données.

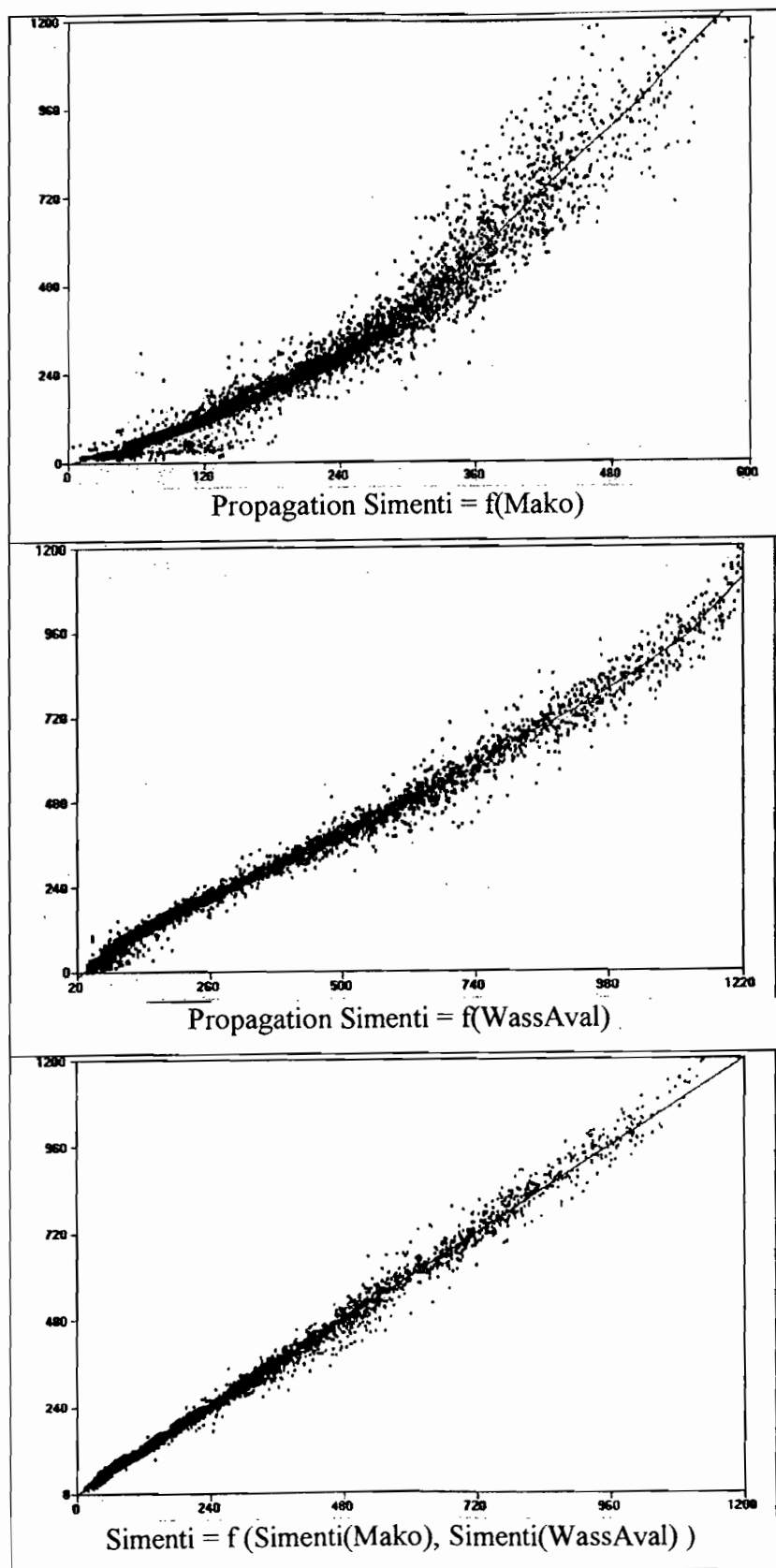


Figure 3.8 modèles utilisés pour le complètement de Simenti

4.1.2.3 Complètement de Wassadou Aval

La station de Wassadou Aval a été complétée en priorité à partir de la station de Wassadou Amont située à quelques kilomètres à l'amont. Les deux stations sont séparées par la confluence avec le Niéri-ko. Du fait de la faiblesse des apports du Niéri-ko, la relation entre les cotes des deux stations est presque fonctionnelle. On obtient le modèle :

$$\text{WassAval} = 0.986 \text{ WassAmont} + 63.5 \quad \text{avec} \quad R = 0.999, S = 9, EM = 5$$

Lorsque Wassadou Amont ne possédait pas de données, on a utilisé des modèles de propagation avec les stations voisines (Simenti et Gouloubou). Les modèles obtenus sont donnés au tableau 3.8. On remarquera que pour le modèle de rétro-propagation entre Gouloubou et Wassadou Aval, nous avons dû filtrer les cotes de Gouloubou inférieures à 150 cm, à cause de la présence de marée à Gouloubou au-dessous de cette cote.

Tableau 3.8 : Modèles de propagation entre Wassadou Aval et ses voisines

Simenti (cm)	WassAval (cm)	Delta T (jours)	Gouloubou (cm)	WassAval (cm)	Delta T (jours)
0	45	2	150	159	-2
25	61	2	200	230	-2
50	76	2	250	298	-2
75	95	2	300	356	-2
100	121	2	350	410	-2
125	150	2	400	461	-2
150	179	1	450	513	-2
175	212	1	500	564	-2
200	247	1	550	617	-2
300	382	1	600	670	-2
400	519	1	650	727	-2
500	646	1	700	781	-2
600	760	1	750	838	-2
700	872	1	800	895	-2
800	976	1	850	959	-2
900	1067	1	900	1015	-2
1000	1145	1	950	1070	-2
1100	1188	2	1000	1146	-2
1200	1224	2	1050	1172	-2
R = 0.997			R = 0.996		
S = 20 cm			S = 24 cm		
EM = 11 cm			EM = 15 cm		

Figure 3.9 modèles utilisés pour le complètement de Wassadou Aval

La combinaison des estimations faites par propagation ne permet pas d'améliorer les estimations faites à partir des modèles simples. Les compléments de données en l'absence de Wassadou Amont ont donc été faits en priorité à partir de Simenti qui donne des résultats légèrement meilleurs que Gouloubou. Les graphes montrant la qualité des ajustements sont donnés à la figure 3.9.

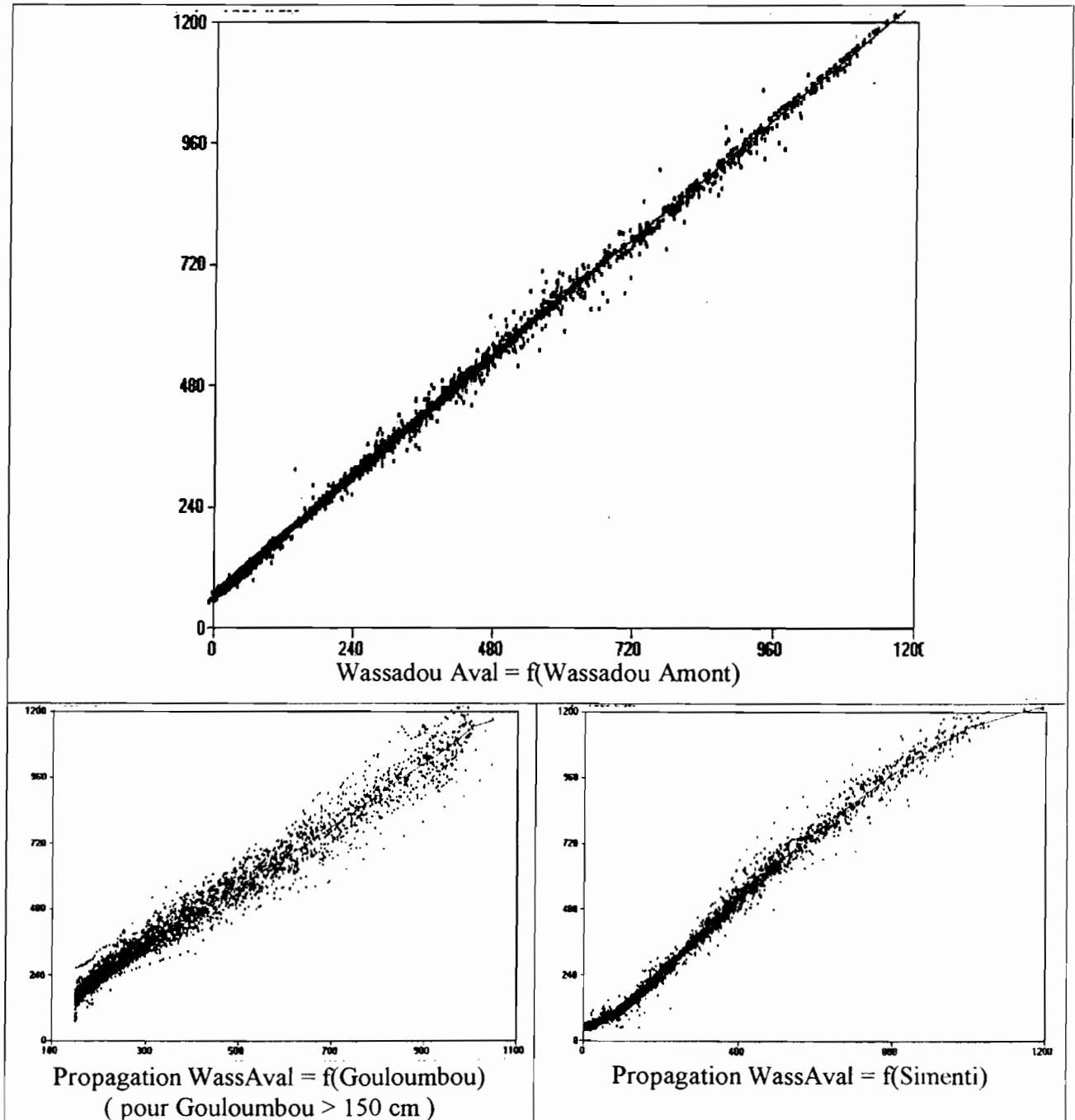


Figure 3.9 modèles utilisés pour le complément de Wassadou Aval

4.1.2.4 Complètement de Gouloubou

Trois estimations de la station de Gouloubou ont été réalisées par propagation à partir des stations de Guénoto, Wassadou Aval et Missira Gounas. Les modèles obtenus sont donnés au tableau 3.9.

Tableau 3.9 : Modèles de propagation entre Gouloubou et ses voisines

Guénoto (cm)	Goulou (cm)	Delta T (jours)	WassAval (cm)	Goulou (cm)	Delta T (jours)	Missira (cm)	Goulou (cm)	Delta T (jours)
0	89	0	75	148	2	75	166.6	0
50	148	0	125	153	2	125	172.7	0
100	220	0	175	165	2	175	177.7	0
150	294	0	225	197	2	225	189.3	0
200	358	0	275	234	2	275	213.9	0
250	412	0	325	275	2	325	246	0
300	468	0	375	322	2	375	278.9	0
350	527	0	425	369	2	425	311.4	0
400	580	0	475	414	2	475	349.8	0
450	632	0	525	464	2	525	392.3	0
500	684	0	575	511	2	575	437.4	0
550	737	0	625	556	2	625	485.8	0
600	790	0	675	607	2	675	529.9	0
650	843	0	725	652	2	725	567.2	0
700	893	0	775	693	2	775	613.8	0
750	942	0	825	740	2	825	661.4	0
800	992	-1	875	785	2	875	721.5	0
850	1043	-1	925	832	2	925	781.3	0
900	1097	-1	975	877	2	975	827.5	0
			1025	909	2	1025	900.4	0
			1075	934	3	1075	957.9	0
			1125	970	3	1125	1001.9	0
			1175	998	3	1175	1065.2	1
			1225	1034	3	1225	1126.9	1
R = 0.996			R = 0.989			R = 0.978		
S = 24 cm			S = 36 cm			S = 48 cm		
EM = 15 cm			EM = 24 cm			EM = 35 cm		

Les graphes montrant la qualité des ajustements sont donnés à la figure 3.10. La station de Guénoto située à une dizaine de kilomètres à l'aval de Gouloubou devrait fournir une excellente estimation de Gouloubou si ses données étaient de bonne qualité. Ce n'est malheureusement pas toujours le cas, les données de cette station étant souvent très approximatives voire parfois inventées. Ce modèle serait sans doute bien meilleur si l'on procédait à une critique soignée des valeurs de Guénoto, mais de toutes façons les données de Gouloubou sont presque complètes sur la période pour laquelle on dispose de données à

Guénoto. Quant au modèle de propagation donnant Gouloubou à partir de Missira Gounas, il est trop imprécis pour aider à lui seul à la reconstitution des données de Gouloubou, mais il permet, combiné à celui obtenu à partir de Wassadou Aval, d'améliorer sensiblement la qualité de l'estimation de Gouloubou, et l'on obtient alors :

$$\text{Goulou} = 0.643 \text{ Goulou}(\text{WassAval}) + \text{Goulou}(\text{Missira}) - 10.5 \quad (R = 0.995, S = 22, \text{EM} = 16)$$

On notera que seul le modèle de propagation à partir de Guénoto est valable pour des cotes à Gouloubou inférieures à 150 cm, les autres modèles ne permettant pas de reconstituer des cotes à Gouloubou en basses eaux à cause de la marée. Les cotes de la station de Gouloubou n'ont donc pas été complétées en totalité comme c'était le cas pour les autres stations.

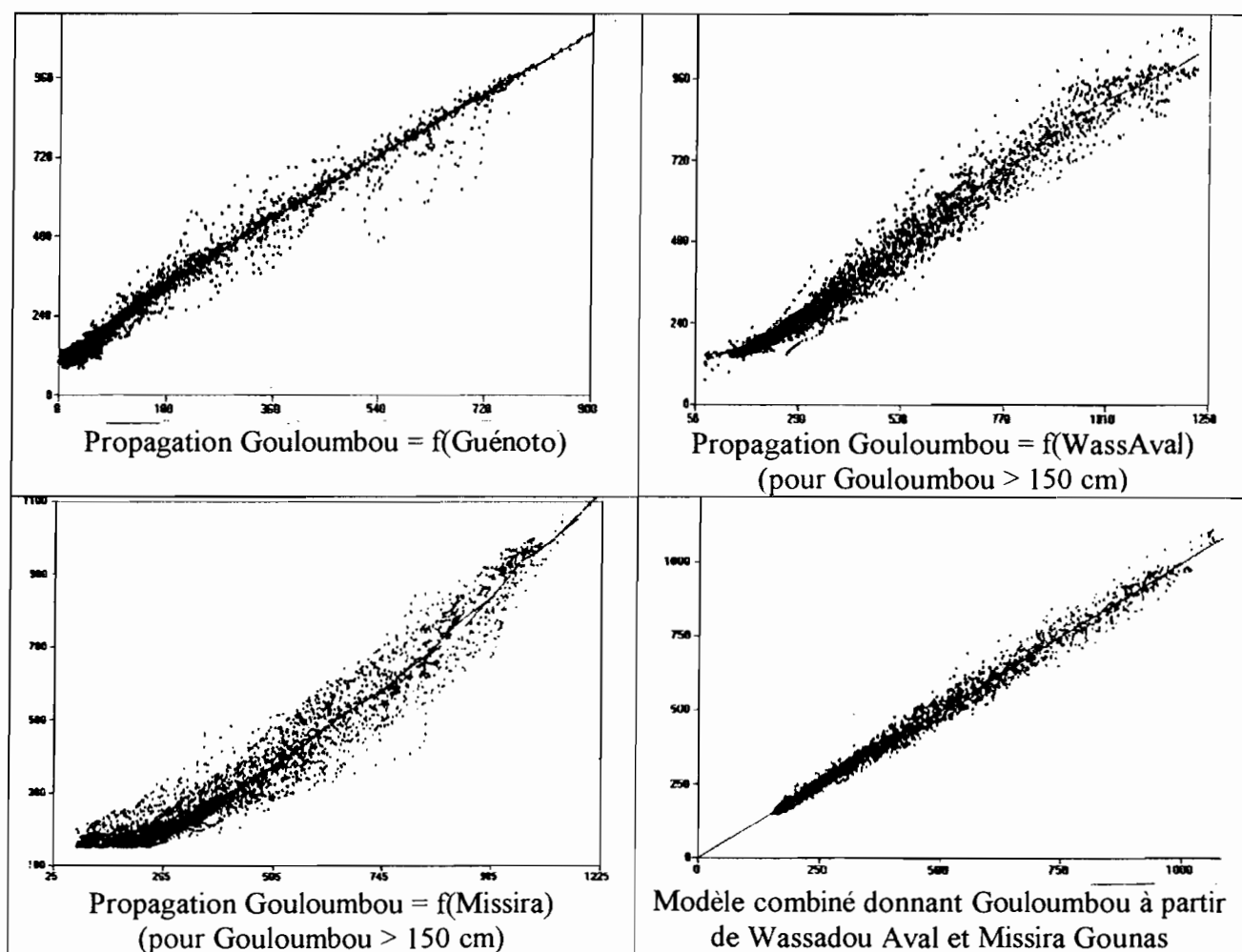


Figure 3.10 modèles utilisés pour le complètement de Gouloubou

4.2 Etalonnages

Les stations du cours principal du fleuve Gambie avaient été généralement bien étalonnées depuis leur création jusqu'au milieu des années 80. Depuis lors, très peu de jaugeages ont été effectués jusqu'en 1998, date du début de la réhabilitation du réseau hydrométrique. Depuis 1998, 70 mesures de débits réalisées sur ces stations ont permis de préciser les courbes d'étalonnage, et de constater parfois des détarages. On trouvera aux paragraphes suivants les étalonnages des stations considérées dans cette étude.

En annexe se trouve la liste des jaugeages effectués sur les cinq stations ainsi que le barème des étalonnages

4.2.1 La Gambie à Kédougou

La station de Kédougou dispose de 233 jaugeages effectués depuis 1970. Les 14 jaugeages réalisés depuis 1998 ont permis de confirmer un léger détarage daté de 1975, ce qui a conduit à établir deux courbes d'étalonnage pour couvrir l'ensemble de la période figure 3.11).

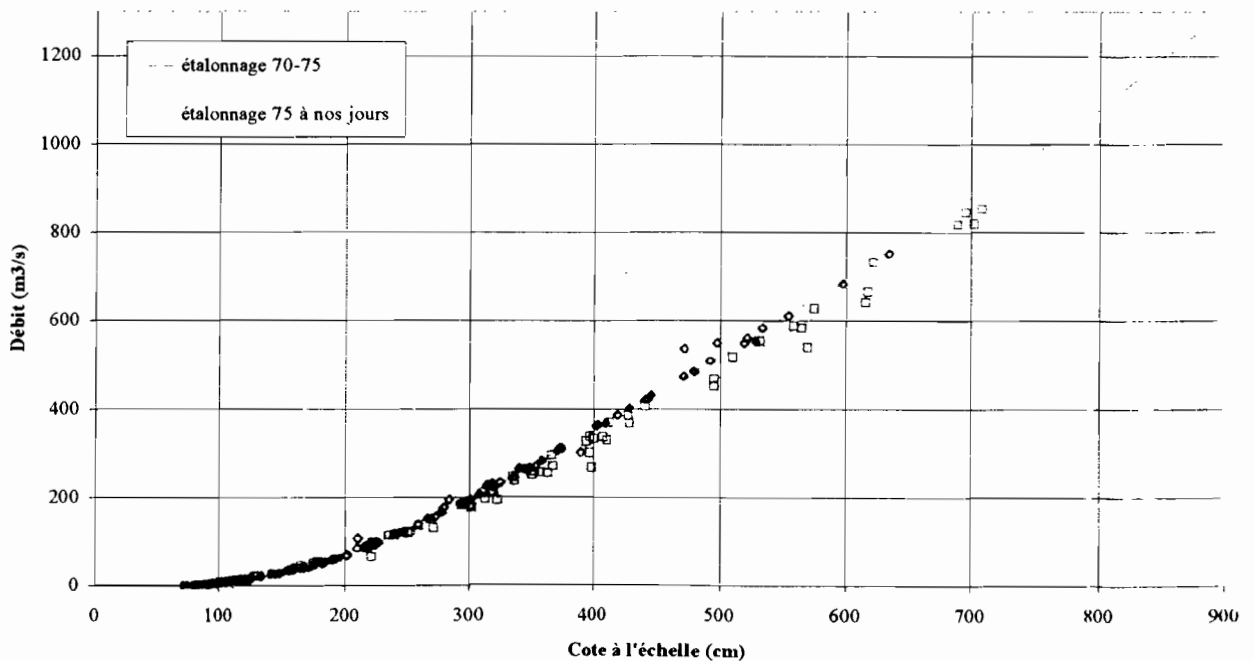


Figure 3.11 Courbe d'étalonnage de la Gambie à Kédougou

4.2.2 La Gambie à Mako

Les 143 jaugeages réalisés à Mako entre 01/07/72 et le 09/12/1999 permettent d'établir une seule courbe d'étalonnage sur la période. Les 10 jaugeages réalisés dans la période récente (1998-1999) confirment la stabilité de l'étalonnage.

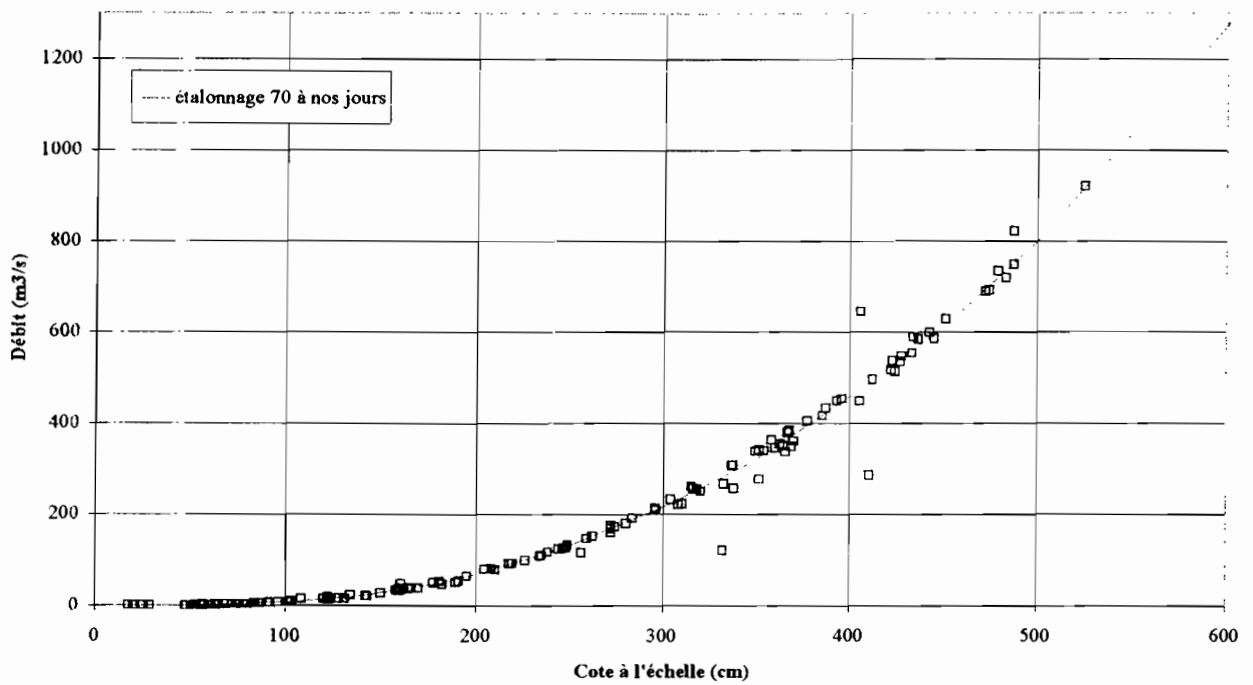


Figure 3.12 Courbe d'étalonnage de la Gambie à Mako

4.2.2 La Gambie à Mako

Les 143 jaugeages réalisés à Mako entre 01/07/72 et le 09/12/1999 permettent d'établir une seule courbe d'étalonnage sur la période. Les 10 jaugeages réalisés dans la période récente (1998-1999) confirment la stabilité de l'étalonnage.

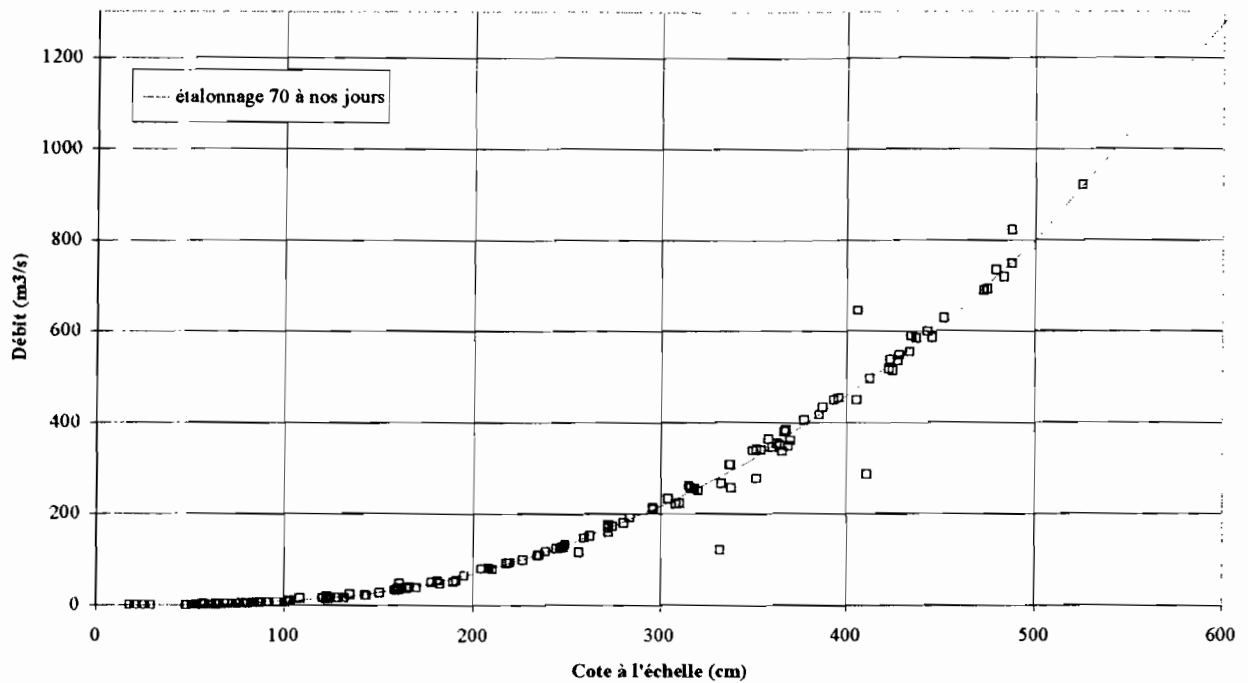


Figure 3.12 Courbe d'étalonnage de la Gambie à Mako

4.2.3 La Gambie à Simenti

La station de Simenti n'a enregistré que 60 jaugeages. Les derniers en date remontent à 1979. On peut tracer une courbe d'étalonnage unique (figure 3.13), mais on peut soupçonner que la station est actuellement détarée comme on le verra plus loin lors de l'analyse des modules.

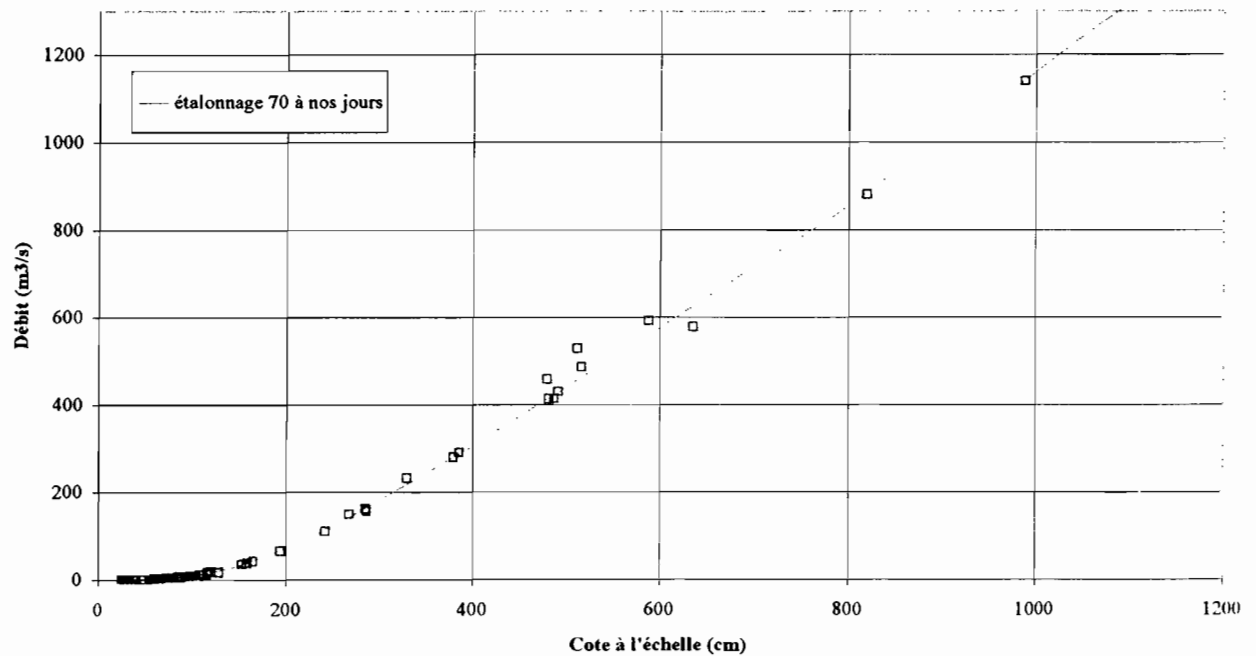


Figure 3.13 Courbe d'étalonnage de la Gambie à Simenti

4.2.4 La Gambie à Wassadou Aval

On dispose à Wassadou aval de 51 jaugeages réalisés de 73 à 83, et de 13 jaugeages réalisés en 98 et 99. Ces derniers jaugeages ont mis en évidence un net détarage (figure 3.14). En l'absence de jaugeages entre 83 et 98, il est difficile de déterminer la date de ce détarage. Des analyses de propagation de débit entre Wassadou Aval et ses voisines (Mako et Gouloumbou) ont montré une inflexion à partir de 94. Une nouvelle courbe basée sur les jaugeages récents a donc été adoptée à partir de 98, et une courbe intermédiaire tracée pour 94 à 98. Il faut cependant considérer que l'étalonnage de cette station reste imprécis.

On observe par ailleurs une forte dispersion des jaugeages de hautes eaux. Cette dispersion est probablement due à une pente différente de la ligne d'eau en crue et en décrue, et la station pourrait être non bi-univoque. On manque malheureusement de jaugeages pour confirmer cela.

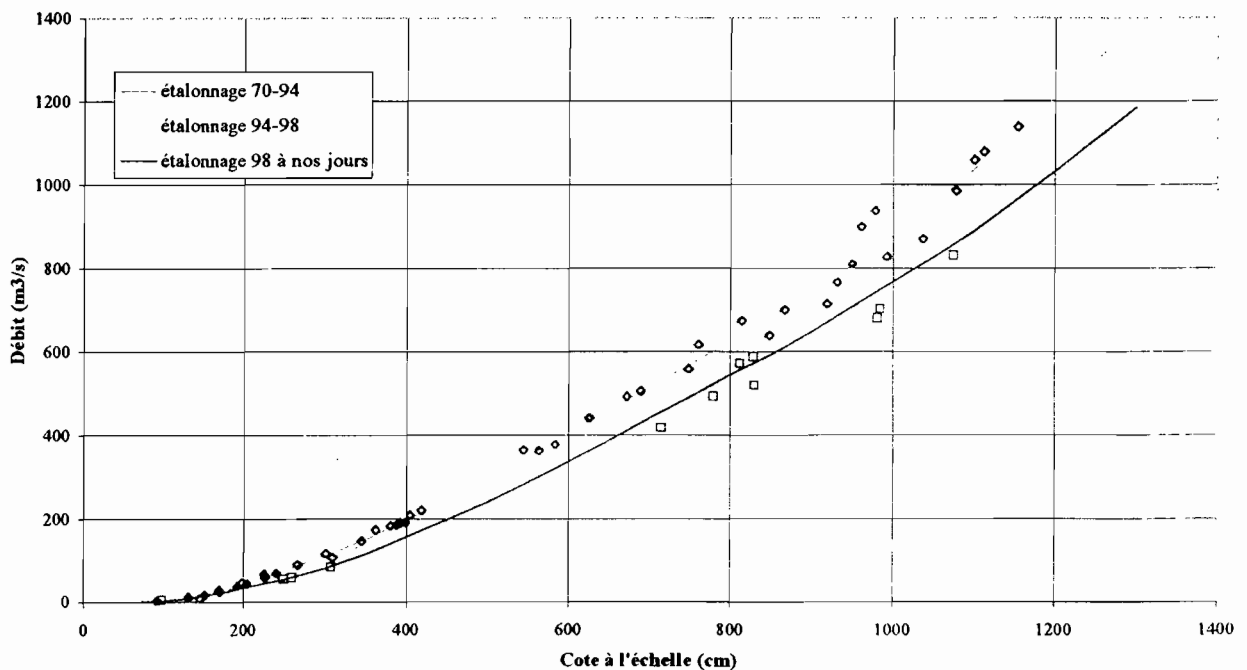


Figure 3.14 Courbe d'étalonnage de la Gambie à Wassadou Aval

4.2.5 La Gambie à Gouloumbou

145 mesures de débits ont été effectuées à la station de contrôle de Gouloumbou. Les 33 dernières, réalisées entre 1998 et 2000, confirment le tracé de l'ancienne courbe d'étalonnage (figure 3.15). En dessous de 200 cm, l'influence de la marée apparaît au niveau de la station et se note par la dispersion des mesures réalisés en deçà de cette cote. Seules les valeurs supérieures à 200 cm seront prises en compte dans la traduction des cotes en débits.

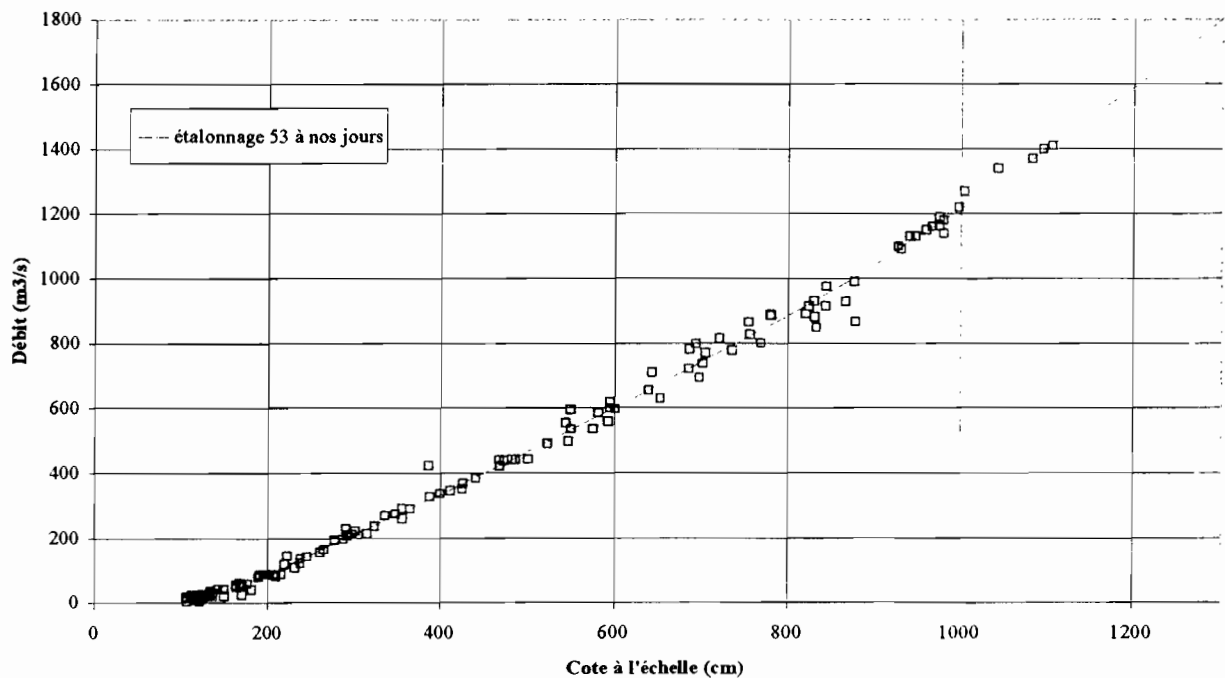


Figure 3.15 Courbe d'étalonnage de la Gambie à Gouloumbou

4.3 Les débits

Les cotes complétées sur la période 1970-2000 et les étalonnages établis aux paragraphes précédents permettent le calcul des débits moyens journaliers pour l'ensemble des stations. Ces séries de débits sont complètes, sauf pour la station de Gouloubou. En effet, la présence de marée à Gouloubou au dessous de la cote 200 cm (avec pour les faibles cotes une inversion du sens de l'écoulement) interdit de tracer une courbe d'étalonnage valable pour des débits inférieurs à 80 m³/s. Il faut donc, si l'on veut disposer d'un échantillon complet de débits pour les analyses ultérieures, trouver une méthode pour estimer les débits de basses eaux à Gouloubou. On notera bien qu'il s'agira d'estimations relativement imprécises, et que ces valeurs ne seront pas utilisables pour réaliser une étude des étiages de cette station.

En période de fin de crue ou d'étiage, on peut considérer que les débits à Gouloubou sont dus en presque totalité aux débits passant par Wassadou Aval et Missira Gounas, les apports intermédiaires étant très réduits en phase de tarissement. Les débits à Wassadou Aval sont connus sur toute la période, et les débits à Missira Gounas sont connus avec une précision plus ou moins bonne de 1970 à 1994 puis en 1998-1999. Nous avons donc dans un premier temps cherché la relation entre la somme des débits de Wassadou Aval et de Missira Gounas (W+M), et les débits de Gouloubou, pour des valeurs de débit W+M inférieures à 150 m³/s. On notera que pour tenir compte des temps de propagation, nous avons décalé de 2 jours les débits de Wassadou Aval, et de 1 jour les débits de Missira Gounas. La relation obtenue est linéaire, et l'on obtient le modèle suivant, illustré à la figure 3.16 :

$$\text{Gouloubou} = 1.047 (W+M) + 0.5 \quad \text{avec } R = 0.91$$

Nous avons donc estimé que les débits d'étiage à Gouloubou pouvaient être estimés en les prenant égaux à 105% de la somme des débits passant à Wassadou Aval et Missira Gounas.

Pour la période 1995 à 1998, pendant laquelle Missira Gounas est en lacune, nous avons cherché à établir un modèle de propagation entre les débits de Wassadou Aval et les débits estimés précédemment pour Gouloubou. Nous obtenons le modèle décrit à la figure 3.17, qui permet une estimation des débits de Gouloubou avec $R = 0.989$, $S = 5.2$, $EM = 2.4$

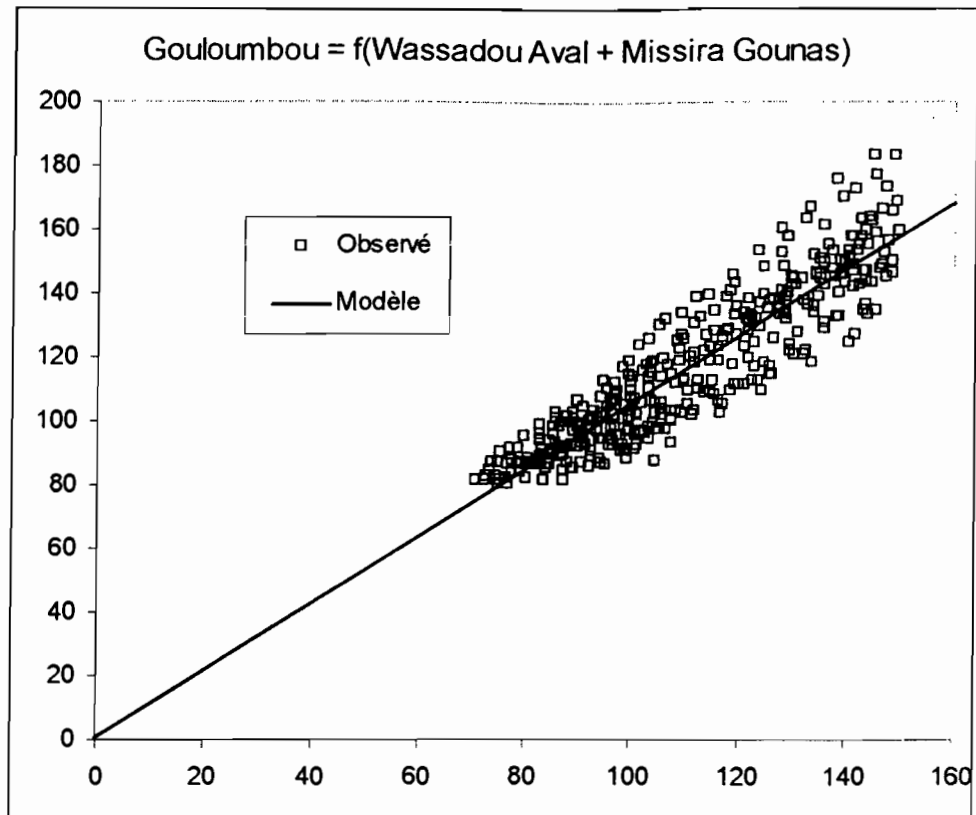


Figure 3.16

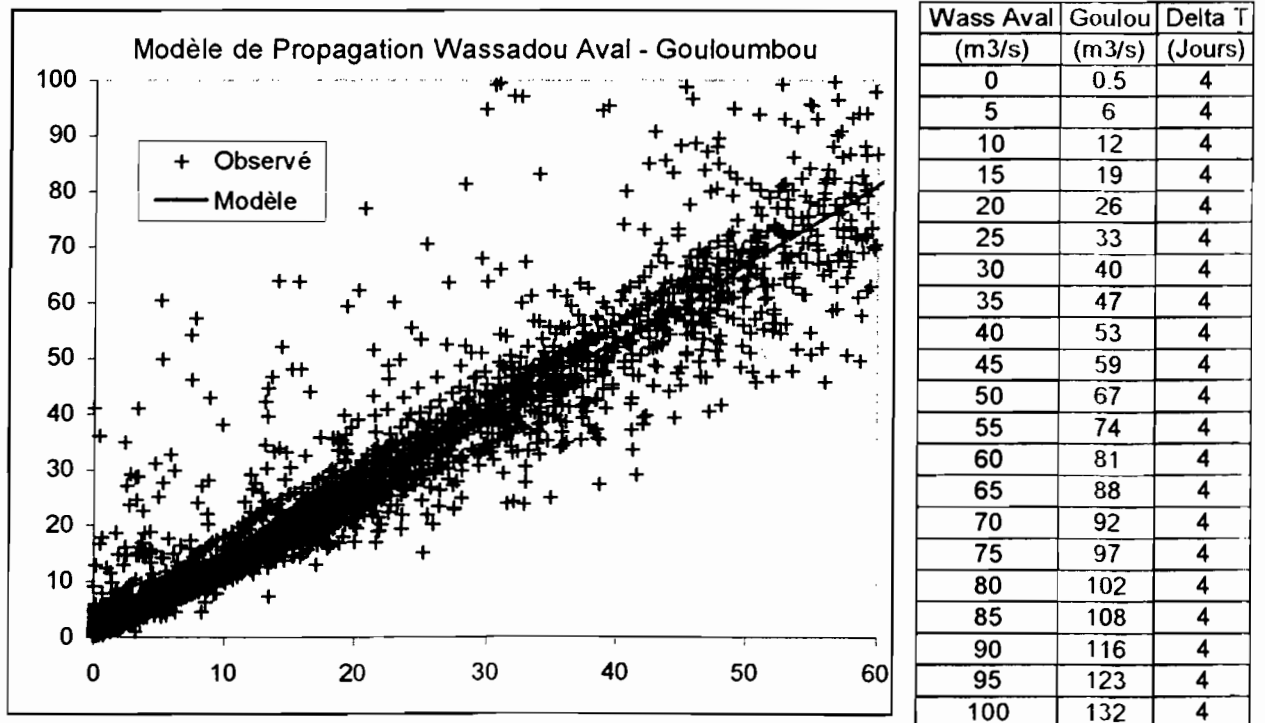


Figure 3.17

III.5 Etude des écoulements annuels

Les données de base disponibles sur la période 1970-2000 permettent le calcul des débits moyens annuels (modules) sur l'ensemble des stations, en année hydrologique (commençant en Mai et terminant en Avril de l'année suivante). Comme les stations hydrométriques définissent des bassins imbriqués de l'amont vers l'aval, il est possible par simple différence d'obtenir les modules pour les bassins intermédiaires entre deux stations consécutives. On notera désormais :

- SB Mako = sous bassin compris entre Kédougou et Mako
- SB W Aval = sous bassin compris entre Mako et Wassadou Aval
- SB Goulou = sous bassin compris entre Wassadou Aval et Gouloumbou

Les modules obtenus pour chacun des bassins et des sous bassins sont présentés au tableau 3.10 Dans ce tableau, les années hydrologiques sont indiquées par le millésime de l'année de début, l'année 1970 se réfère ainsi à l'année hydrologique 1970-1971. On donne également en bas du tableau pour chaque bassin :

- La moyenne interannuelle (Moy)
- L'écart type (ET)
- Le coefficient de variation (CV) égal à ET / Moy
- La valeur minimale (Min)
- Le quartile inférieur (Qinf)
- La médiane (Méd)
- Le quartile supérieur (Qsup)
- La valeur maximale (Max)

On observe à Simenti des modules très similaires à ceux de Wassadou Aval, au moins sur la période 1970-1993, malgré une augmentation importante de la superficie du bassin versant qui passe de 20 403 km² à 32 992 km². Sur cette période, les modules inter-annuels sont de 108.6 m³/s à Simenti et 109.6 m³/s à Wassadou Aval. Cela traduit la faiblesse des apports du Niéri-ko (affluent de rive droite) dont le bassin représente une grande part de l'augmentation de superficie entre Simenti et Wassadou Aval. En fait, les apports intermédiaires étant inférieurs à l'erreur de mesure sur les débits (que l'on estime généralement aux environs de 5% lorsque les données sont de bonne qualité), il faut abandonner toute idée d'évaluer les apports du Niéri-ko par différence entre Wassadou Aval et Simenti. Quant aux écarts observés entre Simenti et Wassadou Aval à partir de 1994, ils sont manifestement dus à un problème d'étalonnage : un détarage a été introduit à Wassadou Aval sur la base des jaugeages récents, alors que l'on ne disposait pas de jaugeages récents à Simenti pour établir

une nouvelle courbe d'étalonnage. C'est pour ces raisons que la station de Simenti ne sera pas incluse dans les analyses ultérieures.

Tableau 3.10 Modules des bassins et sous bassins de la Gambie (en m³/s)

Bassin	Kédougou	Mako	Simenti	WassAval	Gouloubou	SB Mako	SB W Aval	SB Goulou
Surf(km ²)	7653	10564	20403	32992	41945	2911	22428	8953
1970	111.9	118.6	159.0	159.2	197.3	6.7	40.6	38.0
1971	68.5	78.7	115.2	116.7	150.5	10.3	38.0	33.7
1972	70.6	72.9	92.2	92.1	117.0	2.3	19.2	25.0
1973	78.5	94.8	132.8	132.0	163.8	16.3	37.3	31.7
1974	110.8	129.1	211.6	214.5	271.8	18.3	85.4	57.3
1975	85.7	106.6	149.1	155.0	215.9	20.9	48.4	60.9
1976	80.1	85.1	105.9	105.0	146.2	5.0	19.9	41.2
1977	53.7	61.8	76.5	75.7	87.8	8.1	13.9	12.1
1978	94.7	118.1	187.5	188.5	240.5	23.4	70.5	52.0
1979	50.3	57.3	83.2	82.7	113.1	7.0	25.4	30.4
1980	83.4	97.4	120.9	121.9	151.9	13.9	24.6	29.9
1981	68.5	79.7	104.3	105.0	126.8	11.2	25.3	21.8
1982	63.1	68.3	90.3	88.9	116.2	5.2	20.5	27.3
1983	37.9	40.5	48.9	49.7	57.0	2.6	9.2	7.3
1984	33.7	39.1	65.2	62.8	89.5	5.4	23.7	26.8
1985	83.4	97.1	136.2	140.7	175.0	13.7	43.6	34.3
1986	47.8	54.9	74.0	77.0	100.0	7.1	22.1	22.9
1987	57.3	62.6	79.9	82.8	99.7	5.2	20.2	16.9
1988	67.8	76.2	110.4	111.7	144.7	8.5	35.4	33.0
1989	79.9	95.2	122.2	128.5	158.7	15.3	33.4	30.2
1990	62.0	69.4	81.3	82.1	94.2	7.3	12.8	12.1
1991	67.8	79.2	106.4	104.0	119.5	11.4	24.9	15.5
1992	51.1	55.8	73.7	75.6	91.7	4.7	19.8	16.1
1993	58.0	62.9	79.8	78.4	91.5	4.9	15.5	13.1
1994	117.6	149.5	214.0	203.6	239.1	32.0	54.1	35.5
1995	87.0	120.1	156.5	148.8	167.4	33.1	28.8	18.6
1996	78.0	100.8	152.2	141.3	174.7	22.8	40.5	33.4
1997	108.0	128.3	173.5	162.5	213.0	20.3	34.3	50.5
1998	94.9	112.2	174.8	141.4	180.4	17.4	29.2	39.0
1999	96.7	113.3	204.4	170.9	241.5	16.6	57.6	70.7
Moy	75.0	87.5	122.7	120.0	151.2	12.6	32.5	31.2
ET	21.8	28.2	46.4	42.6	55.3	8.2	17.3	15.4
CV	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.7	0.5	0.5
Min	33.7	39.1	48.9	49.7	57.0	2.3	9.2	7.3
Qinf	59.0	64.3	81.8	82.7	103.3	5.7	20.3	19.4
Méd	74.3	82.4	112.8	114.2	148.3	10.7	27.1	30.3
Qsup	86.7	110.8	155.4	147.0	179.0	17.2	39.9	37.4
Max	117.6	149.5	214.0	214.5	271.8	33.1	85.4	70.7

Afin de pouvoir comparer entre eux les écoulements annuels sur des bassins de superficie très variable, on trouvera au tableau 3.11 les modules spécifiques.

Tableau 3.11 Modules spécifiques des bassins et sous bassins de la Gambie (en l/s/km²)

Bassin	Kédougou	Mako	Simenti	WassAval	Gouloumbou	SB Mako	SB W Aval	SB Goulou
Surf(km ²)	7653	10564	20403	32992	41945	2911	22428	8953
1970	14.62	11.23	7.79	4.83	4.70	2.31	1.81	4.25
1971	8.95	7.45	5.65	3.54	3.59	3.52	1.69	3.77
1972	9.22	6.90	4.52	2.79	2.79	0.78	0.86	2.79
1973	10.26	8.97	6.51	4.00	3.90	5.60	1.66	3.55
1974	14.48	12.22	10.37	6.50	6.48	6.30	3.81	6.39
1975	11.20	10.09	7.31	4.70	5.15	7.18	2.16	6.80
1976	10.47	8.05	5.19	3.18	3.48	1.70	0.89	4.60
1977	7.02	5.85	3.75	2.29	2.09	2.78	0.62	1.35
1978	12.37	11.18	9.19	5.71	5.73	8.04	3.14	5.81
1979	6.58	5.42	4.08	2.51	2.70	2.39	1.13	3.40
1980	10.90	9.22	5.93	3.70	3.62	4.78	1.10	3.34
1981	8.95	7.55	5.11	3.18	3.02	3.85	1.13	2.44
1982	8.25	6.47	4.42	2.69	2.77	1.78	0.92	3.05
1983	4.95	3.84	2.40	1.51	1.36	0.90	0.41	0.82
1984	4.40	3.70	3.19	1.90	2.13	1.85	1.06	2.99
1985	10.90	9.19	6.68	4.27	4.17	4.70	1.95	3.83
1986	6.25	5.20	3.63	2.34	2.38	2.43	0.99	2.56
1987	7.49	5.92	3.91	2.51	2.38	1.80	0.90	1.89
1988	8.86	7.22	5.41	3.39	3.45	2.91	1.58	3.69
1989	10.44	9.01	5.99	3.90	3.78	5.26	1.49	3.37
1990	8.11	6.57	3.98	2.49	2.25	2.51	0.57	1.35
1991	8.86	7.50	5.22	3.15	2.85	3.91	1.11	1.73
1992	6.67	5.28	3.61	2.29	2.19	1.63	0.88	1.80
1993	7.58	5.95	3.91	2.38	2.18	1.69	0.69	1.46
1994	15.36	14.15	10.49	6.17	5.70	10.98	2.41	3.96
1995	11.37	11.37	7.67	4.51	3.99	11.37	1.28	2.07
1996	10.20	9.54	7.46	4.28	4.17	7.83	1.81	3.73
1997	14.11	12.14	8.50	4.93	5.08	6.97	1.53	5.64
1998	12.40	10.63	8.57	4.29	4.30	5.97	1.30	4.35
1999	12.64	10.73	10.02	5.18	5.76	5.71	2.57	7.89
Moy	9.79	8.28	6.02	3.64	3.61	4.31	1.45	3.49
ET	2.85	2.67	2.27	1.29	1.32	2.82	0.77	1.72
CV	0.29	0.32	0.38	0.36	0.37	0.65	0.53	0.49
Min	4.40	3.70	2.40	1.51	1.36	0.78	0.41	0.82
Qinf	7.71	6.08	4.01	2.51	2.46	1.97	0.91	2.16
Méd	9.71	7.80	5.53	3.46	3.54	3.69	1.21	3.38
Qsup	11.32	10.49	7.62	4.46	4.27	5.90	1.78	4.17
Max	15.36	14.15	10.49	6.50	6.48	11.37	3.81	7.89

On constate que les débits spécifiques diminuent sensiblement de l'amont vers l'aval et du Sud vers le Nord. Les valeurs les plus faibles sont obtenues pour le sous bassin de Wassadou Aval. Cette diminution des apports est due à une décroissance de la pluviométrie du Sud vers le Nord (qui sera illustrée plus loin), et à une plus forte perméabilité des sols des bassins avals, et notamment des bassins qui couvrent la série du continental terminal. La figure 3.18 illustre la variabilité des débits spécifiques annuels des principaux bassins.

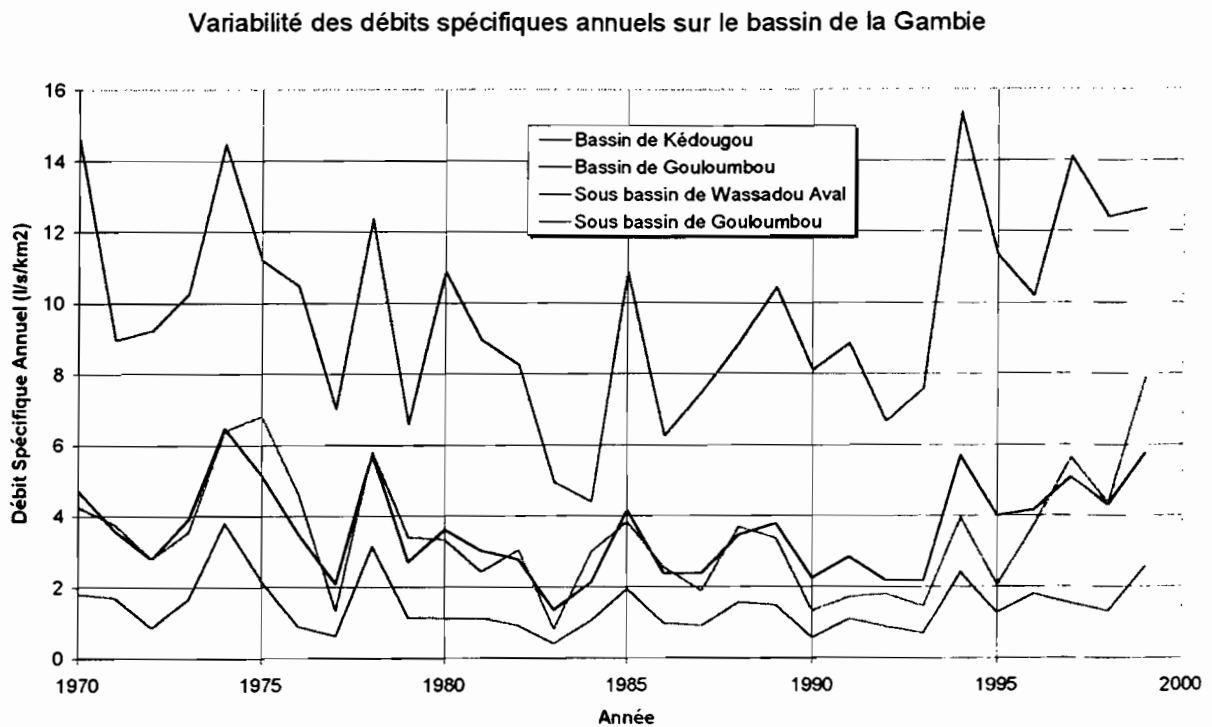


Figure 3.18

5.1 Variabilité inter-annuelle des écoulements : hydraullicité

Afin d'illustrer la variabilité inter-annuelle des écoulements, nous avons calculé des indices d'hydraulicité en divisant pour chaque année les écarts à la moyenne par la moyenne inter-annuelle des écoulements d'un bassin. Ces indices mettent ainsi en évidence les années excédentaires (valeurs positives) et déficitaires (valeurs négatives). Ils sont illustrés à la figure 3.19 où les principaux bassins et sous bassins sont représentés.

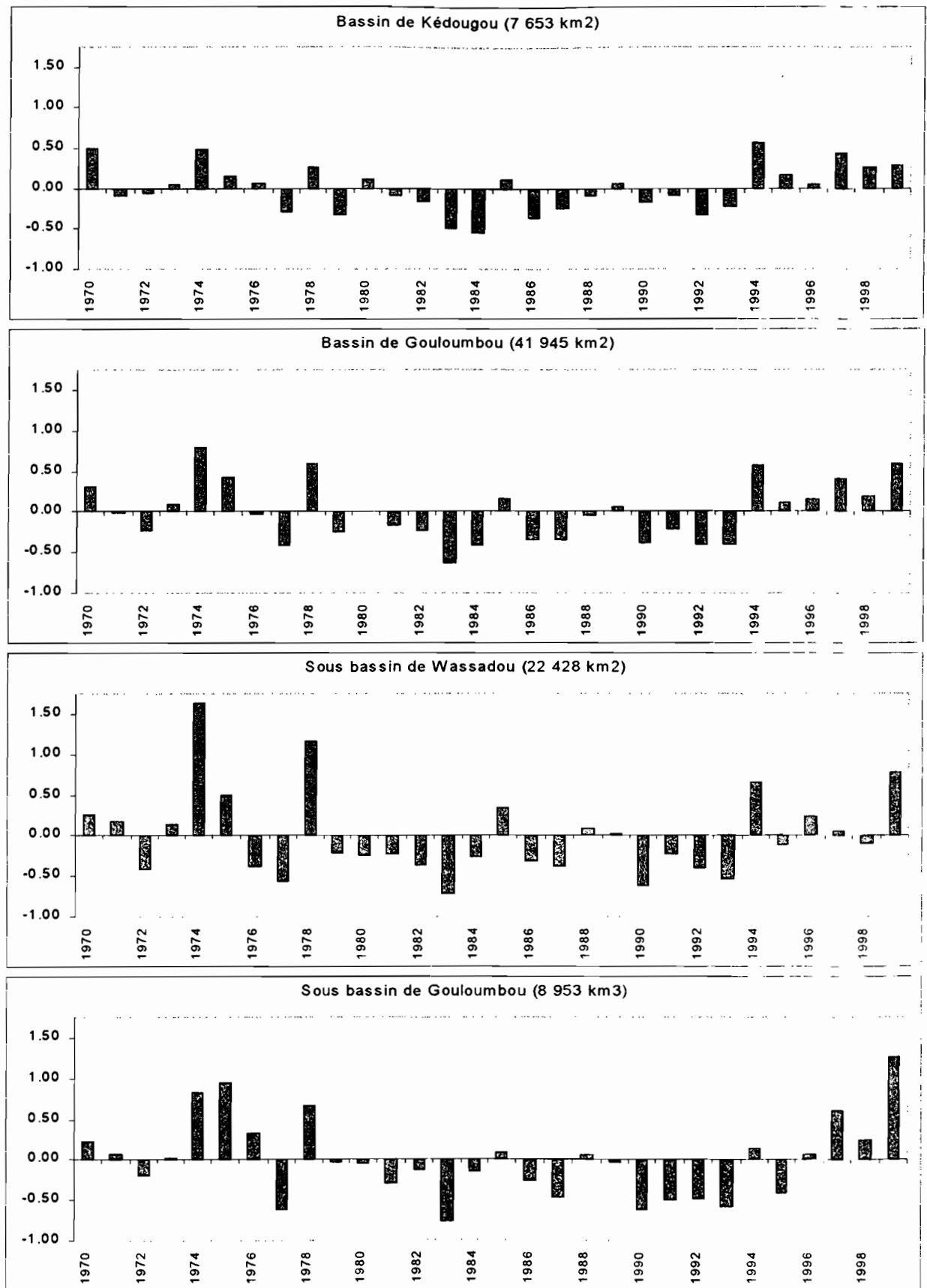


Figure 3.19 Hydraulicité des principaux bassins et sous bassins de la Gambie

Le bassin de Gouloubou intègre la totalité des écoulements. On constate pour ce bassin une période presque uniquement déficitaire de 1979 à 1993, avec un minimum en 1983 et 1984. En contre-partie, les périodes restantes apparaissent dans l'ensemble plutôt excédentaires.

L'année 1994 est la plus forte à Gouloubou, alors qu'elle n'arrive qu'en 3^{ème} position à Kédougou. C'est que les apports du sous bassin de Wassadou Aval ont été exceptionnellement abondants en 1994 (163% d'excédent, soit 2.63 fois la moyenne).

De même l'année 1983 est la plus faible à Gouloubou alors qu'elle n'arrive qu'en 2^{ème} position à Kédougou. Cela est dû au fort déficit constaté en 1983 sur les sous bassins à l'aval de Mako.

La variabilité des indices d'hydraulicité est nettement plus forte sur les sous bassins de Wassadou Aval et de Gouloubou que sur les autres bassins. Il est probable que ces bassins ne produisent pas de ruissellement sur la totalité de leur surface pour les années à pluviométrie faible ou moyenne. Par contre lors des années à forte pluviométrie, d'importantes superficies commencent à participer à l'écoulement, ce qui introduit un facteur d'irrégularité supplémentaire.

5.2 Etude fréquentielle des modules

L'étude fréquentielle des modules a été menée au moyen du logiciel DIXLOIS du laboratoire d'Hydrologie de l'IRD. Après ajustement de 10 lois de probabilité aux différents échantillons disponibles, on a choisi la loi qui en moyenne donnait le meilleur ajustement sur l'ensemble des bassins, afin de se prémunir contre d'éventuels effets d'échantillonnage (possibilité pour un échantillon de valeurs tirées au hasard de mal représenter la distribution de la population mère dont il est tiré). Le choix de la meilleure loi de probabilité a été aidé par les valeurs du test de Brunet Moret (Brunet-Moret, 1978) et du test du Khi2 fournis par DIXLOIS. C'est la loi de Pearson 3 qui donne régionalement le meilleur résultat pour les principaux bassins tandis que pour les sous bassins c'est plutôt celle de Galton. Les résultats des ajustements sont donnés au tableau 3.12, et la qualité des ajustements illustrée à la figure 3.20

Tableau 3.12 Fréquence des modules des principaux bassins de la Gambie

TR (ans)	Récurrences sèches (ans)						Méd	Récurrences humides (ans)					
	200	100	50	20	10	5		5	10	20	50	100	200
Kédougou	30.4	32.9	36.0	41.7	47.7	56.0	73.9	93.2	103.5	112.0	121.5	127.7	133.5
Mako	28.5	32.7	37.6	45.6	53.3	63.5	85.4	110.4	124.8	137.3	152.1	162.5	172.1
Wassadou Aval	48.5	50.9	54.3	61.3	69.7	82.5	115.0	154.0	178.0	198.0	221.0	237.0	252.0
Gouloumbou	52.9	57.9	64.2	75.3	86.9	103.0	143	194.0	226.0	255.0	291.0	316.0	341.0
SB Mako	01.6	01.9	023	03.2	04.1	5.7	10.1	18.0	24.1	30.8	40.5	48.6	57.4
SB Wassaval	08.2	09.2	10.4	12.6	15.1	18.7	28.4	43.6	54.7	65.9	81.4	93.6	106.6
SB Gouloumbou	04.5	06.0	07.8	10.9	14.0	18.4	28.8	42.7	51.8	60.4	71.4	79.7	88.0

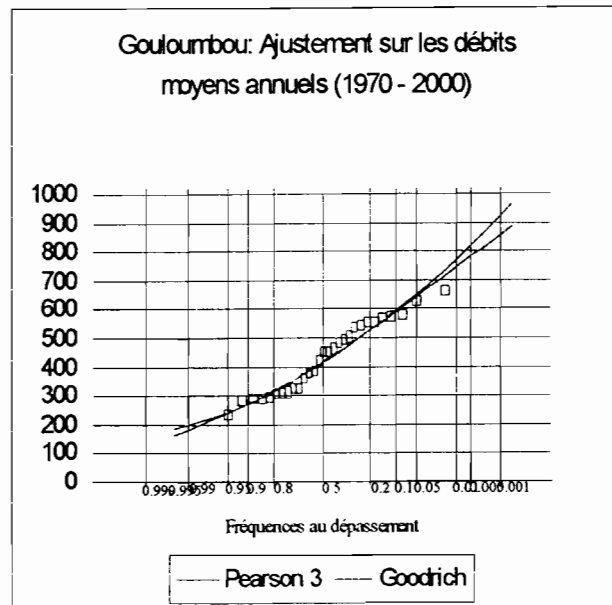
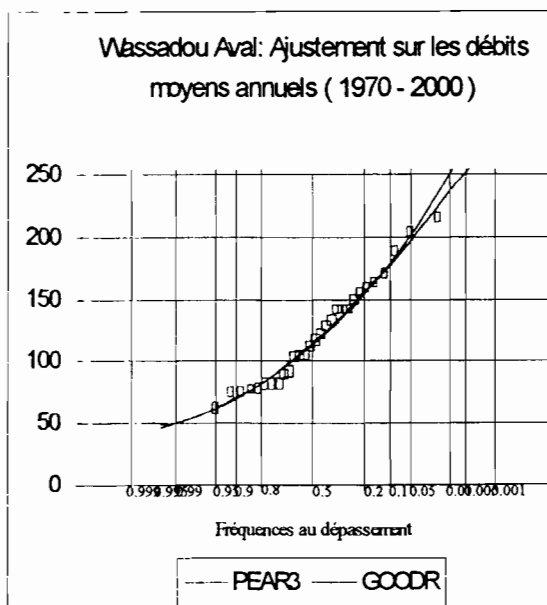
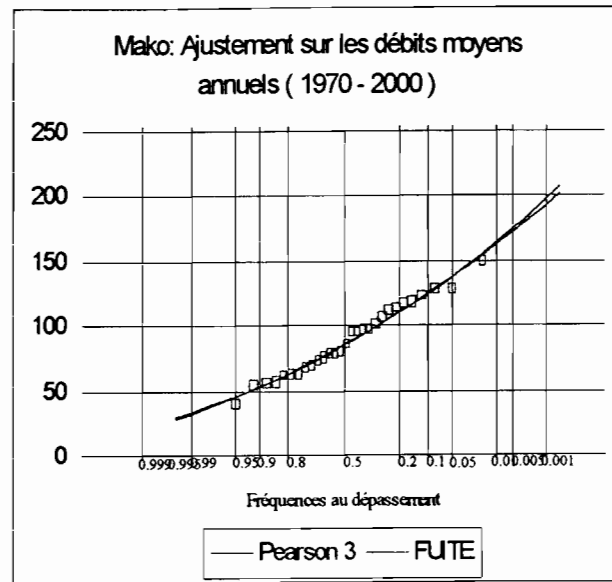
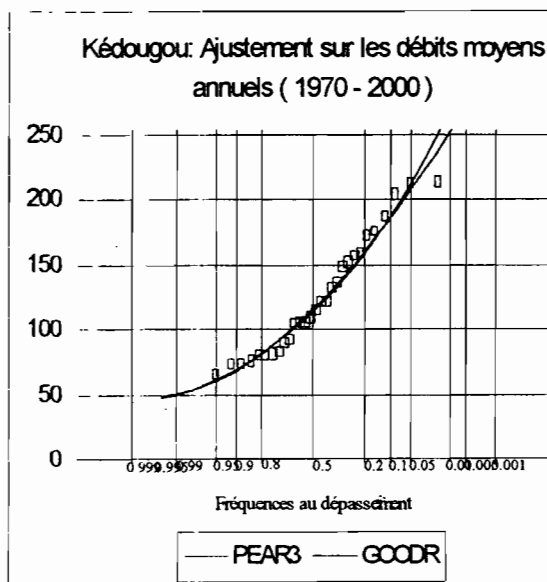


Figure 3.20 Ajustements de la loi de Pearson 3 aux modules des principaux bassins

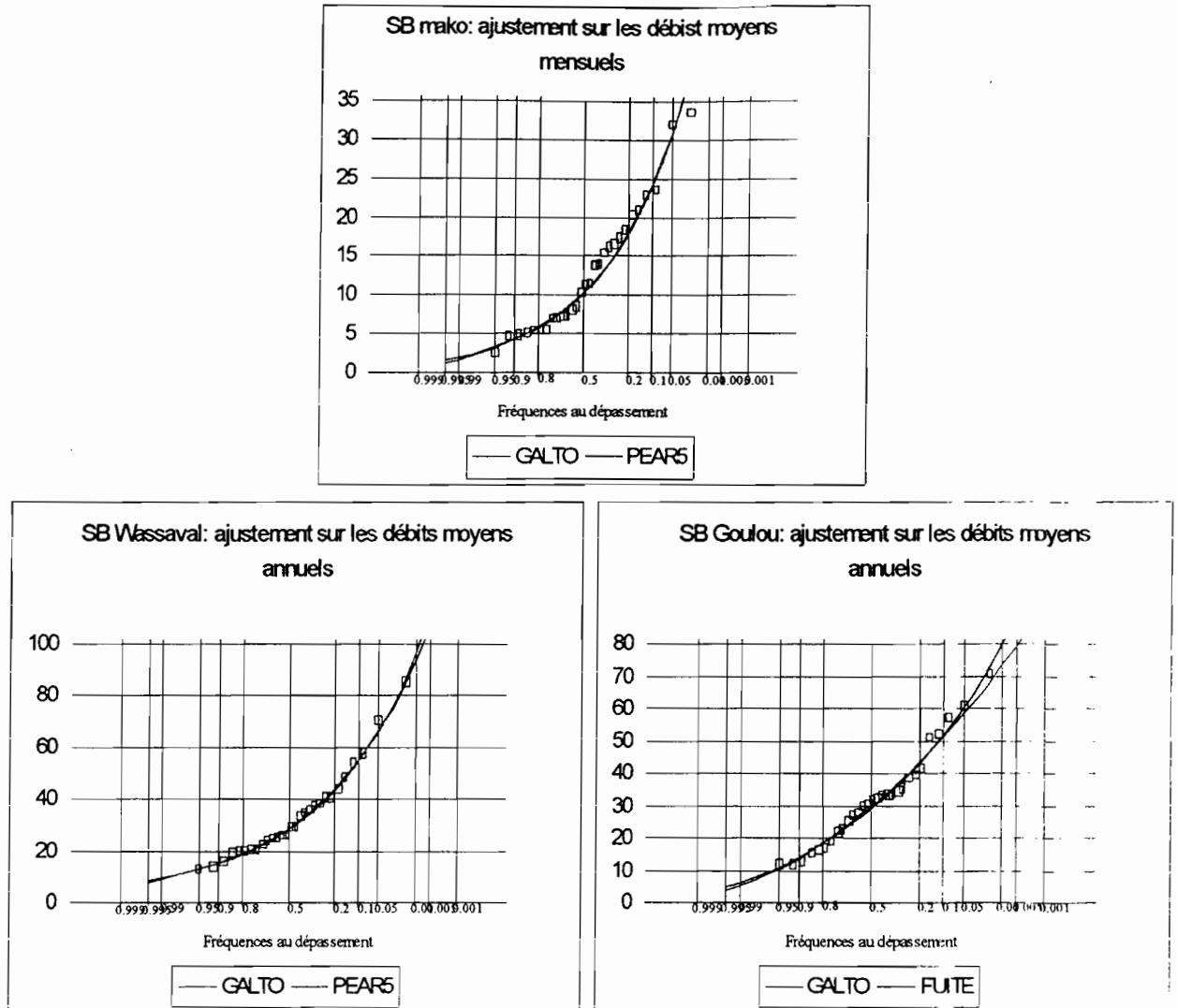


Figure 3.21 Ajustements de la loi de Galton aux modules des sous bassins

L'intérêt de l'étude fréquentielle des modules est non seulement de connaître les récurrences des valeurs observées, mais aussi d'estimer les modules pour des récurrences rares (50 ans et plus), ce qui peut servir au dimensionnement de projets d'aménagement. A Kédougou par exemple, le débit maximal de la série enregistré en 1994/1995 (117.6 m³/s) et le minimum en 1979/1980 (50.3 m³/s) correspondent respectivement à une récurrence proche de la cinquantennale humide (121 m³/s) et de la quinquennale sèche (56 m³/s).

A Mako, le débit annuel le plus élevé (149.5 m³/s) enregistré aussi en 1994/1995, revient tous les 50 ans (152.1 m³/s), tandis que le minimum (39.1 m³/s) enregistré en 1984/1985 a un temps de retour de moins de 50 ans en phase sèche. La décennale humide a un

débit estimé de 124.8 m³/s et la sèche à 53.3 m³/s ce qui correspond respectivement dans notre série d'observation à 1997/1998 et 1986/1987.

A Wassadou Aval le maximum (214.5 m³/s) survenu en 1974-1975 a des chances d'être enregistré tous les 50 ans en récurrence humide, tandis que le minimum (49.7 m³/s) survenu en 1983-1984 tous les 100 ans en phase sèche. La décennale humide a un débit estimé de 178 m³/s et la sèche à 69.7 m³/s ce qui correspond respectivement dans notre série d'observation à 1978/1979 et 1992/1993.

A Gouloumbou, le plus faible débit enregistré (57.0 m³/s) en 1983-1984 revient une fois tous les 100 ans en récurrence sèche et le plus fort débit (271.8 m³/s) enregistré en 1974-1975 une fois sur 50 années en phase humide. La décennale humide a un débit estimé de 239.1 m³/s et la sèche à 87.8 m³/s ce qui correspond respectivement dans notre série d'observation à 1994/1995 et 1977/1978.

Pour les sous bassins, le temps de retour des maxima est estimé entre 30 et 50 ans en récurrence humide et celui des minima entre les cinquantenales et centenales sèches.

Afin de caractériser l'irrégularité inter-annuelle, des modules ont été calculés au tableau 3.13 :

- le coefficient d'immodération R qui est le rapport entre le maximum et le minimum de la série
- le paramètre K3 qui est le rapport de la valeur décennale humide à la valeur décennale sèche

Tableau 3.13 Coefficients d'immodération R et paramètres K3

Station	Décennale sèche	Décennale humide	K3	R
Kédougou	47.7	104	2.2	3.5
Mako	53.3	125	2.3	3.8
Wassadou Aval	69.7	178	2.6	4.3
Gouloumbou	77.5	218	2.8	3.4
SB Mako	4.7	23.4	4.9	14.4
SB Wassaval	15.5	54.1	3.4	9.2
SB Goulou	15.1	52.0	3.44	9.6

Selon M. PARDE les coefficients R oscillant entre 3 et 4, et même parfois plus, sont des valeurs caractérisant le régime pluvial, ce qui est notre cas. Les valeurs du K3 comprises entre 2.2 et 4.9 traduisent une assez forte irrégularité interannuelle, qui augmente d'amont vers l'aval.

Le tableau 3.14 résume enfin les différents résultats que l'on peut déduire de l'étude fréquentielle des modules. En plus du module et du débit spécifique annuel qui est défini par le rapport du débit en l/s sur la superficie en km²,

$$Ds = \frac{Q / l / S}{S(km^2)} = l / s / km^2$$

il donne pour différentes fréquences le volume écoulé en million de m³ (Ve Mm³) et la lame écoulée en mm (LE mm) et montre une fois de plus la variabilité de l'écoulement d'une année à une autre et d'une station à une autre.

Sur les bassins imbriqués, le module et le volume d'eau écoulé augmentent évidemment de l'amont vers l'aval, puisque chaque bassin reçoit les écoulements en provenance du bassin amont augmentés des écoulements du bassin intermédiaire. Les résultats par sous bassin permettent de mieux distinguer la part de chaque zone dans l'écoulement à Gouloumbou.

Les débits spécifiques et les lames écoulées, qui sont indépendants de la surface des bassins, traduisent les capacités de chaque bassin à produire de l'écoulement. C'est à Kédougou que ces valeurs sont les plus élevées, et sur le sous bassin de Wassadou Aval qu'elles sont les plus faibles. C'est la pluviométrie abondante, les pentes fortes et les sols à faible perméabilité qui donnent lieu, dans le haut bassin, à ces écoulements appréciables. Par

contre le bassin inférieur, qui reçoit dans sa partie Nord une pluviométrie plus réduite, et qui est partiellement situé dans la région du Continental Terminal, connaît un écoulement nettement plus faible avec des modules spécifiques inférieurs à 5 l/s/km². A Gouloumbou, là où transite tout l'écoulement, le débit spécifique moyen est égal à 3.61 l/s/km² tandis qu'à Wassadou Aval il est égal à 3.64 l/s/km².

Tableau 3.14 Synthèse de l'étude des modules

Stations	Kédougou				Mako			
Paramètres	Q m3/s	L/s.km ²	Ve en Mm3	LE en mm	Q m3/s	L/s.km ²	Ve en Mm3	LE en mm
Maximum	117.6	15.4	3707.2	484.4	149.5	14.2	4715.6	446.3
Décennale humide	108.0	14.1	3404.7	444.9	128.3	12.1	4044.7	382.8
Médiane	78.8	10.2	2460.9	321.6	85.1	8.1	2683.3	254.0
Décennale sèche	47.8	6.2	1508.0	197.0	54.9	5.2	1731.4	163.9
Minimum	33.7	4.4	1061.4	138.7	39.1	3.7	1231.5	116.6
Module inter-annuel	75.0	9.8	2365.3	309.1	87.5	8.3	2761.4	261.4
Stations	Wassadou Aval				Gouloumbou			
Paramètres	Q m3/s	L/s.km ²	Ve en Mm3	LE en mm	Q m3/s	L/s.km ²	Ve en Mm3	LE en mm
Maximum	214.5	6.5	6765.0	205.0	271.8	6.5	8354.8	204.3
Décennale humide	188.5	5.7	5945.1	180.2	239.1	5.7	7310.5	179.7
Médiane	116.7	3.5	3690.8	111.9	144.7	3.5	4391.9	108.8
Décennale sèche	75.6	2.3	2383.5	72.2	87.8	2.1	2447.2	66.0
Minimum	49.7	1.5	1571.8	47.6	*	*	*	*
Module inter-annuel	119.98	3.6	3786.3	114.8	151.2	3.6	4503.1	113.8
Stations	SB Wassadou Aval				SB Gouloumbou			
Paramètres	Q m3/s	L/s.km ²	Ve en Mm3	LE en mm	Q m3/s	L/s.km ²	Ve en Mm3	LE en mm
Maximum	85.4	3.81	3034.7	120.1	70.7	7.89	2229.5	249.6
Décennale humide	54.1	2.41	1620.9	76.0	52.0	5.81	1639.8	183.2
Médiane	28.8	1.28	908.2	40.5	29.9	3.34	942.9	105.4
Décennale sèche	15.5	0.69	488.8	21.8	15.5	1.73	488.8	54.7
Minimum	9.2	0.41	290.1	12.9	7.3	0.82	230.2	25.9
Module inter-annuel	32.5	1.45	1024.9	45.7	31.2	3.49	983.9	110.1

Ainsi l'analyse statistique des modules confirme la grande variabilité de l'écoulement dans le bassin de la Gambie. C'est à des échelles de temps inférieures à l'année qu'il faut nous intéresser à présent pour continuer la caractérisation du régime hydrologique.

III – 6 Débits mensuels et saisonnalité

En milieu tropical, l'écoulement fluvial est grandement tributaire du régime des précipitations. C'est la raison pour laquelle la variation de la répartition des précipitations d'une année à l'autre induit celle des débits moyens mensuels.

On trouvera aux tableaux 3.15 à 3.18 les débits mensuels calculés sur les principales stations de la Gambie en amont de Gouloumbou. Comme pour les modules, ces tableaux incluent dans leur partie inférieure les principaux paramètres statistiques que l'on peut déduire des valeurs observées.

A partir des valeurs minimales, quartiles inférieurs, médianes, quartiles supérieurs et maximales des débits mensuels d'une station, on peut tracer à la figure 3.22 des graphiques qui donnent une idée de la répartition saisonnière des écoulements.

L'examen de ces données mensuelles (tableaux 3.15 à 3.18) montre une variation saisonnière de la Gambie caractéristique du régime tropical uni-modal avec une saison sèche et une saison humide. Le débit mensuel le plus bas se situe entre les mois d'Avril et Mai (19 fois pour le mois d'Avril contre 11 pour le mois de Mai à Kédougou, 13 fois pour le mois d'Avril contre 17 au mois de Mai à Mako, et enfin 1 fois pour le mois d'avril contre 29 fois pour le mois de Mai à Wassadou Aval). Le débit mensuel le plus fort se situe généralement au mois de Septembre.

Le coefficient de variation ($CV = ET / Moy$) indique que l'irrégularité inter-annuelle est plus forte en période de basses eaux et surtout en début de saison des pluies (Mai et Juin).

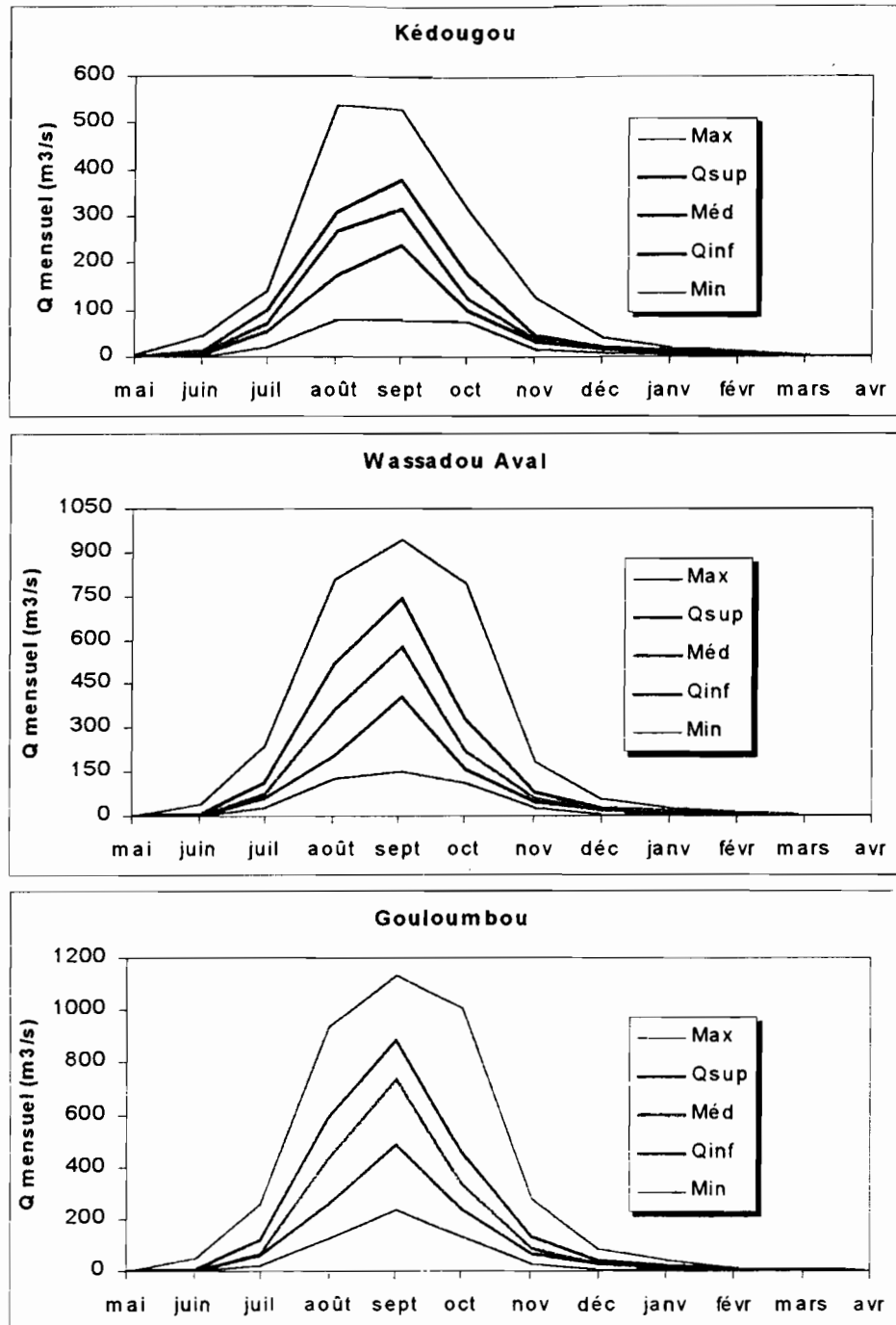


Figure 3.22 Répartition annuelle des débits mensuels typiques

Tableau 3.15 Débits moyens mensuels de Kédougou en m3/s

Année	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr
1970-71	0.4	14.1	130.7	537.6	443.3	116.0	45.2	22.8	13.1	6.9	3.0	1.6
1971-72	1.7	5.9	53.3	289.1	318.2	92.9	31.3	15.2	7.7	3.6	1.0	0.1
1972-73	0.0	33.5	87.1	286.6	245.3	107.4	40.5	22.3	11.5	5.6	2.0	0.1
1973-74	0.6	8.8	71.2	371.8	326.9	92.3	34.2	16.2	8.7	4.3	1.4	0.1
1974-75	0.0	8.6	139.7	445.6	428.2	202.5	51.1	22.6	12.4	6.8	2.8	0.6
1975-76	0.0	8.4	89.5	176.1	520.0	157.1	41.9	19.0	10.5	5.6	2.0	0.4
1976-77	0.0	10.7	130.4	264.3	214.9	185.2	91.5	28.7	15.5	7.9	3.7	1.7
1977-78	0.7	11.8	21.8	110.9	333.6	108.1	31.7	14.4	7.6	3.6	0.7	0.0
1978-79	0.0	7.8	44.5	303.2	396.9	260.3	68.1	26.4	13.2	6.5	3.1	0.4
1979-80	0.1	10.4	51.8	142.6	163.2	158.0	44.5	16.8	8.9	4.0	1.1	0.0
1980-81	0.0	15.9	115.0	418.9	313.9	74.1	29.9	14.7	7.4	3.6	0.8	0.1
1981-82	4.3	5.9	56.3	296.8	308.7	85.7	33.2	15.3	7.4	4.0	1.0	0.0
1982-83	0.0	3.9	60.3	170.9	311.9	139.5	37.9	16.9	8.8	4.1	1.1	0.1
1983-84	0.0	4.7	34.6	115.3	180.4	80.2	20.6	10.4	5.6	2.2	0.3	0.0
1984-85	0.0	21.5	96.3	79.5	76.7	96.0	17.1	7.9	3.6	1.3	0.2	0.0
1985-86	0.0	0.5	99.6	348.4	373.9	112.4	32.2	14.4	8.2	4.4	1.3	0.1
1986-87	0.4	9.4	45.8	115.9	215.4	121.6	33.8	15.6	8.6	4.2	1.0	0.0
1987-88	0.0	8.4	25.0	118.2	270.3	193.7	41.9	16.1	8.8	4.0	0.9	0.0
1988-89	0.0	0.2	71.9	263.0	308.8	100.2	36.9	15.7	8.1	3.9	0.8	0.0
1989-90	0.0	5.1	56.4	302.3	379.9	137.1	40.3	17.9	9.7	4.6	1.1	0.0
1990-91	0.0	5.1	72.0	250.6	231.6	122.2	33.6	14.2	7.1	2.6	0.4	0.0
1991-92	0.0	0.0	76.8	312.1	236.1	118.5	36.5	16.0	8.7	4.1	0.6	0.0
1992-93	0.0	2.6	98.4	163.5	218.3	79.5	26.5	12.3	6.0	2.3	0.2	0.0
1993-94	0.0	1.2	60.1	187.2	308.6	84.4	30.3	12.7	6.7	2.7	0.3	0.0
1994-95	0.1	10.3	105.7	266.4	529.5	290.4	126.3	40.4	19.4	11.4	5.0	1.8
1995-96	0.0	4.1	68.8	400.8	363.3	128.1	39.4	19.5	10.3	4.6	1.3	0.1
1996-97	0.0	5.7	53.3	248.5	410.9	135.6	44.3	18.9	10.2	5.0	1.5	0.1
1997-98	2.4	47.0	125.4	409.5	370.1	205.1	69.5	29.1	16.1	8.6	4.1	0.8
1998-99	0.0	5.3	70.4	303.1	450.1	206.5	56.4	22.7	11.7	5.9	2.0	0.1
1999-00	0.0	2.5	53.1	261.1	370.3	317.0	89.8	34.2	16.6	8.4	3.5	0.6
Moy	0.4	9.3	75.5	265.3	320.6	143.6	45.2	19.0	9.9	4.9	1.6	0.3
ET	0.9	9.8	31.8	112.9	104.1	63.4	23.2	7.1	3.6	2.2	1.3	0.5
CV	2.6	1.1	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.8	1.8
Min	0.0	0.0	21.8	79.5	76.7	74.1	17.1	7.9	3.6	1.3	0.2	0.0
Qinf	0.0	4.3	53.3	172.2	238.4	97.1	32.4	14.8	7.7	3.7	0.8	0.0
Méd	0.0	6.8	70.8	265.4	316.0	121.9	38.6	16.5	8.8	4.2	1.1	0.1
Qsup	0.1	10.4	97.9	309.9	378.4	178.4	45.0	22.5	11.7	5.8	2.0	0.3
Max	4.3	47.0	139.7	537.6	529.5	317.0	126.3	40.4	19.4	11.4	5.0	1.8

Tableau 3.16 Débits moyens mensuels de Mako en m³/s

Année	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr
1970-71	0.3	12.9	126.9	587.5	471.2	119.1	47.4	24.6	14.2	7.4	2.7	0.6
1971-72	1.1	6.7	55.2	335.8	364.5	114.7	35.3	16.9	8.2	3.5	0.7	0.0
1972-73	0.0	26.5	90.1	293.1	262.8	112.8	41.0	23.5	12.1	5.5	1.5	0.2
1973-74	0.0	13.3	74.1	451.9	421.0	102.7	36.0	17.9	9.0	4.0	1.4	0.1
1974-75	0.0	8.0	153.0	513.7	524.2	240.1	53.6	24.6	13.5	6.5	2.2	0.4
1975-76	0.0	7.6	99.4	185.1	702.2	200.6	48.2	21.8	11.5	5.4	1.5	0.2
1976-77	0.0	12.2	133.7	276.9	228.2	196.6	107.6	30.3	16.9	8.0	2.8	0.6
1977-78	0.4	11.0	22.7	121.3	383.9	137.8	37.2	16.2	7.7	2.9	0.6	0.0
1978-79	0.0	5.4	47.3	353.6	508.5	351.0	85.6	32.6	16.1	6.7	2.7	0.4
1979-80	0.1	7.9	52.8	154.5	195.4	192.6	49.1	18.7	9.5	3.5	0.7	0.0
1980-81	0.0	17.0	133.8	485.4	376.0	87.4	32.7	16.1	7.7	3.3	0.7	0.1
1981-82	2.9	3.2	53.1	340.9	386.6	101.2	35.8	16.6	8.2	3.5	0.9	0.1
1982-83	0.0	1.1	62.3	177.7	347.7	153.2	42.3	19.2	9.3	3.7	1.0	0.1
1983-84	0.0	3.0	38.0	120.5	194.6	85.1	24.8	11.5	5.4	2.2	0.6	0.0
1984-85	0.4	15.3	109.1	91.4	98.6	111.3	22.8	9.3	4.3	1.6	0.1	0.0
1985-86	0.0	1.2	100.4	394.0	456.2	135.0	38.7	17.9	9.5	4.6	1.7	0.1
1986-87	0.0	7.5	46.7	122.4	276.8	134.7	37.3	17.4	9.2	4.2	1.0	0.1
1987-88	0.0	6.6	30.0	109.7	292.5	230.9	47.0	18.4	9.4	4.1	1.3	0.0
1988-89	0.0	0.9	66.3	300.4	370.9	106.4	36.4	16.4	8.4	3.6	1.4	0.1
1989-90	0.0	3.4	57.1	346.2	495.6	154.2	45.4	20.2	10.1	4.5	1.6	0.1
1990-91	0.0	4.9	72.5	281.7	270.4	133.7	36.8	15.7	7.6	2.9	0.9	0.0
1991-92	0.0	0.0	88.2	371.4	287.7	126.3	39.7	17.2	9.3	4.6	1.2	0.0
1992-93	0.0	2.4	104.0	159.1	264.0	84.3	29.9	13.5	6.1	2.8	1.0	0.0
1993-94	0.0	0.9	48.8	177.1	377.4	93.9	32.2	14.3	6.3	2.8	0.4	0.0
1994-95	0.3	9.1	112.5	353.5	700.8	382.7	144.2	45.5	21.6	12.5	5.2	1.6
1995-96	0.1	8.7	74.5	522.0	585.5	166.2	41.5	20.2	11.9	5.8	2.1	0.1
1996-97	0.0	1.7	53.0	315.0	590.6	155.6	52.6	21.6	11.1	5.4	1.6	0.1
1997-98	2.1	44.7	126.2	505.9	453.0	256.6	76.3	32.6	17.8	9.2	4.2	0.9
1998-99	0.1	4.6	63.7	350.3	583.0	229.1	60.4	26.6	14.9	7.0	2.9	0.7
1999-00	0.0	1.9	51.4	283.0	487.8	367.7	92.9	36.3	19.0	8.9	3.8	1.1
Moy	0.3	8.3	78.2	302.7	398.6	168.8	50.4	21.1	10.9	5.0	1.7	0.3
ET	0.7	9.0	34.5	139.7	149.2	82.9	26.5	7.8	4.2	2.4	1.2	0.4
CV	2.5	1.1	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.7	1.4
Min	0.0	0.0	22.7	91.4	98.6	84.3	22.8	9.3	4.3	1.6	0.1	0.0
Qinf	0.0	2.5	52.8	177.3	279.5	111.7	36.1	16.5	8.2	3.5	0.9	0.0
Méd	0.0	6.7	69.4	307.7	380.6	136.4	41.3	18.6	9.5	4.3	1.4	0.1
Qsup	0.1	10.5	103.1	367.0	493.7	199.6	51.7	24.3	13.2	6.3	2.2	0.3
Max	2.9	44.7	153.0	587.5	702.2	382.7	144.2	45.5	21.6	12.5	5.2	1.6

Tableau 3.17 Débits moyens mensuels de Wassadou Aval en m³/s

Année	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr
1970-71	0.0	6.9	135.5	809.5	653.3	170.1	61.9	30.5	15.3	9.0	4.9	2.3
1971-72	1.5	10.8	80.0	494.5	542.9	180.6	47.6	19.8	9.9	5.9	2.7	1.7
1972-73	1.9	20.7	112.9	368.2	353.5	136.3	52.0	26.7	13.3	7.5	3.7	1.8
1973-74	1.3	13.4	74.3	648.7	613.2	135.6	47.9	21.2	10.8	5.8	3.0	1.7
1974-75	1.1	15.0	239.0	758.0	911.6	487.4	85.7	34.3	14.7	7.2	3.5	1.7
1975-76	0.9	1.3	110.9	197.5	942.3	484.7	73.7	28.5	13.1	7.0	2.5	1.0
1976-77	0.7	2.5	145.8	313.8	308.2	279.3	131.9	36.9	18.2	9.0	3.7	1.3
1977-78	0.7	6.0	25.3	122.4	459.2	213.9	49.3	17.5	8.3	3.8	1.4	0.6
1978-79	0.4	8.0	106.5	542.2	726.8	635.4	153.2	45.8	18.6	8.0	3.1	1.0
1979-80	0.7	2.6	64.4	234.0	306.1	266.0	76.2	23.4	10.4	3.7	1.1	0.5
1980-81	0.3	11.9	118.8	529.9	592.0	133.1	41.2	17.6	7.7	3.2	0.9	0.3
1981-82	0.6	3.5	50.7	416.4	567.1	144.4	46.0	16.5	7.5	3.1	0.7	0.2
1982-83	0.3	1.3	64.7	212.6	498.7	199.7	54.0	19.5	8.6	3.5	1.2	0.4
1983-84	0.1	6.7	58.7	126.8	252.5	110.4	26.4	9.1	3.8	1.3	0.3	0.1
1984-85	0.1	35.5	163.3	157.3	153.1	196.6	28.0	8.5	2.8	0.6	0.1	0.0
1985-86	0.0	0.6	111.3	529.5	747.9	215.1	47.9	17.1	9.0	3.1	1.0	0.4
1986-87	0.0	0.1	55.8	138.0	429.7	222.4	48.0	16.2	8.9	3.2	0.5	0.2
1987-88	0.0	0.1	56.2	132.1	344.1	355.1	69.1	21.4	8.7	3.2	0.7	0.3
1988-89	0.1	1.5	71.5	446.7	585.5	154.8	49.6	16.7	6.4	2.5	0.6	0.0
1989-90	0.0	1.8	67.9	418.7	692.4	250.2	65.4	26.7	10.8	3.6	0.7	0.1
1990-91	0.0	0.0	62.9	330.8	339.6	174.0	48.3	17.0	5.4	1.1	0.3	0.0
1991-92	0.0	0.0	83.5	444.2	404.1	213.7	61.0	20.7	8.9	6.6	1.1	0.0
1992-93	0.0	0.0	96.6	195.7	412.2	124.9	42.0	18.5	10.8	3.2	0.9	0.1
1993-94	0.0	0.0	54.5	190.6	470.8	151.3	47.5	17.1	6.5	1.4	0.1	0.0
1994-95	0.0	3.3	102.9	350.3	895.5	793.9	184.6	57.0	28.3	12.9	4.1	0.5
1995-96	0.0	3.7	56.8	607.3	755.4	250.7	72.0	21.0	9.8	6.1	1.3	0.2
1996-97	0.0	0.0	38.8	382.2	909.1	243.0	75.6	28.5	11.1	5.7	2.0	0.2
1997-98	0.0	40.5	145.4	588.7	620.3	367.0	106.0	39.7	18.7	8.2	3.9	0.8
1998-99	0.2	0.0	39.4	348.8	836.8	344.8	77.2	29.4	12.7	4.8	0.9	0.1
1999-00	0.0	0.0	47.8	343.7	816.9	635.7	126.4	48.1	18.9	6.2	3.1	1.7
Moy	0.4	6.6	88.1	379.3	571.4	275.7	69.9	25.0	11.3	5.0	1.8	0.6
ET	0.5	10.1	45.5	190.6	218.9	171.3	36.7	11.3	5.3	2.8	1.4	0.7
CV	1.4	1.5	0.5	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.8	1.1
Min	0.0	0.0	25.3	122.4	153.1	110.4	26.4	8.5	2.8	0.6	0.1	0.0
Qinf	0.0	0.1	56.3	201.3	406.1	158.6	47.9	17.2	8.4	3.2	0.7	0.1
Méd	0.1	2.6	72.9	359.2	576.3	214.5	57.5	21.1	10.1	4.3	1.2	0.3
Qsup	0.6	7.7	111.2	520.7	742.6	328.5	76.0	29.2	13.3	6.9	3.1	1.0
Max	1.9	40.5	239.0	809.5	942.3	793.9	184.6	57.0	28.3	12.9	4.9	2.3

Tableau 3.18 Débits moyens mensuels de Gouloubou en m3/s

Année	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr
1970-71	0.2	3.1	111.4	932.0	875.9	262.1	88.8	39.9	19.8	11.6	6.6	3.5
1971-72	2.5	8.0	94.3	604.6	710.0	264.2	65.7	26.2	12.8	7.6	3.8	2.5
1972-73	2.4	22.5	125.7	447.5	451.1	203.1	76.5	34.6	16.9	9.2	4.7	2.5
1973-74	1.9	16.5	65.6	757.7	799.0	200.8	63.6	26.4	13.1	7.0	3.7	2.3
1974-75	1.5	16.0	259.8	830.6	1134.8	754.8	151.2	53.9	22.5	10.5	4.9	2.5
1975-76	1.4	2.1	132.4	313.2	1091.6	828.9	134.7	48.0	20.8	10.4	4.0	1.8
1976-77	1.4	2.0	168.4	414.4	419.1	432.5	200.1	57.6	26.9	12.6	5.3	2.0
1977-78	1.2	6.3	23.1	128.1	488.5	300.8	64.6	21.8	10.1	4.7	2.0	1.0
1978-79	0.8	11.9	129.8	619.2	871.7	854.2	262.2	73.4	28.9	11.7	4.4	1.6
1979-80	1.1	3.0	64.0	291.5	427.2	377.9	126.7	38.7	15.6	5.6	1.8	0.9
1980-81	0.6	11.6	110.4	601.7	781.4	207.2	61.4	25.0	10.5	4.3	1.4	0.6
1981-82	0.8	4.0	42.8	455.9	673.4	224.3	77.4	23.9	10.0	3.9	1.1	0.5
1982-83	0.5	1.3	68.6	249.5	649.9	291.8	83.1	29.2	11.9	4.5	1.6	0.6
1983-84	0.4	8.2	62.9	128.1	301.4	133.3	32.6	10.6	4.5	1.7	0.5	0.3
1984-85	0.3	29.0	190.4	198.0	235.0	330.9	56.4	17.4	5.3	1.3	0.4	0.3
1985-86	0.2	0.6	116.9	593.8	887.5	365.1	80.6	27.8	12.8	4.4	1.5	0.7
1986-87	0.3	0.3	63.2	153.9	509.1	348.0	77.7	26.4	12.1	4.5	0.9	0.4
1987-88	0.2	0.5	64.1	158.1	353.3	463.6	104.7	30.8	11.4	4.2	1.0	0.4
1988-89	0.3	1.7	52.3	500.0	765.6	277.7	85.1	31.2	11.5	4.5	1.2	0.4
1989-90	0.3	2.1	76.3	473.8	794.0	389.6	97.7	41.1	16.3	5.3	1.2	0.3
1990-91	0.2	0.3	55.1	353.5	393.0	221.6	66.4	23.9	7.3	1.6	0.6	0.3
1991-92	0.2	0.2	64.0	457.5	498.5	269.0	88.7	31.7	11.2	7.7	1.7	0.3
1992-93	0.2	0.6	86.0	224.8	494.1	182.6	63.5	26.0	13.6	4.9	1.3	0.4
1993-94	0.2	0.2	65.7	237.0	487.3	203.4	66.0	24.9	7.8	1.9	0.3	0.2
1994-95	0.2	1.0	100.9	380.6	971.0	969.2	280.5	86.7	41.5	18.1	6.1	1.0
1995-96	0.2	4.3	62.0	588.4	886.2	325.9	84.6	32.9	12.9	8.1	2.4	0.5
1996-97	0.2	0.2	39.1	449.3	1031.2	373.6	132.9	42.4	15.6	7.3	3.1	0.5
1997-98	0.2	49.5	197.3	696.6	813.6	515.4	166.0	59.0	27.1	11.2	5.3	1.4
1998-99	0.4	0.1	31.9	369.3	1002.3	572.7	115.8	42.1	17.7	6.5	1.5	0.2
1999-00	0.2	0.2	44.5	407.2	1086.9	1006.0	231.9	73.9	27.9	9.9	4.4	2.3
Moy	0.7	6.9	92.3	433.9	696.1	405.0	109.6	37.6	15.9	6.9	2.6	1.1
ET	0.7	10.9	54.6	211.0	259.7	241.9	62.2	17.8	8.1	3.9	1.9	0.9
CV	1.0	1.6	0.6	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.7	0.9
Min	0.2	0.1	23.1	128.1	235.0	133.3	32.6	10.6	4.5	1.3	0.3	0.2
Qinf	0.2	0.5	62.2	260.0	487.6	233.8	66.1	26.0	11.3	4.4	1.2	0.4
Méd	0.3	2.1	67.2	430.9	737.8	328.4	84.8	31.5	13.0	6.1	1.8	0.6
Qsup	1.0	8.2	115.6	592.5	883.6	455.8	131.3	42.3	19.3	9.7	4.3	1.7
Max	2.5	49.5	259.8	932.0	1134.8	1006.0	280.5	86.7	41.5	18.1	6.6	3.5

Afin de caractériser la variabilité saisonnière et inter-annuelle des débits mensuels, on a porté dans le tableau 3.19 :

- les coefficients mensuels de débits (CMD) égaux au débit mensuel divisé par le module
- les coefficients de variation mensuels, égaux aux écarts type divisés par la moyenne mensuelle

Tableau 3.19 CMD et CV des stations principales de la Gambie

Stations		M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
Kédougou	Q (m3/s)	0.4	9.3	75.5	265.3	320.6	143.6	45.2	19.0	9.9	4.9	1.6	0.3
	CMD	0.0	0.1	1.0	3.5	4.3	1.9	0.6	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
	CV	2.6	1.1	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.8	1.8
Mako	Q (m3/s)	0.3	8.3	78.2	302.7	398.6	168.8	50.4	21.1	10.9	5.0	1.7	0.3
	CMD	0.0	0.1	0.9	3.5	4.6	1.9	0.6	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
	CV	2.5	1.1	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.7	1.4
Wassadou Aval	Q (m3/s)	0.4	6.6	88.1	379.3	571.4	275.7	69.9	25.0	11.3	5.0	1.8	0.6
	CMD	0.0	0.1	0.7	3.2	4.8	2.3	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
	CV	1.4	1.5	0.5	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.8	1.1
Gouloumbou	Q (m3/s)	0.7	6.9	92.3	433.9	696.1	405.0	109.6	37.6	15.9	6.9	2.6	0.0
	CMD	0.0	0.0	0.6	2.9	4.6	2.7	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
	CV	1.6	0.6	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0

6.1 Variabilité saisonnière de l'écoulement

Le bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou appartient à deux domaines : le sud-soudanien avec comme station représentative Kédougou et le nord-soudanien représenté par Gouloumbou. Dans ces domaines, les régimes hydrologiques, fonction des précipitations, ont leur hautes eaux qui durent 4 à 5 mois (Frécaut R 1982). On parle de hautes eaux quand le coefficient mensuel de débit (CMD) est supérieur à 1. Pour la Gambie à ses principales stations, on constate :

- A la station de Kédougou, une période de hautes eaux qui dure 4 mois (de Juillet à Octobre) et une de basses eaux qui s'étale de Novembre (moment où les précipitations commencent à se faire rares) à Juin. L'absence d'une nappe importante ne permet pas d'étaler la période des hautes eaux au-delà de quatre mois.
- Au niveau des autres stations, les hautes eaux ne durent que trois mois (Août-Octobre). Contrairement à Kédougou qui est dans le domaine tropical de transition, ces stations sont dans le domaine tropical pur où les précipitations sont inférieures à 1000 mm par an et durent

trois à quatre mois. La période des basses eaux est ici plus longue. Elle va de Novembre à Juillet soit 9 mois.

Ce que nous pouvons retenir d'essentiel dans cette évolution des CMD, c'est :

- Une division de l'année hydrologique en deux périodes inégales : une période des hautes eaux qui dure 3 à 4 mois et qui fournit l'essentiel de l'écoulement et une période de basses eaux de 8 à 9 mois durant laquelle l'écoulement peut s'annuler.
- De Février à Mai, le CMD est inférieur à 0.1 ce qui traduit la sévérité des étiages de la Gambie
- Le régime hydrologique de la Gambie est fortement tributaire du régime pluviométrique. La période des hautes eaux correspond toujours aux mois les plus pluvieux (Juillet, Août, Septembre). La crue annuelle a généralement lieu en Septembre comme cela ressort de l'étude des maxima de crue et se trouve décalée d'environ un mois par rapport au maximum pluviométrique qui intervient au mois d'Août (figure 3.23).
- Comme le maximum mensuel, le minimum est assez stable et intervient généralement au mois de Mai en fin de saison sèche.

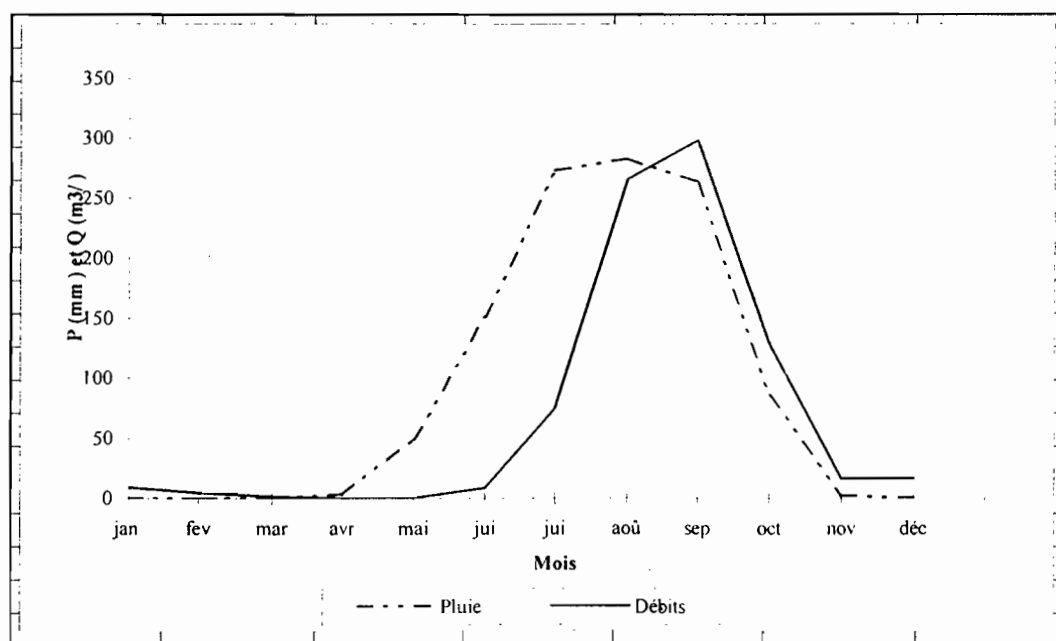


Figure 3.23 Pluviométrie et Ecoulements à Kédougou (1970-1992) d'après L. konaté (1998)

6.2 Variabilité inter-annuelle des débits moyens mensuels

A l'instar des autres paramètres qui caractérisent l'écoulement fluvial, les débits moyens mensuels connaissent une variabilité inter-annuelle non négligeable qu'il importe d'appréhender.

La variabilité inter-annuelle des débits moyens mensuels se note à travers les valeurs des coefficients de variation qui traduisent leur dispersion autour de la moyenne. L'irrégularité mensuelle inter-annuelle est importante et existe en toutes saisons. Pendant la saison pluvieuse de Juillet à Novembre, si on considère l'ensemble de nos stations, le coefficient de variation varie entre 0.3 et 0.6, les plus faibles valeurs étant enregistrées au mois de Septembre, moment où est enregistré le maximum.

En saison sèche les valeurs du coefficient de variation augmentent de façon importante (0.4 à 2.6). Ceci montre que les basses eaux sont plus irrégulières que les hautes eaux et traduit le caractère d'immodération typique du régime des écoulements dans les bassins des régions tropicales. Ces irrégularités diminuent cependant de l'amont vers l'aval.

III – 7 Les débits classés et caractéristiques

Les débits classés s'obtiennent en classant du plus grand au plus petit les débits moyens journaliers de chaque année hydrologique. Lorsque les débits sont classés, il est facile d'obtenir pour chaque année les débits caractéristiques suivants :

- DMAX ou débit maximum : débit journalier maximum de l'année
- DCC ou débit caractéristique de crue : débit atteint ou dépassé pendant 10 jours de l'année
- DC1 et DC3 : débits respectivement atteints ou dépassés pendant 1 et 3 mois
- DC6 : débit dépassé pendant 6 mois de l'année (c'est aussi le débit médian)
- DC9, DC11 : débits respectivement non dépassés pendant 3 et 6 mois
- DCE ou débit caractéristique d'étiage : débit non dépassé pendant 10 jours de l'année
- DMIN ou étiage absolu : débit journalier minimal de l'année

Ces valeurs caractéristiques peuvent ensuite faire l'objet d'études fréquentielles qui caractérisent le régime d'un bassin. Ce sera le cas pour les DMAX qui seront étudiés au chapitre suivant pour l'étude des crues.

Les valeurs des débits caractéristiques de chaque station sont données dans les tableaux 3.20 à 3.23 ci-dessous.

Ces tableaux montrent particulièrement la sévérité des étiages sur le bassin de la Gambie. Si l'on examine les valeurs médianes du DC9 (débit dépassé 9 mois dans l'année), on constate que pour la moitié des années hydrologiques, on a observé pendant 3 mois un débit inférieur à :

1.7 m³/s à Kédougou

1.4 m³/s à Mako

1.0 m³/s à Wassadou Aval

1.4 m³/s à Gouloumbou (basé sur des valeurs reconstituées imprécises)

Tableau 3.20 : Débits caractéristiques de Kédougou

Année	DMIN	DCE	DC11	DC9	MED	DC3	DC1	DCC	DMAX
1970-71	0.11	0.22	1.10	4.58	19.4	105	481	665	1047
1971-72	0.00	0.03	0.28	2.29	12.0	76	262	452	655
1972-73	0.00	0.00	0.00	3.02	26.4	99	248	338	652
1973-74	0.00	0.00	0.05	2.72	14.2	71	367	473	682
1974-75	0.00	0.00	0.00	3.06	17.7	164	444	568	797
1975-76	0.00	0.00	0.03	2.00	15.3	103	350	574	986
1976-77	0.00	0.00	0.04	3.61	21.5	134	252	338	703
1977-78	0.00	0.00	0.10	2.00	11.4	42	212	422	581
1978-79	0.00	0.00	0.00	3.65	18.8	131	368	493	756
1979-80	0.00	0.00	0.02	1.32	13.8	85	158	247	384
1980-81	0.00	0.00	0.00	1.50	15.2	80	342	526	917
1981-82	0.00	0.00	0.02	2.76	12.5	63	291	411	661
1982-83	0.00	0.00	0.00	0.53	13.8	74	238	372	463
1983-84	0.00	0.00	0.00	0.23	9.3	42	153	200	284
1984-85	0.00	0.00	0.00	0.16	7.6	67	103	139	321
1985-86	0.00	0.00	0.00	0.75	10.9	100	326	461	769
1986-87	0.00	0.00	0.00	2.75	12.5	67	175	237	331
1987-88	0.00	0.00	0.00	0.90	12.6	72	214	334	500
1988-89	0.00	0.00	0.00	0.17	9.7	94	264	373	649
1989-90	0.00	0.00	0.00	0.34	14.6	79	308	502	839
1990-91	0.00	0.00	0.00	0.04	12.4	92	226	311	385
1991-92	0.00	0.00	0.00	0.02	11.0	90	255	343	671
1992-93	0.00	0.00	0.00	0.03	9.4	74	178	305	422
1993-94	0.00	0.00	0.00	0.05	9.2	63	247	346	520
1994-95	0.00	0.00	0.00	5.62	23.8	179	421	618	890
1995-96	0.00	0.00	0.00	1.53	12.6	94	351	545	686
1996-97	0.00	0.00	0.00	1.89	14.4	91	311	512	751
1997-98	0.00	0.15	0.66	6.21	29.6	150	350	575	737
1998-99	0.00	0.00	0.00	1.55	15.7	120	369	526	931
1999-00	0.00	0.00	0.00	2.57	18.6	152	350	484	705
Moy	0.0	0.0	0.1	1.9	14.9	95.0	287.1	423.0	655.8
ET	0.0	0.0	0.2	1.7	5.2	34.1	90.6	129.9	203.6
CV	5.5	3.6	3.0	0.9	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	41.7	103.0	139.4	284.1
Qinf	0.0	0.0	0.0	0.4	11.6	72.4	229.2	338.0	505.0
Méd	0.0	0.0	0.0	1.7	13.8	90.6	277.1	437.0	676.5
Qsup	0.0	0.0	0.0	2.8	17.2	104.4	350.0	522.5	765.8
Max	0.1	0.2	1.1	6.2	29.6	178.6	481.0	665.0	1047.0

Tableau 3.21 : Débits caractéristiques de Mako

Année	DMIN	DCE	DC11	DC9	MED	DC3	DC1	DCC	DMAX
1970-71	0.12	0.13	0.39	3.73	20.0	108	521	740	1028
1971-72	0.00	0.04	0.12	1.46	14.0	78	319	518	769
1972-73	0.00	0.00	0.00	2.19	25.6	107	269	360	682
1973-74	0.00	0.00	0.04	2.51	16.5	76	442	591	880
1974-75	0.00	0.00	0.00	2.64	18.6	176	541	638	948
1975-76	0.00	0.00	0.04	1.21	16.2	119	455	808	1290
1976-77	0.00	0.00	0.00	2.71	24.7	143	276	388	678
1977-78	0.00	0.00	0.08	1.54	12.2	47	271	521	558
1978-79	0.00	0.00	0.00	2.78	21.3	160	460	643	1056
1979-80	0.00	0.00	0.02	0.31	14.5	94	195	298	380
1980-81	0.00	0.00	0.00	1.27	17.0	97	358	644	936
1981-82	0.00	0.00	0.04	2.09	12.2	69	334	506	639
1982-83	0.00	0.00	0.00	0.37	14.4	80	274	405	500
1983-84	0.00	0.00	0.00	0.29	9.4	44	166	221	267
1984-85	0.00	0.00	0.00	0.75	7.9	76	118	167	329
1985-86	0.00	0.00	0.00	1.31	13.2	123	396	529	866
1986-87	0.00	0.00	0.00	1.44	12.9	74	229	285	454
1987-88	0.00	0.00	0.00	1.14	13.5	71	248	377	573
1988-89	0.00	0.00	0.00	0.88	10.5	90	303	442	729
1989-90	0.00	0.00	0.00	0.89	15.2	83	381	613	968
1990-91	0.00	0.00	0.00	0.24	13.2	96	271	354	422
1991-92	0.00	0.00	0.00	0.09	11.4	104	310	422	869
1992-93	0.00	0.00	0.00	0.76	9.2	71	181	385	448
1993-94	0.00	0.00	0.00	0.11	9.7	55	290	408	529
1994-95	0.02	0.07	0.29	5.60	27.0	229	557	820	998
1995-96	0.03	0.05	0.06	2.34	17.0	102	528	795	980
1996-97	0.00	0.00	0.00	1.46	15.4	93	427	685	1083
1997-98	0.03	0.16	0.64	6.32	32.6	161	454	674	882
1998-99	0.00	0.00	0.05	2.44	18.6	123	463	627	1189
1999-00	0.00	0.00	0.00	2.78	22.1	147	440	594	860
Moy	0.0	0.0	0.1	1.8	16.2	103.2	349.3	515.3	759.7
ET	0.0	0.0	0.1	1.5	5.8	41.0	119.9	175.4	269.7
CV	3.5	2.6	2.4	0.8	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4
Min	0.0	0.0	0.0	0.1	7.9	44.3	117.7	166.8	266.7
Qinf	0.0	0.0	0.0	0.8	12.4	75.7	271.1	385.8	536.3
Méd	0.0	0.0	0.0	1.4	14.8	95.0	326.5	519.5	814.5
Qsup	0.0	0.0	0.0	2.5	18.6	121.7	451.0	641.8	963.0
Max	0.1	0.2	0.6	6.3	32.6	229.4	557.0	820.0	1290.0

Tableau 3.22 : Débits caractéristiques de Wassadou Aval

Année	DMIN	DCE	DC11	DC9	MED	DC3	DC1	DCC	DMAX
1970-71	0.00	0.00	0.00	3.78	21.5	128	730	981	1074
1971-72	1.45	1.45	1.57	2.32	15.0	109	519	716	884
1972-73	1.32	1.43	1.45	4.36	23.9	133	341	490	618
1973-74	1.20	1.20	1.32	3.49	17.9	86	642	811	1017
1974-75	0.94	1.03	1.11	3.89	24.3	341	895	1036	1147
1975-76	0.77	0.77	0.86	1.34	17.6	153	778	1143	1234
1976-77	0.71	0.71	0.77	2.44	23.7	176	374	489	619
1977-78	0.31	0.45	0.71	1.43	12.4	60	331	592	706
1978-79	0.31	0.36	0.77	3.34	25.0	297	719	886	1081
1979-80	0.40	0.45	0.64	0.94	14.0	142	282	429	466
1980-81	0.19	0.22	0.31	0.85	15.3	102	518	815	937
1981-82	0.16	0.17	0.22	1.13	10.6	92	506	658	724
1982-83	0.14	0.16	0.27	0.95	11.4	103	358	555	606
1983-84	0.06	0.09	0.12	0.36	7.5	66	199	294	339
1984-85	0.03	0.04	0.06	0.31	7.1	122	199	281	491
1985-86	0.02	0.02	0.03	0.78	12.5	142	651	924	1043
1986-87	0.01	0.01	0.02	0.28	10.4	85	348	456	655
1987-88	0.00	0.01	0.04	0.47	9.9	112	342	533	627
1988-89	0.00	0.00	0.04	1.02	6.4	120	515	657	861
1989-90	0.00	0.00	0.00	0.70	16.0	115	550	861	1078
1990-91	0.00	0.00	0.00	0.13	7.1	112	338	415	439
1991-92	0.00	0.00	0.00	0.06	9.5	139	400	526	774
1992-93	0.00	0.00	0.01	0.18	12.2	100	280	508	578
1993-94	0.00	0.00	0.00	0.03	8.5	83	376	483	518
1994-95	0.00	0.00	0.00	2.23	31.6	266	844	1181	1249
1995-96	0.01	0.01	0.02	1.13	11.5	141	634	1024	1070
1996-97	0.00	0.00	0.00	0.15	13.0	135	592	1075	1200
1997-98	0.00	0.00	0.00	4.11	36.3	174	603	829	957
1998-99	0.00	0.00	0.04	0.18	13.8	128	651	993	1058
1999-00	0.00	0.00	0.00	1.79	22.1	171	757	893	962
Moy	0.3	0.3	0.3	1.5	15.6	137.8	509.1	717.8	833.7
ET	0.4	0.5	0.5	1.4	7.5	63.3	193.8	259.6	265.4
CV	1.6	1.6	1.4	0.9	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	60.3	198.9	280.7	339.0
Qinf	0.0	0.0	0.0	0.3	10.4	102.4	343.5	494.5	618.3
Méd	0.0	0.0	0.0	1.0	13.4	125.1	516.5	687.0	872.5
Qsup	0.3	0.4	0.7	2.3	20.6	142.4	648.8	916.3	1067.0
Max	1.4	1.4	1.6	4.4	36.3	341.0	895.0	1181.0	1249.0

Tableau 3.23 : Débits caractéristiques de Gouloumbou

Année	DMIN	DCE	DC11	DC9	MED	DC3	DC1	DCC	DMAX
1970-71	0.2	0.2	0.2	4.9	27.3	151	955	1119	1162
1971-72	2.2	2.3	2.5	3.3	18.8	145	688	893	952
1972-73	2.0	2.0	2.2	5.7	30.1	182	435	592	705
1973-74	1.7	1.7	1.9	4.7	22.2	119	812	951	1101
1974-75	1.4	1.5	1.5	5.1	32.9	451	1105	1170	1212
1975-76	1.2	1.2	1.4	2.8	26.3	262	1086	1345	1421
1976-77	1.3	1.3	1.4	3.3	31.8	264	522	638	700
1977-78	0.7	0.9	1.1	1.9	14.4	75	349	694	794
1978-79	0.7	0.7	1.2	4.9	37.3	429	859	1038	1169
1979-80	0.7	0.8	1.0	1.4	19.7	220	401	541	591
1980-81	0.5	0.5	0.6	1.2	18.4	138	669	975	994
1981-82	0.4	0.4	0.5	1.5	13.3	132	551	769	848
1982-83	0.4	0.4	0.5	1.2	15.1	146	465	723	767
1983-84	0.3	0.3	0.3	0.6	8.5	79	232	336	363
1984-85	0.2	0.3	0.3	0.6	13.7	169	279	392	585
1985-86	0.2	0.2	0.2	1.1	17.8	198	773	1045	1068
1986-87	0.2	0.2	0.3	0.6	14.3	115	474	568	664
1987-88	0.1	0.2	0.2	0.8	12.4	146	372	609	653
1988-89	0.2	0.2	0.4	1.4	11.3	162	665	828	941
1989-90	0.2	0.2	0.3	1.1	23.5	156	687	892	1085
1990-91	0.2	0.2	0.2	0.4	8.7	109	388	452	483
1991-92	0.2	0.2	0.2	0.3	11.6	179	449	614	795
1992-93	0.2	0.2	0.2	0.8	14.4	133	345	551	635
1993-94	0.2	0.2	0.2	0.2	8.9	103	415	512	548
1994-95	0.2	0.2	0.2	2.8	42.0	345	1037	1245	1270
1995-96	0.2	0.2	0.2	1.6	14.2	144	757	990	1040
1996-97	0.2	0.2	0.2	0.3	16.3	213	743	1164	1202
1997-98	0.2	0.2	0.2	5.0	49.7	254	771	1025	1100
1998-99	0.0	0.0	0.1	0.4	16.6	153	840	1158	1187
1999-00	0.2	0.2	0.2	2.3	28.9	263	1104	1192	1222
Moy	0.5	0.6	0.7	2.1	20.7	187.8	640.9	834.0	908.6
ET	0.6	0.6	0.7	1.7	10.3	91.7	258.7	282.6	274.5
CV	1.1	1.1	1.0	0.8	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3
Min	0.0	0.0	0.1	0.2	8.5	75.0	232.2	336.0	363.0
Qinf	0.2	0.2	0.2	0.7	13.8	133.9	420.0	596.3	673.0
Méd	0.2	0.2	0.3	1.4	17.2	154.8	667.0	860.0	946.5
Qsup	0.7	0.8	1.1	3.2	27.1	218.0	802.3	1043.3	1146.8
Max	2.2	2.3	2.5	5.7	49.7	451.0	1105.0	1345.0	1421.0

III.8 Etude des crues

C'est à l'échelle des débits maxima journaliers qu'a été menée notre étude sur les crues. Dans le tableau 3.24 sont indiqués la date du maximum journalier, les débits bruts et spécifiques correspondants, et le coefficient de puissance de crue de Coutagne et Pardé donné par la formule :

$$A = Q / S^{0.5} \quad \text{avec } Q = \text{débit maximum de crue et } S = \text{superficie en km}^2.$$

Ce coefficient a été calculé à partir des débits moyens journaliers.

8.1 Forme des crues

Les 4 stations principales du bassin de la Gambie ont un comportement assez différent du point de vue des crues. Pour illustrer cela, on trouvera à la figure 3.24 les crues observées en 1999 aux 4 stations. A Kédougou et à Mako, on observe 3 crues bien individualisées, qui sont relativement indépendantes entre elles. A mesure que l'on progresse vers l'aval, on constate que ces crues sont de plus en plus étalées, et tendent à se mélanger. A Gouloumbou, il s'en faut de peu que les 3 crues de Kédougou et de Mako ne soient mélangées en une seule, et on observe presque une courbe en cloche.

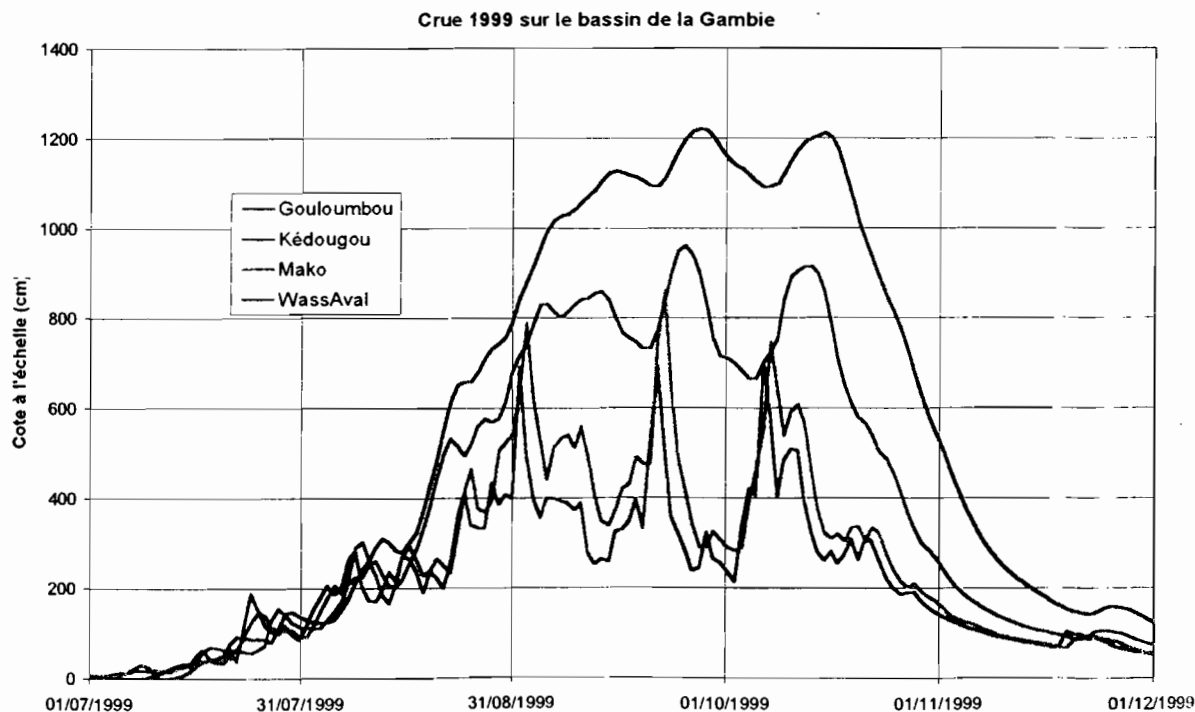


Figure 3.24

La figure 3.25 montre pour les stations de Kédougou et de Gouloumbou l'allure des crues en année forte et en année faible. Elle dénote la grande variabilité des crues.

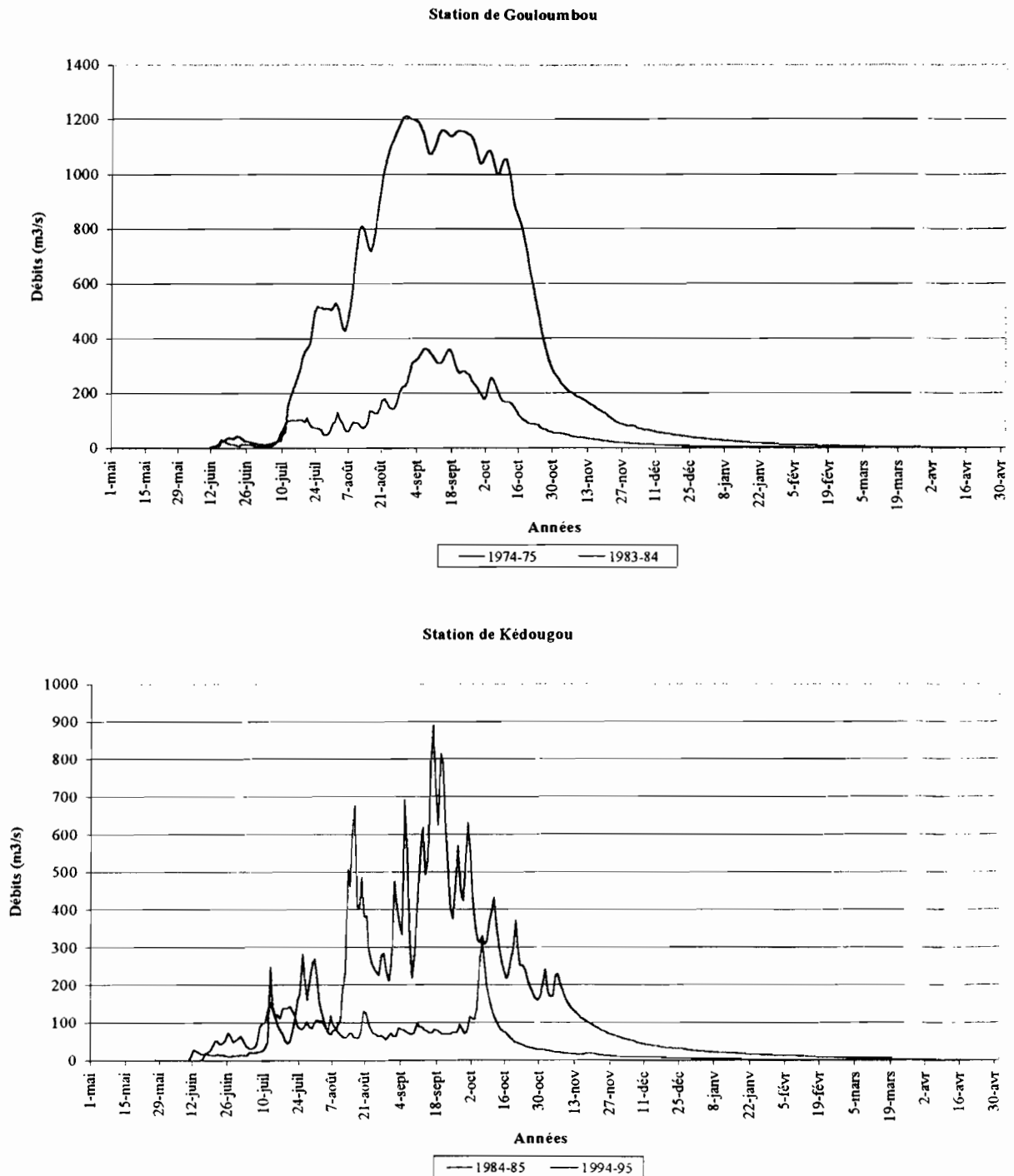


Figure 3.25 Crues à Kédougou et Gouloumbou en année forte et année faible

Tableau 3.24 Dates, Débits Q (m3/s), Débits spécifiques Q spéc (l/s/km2) et Coefficients de puissance des crues des stations

Année	Kédougou (7653 km²)				Mako (10564 km²)				Wassadou Aval (32992 km²)				Gouloubou (41945 km²)			
	Date	Q	Qspéc	A	Date	Q	Qspéc	A	Date	Q	Qspéc	A	Date	Q	Qspéc	A
70-71	09/08/70	1047	137	12	06/09/70	1028	97	10	14/08/70	1074	33	6	25/08/70	1162	28	6
71-72	11/08/71	655	86	8	12/08/71	769	72	8	15/08/71	884	27	5	17/08/71	952	23	5
72-73	19/08/72	652	85	8	19/08/72	682	64	7	21/08/72	618	19	3	23/08/72	705	17	3
73-74	07/09/73	682	89	8	08/09/73	880	83	9	10/09/73	1017	31	6	13/09/73	1101	26	5
74-75	25/08/74	797	104	9	26/08/74	948	89	9	28/08/74	1147	35	6	30/08/74	1212	29	6
75-76	20/09/75	986	129	11	21/09/75	1290	121	13	25/09/75	1234	37	7	03/10/75	1421	34	7
76-77	18/08/76	703	92	8	19/08/76	678	64	7	21/08/76	619	19	3	29/09/76	700	17	3
77-78	16/09/77	581	76	7	21/09/77	558	52	5	22/09/77	706	21	4	23/09/77	794	19	4
78-79	27/09/78	756	99	9	18/09/78	1056	99	10	01/10/78	1081	33	6	02/10/78	1169	28	6
79-80	27/09/79	384	50	4	05/10/79	380	36	4	30/08/79	466	14	3	05/09/79	591	14	3
80-81	11/08/80	917	120	11	12/08/80	936	88	9	31/08/80	937	28	5	01/09/80	994	24	5
81-82	23/08/81	661	86	8	24/08/81	639	60	6	22/09/81	724	22	4	23/09/81	848	20	4
82-83	15/09/82	463	61	5	15/09/82	500	47	5	05/09/82	606	18	3	09/09/82	767	18	4
83-84	29/09/83	284	37	3	30/09/83	267	25	3	15/09/83	339	10	2	07/09/83	362	9	2
84-85	06/10/84	321	42	4	07/10/84	329	31	3	09/10/84	491	15	3	11/10/84	585	14	3
85-86	05/09/85	769	101	9	06/09/85	866	81	8	10/09/85	1043	32	6	12/09/85	1068	26	5
86-87	04/09/86	331	43	4	05/09/86	454	43	4	07/09/86	655	20	4	08/09/86	664	16	3
87-88	13/10/87	500	65	6	14/10/87	573	54	6	17/10/87	627	19	4	19/10/87	653	16	3
88-89	07/09/88	649	85	7	08/09/88	729	68	7	10/09/88	861	26	5	11/09/88	941	22	5
89-90	17/08/89	839	110	10	18/08/89	968	91	9	22/09/89	1078	33	6	24/09/89	1085	26	5
90-91	08/09/90	385	50	4	09/09/90	422	40	4	12/09/90	439	13	2	13/09/90	483	12	2
91-92	23/08/91	671	88	8	23/08/91	869	82	9	26/08/91	774	24	4	28/08/91	795	19	4
92-93	31/08/92	422	55	5	06/09/92	448	42	4	09/09/92	578	18	3	13/09/92	635	15	3
93-94	30/08/93	520	68	6	31/08/93	529	50	5	18/09/93	518	16	3	19/09/93	548	13	3
94-95	16/09/94	890	116	10	17/09/94	998	94	10	05/10/94	1249	38	7	07/10/94	1270	30	6
95-96	24/08/95	686	90	8	25/08/95	980	92	10	05/09/95	1070	32	6	09/09/95	1040	25	5
96-97	06/09/96	751	98	9	08/09/96	1083	102	11	11/09/96	1200	36	7	14/09/96	1202	29	6
97-98	07/09/97	737	96	8	18/08/97	882	83	9	01/09/97	957	29	5	02/09/97	1100	26	5
98-99	23/08/98	931	122	11	13/09/98	1189	112	12	16/09/98	1058	32	6	24/09/98	1187	28	6
99-00	06/10/99	705	92	8	22/09/99	860	81	8	25/09/99	962	29	5	27/09/99	1222	29	6
Min	9-août	284	37	3	12-août	267	25	3	14-août	339	10	2	17-août	362	9	2
Q inf	23-août	505	66	6	24-août	536	50	5	31-août	618	19	3	5-sept	673	16	3
Méd	5-sept	677	88	8	7-sept	815	76	8	10-sept	873	26	5	13-sept	947	23	5
Qsup	16-sept	766	100	9	17-sept	963	90	9	22-sept	1067	32	6	24-sept	1147	27	6
Max	13-oct	1047	137	12	14-oct	1290	121	13	17-oct	1249	38	7	19-oct	1421	34	7

Le coefficient A de puissance des crues donné au tableau 3.24 permet dans une certaine mesure de comparer entre elles des crues de bassins de taille différente. On note qu'il a tendance à diminuer de l'amont vers l'aval, probablement en raison de l'abaissement de la pente, de l'augmentation de la perméabilité et de la diminution des pluies.

8.2 La date d'apparition des maxima annuels

Les calculs statistiques figurant en bas du tableau 3.24 permettent d'analyser la répartition des maxima annuels dans le temps. Les résultats des périodes d'occurrence des crues sont indiqués dans le tableau 3.25 ci-dessous.

Tableau 3.25 Dates d'occurrence des crues

Station	Quart Inférieur (précoces)	Moitié	Quart Supérieur (tardives)
Kédougou	09 Août au 23 Août	23 Août au 16 Sept	16 Sept au 13 Oct
Mako	12 Août au 24 Août	24 Août au 17 Sept	17 Sept au 14 Oct
Wassadou Aval	14 Août au 31 Août	31 Août au 22 Sept	22 Sept au 17 Oct
Gouloumbou	17 Août au 05 Sept	05 Sept au 24 Sept	24 Sept au 19 Oct

Le temps de propagation des crues de Kédougou à Gouloumbou est de l'ordre de 8 jours, mais peut varier entre 5 et 15 jours. Les crues précoces se propagent généralement moins vite que les crues tardives, car elles doivent d'abord remplir le lit du fleuve et les zones inondables, et sont donc fortement amorties si elles ne coïncident pas avec des crues sur les sous bassins avals. Le temps de propagation des crues dépend donc de l'état de remplissage du fleuve, et des apports à l'aval de Kédougou, qui peuvent modifier sensiblement la crue de Kédougou. Il arrive d'ailleurs parfois que la crue maximale à Kédougou ne corresponde pas à la crue maximale à Gouloumbou, lorsque cette crue est amortie en raison d'un déficit des apports des bassins intermédiaires.

8.3 Etude statistique des maxima de crue

La distribution statistique des séries de maxima annuels de crue a été étudiée en ajustant aux échantillons les dix lois statistiques utilisées dans l'étude des modules annuels. Cette étude statistique montre que la loi exponentielle de Goodrich est celle qui s'ajuste le mieux aux distributions expérimentales des maxima de crue.

La figure 3.26 illustre la distribution statistique des cinq échantillons et le tableau 3.26 présente les résultats de la prédétermination des maxima de crue correspondant à diverses périodes de retour.

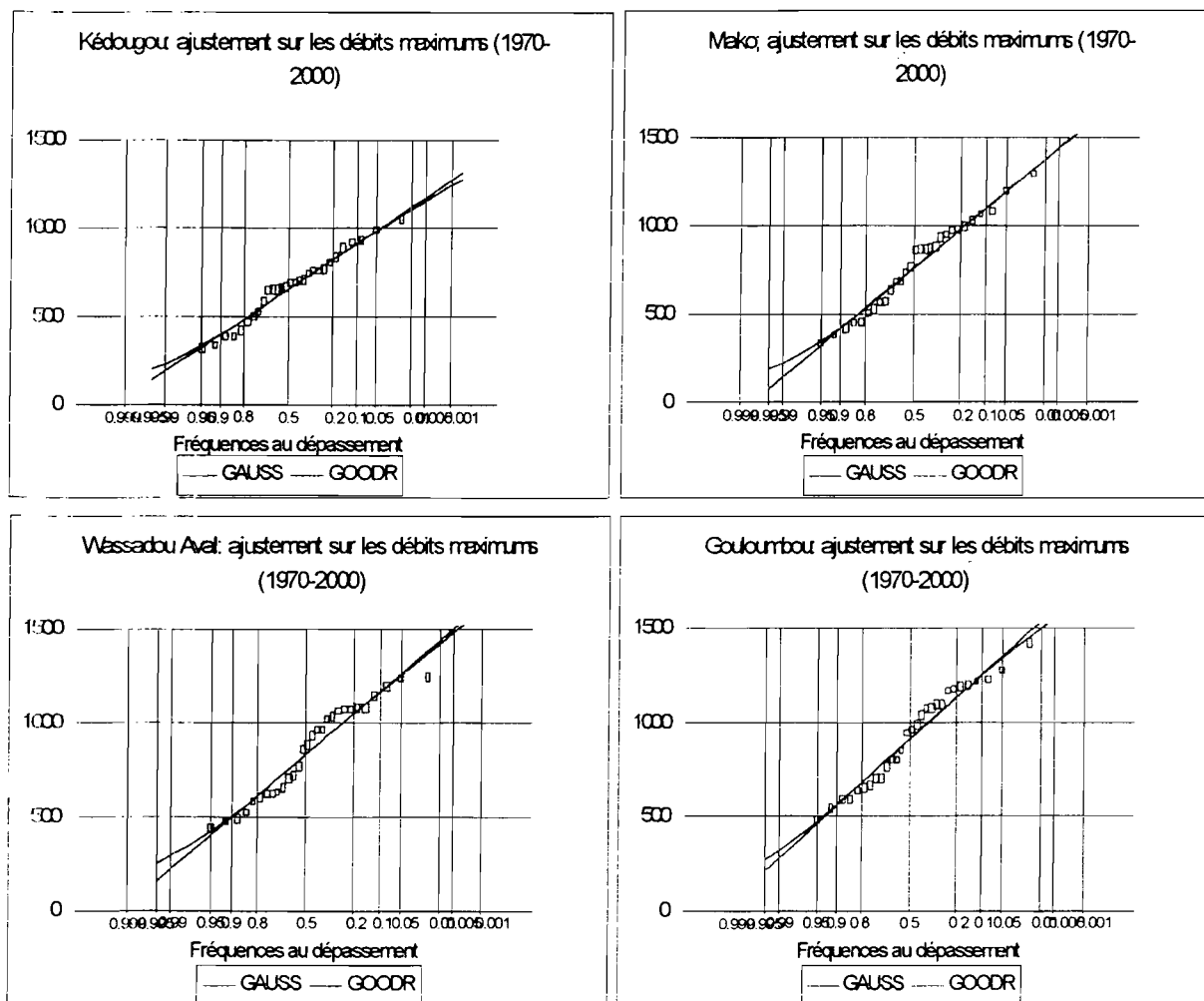


Figure 3.26 Ajustements de la loi de Goodrich aux débits maxima

Tableau 3.26 Fréquence des débits de crue sur la Gambie en amont de Gouloubou

TR (ans)	Récurrences sèches					Médiane	Récurrences humides				
Station	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100
Kédougou	230.2	269.1	335.3	400.7	485.7	656.2	826.1	912.3	981.8	1058.1	1107.8
Mako	224.7	269.0	347.0	426.5	532.8	754.4	983.8	1103.0	1200.2	1308.1	1379.0
Wassadou Aval	293.1	341.3	424.2	506.7	614.7	833.6	1054.0	1166.5	1257.5	1357.7	1423.1
Gouloubou	322.4	379.0	473.7	565.5	682.8	913.0	1137.4	1249.8	1339.8	1438.0	1501.6

Les pointes de crue maximales enregistrées aux différentes stations ont une récurrence cinquantennale aussi bien pour les périodes humides que sèches.

D'une manière générale, la distribution des débits de pointe traduit leur grande variabilité caractérisée par le coefficient de variation représenté au tableau 3.27. Même si ce coefficient varie peu d'une station à une autre, il traduit l'irrégularité inter-annuelle.

Tableau 3.27 Coefficients de variations des maxima de crues

Stations	Cv
Kédougou	0.3
Mako	0.4
Wassadou Aval	0.3
Gouloumbou	0.3

Cette irrégularité des maxima de crue se remarque aussi à travers les écarts considérables entre la crue la plus forte et la plus faible. Par exemple pour Kédougou la différence est de 763 m³/s avec un rapport de 3.68. A Mako la différence est de 1023.3 m³/s avec un rapport de 4.83. A Wassadou Aval la différence est de 910 m³/s avec un rapport de 3.68. Enfin à Gouloumbou la différence est de 1059 m³/s avec un rapport de 3.92.

III.9 Etude des étiages et des courbes de tarissement

9.1 Les étiages

Le relatif déficit pluviométrique enregistré sur la période d'étude des écoulements a probablement eu une incidence sur le régime de la Gambie et plus particulièrement sur les étiages qui sont très prononcés. Cette faiblesse des débits d'étiage se remarque aussi bien à l'échelle mensuelle que journalière. Le minimum absolu de notre série d'observation (1970-2000) s'annule partout et il intervient généralement au mois de Mai.

La comparaison des débits minima moyens journaliers des trois stations (tableau 3.28) montre que les étiages sont plus accentués à Kédougou et à Mako qu'à Wassadou aval.

Tableau 3.28 Débits minimaux de la Gambie à Kédougou, Mako et Wassadou Aval

Année	Kédougou	Mako	Wassadou Aval
70-71	0.00	0.10	0.00
71-72	0.00	0.00	0.00
72-73	0.00	0.00	0.00
73-74	0.00	0.00	1.20
74-75	0.00	0.00	0.94
75-76	0.00	0.00	0.77
76-77	0.00	0.00	0.71
77-78	0.00	0.00	0.31
78-79	0.00	0.00	0.31
79-80	0.00	0.00	0.40
80-81	0.00	0.00	0.19
81-82	0.00	0.00	0.16
82-83	0.00	0.00	0.14
83-84	0.00	0.00	0.06
84-85	0.00	0.00	0.03
85-86	0.00	0.00	0.02
86-87	0.00	0.00	0.01

Ce tableau 3.28 a été délibérément arrêté à l'année hydrologique 1986/1987 car durant les années suivantes les débits d'étiage ont été nuls. Compte tenu de la faiblesse de l'échantillon des débits minima, leur analyse statistique n'est pas envisagée. Nous allons donc caractériser les étiages à travers l'étude du tarissement dans le bassin.

9.2 Coefficients et courbes de tarissement

En l'absence de précipitations, tout écoulement observé le long d'un cours d'eau provient des réserves d'eau souterraines. Cette phase dite de vidange correspond au tarissement. Elle provoque la diminution des réserves d'eau du bassin versant hydro-géologique qui alimente le cours d'eau.

La vidange d'un bassin versant obéit à une loi exponentielle qui est de la forme :

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-k(t-t_0)}$$

Q_0 est le débit initial au moment du tarissement

k est le coefficient de tarissement exprimé en jour^{-1}

$t - t_0$ est le temps entre Q_0 et Q_t en jour

L'examen des hydrogrammes issus des observations à la station de Kédougou (figure 3.25) montre une période de décroissance régulière des débits entre Octobre et Mai. Cette décroissance est marquée à son début par une pente forte (la décrue) qui s'adoucit ensuite. Cet adoucissement de la pente marque le début de l'étiage qu'on a fixé pour l'ensemble du bassin au 1^{er} Janvier. Comme les stations de Mako et de Wassadou Aval présentent le même schéma d'ensemble, on a choisi de prendre Kédougou comme exemple.

En portant sur un graphique les débits journaliers sur la période de Janvier à Mai, avec les débits en ordonnées logarithmiques, et les temps en abscisses, on constate que les points s'ajustent généralement sur deux segments de droite (figure 3.27). Cette allure de la courbe de tarissement suggère la présence de deux compartiments hydro-géologiques et fait la part entre le tarissement qui correspond à la vidange des réservoirs du bassin en position haute de la nappe et l'épuisement qui correspond à la vidange du lit alluvial. La pente du premier segment de cette droite représentative correspond donc au coefficient de tarissement.

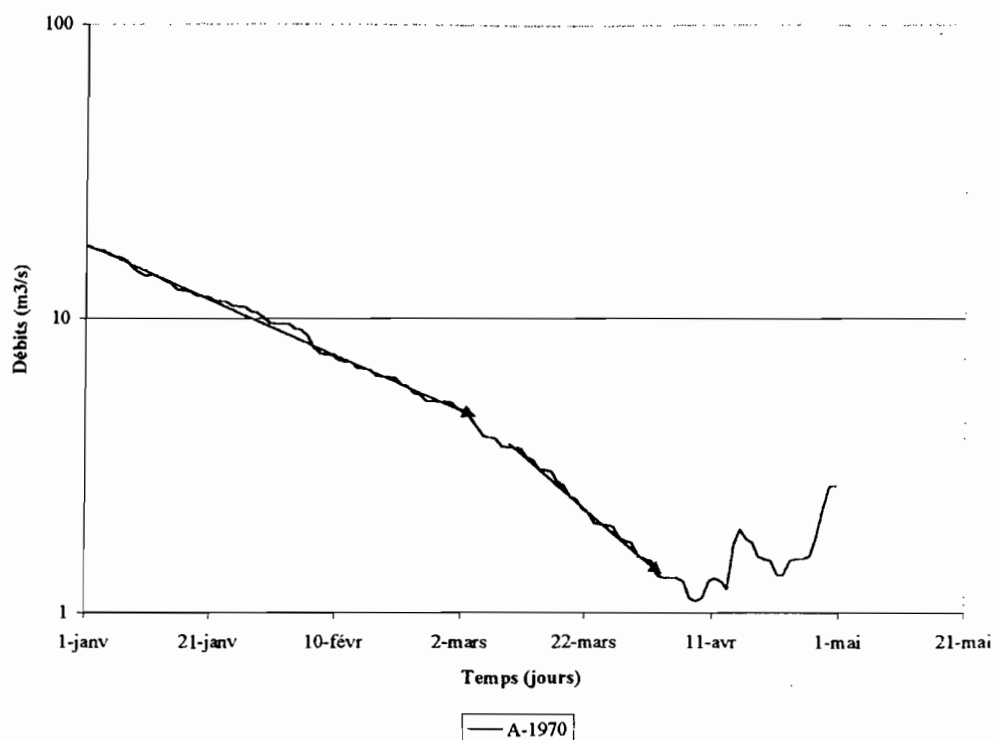


Figure 3.27 Courbe de tarissement des débits journaliers à la station de Kédougou

Pour calculer les coefficients de tarissement, on a donc tracé sur un même graphe l'ensemble des périodes de tarissement pour les différentes stations (voir figure 3.28 pour Kédougou). On a repéré sur les courbes les points d'infléchissement afin de délimiter les parties correspondant au tarissement et à l'épuisement. Ces points d'infléchissement ont des dates d'apparition qui diffèrent d'une année à l'autre. Les coefficients de tarissement et d'épuisement ont été calculés pour chaque année en fonction de la pente des 2 segments. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.29, où K1 correspond au tarissement, et K2 plus fort à l'épuisement.

Tableau 3.29 Etude comparative des coefficients de tarissement

Stations	K1 (tarissement)	K2 (épuisement)
Kédougou	0.027	0.059
Mako	0.029	0.052
Wassadou Aval	0.032	0.040

On constate que les coefficients de tarissement obtenus sont assez voisins, pour les trois stations étudiées. Par contre les coefficients d'épuisement sont décroissants de l'amont vers l'aval, traduisant probablement une nappe alluviale plus puissante dans la partie aval du bassin.

Il arrive en année de faible pluviosité que la recharge de la nappe supérieure ne soit pas complète. Dans ce cas la restitution de la seconde nappe (figure 3.28) intervient plus tôt que prévu. L'importance des débits d'étiage va donc dépendre de l'hydraulicité de l'année.

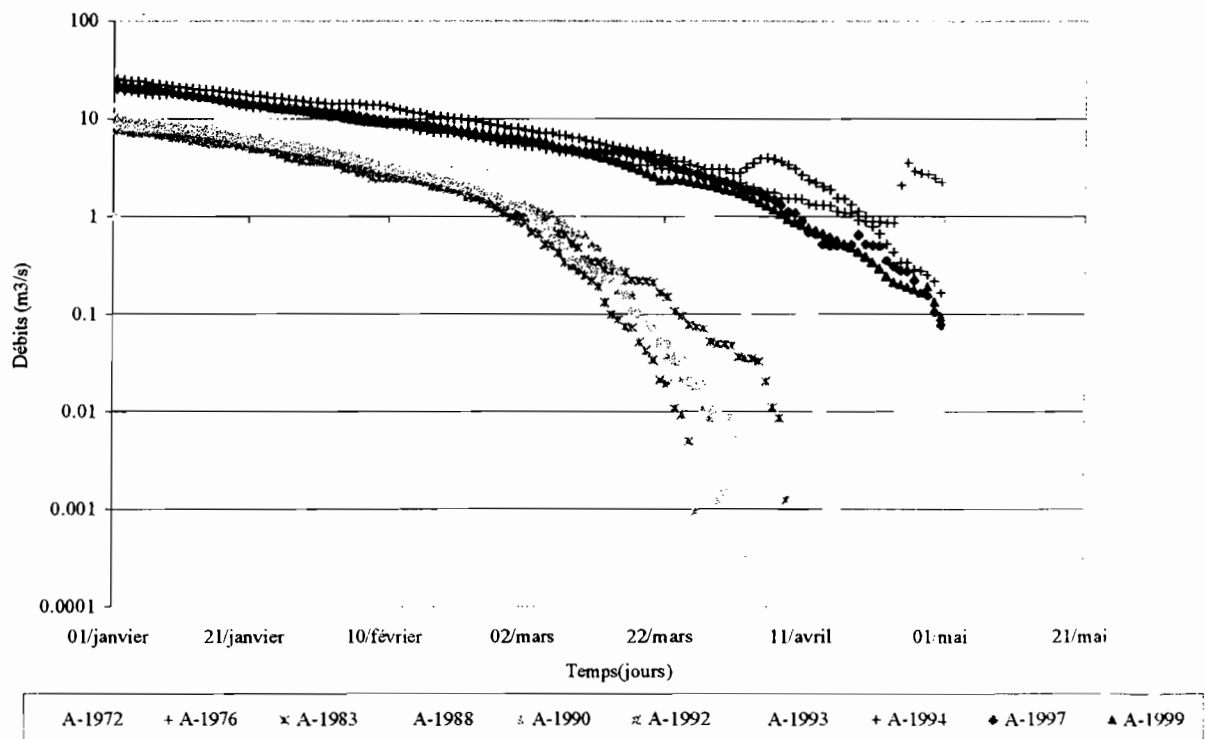


Figure 3.28 Comparaison des différentes courbes de tarissement de la station de Kédougou.

III.10 Bilans annuels des écoulements.

Le bilan hydrologique moyen traduit le mieux la relation existant entre les volumes d'eau précipités sur un bassin et ceux écoulés à son exutoire. Il est donné par la formule :

$$P(mm) = Q(mm) + DE(mm) + \Delta R$$

P (mm) représente la pluie moyenne reçue par le bassin versant. Elle a été obtenue par la méthode de Thiessen sur la période 1970-2000.

Q (mm) = la lame d'eau écoulée en mm égale au volume écoulé divisé par la superficie du bassin. Elle est parfois désignée par Le (mm), P' (mm) ou He (mm). On la déduit à partir des modules par la formule :

$$Q(mm) = \frac{Q \text{ m}^3 \text{ S}^{-1} \cdot t(s)}{S(\text{km}^2) \cdot 10^3}$$

t = nombre de secondes dans l'année ou dans le mois

S (Km²) = superficie du bassin versant

DE = déficit d'écoulement lame d'eau qui retourne à l'atmosphère.

ΔR = la différence entre les lames d'eau mises en réserve dans les nappes souterraines et celles restituées par ces mêmes aquifères. Cependant à l'échelle d'une longue période, ΔR s'annule.

De là, on peut calculer le déficit d'écoulement DE qui n'exprime plus que l'évapotranspiration réelle (ETR)

$$DE(mm) = P - Q$$

Connaissant P (mm) = précipitation, et Q (mm) = lame d'eau écoulée, on a calculé la quantité d'eau que peuvent écouler les bassins à savoir le coefficient d'écoulement à l'aide de la formule suivante :

$$Ke(\%) = \frac{Q}{P} * 100$$

L'autre paramètre du bilan, déjà calculé, est le volume total de l'eau écoulée pendant toute une année ou un mois (appelé indice d'écoulement); il donne une idée des disponibilités annuelles ou mensuelles en eau de surface.

$$V \text{ m}^3 \text{ an}^{-1} = Q \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} * t(s) * \text{an}$$

Les tableaux 3.30 et 3.31 suivants présentent les principaux paramètres du bilan de l'écoulement des stations principales et des sous bassins. Ces tableaux montrent la variabilité interannuelle qui caractérise les différents éléments du bilan. Au niveau des précipitations (P) et des déficits d'écoulement (DE) les variations sont peu marquées d'une année à une autre et d'une station à une autre. Le rapport entre le maximum et le minimum varie entre 1.8 et 1.6 et le coefficient de variation entre 0.1 et 0.2. Pour les coefficients d'écoulement les variations inter-annuelles sont beaucoup plus marquées, et le rapport entre le maximum et le minimum oscille entre 3.3 et 3.8 pour les stations principales et entre 5.9 et 10.9 pour les sous bassins.

La figure 3.29 illustre la variabilité des coefficients d'écoulement pour les sous bassins de la Gambie.

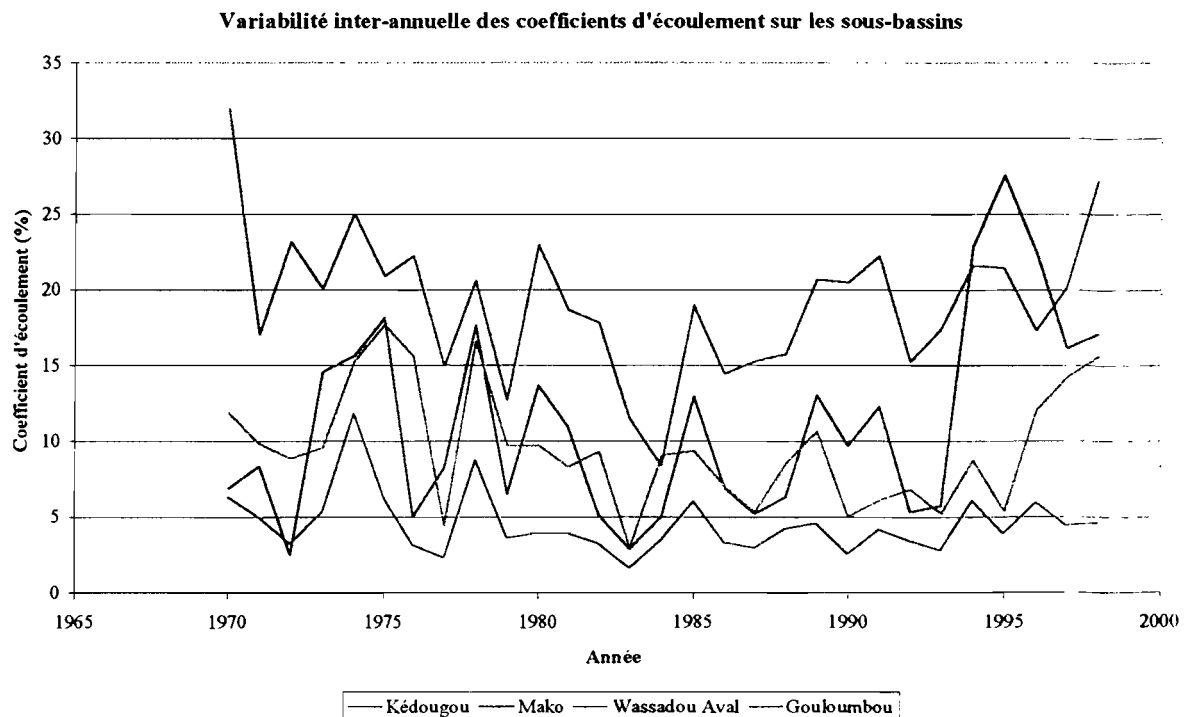


Figure 3.29

Tableau 3.30 Bilan de l'écoulements sur les bassins principaux de la Gambie

Année	Kédougou			Mako			Wassadou Aval			Gouloumbou		
	P (mm)	DE (mm)	Ke (%)	P (mm)	DE (mm)	Ke (%)	P (mm)	DE (mm)	Ke (%)	P (mm)	DE (mm)	Ke (%)
1970	1441.7	980.5	32.0	1337.1	982.9	26.5	1026.3	874.1	14.8	1029.3	881.0	14.4
1971	1660.0	1377.1	17.0	1571.9	1336.3	15.0	1210.9	1099.0	9.2	1187.9	1074.4	9.5
1972	1255.0	964.1	23.2	1178.4	960.9	18.5	926.3	838.3	9.5	923.8	835.8	9.5
1973	1610.8	1287.4	20.1	1502.2	1219.2	18.8	1126.2	1000.0	11.2	1113.0	989.9	11.1
1974	1823.2	1366.7	25.0	1671.7	1286.3	23.1	1206.4	1001.4	17.0	1202.9	998.6	17.0
1975	1696.2	1342.0	20.9	1574.8	1255.7	20.3	1225.4	1076.8	12.1	1201.9	1039.1	13.5
1976	1484.7	1154.5	22.2	1371.2	1117.2	18.5	1023.4	923.1	9.8	984.3	874.4	11.2
1977	1480.5	1259.2	14.9	1365.3	1180.9	13.5	987.3	915.0	7.3	964.7	898.7	6.8
1978	1891.0	1501.0	20.6	1767.3	1414.9	19.9	1313.4	1133.2	13.7	1243.6	1062.7	14.5
1979	1635.1	1427.1	12.7	1506.6	1335.1	11.4	1131.1	1051.8	7.0	1104.8	1019.5	7.7
1980	1497.9	1154.1	23.0	1390.2	1099.5	20.9	1023.7	907.1	11.4	1017.2	903.0	11.2
1981	1512.1	1229.7	18.7	1402.9	1164.8	17.0	1047.1	946.7	9.6	1001.6	906.3	9.5
1982	1459.1	1198.9	17.8	1358.5	1154.6	15.0	1023.8	938.8	8.3	1006.8	919.4	8.7
1983	1358.5	1201.9	11.5	1255.3	1134.0	9.7	924.8	877.2	5.2	895.5	852.5	4.8
1984	1651.5	1512.8	8.4	1518.6	1402.0	7.7	1112.9	1052.9	5.4	1076.0	1008.7	6.3
1985	1811.1	1467.5	19.0	1627.6	1337.8	17.8	1189.5	1054.9	11.3	1189.1	1057.6	11.1
1986	1363.4	1166.4	14.5	1293.2	1129.3	12.7	1031.5	957.9	7.1	1035.9	960.7	7.3
1987	1548.7	1311.8	15.3	1422.3	1235.0	13.2	1080.8	1001.4	7.3	1066.9	991.8	7.0
1988	1771.1	1491.8	15.8	1684.5	1456.9	13.5	1309.4	1202.7	8.2	1294.4	1185.6	8.4
1989	1592.4	1263.3	20.7	1504.3	1220.2	18.9	1156.5	1033.6	10.6	1100.1	980.7	10.8
1990	1248.6	993.0	20.5	1131.1	924.1	18.3	825.6	747.1	9.5	814.8	744.0	8.7
1991	1258.3	978.2	22.3	1189.6	952.6	19.9	932.9	833.1	10.7	906.0	815.9	9.9
1992	1379.5	1169.0	15.3	1266.7	1100.1	13.2	940.5	868.3	7.7	899.5	830.6	7.7
1993	1371.2	1132.2	17.4	1249.6	1061.8	15.0	908.6	833.6	8.2	885.7	816.9	7.8
1994	2240.1	1755.7	21.6	2041.6	1595.3	21.9	1474.9	1280.3	13.2	1435.8	1256.1	12.5
1995	1675.5	1316.1	21.5	1574.5	1215.1	22.8	1183.6	1040.9	12.1	1167.2	1041.0	10.8
1996	1853.9	1532.3	17.3	1648.0	1347.1	18.3	1156.5	1021.4	11.7	1095.8	964.4	12.0
1997	2201.0	1756.1	20.2	1971.3	1588.4	19.4	1351.4	1196.1	11.5	1305.0	1144.9	12.3
1998	1438.6	1047.7	27.2	1347.0	1011.9	24.9	1013.6	878.5	13.3	966.0	830.4	14.0
Moyenne	1593.5	1287.5	19.2	1473.2	1214.5	17.4	1098.8	985.7	10.1	1072.9	961.5	10.2
CV	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.3
Maxi	2240.1	1756.1	32.0	2041.6	1595.3	26.5	1474.9	1280.3	17.0	1435.8	1256.1	17.0
Mini	1248.6	964.1	8.4	1131.1	924.1	7.7	825.6	747.1	5.2	814.8	744.0	4.8

Tableau 3.31 Bilan de l'écoulements sur les sous bassins de la Gambie

Année	Kédougou			SB Mako			SB Wassadou Aval			SB Gouloumbou		
	P (mm)	DE (mm)	Ke (%)	P (mm)	DE (mm)	Ke (%)	P (mm)	DE (mm)	Ke (%)	P (mm)	DE (mm)	Ke (%)
1970	1441.7	980.5	32.0	1057.5	984.7	6.9	903.6	846.4	6.3	1127.0	993.1	11.9
1971	1660.0	1377.1	17.0	1335.2	1223.7	8.3	1069.6	1016.0	5.0	1208.8	1089.6	9.9
1972	1255.0	964.1	23.2	973.1	948.5	2.5	828.7	801.7	3.3	992.8	904.8	8.9
1973	1610.8	1287.4	20.1	1211.4	1034.8	14.6	975.8	923.4	5.4	1165.2	1053.4	9.6
1974	1823.2	1366.7	25.0	1268.3	1069.7	15.7	1013.0	892.9	11.9	1322.3	1120.6	15.3
1975	1696.2	1342.0	20.9	1250.6	1023.5	18.2	1091.4	1023.1	6.3	1214.3	999.2	17.7
1976	1484.7	1154.5	22.2	1068.3	1014.6	5.0	882.0	854.0	3.2	929.1	784.1	15.6
1977	1480.5	1259.2	14.9	1058.1	970.6	8.3	832.2	812.6	2.3	965.1	922.5	4.4
1978	1891.0	1501.0	20.6	1435.7	1182.2	17.7	1128.7	1029.6	8.8	1102.5	919.3	16.6
1979	1635.1	1427.1	12.7	1164.7	1089.1	6.5	978.1	942.2	3.7	1106.7	999.3	9.7
1980	1497.9	1154.1	23.0	1102.2	951.3	13.7	874.0	839.4	4.0	1080.6	975.2	9.8
1981	1512.1	1229.7	18.7	1110.8	989.3	10.9	903.5	868.0	3.9	923.4	846.6	8.3
1982	1459.1	1198.9	17.8	1090.0	1033.8	5.2	889.8	860.9	3.2	1033.7	937.4	9.3
1983	1358.5	1201.9	11.5	979.8	951.3	2.9	789.9	776.9	1.6	867.3	841.4	3.0
1984	1651.5	1512.8	8.4	1163.2	1104.7	5.0	949.8	916.5	3.5	1037.6	943.3	9.1
1985	1811.1	1467.5	19.0	1139.1	991.0	13.0	1010.7	949.3	6.1	1287.1	1166.4	9.4
1986	1363.4	1166.4	14.5	1104.1	1027.3	7.0	936.7	905.5	3.3	1145.5	1064.7	7.1
1987	1548.7	1311.8	15.3	1085.6	1028.7	5.2	943.7	915.1	3.0	1110.3	1050.6	5.4
1988	1771.1	1491.8	15.8	1452.0	1360.1	6.3	1163.9	1114.0	4.3	1355.9	1239.7	8.6
1989	1592.4	1263.3	20.7	1267.7	1102.0	13.1	1019.3	972.4	4.6	996.0	889.7	10.7
1990	1248.6	993.0	20.5	818.0	738.7	9.7	700.4	682.4	2.6	845.0	802.6	5.0
1991	1258.3	978.2	22.3	1004.1	880.3	12.3	834.6	799.5	4.2	888.9	834.2	6.2
1992	1379.5	1169.0	15.3	965.5	914.1	5.3	809.3	781.5	3.4	828.6	771.9	6.8
1993	1371.2	1132.2	17.4	925.3	872.2	5.7	768.1	746.3	2.8	876.6	830.6	5.3
1994	2240.1	1755.7	21.6	1512.0	1165.6	22.9	1242.5	1166.5	6.1	1421.1	1296.2	8.8
1995	1675.5	1316.1	21.5	1302.5	942.8	27.6	1028.2	987.7	3.9	1212.5	1147.0	5.4
1996	1853.9	1532.3	17.3	1101.1	854.3	22.4	949.8	892.9	6.0	967.6	850.0	12.2
1997	2201.0	1756.1	20.2	1360.5	1140.7	16.2	1088.7	1040.5	4.4	1246.5	1068.7	14.3
1998	1438.6	1047.7	27.2	1100.4	912.1	17.1	880.2	839.2	4.7	877.1	739.8	15.6
Moyenne	1593.5	1287.5	19.2	1151.9	1017.3	11.2	947.8	903.3	4.5	1073.6	968.3	9.6
CV	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.6	0.1	0.1	0.5	0.2	0.1	0.4
Maxi	2240.1	1756.1	32.0	1512.0	1360.1	27.6	1242.5	1166.5	11.9	1421.1	1296.2	17.7
Min	1248.6	964.1	8.4	818.0	738.7	2.5	700.4	682.4	1.6	828.6	739.8	3.0

Tableau 3.32 Bilan inter-annuel de l'écoulement dans le bassin de la Gambie

	Bassins versants	P(mm)	Le (mm)	De (mm)	Ke (%)		
					Mini	Moy	Maxi
Sous bassins	Kédougou	1593.5	305.9	1287.5	8.4	19.2	32
	SB Mako	1151.9	134.6	1017.3	2.5	11.2	27.6
	SB Wassadou aval	947.8	44.5	903.3	1.6	4.5	11.9
	SB Gouloumbou	1073.6	105.3	968.3	3	9.6	17.7
Bassins imbriqués	Kédougou	1593.5	305.9	1287.5	8.4	19.2	32
	Mako	1473.2	258.7	1214.5	7.7	17.4	26.5
	Wassadou Aval	1098.8	113.1	985.7	5.1	10.1	17
	Gouloumbou	1072.9	111.4	961.5	4.8	10.2	17

Le tableau 3.32 synthétise les bilans des écoulements des bassins et des sous-bassins. Les bassins étant imbriqués les uns dans les autres, les résultats d'une station aval sont influencés par ceux de la station située immédiatement à l'amont. Pour cette raison, il est préférable d'analyser les résultats au niveau des sous bassins, pour lesquels les différences de comportement sont plus marquées.

Comme il a été vu plus haut, les déficits d'écoulement (De) représentent l'ETR (évapotranspiration réelle) d'un bassin. Ils peuvent varier en fonction de la pluviométrie (plus il pleut, plus il est possible d'avoir de l'évaporation), de la végétation (les arbres notamment peuvent puiser l'eau profondément dans le sol pour l'évaporer), et des sols (il faut qu'une partie des précipitations soit mise en réserve dans le sol pour être ensuite évaporée). Les valeurs des déficits observés sont relativement homogènes sur l'ensemble des sous bassins. Les plus fortes valeurs sont observées pour Kédougou, où malgré des sols peu perméables, les pluies abondantes et la végétation de type forestier favorisent le stockage d'eau et l'évaporation. Les plus faibles valeurs sont observées pour le sous bassin de Wassadou Aval, où en dépit de sols souvent très perméables (continental terminal), la faiblesse des pluies et une végétation moins dense permettent en définitive assez peu d'évaporation. Les sous bassins de Mako et de Gouloumbou ont un comportement intermédiaire.

Les coefficients d'écoulement (Ke) caractérisent quant à eux l'aptitude d'un bassin à produire du ruissellement. Ils dépendent donc principalement de la perméabilité des sols, des pentes (de manière plus marginale), et sont relativement indépendants de la pluviométrie

annuelle, à ceci près que l'occurrence d'événements pluvieux intenses favorisera le ruissellement. C'est donc au niveau des pluies journalières qu'il faudra chercher une explication aux fortes variabilités inter-annuelles observées pour les coefficients d'écoulement.

Les coefficients d'écoulement observés sont très variables au niveau des sous bassins. Les plus fortes valeurs sont observées pour Kédougou (19,2%), et sont sans doute le produit de sols sur socle relativement imperméables, et de pluies intenses. On observe en effet en moyenne à Kédougou 3,6 pluies par an supérieures à 50 mm, et 5,1 à Tougué (Guinée). Les plus faibles valeurs sont observées pour le sous bassin de Wassadou Aval (4,5%), et sont dues à la forte perméabilité des sols, notamment sur la partie « continental terminal » du bassin, et à des pluies moins intenses (seulement 2,3 pluies par an supérieures à 50 mm à Tambacounda).

Ces coefficients d'écoulement moyens cachent des disparités qui caractérisent leur irrégularité inter-annuelle (tableau 3.30 et 3.31). Par exemple le plus fort coefficient d'écoulement à Kédougou est égal à 32 % tandis que le plus faible à 8.4 %. Le coefficient de variation (CV) est égal à 0.250. Cette variabilité du coefficient d'écoulement augmente de l'amont vers l'aval et du Sud vers le Nord avec des CV égaux à 0.257 à Mako, 0.276 à Wassadou Aval et 0.279 à Gouloumbou et s'accroît au niveau des sous bassins avec des CV égaux à 0.580 au SB Mako, 0.453 au SB Wassadou Aval et 0.407 au SB Gouloumbou. Les causes de ces fortes variations inter-annuelles sont probablement à rechercher dans la structure des pluies journalières de chaque année, à moins que les données de pluies ne soient de mauvaise qualité...

En conclusion, on observe donc que la lame d'eau écoulée, le coefficient d'écoulement et le déficit d'écoulement diminuent de l'amont vers l'aval et du Sud vers le Nord, alors qu'inversement l'irrégularité augmente. Ce phénomène est dû à la décroissance des précipitations du Sud au Nord, et aux conditions de ruissellement qui deviennent de moins en moins propices du Sud-Est au Nord-Ouest.

Conclusion générale

Cette étude consacrée à la synthèse hydrologique du bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou est une contribution à une meilleure connaissance de l'hydrologie de la Gambie. Elle s'inscrit, de ce fait, à la suite des travaux qui ont été faits par des chercheurs de l'IRD et des étudiants, tout en apportant de nombreux éléments nouveaux.

Cette étude nous a permis tout d'abord de critiquer et de compléter les données manquantes de cotes et de débits sur la période 1970-2000, et de disposer désormais d'une banque de données complète et homogène sur le cours principal fleuve Gambie. On notera que la précédente étude de synthèse (Monographie du fleuve Gambie) portait sur la période 1970-1987, et que les données manquantes n'avaient pas été complétées.

Grâce à ces données nous avons ensuite pu mener une étude relativement complète du régime de la Gambie à travers :

- Les modules, leur variabilité et leur fréquence
- Les débits mensuels et leur saisonnalité
- Les débits classés et caractéristiques
- Les crues, leur date d'occurrence et leur étude fréquentielle.
- Les étiages et les courbes de tarissements.

Ces différents éléments du régime sont sujets à des variations ou des irrégularités de l'amont vers l'aval perceptibles à toutes les échelles de temps : annuelle, mensuelle et journalière. Ces variations peuvent s'expliquer par la pédologie, la géologie, la géomorphologie et le climat en particulier les précipitations.

Le bassin aval extrêmement plat et de basses altitudes est formé de terrains tertiaires et en particulier du Continental Terminal qui constitue la partie sud du bassin sédimentaire sénégalomauritanien. La faiblesse des pentes et la forte perméabilité des sols réduisent le ruissellement mais parallèlement favorisent la constitution de nappes souterraines capables de soutenir (très faiblement) les débits d'étiages.

Le bassin amont quant à lui évolue dans une zone au relief très marqué avec des altitudes comprises entre 600 m et 1538 m. Le substratum est essentiellement constitué de grès quartzeux ordoviciens et de schistes. Les pentes fortes, une faible perméabilité et une pluviométrie abondante sont des conditions propices à un ruissellement abondant. C'est donc dire l'importance du haut bassin dans le volume écoulé par la Gambie. D'ailleurs sur les volumes écoulés à Gouloumbou, la moitié environ provient des apports mesurés à Kédougou, alors que le bassin de Kédougou ne représente que 18% de la surface du bassin de Gouloumbou.

Même si cette étude apporte comme on vient de le souligner de nombreux éléments nouveaux, nous regrettons de ne pas avoir pu aborder certaines parties dans le cadre de ce mémoire de maîtrise. En particulier, il conviendrait tout d'abord de compléter cette étude en étendant les analyses présentées dans ce mémoire aux bassins des affluents du cours principal de la Gambie, qui ont jusqu'alors été laissés de côté.

En second lieu, il serait souhaitable de mieux analyser les relations entre pluies et débits à toutes les échelles de temps (journalier, mensuel et annuel). Le calage d'un modèle hydro-pluviométrique permettrait par exemple d'étendre les débits des bassins de la Gambie à la période d'observation des pluies, et d'estimer les écoulements avant la période de déficit pluviométrique (avant 1970). Un tel modèle constituerait également un outil précieux pour le complètement de données hydrologiques manquantes.

Enfin, l'analyse détaillée bassin par bassin des paramètres physiques comme la géologie, les sols et la végétation pourrait permettre de mieux connaître les facteurs qui conditionnent l'écoulement, et peut-être d'établir des abaques pour des bassins non étudiés présentant les mêmes caractéristiques physiques.

Nous envisageons dans nos travaux futurs de nous intéresser à ces trois axes de recherche. D'ici là nous souhaitons que les résultats de cette étude facilitent la gestion rationnelle et la maîtrise des eaux de surface du bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBERGEL (J.), 1986. Évolution de la pluviométrie en Afrique soudano-sahélienne. Exemple du Burkina Faso, Col. international sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences sur la sécheresse, CIEH, Ouagadougou, 17 p.
- Bamba (S), 1987. Le bilan de l'eau et de la matière dans le haut bassin guinéen du fleuve Gambie. Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle, UCAD, 147 p.
- Bassot J.P. Etude géologique du Sénégal Oriental et de ses confins Guinéo-maliens, BRGM, 1966, 322 p.
- BRUNET-MORET, Y (1969). Études de quelques lois statistiques utilisés en « hydrologique ». Cah. ORSTOM sér. Hydrol.Vol VI, N° 3, 1969 ; 99 pages. en Casamance, rapport définitif. 52 p.+figures & tableaux.
- CHAPERON P. ET GUIGEN N. (1974). Etude hydrologique du bassin continental du fleuve Gambie. Rapport terminal PNUD projet REG 60. ORSTOM Avril 74 – 2 tomes.
- DACOSTA H. (1989).Précipitations et écoulements sur le Bassin de la Casamance. Thèse UCAD.
- DACOSTA H.(1992).Économie de l'eau-DRS sur les bassins versants de Thyssé-Kaymor. Synthèse hydrologique 1983-1988, multi. ORSTOM, Dakar.
- DUPREUIL P.(1974).Initiation à l'analyse hydrologique ; professeur d'hydrologie à l'université de Paris VI, à l'Ecole Nationale des Eau et Forêts ; Directeur de recherche à l'ORSTOM ; 216 p.
- Gallaire R. (1980). Étude hydrologique du marigot de baïla. Multigr ORSTOM, Dakar 104 p.
- HOMARD HUMPHREYS & Sons (Consulting Engineers). Etudes hydrologiques et Topograhiques du bassin du fleuve Gambie. Rapport terminal tome 1. Rapport principal. Ref. 40360, juillet 1974, 124 p. + cartes et figures.

- HOMARD HUMPHREYS LTD (Consulting Engineers). kekrati reservoir study. Hydrological data 1975/1983. Gambia river basin. Stations en Guinea. REF.64.273.0 February 1984. 78 p.
- KONATE L. (1992). Le Bassin versant du Diarha au pont-routier. Étude hydrologique. Mémoire de maîtrise, UCAD, 131 p.
- KONATE L. (1993). Étude statistique des paramètres caractérisant le régime hydrologique de la Gambie à Simenti. Rapport de stage du D.E.A. ORSTOM/UCAD, 56p.
- KONATE L.(1998).Les bas-fonds dans le réseau hydrographique du fleuve Gambie. Thèse de Doctorat de troisième cycle, UCAD.
- LAMAGAT J.P., ALBERGEL J., BOUCHEZ J.M., DESCROIX L. (1990). Monographie Hydrologique du Fleuve Gambie ORSTOM. Dakar. 247 p.
- LEPRIOLE (1983). Synthèse hydro-géologique de la basse Casamance. Ministère de L'hydraulique, Dakar.
- LEROUX M. (1983). Le climat de l'Afrique Tropicale. Ed. Champion, PARIS, 633 p.
- LÔ H.M. (1984). Le bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou. Thèse de 3^{ème} cycle de Géographie. Déc. 1984 Nancy II
- MALANDA E. (1999). Etude du régime hydrologique du fleuve Gambie : caractérisation des étiages et statistique des déficits. DEA, UCAD, 73 p.
- MICHEL P. (1973). Les Bassins des Fleuves Sénégal et Gambie : Étude Géomorphologique Tome 1, Tome2, Tome3, 752p, 91photos, 9 planches, 6 cartes. ORSTOM, Dakar.
- OLIVRY J.C. (1984). Régimes hydrologiques des fleuves et rivières du Cameroun. Thèse de Doctorat d'Etat, USTL/Montpellier, 3 tomes, 1245 p.
- REMENIERAS G. (1986). L'hydrologie de l'ingénieur. Edition eyrolles, Paris, 451 p.
- ROCHE M. (1963).Hydrologie de Surface ORSTOM Paris 430 p.

TUINA J.(1992). Relation pluies-débits sur le bassin de Bidi-Gourga. Mémoire de fin d'études d'ingénieur des sciences et techniques. Université de Ouagadougou, Fa. S.T. 79 p + annexes.

Annexe 1

Résultat des dix lois utilisées pour les ajustements des modules

FICHIER DIXLOI.DATA SAISI A L ECRAN

ECHANTILLON : moduwasava

VALEURS OBSERVEES DANS L ORDRE D APPARITION

ORDRE	VALEUR	ORDRE	VALEUR	ORDRE	VALEUR	ORDRE	VALEUR
1	159.000	2	117.000	3	92.100	4	132.000
5	215.000	6	155.000	7	105.000	8	75.700
9	189.000	10	82.700	11	122.000	12	105.000
13	88.900	14	49.700	15	62.700	16	141.000
17	77.100	18	82.800	19	112.000	20	129.000
21	82.100	22	104.000	23	75.600	24	78.400
25	204.000	26	149.000	27	141.000	28	163.000
29	141.000	30	171.000				

POINTAGE DES 30 VALEURS OBSERVEES RANGEES AVEC ORDRE D APPARITION

PROBABILITE = (RANG-.5)/TAILLE ECHANTILLON

RANG	ORDRE	PROBABILITE	VALEUR	RECURRENCE	VALEUR	PROBABILITE	RANG	ORDRE
1	14	0.0167	49.700	60.000	215.000	0.9833	30	5
2	15	0.0500	62.700	20.000	204.000	0.9500	29	25
3	23	0.0833	75.600	12.000	189.000	0.9167	28	9
4	8	0.1167	75.700	8.571	171.000	0.8833	27	30
5	17	0.1500	77.100	6.667	163.000	0.8500	26	28
6	24	0.1833	78.400	5.455	159.000	0.8167	25	1
7	21	0.2167	82.100	4.615	155.000	0.7833	24	6
8	10	0.2500	82.700	4.000	149.000	0.7500	23	26
9	18	0.2833	82.800	3.529	141.000	0.7167	22	29
10	13	0.3167	88.900	3.158	141.000	0.6833	21	27
11	3	0.3500	92.100	2.857	141.000	0.6500	20	16
12	22	0.3833	104.000	2.609	132.000	0.6167	19	4
13	12	0.4167	105.000	2.400	129.000	0.5833	18	20
14	7	0.4500	105.000	2.222	122.000	0.5500	17	11
15	19	0.4833	112.000	2.069	117.000	0.5167	16	2

MOYENNE OBSERVEE 120.060

MEDIANE OBSERVEE 114.500

MODE PROBABLE 110.557

VARIANCE 1824.044

P.M. ECART TYPE 42.709

COEF VARIATION 0.356

ECART TYPE/MOYENNE

COEF ASYMETRIE 0.501

3EME CUMULANT/VARIANCE**1.5

COEF APLATISSEMENT -0.691

4EME CUMULANT/VARIANCE**2.

AJUSTEMENTS AUX 11 DISTRIBUTIONS RETENUES

VALEURS CALCULEES

PAR LA METHODE DU MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE

LES PARAMETRES D ECHELLE ETANT POSITIFS A PRIORI

VALEUR LIMITE INFERIEURE CHOISIE POUR LES BORNES INFERIEURES -0.10000E+01

GAUS DISTRIBUTION DE LAPLACE-GAUSS DITE NORMALE

G.VR DISTRIBUTION DE GUMBEL MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE

G.MO DISTRIBUTION DE GUMBEL PAR LES MOMENTS

GALT DISTRIBUTION DE GALTON,GAUSSO-LOGARITHMIQUE

PEAR DISTRIBUTION DE PEARSON III,GAMMA INCOMPLETE,EN X

PEAV DISTRIBUTION DE PEARSON V,GAMMA INCOMPLETE,EN 1/X

GOOD DISTRIBUTION DE GOODRICH,EXPO GENERALISEE,EN X**A

FREC DISTRIBUTION DE FRECHET,EXPO GENERALISEE,EN 1/X**A

LGAM DISTRIBUTION WRC-USA,LOG-GAMMA DE 1ERE ESPECE

FUIT DISTRIBUTION DE LA LOI DES FUITES

POLY DISTRIBUTION DE POLYA

DISTRIBUTION

GAUSS

GUM.V

GUM.M

GALTO

PEAR3

PARAMETRES

41.991

34.797

33.313

128.226

20.881

D ECHELLE

120.060

100.121

100.831

-14.598

29.395

DE POSITION

DE FORME PREMIER	*****	*****	*****	0.315	4.342
DE FORME SECOND	*****	*****	*****	*****	*****
BORNE INFERIEURE	*****	*****	*****	-14.598	29.395
BORNE SUPERIEURE	*****	*****	*****	*****	*****

MOYENNE	120.060	120.207	120.060	120.157	120.060
MEDIANE	120.060	112.875	113.041	113.628	113.203
MODE	120.060	100.121	100.831	101.505	99.179
VARIANCE	1763.243	1991.705	1825.463	1896.128	1893.160
COEF VARIATION	0.350	0.371	0.356	0.362	0.362
COEF ASYMETRIE	0.000	1.139	1.139	1.003	0.960
COEF APLATISSEMENT	0.000	2.400	2.400	1.841	1.382
VALEUR DE TEST	4.172	2.192	2.402	2.009	2.002
FREQ AU DEPASSEMENT	0.335	0.753	0.701	0.797	0.799
TEST DU CHI2	2.333	4.333	4.333	4.333	4.333

PROBABILITE RECURRENCE

0.0050	.2000E+03	11.901	42.102	45.286	42.343	46.188
0.0100	.1000E+03	22.375	46.981	49.957	47.001	49.702
0.0200	.5000E+02	33.822	52.657	55.391	52.527	54.155
0.0500	.2000E+02	50.991	61.943	64.281	61.759	62.129
0.1000	.1000E+02	66.247	71.100	73.047	71.022	70.652
0.1500	.6667E+01	76.539	77.840	79.500	77.898	77.228
0.2000	.5000E+01	84.720	83.562	84.978	83.755	82.955
0.2500	.4000E+01	91.738	88.756	89.950	89.074	88.237
0.3000	.3333E+01	98.040	93.662	94.648	94.095	93.277
0.3500	.2857E+01	103.880	98.429	99.212	98.966	98.206
0.4000	.2500E+01	109.422	103.163	103.744	103.788	103.119
0.4500	.2222E+01	114.783	107.951	108.327	108.649	108.091
0.5000	.2000E+01	120.060	112.875	113.041	113.628	113.204
0.5500	.2222E+01	125.337	118.022	117.969	118.808	118.532
0.6000	.2500E+01	130.698	123.495	123.208	124.286	124.175
0.6500	.2857E+01	136.240	129.425	128.886	130.184	130.252
0.7000	.3333E+01	142.080	135.994	135.175	136.671	136.927
0.7500	.4000E+01	148.382	143.475	142.336	143.998	144.452
0.8000	.5000E+01	155.400	152.314	150.799	152.576	153.224
0.8500	.6667E+01	163.581	163.346	161.359	163.161	163.985
0.9000	.1000E+02	173.873	178.427	175.798	177.437	178.357
0.9250	.1333E+02	180.507	188.907	185.830	187.240	188.119
0.9500	.2000E+02	189.129	203.474	199.777	200.732	201.414
0.9600	.2500E+02	193.573	211.420	207.384	208.035	208.520
0.9700	.3333E+02	199.036	221.609	217.139	217.353	217.523
0.9800	.5000E+02	206.298	235.896	230.816	230.347	229.901
0.9900	.1000E+03	217.745	260.191	254.076	252.321	250.421
0.9950	.2000E+03	228.219	284.398	277.250	274.154	270.339
0.9970	.3333E+03	235.437	302.208	294.300	290.234	284.594
0.9990	.1000E+04	249.813	340.472	330.932	324.975	314.633
0.9995	.2000E+04	258.204	364.597	354.029	347.101	332.899

AJUSTEMENTS AUX 11 DISTRIBUTIONS RETENUES
PAR LA METHODE DU MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE
LES PARAMETRES D ECHELLE ETANT POSITIFS A PRIORI

VALEURS CALCULEES

VALEUR LIMITE INFERIEURE CHOISIE POUR LES BORNES INFERIEURES -0.10000E+01

GAUS DISTRIBUTION DE LAPLACE-GAUSS DITE NORMALE
G.VR DISTRIBUTION DE GUMBEL MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE
G.MO DISTRIBUTION DE GUMBEL PAR LES MOMENTS
GALT DISTRIBUTION DE GALTON,GAUSSO-LOGARITHMIQUE
PEAR DISTRIBUTION DE PEARSON III,GAMMA INCOMPLETE,EN X
PEAV DISTRIBUTION DE PEARSON V,GAMMA INCOMPLETE,EN 1/X
GOOD DISTRIBUTION DE GOODRICH,EXPO GENERALISEE,EN X**A
FREC DISTRIBUTION DE FRECHET,EXPO GENERALISEE,EN 1/X**A
LGAM DISTRIBUTION WRC-USA,LOG-GAMMA DE 1ERE ESPECE
FUIT DISTRIBUTION DE LA LOI DES FUITES
POLY DISTRIBUTION DE POLYA

DISTRIBUTION POLYA PARAMETRES	PEAR5	GOODR	FRECH	LGAMA	FUITE
D ECHELLE	2349.418	86.588	138.614	0.083	7.170
14.193					
DE POSITION	-42.709	43.198	-42.709	0.083	0.000
120.060					
DE FORME PREMIER	15.415	0.527	-0.240	400.000	16.744

DE FORME SECOND	*****	*****	*****	0.018	*****

BORNE INFERIEURE	-42.709	43.198	-42.709	0.083	0.000

BORNE SUPERIEURE	*****	*****	*****	*****	*****

MOYENNE	120.279	120.035	125.330	120.532	120.060
120.060					
MEDIANE	113.060	114.582	108.648	112.098	116.459
115.329					
MODE	100.420	101.578	88.933	97.502	109.134
105.867					
VARIANCE	890.563	1772.454	4533.324	2095.998	1721.716
1824.044					
COEF VARIATION	0.248	0.351	0.537	0.380	0.346
0.356					
COEF ASYMETRIE	1.180	0.703	5.022	1.335	0.518
0.473					
COEF APLATISSEMENT	2.798	0.387	308.131	3.425	0.358
3.710					
VALEUR DE TEST	2.150	1.875	5.722	2.430	2.135
1.987					
FREQ AU DEPASSEMENT	0.763	0.828	0.163	0.694	0.766
0.802					
TEST DU CHI2	4.333	1.000	1.000	4.333	3.333
3.333					
PROBABILITE RECURRENCE					
0.0050 .2000E+03	43.080	48.517	50.198	46.071	34.285
36.000					
0.0100 .1000E+03	47.705	50.872	53.377	50.038	40.188
42.000					
0.0200 .5000E+02	53.168	54.283	57.212	54.822	47.091
48.000					
0.0500 .2000E+02	62.225	61.308	63.820	62.963	58.473
58.000					
0.1000 .1000E+02	71.276	69.659	70.764	71.319	69.597
68.000					
0.1500 .6667E+01	77.988	76.445	76.162	77.646	77.643
76.000					
0.2000 .5000E+01	83.707	82.488	80.947	83.113	84.347
82.000					
0.2500 .4000E+01	88.905	88.115	85.456	88.140	90.320
88.000					
0.3000 .3333E+01	93.821	93.501	89.866	92.942	95.850
94.000					
0.3500 .2857E+01	98.600	98.761	94.297	97.647	101.124
99.000					
0.4000 .2500E+01	103.342	103.980	98.844	102.353	106.253
104.000					
0.4500 .2222E+01	108.135	109.231	103.595	107.144	111.338
109.000					
0.5000 .2000E+01	113.060	114.582	108.648	112.099	116.458
114.000					
0.5500 .2222E+01	118.201	120.107	114.117	117.304	121.686
120.000					
0.6000 .2500E+01	123.658	125.889	120.149	122.867	127.120
125.000					
0.6500 .2857E+01	129.562	132.033	126.947	128.918	132.862
131.000					
0.7000 .3333E+01	136.086	138.681	134.809	135.650	139.047
137.000					
0.7500 .4000E+01	143.499	146.044	144.206	143.349	145.873

145.000						
0.8000	.5000E+01	152.239	154.457	155.955	152.484	153.668
153.000						
0.8500	.6667E+01	163.125	164.526	171.657	163.943	163.010
163.000						
0.9000	.1000E+02	177.990	177.560	195.151	179.705	175.148
176.000						
0.9250	.1333E+02	188.316	186.157	212.977	190.736	183.206
185.000						
0.9500	.2000E+02	202.708	197.540	239.998	206.175	193.933
197.000						
0.9600	.2500E+02	210.589	203.493	255.920	214.674	199.605
203.000						
0.9700	.3333E+02	220.733	210.887	277.658	225.617	206.636
211.000						
0.9800	.5000E+02	235.056	220.838	310.828	241.153	216.234
211.000						
0.9900	.1000E+03	259.760	236.778	375.310	268.004	231.786
211.000						
0.9950	.2000E+03	284.966	251.618	451.251	295.417	246.362
211.000						
0.9970	.3333E+03	303.929	261.973	515.799	316.179	256.833
211.000						
0.9990	.1000E+04	345.614	282.876	684.441	361.568	278.389
211.000						
0.9995	.2000E+04	373.285	295.258	816.063	392.341	290.708
211.000						

FICHIER DIXLOI.DATA SAISI A L ECRAN

ECHANTILLON : modugoul

VALEURS OBSERVEES DANS L ORDRE D APPARITION

ORDRE	VALEUR	ORDRE	VALEUR	ORDRE	VALEUR	ORDRE	VALEUR
1	569.000	2	462.000	3	315.000	4	552.000
5	664.000	6	578.000	7	371.000	8	327.000
9	542.000	10	310.000	11	480.000	12	384.000
13	325.000	14	203.000	15	235.000	16	509.000
17	310.000	18	298.000	19	422.000	20	450.000
21	289.000	22	364.000	23	285.000	24	289.000
25	554.000	26	572.000	27	491.000	28	450.000
29	539.000	30	628.000				

POINTAGE DES 30 VALEURS OBSERVEES RANGEES AVEC ORDRE D APPARITION

PROBABILITE = (RANG-.5)/TAILLE ECHANTILLON

RANG	ORDRE	PROBABILITE	VALEUR	RECURRENCE	VALEUR	PROBABILITE	RANG	ORDRE
1	14	0.0167	203.000	60.000	664.000	0.9833	30	5
2	15	0.0500	235.000	20.000	628.000	0.9500	29	30
3	23	0.0833	285.000	12.000	578.000	0.9167	28	6
4	21	0.1167	289.000	8.571	572.000	0.8833	27	26
5	24	0.1500	289.000	6.667	569.000	0.8500	26	1
6	18	0.1833	298.000	5.455	554.000	0.8167	25	25
7	10	0.2167	310.000	4.615	552.000	0.7833	24	4
8	17	0.2500	310.000	4.000	542.000	0.7500	23	9
9	3	0.2833	315.000	3.529	539.000	0.7167	22	29
10	13	0.3167	325.000	3.158	509.000	0.6833	21	16
11	8	0.3500	327.000	2.857	491.000	0.6500	20	27
12	22	0.3833	364.000	2.609	480.000	0.6167	19	11
13	7	0.4167	371.000	2.400	462.000	0.5833	18	2
14	12	0.4500	384.000	2.222	450.000	0.5500	17	28
15	19	0.4833	422.000	2.069	450.000	0.5167	16	20

MOYENNE OBSERVEE 425.567

MEDIANE OBSERVEE 436.000

MODE PROBABLE 419.847

VARIANCE 16040.380 P.M. ECART TYPE 126.651

COEF VARIATION 0.298 ECART TYPE/MOYENNE

COEF ASYMETRIE 0.091 3EME CUMULANT/VARIANCE**1.5

COEF APLATISSEMENT -1.405 4EME CUMULANT/VARIANCE**2.

AJUSTEMENTS AUX 11 DISTRIBUTIONS RETENUES VALEURS CALCULEES

PAR LA METHODE DU MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE

LES PARAMETRES D ECHELLE ETANT POSITIFS A PRIORI

VALEUR LIMITE INFERIEURE CHOISIE POUR LES BORNES INFERIEURES -0.10000E+01

GAUS DISTRIBUTION DE LAPLACE-GAUSS DITE NORMALE

G.VR DISTRIBUTION DE GUMBEL MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE

G.MO DISTRIBUTION DE GUMBEL PAR LES MOMENTS

GALT DISTRIBUTION DE GALTON,GAUSSO-LOGARITHMIQUE

PEAR DISTRIBUTION DE PEARSON III,GAMMA INCOMPLETE,EN X

PEAV DISTRIBUTION DE PEARSON V,GAMMA INCOMPLETE,EN 1/X

GOOD DISTRIBUTION DE GOODRICH,EXPO GENERALISEE,EN X**A

FREC DISTRIBUTION DE FRECHET,EXPO GENERALISEE,EN 1/X**A

LGAM DISTRIBUTION WRC-USA,LOG-GAMMA DE 1ERE ESPECE

FUIT DISTRIBUTION DE LA LOI DES FUTES

POLY DISTRIBUTION DE POLYA

DISTRIBUTION

PARAMETRES

D ECHELLE

DE POSITION

GAUSS

GUM.V

GUM.M

GALTO

PEAR3

124.522

110.526

98.787

537.869

36.110

425.567

364.164

368.545

-126.651

-23.635

DE FORME PREMIER	*****	*****	*****	0.233	12.440
DE FORME SECOND	*****	*****	*****	*****	*****
BORNE INFERIEURE	*****	*****	*****	-126.651	-23.635
BORNE SUPERIEURE	*****	*****	*****	*****	*****
MOYENNE	425.567	427.961	425.567	426.081	425.567
MEDIANE	425.567	404.673	404.752	411.219	413.589
MODE	425.567	364.164	368.545	382.683	389.457
VARIANCE	15505.701	20094.354	16052.856	17116.785	16220.605
COEF VARIATION	0.293	0.331	0.298	0.307	0.299
COEF ASYMETRIE	0.000	1.139	1.139	0.723	0.567
COEF APLATISSEMENT	0.000	2.400	2.400	0.945	0.482
VALEUR DE TEST	4.676	5.768	7.534	4.931	4.648
FREQ AU DEPASSEMENT	0.266	0.160	0.071	0.236	0.269
TEST DU CHI2	5.333	5.000	6.333	6.333	6.333

PROBABILITE RECURRENCE

0.0050	.2000E+03	104.827	179.875	203.828	168.123	164.896
0.0100	.1000E+03	135.888	195.372	217.679	185.804	182.959
0.0200	.5000E+02	169.833	213.401	233.793	206.337	204.077
0.0500	.2000E+02	220.747	242.897	260.156	239.694	238.514
0.1000	.1000E+02	265.986	271.982	286.153	272.125	272.017
0.1500	.6667E+01	296.508	293.391	305.288	295.612	296.227
0.2000	.5000E+01	320.767	311.567	321.534	315.262	316.409
0.2500	.4000E+01	341.579	328.063	336.278	332.848	334.411
0.3000	.3333E+01	360.268	343.648	350.207	349.235	351.109
0.3500	.2857E+01	377.586	358.790	363.742	364.942	367.054
0.4000	.2500E+01	394.020	373.826	377.181	380.326	382.597
0.4500	.2222E+01	409.919	389.034	390.773	395.667	398.028
0.5000	.2000E+01	425.567	404.673	404.752	411.219	413.592
0.5500	.2222E+01	441.214	421.023	419.365	427.233	429.533
0.6000	.2500E+01	457.114	438.407	434.903	443.994	446.124
0.6500	.2857E+01	473.547	457.243	451.739	461.852	463.692
0.7000	.3333E+01	490.866	478.108	470.388	481.275	482.672
0.7500	.4000E+01	509.555	501.868	491.624	502.957	503.691
0.8000	.5000E+01	530.367	529.946	516.720	528.011	527.770
0.8500	.6667E+01	554.625	564.985	548.038	558.476	556.726
0.9000	.1000E+02	585.147	612.887	590.853	598.829	594.543
0.9250	.1333E+02	604.819	646.174	620.605	626.089	619.747
0.9500	.2000E+02	630.386	692.447	661.963	663.053	653.484
0.9600	.2500E+02	643.564	717.684	684.520	682.809	671.328
0.9700	.3333E+02	659.765	750.050	713.448	707.776	693.670
0.9800	.5000E+02	681.300	795.428	754.008	742.161	724.030
0.9900	.1000E+03	715.245	872.598	822.982	799.256	773.535
0.9950	.2000E+03	746.307	949.487	891.705	854.792	820.640
0.9970	.3333E+03	767.710	1006.056	942.267	894.996	854.044
0.9990	.1000E+04	810.343	1127.594	1050.897	980.042	923.796
0.9995	.2000E+04	835.225	1204.225	1119.390	1033.026	965.938

AJUSTEMENTS AUX 11 DISTRIBUTIONS RETENUES
PAR LA METHODE DU MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE
LES PARAMETRES D ECHELLE ETANT POSITIFS A PRIORI

VALEURS CALCULEES

VALEUR LIMITE INFERIEURE CHOISIE POUR LES BORNES INFERIEURES -0.10000E+01

GAUS DISTRIBUTION DE LAPLACE-GAUSS DITE NORMALE
G.VR DISTRIBUTION DE GUMBEL MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE
G.MO DISTRIBUTION DE GUMBEL PAR LES MOMENTS
GALT DISTRIBUTION DE GALTON, GAUSSO-LOGARITHMIQUE
PEAR DISTRIBUTION DE PEARSON III, GAMMA INCOMPLETE, EN X
PEAV DISTRIBUTION DE PEARSON V, GAMMA INCOMPLETE, EN 1/X
GOOD DISTRIBUTION DE GOODRICH, EXPO GENERALISEE, EN X**A
FREC DISTRIBUTION DE FRECHET, EXPO GENERALISEE, EN 1/X**A
LGAM DISTRIBUTION WRC-USA, LOG-GAMMA DE 1ERE ESPECE
FUIT DISTRIBUTION DE LA LOI DES FUITES
POLY DISTRIBUTION DE POLYA

DISTRIBUTION POLYA PARAMETRES	PEARS	GOODR	FRECH	LGAMA	FUITE
D ECHELLE	9718.445	300.686	478.204	0.800	18.618
36.692					
DE POSITION	-126.651	159.540	-126.651	0.800	0.000
425.567					
DE FORME PREMIER	18.566	0.436	-0.224	400.000	22.858

DE FORME SECOND	*****	*****	*****	0.016	*****

BORNE INFERIEURE	-126.651	159.540	-126.651	0.800	0.000

BORNE SUPERIEURE	*****	*****	*****	*****	*****

MOYENNE	426.598	425.915	443.482	427.761	425.567
425.567					
MEDIANE	406.337	415.848	392.459	404.423	416.228
413.336					
MODE	370.046	393.883	330.396	363.851	397.322
388.875					
VARIANCE	8471.198	15141.497	43168.551	19206.211	15846.458
16040.380					
COEF VARIATION	0.216	0.289	0.468	0.324	0.296
0.298					
COEF ASYMETRIE	1.046	0.457	4.304	1.136	0.444
0.345					
COEF APLATISSEMENT	2.165	-0.031	103.530	2.451	0.262
3.517					
VALEUR DE TEST	5.448	4.101	9.066	5.674	4.525
4.689					
FREQ AU DEPASSEMENT	0.185	0.346	0.036	0.167	0.285
0.264					
TEST DU CHI2	5.000	6.333	1.667	5.000	7.333
6.333					
PROBABILITE RECURRENCE					
0.0050 .2000E+03	181.589	189.467	202.542	187.622	155.805
168.000					
0.0100 .1000E+03	196.959	200.062	213.042	201.496	175.597
185.000					
0.0200 .5000E+02	214.974	214.469	225.681	218.030	198.556
206.000					
0.0500 .2000E+02	244.637	241.973	247.379	245.728	235.608
239.000					
0.1000 .1000E+02	273.979	272.339	270.083	273.655	271.135
272.000					
0.1500 .6667E+01	295.570	295.783	287.671	294.500	296.508
296.000					
0.2000 .5000E+01	313.859	315.962	303.213	312.326	317.469
316.000					
0.2500 .4000E+01	330.406	334.270	317.824	328.579	336.034
334.000					
0.3000 .3333E+01	345.986	351.426	332.083	343.985	353.134
350.000					
0.3500 .2857E+01	361.061	367.876	346.375	358.973	369.364
366.000					
0.4000 .2500E+01	375.970	383.934	361.008	373.868	385.099
381.000					
0.4500 .2222E+01	390.978	399.850	376.267	388.937	400.636
397.000					
0.5000 .2000E+01	406.337	415.848	392.459	404.426	416.222
412.000					
0.5500 .2222E+01	422.309	432.147	409.943	420.594	432.106
428.000					
0.6000 .2500E+01	439.199	448.988	429.181	437.768	448.533
445.000					
0.6500 .2857E+01	457.387	466.663	450.804	456.330	465.851
462.000					
0.7000 .3333E+01	477.407	485.554	475.739	476.839	484.436
481.000					
0.7500 .4000E+01	500.038	506.211	505.448	505.127	504.921

502.000						
0.8000	.5000E+01	526.584	529.503	542.450	527.537	528.217
526.000						
0.8500	.6667E+01	559.434	556.983	591.679	561.610	556.005
555.000						
0.9000	.1000E+02	603.928	591.980	664.893	607.954	592.027
593.000						
0.9250	.1333E+02	634.628	614.740	720.120	640.054	615.778
618.000						
0.9500	.2000E+02	677.128	644.515	803.349	684.566	647.446
652.000						
0.9600	.2500E+02	700.228	659.935	852.140	708.871	663.992
652.000						
0.9700	.3333E+02	729.843	678.951	918.478	739.976	684.735
652.000						
0.9800	.5000E+02	771.476	704.312	1019.127	783.787	712.681
652.000						
0.9900	.1000E+03	842.453	744.439	1213.042	858.617	758.125
652.000						
0.9950	.2000E+03	913.761	781.283	1438.883	933.966	800.559
652.000						
0.9970	.3333E+03	967.169	806.723	1629.008	990.399	830.960
652.000						
0.9990	.1000E+04	1085.175	857.454	2119.226	1112.061	891.762
652.000						
0.9995	.2000E+04	1160.466	887.142	2496.463	1193.354	927.230
652.000						

FICHIER DIXLOI.DATA SAISI A L ECRAN

ECHANTILLON : modulmako

VALEURS OBSERVEES DANS L ORDRE D APPARITION

ORDRE	VALEUR	ORDRE	VALEUR	ORDRE	VALEUR	ORDRE	VALEUR
1	119.000	2	78.700	3	72.900	4	94.800
5	129.000	6	107.000	7	85.100	8	61.800
9	118.000	10	57.300	11	97.300	12	79.700
13	68.300	14	40.500	15	39.000	16	97.100
17	54.900	18	62.600	19	76.200	20	95.200
21	69.400	22	79.200	23	55.800	24	62.900
25	150.000	26	123.000	27	101.000	28	128.000
29	112.000	30	113.000				

POINTAGE DES 30 VALEURS OBSERVEES RANGEES AVEC ORDRE D APPARITION

PROBABILITE = (RANG-.5)/TAILLE ECHANTILLON

RANG	ORDRE	PROBABILITE	VALEUR	RECURRENCE	VALEUR	PROBABILITE	RANG	ORDRE
1	15	0.0167	39.000	60.000	150.000	0.9833	30	25
2	14	0.0500	40.500	20.000	129.000	0.9500	29	5
3	17	0.0833	54.900	12.000	128.000	0.9167	28	28
4	23	0.1167	55.800	8.571	123.000	0.8833	27	26
5	10	0.1500	57.300	6.667	119.000	0.8500	26	1
6	8	0.1833	61.800	5.455	118.000	0.8167	25	9
7	18	0.2167	62.600	4.615	113.000	0.7833	24	30
8	24	0.2500	62.900	4.000	112.000	0.7500	23	29
9	13	0.2833	68.300	3.529	107.000	0.7167	22	6
10	21	0.3167	69.400	3.158	101.000	0.6833	21	27
11	3	0.3500	72.900	2.857	97.300	0.6500	20	11
12	19	0.3833	76.200	2.609	97.100	0.6167	19	16
13	2	0.4167	78.700	2.400	95.200	0.5833	18	20
14	22	0.4500	79.200	2.222	94.800	0.5500	17	4
15	12	0.4833	79.700	2.069	85.100	0.5167	16	7

MOYENNE OBSERVEE 87.623

MEDIANE OBSERVEE 82.400

MODE PROBABLE 84.412

VARIANCE 801.429

P.M. ECART TYPE 28.310

COEF VARIATION 0.323

ECART TYPE/MOYENNE

COEF ASYMETRIE 0.233

3EME CUMULANT/VARIANCE**1.5

COEF APLATISSEMENT -0.919

4EME CUMULANT/VARIANCE**2.

AJUSTEMENTS AUX 11 DISTRIBUTIONS RETENUES

VALEURS CALCULEES

PAR LA METHODE DU MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE

LES PARAMETRES D ECHELLE ETANT POSITIFS A PRIORI

VALEUR LIMITE INFERIEURE CHOISIE POUR LES BORNES INFERIEURES -0.10000E+01

GAUS DISTRIBUTION DE LAPLACE-GAUSS DITE NORMALE

G.VR DISTRIBUTION DE GUMBEL MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE

G.MO DISTRIBUTION DE GUMBEL PAR LES MOMENTS

GALT DISTRIBUTION DE GALTON,GAUSSO-LOGARITHMIQUE

PEAR DISTRIBUTION DE PEARSON III,GAMMA INCOMPLETE,EN X

PEAV DISTRIBUTION DE PEARSON V,GAMMA INCOMPLETE,EN 1/X

GOOD DISTRIBUTION DE GOODRICH,EXPO GENERALISEE,EN X**A

FREC DISTRIBUTION DE FRECHET,EXPO GENERALISEE,EN 1/X**A

LGAM DISTRIBUTION WRC-USA,LOG-GAMMA DE 1ERE ESPECE

FUIT DISTRIBUTION DE LA LOI DES FUITES

POLY DISTRIBUTION DE POLYA

DISTRIBUTION	GAUSS	GUM.V	GUM.M	GALTO	PEAR3
PARAMETRES					
D ECHELLE	27.834	24.623	22.081	112.546	7.766
DE POSITION	87.623	74.044	74.878	-28.310	-15.163

DE FORME PREMIER	*****	*****	*****	0.248	13.235
DE FORME SECOND	*****	*****	*****	*****	*****
BORNE INFERIEURE	*****	*****	*****	-28.310	-15.163
BORNE SUPERIEURE	*****	*****	*****	*****	*****
MOYENNE	87.623	88.257	87.623	87.764	87.623
MEDIANE	87.623	83.069	82.971	84.236	85.046
MODE	87.623	74.044	74.878	77.499	79.857
VARIANCE	774.714	997.307	802.052	857.874	798.267
COEF VARIATION	0.318	0.358	0.323	0.334	0.322
COEF ASYMETRIE	0.000	1.139	1.139	0.773	0.550
COEF APLATISSEMENT	0.000	2.400	2.400	1.081	0.453
VALEUR DE TEST	2.223	3.034	4.686	2.021	1.625
FREQ AU DEPASSEMENT	0.745	0.550	0.264	0.794	0.883
TEST DU CHI2	5.667	1.000	2.667	2.667	2.667

PROBABILITE RECURRENCE

0.0050	.2000E+03	15.930	32.988	38.059	31.037	29.348
0.0100	.1000E+03	22.873	36.441	41.155	34.832	33.439
0.0200	.5000E+02	30.461	40.457	44.757	39.256	38.209
0.0500	.2000E+02	41.841	47.028	50.650	46.481	45.965
0.1000	.1000E+02	51.953	53.508	56.461	53.546	53.481
0.1500	.6667E+01	58.776	58.277	60.738	58.686	58.901
0.2000	.5000E+01	64.198	62.327	64.369	63.000	63.411
0.2500	.4000E+01	68.850	66.002	67.665	66.871	67.428
0.3000	.3333E+01	73.027	69.474	70.779	70.488	71.150
0.3500	.2857E+01	76.899	72.847	73.804	73.961	74.701
0.4000	.2500E+01	80.572	76.197	76.808	77.370	78.158
0.4500	.2222E+01	84.126	79.585	79.846	80.777	81.589
0.5000	.2000E+01	87.623	83.069	82.971	84.236	85.047
0.5500	.2222E+01	91.121	86.711	86.237	87.805	88.586
0.6000	.2500E+01	94.675	90.584	89.710	91.548	92.266
0.6500	.2857E+01	98.348	94.781	93.473	95.543	96.160
0.7000	.3333E+01	102.219	99.429	97.642	99.897	100.363
0.7500	.4000E+01	106.397	104.722	102.389	104.769	105.016
0.8000	.5000E+01	111.049	110.977	107.998	110.411	110.339
0.8500	.6667E+01	116.471	118.783	114.999	117.290	116.739
0.9000	.1000E+02	123.293	129.455	124.569	126.433	125.086
0.9250	.1333E+02	127.691	136.871	131.219	132.627	130.644
0.9500	.2000E+02	133.406	147.179	140.464	141.050	138.074
0.9600	.2500E+02	136.351	152.802	145.506	145.563	141.998
0.9700	.3333E+02	139.972	160.012	151.972	151.275	146.912
0.9800	.5000E+02	144.786	170.122	161.038	159.160	153.602
0.9900	.1000E+03	152.374	187.314	176.455	172.297	164.477
0.9950	.2000E+03	159.317	204.443	191.817	185.125	174.822
0.9970	.3333E+03	164.101	217.046	203.118	194.441	182.208
0.9990	.1000E+04	173.630	244.122	227.400	214.224	197.449
0.9995	.2000E+04	179.192	261.194	242.710	226.599	206.657

AJUSTEMENTS AUX 11 DISTRIBUTIONS RETENUES
PAR LA METHODE DU MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE
LES PARAMETRES D ECHELLE ETANT POSITIFS A PRIORI

VALEURS CALCULEES

VALEUR LIMITE INFERIEURE CHOISIE POUR LES BORNES INFERIEURES -0.1000E+01

GAUS DISTRIBUTION DE LAPLACE-GAUSS DITE NORMALE
G.VR DISTRIBUTION DE GUMBEL MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE
G.MO DISTRIBUTION DE GUMBEL PAR LES MOMENTS
GALT DISTRIBUTION DE GALTON,GAUSSO-LOGARITHMIQUE
PEAR DISTRIBUTION DE PEARSON III,GAMMA INCOMPLETE,EN X
PEAV DISTRIBUTION DE PEARSON V,GAMMA INCOMPLETE,EN 1/X
GOOD DISTRIBUTION DE GOODRICH,EXPO GENERALISEE,EN X**A
FREC DISTRIBUTION DE FRECHET,EXPO GENERALISEE,EN 1/X**A
LGAM DISTRIBUTION WRC-USA,LOG-GAMMA DE 1ERE ESPECE
FUIT DISTRIBUTION DE LA LOI DES FUITES
POLY DISTRIBUTION DE POLYA

DISTRIBUTION POLYA PARAMETRES		PEAR5	GOODR	FRECH	LGAMA	FUITE
D ECHELLE	8.146	1794.876	66.656	99.299	0.090	4.493
DE POSITION	87.623	-28.310	28.596	-28.310	0.090	0.000
DE FORME PREMIER	87.623	16.445	0.443	-0.244	400.000	19.500

DE FORME SECOND	87.623	*****	*****	*****	0.017	*****

BORNE INFERIEURE	87.623	-28.310	28.596	-28.310	0.090	0.000

BORNE SUPERIEURE	87.623	*****	*****	*****	*****	*****

MOYENNE	87.623	87.898	87.636	92.524	88.130	87.623
MEDIANE	84.908	83.081	85.260	80.259	82.538	85.368
MODE	79.477	74.576	80.022	65.857	72.804	80.792
VARIANCE	801.429	423.451	766.740	2442.861	992.109	787.459
COEF VARIATION	0.323	0.234	0.316	0.534	0.357	0.320
COEF ASYMETRIE	0.373	1.131	0.478	5.214	1.254	0.480
COEF APLATISSEMENT	3.559	2.554	-0.004	492.404	3.006	0.308
VALEUR DE TEST	1.714	2.860	1.559	8.128	3.442	1.551
FREQ AU DEPASSEMENT	0.864	0.590	0.896	0.054	0.463	0.897
TEST DU CHI2	2.667	1.667	1.667	1.000	1.000	2.667
PROBABILITE RECURRENCE						
0.0050	.2000E+03	34.120	34.974	37.853	35.600	28.520
30.000	0.0100	.1000E+03	37.395	37.277	40.151	32.715
34.000	0.0200	.5000E+02	41.253	40.424	42.925	37.625
38.000	0.0500	.2000E+02	47.634	46.471	47.708	45.612
45.000	0.1000	.1000E+02	53.989	53.186	52.739	53.345
53.000	0.1500	.6667E+01	58.687	58.393	56.653	58.893
58.000	0.2000	.5000E+01	62.683	62.887	60.125	62.198
62.000	0.2500	.4000E+01	66.309	66.973	63.398	65.751
66.000	0.3000	.3333E+01	69.733	70.809	66.601	71.367
70.000	0.3500	.2857E+01	73.055	74.492	69.821	74.958
73.000	0.4000	.2500E+01	76.348	78.092	73.126	78.449
77.000	0.4500	.2222E+01	79.672	81.665	76.582	81.900
80.000	0.5000	.2000E+01	83.082	85.260	80.259	85.367
84.000	0.5500	.2222E+01	86.636	88.926	84.241	88.908
87.000	0.6000	.2500E+01	90.404	92.719	88.636	92.576
91.000	0.6500	.2857E+01	94.474	96.703	93.591	96.444
95.000	0.7000	.3333E+01	98.965	100.966	99.325	100.608
99.000	0.7500	.4000E+01	104.059	105.633	106.184	105.200

FICHIER D'INLOI.DATA SAISI A L ECRAN

ECHANTILLON : modukedoug

VALEURS OBSERVEES DANS L ORDRE D APPARITION

ORDRE	VALEUR	ORDRE	VALEUR	ORDRE	VALEUR	ORDRE	VALEUR
1	112.000	2	68.500	3	70.600	4	78.500
5	111.000	6	85.700	7	80.100	8	53.700
9	94.700	10	50.300	11	83.400	12	68.500
13	63.200	14	37.900	15	33.700	16	83.400
17	47.800	18	57.300	19	67.800	20	79.900
21	62.000	22	67.800	23	51.100	24	58.000
25	118.000	26	86.900	27	78.000	28	108.000
29	94.900	30	96.700				

POINTAGE DES 30 VALEURS OBSERVEES RANGEES AVEC ORDRE D APPARITION

PROBABILITE = (RANG-.5)/TAILLE ECHANTILLON

RANG	ORDRE	PROBABILITE	VALEUR	RECURRENCE	VALEUR	PROBABILITE	RANG	ORDRE
1	15	0.0167	33.700	60.000	118.000	0.9833	30	25
2	14	0.0500	37.900	20.000	112.000	0.9500	29	1
3	17	0.0833	47.800	12.000	111.000	0.9167	28	5
4	10	0.1167	50.300	8.571	108.000	0.8833	27	28
5	23	0.1500	51.100	6.667	96.700	0.8500	26	30
6	8	0.1833	53.700	5.455	94.900	0.8167	25	29
7	18	0.2167	57.300	4.615	94.700	0.7833	24	9
8	24	0.2500	58.000	4.000	86.900	0.7500	23	26
9	21	0.2833	62.000	3.529	85.700	0.7167	22	6
10	13	0.3167	63.200	3.158	83.400	0.6833	21	11
11	19	0.3500	67.800	2.857	83.400	0.6500	20	16
12	22	0.3833	67.800	2.609	80.100	0.6167	19	7
13	2	0.4167	68.500	2.400	79.900	0.5833	18	20
14	12	0.4500	68.500	2.222	78.500	0.5500	17	4
15	3	0.4833	70.600	2.069	78.000	0.5167	16	27

MOYENNE OBSERVEE 74.980

MEDIANE OBSERVEE 74.300

MODE PROBABLE 73.154

VARIANCE 479.362

P.M. ECART TYPE 21.894

COEF VARIATION 0.292

ECART TYPE/MOYENNE

COEF ASYMETRIE 0.169

3EME CUMULANT/VARIANCE**1.5

COEF APLATISSEMENT -0.760

4EME CUMULANT/VARIANCE**2.

AJUSTEMENTS AUX 11 DISTRIBUTIONS RETENUES

VALEURS CALCULEES

PAR LA METHODE DU MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE

LES PARAMETRES D ECHELLE ETANT POSITIFS A PRIORI

VALEUR LIMITE INFERIEURE CHOISIE POUR LES BORNES INFERIEURES -0.10000E+01

GAUS DISTRIBUTION DE LAPLACE-GAUSS DITE NORMALE

G.VR DISTRIBUTION DE GUMBEL MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE

G.MO DISTRIBUTION DE GUMBEL PAR LES MOMENTS

GALT DISTRIBUTION DE GALTON,GAUSSO-LOGARITHMIQUE

PEAR DISTRIBUTION DE PEARSON III,GAMMA INCOMPLETE,EN X

PEAV DISTRIBUTION DE PEARSON V,GAMMA INCOMPLETE,EN 1/X

GOOD DISTRIBUTION DE GOODRICH,EXPO GENERALISEE,EN X**A

FREC DISTRIBUTION DE FRECHET,EXPO GENERALISEE,EN 1/X**A

LGAM DISTRIBUTION WRC-USA,LOG-GAMMA DE 1ERE ESPECE

FUIT DISTRIBUTION DE LA LOI DES FUITES

POLY DISTRIBUTION DE POLYA

DISTRIBUTION

GAUSS

GUM.V

GUM.M

GALTO

PEAR3

PARAMETRES

D ECHELLE

21.526

19.686

17.078

94.424

4.921

DE POSITION

74.980

64.461

65.123

-21.894

-21.894

DISTRIBUTION: POLYA PARAMETRES	PEAR5	GOODR	FRECH	LGAMA	FUITE
D ECHELLE 5.393	1723.261	59.142	83.917	0.143	3.170
DE POSITION 74.980	-21.894	22.447	-21.894	0.143	0.000
DE FORME PREMIER *****	18.748	0.378	-0.236	400.000	23.655
DE FORME SECOND *****	*****	*****	*****	0.016	*****
BORNE INFERIEURE *****	-21.894	22.447	-21.894	0.143	0.000
BORNE SUPERIEURE *****	*****	*****	*****	*****	*****
MOYENNE 74.980	75.202	75.007	79.431	75.449	74.980
MEDIANE 73.182	71.681	73.943	69.610	71.350	73.390
MODE 69.587	65.368	71.887	57.924	64.226	70.173
VARIANCE 479.362	258.323	456.516	1576.951	594.095	475.333
COEF VARIATION 0.292	0.214	0.285	0.500	0.323	0.291
COEF ASYMETRIE 0.290	1.039	0.296	4.833	1.133	0.436
COEF APLATISSEMENT 3.434	2.138	-0.198	216.379	2.437	0.254
VALEUR DE TEST 1.443	3.142	1.081	10.405	3.890	1.140
FREQ AU DEPASSEMENT 0.918	0.526	0.969	0.020	0.380	0.963
TEST DU CHI2 0.333	1.667	0.333	5.333	1.667	0.333

PROBABILITE RECURRENCE

0.0050 29.000	.2000E+03	32.359	30.448	34.707	33.169	28.096
0.0100 32.000	.1000E+03	35.052	32.853	36.613	35.615	31.560
0.0200 36.000	.5000E+02	38.207	35.993	38.911	38.529	35.560
0.0500 42.000	.2000E+02	43.402	41.707	42.866	43.410	42.020
0.1000 47.000	.1000E+02	48.539	47.725	47.019	48.330	48.209
0.1500 52.000	.6667E+01	52.316	52.221	50.245	52.001	52.621
0.2000 55.000	.5000E+01	55.515	56.009	53.102	55.140	56.264
0.2500 58.000	.4000E+01	58.410	59.389	55.793	58.002	59.484
0.3000 61.000	.3333E+01	61.133	62.514	58.423	60.714	62.453
0.3500 64.000	.2857E+01	63.770	65.475	61.065	63.352	65.269
0.4000 67.000	.2500E+01	66.375	68.336	63.773	65.974	67.996
0.4500 69.000	.2222E+01	68.998	71.145	66.603	68.625	70.690
0.5000 72.000	.2000E+01	71.681	73.943	69.610	71.351	73.389
0.5500 75.000	.2222E+01	74.472	76.771	72.864	74.196	76.140
0.6000 78.000	.2500E+01	77.421	79.668	76.450	77.217	78.985
0.6500 81.000	.2857E+01	80.597	82.586	80.489	80.482	81.982
0.7000 84.000	.3333E+01	84.092	85.985	85.157	84.090	85.198
0.7500	.4000E+01	88.043	89.355	90.733	88.185	88.741

87.000						
0.8000	.5000E+01	92.675	93.236	97.697	93.005	92.769
92.000						
0.8500	.6667E+01	98.405	97.772	106.995	98.996	97.573
97.000						
0.9000	.1000E+02	106.165	103.490	120.887	107.142	103.793
103.000						
0.9250	.1333E+02	111.516	107.175	131.412	112.784	107.903
107.000						
0.9500	.2000E+02	118.923	111.960	147.346	120.606	113.360
113.000						
0.9600	.2500E+02	122.943	114.422	156.723	124.876	116.233
116.000						
0.9700	.3333E+02	128.103	117.445	169.513	130.341	119.806
116.000						
0.9800	.5000E+02	135.347	121.453	189.003	138.037	124.645
116.000						
0.9900	.1000E+03	147.701	127.745	226.812	151.179	132.452
116.000						
0.9950	.2000E+03	160.110	133.472	271.223	164.409	139.765
116.000						
0.9970	.3333E+03	169.359	137.400	308.885	174.316	144.933
116.000						
0.9990	.1000E+04	189.915	145.173	406.977	195.669	155.710
116.000						
0.9995	.2000E+04	202.930	149.686	483.282	209.933	161.868
116.000						

Annexe 2

Liste des jaugeages et barème d'étalonnage des cinq stations principales de la
Gambie

Jaugeages de la station de Kédougou

Kédougou														
Date	H	Q	Date	H	Q	Date	H	Q	Date	H	Q	Date	H	Q
21/03/70	96	5.02	21/08/73	371.5	312.00	19/09/75	702.5	820.00	11/09/82	394	326.00			
17/04/70	84	1.52	24/08/73	492	509.00	19/09/75	708.5	854.00	09/10/82	311.5	211.00			
21/04/70	84	1.55	01/09/73	402.5	362.00	21/08/76	397	338.00	16/10/82	269.5	151.00			
09/06/70	95	5.00	10/09/73	521.5	561.00	20/09/76	312.5	197.00	13/11/82	171	41.10			
20/01/71	115	12.60	25/09/73	273.5	156.00	20/01/77	123	11.10	16/01/83	108	8.72			
17/02/71	102	6.28	29/09/73	247.5	123.00	28/02/77	100	5.26	13/02/83	96	3.56			
20/03/71	90	2.49	03/10/73	239	117.00	11/05/77	81	0.47	21/03/83	82	0.77			
17/04/71	86	1.62	06/10/73	259	139.00	21/07/77	117.5	12.40	30/03/83	78	0.21			
05/05/71	92	3.13	20/10/73	202	70.00	31/08/77	234.5	113.00	27/07/83	239.5	103.00			
10/06/71	101	5.62	26/10/73	190	60.00	11/09/77	510	517.00	13/02/83	96	3.56			
23/02/72	90	2.63	02/11/73	173	46.30	22/12/77	116	10.20	21/03/83	82	0.77			
25/03/72	80	0.51	08/11/73	161	36.20	25/01/78	100	5.40	30/03/83	78	0.21			
15/04/72	74	0.00	17/11/73	157	33.70	02/03/78	86	1.34	27/07/83	239.5	103.00			
30/06/72	146	27.00	23/11/73	144	26.30	17/07/78	176	51.20	17/10/83	194.5	62.20			
01/07/72	259.5	139.00	30/11/73	135	21.00	01/08/78	245	118.00	12/12/83	113	7.60			
13/07/72	209.5	85.00	15/12/73	123	14.70	17/08/78	296	185.00	05/01/84	110	9.38			
25/07/72	184.5	54.00	09/01/74	110	9.82	25/08/78	532	553.00	13/01/84	102	7.46			
30/07/72	294	188.00	21/01/74	106	8.16	11/09/78	333.5	247.00	11/02/84	91	2.40			
01/08/72	335	246.00	14/02/74	95	4.20	18/09/78	621	733.00	19/07/84	253	124.00			
09/08/72	308	207.00	14/03/74	85	1.37	20/11/78	179	54.30	23/07/84	222.5	93.70			
13/08/72	301	196.00	17/04/74	74	0.04	14/12/78	144	24.10	20/08/84	294.5	183.00			
14/08/72	357	280.00	17/06/74	127	14.30	17/01/79	118	12.60	01/10/84	260	137.00			
16/08/72	442.5	422.00	19/06/74	119	14.00	17/02/79	100	5.20	05/10/84	351	257.00			
17/08/72	420	387.00	24/06/74	107	7.65	28/03/79	86	1.28	06/10/84	397	300.00			
18/08/72	597.5	685.00	29/06/74	112	12.50	27/04/79	76	0.06	07/12/84	119	12.50			
19/08/72	519	550.00	03/07/74	144	26.00	08/06/79	72	0.06	22/12/84	113	6.01			
23/08/72	534	584.00	04/07/74	160	40.50	12/08/79	235.5	113.00	05/01/85	110	9.38			
29/08/72	389.5	335.00	06/07/74	156	35.30	12/09/79	235	114.00	06/02/85	86	1.36			
07/09/72	319	224.00	10/07/74	224	92.10	15/10/79	222	99.00	05/03/85	79	0.14			
08/09/72	347	267.00	13/07/74	216.5	91.00	14/11/79	166	45.70	29/07/85	322	194.00			
09/09/72	373.5	310.00	17/07/74	278.5	167.00	06/12/79	133	22.10	03/08/85	430	368.00			
26/09/72	278.5	166.00	20/07/74	318	232.00	06/01/80	112	11.70	09/08/85	398.5	236.00			
02/10/72	244	120.00	24/07/74	284.5	196.00	05/02/80	96	4.06	12/08/85	575	628.00			
09/10/72	227	98.00	27/07/74	267.5	153.00	09/03/80	86	1.37	21/08/85	615	642.00			
26/10/72	220.5	90.00	06/08/74	472.5	537.00	16/03/80	82	0.65	02/10/85	317	210.00			
31/10/72	201	68.40	10/08/74	352	270.00	12/04/80	72	0.03	26/01/86	104	8.55			
02/11/72	193	61.20	14/08/74	497.5	550.00	10/07/80	365	295.00	30/08/86	272	131.00			
11/11/72	170	43.50	17/08/74	444.5	422.00	08/09/80	559	589.00	03/09/86	335	237.00			
01/12/72	159	35.60	31/08/74	528.5	553.00	12/10/80	221	65.00	17/09/86	400	332.00			
14/12/72	135.5	23.00	08/09/74	479.5	486.00	09/11/80	163	38.00	11/12/86	124	15.10			
26/12/72	128	18.00	12/09/74	404	364.00	14/12/80	121	14.50	13/03/87	84	0.62			
06/01/73	119	15.40	14/09/74	480	484.00	09/01/81	107	7.40	19/08/91	366	270.00			
22/01/73	111	10.00	18/09/74	429.5	402.00	11/02/81	96	3.78	22/08/91	617	666.00			
29/01/73	107	7.70	21/09/74	410	368.00	03/03/81	86	1.21	29/08/98	355	256.00			
05/02/73	104	7.56	25/09/74	339	266.00	04/03/81	86	1.40	17/09/98	570	405.00			
20/02/73	98	4.88	04/10/74	633.5	753.00	20/04/81	73	0.05	22/11/98	169	40.70			
07/03/73	91	2.63	09/10/74	324	234.00	20/06/81	101	6.58	24/01/99	109	9.83			
31/03/73	82	0.70	12/10/74	314	228.00	16/07/81	129.5	20.50	27/08/99	411	329.00			
30/04/73	71	0.02	16/10/74	280	177.00	24/08/81	565	584.00	28/08/99	495	467.00			
02/07/73	118	13.10	22/10/74	240	118.00	24/08/81	532	555.00	28/08/99	495	452.00			
04/07/73	135	21.00	30/10/74	210	108.00	29/08/81	348.5	250.00	15/09/99	408	336.00			
09/07/73	182.5	50.00	09/01/75	110	9.82	01/09/81	442.5	407.00	17/09/99	429	385.00			
11/07/73	150	27.20	23/01/75	106	8.16	01/11/81	183	50.30	30/09/99	362	254.00			
23/07/73	176.5	46.70	14/02/75	95	4.20	21/12/81	117	12.50	02/10/99	319	214.00			
25/07/73	215.5	85.20	19/03/75	90	2.14	12/02/82	96	3.90	26/10/99	300	186.00			
29/07/73	447	432.00	02/04/75	84	0.91	26/02/82	90	2.00	09/12/99	166	38.40			
31/07/73	370	305.00	16/08/75	251	118.00	01/04/82	75	0.19	07/09/00	302	176.80			
03/08/73	472	474.00	28/08/75	413.5	369.00	08/07/82	145	27.40						
08/08/73	343	262.00	19/09/75	689	818.00	09/08/82	349.5	250.00						
12/08/73	555	612.00	19/09/75	695.5	846.00	13/08/82	240	115.00						

Jaugeages de la station de Mako

Mako

Date	Il	Q	Date	Il	Q	Date	Il	Q
01/07/72	181	54.00	09/10/73	247.6999969	128.00	17/03/80	50	0.70
14/07/72	204.5	81.00	22/10/73	208	82.40	14/04/80	17	0.02
19/07/72	272	170.00	01/11/73	182.5	48.00	12/09/80	427	536.00
02/08/72	315	263.00	09/11/73	164.6999969	37.50	11/10/80	219	93.00
08/08/72	304	234.00	19/11/73	158	34.40	12/11/80	162	35.50
12/08/72	259	148.00	26/11/73	142	21.90	16/12/80	122	13.50
18/08/72	393	450.00	17/12/73	123	17.50	07/01/81	102	10.90
19/08/72	479.2	735.00	11/01/74	103	9.05	09/02/81	75	4.78
20/08/72	451	630.00	22/01/74	96	7.85	06/03/81	56	1.44
21/08/72	337	308.00	14/02/74	74	4.22	18/04/81	20	0.01
29/08/72	367.5	385.00	13/03/74	53	1.44	23/06/81	68	3.38
15/09/72	349.5	340.00	01/07/74	160	34.00	14/07/81	150	28.50
24/09/72	295.5	215.00	08/07/74	233.5	110.00	22/08/81	318	256.00
03/10/72	244	125.00	15/07/74	338	258.00	08/09/81	433	555.00
10/10/72	226	100.00	23/07/74	272	176.00	20/12/81	120	16.30
16/10/72	234.5	111.00	29/07/74	365.5	338.00	14/02/82	72	3.80
21/10/72	274	174.00	08/08/74	434	590.00	15/04/82	24	0.06
27/10/72	217.5	92.50	12/08/74	410.5	287.00	15/08/82	280	181.00
03/11/72	195	65.60	23/08/74	487.5	822.00	08/09/82	368.5	350.00
16/11/72	166	40.00	02/09/74	427.5	548.00	14/01/83	101	7.88
03/12/72	160	38.70	10/09/74	472.5	690.00	13/02/83	74	4.00
14/12/72	143	22.00	20/09/74	424	514.00	20/03/83	50	0.51
25/12/72	134	23.80	07/10/74	405.5	646.00	13/01/84	86	5.62
05/01/73	122	20.90	14/10/74	316	258.00	10/02/84	65	2.48
20/01/73	108	15.20	02/04/75	53	1.08	17/03/84	47	0.28
08/02/73	91	6.28	19/09/76	332.5	268.00	13/10/84	238	119.00
13/02/73	86.5	5.66	10/05/77	50	0.75	07/01/85	83	5.13
19/02/73	78	4.48	17/09/77	351.5	278.00	05/02/85	63	1.45
06/03/73	64	2.51	12/10/77	332	122.00	06/03/85	48	0.24
30/03/73	51	0.81	28/01/78	80	3.89	01/08/85	272	161.00
28/04/73	25	0.01	02/03/78	57	1.40	10/08/85	358	365.00
10/07/73	160.5	48.30	15/07/78	159	33.30	30/08/85	362.5	356.00
21/07/73	131	16.40	19/07/78	189.5	51.30	23/09/85	385	418.00
26/07/73	210	79.20	31/07/78	248.5	133.00	10/08/86	256	116.00
01/08/73	377	406.00	05/08/78	412	497.00	08/09/86	370	362.00
04/08/73	387	434.00	26/08/78	445	587.00	27/09/86	310	224.00
10/08/73	337.5	309.00	09/09/78	395.5	454.00	13/12/86	128	16.80
14/08/73	442.5	600.00	20/09/78	487.5	749.00	12/03/87	60	1.07
16/08/73	405	450.00	20/09/78	483.5	720.00	20/11/98	178	50.40
23/08/73	436.5	585.00	20/09/78	474.5	693.00	26/08/99	360	347.00
23/08/73	422.5	538.00	21/11/78	191	55.20	29/08/99	422	518.00
03/09/73	366.5	381.00	16/01/79	123	13.40	14/09/99	354	341.00
07/09/73	525	921.00	18/02/79	84	5.98	29/09/99	364	351.00
20/09/73	351.5	343.00	29/03/79	56	2.52	25/10/99	308	222.00
26/09/73	283.5	193.00	28/04/79	28	0.06	28/10/99	296	210.00
01/10/73	247	128.00	10/09/79	246	126.00	09/12/99	170	38.70
05/10/73	262	153.00	04/12/79	142	22.90	23/02/00	92	7.18
			08/03/80	55	1.45	06/09/00	320	251.70

Jaugeages de la station de Simenti

Simenti

Date	H	Q		Date	H	Q
29/05/70	37	0.50		25/04/73	26	0.03
18/02/71	83	5.38		13/06/73	60	3.50
21/03/71	55	1.82		20/06/73	119.5	19.80
04/05/71	28	0.20		19/08/73	820.5	881.00
05/01/72	100	9.80		20/09/73	491.5	430.00
22/02/72	60	2.35		20/09/73	487	414.00
27/03/72	33	0.40		21/09/73	481.5	413.00
14/04/72	26	0.04		26/09/73	386	291.00
08/08/72	379.7000122	280.00		11/10/73	286	156.00
18/08/72	588	592.00		20/10/73	242	111.00
24/08/72	512	528.00		02/11/73	194	65.60
30/08/72	479.5	458.00		19/11/73	165	42.60
19/09/72	516.5	486.00		08/12/73	127.5	17.80
28/09/72	329.5	232.00		20/12/73	115	13.50
04/10/72	284.5	162.00		09/01/74	98	9.26
25/10/72	267	150.00		23/01/74	85	6.96
22/11/72	158.5	37.80		12/02/74	72	4.19
05/12/72	153	35.90		26/02/74	57	1.97
23/12/72	128	16.40		13/03/74	45	1.09
09/01/73	109	12.70		23/03/74	36	0.34
24/01/73	96.5	8.02		22/04/74	24	0.01
05/02/73	88.5	6.02		28/06/74	103	9.62
13/02/73	79	4.92		28/08/74	988	1140.00
20/02/73	74	4.56		10/10/74	636	578.00
02/03/73	61	2.70		17/01/75	107	12.20
08/03/73	55	1.84		06/03/75	65	2.54
14/03/73	48	1.46		18/09/76	45	0.95
29/03/73	37	0.62		17/01/77	116	17.70
11/04/73	31	0.24		26/02/77	76	4.74
19/04/73	28	0.07		26/04/79	30	0.07

Jaugeages de la station de Wassadou Aval

Wassadou aval						
Date	H	Q	Date	H	Q	
04/06/73	78	2.21	25/10/74	399	191.00	
09/06/73	89	4.05	07/11/74	300	117.00	
18/06/73	127.5	12.70	10/07/75	166.5	26.80	
05/07/73	168.5	29.80	23/07/75	343	147.00	
18/07/73	199	45.80	08/08/75	390	189.00	
26/07/73	226	68.40	25/08/75	392	191.00	
01/08/73	692.5	507.00	09/09/75	1114	1080.00	
07/08/73	761	618.00	15/09/75	919.5	716.00	
09/08/73	674.5	495.00	18/09/75	932	767.00	
16/08/73	961.5	900.00	27/07/76	387.5	185.00	
21/08/73	950	811.00	10/08/76	420	221.00	
29/08/73	867.5	701.00	26/08/76	583	378.00	
05/09/73	814.5	675.00	29/09/76	627.5	442.00	
11/09/73	1102	1060.00	06/08/77	205	43.60	
14/09/73	993	828.00	17/12/77	143	10.00	
19/09/73	749	560.00	10/08/83	241.5	69.50	
25/09/73	562.5	363.00	26/08/83	360.5	173.00	
01/10/73	405	209.00	31/08/98	857	637.00	
10/10/73	379.5	183.00	10/11/98	306	83.90	
19/10/73	308	107.00	20/11/98	260	58.40	
26/10/73	267	89.80	26/08/99	812	572.00	
05/11/73	227.5	59.20	29/08/99	829	588.00	
23/11/73	192	38.90	13/09/99	1076	832.00	
04/12/73	169	24.70	18/09/99	981	670.00	
18/12/73	149	17.40	29/09/99	985	688.00	
10/01/74	128	11.00	20/10/99	830	478.00	
17/07/74	544	365.00	25/10/99	717	418.00	
24/07/74	625.5	441.00	09/12/99	250	54.60	
19/08/74	978.5	938.00	23/02/00	95	4.86	
26/08/74	1155	1140.00	06/09/00	779	493.00	
03/09/74	1079	988.00				
13/09/74	1080	986.00				
20/09/74	1037	872.00				
05/10/74	848.5	640.00				

Jaugeages de la station de Gouloumbou

Gououmbou									
Date	H	Q	Date	H	Q	Date	H	Q	
04/07/72	181	40	15/02/73	112	14.2	25/09/75	1042	1340	
06/07/72	169.5	24.4	08/03/73	545	553	29/09/75	1082	1370	
11/07/72	189	77.8	08/03/73	545	553	01/10/75	1095	1400	
17/07/72	261.5	155	24/07/73	170	52.8	03/10/75	1106	1410	
01/08/72	302.5	222	29/07/73	223	145	17/10/75	700	694	
02/08/72	336	269	31/07/73	386	421	09/08/78	780.5	888	
05/08/72	387.7	326	08/08/73	644	711	09/08/78	780.5	888	
10/08/72	427	366	13/08/73	595	600	10/09/78	781	885	
14/08/72	400	336	15/08/73	723	815	31/08/80	843	915	
19/08/72	550.7	595	18/08/73	820	891	17/10/82	355.5	258	
22/08/72	688.5	782	21/08/73	843.5	975	22/07/83	190	85.6	
25/08/72	600.5	598	23/08/73	829.5	931	18/10/83	216	88	
31/08/72	548	496	28/08/73	823.5	915	09/12/83	133.5	36.4	
04/09/72	442	383	31/08/73	769.5	800	26/01/84	107.2	4.48	
07/09/72	488	441	02/09/73	737.5	777	23/08/98	981	1180	
11/09/72	469.7	421	04/09/73	757.5	827	23/08/98	981	1140	
14/09/72	469.5	421	07/09/73	756	865	07/09/98	688	722	
20/09/72	595	618	12/09/73	933	1090	04/10/98	832	849	
22/09/72	581.7	584	18/09/73	830	882	10/11/98	238	123	
23/09/72	551	534	24/09/73	593	557	27/07/99	202	86.3	
25/09/72	484	441	27/09/73	502.5	442	25/08/99	640	655	
27/09/72	426	350	30/09/73	412	345	29/08/99	704	737	
02/10/72	355	290	06/10/73	315.5	213	24/09/99	976	1160	
03/10/72	348	273	12/10/73	324	236	20/10/99	878	867	
09/10/72	298.5	212	18/10/73	288	196	08/12/99	210	80.8	
10/10/72	292.5	206	25/10/73	246	143	08/12/99	209	85.4	
14/10/72	278.5	192	31/10/73	220	118	08/12/99	208	87.5	
20/10/72	278.5	194	09/11/73	195.5	86.6	08/12/99	207	86	
27/10/72	294	210	21/06/74	162.5	52.8	08/12/99	207	85.4	
03/11/72	238	137	13/07/74	291.5	229	21/12/99	169	54.86	
28/11/72	176	57.7	22/07/74	474.5	437	21/12/99	168	56.88	
09/12/72	163.2	47.2	30/07/74	524.5	490	21/12/99	168	55.21	
14/12/72	149	40.9	05/08/74	469	440	21/12/99	168	59.74	
18/12/72	142.5	42.5	10/08/74	696	798	21/12/99	167	59.04	
21/12/72	149.7	19.8	17/08/74	707	770	21/12/99	168	52.31	
28/12/72	136	19.3	21/08/74	877	990	21/12/99	169	52.15	
28/12/72	136	29.6	27/08/74	976	1190	11/02/00	119	7.99	
04/01/73	129	24.6	31/08/74	998	1220	11/02/00	124	8.62	
04/01/73	129	21.9	06/09/74	961.5	1150	11/02/00	125	13.21	
08/01/73	133	19.9	11/09/74	942.5	1130	11/02/00	123	18.58	
08/01/73	133	23.5	19/09/74	968	1160	11/02/00	122	17.61	
11/01/73	125	17.9	12/10/74	866.5	929	11/02/00	121	19.62	
11/01/73	125	26	22/10/74	576	534	11/02/00	120	21.21	
18/01/73	113	21.1	31/10/74	929	1100	11/02/00	119	22.39	
18/01/73	113	24.6	20/11/74	232	109	11/02/00	119	15.82	
25/01/73	122	6.56	21/07/75	266	165	11/02/00	119	22.11	
30/01/73	107	17.7	28/08/75	364.5	288	06/09/00	654	630	
30/01/73	106	17.2	10/09/75	949	1130				
02/02/73	108	13.6	23/09/75	1004	1270				
02/02/73	106.5	14.9							

Barème d'étalonnage de la station de Kédougou

H	1970-1975	H	1975 à nos jours
70	0	70	0.00
72	0.02	72	0.02
74	0.050000001	74	0.05
76	0.100000001	76	0.10
78	0.219999999	78	0.22
80	0.340000004	80	0.34
82	0.670000017	82	0.67
86	1.529999971	86	1.53
90	2.460000038	90	2.46
95	3.950000048	95	3.95
100	5.530000021	100	5.53
110	9.630000114	110	9.63
120	14.30000019	120	14.30
130	19.10000038	130	19.10
140	24	140	24.00
150	29.29999924	150	29.30
160	36	160	36.00
170	43.59999847	170	43.60
180	51	180	51.00
190	58.90000153	190	58.90
200	68.5	200	68.50
220	90.59999847	220	90.60
240	115	240	113.00
260	142	260	135.30
280	169	280	159.40
300	195	300	187.40
350	271	350	256.00
390	340	390	308.00
450	438	450	393.00
500	520	500	474.00
550	608	554	571.00
600	691	600	653.00
650	785	650	746.00
700	880	700	839.00
800	1080	800	1040.00
900	1300	900	1250.00

Barème d'étalonnage de la station de Wassadou Aval

H	1970-1994	H	1994-1998	H	1998 à nos jours
40	0.00	40	0.00	40	0.00
45	0.06	45	0.06	45	0.05
50	0.14	50	0.13	50	0.13
55	0.22	55	0.21	55	0.20
60	0.45	60	0.43	60	0.41
65	0.77	65	0.73	65	0.69
70	1.20	70	1.14	70	1.08
75	1.82	75	1.73	75	1.64
80	2.46	80	2.34	80	2.21
90	4.18	90	3.97	90	3.76
100	6.03	100	5.40	100	5.43
120	10.10	120	8.90	120	8.40
140	15.30	140	14.00	140	12.90
160	22.80	160	20.40	160	19.00
180	32.40	180	29.30	180	25.40
200	43.50	200	39.00	200	32.90
250	74.50	250	65.80	250	54.40
300	111.40	300	99.80	300	82.30
350	152.00	350	141.00	350	117.00
400	197.00	400	182.00	400	157.00
450	245.80	450	229.00	450	197.00
500	295.90	500	277.00	500	240.00
550	351.00	550	330.00	550	289.00
600	404.00	600	378.00	600	338.00
650	460.00	650	429.00	650	386.00
700	514.00	700	484.00	700	438.00
750	569.00	750	539.00	750	492.00
800	624.00	800	592.80	800	545.00
850	682.00	850	647.90	850	593.00
900	743.00	900	705.85	900	648.00
950	808.00	950	767.60	950	707.00
1000	879.00	1000	835.05	1000	767.00
1100	1034.00	1100	982.30	1100	887.00
1200	1210.00	1200	1149.50	1200	1033.00
1300	1386.00	1300	1316.70	1300	1188.00

Barème d'étalonnage de Make

H	étalonnage 1970 à nos jours
15	0.00
18	0.01
20	0.01
30	0.06
40	0.14
45	0.22
50	0.63
60	1.95
70	3.34
80	4.78
90	6.70
100	9.10
110	11.90
120	15.10
130	18.90
140	22.90
150	28.80
160	35.00
170	41.70
180	49.30
190	59.00
200	69.30
225	100.00
250	133.00
275	175.00
300	218.00
350	322.00
400	460.00
450	610.00
500	800.00
620	1370.00

Barème d'étalonnage de Simenti

H	étalonnage 70 à nos jours
20	0.00
25	0.02
30	0.15
35	0.40
40	0.70
45	1.04
50	1.46
55	1.89
60	2.42
70	3.79
80	5.35
90	7.20
100	9.60
120	16.10
140	26.50
160	38.90
200	71.00
250	122.00
300	182.00
350	243.00
400	307.00
450	373.00
500	440.00
550	507.00
600	577.00
800	854.00
1000	1160.00
1200	1480.00

Barème d'étalonnage de Goulombou

H	étalonnage 53 à nos jours
200	86
250	147
300	209
350	270
400	333
450	396
500	464
550	531
600	600
650	671
700	741
750	812
800	886
900	1040
1000	1215
1200	1588
1500	2229