

**INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE
DEVELOPPEMENT EN COOPERATION**

ORSTOM

**PLAN DIRECTEUR DE LA HAUTE
VALLEE DU FLEUVE SENEGAL**

CLIMATOLOGIE

HYDROLOGIE

Rapport final

DAKAR
Juin 1991

Jean ALBERGEL

Jean - Pierre LAMAGAT

TABLE DES MATIERES

ANNEXE C

HYDROLOGIE/CLIMATOLOGIE

1.0 BIBLIOGRAPHIE	C-1
1.1 GEOGRAPHIE - GEOLOGIE - HYDROGEOLOGIE - GEOMORPHOLOGIE	C-1
1.2. LES SOLS - LA VEGETATION	C-2
1.3. L'HYDROLOGIE ET LES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES	C-3
1.3.1 Recueil de données hydrologiques de base	C-3
1.3.2 Etudes Hydrologiques	C-4
1.3.3 Etudes climatiques de référence pour les projets d'aménagement dans la zone d'étude	C-7
1.3.4 Etudes pouvant servir de modèle pour les régions Nord Ouest de la zone d'études	C-8
2.0 LES FACTEURS CLIMATIQUES DU HAUT BASSIN DU FLEUVE SENEGAL	C-9
2.1. GENERALITES	C-9
2.2 REGIME DES VENTS	C-10
2.2.1. Vitesse des vents	C-10
2.2.2 Direction des vents	C-10
2.3. LES FACTEURS THERMIQUES ET L'EVAPORATION	C-12
2.3.1 Les températures et l'évaporation PICHE	C-12
2.3.2 L'humidité de l'air	C-15
2.3.3 L'insolation	C-15
2.3.4 L'évapotranspiration potentielle (ETP)	C-17
2.4. ETUDE PLUVIOMETRIQUE	C-18
2.4.1 La répartition intermensuelle des précipitations	C-22
2.4.2 Répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles. Estimation de la lame précipitée moyenne par sous bassin.	C-25
2.4.3 analyse de la sécheresse 1968 -1980	C-26
2.4.4 Analyse statistique des pluviométries annuelles	C-29
2.4.5. Pluviométrie journalière	C-33
3.0 HYDROLOGIE	
3.1 GENERALITES	C-37
3.1.1 Régime hydrologique du haut-bassin du fleuve Sénégal	C-37
3.1.2. Modules	C-37
3.2 CRUES NATURELLES (avant barrage Manantali - HMD)	C-42
3.2.1. Présentation des résultats	C-42
3.2.1.1. Exemple de calcul	C-42
3.2.2. Crue artificielle - Gestion de la retenue de Manantali	C-66
3.2.2.1. Etude du bief aval confluence Falémé - Sénégal	C-66
3.2.2.2. Etude du bief amont confluence Falémé - Sénégal	C-66
3.2.2.2.1 Extension de la crue GIBB "A" au niveau de Kayes	C-67
3.2.3 Bassin du KARAKORO	C-86
3.2.4 Bassin de la KOLOMBINE	C-86
3.3.0 ANALYSE DU COMPORTEMENT DES BASSINS VERSANTS DES TRIBUTAIRES AUX ZONES D'INONDATIONS	C-89
3.3.1. METHODES DE CALCUL UTILISEES	C-91
3.3.1.1 Méthodes d'évaluation de la crue d'étude de récurrence décennale	C-91

3.3.1.1.1. Méthode de prédétermination de Rodier et Auvray (ORSTOM 1965)	C-91
3.3.1.1.2. Méthode de prédétermination de Puech et Chabi-Gonni (CIEH, 1984)	C-92
3.3.1.2 Méthode d'estimation des apports annuels	C-92
3.3.2. ETUDE DES DIFFERENTS SITES RETENUS	C-93
3.3.2.1 Le secteur de Bakel	C-93
3.3.2.1.1 Pluviométrie	C-93
3.3.2.1.2 Facteurs conditionnant l'écoulement	C-96
3.3.2.1.3. Caractéristiques physiques des bassins versants	C-96
3.3.2.2. Le secteur de Kayes	C-97
3.3.2.2.1. Pluviométrie	C-97
3.3.2.2.2 Facteurs conditionnant l'écoulement	C-99
3.3.2.2.3. Caractéristiques physiques des bassins versants	C-101
3.3.2.3. Site de Nahé sur la Falémé	C-101
3.3.2.3.1. Pluviométrie	C-101
3.3.2.3.2 Caractéristiques du bassin	C-104
3.3.2.4. Le site de Melgue	C-104
3.3.2.4.1 Pluviométrie	C-104
3.3.2.4.2. Caractéristiques du bassin	C-104
3.3.3. RESULTATS	C-107
3.3.3.1. Débit de pointe de la crue décennale	C-107
3.3.3.2. Ecoulement annuel	C-113
4.0. APERÇU HYDROGEOLOGIQUE DU HAUT BASSIN DU SENEGAL	C-117
4.1. GENERALITES SUR L'HYDROGEOLOGIE DU HAUT BASSIN	C-117
4.1.1. Les nappes peu profondes	C-117
4.1.2 Les réserves profondes	C-117
4.1.2.1 Productivité des forages	C-117
4.1.2.2 Qualité des eaux de forage	C-118
4.1.2.3 Niveaux piézométriques et recharge des aquifères	C-118
4.2. ESQUISSE DES SYSTEMES AQUIFERES DU HAUT BASSIN DU FLEUVE SENEGAL	C-119
LISTE DES TABLEAUX	C-121
LISTE DES FIGURES ET CARTES	C-122

ANNEXE C : HYDROLOGIE/CLIMATOLOGIE

Cette annexe comporte quatre parties. La première est constituée par une recherche bibliographique qui a permis de rassembler les principales études concernant le milieu naturel de la haute vallée du SENEGAL. Une attention particulière a été portée sur les travaux concernant l'hydrologie, la gestion des eaux et les aménagements hydro-agricoles. Les ouvrages sont référencés par ordre chronologique. Une analyse par mots-clé suit chaque titre ou groupes de titres sur le même sujet.

La seconde partie décrit les facteurs climatiques du Haut Bassin du fleuve SENEGAL. Les facteurs thermiques, le vent et l'évapotranspiration sont étudiés à partir des données de quelques stations climatologiques. L'étude des précipitations aux échelles annuelles, mensuelles et journalières est réalisée à partir des banques de données de pluviométries journalières disponibles au centre ORSTOM de DAKAR HANN pour les quatre pays concernés : GUINEE, MALI, MAURITANIE et SENEGAL.

L'hydrologie du domaine d'études est présentée dans la troisième partie. Cette étude comprend:

- une synthèse sur les caractéristiques de la crue du fleuve SENEGAL et de ses affluents en fonction des différents scénarios de gestion de la réserve d'eau de MANANTALI.
- les statistiques décennales des hauteurs et débits aux principales stations limnimétriques et aux points importants des zones de développement. Les lignes d'eau sont étudiées en fonctions des apports et des hypothèses de gestion de la réserve d'eau de MANANTALI.
- une analyse du comportement hydrologique des bassins versants et des dépressions des zones d'aménagements. Une estimation des apports par ruissellement et des paramètres de la crue de projet (décennale) est donnée pour les principaux bassins latéraux.

Dans la quatrième partie, les conditions hydrogéologiques du Haut Bassin du Fleuve SENEGAL sont décrites sommairement.

1.0 BIBLIOGRAPHIE

1.1. Géographie, géologie, hydrogéologie, géomorphologie

ARCHAMBAULT J. (1960) Eaux souterraines de l'Afrique Occidentale. *Berger Levrault, Nancy*, 139 p. 2 cartes h.t.

Ouvrage général sur les nappes de l'Afrique de l'Ouest. Description des nappes déprimées de MAURITANIE et du SENEGAL (nappe du ferlo, nappe du BRAKNA)

BASSOT J.P. (1966) Etude géologique du Sénégal Oriental et de ses confins guinéo maliens. *Mém. BRGM, Paris*, 40, 322 p.

BASSOT J.P. (1969) Aperçu sur les formations précambriennes et paléozoïques du Sénégal Oriental *Bull. Soc. Géol. Fr., série 7, 11*, p. 160-169

SENEGAL CONSULT SUISSE (1970) Etude de préinvestissement pour la régularisation du fleuve SENEGAL Projet d'un système de contrôle des débits dans le bassin du Haut-Sénégal. Etude géologique. *Vol 9 Nations Unis*.

INTERNATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE, INC, (1990) Projet OMVS/USAID 625-0958; Eaux souterraines. Rapport Final.

Mots clé: Sondages. Forages. Descriptions de profils géologiques. Coupes géologiques. Essais géotechniques. Essais de Pompages. Qualité des eaux.

MICHEL P. (1970) Les bassins du Sénégal et de la Gambie. Etude géomorphologique. *Mém. ORSTOM, Paris, n°63, 753 p.*

Mots clé: Facteurs de la morphogénèse. Les vieilles surfaces couvertes de latérite. Le quaternaire ancien et le quaternaire récent. Traits géomorphologiques du bassin du fleuve SENEGAL et du fleuve GAMBIE, leur place dans l'ensemble Africain.

GANNETT FLEMING and al., (1977) Evaluation des effet sur l'environnement d'aménagements prévus dans le bassin du fleuve SENEGAL. *rapport intérimaire OMVS, nappes souterraines Dakar*

VILENEUVE M. (1984) Etude géologique de la bordure Sud Ouest du Craton Ouest Africain. *Thèse es sciences, Univ. Aix-Marseille, 552 p.* O.MV.S & USAID (1987)
Répertoire des travaux de carographie, levés terrestres et couvertures aériennes du bassin du fleuve SENEGAL

Mots clé: Sur l'ensemble du bassin du fleuve SENEGAL : inventaire des nivellements et des cheminements géodésiques. Inventaire des couvertures aériennes . Inventaire des cartes topographiques. et cartes pédologiques. Listes et adresses des services nationaux, des organismes d'aide et de coopération, des instituts de recherches et des bureaux d'études ayant réalisés des travaux de cartographie et en disposant.

Cartes géologiques et hydrogéologiques

- Cartes géologiques au 1/500 000 ème, feuilles Kayes-Ouest et Kayes Est,(Dakar 1950), Kita Ouest et Kita Est(Dakar, 1946) carte géologique du SENEGAL (Service des mines, 1962)
- Cartes géologiques au 1/200 000 ème (BRGM, 1967,1968) Feuille de Bakel
- Cartes hydrogéologiques au 1/500 000 ème et carte hydro-chimique au 1/1000 000 ème du SENEGAL (feuille Nord est) (J. DEPAGNE et H. MOUSSU, 1967)
- Carte de planification des ressources en eau souterraine de l'Afrique Soudano Sahélienne (BRGM, 1976)

1.2. Les sols, la végétation

Cartes pédologiques

- Carte au 1/1.000.000 ème
- Carte pédologique du SENEGAL au 1/1.000.000ème d'après MAIGNIEN (ORSTOM, 1965)
- Cartes au 1/250.000 ème

Esquisse pédologique du FERLO SUD d'après S.P. BARRETO (ORSTOM, 1964)

- Cartes au 1/200.000 ème

carte pédologique de reconnaissance de la zone MATAM BAKEL KIDIRA d'après C. FELLER et P MERCKY (ORSTOM, 1976)

carte pédologique de reconnaissance BAKEL d'après S.P. BARRETO (ORSTOM, 1966)

carte des sols aux aptitudes forestières projet BAKEL d'après MOUGENOT (ORSTOM, 1984)

- Cartes au 1/50.000 ème

Carte pédologique au 1/50.000 ème de la vallée du fleuve SENEGAL jusqu'en aval de BAKEL FAO SODAGRI (1973)

Esquisse pédologique de la région de GOUDIRI au 1/50.000 ème d'après LEPRUN (ORSTOM, 1967)

AUDRY P., ROSSETTI Ch. (1962) Observations sur les sols et la végétation en Mauritanie du Sud Est et sur la bordure adjacente au MALI (1959 et 1961) *Rapport FAO, n° UNSF/DL/ES/3, Rome 267 P.*

ADAM J.G. (1965) Généralités sur la flore et la végétation du Sénégal *Climat, sols et végétation, Et. Sénég., NO 9* Connaissance du Sénégal, *Centre Rech. Doc. sénég., Saint Louis, fasc. 3 p 155-214*

Flore et écologie végétale.

KEITA B. (1980) Projet d'aménagement de périmètres Irrigués dans la vallée du fleuve : reconnaissance morpho-pédologique *IER & IRAT, Bamako*

KEITA B. (1982) Cartes pédologiques pour 10.000 ha en aval de KAYES, *IER, BAMAKO*

1.3. L'HYDROLOGIE ET LES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES

1.3.1 Recueil de données hydrologiques de base

DEH Division Hydrologie du Sénégal (1982) Débits caractéristiques du SENEGAL. *Doc. de la division hydrologique avec l'assistance de l' OMM, Projet SEN/76/014*

DEH Division Hydrologie, ORSTOM, FAC : Annuaire hydrologiques de la république de SENEGAL : 1974/1975, 1975/1976,.....1977/1978

DEH Division Hydrologie, : Annuaire hydrologiques de la république de SENEGAL : 1978/1979, 1979/1980.....1985/1986

Service Hydrologique du MALI : Annuaire hydrologiques de la république du MALI: 1968/1969, 1969/1970,1986/1987

Services hydrologiques de MAURITANIE : Annuaire hydrologiques 1974, 1975?

Mots clé:*Recueils de données annuels de hauteurs journalières débits journaliers au stations des réseaux nationaux*

Banque de données HYDROM, ORSTOM, DAKAR

Mots clé:*Banque de données informatisée et gérée par le logiciel HYDROM. Hauteurs d'eaux instantannées, hauteurs moyennes journalières, débits instantannées, débits moyens journaliers, jaugeages, barème d'étalonnage, dossiers des stations.*

Banque de données PLUVIOM, ORSTOM, DAKAR

Mots clé:*Banque de données informatisée et gérée par le logiciel PLUVIOM,. Stations pluviométriques. Puits journalières. Eléments de critique des données.*

1.3.2 Etudes Hydrologiques

RODIER J., 1964 Régime hydrologique de l'Afrique à l'Ouest du CONGO *Mémoires ORSTOM n°6*, 138 p

Mots clé:*Description du régime hydrologique du fleuve SENEGAL et de ses principaux tributaires. Comparaison avec le régime des autres grands fleuves sahéliens.*

JACCON G, DJIGANDE O et KOITA G (1968) Hydrologie du bassin du SENEGAL en amont de BAKEL. Etude des crues 1965, 1966, 1967, *Service de l'hydraulique, Bamako*

JACCON G.(1969) Hydrologie du bassin du SENEGAL: Etude du BAFFING à DIBIA et de la crue 1968. *Bamako ORSTOM, direction de l'hydraulique, section hydrologique.*

Mots clé:*Données hydrologiques et leur analyse sur les principales stations hydrométriques de la zone d'étude. Analyse d'une année à la crue exceptionnellement forte.*

SENEGAL CONSULT (1970) Feasibility survey for the regularisation of the SENEGAL River Catchment; *UNITED NATIONS*

SENEGAL CONSULT SUISSE (1970) Etude de préinvestissement pour la régularisation du fleuve SENEGAL Projet d'un système de contrôle des débits dans le bassin du Haut-Sénégal. Etude Hydrologique. *Vol 3a Nations Unis.*

Mots clé:*Bassin versant.. Climatologie. Hydrologie . Réseau. Elaboration de chroniques de débits. Débits solides. Caractérisation des sédiments. Charriage de fond. Colmatage des réservoirs. Considérations sur les conséquences pouvant résulter de l'aménagement du fleuve.*

ROCHETTE C. (1974) Le bassin du fleuve SENEGAL, *Monographie Hydrologique , ORSTOM, PARIS Monogr.* 1,325 p.

Mots clé:*Facteurs conditionnels du régime. Analyse des éléments du régime hydrologique du haut bassin du SENEGAL en amont de BAKEL et de ses affluents. Analyse des éléments du régime hydrologique de la vallée en aval de BAKEL. Données hydrologiques jusqu'en 66.*

SCET-COOP. (1975) Etude diagnostique des possibilités hydroagricoles de la vallée du Sénégal dans la région de KAYES *Fac 1975*

Mots clé:*possibilités agricoles de la région de KAYES*

OULD HAMIDOU A. SEYE B. (1976) Hydrologie du fleuve SENEGAL de 1965 à 1975. OMVS, Dakar

Mots-clef:*Eléments du régime hydrologique. Analyse des données sur une décennie.*

GUIGUEN N. LERIQUE J (1977) Note sur l'étalonnage du SENEGAL à BAKEL à la suite des campagnes de mesures de 1974, 1975, 1976 *ORSTOM, Dakar*

Mots-clef:*Etablissement de la courbe d'étalonnage encore en service. Analyse et critique de l'ensemble des mesures.*

SOGREAH, (1977): Construction et exploitation d'un modèle de propagation type MUSKINGUM entre MANANTALI et BAKEL. Amélioration et jonction des modèles mathématiques du fleuve SENEGAL. *OMVS Dakar*

Mots-clef:*Etude hydrologique du haut bassin. Etude des apports. Elaboration d'un modèle de propagation de la crue entre MANANTALI et BAKEL (débit-débit).*

GROUPEMENT MANANTALI, (1977) Etude d'exécution du barrage et de l'usine hydro-électrique de MANANTALI *OMVS, Dakar.*

GROUPEMENT MANANTALI, (1978) Etude d'exécution du barrage et de l'usine hydro-électrique de MANANTALI *OMVS, Dakar.*

Sir ALEXANDER GIBB & PARTNER, (1978) : évaluation globale du programme régional d'infrastructures (étude globale) *OMVS, Dakar*

Etude des infrastructures hydrauliques. Irrigation. Production hydro-électrique. Navigation

LOUIS- BERGER International inc. (1980) Périmètres irrigues villageois de BAKEL. Etude hydrologique des sites de pompages

Mots-clef:*Données hydrologiques historiques à BAKEL et KIDIRA. Estimation de consommations en eau. Description des PIV de GANDE et AROUNDU. Plan général des PIV et des mouilles. Profils en longs sur le fleuve _SENEGAL. Profil en long de la rivière FALEME. Mares de BAKEL à DAWARA.*

ROÇHE M. OLIVRY J.C. (1981) Construction de barrages sur les Rivières DALEMA et KOILA-KOBE Campagne et observations hydrologiques 1980 et calcul des crues de Projet, *ORSTOM Dakar*40 p.

Mots-clef:*Bassins versants représentatifs. Données hydro-pluviométriques. Prédétermination de crues de projet. Région de la FALEME*

SOKONA Y.(1981) Contribution à l'étude des ressources en eau du bassin du fleuve Sénégal. Etude de la capacité du réservoir de MANANTALI. *Thèse de Dr. Ing. à l'Ecole supérieure des Mines de Paris et à l'Université Paris VI, 139 p.*

Mots-clef:*Hydrologie du bassin du SENEGAL et de ses affluents en amont de Bakel. Homogénéisation des données Extension des séries chronologiques pour l'analyse statistique des apports. Etude du dimensionnement du réservoir de MANANTALI. Règles de gestions.*

G.T.Z. (1983), Plan Directeur d'Aménagement Hydraulique du complexe TEREKOLE-KOLOMBINE - LAC MAGUI *Vol. 1 + ann*

Mots-clef:*Observations hydrologiques et climatologiques de 1979 à 1982. Analyses et conclusions sur les aménagements possibles.*

SOW M.A.A (1984) Pluies et écoulement fluvial dans le bassin du SENEGAL. *Thèse de 3ème cycle Université de Nancy II*, 340p

Mots-clef: *Annlyse statistique des pluies annuelles. Débits aux principales stations. Etudes des crues. Synthèse hydrologique et géographique du bassin du fleuve SENEGAL avant aménagement.*

AGENCE ITALIENNE DE COOPERATION (1985) Etude de factibilité de la route KAYES DIBOLI Rome

BEAUCHEMIN BEATON LAPOINTE SWAN WOOSTER (1985) Navigation Project Description of proposed developpement 83 p

Mots-clef: *Mise à jour des études sur la navigation sur le fleuve SENEGAL. Infrastructures portuaires. Canaux de navigation. Aménagement des seuils rocheux.*

AGENCE ITALIENNE DE COOPERATION (1985) Etude routière de désenclavement de la région du KARAKORO dan,s la zone de KANKOSSA, *Nouakchott Ministère de l'équipement*

ORANGE D. (1986) Bilan de l'altération chimique et de l'érosion mécanique sur le haut bassin du fleuve SENGAL *Mém. de DEA, Univ. d'ORLEANS, ORSTOM DAKAR*, 111 p.

Mots-clef: *Hydrochimie. Qualité des eaux. Erosion*

Sir ALEXANDER GIBB & PARTNER, ELECTRICITE DE FRANCE INTERNATIONAL, EUROCONSULT (1986) Etude de la gestion des ouvrages communs de l'OMVS, *OMVS, Dakar*

Sir ALEXANDER GIBB & PARTNER, ELECTRICITE DE FRANCE INTERNATIONAL, EUROCONSULT (1987) Etude de la gestion des ouvrages communs de l'OMVS, *OMVS, Dakar Rapports définitifs.*

Mots-clef: *Actualisation des études hydrologiques. Propagation de la crue. Qualité des eaux. Règle de gestion par rapport aux cultures de décrues. définition du statut légal de la structure de gestion*

IRANI H.G. (1987) Les projets Navigation dans les études et programme de l'OMVS- *OMVS Tome 1 52 p & ttome 2 163 p;*

Mots-clef: *Etat de la navigation actuelle sur le fleuve. Part dans les transports. Etudes de différents projets et critiques;*

LAMAGAT J.P.(1989) Prévision des débits de gestion des ouvrages communs de l'OMVS. *Modèle de transformation des hauteurs en débits OMVS-ORSTOM Dakar 91 p + an.*

LAMAGAT J.P.(1989)Analyse de la vitesse de propagation des ondes de crues. *Proc. of the Sahel forum on The state-of-art of hydrology and hydrogeology in the arid and semi-arid areas of Africa, UNESCO OUAGADOUGOU NOV 1988., pp 183-197*

Mots-clef: *Courbes d'étalonnages et barème de transformation pour les stations à régime biunivoque de OUALIA (BAKOYE), GOURBASSI (FALEME) KAYES (SENEGAL). Transformations hauteurs - débits pour les stations à régime non bi-univoques BAKEL, MATAM, KAEDI, SALDE, BOGHE, DAGANA. Théorie sur la propagation des ondes de crues. Programmes informatiques d'analyse automatique.*

KLEMM W. PFEUFFER S. PRINZ D.(1989) Le potentiel d'irrigation par les eaux de ruissellement. Programme P.I.R. CEE R&D I.W.K. *Rapport d'avancement*

Mots-clef: *Programme de recherches en cours sur financement CEE.. Région de KANGESSANOU. Mesures hydrologiques , agronomiques, et descriptions pédologiques. Extension des résultats par imagerie satellitaire. Test d'aménagement pour récupérer les eaux de ruissellement de haut de versant pour irrigation en bas de pente. Aménagement de défense et restauration des sols*

HOROWITZ M, MURDOCK M.S et al (1990) Suivi des activités du bassin du Fleuve SENEGAL. IDA Rapport final pour l'USAID.

Mots-clef: *Analyse des activités économiques dans la moyenne et basse vallée. Recommandations sur la gestion de la crue.*

1.3.3 Etudes climatiques de référence pour les projets d'aménagement dans la zone d'étude

BRUNET MORET Y. (1964) Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. République Islamique de MAURITANIE, ORSTOM, CIEH,

BRUNET MORET Y. (1964) Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. République du MALI, ORSTOM, CIEH, 20p + graph.

BRUNET MORET Y. (1964) Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. République du SENEGAL, ORSTOM, CIEH, 22p + graph.

Mots-clef: *Analyse des relevés journaliers pluviométriques et des enregistrements de pluviographes. Prédétermination des hauteurs journalières de pluie de fréquence rare. Courbes intensité-durée-fréquence pour des averses de récurrence donnée*

OLIVRY (1983) Le point en 1982 sur la sécheresse en SENEGAMBIE et aux îles du Cap vert. Cah. ORSTOM. Ser Hydrol. vol XX n°1

SIRCOULON (1985) La sécheresse en Afrique de l'Ouest . Comparaison des années 1982-1984 avec les années 1972 et 1973 Cah. ORSTOM ser hydrol. Vol N° 4 84-85 Spécial sécheresse

Mots-clef: *Données pluviométriques et hydrométriques. Comparaison des séries antérieures à 69 et postérieures. Etude des périodes de sécheresses et leur conséquences sur la ressource en eau.*

Données Météorologiques Agro-climatologiques:

Bulletins Agrhymet
Bulletins Météo du SENEGAL, du MALI et de MAURITANIE
Recueils ASECNA

Compilations de ces données pour la zone d'études dans les études déjà citées (Monographie, Thèse de SOW A.A.)

Données Agro - climatologiques de la station agronomique de l'OMVS SAME (région de KAYES)

JUTON M. (1972) Etude hydro-agricole du bassin du fleuve SENEGAL rapport technique de fin de mission, AFR/REG 61 93 p.

1.3.4 Etudes pouvant servir de modèle pour les régions Nord Ouest de la zone d'études

JACCON G. (1965) Etude de la baisse moyenne des nappes libres en MAURITANIE, *ORSTOM, PARIS, 20p + an + cartes*

Mots-clef: *Observations limnimétriques, mesures climatologiques, variations mensuelles de l'évaporation journalière sur 13 nappes libres naturelles au Sud des cercles du BRAKNA et du TRARZA*

JACCON G., CAMUS H. (1967) Etude hydrologique des Oueds Ghorfa et Niorde et des Oualos en amont de KAEDI - *Rapport définitif (1964, 1965) ORSTOM, PARIS*

Mots-clef: *Etude hydrologique, analyse de données hydro-pluviométriques. Bassin versant représentatif. Point de référence pour les études de prédétermination de crues de projet.*

OLIVRY J.C. (1983) Aménagement de la plaine du DIROL. Le contexte hydrologique *ORSTOM Dakar, 27 p;*

Mots-clef: *Données climatiques d'intérêt régional, Analyse fréquentielle des hauteurs d'eau, estimation des apports, bilan hydropluviométrique*

LEBLOAS J. (1984) Aménagement de la plaine du DIROL, *USAID, RBDO Dakar 75 p + An.*

Mots-clef: *Avant projet de l'aménagement hydro agricole de la plaine du DIROL. Réunions des études du milieu naturel et du contexte humain. Données sur l'agriculture traditionnelle. Description de l'aménagement proposé. Devis estimatif des travaux. Evaluation économique.*

LAMAGAT J.P. (1987) Etude hydrologique de la plaine du DIROL, *ORSTOM, Dakar.*

Mots-clef: *Etude des lignes d'eau du bief DIORBIVOL SALDE KAEDI, Données de ruissellement et de crues sur petits bassins, études de la pluviométrie Analyse statistique. Synthèse des données des bassins versants étudiés par l'ORSTOM en MAURITANIE*

2.0 LES FACTEURS CLIMATIQUES DU HAUT BASSIN DU FLEUVE SENEGAL

2.1. GENERALITES

Le bassin du SENEGAL supérieur, situé entre les régions tropicales et les confins du SAHARA, présente une grande diversité climatique. Son climat s'explique par les déplacements du front intertropical boréal (FIT) qui sépare l'air tropical (HARMATTAN) et l'air équatorial (Mousson). L'air continental caractérisé par une faible humidité est véhiculé par des vents de secteur N-E. L'air équatorial très humide, est véhiculé par des vents faibles de secteur S-W.

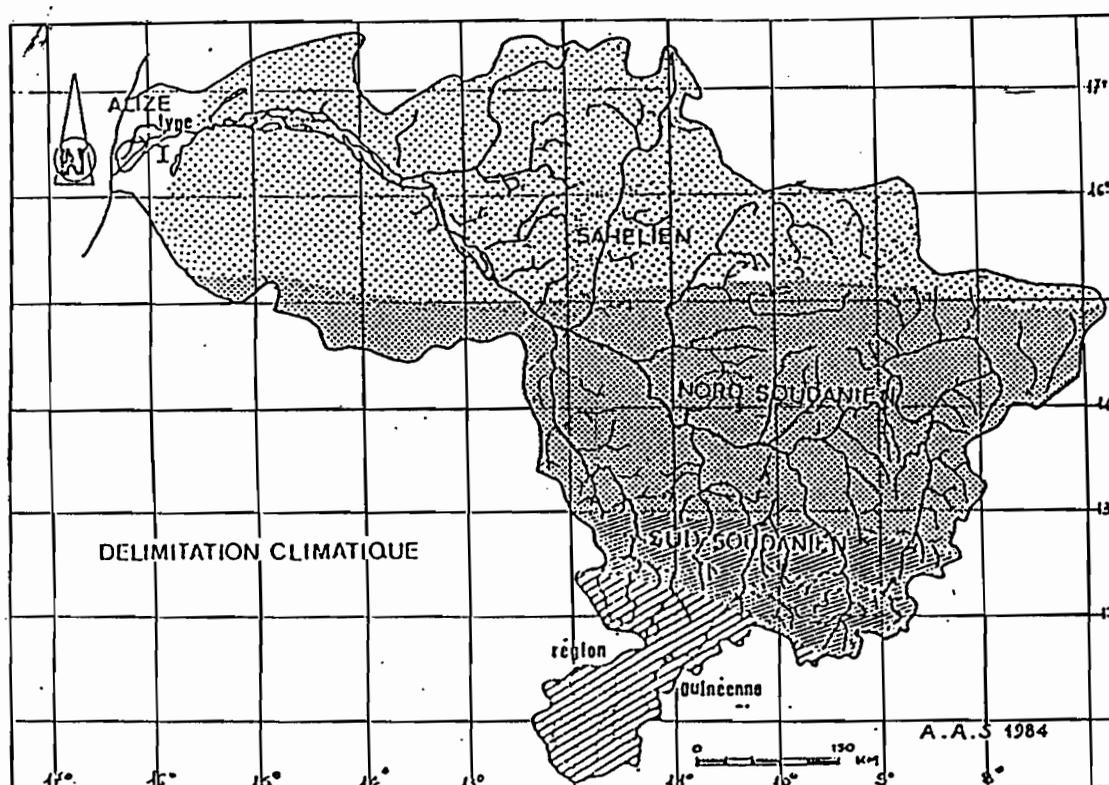
Pendant les quatre premiers mois de l'année, le FIT reste en dessous de la latitude 12° N, l'Harmattan souffle de façon permanente et la sécheresse règne sur tout le bassin.

Au début du mois de MAI, le FIT progresse vers le nord et la mousson pénètre sur le bassin. Sa progression sur un sol chauffé par l'harmattan aboutit à la formation de tornades. La surface du bassin, intéressé par les précipitations croît au fur et à mesure que le FIT atteint des latitudes plus élevées. Au mois d'août, le FIT atteint sa position la plus septentrionale vers la latitude 22°, la mousson domine partout et il pleut sur l'ensemble du bassin. Puis le mouvement du FIT s'inverse et la mousson reflue vers le sud. Les pluies sont encore abondantes en septembre car le régime de la mousson prolonge la saison des pluies tropicales. Il cesse de pleuvoir vers la mi-octobre. En novembre, l'alizé apporte un peu de fraîcheur, mais l'harmattan redevient prédominant dès décembre.

Les climatologues distinguent quatre zones climatiques dans le bassin du SENEGAL à partir de critères aérologiques, chorologiques et physionomiques intégrés (fig. 2.1.1): le climat sahélien entre les isohyètes 200 et 500 mm, le climat nord soudanien entre les isohyètes 500 et 800 mm, le climat sud soudanien entre les isohyètes 800 et 1300 mm et le climat guinéen au sud de l'isohyète 1300mm.

Les hydrologues regroupent la zone sahélienne et la zone nord soudanienne sous la même appellation de domaine sahélien. Dans cette étude nous distinguerons le domaine sahélien au nord de l'isohyète 800, le domaine soudanien entre les isohyètes 800 et 1300 mm et le domaine guinéen au sud de l'isohyète 1300mm.

Fig. 2.1.1 Les climats du bassin versant du fleuve SENEGAL



2.2 REGIME DES VENTS

Le régime des vents découle de la circulation générale de l'atmosphère dans la zone intertropicale caractérisée par la présence de deux courants : un de secteur N-E (Harmattan), l'autre de secteur S-W (Mousson).

Les vitesses et directions au sol du vent sont mesurées à six stations climatologiques : KAYES, KENIEBA, KITA, NIORO, LABE et SIGUIRI. Nous présenterons ici l'analyse des vents réalisée par ROCHETTE sur les stations de KAYES, KENIEBA et LABE. La régularité du régime des vents permet de limiter l'étude à ces trois stations représentant chacun des grands climats présentés sur la carte 1.1.

2.2.1. Vitesse des vents

Les vitesses sont mesurées 3 fois par jour (6 h 00, 12 h 00, 18 h 00). Le tableau 2.2.1.1 donne, pour les 3 stations considérées, les fréquences observées pour diverses classes de vitesse et les vitesses moyennes du vent. On remarque la fréquence très faible des vents supérieurs à 15 m/s.

Tableau 2.2.1.1 Vitesse des vents

Stations	< 1m/s	2 < v < 4	5 < v < 6	7 < v < 14	> 14
KAYES	27.8	61.8	8.6	2.35	.05
KENIEBA	54.2	44.0	1.1	0.7	0
LABE	38.3	43.5	14.1	4.07	0.03

2.2.2 Direction des vents

Les cartes 2.2.2.1 et 2.2.2.2 montrent les roses des vents moyennes relatives à la saison sèche et à la saison des pluies pour les trois climats du haut bassin. Sur les 8 directions de la rose des vents est portée une longueur proportionnelle à la fréquence provenant de cette direction, indiquée en pourcentage au nombre total d'observations. La différence entre 100 et la somme des pourcentages suivant toutes les directions donne la fréquence des calmes.

On remarque deux tendances dans le régime des vents:

- une nette influence saharienne en saison sèche surtout à KAYES et à LABE
- une influence guinéenne en saison des pluies.

On note une dispersion des vents assez forte en saison sèche à KENIEBA et en saison des pluies à LABE.

Tableau 2.2.2.1 Direction des vents

Stations	Saison sèche		Saison des pluies	
	Vent dominant	Intervalle	Vent dominant	Intervalle
KAYES	E	NE-SE	W	SW-NW
KENIEBA	NE	SE-NW	W	SW-NW
LABE	E	NE-SE	SW	SE-NW

Des données sur les vents en altitude observés par ballon sondage existent pour la station de KAYES. Leur exploitation dépassant le cadre de cette étude le lecteur intéressé peut se référer à l'étude du climat de LEROUX (1980) pour information.

Fig 2.2.1 Roses des vents en saison sèche

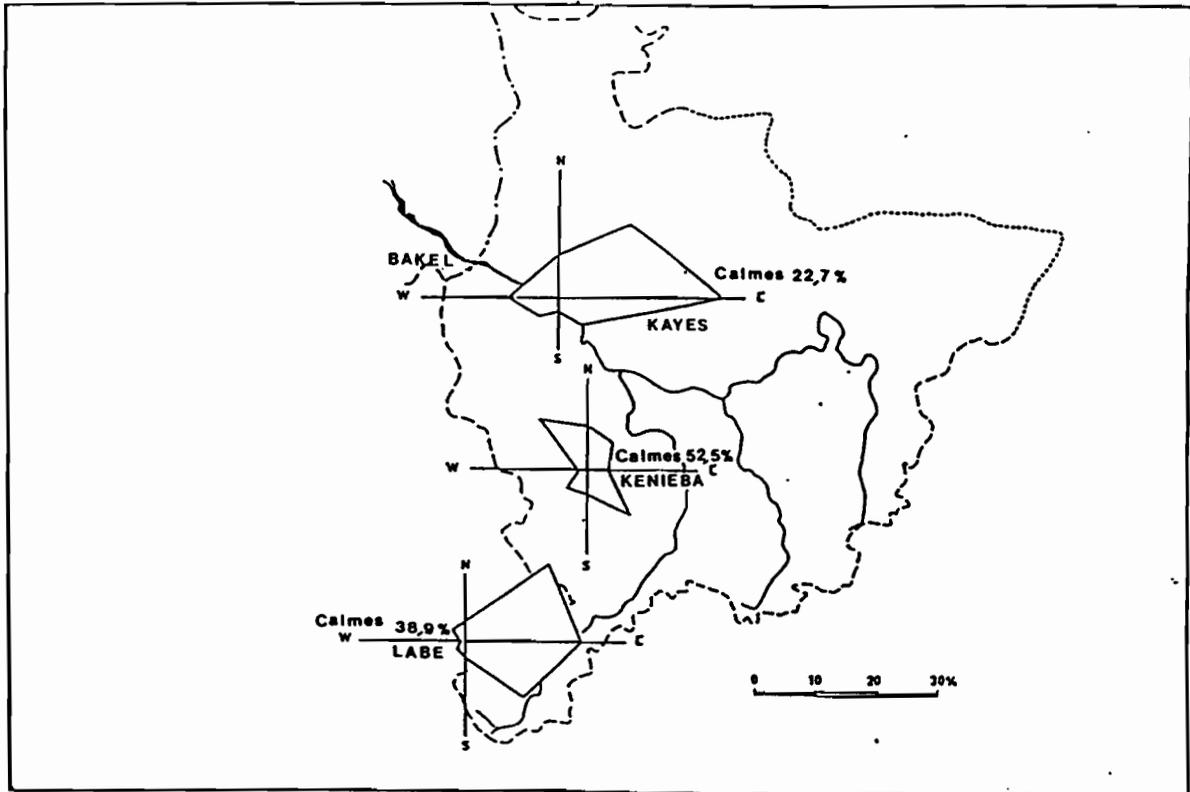
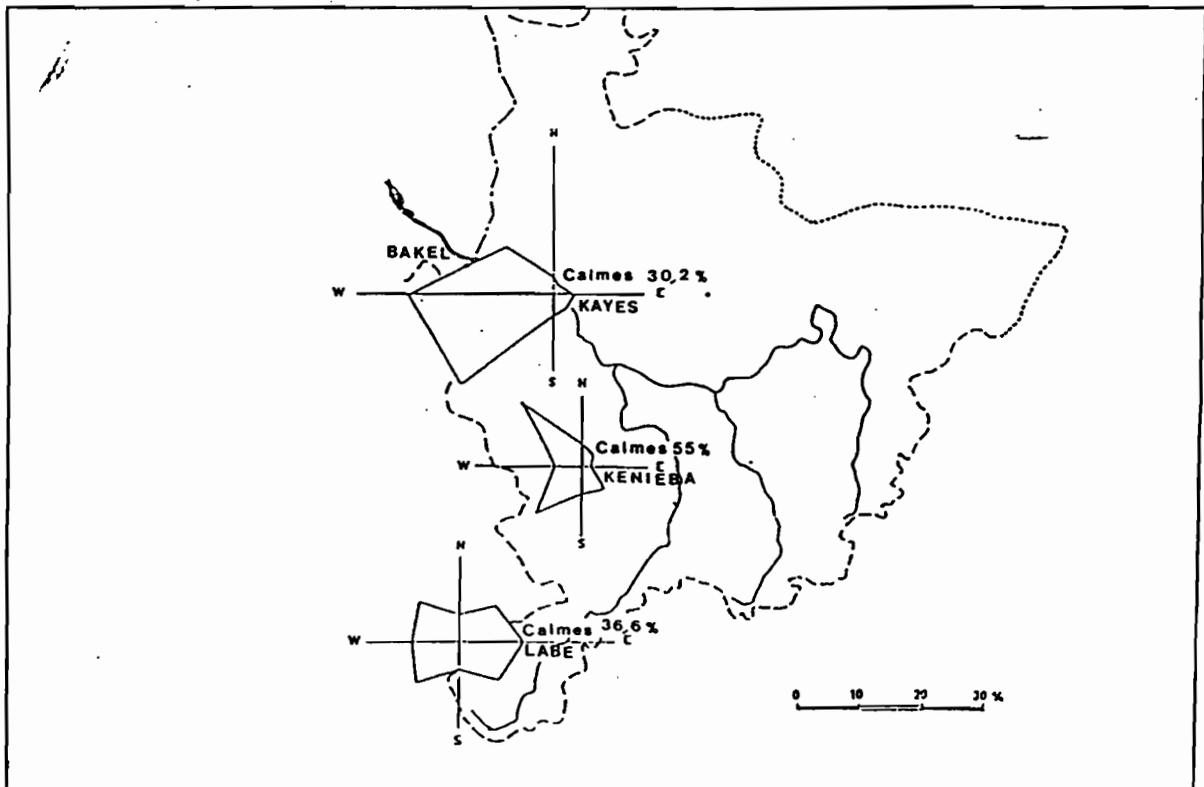


Fig. 2.2.2 Roses des vents en saison humide



2.3. LES FACTEURS THERMIQUES ET L'EVAPORATION

2.3.1 Les températures et l'évaporation PICHE

Le tableau 2.3.1 donne les valeurs des facteurs thermiques mesurés en station climatologique.

- Tx = Moyenne mensuelle des températures maximales journalières
- Tn = Moyenne mensuelle des températures minimales journalières
- Tm = Température moyenne mensuelle calculée par le rapport $(Tx + Tn)/2$
- Am = écart diurne moyen mensuel donné par la différence $Tx - Tn$
- Evp = évaporation Piche, moyenne mensuelle des valeurs journalières

La comparaison de moyennes mensuelles de ces paramètres calculés sur des périodes plus ou moins longues ne montre pas la nécessité de leur réactualisation. Nous reprenons ici les valeurs calculées par le Dr A.A. SOW (étude de 1980) après les avoir comparées à celles données dans la monographie de ROCHETTE (étude de 1964) et celles données dans le rapport SENEGAL CONSULT (étude de 1970)

Tableau 2.3.1 Les facteurs thermiques

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN
KIFFA 1970-1982													
Tx °C	31	33	36	40	42	42	39	37	38	39	35	31	37
Tm °C	22	25	28	32	34	36	33	31	32	31	27	23	29
Tn °C	14	16	20	23	27	29	27	25	26	24	19	16	22
Am °C	17	17	15	17	15	13	12	11	12	15	16	15	15
KAYES 1941-1970													
Tx °C	34	37	40	42	42	38	33	32	33	36	37	33	36
Tm °C	25	28	31	34	35	32	29	28	28	29	29	25	29
Tn °C	17	20	22	25	28	26	24	23	29	23	20	17	22
Am °C	17	17	18	17	14	12	10	9	10	13	16	17	14
Evp mm*	272	291	373	386	392	257	118	73	69	126	201	240	233
NIORO SAHEL 1941 1970													
Tx °C	33	36	39	41	42	40	35	32	34	37	37	32	36
Tm °C	23	26	29	32	34	33	29	27	28	30	27	23	28
Tn °C	14	16	19	23	27	26	23	23	23	22	18	14	20
Am °C	20	20	20	18	16	14	11	9	11	15	19	19	16
Evp mm*	281	317	402	406	423	317	163	96	109	183	253	256	267
KITA 1955-1970													
Tx °C	34	37	38	40	38	34	31	30	31	33	35	33	34
Tm °C	26	29	31	33	32	29	26	27	26	27	27	26	28
Tn °C	19	22	24	26	26	23	22	21	21	21	19	18	22
Am °C	15	15	15	15	13	11	9	8	10	12	16	15	13
Evp mm*	269	287	344	304	233	140	74	48	49	75	177	242	187

Tableau 2.3.1 Les facteurs thermiques(suite)

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN
KENIEBA 1943-1964													
Tx °C	35	37	40	41	40	35	32	30	32	33	35	34	35
Tm °C	25	27	30	32	32	28	27	25	26	27	26	24	27
Tn °C	18	17	18	17	14	11	9	8	10	11	17	18	14
Am °C	18	17	18	17	14	11	9	8	10	11	17	18	14
Evp mm	241	263	292	273	281	116	66	49	51	71	118	180	162
LABE 1941-1970													
Tx °C	30	31	33	32	31	28	26	25	26	27	28	28	29
Tm °C	21	23	25	25	24	23	22	21	22	22	22	21	23
Tn °C	13	15	16	18	18	18	18	18	17	17	15	14	16
Am °C	17	16	17	14	13	10	8	7	9	10	13	14	12
Evp mm**	259	276	295	241	153	82	55	48	51	82	126	188	155

* période de calcul 1961-1970

** Période de calcul 1950-1957

La figure 2.3.1 montre que les variations mensuelles des températures maximales, minimales et moyennes sont à peu près similaires. Les maxima principaux sont enregistrés en saison sèche. Les maxima secondaires interviennent également en saison sèche (octobre en général). Les minima principaux sont observés en janvier-février, les minima secondaires interviennent toujours en saison humide et au mois d'août.

Cette évolution des températures ne suit donc pas l'évolution cosmique qui consacre un seul maximum d'été et un seul minimum d'hiver. Les températures commencent à baisser dès le début de la saison pluvieuse. Elles augmentent à nouveau après la saison humide et donnent des maxima secondaires en octobre - novembre. Les minima principaux interviennent avec l'hiver Boréal en janvier - février.

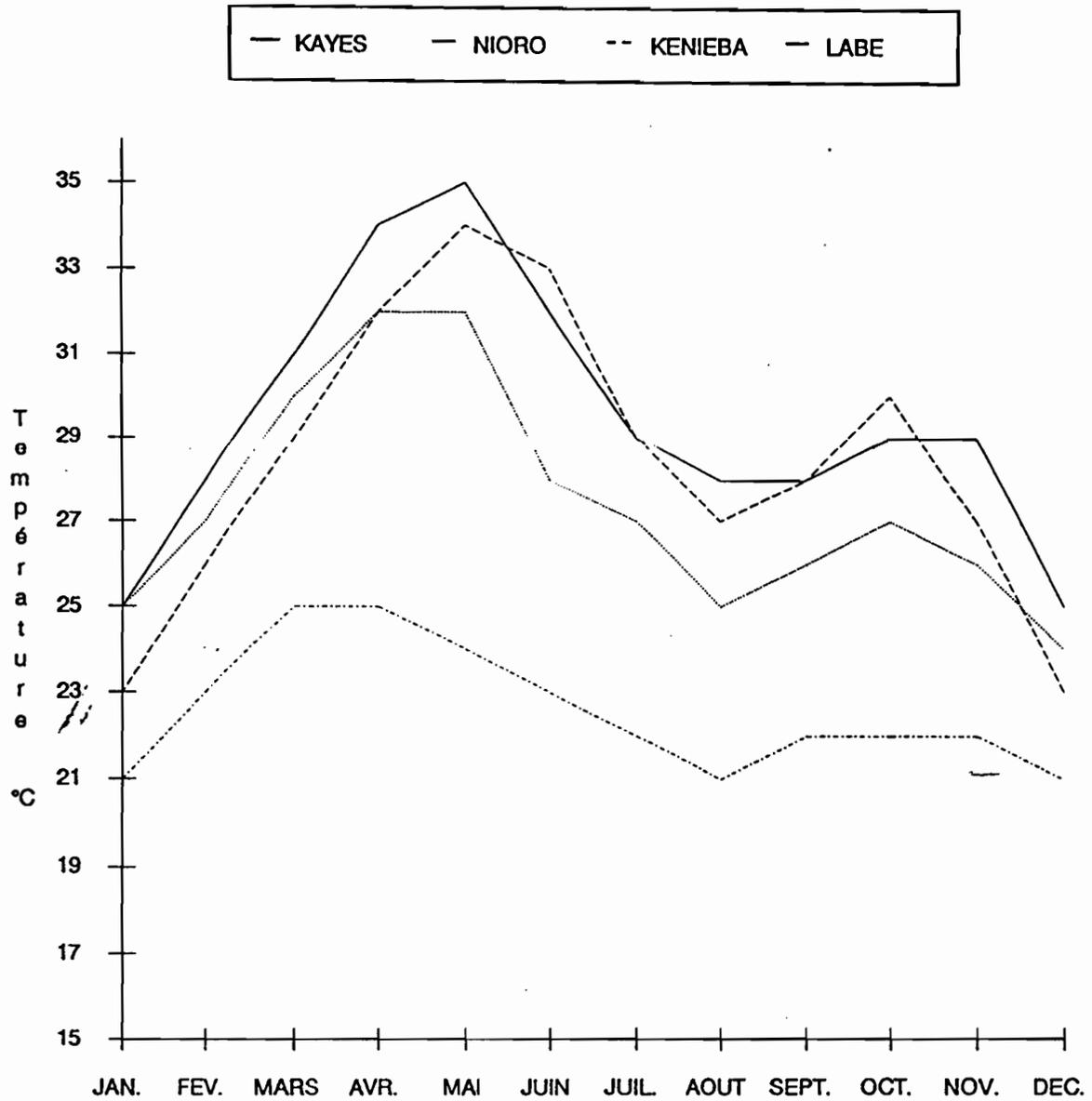
L'accroissement de la température de l'air du Sud vers le Nord du bassin s'explique par les variations de la saison pluvieuse en fonction de la latitude et par la diminution des altitudes.

L'évolution saisonnière des évaporations PICHE est similaire à celles des températures. Les plus fortes valeurs de l'évaporation PICHE correspondent aux mois de période sèche où les températures sont élevées. Les valeurs les plus faibles interviennent en période humide durant laquelle les températures baissent.

Les données de l'évaporation mesurée à l'appareil PICHE sont considérées en hydrologie comme des indications qualitatives sur l'intensité de l'évaporation potentielle.

Les données concernant l'évaporation sur bac sont très peu nombreuses et récentes (programme Agro-météorologique de l'AGRHYMET)

Fig. 3.3.1 Variation de la température moyenne



2.3.2 L'humidité de l'air

L'analyse des données d'humidités relatives a été réalisée par ROCHETTE, (1974)

L'humidité relative de l'air présente un maximum à 6 h 00 et passe par un minimum à 12 h 00. Les humidités relatives moyennes relevées aux stations de KAYES, KENIEBA et LABE sont portées dans le tableau 2.3.2

Ux = moyenne des maxima journaliers

Un = moyenne des minima journaliers

M = humidité relative moyenne calculée par la formule :

$M = (U_{08Hh} + U_{13h} + U_{18h} + U_X + U_N)/5$

Tableau 2.3.2 Humidité relative moyenne en%

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN
KAYES 12 ans													
Ux	40	34	30	33	50	79	92	96	97	92	71	49	64
Um	13	10	8	10	17	37	56	64	59	43	22	16	30
M	24	20	17	20	32	57	73	79	78	67	44	30	45
KENIEBA 12 ANS													
Ux	58	51	48	54	72	92	98	99	99	98	94	78	78
Un	17	16	15	18	31	51	64	68	63	56	36	24	38
M	34	30	28	34	50	69	81	84	82	78	64	47	57
LABE 7 ans													
Ux	76	73	79	87	95	98	98	98	98	98	96	87	90
Un	21	20	20	27	42	58	65	68	64	59	43	30	43
M	43	42	45	54	68	79	83	85	84	80	69	54	66

Les moyennes annuelles les plus fortes s'observent en climat guinéen où elles dépassent 60%. Dans le centre et le nord du bassin elles descendent légèrement au dessous de 50%.

Le graphique 2.3.2 représente les variations mensuelles de l'humidité relative sous les 3 latitudes considérées.

Les valeurs mensuelles de l'humidité relative moyenne oscillent entre un minimum en saison sèche et un maximum en saison des pluies, en août.

Les maxima mensuels atteignent leurs plus fortes valeurs pendant la saison des pluies où ils dépassent partout 95%. Cependant, en climat GUINEEN (LABE) on relève un maximum de 98% pendant 5 mois consécutifs, tandis qu'à KAYES les valeurs maximales oscillent entre 79 et 97% de juin à octobre.

On voit d'après ces variations de l'humidité relative, que l'abaissement de la température nocturne en saison des pluies est suffisant pour provoquer l'apparition de la rosée sur l'ensemble du bassin.

Les minima mensuels atteignent leurs plus faibles valeurs en Février ou Mars (20% à LABE et moins de 10% à KAYES).

2.3.3 L'insolation

Les variations de la durée de l'insolation, exprimées en heure, aux trois stations de références figurent sur le graphique 2.3.3 et sont rassemblées sur le tableau 2.3.3. Les valeurs correspondantes proviennent de ROCHETTE (1974)

Fig. 2.3.2 Variations des humidités

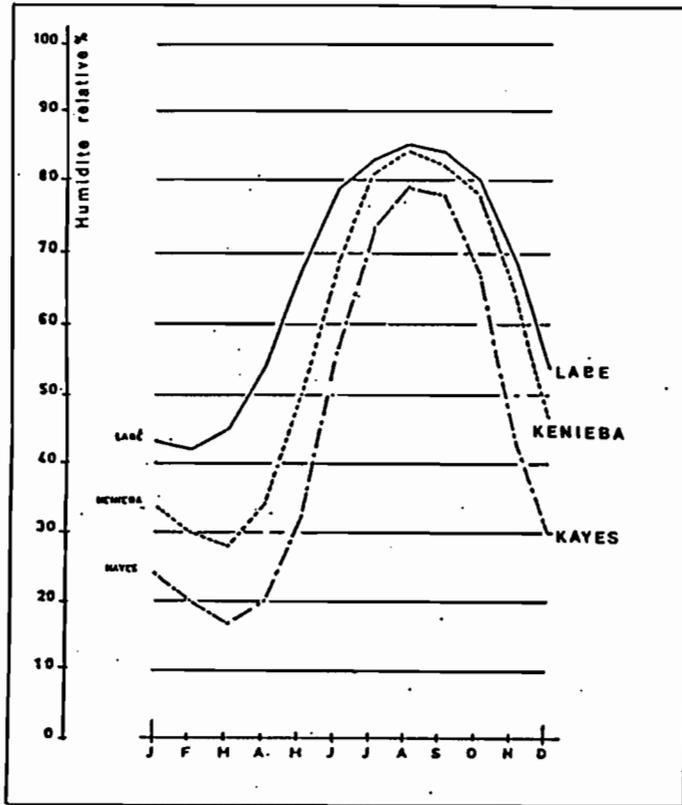


Fig 2. 3.3 Durée de l'insolation

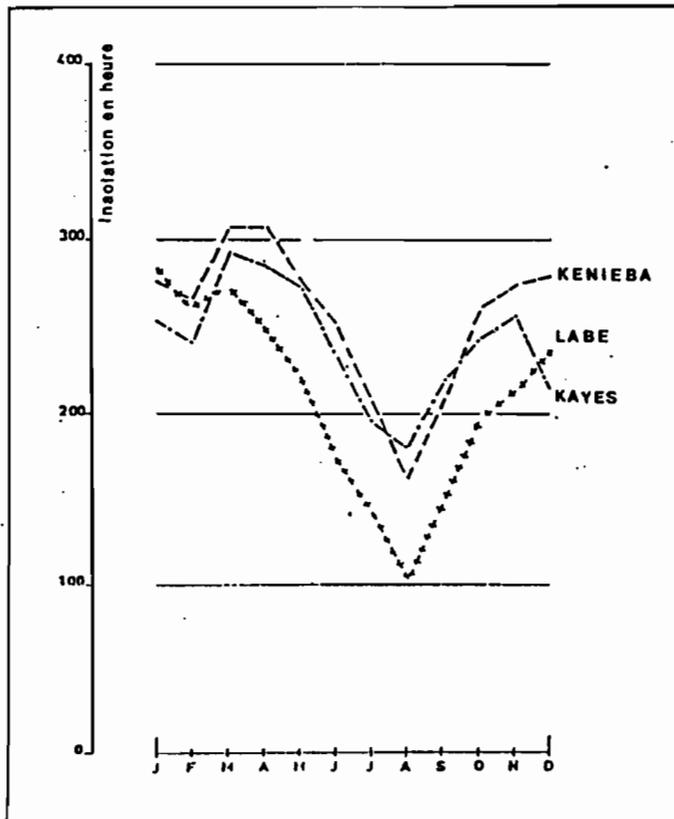


Tableau 2.3.3 Durée de l'insolation

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN
KAYES	254	241	293	286	273	232	195	180	218	244	256	216	2888
KENIEBA	276	267	307	307	277	250	204	162	207	261	274	279	3071
LABE	284	262	273	249	221	173	142	102	148	198	213	236	2501

L'insolation est maximale en mars-avril à KAYES et à KENIEBA et en janvier à LABE. Aux deux premières stations on observe un maximum secondaire en novembre-décembre.

L'insolation est minimale en août aux trois stations. L'insolation totale annuelle augmente du Sud au Nord du bassin, l'écart entre LABE et KAYES atteignant 387 heures.

2.3.4 L'évapotranspiration potentielle (ETP)

Le Dr A.A. SOW (1984) a calculé l'évapotranspiration potentielle aux différentes stations climatologiques du bassin par la formule de TURC (ETPt) et par la formule de PENMAN (ETPp) lorsque l'ensemble des paramètres utiles étaient mesurés (tableau 2.3.4)

Tableau 2.3.4 Evapotranspiration potentielle en mm

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN
KAYES													
ETPt	169	184	251	246	202	140	128	123	129	137	138	134	1981
ETPp	153	151	200	216	257	268	246	222	211	211	168	165	2408
KITA													
ETPt	179	203	217	242	180	144	129	115	117	138	138	168	1970
ETPp	169	177	224	237	255	248	233	213	202	212	175	162	2507
KENIEBA													
ETPt	161	181	222	212	163	143	122	110	119	134	130	131	1828
ETPp	160	160	212	229	242	216	191	187	190	198	171	152	2308
LABE													
ETPt	141	148	160	142	128	108	97	82	98	112	109	111	1436

L'évolution comparée de l'ETP calculée suivant les deux formules montre que les valeurs les plus élevées sont enregistrées en période sèche. Durant cette période, l'écart entre les deux valeurs moyennes de l'ETP est très faible mais toujours en faveur des valeurs PENMAN. Dès le début de la période humide, l'écart devient considérable et les valeurs obtenues avec la formule de TURC semblent sous-estimées par rapport à celle de PENMAN. Pendant cette période, l'ensemble des éléments climatiques entraînant une forte évapotranspiration, connaissent une diminution : température, écart diurne, vitesse du vent, insolation. Seule l'humidité relative atteint des valeurs maximales.

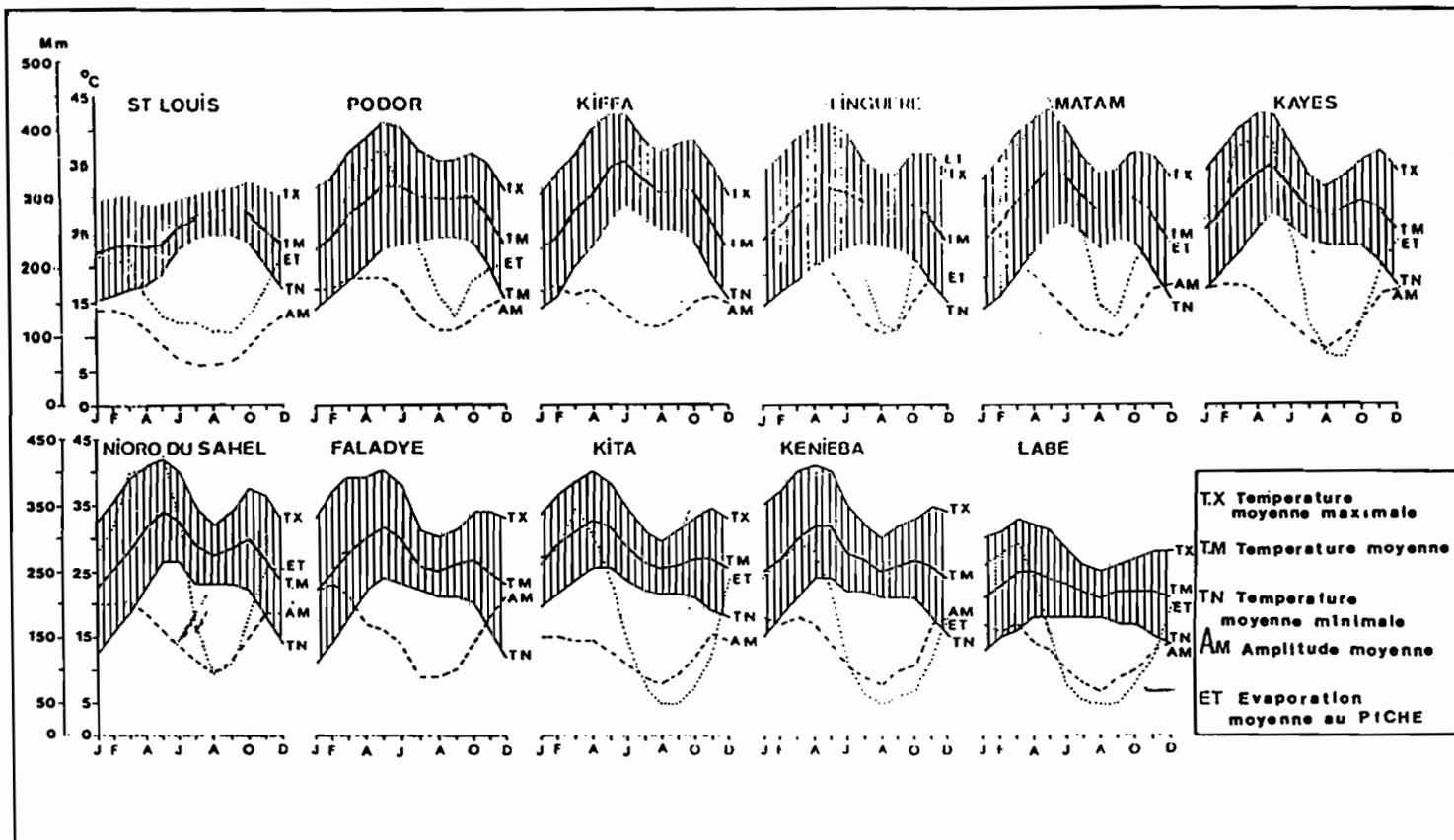
La formule empirique de TURC ne tient pas compte de l'humidité relative dès qu'elle est supérieure à 50%. La formule de PENMAN repose sur une évaluation rigoureuse du bilan énergétique de la surface évaporante. Elle associe l'albédo de la surface évaporante, environ

0,25 pour les étendues de savane ou de steppe (comme c'est le cas du bassin du SENEGAL). Ce terme (1-0.25 dans le cas du bassin du SENEGAL) permet de corriger les valeurs données par les abaques de la radiation directe.

La figure 2.3.4 superpose les diagrammes de pluie moyenne mensuelle à ceux de l'humidité relative et de l'évapotranspiration potentielle. On remarque:

- L'ETP augmente du sud vers le nord du bassin
- La demande évaporative est satisfaite globalement de juillet à septembre au nord du bassin (KAYES) et de mai à octobre dans le sud (LABE).

Fig 2.3.4 Evaporation et facteurs thermiques déterminants de l'écoulement



2.4. ETUDE PLUVIOMETRIQUE

La carte des postes pluviométriques a été donnée dans le premier rapport ainsi que leurs coordonnées géographiques. Il ne nous a pas été possible de réunir et informatiser l'ensemble des données. Nous fournissons sur disque les données de pluie journalière pour les postes récapitulés dans le tableau 2.4.1.

La qualité des données pluviométriques est très variable d'une station à l'autre. La première étape préalable pour l'étude des lames précipitées est donc l'homogénéisation des données sur une période commune à toutes les stations observées. LAMAGAT, ALBERGEL et al (1989) montrent sur le bassin voisin de la GAMBIE que la période 1951 à 1980 pouvait servir de référence. Pour l'ensemble des stations observées depuis le début du siècle, les paramètres statistiques calculés sur l'ensemble de la chronique sont très proches de ceux calculés sur la période 1951-1980.

Tableau 2.4.1 Liste des stations données sous forme de pluies journalières

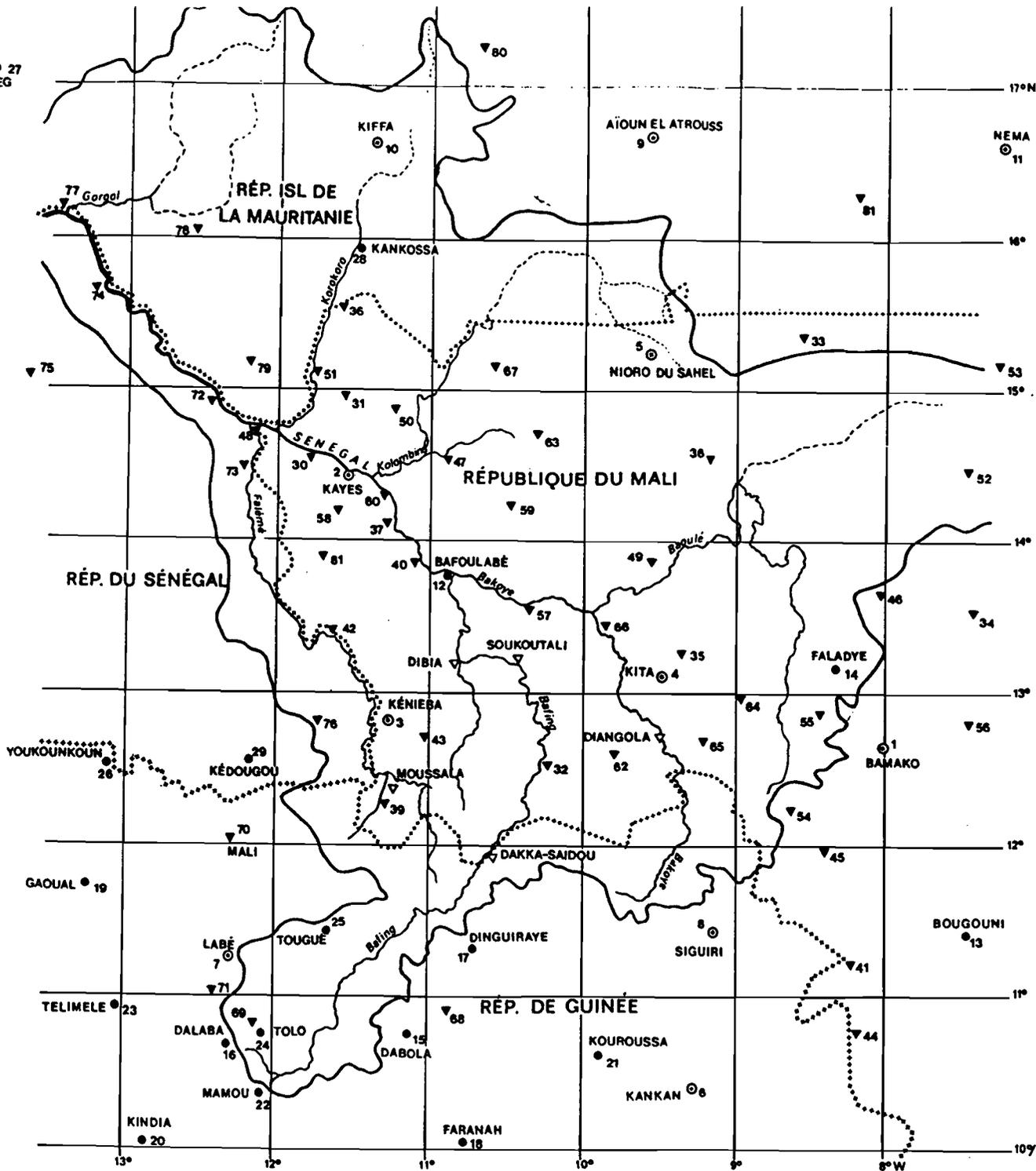
STATIONS	Lat. N	Long W	Année	N° d'identification
Domaine sahélien				
KIFFA	+16°38	-11°28	1922	1300003700
MATAM	+15°39	-13°15	1918	1380013000
NIORO	+15°14	-09°36	1919	1270035800
KIDIRA	+14°28	-12°13	1918	1380016300
KAYES	+14°28	-11°26	1895	1270020800
Domaine soudannien				
BAFOULABE	+13°48	-10°50	1931	1270001900
FALADYE	+13°08	-08°21	1931	1270012400
KENIEBA	+12°51	-11°14	1942	1270021700
KITA	+13°04	-09°28	1931	1270022900
Domaine guinéen				
LABE	+11°20	-12°19	1923	170052
PITA	+11°04	-12°26	1926	170055

Les données sont en ASCII, le format des fichiers est donné en annexe 1.

La fig. 2.4.1 donne l'emplacement de toutes les stations.

● 27
ALEG

Fig. 2.4.1 Carte de situation des postes climatiques



- SYNOPTIC STATION
STATION SYNOPTIQUE
- CLIMATOLOGIE STATION
POSTE CLIMATOLOGIQUE
- ▼ PLUVIOMETRIC STATION
POSTE PLUVIOMETRIQUE
- ▽ RAIN GAUGE INSTALLED IN 1968/69
PLUVIOMETRE INSTALLE EN 1968/69
- BASIN LIMIT
LIMITE DU BASSIN
- BORDER
FRONTIERE

Stations Synoptiques

BAMAKO	(M)	1	DIEMA	(M)	36
KAYES	(M)	2	GALOUGO	(M)	39
KENEBE	(M)	3	GOUALALA	(M)	41
KITA	(M)	4	GOURBASSI	(M)	42
NIORO	(M)	5	GUENEGORE	(M)	43
KANKAN	(G)	6	KALABA	(M)	44
LABE	(G)	7	KANGABA	(M)	45
SHOURI	(G)	8	KOLOKANI	(M)	46
AIOUN	(RM)	9	KONAKARI	(M)	47
KIFFA	(RM)	10	KOTERA	(M)	48
NEMA	(RM)	11	KOUROUNKOTO	(M)	49
			KOUSSANE	(M)	50

Stations climatologiques

BAFOULABE	(M)	12	LEYA	(M)	51
BOUCUONI	(M)	13	MOURDIAH	(M)	52
FALADYE	(M)	14	NARA	(M)	53
DABOLA	(G)	15	NARENA	(M)	54
DALABA	(G)	16	NEGALA	(M)	55
DINGURAYE	(G)	17	NIENEBALE	(M)	56
FARANAH	(G)	18	OUALIA	(M)	57
GAOUAN	(G)	19	OULOUMA	(M)	58
KINDIA	(G)	20	OUSOUBIDIAGNA	(M)	59
KOUROUSSA	(G)	21	SABOUCHE	(M)	60
MAMOU	(G)	22	SADIOUA	(M)	61
TELIMELE	(G)	23	SAGASARI	(M)	62
TOLO	(G)	24	SANDARE	(M)	63
TOUGUE	(G)	25	SEBOKORO	(M)	64
YOUROUNKOUN	(G)	26	SIRAKORO	(M)	65
ALEG	(RM)	27	TOURKOTO	(M)	66
KANKOSSA	(RM)	28	YELIMANE	(M)	67
KEDOUGOU	(S)	29	BISSIKRIMA	(G)	68
			DITINI	(G)	69
			MALI	(G)	70
			PITA	(G)	71
			BAKEL	(S)	72
			KIDIRA	(S)	73
			MATAM	(S)	74
			NAMARI	(S)	75
			SARAYA	(S)	76
			KAEDI	(RM)	77
			MBOUT	(RM)	78
			SELIBASY	(RM)	79
			TAMCHAKETT	(RM)	80
			TIMBEDRA	(RM)	81

Postes pluviométriques

AMBIBEDI	(M)	30
ACUROU	(M)	31
BAFING-MAKANA	(M)	32
BALLE	(M)	33
BANAMABA	(M)	34
BATIMAKANA	(M)	35
BILIKOUATE	(M)	36
DIAMOU	(M)	37

Le tableau 2.4.2 donne la liste des stations homogénéisées par le Dr. A.A. SOW (1984) sur la période 1951-1980. Sur ce tableau figurent également :

- les coordonnées géographiques de ces stations
- l'altitude
- la moyenne 1931- 1960
- la moyenne 1951- 1980

Tableau 2.4.2 Liste des stations homogénéisées,
moyennes 1931-1960 et 1951-1980
Par Dr A.A. SOW (1984)

STATIONS	Lat. N	Long W	Alt.	31-60	51-80
Domaine sahélien					
NIRO DU SAHEL	15°14	09°39	235	631	564
SELIBABY	15°14	12°10	60		415
NARA	15°10	07°17	263	514	440
YELIMANE	15°07	10°34	97		571
AOUROU	14°58	11°35	65		536
BAKEL	14°54	12°28	25	712	499
KOUSSANE	14°53	11°44	96		590
SANDARE	14°53	10°18	281		704
AMBIDEDI	14°35	11°47	30		669
KONIAKARI	14°34	10°54	81		719
DIEMA	14°33	09°11	252		610
MOURDIAH	14°28	07°28	314	591	504
KIDIRA	14°28	12°13	35	790	675
KAYES	14°26	11°26	46	821	695
OUSSOU-BIDIAGNA	14°15	10°28	259		789
DIAMOU	14°06	11°16	60		757
KOUROU-					
Domaine soudanien					
NINKOTO	13°52	09°35	267		840
GALOUGO	13°50	11°04	91		852
BAFOULABE	13°48	10°50	104	942	847
TOUKOTO	13°27	09°53	177		858
GOURBASSI	13°24	11°28	79		916
FALADYE	13°08	08°21	337	1019	975
KITA	13°04	09°27	328	1151	1033
NEGALA	12°52	07°30	290		996
KENIEBA	12°48	11°21	136		1292
SARAYA	12°47	11°47	186		1065
GUENEGORO	12°44	11°01	240		1303
SIRAKORO	12°41	09°40	369	1113	1084
KEDOUGOU	12°33	12°13	122	1267	1285
FALEA	12°16	11°17	455	1407	1422
KANGABA	11°56	08°25	370		1140

Tableau 2.4.2 Liste des stations homogénéisées,
moyennes 1931-1960 et 1951-1980
Par Dr A.A. SOW (1984) (Suite)

STATIONS	Lat. N	Long W	Alt.	31-60	51-80
Climat Guinéen					
TOUGUE	11°26	11°40	868	1065	1451
LABE	11°19	12°18	1025	1662	1660
PITA	11°04	12°24	965	1860	1642
DABOLA	10°45	11°07	438	1678	1544
MAMOU	10°22	12°05	783		1939
DALABA	10°43	12°15	1202		2149

La station de MAMOU, la plus méridionale (10°22 N), a une moyenne pluviométrique de 1942 mm pour 60 années d'observation. Pour la même période d'observation, la station de KIFFA, la plus septentrionale (16°38N) n'enregistre que 328 mm soit 17% du total pluviométrique de MAMOU. La carte 2.4.2 montre les isohyètes interannuelles calculées sur la période 1951-1980 pour l'ensemble du bassin du Fleuve SENEGAL.

2.4.1 La répartition intermensuelle des précipitations

La carte 2.4.1.1 extraite de l'ouvrage de A.A.SOW (1984) montre la répartition des précipitations aux principales stations du bassin. Le seul caractère commun à tous les postes pluviométriques du bassin est le maximum pluviométrique qui est partout situé au mois d'AOUT. Ce mois concentre 38% des précipitations annuelles du domaine sahélien, 31% dans le domaine nord soudanien et plus que 22% de la pluie annuelle de la région guinéenne.

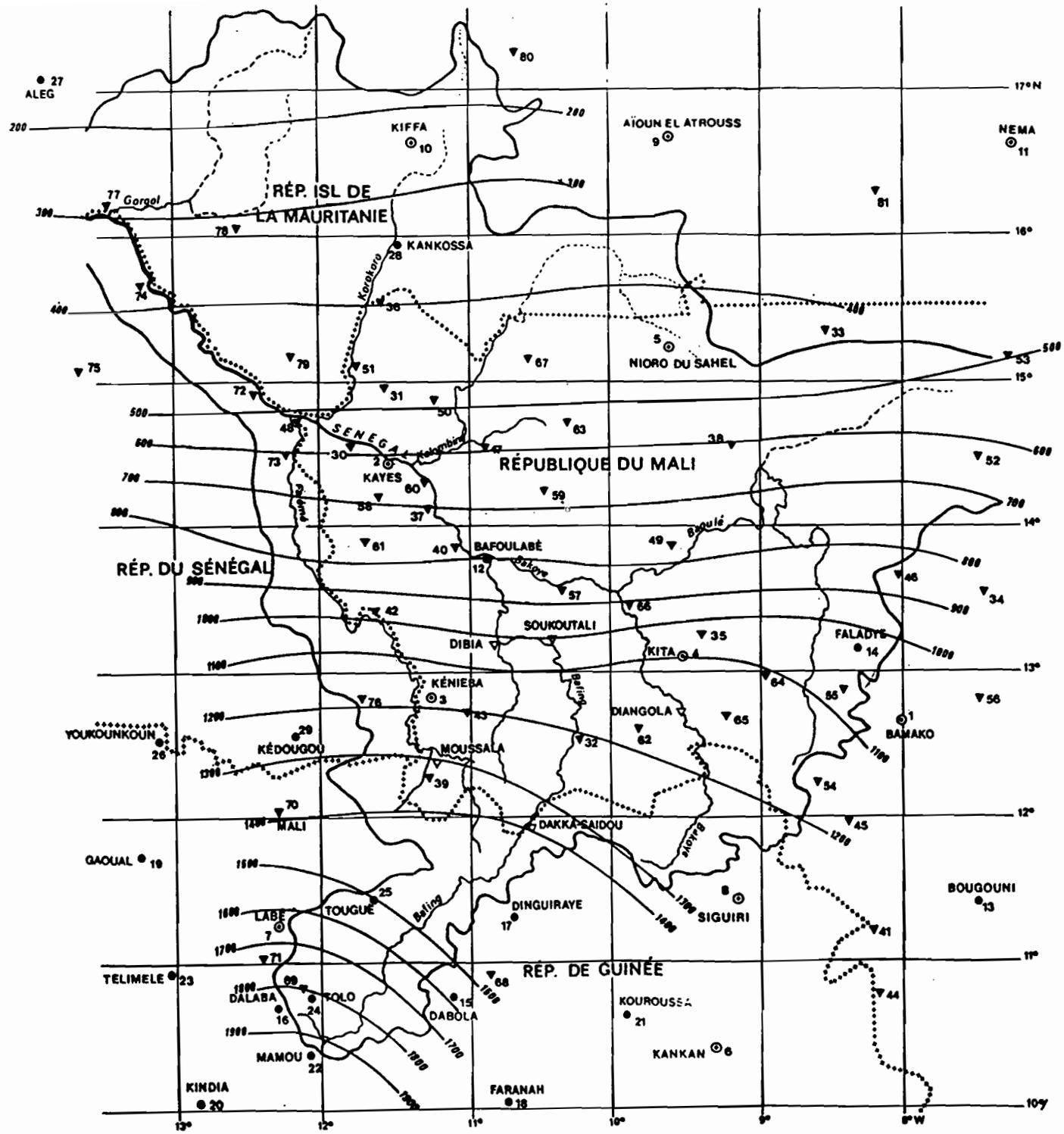
Le mois d'Août reste partout le mois du maximum pluviométrique. La pluie mensuelle se répartit mieux lorsque la saison humide est plus longue et plus importante.

Tableau 2.4.1.1
Importance cumulée en % des mois de saison des pluies

Station	Août	2 mois les plus pluvieux	3 mois	4 mois	5 mois	6 mois	7 mois	8 mois
NIORO	37	63	83	93	97	100		
KAYES	33	56	78	91	97	100		
FALADYE	31	55	75	88	94	100		
KITA	31	53	74	88	95	100		
KENIEBA	31	54	74	87	95	99	100	
KEDOUGOU	26	51	71	85	95	99	100	
LABE	22	42	61	76	86	95	99	100
DABOLA	22	41	59	73	84	93	98	100
MAMOU	22	41	57	69	81	90	95	98

La variabilité interannuelle de la précipitation à une station est classiquement exprimée par le coefficient de variation de la série chronologique $cv = s/P$, s étant l'écart type et P la pluie moyenne annuelle. Le graphique 2.4.1.2 montre les variations de ce coefficient en fonction de la latitude.

Fig 2.4.2 Carte des isohyètes inter annuelles 1951-1980



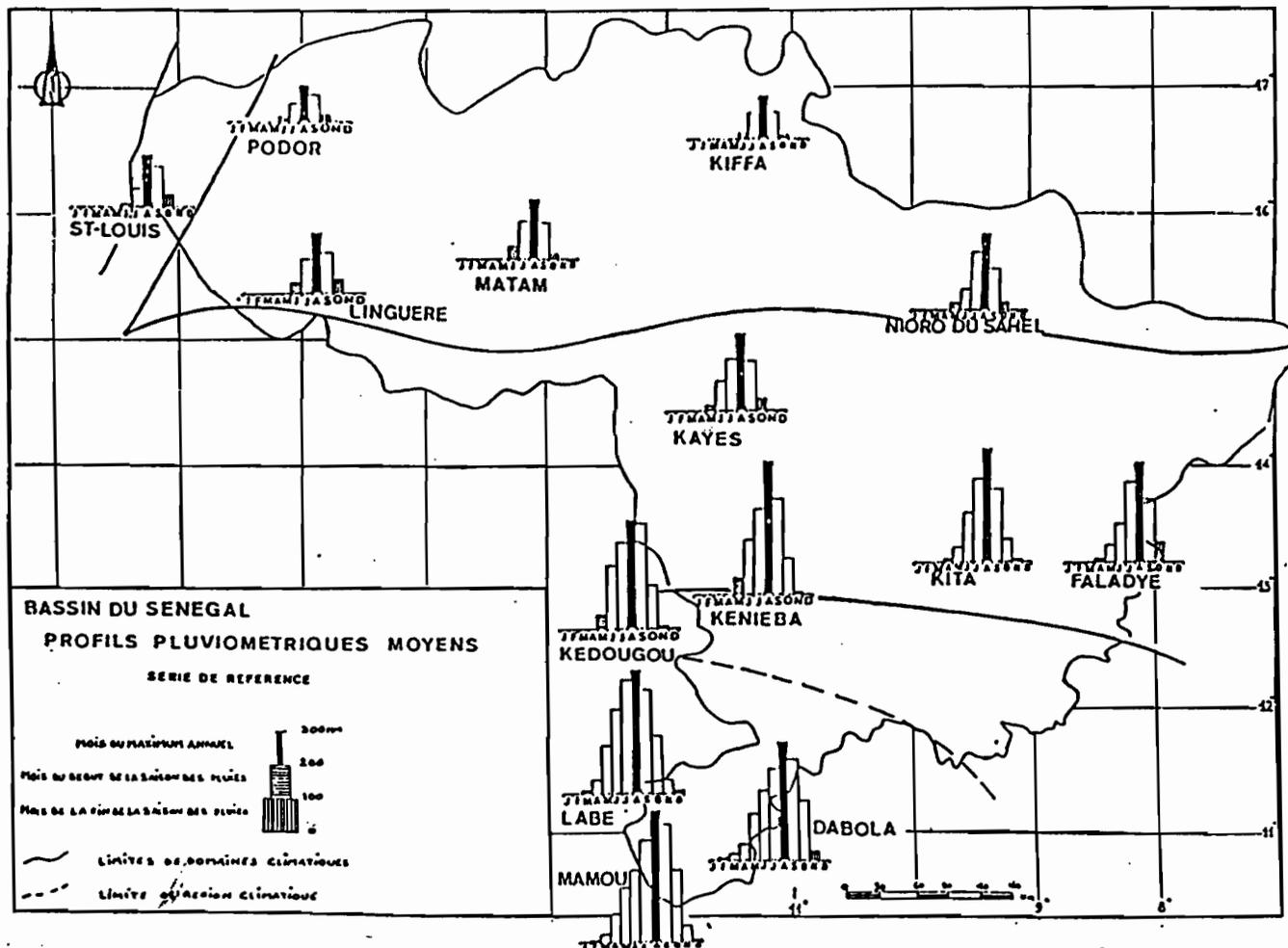
- ⊙ SYNOPTIC STATION
STATION SYNOPTIQUE
- CLIMATOLOGIE STATION
POSTE CLIMATOLOGIQUE
- ▼ PLUVIOMETRIC STATION
POSTE PLUVIOMETRIQUE
- ▽ RAIN GAUGE INSTALLED IN 1968/69
PLUVIOMETRE INSTALLE EN 1968/69
- BASIN LIMIT
LIMITE DU BASSIN
- BORDER
FRONTIERE
- 700 — ISOHYETES ANNUELLES

Stations Synoptiques		
BAMAKO	(M)	1
KAYES	(M)	2
KENEBE	(M)	3
KITA	(M)	4
NIOURO	(M)	5
KANKAN	(S)	6
LABE	(S)	7
SIGUIRI	(S)	8
AIOUN	(RM)	9
KIFFA	(RM)	10
NEMA	(RM)	11
DNEMA	(M)	38
FALEA	(M)	39
GALOUGO	(M)	40
GOUALALA	(M)	41
GOURBASSI	(M)	42
GUENEGOORE	(M)	43
KALANA	(M)	44
KANGABA	(M)	45
KOLOKANI	(M)	46
KONAKARI	(M)	47
KOTERA	(M)	48
KOUROUNINKOTO	(M)	49
KOUSSANE	(M)	50
LEYA	(M)	51
MOURDIAH	(M)	52
NARA	(M)	53
NAREHA	(M)	54
NEGALA	(M)	55
NIENEBALE	(M)	56
OUALIA	(M)	57
OULOUMA	(M)	58
OUSOUBIDIAGNA	(M)	59
SABOUCIARE	(M)	60
SADIOLA	(M)	61
SAGABARI	(M)	62
SANDARE	(M)	63
SEBEKORO	(M)	64
SIRAKORO	(M)	65
TOUKOTO	(M)	66
YELIMANE	(M)	67
SISSIRIMA	(S)	68
DITINH	(S)	69
MALI	(S)	70
PITA	(S)	71
BAKEL	(S)	72
KIDIRA	(S)	73
MATAM	(S)	74
NAMARI	(S)	75
SARAYA	(S)	76
KAEI	(RM)	77
MBOUT	(RM)	78
SELIBABY	(RM)	79
TAMCHAKETT	(RM)	80
TIMBEDRA	(RM)	81

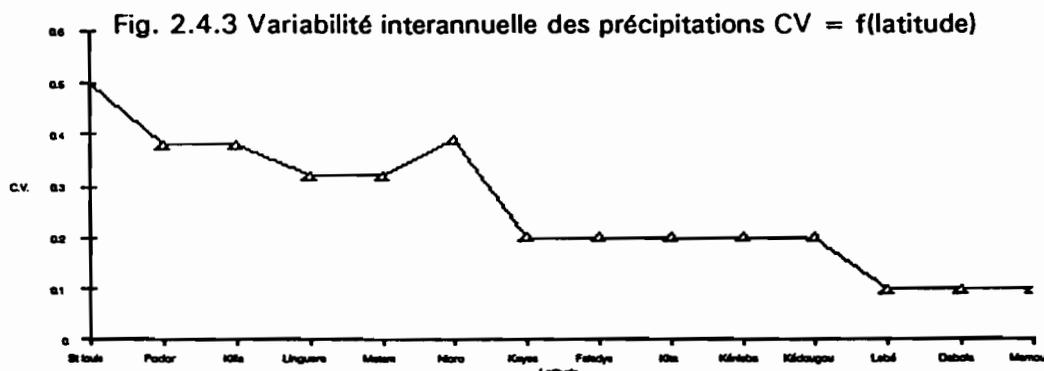
Stations climatologiques		
BAFOULABE	(M)	12
BOUCUOMI	(M)	13
FALADYE	(M)	14
DABOLA	(S)	15
DALABA	(S)	16
DINGUIRAYE	(S)	17
FARANAH	(S)	18
GAOUAN	(S)	19
KINDIA	(S)	20
KOUROUSSA	(S)	21
MAMOU	(S)	22
TELIMELE	(S)	23
TOUGUE	(S)	24
YOUKOUNKOUN	(S)	25
ALEG	(RM)	26
KANKOSSA	(RM)	27
KEDOUGOU	(S)	28
BOUGOUNI	(S)	29

Postes pluviométriques		
AMBIDEI	(M)	30
AOUROU	(M)	31
BAFINGO-MAKANA	(M)	32
BALLE	(M)	33
BANAMABA	(M)	34
BATIMAKANA	(M)	35
BILIKOUATE	(M)	36
DIAMOU	(M)	37

Fig. 2.4.1.1 Répartition des pluies mensuelles



La variation interannuelle ne dépasse pas 0,1 dans la région guinéenne. Elle reste faible encore dans le domaine soudanien Sud et Nord (0,2), mais augmente dans le domaine sahélien. Ce sont donc les postes dont les modules annuels sont les plus faibles qui connaissent la plus grande variabilité.



2.4.2 Répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles. Estimation de la lame précipitée moyenne par sous bassin.

La carte des isohyètes (2.4.1) sur la période 1951-1980 montre que le bassin supérieur du SENEGAL est limité au sud par l'isohyète 1900 mm et au nord par l'isohyète 200 mm. L'isohyète 300 mm, limite de la culture pluviale, suit la latitude 16° Nord.

La pluie moyenne annuelle diminue du sud du bassin vers le Nord. Les valeurs moyennes annuelles traduisent fidèlement la succession des régions et des domaines climatiques.

La pluie moyenne par sous bassin a été estimée à partir de la carte des isohyètes et en utilisant la méthode du coefficient d'homogénéisation par zone climatique (DUBREUIL, 1971). Le tableau 2.4.2.1 donne une estimation de lame d'eau précipitée moyenne annuelle par sous bassin (periode 1951-1980).

Tableau 2.4.2.1
Lames d'eau précipitées moyenne (mm)
par sous bassin (SOW, 1984)

Bassins	climat guinéen	climat sud soudanien	climat nord soudanien	climat sahélien	moyenne
FALEME	1135	1129	804		1023
BAFING	1466	1220	1059		1248
BAKOYE		1225	1154		1190
BAOULE		1107	770	464	780
KARAKORO			742	332	537
KOLIMBINE			922	545	734
HAUT BASSIN DU SENEGAL	1227	1055	642	348	818

Sur le haut bassin du SENEGAL, qui englobe l'ensemble des climats tropicaux (guinéen, soudanien, sahélien), la pluie moyenne est de 818 mm. Cette valeur est voisine des pluies moyennes du climat Nord Soudanien.

2.4.3 analyse de la sécheresse 1968 -1980

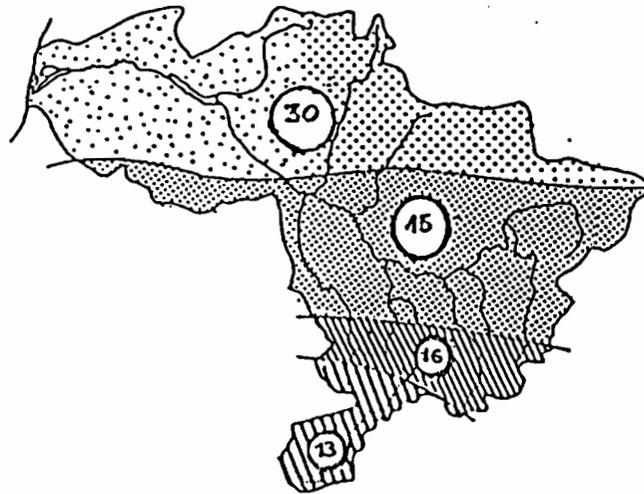
Sur le tableau 2.4.3.1 les écarts à la moyenne "1951 à 1980 " ont été calculés pour chaque année à quelques stations caractéristiques. Ce tableau montre un déficit pluviométrique généralisé à toutes les stations à partir de 1968. Il n'est pas du même ordre de grandeur à toutes les stations. La sécheresse est plus accusée dans le nord que dans le sud. Le graphique 2.4.3 tiré de l'étude de A.A. SOW montre le déficit moyen de la période 1968 - 1980 dans chaque grand domaine climatique.

Tableau 2.4.3.1 Ecart à la moyenne 1951 - 1980 en %

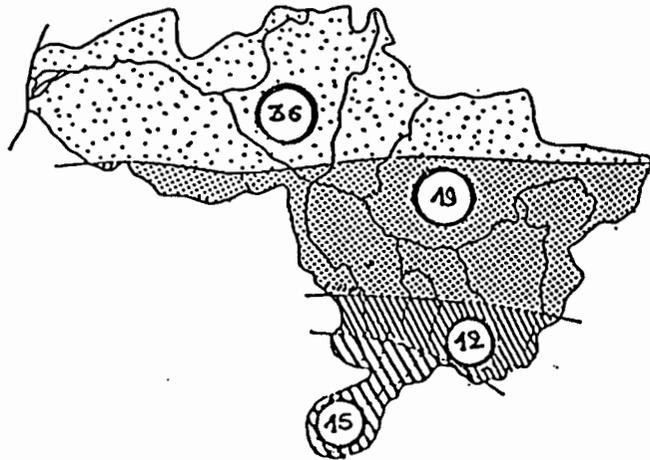
Stations	NIORO	KAYES	KITA	KENIEBA	LABE	MAMOU
1951-80	566	695	1083	1292	1660	1939
1951	+33	+24	+7	+44	+25	+5
1952	+71	+26	+46	-6	-12	-7
1953	+11	+10	+32	-5	-10	+10
1954	+49	+26	+3	+10	+8	+33
1955	0	-2	+18	+48	+17	+21
1956	+11	+16	+8	+11	+6	0
1957	+16	-1	+26	-8	+17	+16
1958	+50	-3	+28	+16	+30	+24
1959	+9	+23	+5	-14	+7	-3
1960	-1	+7	+2	-5	-11	-11
1961	-12	-5	-5	+2	+7	+13
1962	+19	-9	+20	+26	+26	+17
1963	+14	+27	-19	+2	-10	-4
1964	+27	-1	+2	+1	+17	+2
1965	+11	+11	-1	+20	-18	-3
1966	+15	+22	0	+3	-3	+20
1967	-13	-4	+10	+29	+28	+4
1968	-21	-31	-5	-27	-5	+6
1969	-4	+14	-11	+11	+7	-20
1970	-29	-20	-21	-20	-19	-16
1971	-40	-14	-24	+4	-11	-10
1972	-22	-30	-17	-35	+7	-21
1973	-36	-20	-12	-16	-10	-7
1974	-26	-3	-12	-7	-7	-9
1975	-12	-15	-11	+11	-9	-7
1976	-13	+12	+51	-23	-10	+8
1977	-47	-15	-14	-22	-20	-14
1978	-2	+6	-21	-1	-15	-2
1979	-21	-20	-22	-15	-18	-17
1980	-45	-31	-19	-35	-10	-24

Le tableau 2.4.3.2 rassemble les valeurs des pluviométries annuelles 1981 à 1989 pour les principales stations. Les écarts à la moyenne 1951-1980 y sont consignés. On remarque que le phénomène de sécheresse perdure jusqu'en 1986 avec les années 1983 et 1984 très déficitaires. Une augmentation sensible de la pluviométrie apparaît en 1987, 1988, 1989 bien que le total annuel reste déficitaire à de nombreuses stations. L'analyse des chroniques ne peut cependant pas dégager de tendances pour l'avenir.

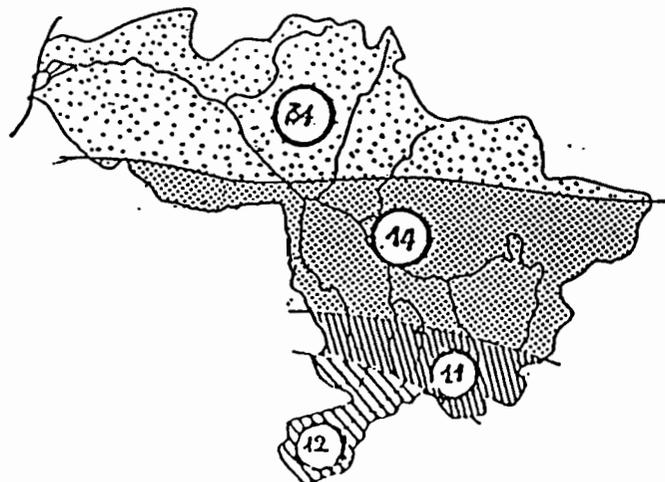
Fig. 2.4.3 Déficits en % de la période de sécheresse



Déficit de la période 69-83 par rapport à la série de référence



Déficit de la période 69-83 par rapport à la moyenne 31-60



Déficit de la période 69-83 par rapport à la moyenne 51-80

Les figures 2.4.4 montrent quelques exemples d'ajustements.

Tableau 2.4.4.1 Statistiques des pluies annuelles, lois ajustées

Stations	moyenne mm	médiane mm	CV mm	Loi ajustée
-Domaine sahélien				
KIFFA	328.9	319.8	.396	GOODRICH
MATAM	661.6	646.9	.255	GOODRICH
NIORO	563.8	557.4	.288	GALTON
KIDIRA	662.5	646.9	.255	GALTON
KAYES	695.4	683.1	.179	GOODRICH
-Domaine soudanien				
BAFOULABE	845.1	839.5	.168	GALTON
FALADYE	981.0	995.0	.181	GOODRICH
KENIEBA	1289.6	1267.8	.207	GALTON
KITA	1053.2	1036.8	.191	GOODRICH
-Domaine guinéen				
LABE	1663.3	1593.0	.143	GALTON

Tableau 2.4.4.2 Statistiques des pluies annuelles, récurrences

Fréquence	Récurrences sèches				Récurrences humides			
	0.01	0.02	0.05	0.1	0.9	0.95	0.98	0.99
Période de retour (ans)	100	50	20	10	10	20	50	100
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
KIFFA	115	126	147	173	503	565	635	683
MATAM	155	174	209	248	637	699	770	817
NIORO DU SAHEL	263	289	331	372	776	854	950	1019
KIDIRA	346	374	419	462	882	934	1002	1047
KAYES	436	460	501	540	851	893	939	969
BAFOULABE	563	590	634	675	1028	1089	1162	1212
FALADYE	653	676	717	762	1214	1286	1368	1422
KITA	780	787	804	828	1344	1469	1621	1731
KENIEBA	780	827	902	974	1639	1761	1909	2014
LABE	1312	1330	1361	1396	1991	2166	2409	2604

Tableau 2.4.3.2
Données pluviométriques de la dernière décennie et écarts à la moyenne 51-80

Stations	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
NIORO	406	381	255	316	477	343	344	500	224
Ecart %	-28	-33	-55	-44	-16	-39	-39	-12	-60
KAYES	593	533	428	609	729	778	477	650	752
Ecart %	-15	-23	-38	-12	+5	+12	-31	-6	+8
BAFOULABE	712	825	661	-	814	-	-	833	-
Ecart %	-16	-3	-22	-	-4	-	-	-2	-
KOLOKANI	704	765	549	512	606	872	541	791	-
Ecart %	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KENIEBA	1151	1215	671	914	963	1032	861	1110	1123
Ecart %	-11	-6	-48	-29	-25	-20	-33	-14	-13
KITA	836	948	-	776	748	967	661	930	1010
Ecart %	-23	-12	-	-28	-31	-20	-39	-14	-7
LABE	1592	1550	1513	1228	1433	1342	1460	1332	-
Ecart %	-4	-7	-9	-26	-14	-19	-12	-20	-

2.4.4 Analyse statistique des pluviométries annuelles

L'étude de la répartition statistique des hauteurs annuelles de précipitation a été faite sur les stations suivantes:

-Domaine sahélien

KIFFA	+16°38	-11°28	1922	1300003700
MATAM	+15°39	-13°15	1918	1380013000
NIORO	+15°14	-09°36	1919	1270035800
KIDIRA	+14°28	-12°13	1918	1380016300
KAYES	+14°28	-11°26	1895	1270020800

-Domaine soudanien

BAFOULABE	+13°48	-10°50	1931	1270001900
FALADYE	+13°08	-08°21	1931	1270012400
KENIEBA	+12°51	-11°14	1942	1270021700
KITA	+13°04	-09°28	1931	1270022900

-Domaine guinéen

LABE	+11°20	-12°19	1923	170052
------	--------	--------	------	--------

Un ajustement automatique de 10 lois statistiques est tenté sur chaque série pluviométrique. Le meilleur ajustement a été choisi en prenant comme critère le test de BRUNET-MORET. Ce test favorise l'ajustement aux valeurs extrêmes (minimisation des surfaces comprises entre la courbe théorique et la courbe de distribution expérimentale).

Les résultats des ajustements des meilleures lois au sens du test de BRUNET-MORET sont récapitulés dans les tableaux 2.4.4.1 et 2.4.4.2

Fig. 2.4.4 Ajustements statistiques des pluviométries annuelles

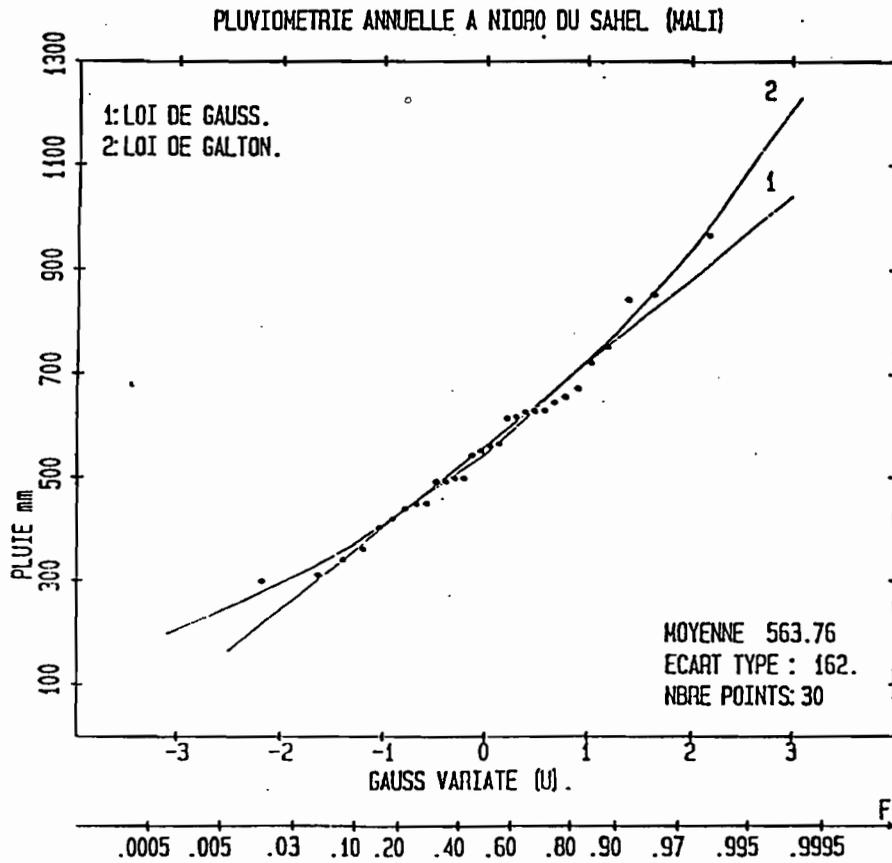
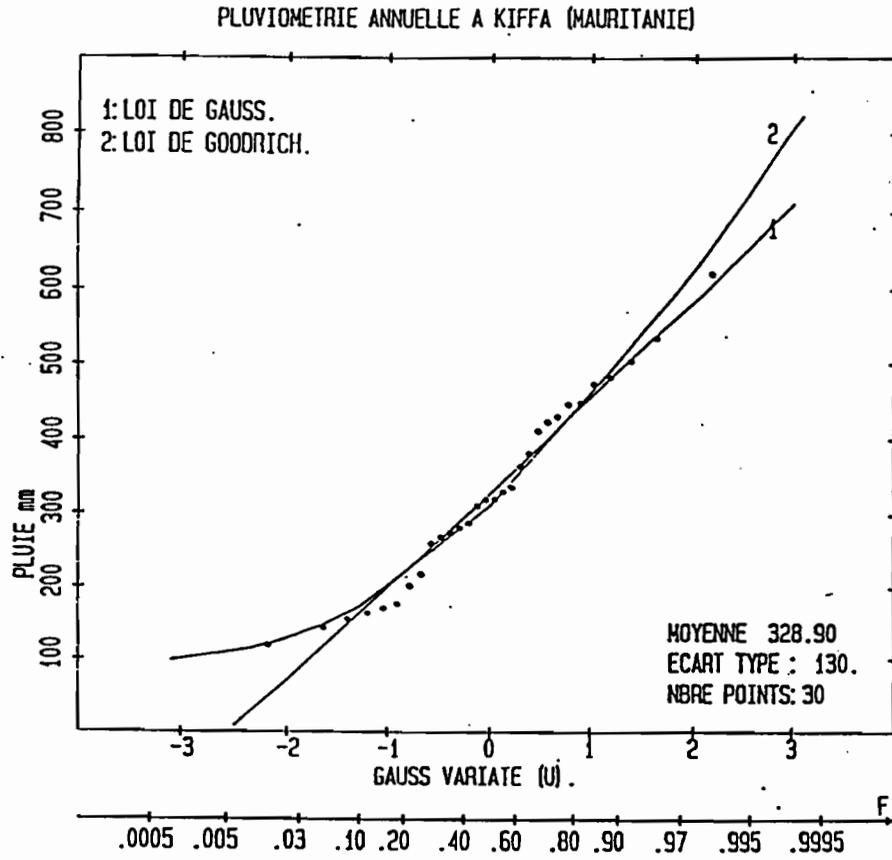


Fig. 2.4.4 Ajustements statistiques des pluviométries annuelles (suite)

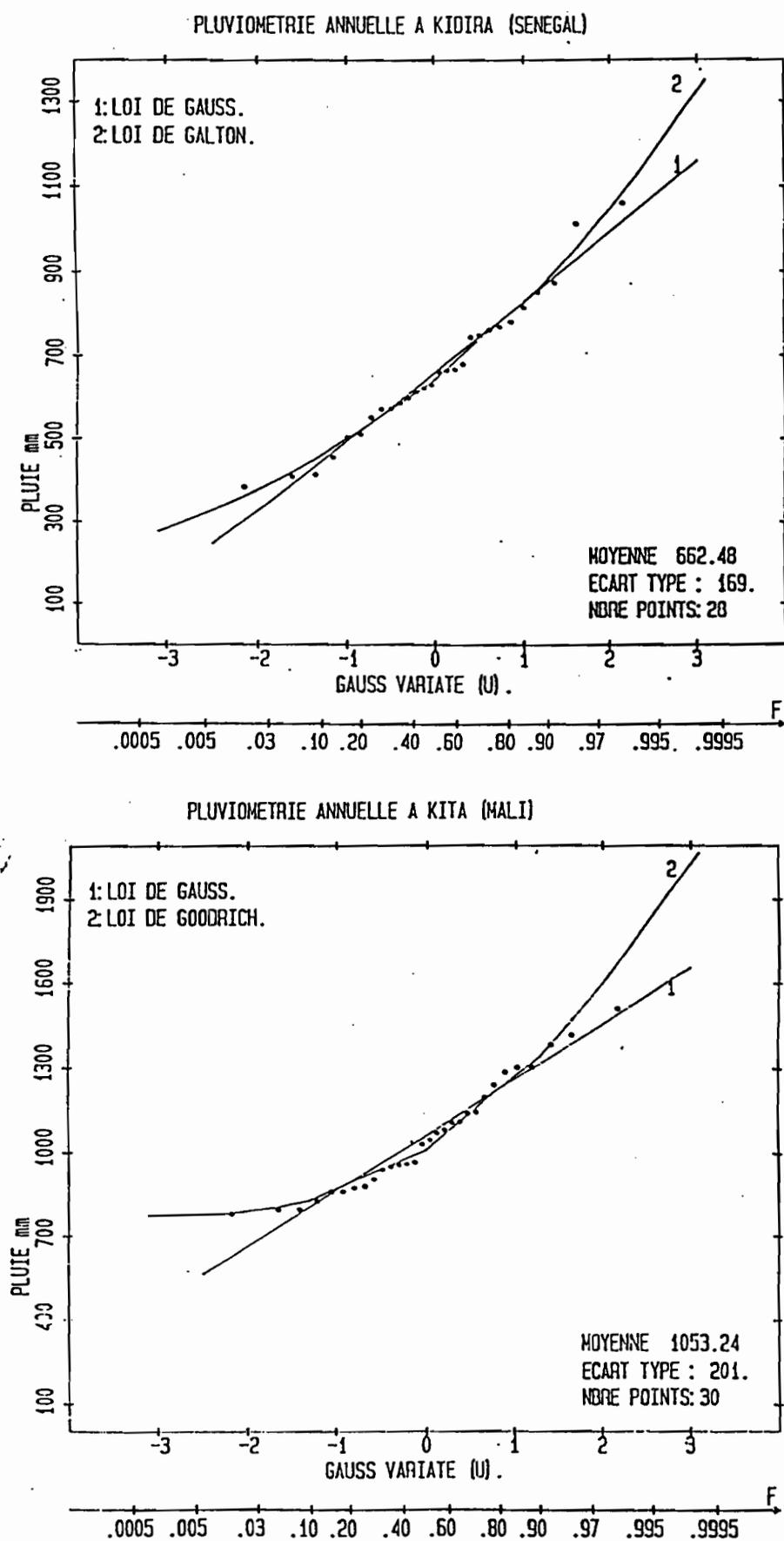
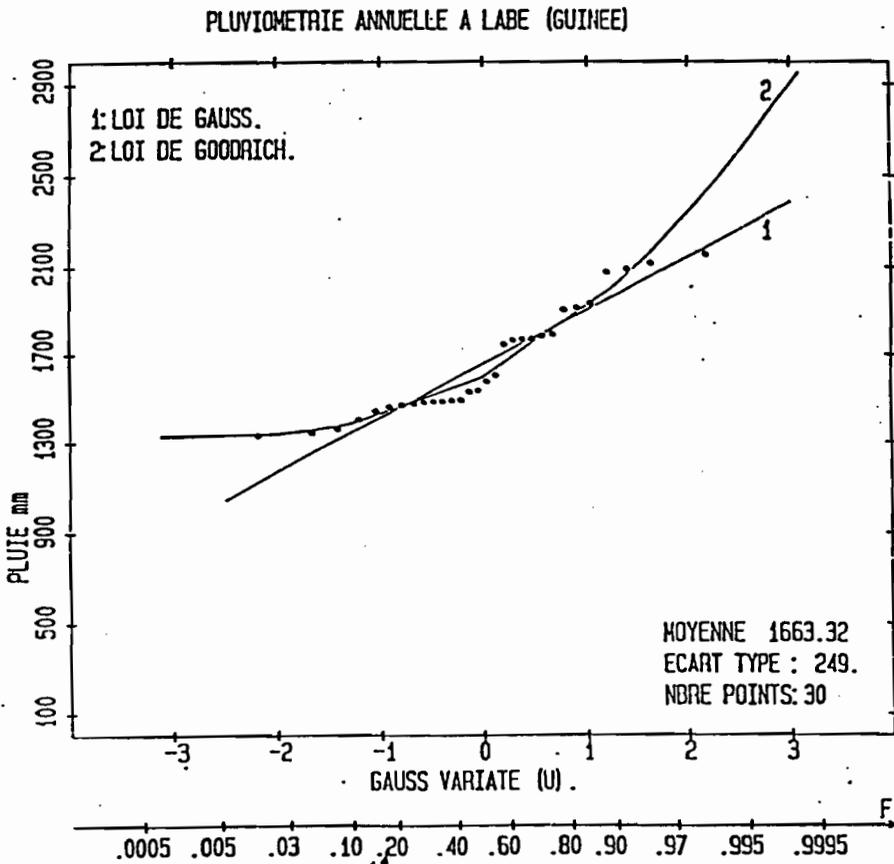
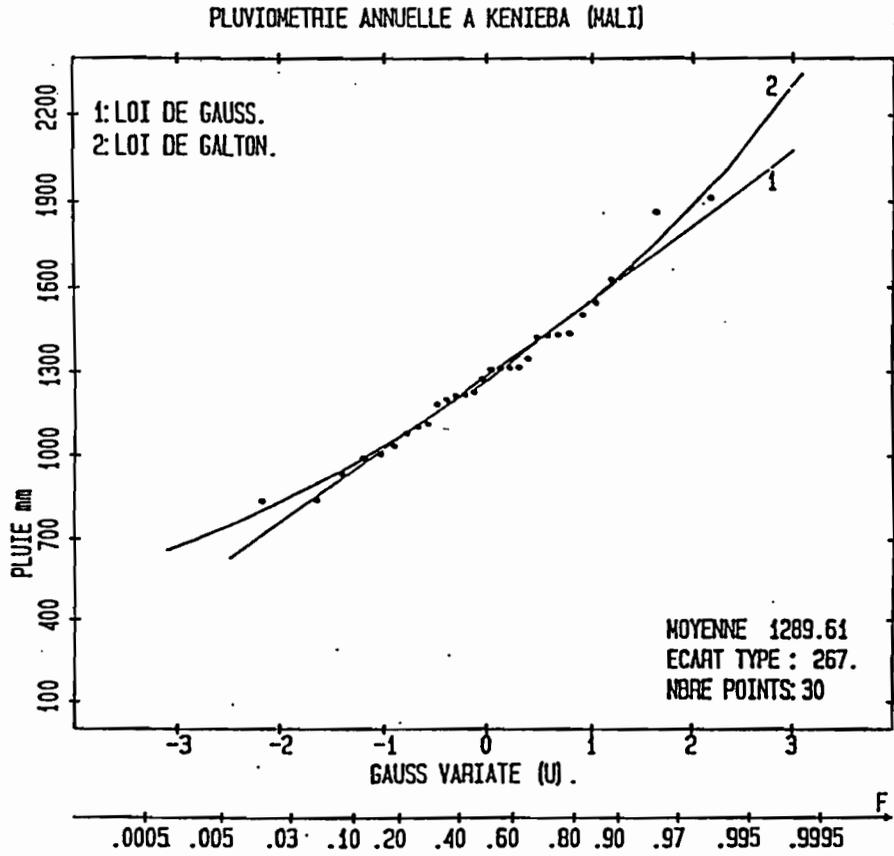


Fig. 2.4.4 Ajustements statistiques des pluviométries annuelles (suite)



2.4.5 Pluviométrie journalière

Le pas de temps journalier est la donnée de base des chroniques pluviométriques disponibles. L'averse reçue en 24 heures est le paramètre déterminant dans l'étude et le calcul des crues sur les petits bassins versants de quelques dizaines à quelques centaines de km².

L'étude fréquentielle des hauteurs de précipitations journalières a consisté après classement des averses à rechercher pour chaque station l'ajustement de la loi Gamma Incomplète de PEARSON III tronquée dont la fonction de répartition s'écrit :

$$F_1(x) = F_1(0) \cdot \frac{1}{\Gamma(-\gamma)} \int_{-x}^0 \left(\frac{x}{s}\right)^{\gamma-1} \cdot e^{-x/s} \cdot dx$$

$F_1(x)$ est la probabilité pour que la valeur de la variable soit supérieure à x

$F_1(0)$ est la probabilité pour que la valeur de la variable ne soit pas nulle, c'est le paramètre de «tronquage».

γ est le paramètre de forme

s est le paramètre d'échelle

Γ est la fonction Gamma Incomplète

L'ensemble des précipitations journalières est pris en compte, donc $F_1(0) = M/365.25$ avec M = nombre moyen annuel de jours de pluie. Il est préférable de calculer $F_1(0)$ avec M' nombre moyen théorique de jours de pluie dans l'année par la méthode des moments. Pour s'affranchir de l'imprécision due au nombre de jours de petites pluies (évaporation dans le seau pluviométrique, oubli de l'observateur) toutes les pluies inférieures à 1mm ont été écartées de l'échantillon.

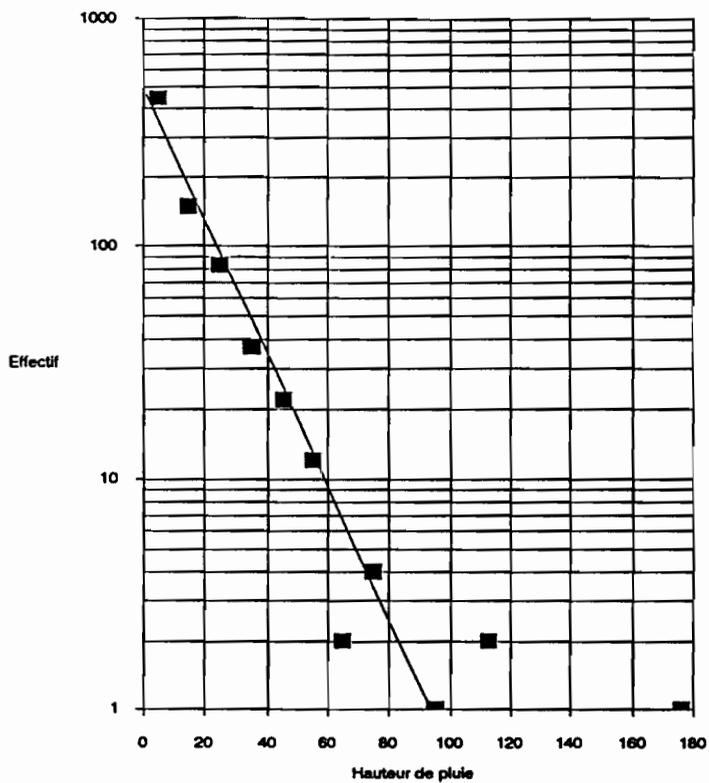
Les résultats de l'analyse statistique des pluies en 24 heures sont consignés dans le tableau 2.4.5.1. Sont indiqués le nom des stations, le nombre moyen de jours de pluie par an, la valeur du paramètre de forme et les hauteurs en mm des pluies journalières dont les probabilités de récurrence sont une fois tous les deux ans, une fois tous les 10, 20, 100 ans.

Tableau 2.4.5.1 Statistiques des pluies journalières
Loi de Pearson III sur le fichier 1951-1980

Stations	nb.moy. pluies/an	gamma	2 ans mm	10 ans mm	20 ans mm	100 ans mm
KIFFA	58.9	0.19	61.7	96.3	111.9	149.0
MATAM	27.7	0.84	63.5	90.2	101.7	128.5
KIDIRA	33.1	0.88	83.5	116.5	130.8	163.9
KAYES	45.4	0.95	66.9	90.9	101.0	125.4
BAFOULABE	70.1	0.47	78.7	110.8	124.9	157.8
KITA	64.6	1.06	72.5	95.7	105.7	128.9
FALADYE	71.9	0.70	77.5	105.3	117.4	145.7
KENIEBA	121.3	0.39	96.5	133.3	149.4	187.4
LABE	126.8	0.87	77.4	100.5	124.3	133.7

Fig. 2.4.5.1 Statistique des pluies journalières

KIFFA : pluies journalières classées



KIDIRA : pluies journalières classées

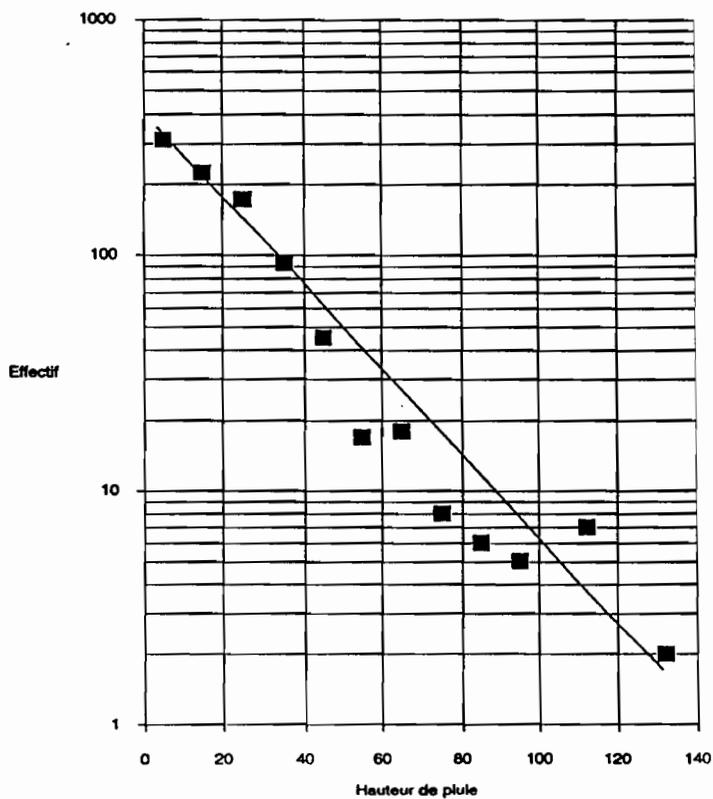
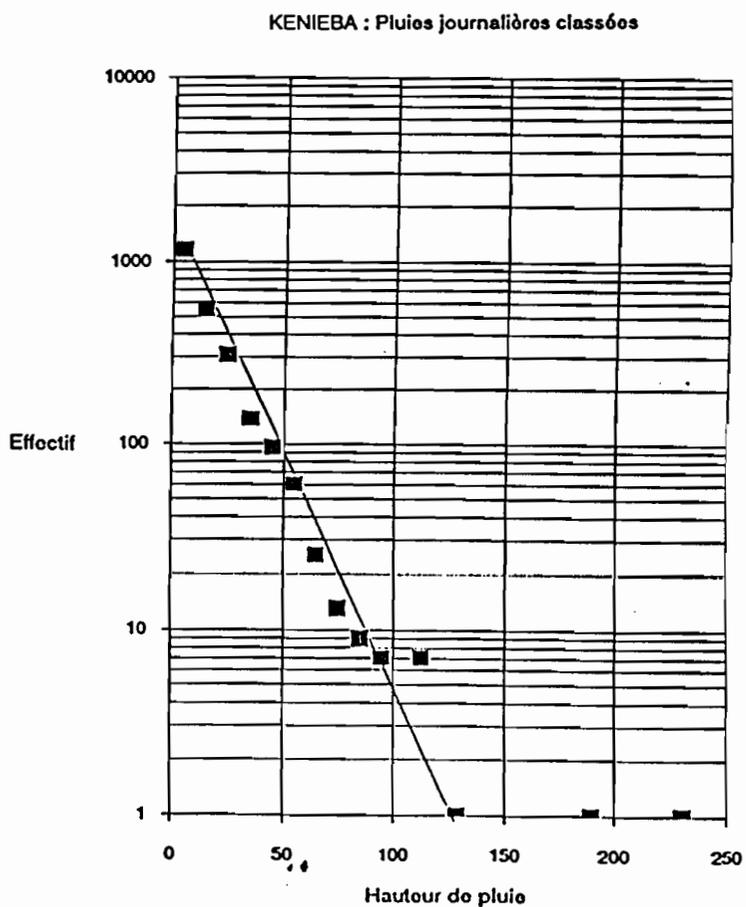
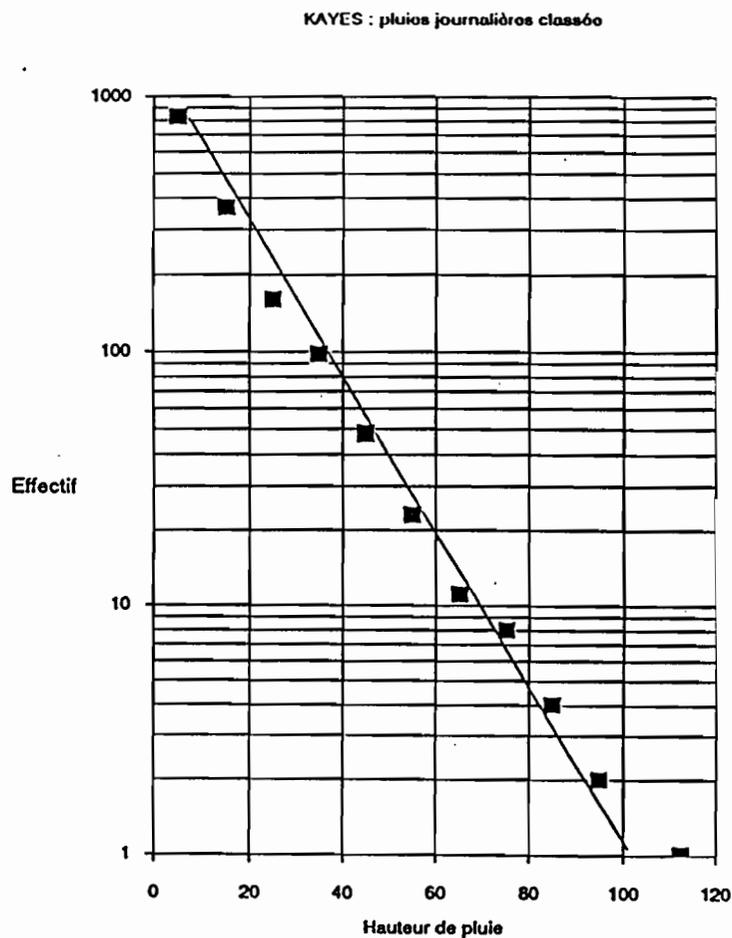


Fig. 2.4.5.1 Statistique des pluies journalières



ANNEXE

Format des données pluviométriques sur disquette

1. Format pour les stations du MALI et du SENEGAL

Position début-fin	Nombre de caractères	Information
1 à 10	10	Code ORSTOM de la station
11 à 14	4	Année
15 à 16	2	Mois
17	1	-
31 couples	5 et 1	Hauteur journalière en 1/10mm Code journalier (cf description)
204 à 209	6	Hauteur mensuelle en 1/10mm
210	1	Code de mois complet(0) ou non (7 incomplet, 9 absent)
211	1	-
212	1	-
213	1	Accessibilité : 0 journalier, 6 données pentadaires, 7 données décadaires, 8 données mensuelles, 4 selon code journalier
214	1	Code de qualité : 0 RAS, 1 douteux utilisable, 5 multiples de 8 ou 10mm; 6 douteux inutilisable
215 à 216	2	Nombre de jours de pluie
217 à 218	2	Nombre de jours de pluie II < 0,5mm
219 à 220	2	Nombre de jours de pluie H < 10mm

2. Format pour les stations de GUINEE

Position	Nbre de caractères	Information
1à6	6	N° d'identification de la station
7à10	4	Année
11à12	2	Mois
13	1	N° de la quinzaine
14 à 77	16x4	Valeurs de pluies journalières 9999 indique une valeur manquante

3.0 HYDROLOGIE

3.1. GENERALITES

3.1.1. REGIMES HYDROLOGIQUES DU HAUT BASSIN DU FLEUVE SENEGAL (tiré de Monographie du fleuve Sénégal)

Il existe trois régimes climatiques dans la zone du haut bassin du fleuve Sénégal limité à Bakel (superficie 218 000 km²) :

- régime tropical de transition
- régime tropical pur
- régime sahélien.

La zone la plus arrosée (régime trop. de transition - pluie annuelle ≤ 1250 mm) couvre 70% du bassin du Bafing, 40% de celui de la Falémé, et l'extrémité supérieure du bassin du Bakoye. La crue débute dès le mois de juin et se prolonge jusqu'à fin octobre. Les étiages sont très sévères, mais moins marqués que dans la vallée.

Le régime tropical pur correspond à la bande pluviométrique comprise entre les isohyètes 1250 et 750mm. Il couvre le bassin inférieur du Bafing, 60% du bassin de la Falémé et la plus grande partie du bassin du Bakoye et du Baoulé.

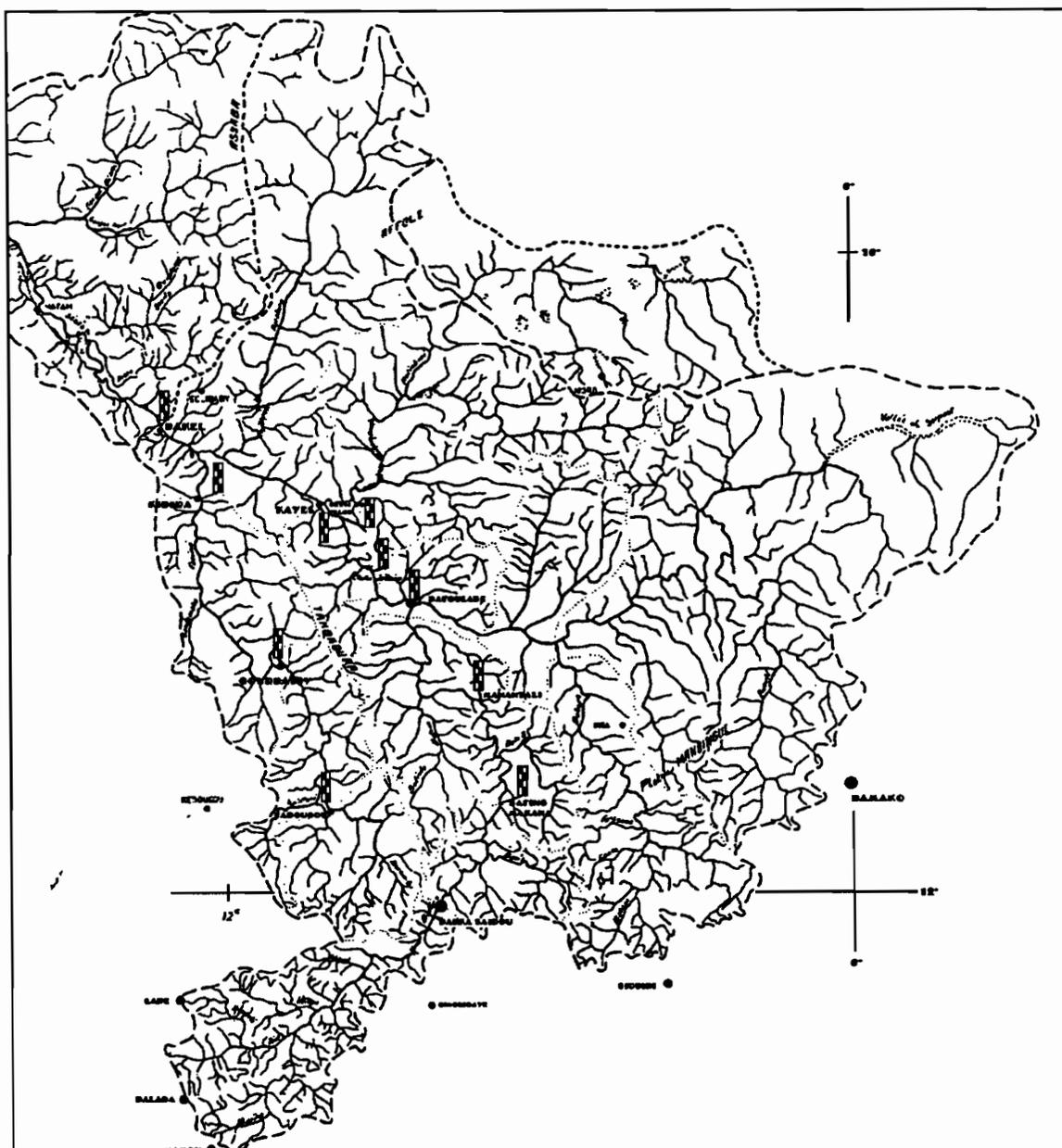
La crue n'intervient qu'en juillet, passe par un maximum fin août - début septembre et s'achève en octobre. En mai, à la fin de la saison sèche, l'étiage est très faible et il ne subsiste qu'un filet d'eau dans les cours d'eau les plus importants.

Le régime sahélien se situe au nord de l'isohyète 750mm, c'est-à-dire dans la Vallée du serpent, et sur les bassins de la Kolombine et du Karakoro. Plus on se dirige vers le nord, plus les écoulements sont épisodiques et les apports annuels de plus en plus faibles. Les réseaux hydrographiques se dégradent progressivement et deviennent plus ou moins nettement endoréiques, ce qui laisse mal défini l'importance des bassins de rive droite. La figure 3.3.1.0 présente le réseau hydrographique à l'amont de Bakel.

3.1.2. MODULES

De Bafoulabe à Kayes le Sénégal ne reçoit que les apports assez négligeables de la Kolombine, il s'ensuit que les caractéristiques du régime restent les mêmes de Galougo-Gouina à Kayes.

Figure C-3.1.0



HYDROGRAPHIE DU BASSIN SUPERIEUR DU FLEUVE SENEGAL

Figure C-3.1

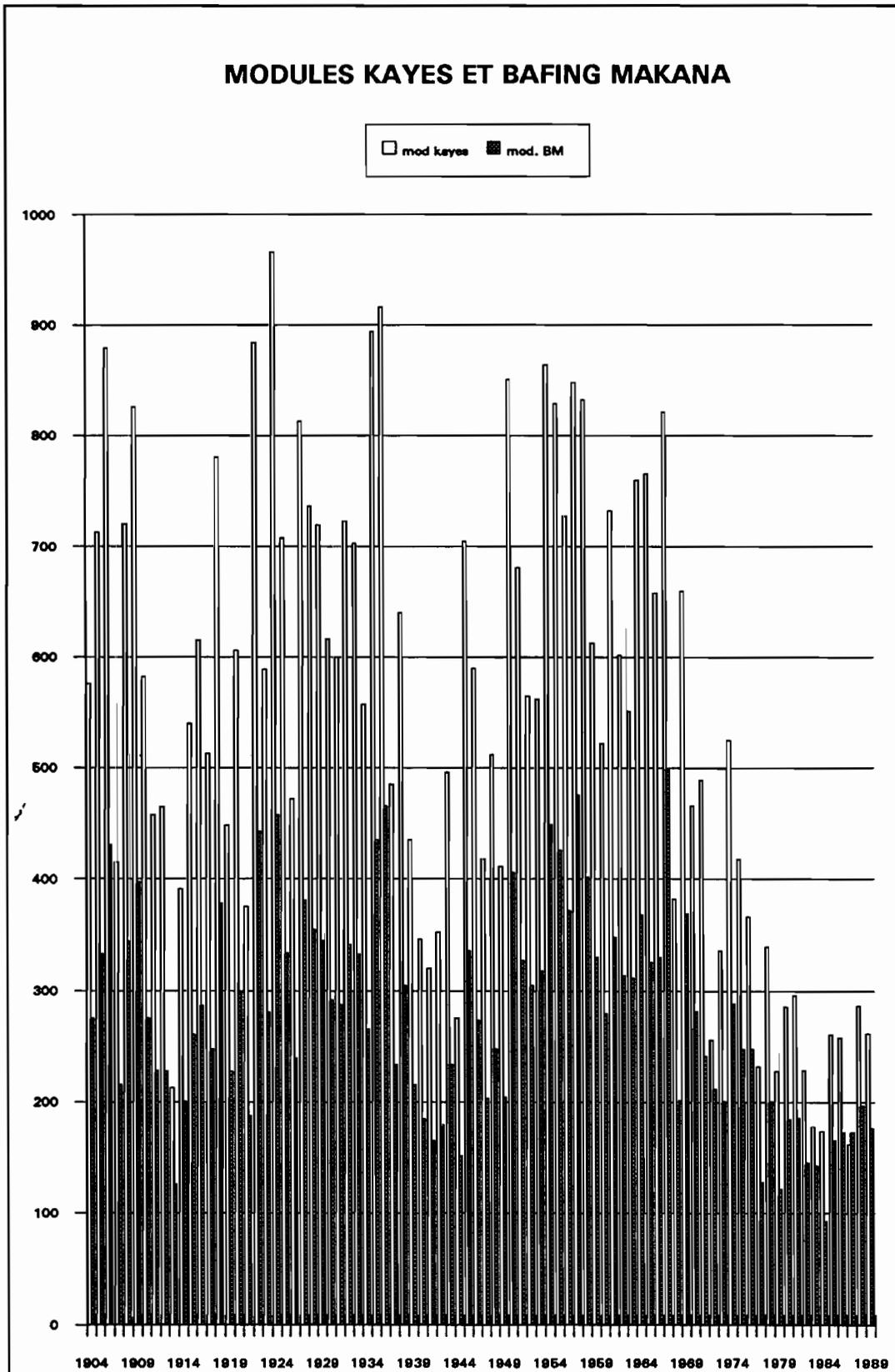
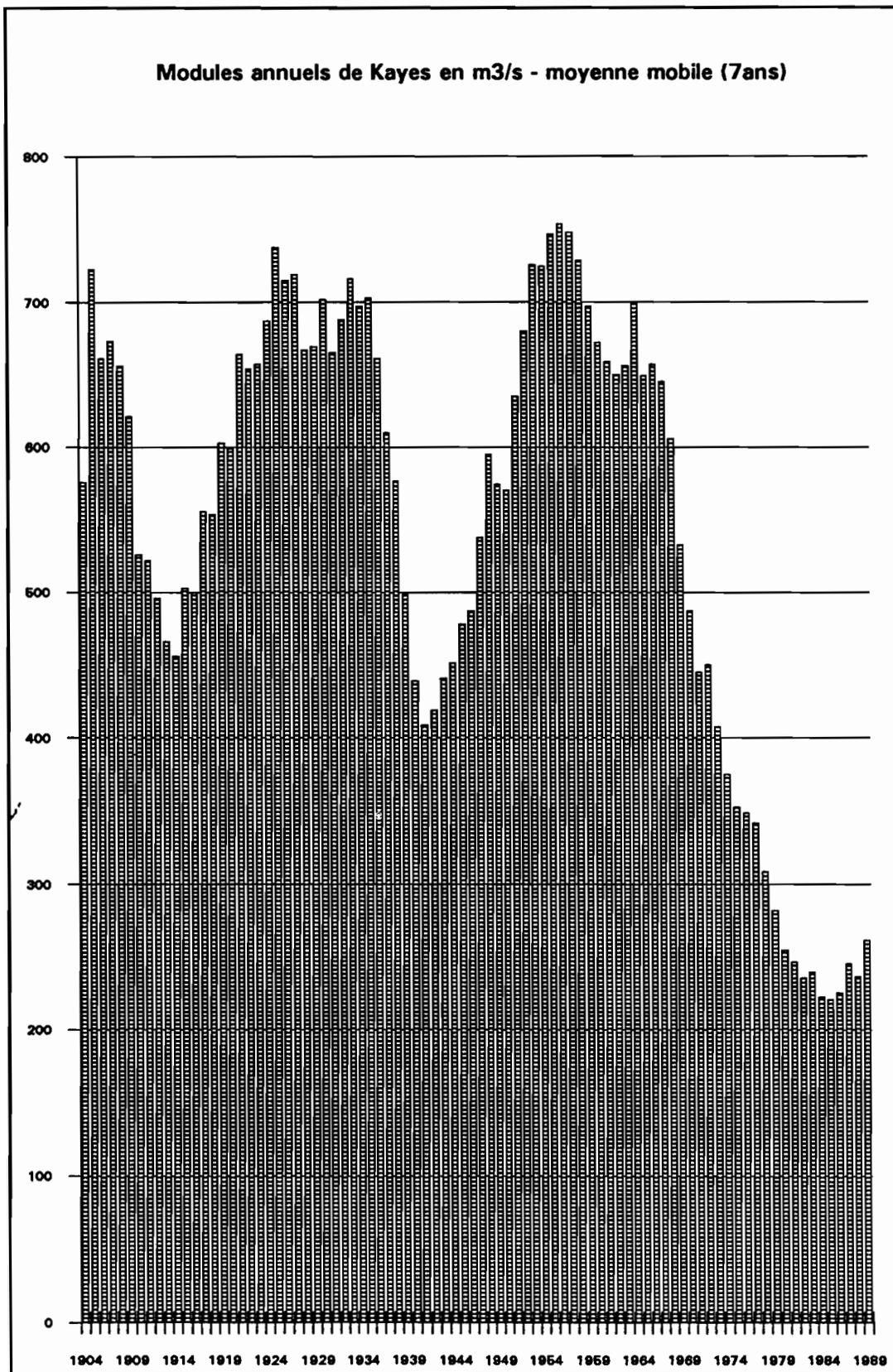


Figure C-3. 2



Les caractéristiques du régime à Kayes sont représentées sur la figure 3.1 (page suivante). Nous y avons porté les modules du Sénégal à Kayes et du Bafing à Bafing Makana pour la période 1904 - 1989. La figure 3.2 montre la moyenne mobile des modules annuels calculée sur sept ans à Kayes. Le module pris en compte pour les dernières années correspond aux débits naturels reconstitués (remplissage de Manantali).

Sur les 86 ans de l'échantillon, la moyenne interannuelle du débit est de 545 m³/s. De 1904 à 1970, elle était de 616 m³/s (période antérieure à la sécheresse); depuis, pour la période 1971 - 1989, elle a chuté à 294 m³/s. Il faut rappeler que le volume stocké dans la retenue de Manantali atteignait sensiblement 7 milliards de m³ à la fin de la crue 1990/91.

3.2. CRUES NATURELLES (avant barrage de Manantali) - HAUTEURS MOYENNES DECADAI-RES (système NG)

3.2.1 Présentation des résultats

Les études statistiques ont été effectuées en première phase, les résultats contenus dans les tableaux des pages suivantes ont été tirés du rapport correspondant.

Les interpolations ont été réalisées en fonction du PK de chaque station, le PK 0 correspond à Saint Louis. Pour les points de calcul portant un n°, le PK est évalué au droit de ces stations en mesurant les distances le long de la ligne centrale du fleuve.

Les valeurs contenues dans les tableaux des stations 6A (Moulessimou), 6B (Golmikare) et 6C (Dioroubougou) ont été obtenues à partir de celles de BAKEL et d'AMBIDEDI.

Les valeurs contenues dans les tableaux des stations 9 (Tamboukane), 10 (Sabe Fara), 11 (Darsalam) et 12 (Dialebougou) ont été obtenues à partir de celles d'AMBIDEDI et de KAYES.

STATION	Zéro NG(m)	P.K.	Longitude	Latitude
MATAM	6.32	623	- 13 15 00	15 32 00
BAKEL	11.16	794	- 12 28 47	14 53 47
6a (MOULESSIMOU)		807	- 12 21 23	14 50 00
6b (GOLMIKARE)		816	- 12 17 33	14 47 23
6c (DIOROUBOUGOU)		823	- 12 14 07	14 45 07
Araoundou		823	- 12 15 00	14 46 00
AMBIDEDI	17.67	880	- 11 47 27	14 35 22
9 (TAMBOUKANE)		897	- 11 38 06	14 34 14
10 (SABE FARA)		905	- 11 35 53	14 30 33
11(DARSALAM)		913	- 11 31 40	14 29 15
12(DIALEBOUGOU)		920	- 11 28 20	14 27 37
KAYES	20.16	924	- 11 26 40	14 27 04
8 (NAHE)		879	- 12 11 39	14 25 20

3.2.1.1. Exemple de calcul

Soit X la valeur à interpoler à partir des valeurs correspondantes des stations de base amont et aval pour une même décade et la même fréquence Hm (amont) et Hv(aval) :

$$X = H_v + C \cdot (H_m - H_v)$$

avec :

$$C = (PK_x - PK_v) / (PK_m - PK_v)$$

$$PK_i = PK \text{ de la station } i$$

Les valeurs de C pour chaque interpolation sont consignées dans le tableau C-3.1.1 ci-dessous :

Tableau C-3.1.1

STATIONS	PK	St. amont	St. aval	C
6A	807	Ambidedi	Bakel	0.153
6B	816	"	"	0.247
6C	823	"	"	0.343
8	879	Kidira	Bakel	1.104
9	897	Kayes	Ambidédi	0.325
10	905	"	"	0.506
11	913	"	"	0.727
12	920	"	"	0.896

Les matrices de Hauteurs Moyennes Décadaires (HMD) correspondant aux stations ci-dessus sont contenues dans les pages suivantes. Elles contiennent les HMD des 36 décades en fonction de 7 périodes de retour en années :

2 - 5 - 10 - 20 ans

Les hauteurs sont exprimées en mètre dans le système "Nivellement Général" (NG).

Les figures associées montrent les variations des HMD en fonction des périodes de retour.

BAKEL

P.K. 794

Longitude : 12°28'47" W

Latitude : 14°53'47" N

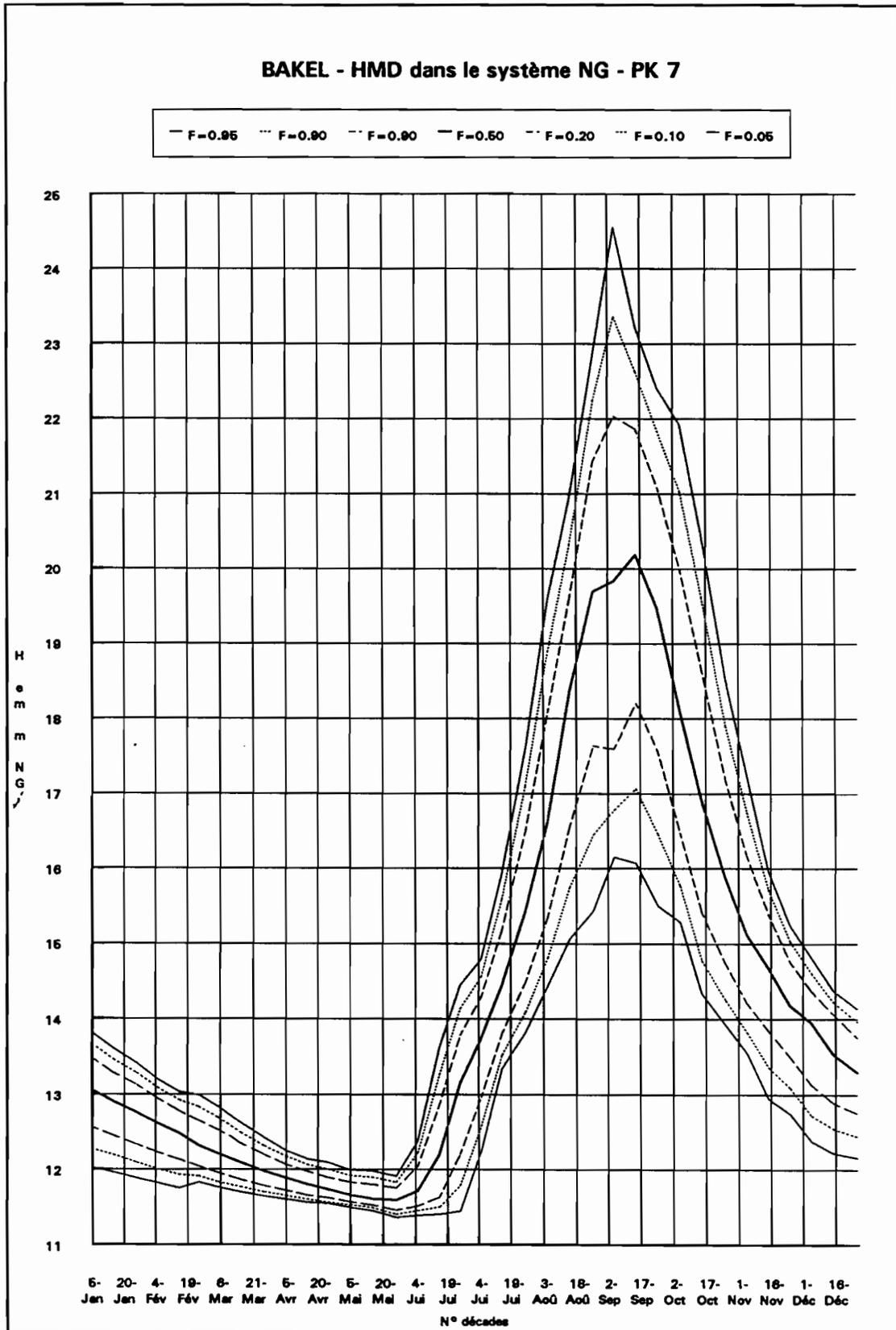
Hauteurs Moyennes Décadaires en fonction de la fréquence de dépassement

Tableau C-3.1.2

N° Décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80	F=0.50	F=0.20	F=0.10	F=0.05
1	12.02	12.27	12.56	13.05	13.47	13.66	13.81
2	11.96	12.19	12.45	12.90	13.28	13.46	13.60
3	11.88	12.09	12.33	12.76	13.12	13.28	13.41
4	11.82	12.01	12.23	12.61	12.94	13.09	13.20
5	11.75	11.93	12.13	12.48	12.78	12.92	13.03
6	11.83	11.91	12.04	12.32	12.65	12.83	12.99
7	11.76	11.83	11.95	12.21	12.52	12.69	12.83
8	11.70	11.77	11.86	12.09	12.35	12.49	12.62
9	11.64	11.70	11.78	11.97	12.19	12.31	12.42
10	11.60	11.65	11.72	11.88	12.06	12.17	12.25
11	11.56	11.60	11.66	11.80	11.97	12.06	12.14
12	11.55	11.56	11.62	11.73	11.89	12.00	12.09
13	11.49	11.53	11.57	11.66	11.83	11.92	11.99
14	11.45	11.49	11.53	11.61	11.80	11.90	11.98
15	11.36	11.40	11.46	11.59	11.75	11.83	11.91
16	11.39	11.45	11.51	11.71	12.04	12.22	12.38
17	11.40	11.50	11.63	12.19	12.86	13.26	13.62
18	11.44	11.79	12.21	13.14	13.78	14.13	14.45
19	12.25	12.58	12.96	13.74	14.29	14.56	14.79
20	13.34	13.52	13.80	14.44	15.17	15.58	15.93
21	13.82	14.09	14.49	15.42	16.50	17.10	17.60
22	14.44	14.81	15.35	16.62	18.08	18.89	19.57
23	15.06	15.74	16.55	18.35	19.60	20.31	20.94
24	15.43	16.45	17.64	19.69	21.43	22.24	22.85
25	16.15	16.78	17.60	19.83	22.03	23.36	24.56
26	16.07	17.07	18.21	20.18	21.86	22.63	23.22
27	15.50	16.46	17.57	19.47	21.09	21.84	22.41
28	15.29	15.77	16.48	18.11	19.99	21.04	21.92
29	14.34	14.78	15.42	16.92	18.66	19.62	20.44
30	13.92	14.25	14.73	15.87	17.18	17.91	18.53
31	13.55	13.82	14.21	15.12	16.17	16.75	17.24
32	12.94	13.36	13.84	14.68	15.39	15.72	15.97
33	12.74	13.09	13.49	14.18	14.76	15.03	15.24
34	12.38	12.72	13.13	13.95	14.37	14.61	14.82
35	12.22	12.54	12.89	13.53	14.06	14.23	14.38
36	12.16	12.44	12.75	13.29	13.75	13.96	14.13

Hauteurs exprimées en mètres dans le système NG.

Figure C-3.1.2



MOULESSIMOU**P.K. 807**

Longitude : 12°21'23" W

Latitude : 14°50'00" N

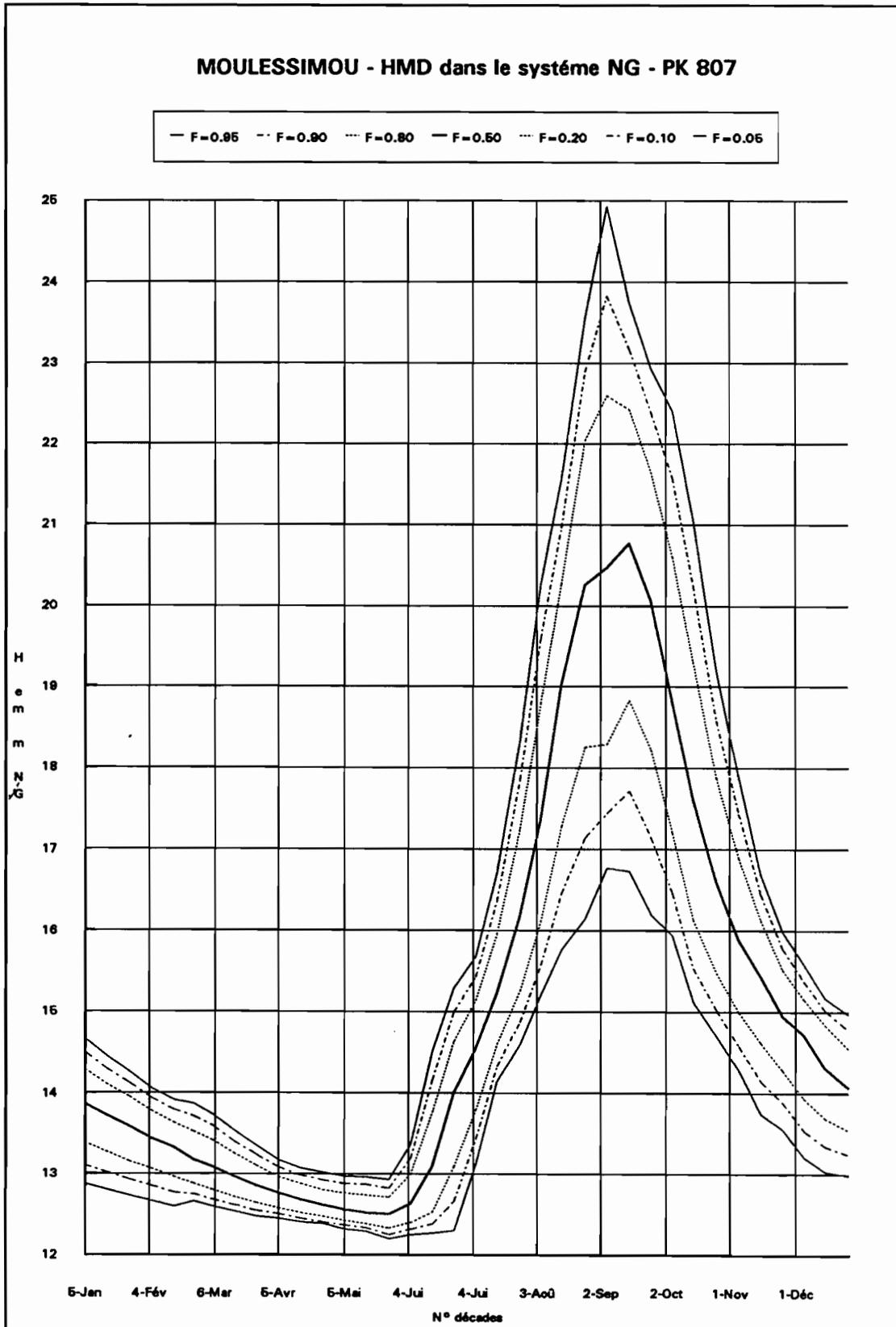
Hauteurs Moyennes Décadaires en fonction de la fréquence de dépassement

Tableau C-3.1.3

N° Décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80	F=0.50	F=0.20	F=0.10	F=0.05
1	12.87	13.10	13.38	13.86	14.29	14.50	14.66
2	12.81	13.02	13.27	13.72	14.11	14.30	14.46
3	12.73	12.93	13.15	13.58	13.95	14.12	14.26
4	12.67	12.85	13.06	13.44	13.78	13.94	14.06
5	12.60	12.77	12.96	13.32	13.63	13.79	13.91
6	12.66	12.75	12.88	13.17	13.52	13.71	13.87
7	12.60	12.68	12.80	13.08	13.41	13.59	13.73
8	12.54	12.62	12.72	12.97	13.25	13.40	13.54
9	12.48	12.55	12.64	12.85	13.10	13.23	13.35
10	12.45	12.51	12.58	12.76	12.96	13.08	13.17
11	12.41	12.45	12.52	12.68	12.88	12.98	13.07
12	12.39	12.41	12.48	12.62	12.80	12.92	13.02
13	12.32	12.37	12.43	12.56	12.76	12.88	12.97
14	12.29	12.34	12.39	12.52	12.74	12.87	12.96
15	12.20	12.25	12.33	12.50	12.71	12.82	12.93
16	12.25	12.32	12.40	12.63	12.99	13.19	13.36
17	12.27	12.38	12.53	13.09	13.76	14.16	14.51
18	12.30	12.66	13.09	14.00	14.64	14.99	15.29
19	13.12	13.43	13.79	14.55	15.14	15.43	15.68
20	14.15	14.33	14.60	15.23	15.95	16.36	16.70
21	14.60	14.87	15.26	16.18	17.25	17.85	18.34
22	15.21	15.58	16.11	17.36	18.79	19.59	20.26
23	15.77	16.46	17.28	19.02	20.27	20.96	21.56
24	16.15	17.14	18.26	20.26	22.04	22.89	23.55
25	16.77	17.44	18.29	20.47	22.59	23.83	24.93
26	16.73	17.71	18.83	20.77	22.42	23.17	23.75
27	16.20	17.14	18.22	20.07	21.65	22.38	22.93
28	15.94	16.46	17.20	18.81	20.60	21.58	22.40
29	15.12	15.54	16.14	17.61	19.31	20.25	21.07
30	14.70	15.02	15.48	16.60	17.87	18.58	19.20
31	14.29	14.58	14.99	15.89	16.89	17.43	17.88
32	13.74	14.15	14.62	15.44	16.13	16.45	16.69
33	13.55	13.89	14.28	14.95	15.52	15.78	15.99
34	13.21	13.54	13.94	14.72	15.15	15.38	15.59
35	13.03	13.34	13.69	14.32	14.84	15.02	15.17
36	12.98	13.24	13.54	14.07	14.55	14.78	14.97

Hauteurs exprimées en mètres dans le système NG.

Figure C-3.1.3



GOLMIKARE**P.K. 816**

Longitude : 12°17'33" W

Latitude : 14°47'23" N

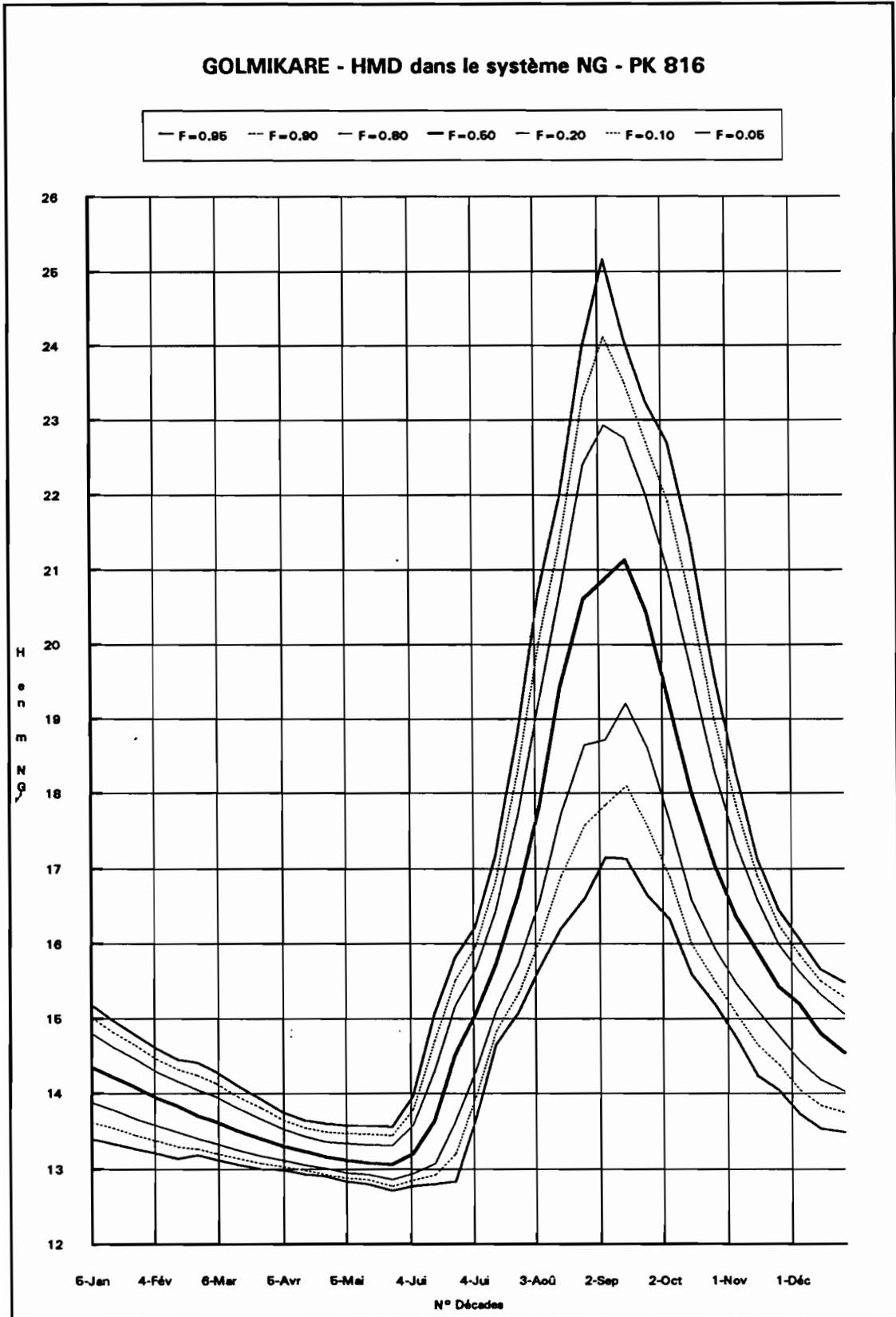
Hauteurs Moyennes Décadaires en fonction de la fréquence de dépassement

Tableau C-3.1.4

N° Décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80	F=0.50	F=0.20	F=0.10	F=0.05
1	13.39	13.61	13.88	14.35	14.80	15.01	15.18
2	13.33	13.54	13.78	14.22	14.62	14.82	14.98
3	13.26	13.44	13.66	14.08	14.46	14.64	14.78
4	13.20	13.37	13.57	13.94	14.29	14.46	14.60
5	13.13	13.29	13.48	13.83	14.16	14.32	14.45
6	13.18	13.26	13.40	13.70	14.05	14.24	14.41
7	13.12	13.20	13.33	13.62	13.95	14.13	14.29
8	13.06	13.14	13.25	13.50	13.80	13.96	14.10
9	13.00	13.07	13.17	13.39	13.65	13.80	13.92
10	12.98	13.03	13.11	13.30	13.52	13.64	13.74
11	12.93	12.98	13.05	13.23	13.43	13.54	13.64
12	12.90	12.93	13.01	13.16	13.36	13.49	13.60
13	12.83	12.88	12.95	13.11	13.34	13.47	13.57
14	12.80	12.86	12.93	13.08	13.32	13.46	13.57
15	12.71	12.77	12.86	13.06	13.31	13.44	13.55
16	12.77	12.85	12.94	13.20	13.58	13.78	13.96
17	12.80	12.92	13.07	13.64	14.31	14.70	15.05
18	12.83	13.20	13.63	14.52	15.17	15.51	15.81
19	13.65	13.95	14.30	15.05	15.66	15.96	16.22
20	14.65	14.83	15.10	15.72	16.43	16.83	17.17
21	15.08	15.34	15.74	16.65	17.72	18.31	18.80
22	15.68	16.05	16.57	17.81	19.23	20.02	20.88
23	16.21	16.90	17.72	19.44	20.69	21.36	21.95
24	16.60	17.57	18.65	20.61	22.41	23.29	23.98
25	17.15	17.85	18.72	20.87	22.93	24.12	25.16
26	17.13	18.10	19.21	21.13	22.76	23.50	24.08
27	16.64	17.56	18.62	20.44	21.99	22.71	23.25
28	16.33	16.89	17.64	19.24	20.98	21.92	22.70
29	15.60	16.00	16.58	18.04	19.70	20.64	21.45
30	15.18	15.49	15.93	17.05	18.29	19.00	19.61
31	14.74	15.05	15.46	16.36	17.33	17.84	18.28
32	14.23	14.64	15.10	15.90	16.58	16.90	17.14
33	14.04	14.38	14.76	15.43	15.99	16.25	16.45
34	13.72	14.04	14.43	15.19	15.62	15.85	16.06
35	13.53	13.84	14.18	14.80	15.32	15.50	15.66
36	13.48	13.74	14.03	14.54	15.05	15.28	15.48

Hauteurs exprimées en mètres dans le système NG.

Figure C-3.1.4



DIOROUBOUGOU

P.K. 823

Latitude : 14°45'07" W

Longitude : 12°14'07" N

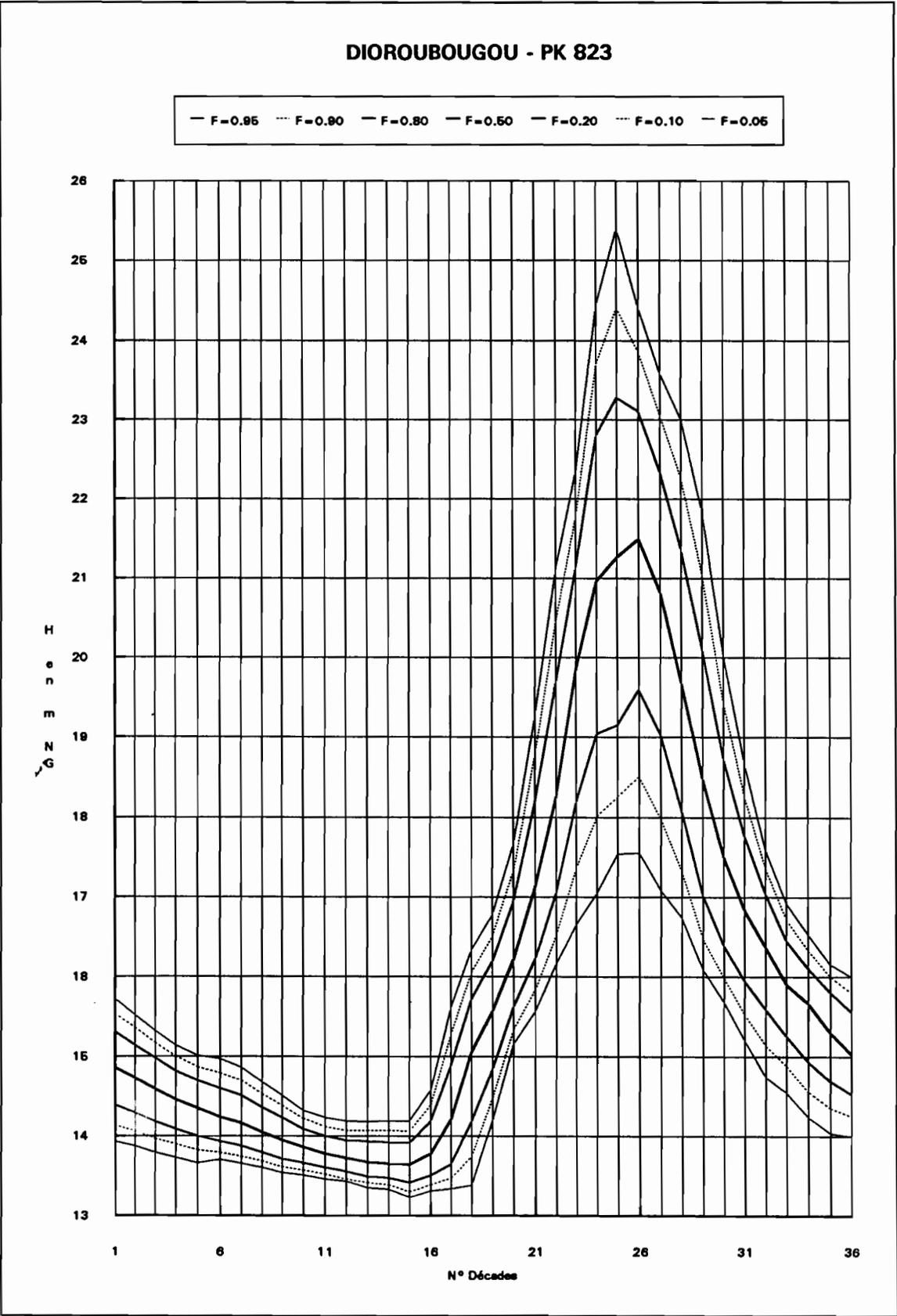
Hauteurs Moyennes Décadaires en fonction de la fréquence de dépassement

Tableau C-3.1.5

N° Décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80	F=0.50	F=0.20	F=0.10	F=0.05
1	13.93	14.13	14.39	14.86	15.31	15.53	15.72
2	13.87	14.06	14.29	14.73	15.14	15.36	15.52
3	13.79	13.97	14.18	14.59	14.98	15.17	15.32
4	13.73	13.90	14.09	14.46	14.82	15.00	15.14
5	13.66	13.82	14.00	14.35	14.70	14.87	15.01
6	13.70	13.79	13.93	14.24	14.60	14.79	14.97
7	13.65	13.74	13.87	14.16	14.51	14.70	14.86
8	13.60	13.68	13.79	14.05	14.36	14.53	14.68
9	13.54	13.61	13.71	13.95	14.23	14.38	14.51
10	13.51	13.57	13.66	13.86	14.09	14.22	14.32
11	13.46	13.52	13.60	13.78	14.00	14.12	14.23
12	13.43	13.46	13.55	13.72	13.94	14.07	14.19
13	13.35	13.41	13.49	13.67	13.93	14.07	14.18
14	13.33	13.39	13.47	13.65	13.92	14.07	14.19
15	13.23	13.30	13.41	13.64	13.91	14.06	14.19
16	13.31	13.39	13.50	13.78	14.18	14.39	14.58
17	13.34	13.47	13.64	14.21	14.88	15.27	15.61
18	13.38	13.74	14.18	15.06	15.71	16.05	16.34
19	14.20	14.48	14.83	15.57	16.19	16.51	16.78
20	15.16	15.34	15.61	16.22	16.93	17.32	17.66
21	15.57	15.83	16.22	17.13	18.19	18.78	19.27
22	16.17	16.53	17.05	18.27	19.68	20.46	21.12
23	16.66	17.36	18.18	19.86	21.11	21.77	22.34
24	17.05	18.01	19.04	20.97	22.80	23.71	24.43
25	17.54	18.26	19.15	21.27	23.28	24.41	25.40
26	17.55	18.51	19.60	21.50	23.11	23.85	24.41
27	17.08	17.98	19.03	20.82	22.34	23.05	23.58
28	16.74	17.32	18.09	19.68	21.37	22.26	23.00
29	16.09	16.48	17.03	18.48	20.11	21.04	21.84
30	15.68	15.98	16.40	17.50	18.73	19.42	20.03
31	15.20	15.53	15.95	16.84	17.78	18.27	18.68
32	14.74	15.14	15.59	16.38	17.05	17.36	17.59
33	14.55	14.88	15.26	15.91	16.46	16.72	16.92
34	14.24	14.56	14.94	15.67	16.11	16.34	16.54
35	14.04	14.35	14.69	15.30	15.81	16.00	16.16
36	14.00	14.25	14.53	15.03	15.56	15.80	16.00

Hauteurs exprimées en mètres dans le système NG.

Figure C-3.1.5



AMBIDEDI**P.K. 880**

Longitude : 11°47'27" W

Latitude : 14°35'22" N

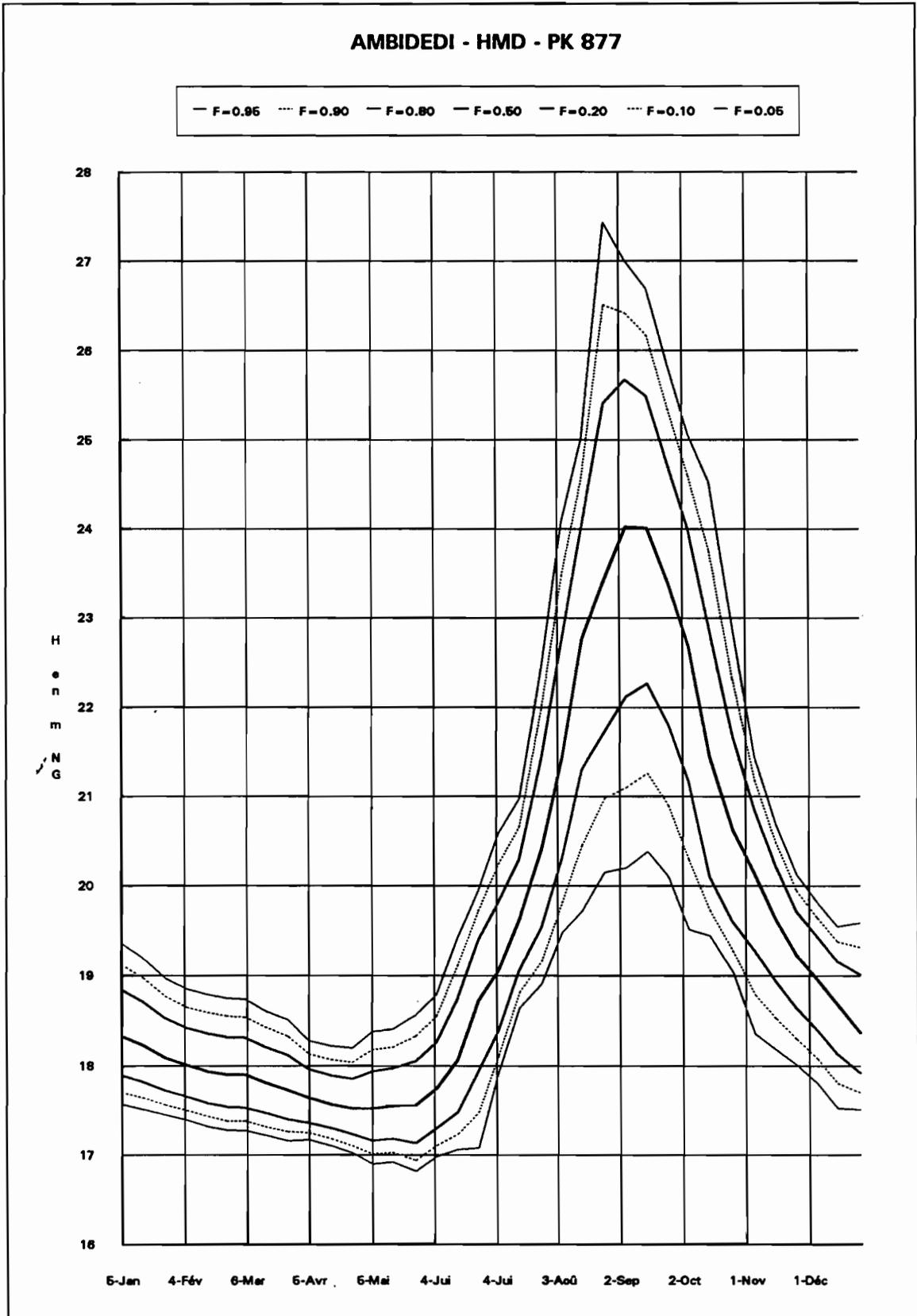
Hauteurs Moyennes Décadaires en fonction de la fréquence de dépassement

Tableau C-3.1.6

N° Décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80	F=0.50	F=0.20	F=0.10	F=0.05
1	12.02	12.27	12.56	13.05	13.47	13.66	13.81
2	11.96	12.19	12.45	12.90	13.28	13.46	13.60
3	11.88	12.09	12.33	12.76	13.12	13.28	13.41
4	11.82	12.01	12.23	12.61	12.94	13.09	13.20
5	11.75	11.93	12.13	12.48	12.78	12.92	13.03
6	11.83	11.91	12.04	12.32	12.65	12.83	12.99
7	11.76	11.83	11.95	12.21	12.52	12.69	12.83
8	11.70	11.77	11.86	12.09	12.35	12.49	12.62
9	11.64	11.70	11.78	11.97	12.19	12.31	12.42
10	11.60	11.65	11.72	11.88	12.06	12.17	12.25
11	11.56	11.60	11.66	11.80	11.97	12.06	12.14
12	11.55	11.56	11.62	11.73	11.89	12.00	12.09
13	11.49	11.53	11.57	11.66	11.83	11.92	11.99
14	11.45	11.49	11.53	11.61	11.80	11.90	11.98
15	11.36	11.40	11.46	11.59	11.75	11.83	11.91
16	11.39	11.45	11.51	11.71	12.04	12.22	12.38
17	11.40	11.50	11.63	12.19	12.86	13.26	13.62
18	11.44	11.79	12.21	13.14	13.78	14.13	14.45
19	12.25	12.58	12.96	13.74	14.29	14.56	14.79
20	13.34	13.52	13.80	14.44	15.17	15.58	15.93
21	13.82	14.09	14.49	15.42	16.50	17.10	17.60
22	14.44	14.81	15.35	16.62	18.08	18.89	19.57
23	15.06	15.74	16.55	18.35	19.60	20.31	20.94
24	15.43	16.45	17.64	19.69	21.43	22.24	22.85
25	16.15	16.78	17.60	19.83	22.03	23.36	24.56
26	16.07	17.07	18.21	20.18	21.86	22.63	23.22
27	15.50	16.46	17.57	19.47	21.09	21.84	22.41
28	15.29	15.77	16.48	18.11	19.99	21.04	21.92
29	14.34	14.78	15.42	16.92	18.66	19.62	20.44
30	13.92	14.25	14.73	15.87	17.18	17.91	18.53
31	13.55	13.82	14.21	15.12	16.17	16.75	17.24
32	12.94	13.36	13.84	14.68	15.39	15.72	15.97
33	12.74	13.09	13.49	14.18	14.76	15.03	15.24
34	12.38	12.72	13.13	13.95	14.37	14.61	14.82
35	12.22	12.54	12.89	13.53	14.06	14.23	14.38
36	12.16	12.44	12.75	13.29	13.75	13.96	14.13

Hauteurs exprimées en mètres dans le système NG.

Figure C-3.1.6



TAMBOUKANE

P.K. 897

Longitude : 11°38'06" W

Latitude : 14°34'14" N

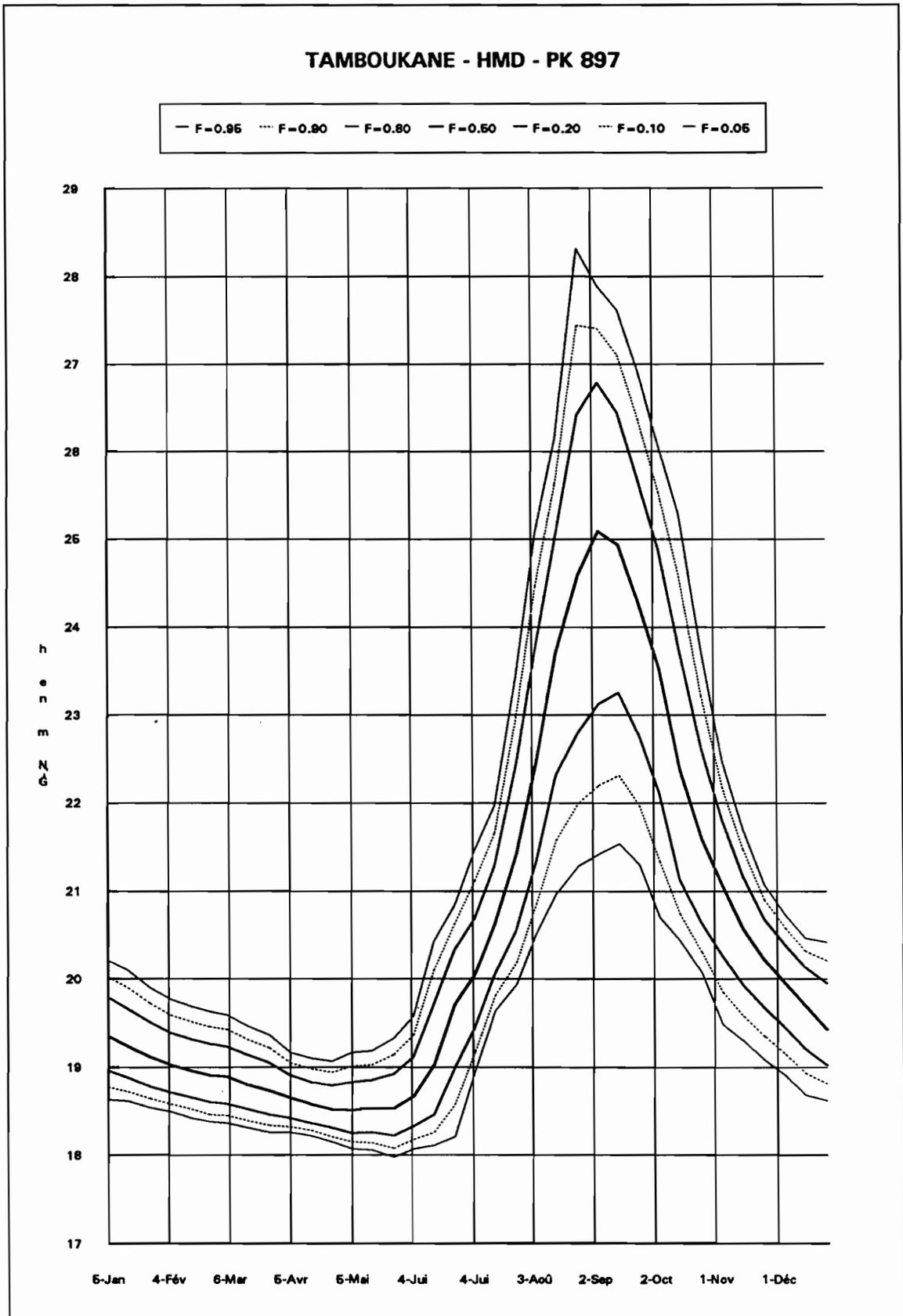
Hauteurs Moyennes Décadaires en fonction de la fréquence de dépassement

Tableau C-3.1.7

N° Décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80	F=0.50	F=0.20	F=0.10	F=0.05
1	18.63	18.77	18.96	19.36	19.79	20.02	20.21
2	18.61	18.72	18.88	19.24	19.66	19.90	20.10
3	18.54	18.64	18.78	19.12	19.51	19.72	19.90
4	18.49	18.58	18.71	19.03	19.39	19.59	19.77
5	18.42	18.52	18.65	18.96	19.32	19.52	19.69
6	18.38	18.46	18.60	18.91	19.27	19.46	19.63
7	18.36	18.45	18.58	18.89	19.23	19.43	19.59
8	18.31	18.39	18.52	18.80	19.14	19.32	19.47
9	18.26	18.34	18.46	18.73	19.05	19.22	19.37
10	18.26	18.32	18.42	18.65	18.91	19.05	19.17
11	18.22	18.28	18.36	18.58	18.83	18.98	19.10
12	18.15	18.21	18.31	18.52	18.79	18.94	19.07
13	18.07	18.15	18.25	18.51	18.83	19.01	19.17
14	18.06	18.14	18.26	18.53	18.85	19.03	19.19
15	17.98	18.08	18.22	18.53	18.92	19.14	19.33
16	18.07	18.18	18.33	18.67	19.12	19.37	19.58
17	18.11	18.26	18.46	19.03	19.71	20.10	20.43
18	18.21	18.57	18.99	19.71	20.33	20.62	20.83
19	18.96	19.18	19.46	20.06	20.69	21.12	21.47
20	19.64	19.81	20.06	20.63	21.29	21.66	21.97
21	19.94	20.19	20.56	21.42	22.42	22.97	23.44
22	20.52	20.85	21.33	22.45	23.75	24.47	25.07
23	20.97	21.58	22.32	23.70	25.00	25.63	26.15
24	21.29	22.00	22.80	24.59	26.42	27.44	28.32
25	21.42	22.20	23.12	25.09	26.78	27.41	27.90
26	21.54	22.31	23.25	24.94	26.44	27.10	27.62
27	21.30	21.97	22.77	24.27	25.67	26.37	26.92
28	20.70	21.34	22.11	23.53	24.88	25.54	26.07
29	20.44	20.74	21.13	22.39	23.76	24.58	25.29
30	20.07	20.31	20.64	21.60	22.62	23.22	23.74
31	19.49	19.85	20.27	21.07	21.81	22.18	22.48
32	19.30	19.58	19.93	20.57	21.17	21.47	21.70
33	19.08	19.35	19.67	20.22	20.68	20.90	21.07
34	18.90	19.15	19.45	19.95	20.39	20.58	20.73
35	18.68	18.93	19.21	19.70	20.13	20.32	20.47
36	18.62	18.81	19.02	19.43	19.95	20.21	20.42

Hauteurs exprimées en mètres dans le système NG.

Figure C-3.1.7



SABE FARA**P.K. 905**

Longitude : 11°35'53" W

Latitude : 14°30'33" N

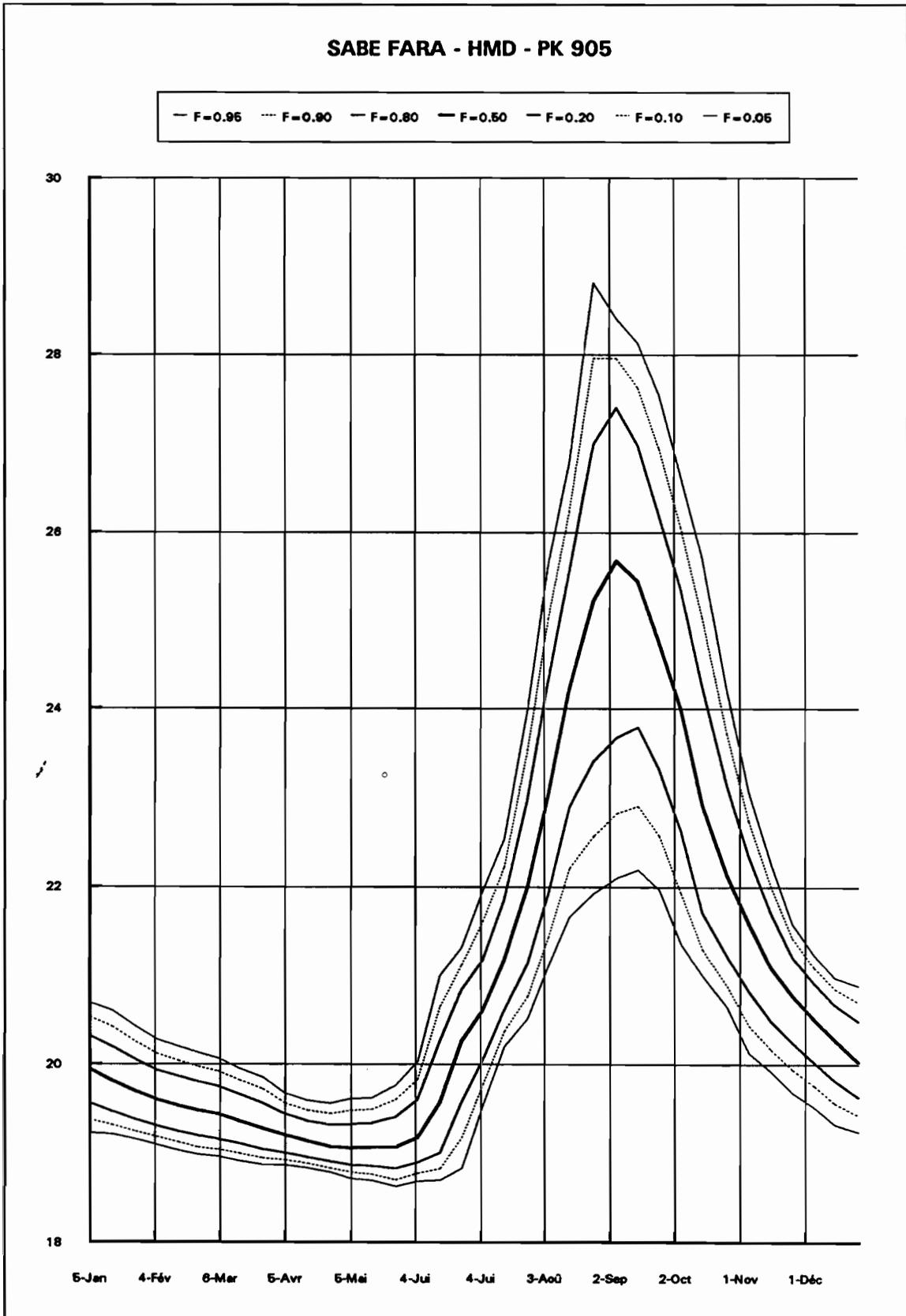
Hauteurs Moyennes Décadaires en fonction de la fréquence de dépassement

Tableau C-3.1.8

N° Décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80	F=0.50	F=0.20	F=0.10	F=0.05
1	19.23	19.38	19.56	19.94	20.32	20.53	20.69
2	19.22	19.32	19.47	19.81	20.20	20.42	20.60
3	19.16	19.25	19.38	19.69	20.05	20.25	20.42
4	19.10	19.19	19.31	19.60	19.93	20.12	20.28
5	19.04	19.13	19.25	19.53	19.86	20.04	20.20
6	18.99	19.07	19.20	19.48	19.80	19.97	20.13
7	18.97	19.05	19.16	19.44	19.75	19.92	20.07
8	18.92	19.00	19.11	19.36	19.66	19.82	19.95
9	18.88	18.95	19.05	19.28	19.56	19.72	19.85
10	18.87	18.93	19.01	19.21	19.44	19.56	19.67
11	18.84	18.89	18.96	19.14	19.36	19.48	19.59
12	18.79	18.84	18.91	19.08	19.32	19.45	19.56
13	18.72	18.79	18.87	19.06	19.33	19.48	19.61
14	18.70	18.77	18.86	19.07	19.34	19.49	19.62
15	18.63	18.71	18.83	19.07	19.41	19.60	19.76
16	18.69	18.78	18.90	19.18	19.60	19.83	20.03
17	18.70	18.83	19.01	19.57	20.26	20.65	21.00
18	18.84	19.18	19.58	20.26	20.84	21.12	21.32
19	19.54	19.77	20.05	20.61	21.18	21.61	21.96
20	20.20	20.37	20.61	21.18	21.85	22.22	22.53
21	20.51	20.76	21.13	21.99	22.97	23.53	23.99
22	21.11	21.43	21.91	23.02	24.31	25.02	25.63
23	21.66	22.21	22.89	24.23	25.55	26.23	26.78
24	21.93	22.57	23.41	25.23	26.99	27.96	28.81
25	22.10	22.82	23.67	25.68	27.40	27.96	28.40
26	22.19	22.90	23.79	25.45	26.98	27.62	28.13
27	21.97	22.57	23.31	24.76	26.20	26.94	27.54
28	21.36	21.93	22.63	24.00	25.37	26.06	26.63
29	21.00	21.30	21.71	22.92	24.26	25.04	25.72
30	20.65	20.89	21.23	22.14	23.14	23.72	24.22
31	20.13	20.44	20.83	21.60	22.35	22.74	23.06
32	19.92	20.17	20.49	21.10	21.71	22.01	22.27
33	19.68	19.94	20.25	20.78	21.22	21.43	21.59
34	19.52	19.76	20.03	20.51	20.92	21.10	21.24
35	19.33	19.56	19.82	20.28	20.67	20.85	20.98
36	19.25	19.43	19.63	20.03	20.48	20.70	20.89

Hauteurs exprimées en mètres dans le système NG.

Figure C-3.1.8



STATION 11

P.K. 905

Longitude : 11°31'40" W

Latitude : 14°29'15" N

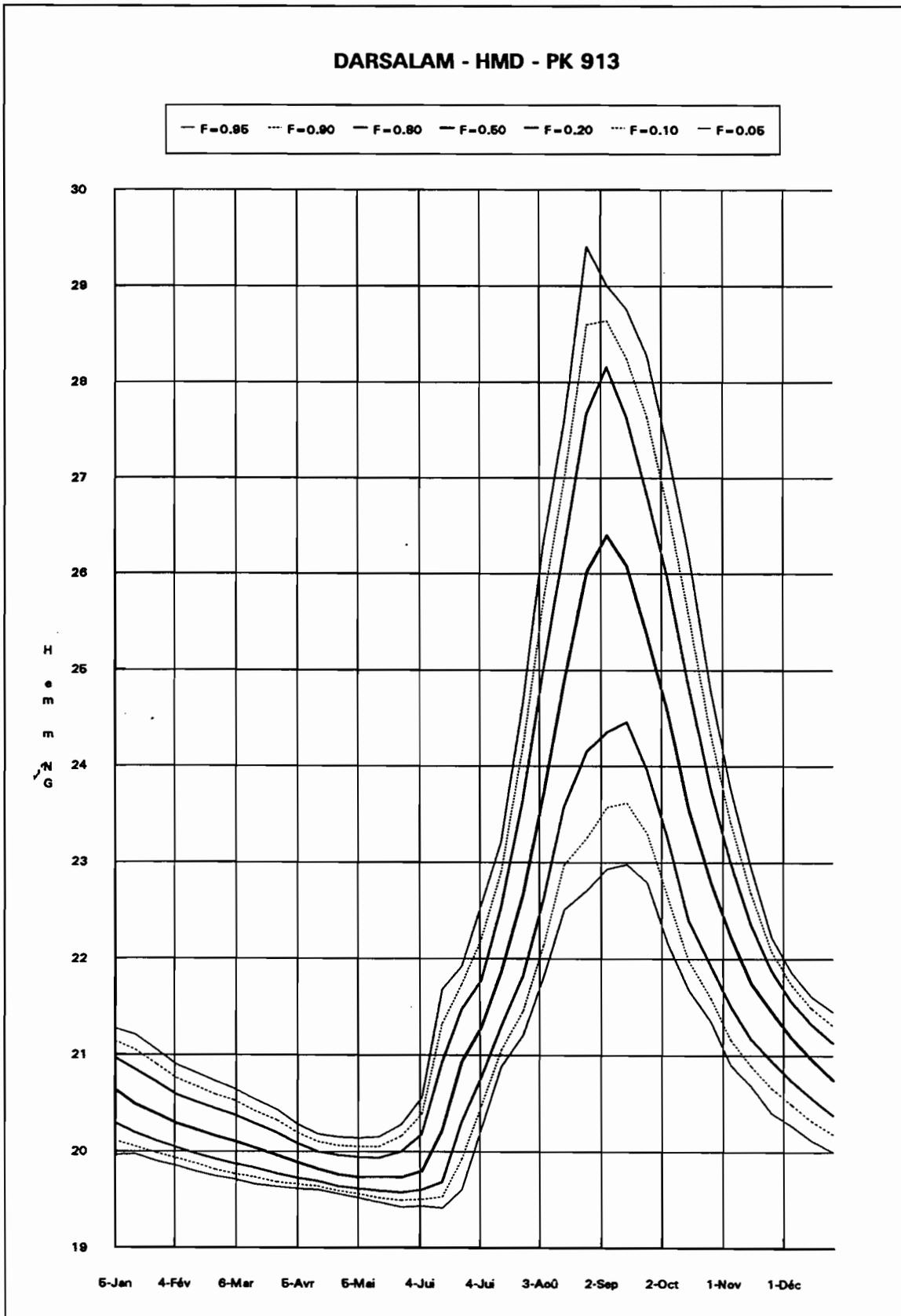
Hauteurs Moyennes Décadaires en fonction de la fréquence de dépassement

Tableau C-3.1.9

N° Décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80	F=0.50	F=0.20	F=0.10	F=0.05
1	19.96	20.11	20.29	20.64	20.97	21.14	21.27
2	19.97	20.05	20.19	20.49	20.85	21.05	21.21
3	19.90	19.98	20.11	20.39	20.72	20.90	21.05
4	19.85	19.93	20.04	20.29	20.59	20.76	20.90
5	19.79	19.87	19.97	20.22	20.51	20.67	20.81
6	19.74	19.81	19.92	20.16	20.44	20.59	20.73
7	19.71	19.77	19.87	20.11	20.38	20.53	20.65
8	19.66	19.73	19.83	20.04	20.29	20.42	20.54
9	19.63	19.68	19.77	19.96	20.19	20.32	20.43
10	19.61	19.66	19.72	19.89	20.08	20.19	20.28
11	19.60	19.64	19.69	19.82	20.00	20.10	20.18
12	19.56	19.59	19.64	19.76	19.96	20.06	20.15
13	19.52	19.56	19.61	19.73	19.94	20.05	20.14
14	19.47	19.52	19.59	19.74	19.93	20.05	20.15
15	19.42	19.49	19.57	19.73	20.00	20.16	20.28
16	19.43	19.50	19.60	19.80	20.18	20.39	20.56
17	19.41	19.53	19.68	20.22	20.92	21.33	21.68
18	19.60	19.92	20.30	20.93	21.47	21.73	21.92
19	20.24	20.48	20.77	21.29	21.77	22.21	22.56
20	20.88	21.05	21.29	21.86	22.53	22.90	23.21
21	21.21	21.46	21.82	22.67	23.65	24.21	24.67
22	21.81	22.14	22.61	23.71	24.99	25.70	26.31
23	22.51	22.97	23.58	24.87	26.23	26.96	27.56
24	22.71	23.26	24.15	26.02	27.67	28.60	29.41
25	22.93	23.57	24.35	26.40	28.16	28.64	29.01
26	22.98	23.62	24.46	26.08	27.63	28.25	28.76
27	22.79	23.30	23.96	25.36	26.84	27.63	28.28
28	22.16	22.64	23.26	24.57	25.96	26.70	27.31
29	21.68	21.98	22.41	23.57	24.86	25.60	26.24
30	21.35	21.59	21.93	22.80	23.77	24.33	24.80
31	20.90	21.16	21.51	22.24	23.01	23.42	23.77
32	20.68	20.89	21.17	21.75	22.36	22.68	22.95
33	20.40	20.66	20.95	21.46	21.88	22.08	22.23
34	20.27	20.49	20.74	21.19	21.56	21.73	21.86
35	20.12	20.32	20.56	20.97	21.33	21.49	21.61
36	20.00	20.18	20.38	20.75	21.13	21.31	21.45

Hauteurs exprimées en mètres dans le système NG.

Figure C-3.1.9



DIALEBOUGOU

P.K. 920

Longitude : 11°28'20" W

Latitude : 14°27'37" N

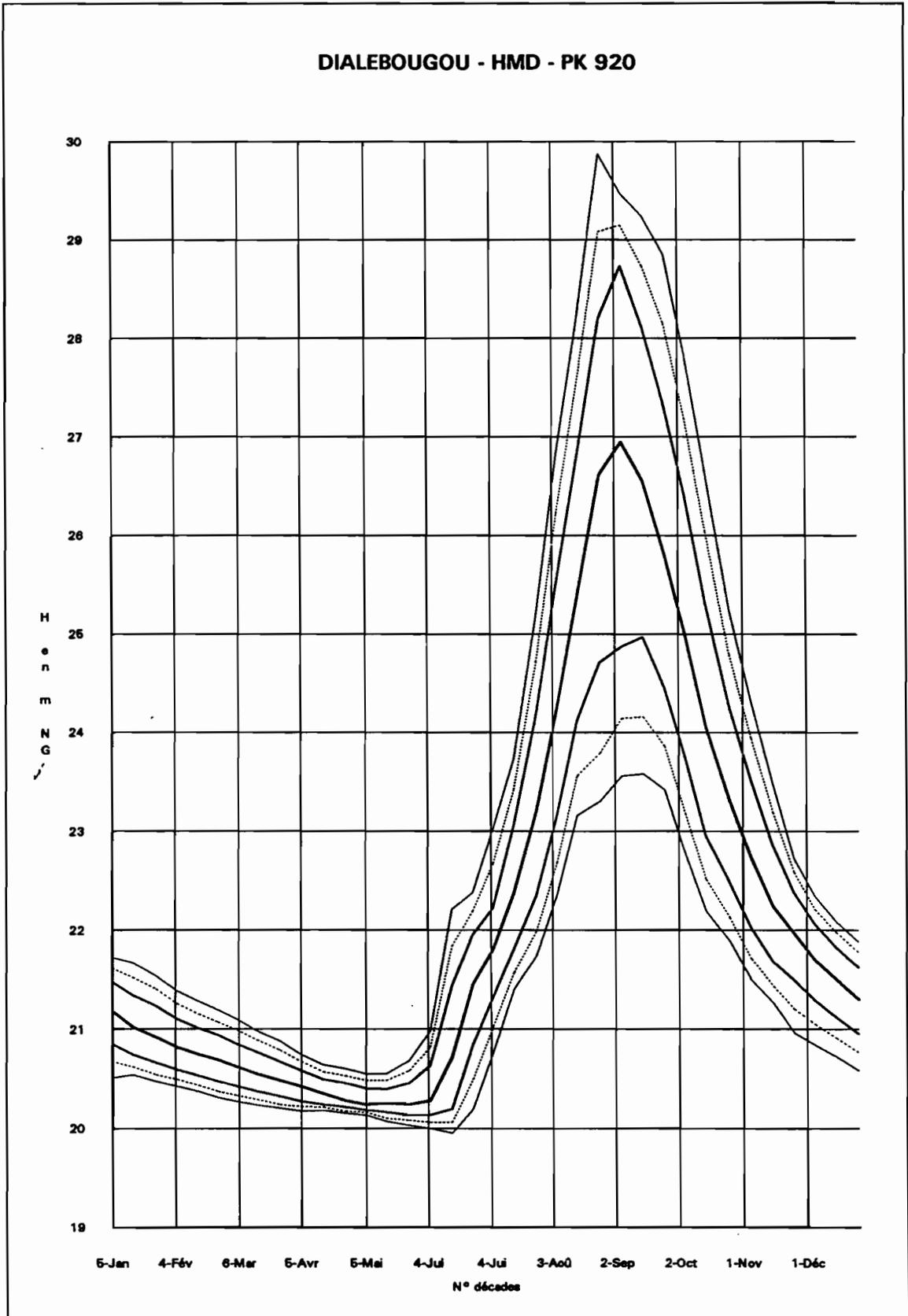
Hauteurs Moyennes Décadaires en fonction de la fréquence de dépassement

Tableau C-3.1.10

N° Décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80	F=0.50	F=0.20	F=0.10	F=0.05
1	20.51	20.67	20.85	21.18	21.47	21.61	21.72
2	20.54	20.62	20.74	21.02	21.34	21.52	21.67
3	20.47	20.54	20.66	20.92	21.23	21.40	21.53
4	20.42	20.49	20.59	20.82	21.10	21.25	21.38
5	20.37	20.43	20.53	20.75	21.01	21.15	21.28
6	20.31	20.37	20.47	20.69	20.94	21.07	21.19
7	20.27	20.33	20.42	20.62	20.85	20.99	21.10
8	20.23	20.29	20.37	20.55	20.77	20.89	20.98
9	20.20	20.24	20.32	20.48	20.67	20.79	20.88
10	20.17	20.22	20.27	20.42	20.58	20.67	20.74
11	20.18	20.21	20.24	20.35	20.49	20.57	20.64
12	20.15	20.17	20.21	20.28	20.45	20.53	20.60
13	20.13	20.16	20.18	20.24	20.40	20.48	20.55
14	20.07	20.10	20.16	20.25	20.39	20.48	20.55
15	20.03	20.08	20.13	20.24	20.45	20.58	20.68
16	20.00	20.06	20.13	20.28	20.63	20.82	20.98
17	19.95	20.06	20.19	20.72	21.43	21.84	22.21
18	20.19	20.49	20.84	21.45	21.95	22.19	22.38
19	20.77	21.03	21.32	21.81	22.22	22.67	23.02
20	21.40	21.57	21.81	22.38	23.05	23.42	23.73
21	21.74	21.99	22.35	23.20	24.17	24.72	25.18
22	22.36	22.68	23.15	24.24	25.52	26.22	26.82
23	23.16	23.56	24.11	25.36	26.75	27.51	28.15
24	23.30	23.79	24.71	26.62	28.20	29.08	29.87
25	23.56	24.14	24.87	26.95	28.73	29.15	29.47
26	23.58	24.16	24.97	26.56	28.12	28.73	29.24
27	23.42	23.86	24.46	25.82	27.33	28.15	28.85
28	22.77	23.18	23.75	25.01	26.42	27.19	27.84
29	22.19	22.51	22.95	24.06	25.32	26.04	26.64
30	21.89	22.13	22.48	23.31	24.26	24.79	25.25
31	21.49	21.71	22.02	22.73	23.51	23.94	24.31
32	21.26	21.43	21.68	22.24	22.85	23.19	23.47
33	20.96	21.20	21.49	21.97	22.38	22.58	22.72
34	20.84	21.05	21.29	21.70	22.06	22.21	22.34
35	20.72	20.91	21.12	21.50	21.83	21.98	22.09
36	20.58	20.76	20.95	21.30	21.62	21.77	21.88

Hauteurs exprimées en mètres dans le système NG.

Figure C-3.1.10



KAYES

P.K. 924

Longitude : 11°26'40" W

Latitude : 14°27'04" N

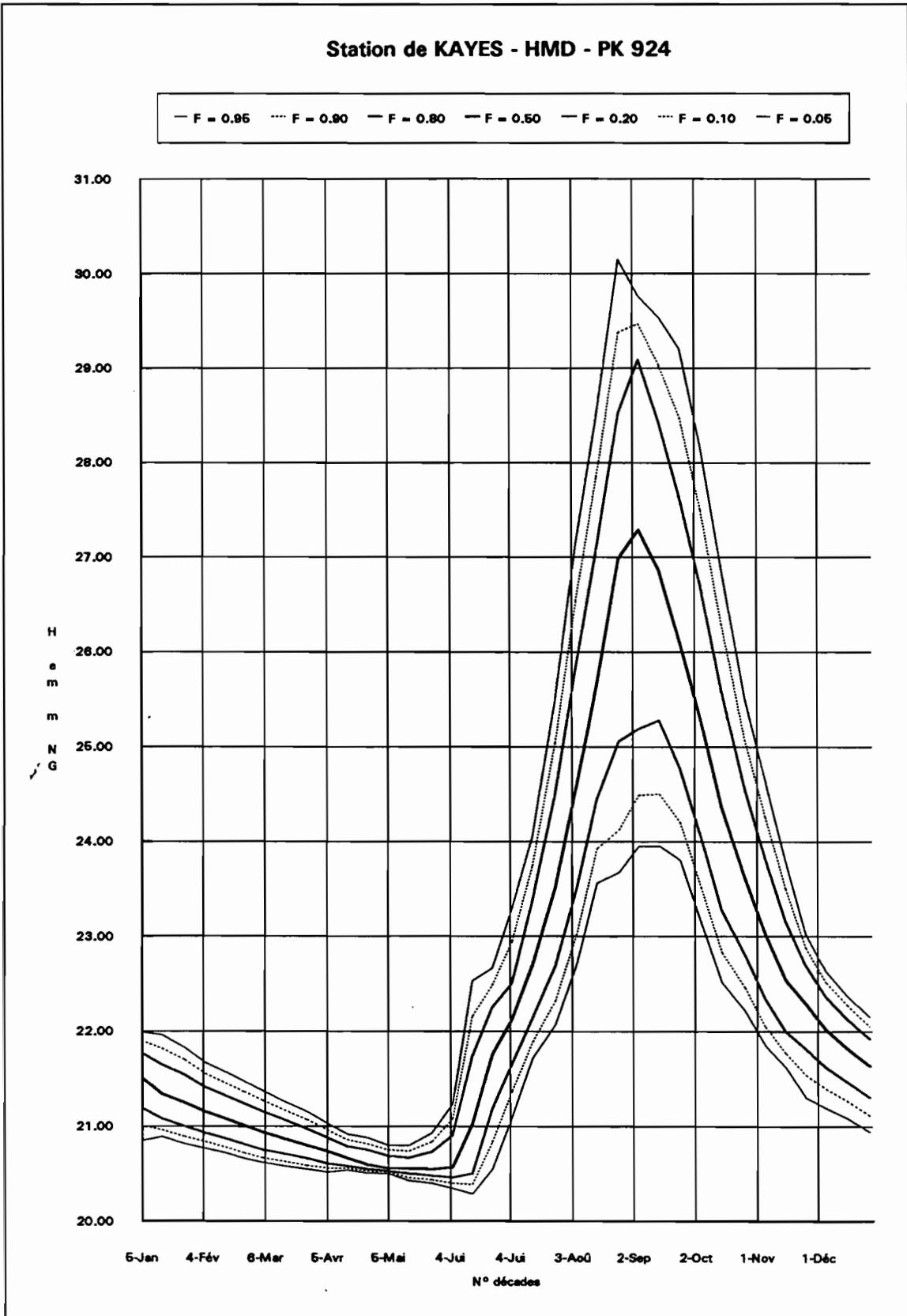
Hauteurs Moyennes Décadaires en fonction de la fréquence de dépassement

Tableau C-3.1.11

A	B	C	D	E	F	G	H
N° Décade	F = 0.95	F = 0.90	F = 0.80	F = 0.50	F = 0.20	F = 0.10	F = 0.05
5-Jan	20.85	21.01	21.19	21.51	21.77	21.90	21.99
15-Jan	20.89	20.96	21.08	21.34	21.65	21.82	21.96
26-Jan	20.82	20.89	21.00	21.25	21.54	21.70	21.83
5-Fév	20.77	20.84	20.93	21.15	21.41	21.55	21.67
15-Fév	20.72	20.78	20.87	21.08	21.32	21.45	21.57
24-Fév	20.66	20.72	20.81	21.01	21.24	21.36	21.47
5-Mar	20.62	20.67	20.75	20.94	21.15	21.27	21.37
15-Mar	20.58	20.63	20.71	20.87	21.07	21.17	21.26
26-Mar	20.55	20.59	20.66	20.80	20.97	21.07	21.15
5-Avr	20.52	20.56	20.61	20.74	20.88	20.96	21.03
15-Avr	20.54	20.56	20.58	20.67	20.79	20.86	20.92
25-Avr	20.51	20.53	20.55	20.60	20.75	20.82	20.88
5-Mai	20.50	20.52	20.53	20.56	20.69	20.75	20.80
15-Mai	20.43	20.46	20.50	20.56	20.67	20.74	20.80
26-Mai	20.40	20.44	20.48	20.55	20.73	20.84	20.93
5-Jui	20.35	20.40	20.46	20.57	20.90	21.08	21.23
15-Jui	20.29	20.39	20.50	21.03	21.74	22.16	22.53
25-Jui	20.55	20.84	21.18	21.76	22.25	22.48	22.66
5-Jui	21.10	21.37	21.66	22.13	22.50	22.95	23.30
15-Jui	21.72	21.89	22.13	22.70	23.37	23.74	24.05
26-Jui	22.07	22.32	22.68	23.52	24.49	25.04	25.50
5-Aoû	22.69	23.01	23.48	24.57	25.84	26.54	27.14
15-Aoû	23.56	23.92	24.44	25.66	27.07	27.85	28.51
26-Aoû	23.67	24.12	25.06	26.99	28.52	29.38	30.15
5-Sep	23.95	24.49	25.19	27.29	29.09	29.47	29.76
15-Sep	23.95	24.50	25.28	26.86	28.43	29.03	29.54
25-Sep	23.80	24.20	24.77	26.10	27.63	28.48	29.20
5-Oct	23.15	23.52	24.05	25.28	26.70	27.49	28.16
15-Oct	22.51	22.83	23.28	24.36	25.60	26.30	26.88
26-Oct	22.22	22.46	22.81	23.62	24.56	25.08	25.52
5-Nov	21.85	22.05	22.34	23.03	23.82	24.26	24.64
15-Nov	21.62	21.77	22.00	22.54	23.16	23.50	23.79
25-Nov	21.30	21.54	21.82	22.29	22.69	22.88	23.02
5-Déc	21.19	21.39	21.62	22.02	22.36	22.51	22.63
15-Déc	21.09	21.27	21.47	21.83	22.14	22.28	22.38
26-Déc	20.94	21.11	21.30	21.64	21.92	22.05	22.15

Hauteurs exprimées en mètres dans le système NG.

Figure C-3.1.11



NAHE (FALEME)

P.K. 879

Longitude : 12°11'39" W

Latitude : 14°25'20" N

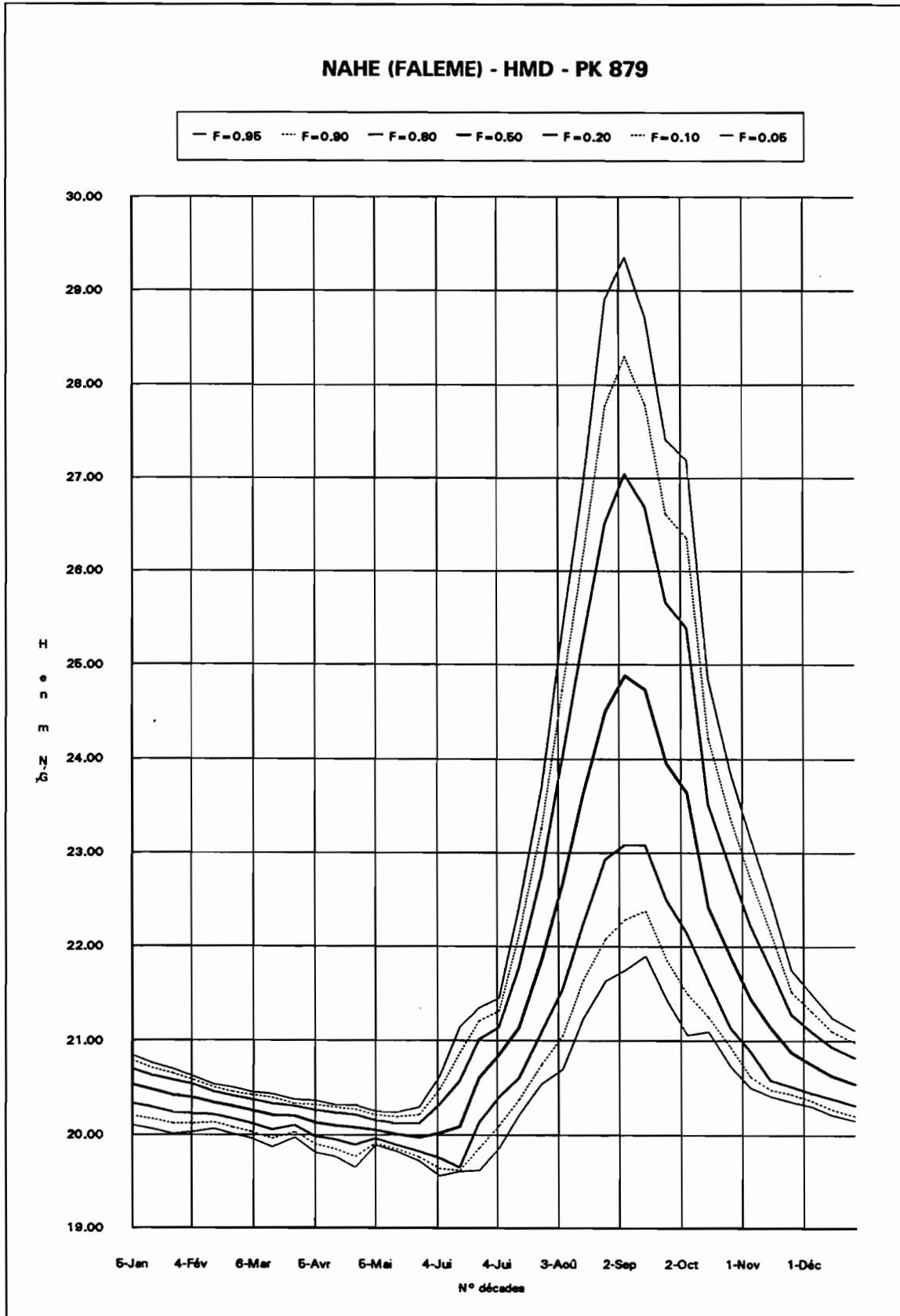
Hauteurs Moyennes Décadaires en fonction de la fréquence de dépassement

Tableau C-3.1.12

A	B	C	D	E	F	G	H
N° Décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80	F=0.50	F=0.20	F=0.10	F=0.05
1	20.10	20.20	20.33	20.53	20.70	20.79	20.84
2	20.06	20.17	20.29	20.48	20.63	20.71	20.76
3	20.01	20.12	20.24	20.42	20.58	20.65	20.70
4	20.03	20.12	20.22	20.39	20.53	20.58	20.62
5	20.06	20.13	20.21	20.34	20.45	20.50	20.53
6	20.01	20.08	20.17	20.30	20.41	20.45	20.50
7	19.96	20.03	20.12	20.26	20.37	20.42	20.45
8	19.87	19.96	20.05	20.21	20.33	20.39	20.43
9	19.97	20.03	20.10	20.20	20.30	20.33	20.37
10	19.81	19.90	19.98	20.13	20.26	20.32	20.36
11	19.77	19.85	19.95	20.10	20.23	20.29	20.32
12	19.65	19.77	19.89	20.08	20.21	20.27	20.31
13	19.89	19.91	19.96	20.05	20.15	20.21	20.25
14	19.82	19.85	19.89	20.01	20.12	20.19	20.24
15	19.72	19.76	19.82	19.97	20.12	20.21	20.29
16	19.56	19.64	19.75	20.02	20.32	20.48	20.62
17	19.61	19.62	19.65	20.09	20.57	20.87	21.14
18	19.62	19.86	20.13	20.61	21.01	21.21	21.35
19	19.86	20.10	20.40	20.85	21.14	21.31	21.45
20	20.21	20.37	20.60	21.14	21.77	22.12	22.41
21	20.54	20.75	21.09	21.86	22.76	23.26	23.69
22	20.70	21.05	21.54	22.67	24.00	24.73	25.35
23	21.23	21.64	22.23	23.62	25.23	26.12	26.87
24	21.63	22.08	22.93	24.51	26.51	27.77	28.90
25	21.75	22.29	23.09	24.89	27.04	28.30	29.36
26	21.90	22.38	23.08	24.74	26.69	27.79	28.72
27	21.44	21.86	22.50	23.96	25.67	26.61	27.41
28	21.06	21.50	22.14	23.64	25.39	26.36	27.19
29	21.10	21.25	21.64	22.42	23.52	24.22	24.86
30	20.73	20.93	21.14	21.90	22.84	23.38	23.86
31	20.50	20.62	20.89	21.45	22.23	22.73	23.17
32	20.41	20.48	20.58	21.14	21.77	22.15	22.51
33	20.35	20.43	20.51	20.88	21.28	21.52	21.75
34	20.30	20.36	20.44	20.75	21.10	21.31	21.50
35	20.21	20.27	20.38	20.63	20.93	21.10	21.24
36	20.15	20.20	20.31	20.54	20.82	20.98	21.11

Hauteurs exprimées en mètres dans le système NG.

Figure C-3.1.12



3.2.2. CRUES ARTIFICIELLES (Gestion de la retenue de Manantali) - HAUTEURS MOYENNES DECAIRES DANS LE SYSTEME NG (Nivellement Général)

3.2.2.1. Etude du bief aval confluence FALEME - SENEGAL

Les calculs sont basés sur les matrices de HMD de la première partie du présent rapport.

Pour les stations situées dans le bief Ambidédi-Bakel, soit Moulessimou, Golmikare et Dioroubougou. Les correspondances de hauteurs sont établies à partir des HMD de Bakel et des stations en utilisant la fréquence 0.50, soit la période de retour 2 ans.

Le tableau C-3.2.1.1 contient ces correspondances et les régressions qui en résultent.

Le tableau C-3.2.1.2 présentent l'extension de la crue GIBB "A" (qui doit permettre d'irriguer 50000 ha en culture de décrue) aux stations amont : Moulessimou, Golmikare et Dioroubougou. Cette extension a été réalisée à l'aide des régressions établies à partir du tableau C-3.2.1.1

Les tableaux C-3.2.1.3 et C-3.2.1.4 contiennent les extensions des crues GIBB "B" et "C" (irrigation en mode décrue de 75 000 et 100 000 ha).

Les courbes jointes montrent l'évolution de ces crues artificielles en fonction des mêmes périodes de retour que précédemment, du 1er juillet au 31 décembre.

A noter que les débits de la Falémé sont pris en compte dans cette gestion.

A l'amont de la confluence avec la Falémé, le mode de gestion de Manantali qui tient compte des débits de la Falémé transmis en temps réel nous oblige à déduire les débits non contrôlés pour connaître la forme de la crue artificielle au niveau de Kayes et d'Ambidédi.

3.2.2. Etude du bief amont confluence FALEME - SENEGAL

Nous considérerons dans ce qui suit que les temps de propagation de la crue entre Araoundou et Bakel peuvent être négligés au niveau des Hauteurs Moyennes Décadaires.

Nous raisonnons à partir des Débits Moyens Décadaires de Kayes et de Kidira correspondant à la fréquence 0.50 soit la période de retour 2 ans.

Le tableau C-3.2.2.1 contient les QMD de fréquence 0.50 de Bakel, Kidira et Kayes. Une correspondance est établie entre la différence Bakel-Kidira et Kayes. Les régressions en crue et décrue sont portées dans ce tableau, la figure C-3.2.2.1 montre ces correspondances.

3.2.2.1. Extension de la crue GIBB "A" au niveau de KAYES

Nous ne transférons que la crue "A" au niveau de Kayes car il est peu probable que les autres crues aient à être transférées, le mode de gestion dit de "Crue Artificielle" devant être très certainement abandonné ou du moins très réduit d'ici l'horizon 1996. Le facteur limitant le développement de la vallée étant l'eau. Il semble peu probable que l'on puisse effectuer des lâchures permettant de créer des crues de $8.5 \text{ à } 10 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

De même nous ne développons les calculs qu'en fonction des périodes de retour 2, 5 et 10 ans de la Falémé (faibles : $F = 0.95 - 0.90$ et 0.80). Au-delà de ces fréquences, il conviendrait de faire intervenir les débits du Bakoye qui sont indépendants de la gestion et qui ne présentent pas d'homogénéité statistique avec ceux de la Falémé. Il faudrait donc envisager un grand nombre de possibilités. dans le cas présent nous ne faisons que l'examen de HMD et QMD "GARANTIS" au niveau des stations.

Le tableau C-3.2.2.2 contient les variations des QMD de Kayes en gestion de la crue GIBB "A". Ceci pour les périodes de retour mentionnées ci-dessus. En raison de la progression des débits de la Falémé avec la fréquence, les débits de crue artificielle sont de plus en plus faibles, les débits correspondant de Bakel étant fixes (uniquement fonction des contraintes aval).

Le tableau C-3.2.2.3 contient les HMD correspondant aux QMD du tableau précédent. L'étalonnage de la station de Kayes a été utilisé pour cette transformation. Les HMD sont exprimées en mètre dans le système NG.

Des correspondances entre HMD ($F=0.50$) de Kayes de Tamboukane et Dialebougou ont été établies, elles ont été calculées à partir des tableau de HMD en régime naturel.

Pour Tamboukane et Sabe Fara, les plus éloignées de Kayes, deux systèmes de régressions sont utilisées, dans le cas de Darsalam et Dialebougou, relativement proches de Kayes, une seule régression est établie pour chaque station. Le tableau C-3.2.2.4 contient ces régressions.

Les quatre figures suivantes (C-3.2.2.4.1 à C-3.2.2.4.4) montrent ces régressions.

Les tableaux C-3.2.2.5 et C-3.2.2.6 contiennent les matrices de HMD dans le système NG. Ces HMD sont donc établies au niveau du fleuve au droit des stations 9(Tamboukane) à 12 (Dialebougou).

CORRESPONDANCES ENTRE HAUTEURS A BAKEL ET AUX STATIONS 6A - 6B ET 6C

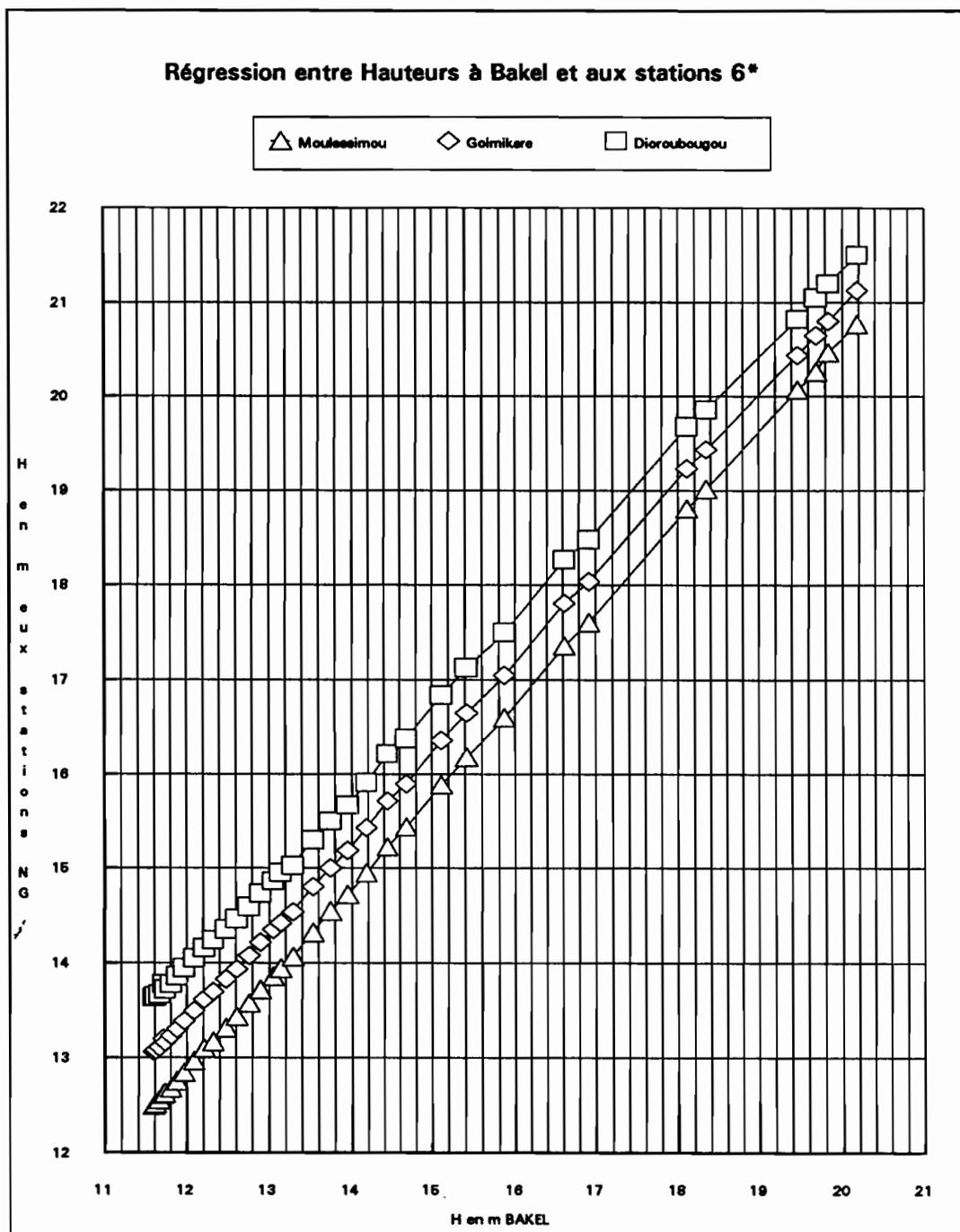
6A = MOULESSIMOU (Long. 12°21'23" W - Lat. 14°50'00" N)
 6B = GOLMIKARE (Long. 12°17'33" W - Lat. 14°47'23" N)
 6C = DIOROUBOUGOU (Long. 12°14'07" W - Lat. 14°45'07" N)

Tableau C-3-2.1.1

BKLO50	6A	6B	6C
11.59	12.5	13.06	13.64
11.61	12.52	13.08	13.65
11.66	12.56	13.11	13.67
11.71	12.62	13.2	13.78
11.73	12.63	13.16	13.72
11.8	12.68	13.23	13.78
11.88	12.76	13.3	13.86
11.97	12.85	13.39	13.95
12.09	12.97	13.5	14.05
12.21	13.1	13.62	14.16
12.32	13.17	13.7	14.24
12.48	13.32	13.83	14.35
12.61	13.44	13.94	14.46
12.76	13.58	14.08	14.59
12.9	13.72	14.22	14.73
13.05	13.86	14.35	14.86
13.14	13.95	14.42	14.95
13.29	14.07	14.54	15.03
13.53	14.32	14.8	15.3
13.74	14.55	15	15.5
13.95	14.72	15.19	15.67
14.18	14.95	15.43	15.91
14.44	15.23	15.72	16.22
14.68	15.44	15.9	16.38
15.12	15.89	16.36	16.84
15.42	16.18	16.65	17.13
15.87	16.6	17.05	17.5
16.62	17.36	17.81	18.27
16.92	17.61	18.04	18.48
18.11	18.81	19.24	19.68
18.35	19.02	19.44	19.86
19.47	20.07	20.44	20.82
19.69	20.26	20.65	21.05
19.83	20.47	20.8	21.2
20.18	20.77	21.13	21.5

Valeurs exprimées en mètre dans le système NG.

Figure C-3.2.1.1



6A = MOULESSIMOU (Long. 12°21'23" W - Lat. 14°50'00" N)
6B = GOLMIKARE (Long. 12°17'33" W - Lat. 14°47'23" N)
6C = DIOROUBOUGOU (Long. 12°14'07" W - Lat. 14°45'07" N)

CRUE "A" GIBB (IRRIGATION 50 000 Ha)

6A = MOULESSIMOU (Long. 12°21'23" W - Lat. 14°50'00" N)

6B = GOLMIKARE (Long. 12°17'33" W - Lat. 14°47'23" N)

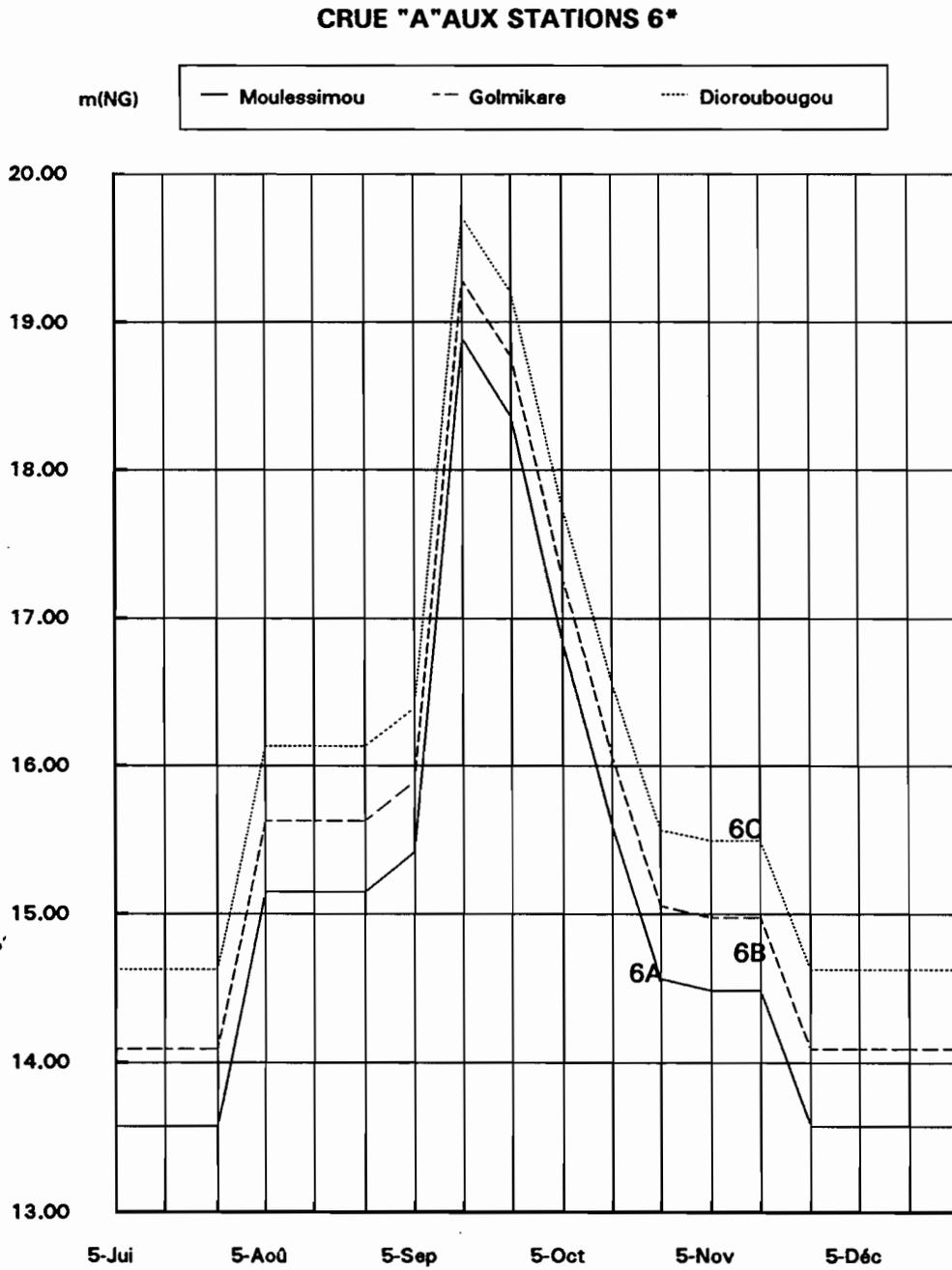
6C = DIOROUBOUGOU (Long. 12°14'07" W - Lat. 14°45'07" N)

Tableau C-3.2.1.2

J décade	D BKL "A"	H BKL "A"	Moulessimou	Golmikare	Dioroubougou
5-Jan	100	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Jan	100	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Jan	100	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Fév	100	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Fév	100	12.73	13.58	14.09	14.63
24-Fév	100	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Mar	100	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Mar	100	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Mar	100	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Avr	100	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Avr	100	12.73	13.58	14.09	14.63
25-Avr	100	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Mai	100	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Mai	100	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Mai	100	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Jui	100	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Jui	100	12.73	13.58	14.09	14.63
25-Jui	100	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Jui	100	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Jui	100	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Jui	100	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Aoû	500	14.36	15.15	15.63	16.13
15-Aoû	500	14.36	15.15	15.63	16.13
26-Aoû	500	14.36	15.15	15.63	16.13
5-Sep	589	14.64	15.42	15.89	16.39
15-Sep	2263	18.23	18.89	19.29	19.71
25-Sep	1963	17.68	18.36	18.77	19.20
5-Oct	1186	16.10	16.83	17.27	17.74
15-Oct	648	14.82	15.80	16.06	16.56
26-Oct	323	13.75	14.56	15.05	15.57
5-Nov	300	13.67	14.49	14.98	15.49
15-Nov	300	13.67	14.49	14.98	15.49
25-Nov	100	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Déc	100	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Déc	100	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Déc	100	12.73	13.58	14.09	14.63

Hauteurs en mètre dans le système NG.

Figure C-3.2.1.2



6A = MOULESSIMOU (Long. 12°21'23" W - Lat. 14°50'00" N)
6B = GOLMIKARE (Long. 12°17'33" W - Lat. 14°47'23" N)
6C = DIOROUBOUGOU (Long. 12°14'07" W - Lat. 14°45'07" N)

STATIONS 6A - 6B et 6C - CRUE "B" GIBB (IRRIGATION 75 000 Ha)

6A = MOULESSIMOU (Long. 12°21'23" W - Lat. 14°50'00" N)

6B = GOLMIKARE (Long. 12°17'33" W - Lat. 14°47'23" N)

6C = DIOROUBOUGOU (Long. 12°14'07" W - Lat. 14°45'07" N)

Tableau C-3.2.1.3

J décade	H BKL "B"	S6A "B"	S6B "B"	S6C "B"
5-Jan	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Jan	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Jan	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Fév	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Fév	12.73	13.58	14.09	14.63
24-Fév	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Mar	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Mar	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Mar	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Avr	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Avr	12.73	13.58	14.09	14.63
25-Avr	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Mai	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Mai	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Mai	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Jui	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Jui	12.73	13.58	14.09	14.63
25-Jui	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Jui	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Jui	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Jui	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Aoû	14.36	15.15	15.63	16.13
15-Aoû	14.36	15.15	15.63	16.13
26-Aoû	14.36	15.15	15.63	16.13
5-Sep	15.66	16.41	16.86	17.34
15-Sep	18.68	19.32	19.71	20.13
25-Sep	18.08	18.75	19.15	19.57
5-Oct	16.46	17.18	17.61	18.08
15-Oct	15.16	15.92	16.39	16.87
26-Oct	13.92	14.73	15.21	15.73
5-Nov	13.67	14.49	14.98	15.49
15-Nov	13.67	14.49	14.98	15.49
25-Nov	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Déc	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Déc	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Déc	12.73	13.58	14.09	14.63

Hauteurs en mètre dans le système NG.

STATIONS 6A - 6B et 6C - CRUE "C" GIBB (IRRIGATION 100 000 Ha)

6A = MOULESSIMOU (Long. 12°21'23" W - Lat. 14°50'00" N)

6B = GOLMIKARE (Long. 12°17'33" W - Lat. 14°47'23" N)

6C = DIOROUBOUGOU (Long. 12°14'07" W - Lat. 14°45'07" N)

Tableau C-3.2.1.4

J décade	H BKL "C"	S6A "C"	S6B "C"	S6C "C"
5-Jan	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Jan	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Jan	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Fév	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Fév	12.73	13.58	14.09	14.63
24-Fév	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Mar	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Mar	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Mar	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Avr	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Avr	12.73	13.58	14.09	14.63
25-Avr	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Mai	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Mai	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Mai	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Jui	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Jui	12.73	13.58	14.09	14.63
25-Jui	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Jui	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Jui	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Jui	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Aoû	14.36	15.15	15.63	16.13
15-Aoû	14.36	15.15	15.63	16.13
26-Aoû	14.36	15.15	15.63	16.13
5-Sep	16.21	16.94	17.38	17.84
15-Sep	19.06	19.69	20.07	20.48
25-Sep	18.44	19.09	19.49	19.91
5-Oct	16.75	17.46	17.89	18.34
15-Oct	15.41	16.17	16.62	17.10
26-Oct	14.09	14.89	15.38	15.88
5-Nov	13.67	14.49	14.98	15.49
15-Nov	13.67	14.49	14.98	15.49
25-Nov	12.73	13.58	14.09	14.63
5-Déc	12.73	13.58	14.09	14.63
15-Déc	12.73	13.58	14.09	14.63
26-Déc	12.73	13.58	14.09	14.63

Hauteurs en mètre dans le système NG.

Etablissement de la relation entre débits à BAKEL (-moins Kidira) et débits à KAYES

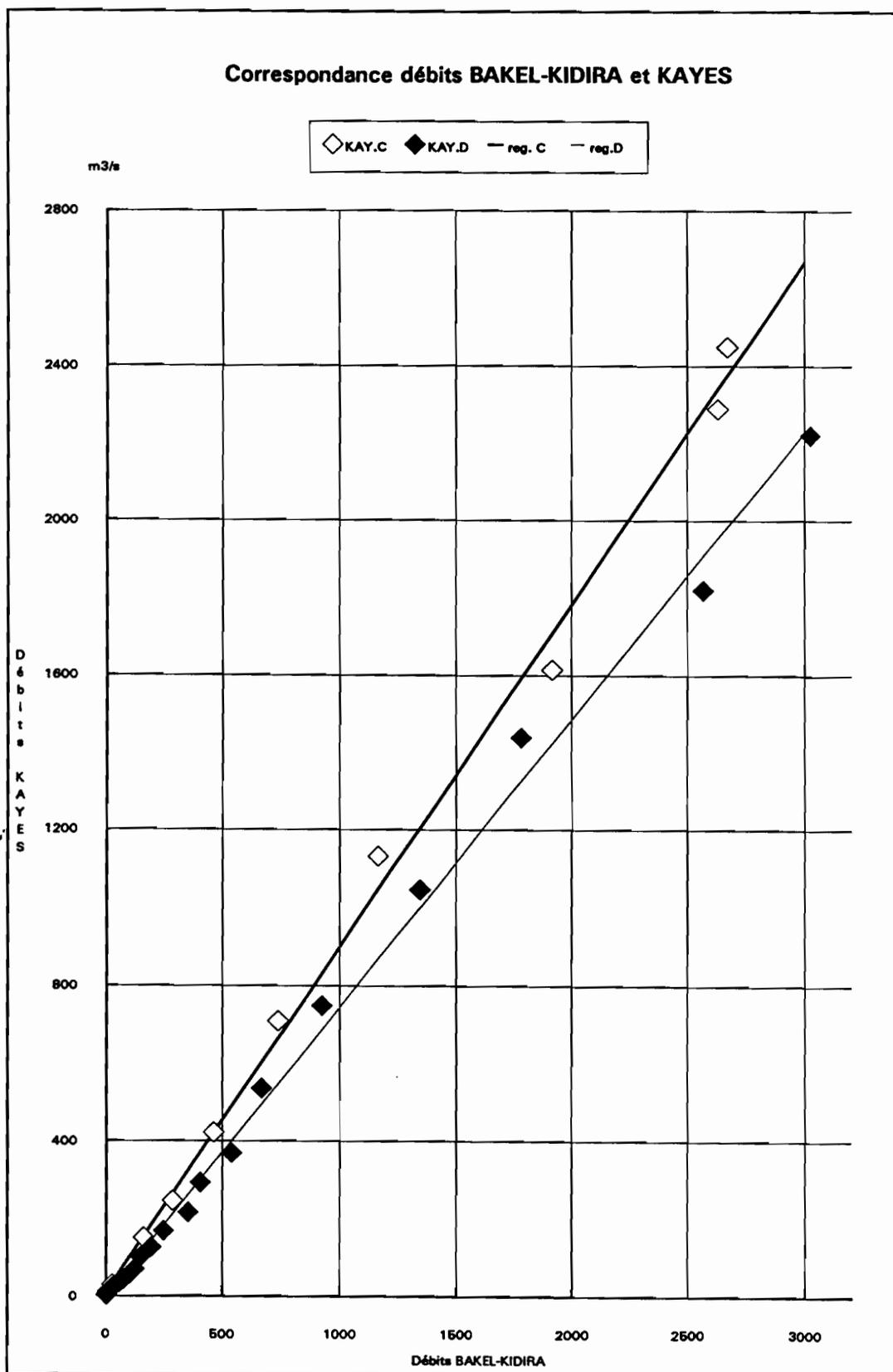
(Calculs effectués à partir des données de la fréquence 0.50)

Tableau C-3.2.2.1

N° Décade	B-KI.5	KAY.5	BK.C	KAY.C	BK.D	KAY.D
5-Jan	145	101	1.19	2.7	3025	2221
15-Jan	121	70	3.26	3.3	2567	1822
26-Jan	97.1	56	26.6	30	1784	1440
5-Fév	73.2	42	159	151	1346	1047
15-Fév	55.7	35	284	246	922	749
24-Fév	36.7	28	462	422	666	536
5-Mar	26	23	735	710	539	369
15-Mar	17.2	18	1169	1132	406	293
26-Mar	10.4	14	1915	1615	352	216
5-Avr	7.83	11	2630	2290	246	168
15-Avr	5.38	7.1	2670	2450	193	126
25-Avr	3.55	4.3			145	101
5-Mai	2.15	3	ac = 0.8854		121	70
15-Mai	1.37	3	bc = 13.53		97.1	56
26-Mai	1.19	2.7		reg. C	73.2	42
5-Jui	3.26	3.3	0	13.5	55.7	35
15-Jui	26.6	30	3000	2670	36.7	28
25-Jui	159	151			26	23
5-Jui	284	246			17.2	18
15-Jui	462	422			10.4	14
26-Jui	735	710			7.83	11
5-Aoû	1169	1132			5.38	7.1
15-Aoû	1915	1615			3.55	4.3
26-Aoû	2630	2290			2.15	3
5-Sep	2670	2450			1.37	3
15-Sep	3025	2221				
25-Sep	2567	1822			ad = 0.7432	
5-Oct	1784	1440			bd = 0.09	
15-Oct	1346	1047				reg.D
26-Oct	922	749			0	0
5-Nov	666	536			3000	2230
15-Nov	539	369				
25-Nov	406	293				
5-Déc	352	216				
15-Déc	246	168				
26-Déc	193	126				

Débits exprimés en m³/s

Figure C-3.2.2.1



Station de KAYES - Gestion de la crue Gibb "A"

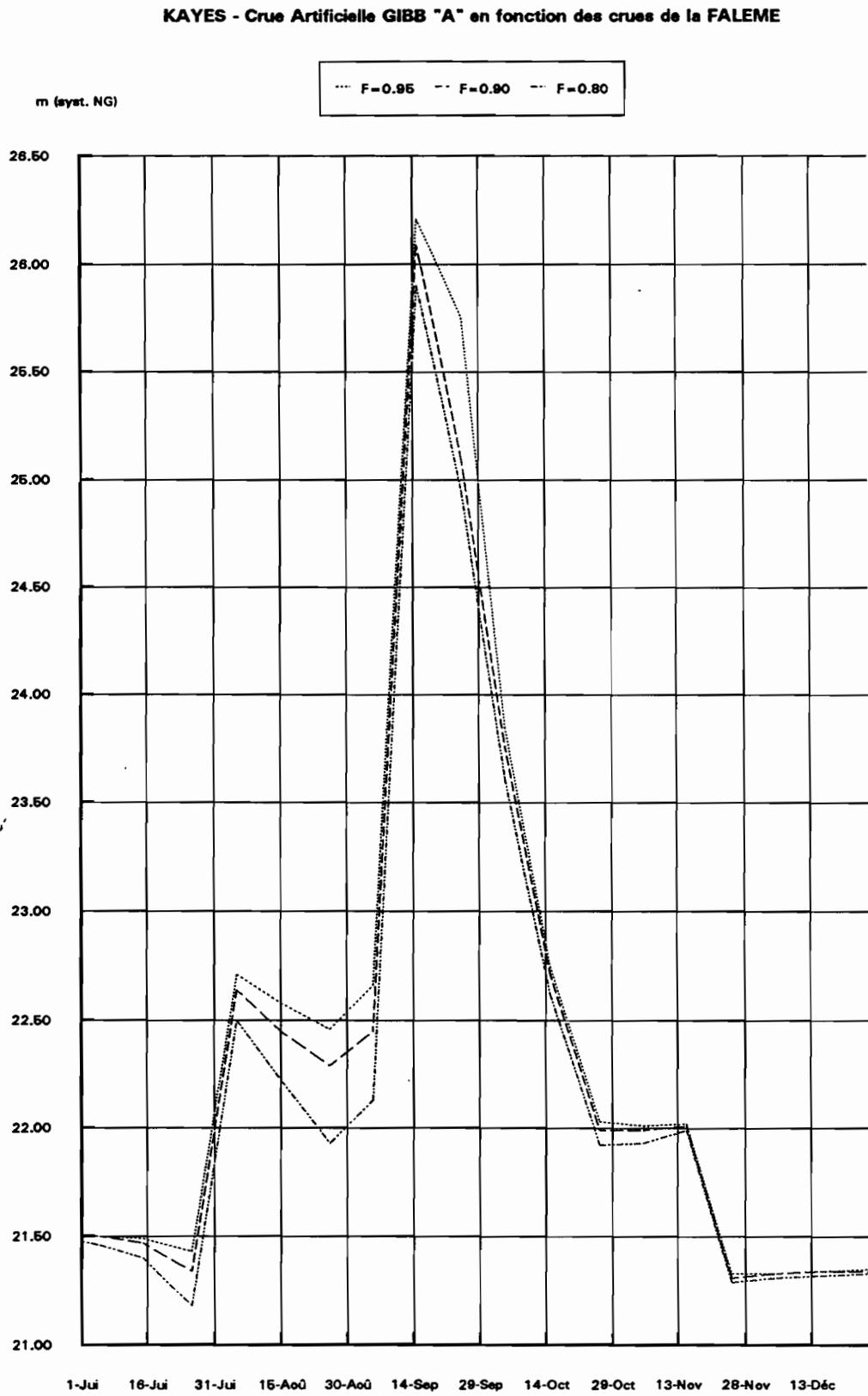
Variation de la hauteur en fonction de la date et de la fréquence de dépassement des crues de la FALEME à KIDIRA

Tableau C-3.2.2.2

J décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80
5-Jan	21.35	21.34	21.33
15-Jan	21.35	21.35	21.34
26-Jan	21.36	21.35	21.34
5-Fév	21.36	21.35	21.34
15-Fév	21.36	21.35	21.34
24-Fév	21.36	21.35	21.35
5-Mar	21.36	21.36	21.35
15-Mar	21.36	21.36	21.36
26-Mar	21.36	21.36	21.35
5-Avr	21.36	21.36	21.36
15-Avr	21.36	21.36	21.36
25-Avr	21.36	21.36	21.36
5-Mai	21.50	21.50	21.50
15-Mai	21.50	21.50	21.50
26-Mai	21.50	21.50	21.50
5-Jui	21.50	21.50	21.50
15-Jui	21.50	21.50	21.50
25-Jui	21.50	21.50	21.50
5-Jui	21.50	21.50	21.46
15-Jui	21.49	21.47	21.40
26-Jui	21.43	21.34	21.18
5-Aoû	22.71	22.64	22.50
15-Aoû	22.58	22.45	22.22
26-Aoû	22.46	22.29	21.93
5-Sep	22.66	22.45	22.13
15-Sep	26.21	26.09	25.90
25-Sep	25.75	25.09	24.94
5-Oct	23.85	23.76	23.61
15-Oct	22.75	22.71	22.62
26-Oct	22.03	21.99	21.92
5-Nov	22.01	21.99	21.93
15-Nov	22.02	22.01	21.99
25-Nov	21.33	21.31	21.29
5-Déc	21.33	21.33	21.31
15-Déc	21.34	21.34	21.32
26-Déc	21.35	21.34	21.33

Hauteurs exprimées en mètre dans le système NG

Figure C-3.2.2.2



Station de KAYES - Gestion de la crue Gibb "A"

Variation des débits en fonction de la date et de la fréquence de dépassement des crues de la Falèmè à KIDIRA

Tableau C-3.2.2.3

N° Décade	F = 0.95	F = 0.90	F = 0.80
5-Jan	72	71	69
15-Jan	72	72	70
26-Jan	73	72	71
5-Fév	73	72	71
15-Fév	73	72	71
24-Fév	73	72	72
5-Mar	73	73	72
15-Mar	73	73	73
26-Mar	73	73	72
5-Avr	73	73	73
15-Avr	73	73	73
25-Avr	73	73	73
5-Mai	99	99	99
15-Mai	99	99	99
26-Mai	99	99	99
5-Jui	99	99	99
15-Jui	99	99	99
25-Jui	99	99	98
5-Jui	99	98	91
15-Jui	96	92	81
26-Jui	85	72	46
5-Aoû	427	402	356
15-Aoû	381	342	271
26-Aoû	345	293	192
5-Sep	409	342	246
15-Sep	1879	1817	1730
25-Sep	1659	1355	1290
5-Oct	842	807	746
15-Oct	440	427	395
26-Oct	219	207	191
5-Nov	213	208	192
15-Nov	216	214	209
25-Nov	68	66	63
5-Déc	69	68	65
15-Déc	71	70	67
26-Déc	72	71	69

Débits exprimés en m³/s

Tableau C-3.2.2.4

**RESULTATS DES ANALYSES DE CORRESPONDANCES ENTRE HAUTEURS A KAYES ET
AUX STATIONS DU BIEF KAYES - AMBIDEDI**

A	B	C	D	E
	REG KAYES			REG KAYES
	CRUE			CRUE
	ac=0.962			ac=0.974
	bc=-1.19			bc=-0.91
	rég. Crue			reg crue
Kayes	S9		Kayes	S10
20	18.05		20	18.57
28	25.75		28	26.36
	DECRUE			DECRUE
	ad=1.042			ad=1.033
	bd=-2.98			bd=-2.23
	rég. Décrue			reg decrue
Kayes	S9		Kayes	S9
20	17.86		20	18.43
28	26.2		28	26.69
	REG. KS11			REG KAY S12
	a=1.002			a=1.001
	b=-0.88			b=-0.33
Kayes	S11		Kayes	S12
20	19.16		20	19.69
28	27.18		28	27.7

Hauteurs exprimées en mètre - Système NG.

S9 = TAMBOUKANE - PK 897 - (Long. 11°38'06" W - Lat. 14°34'14"N)

S10 = SABE FARA - PK 905 - (Long. 11°35'53" W - Lat. 14°30'33"N)

S11 = DARSALAM - PK 913 - (Long. 11°31'40" W - Lat. 14°29'15"N)

S12 = DILEBOUGOU - PK 920 - (Long. 11°28'20" W - Lat. 14°27'37"N)

Figure C-3.2.2.4.1

Correspondance entre hauteurs à Kayes et à Tamboukane en crue et décrue

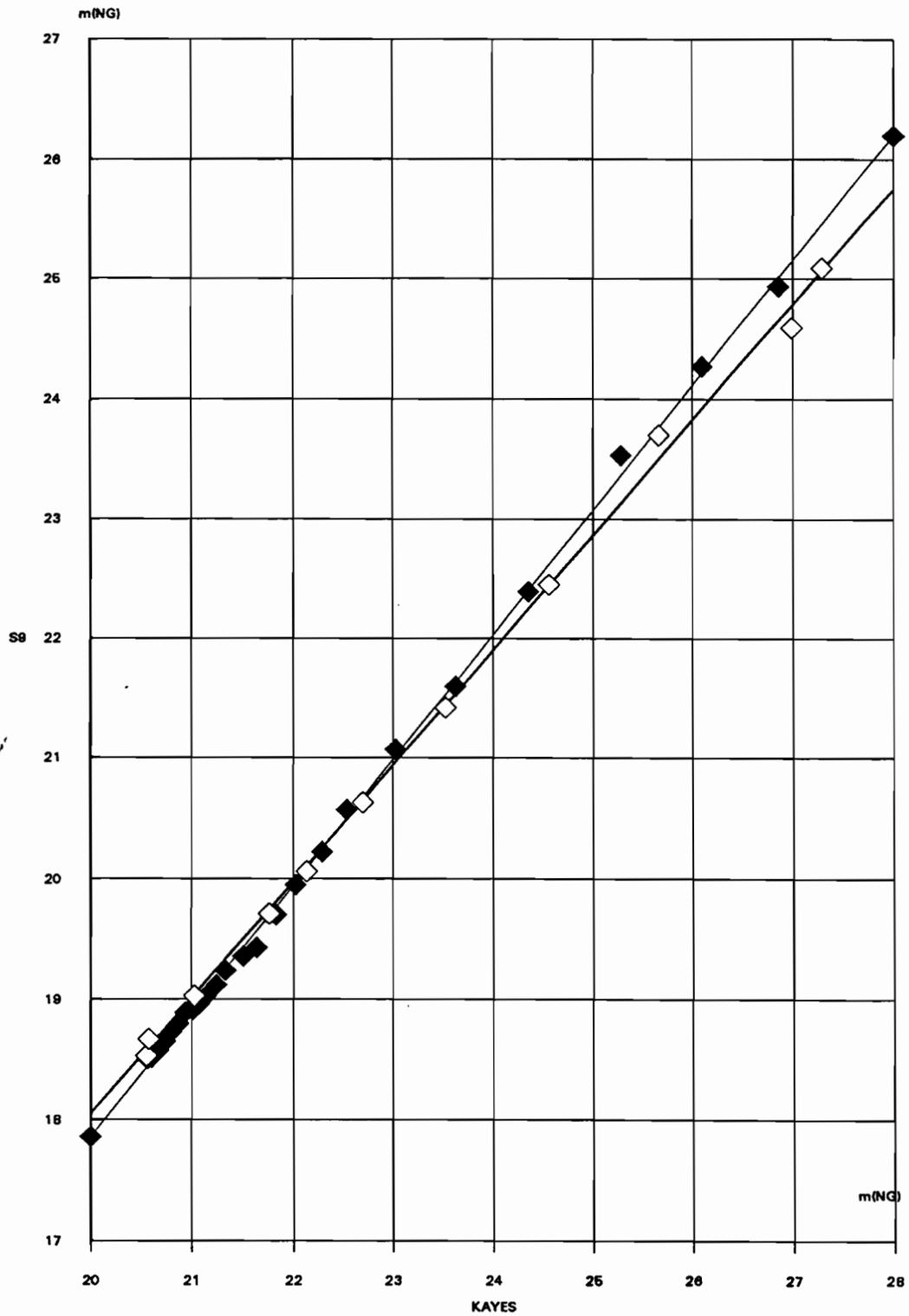


Figure C-3.2.2.4.2

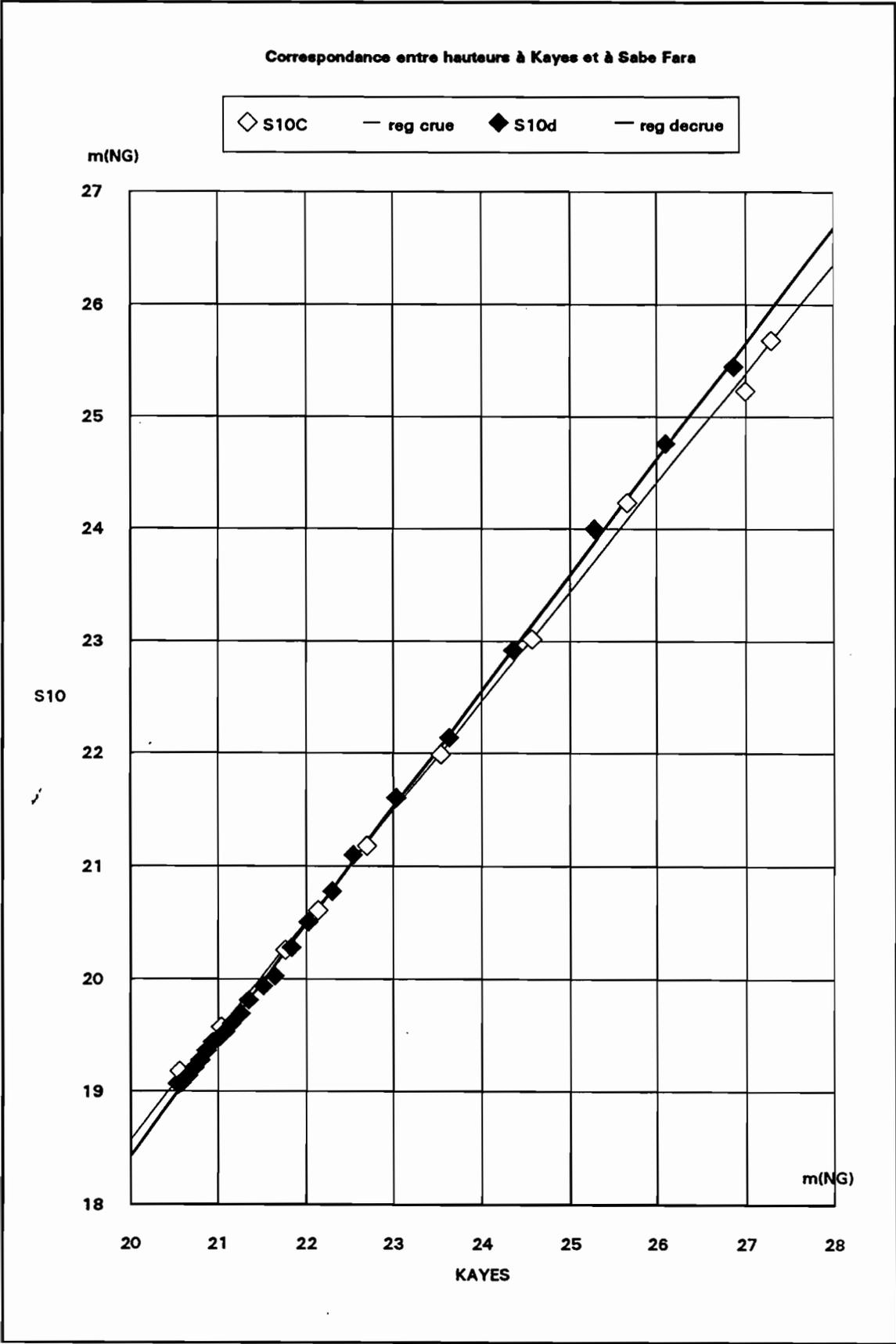


Figure C-3.2.2.4.3

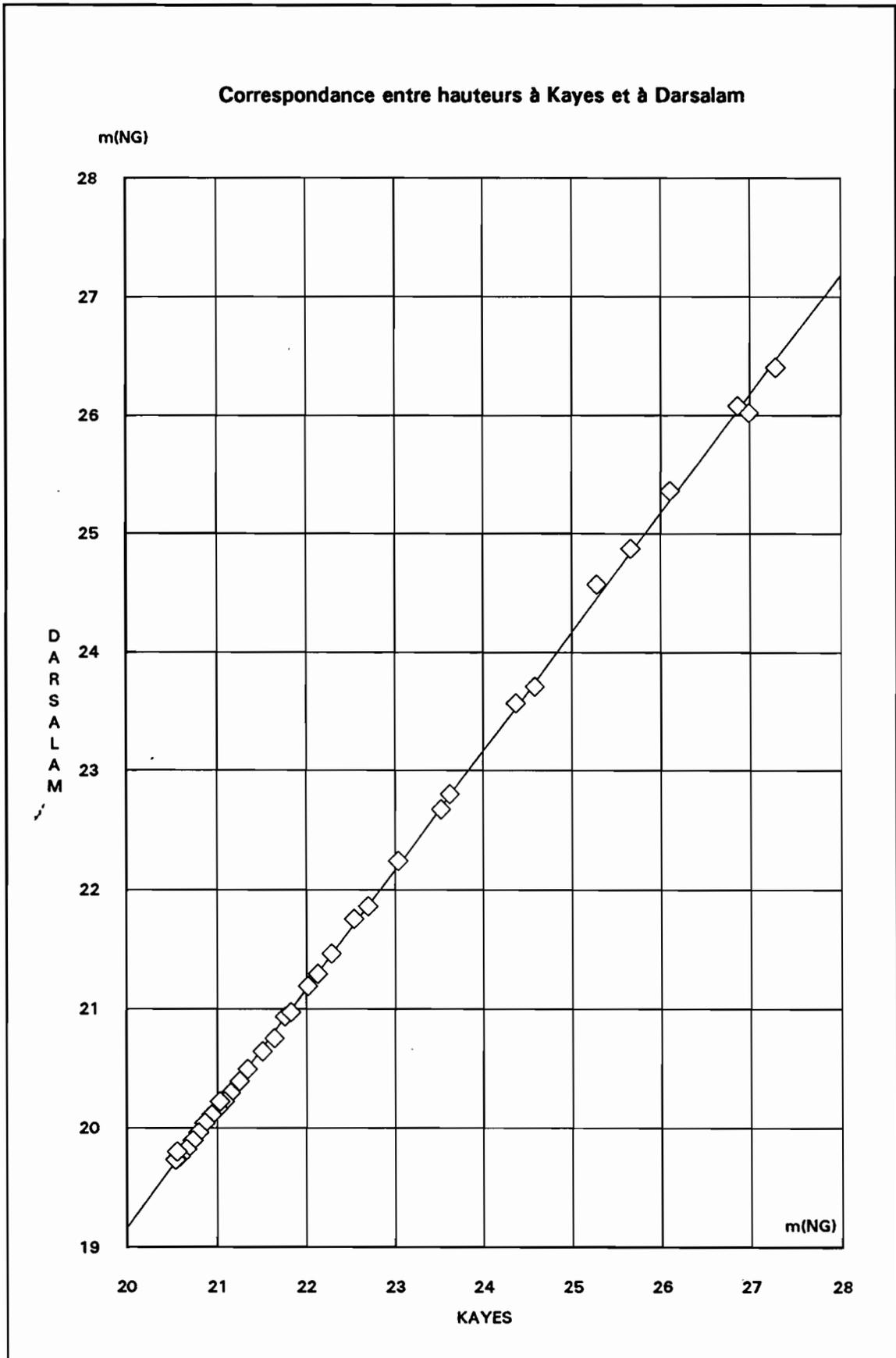
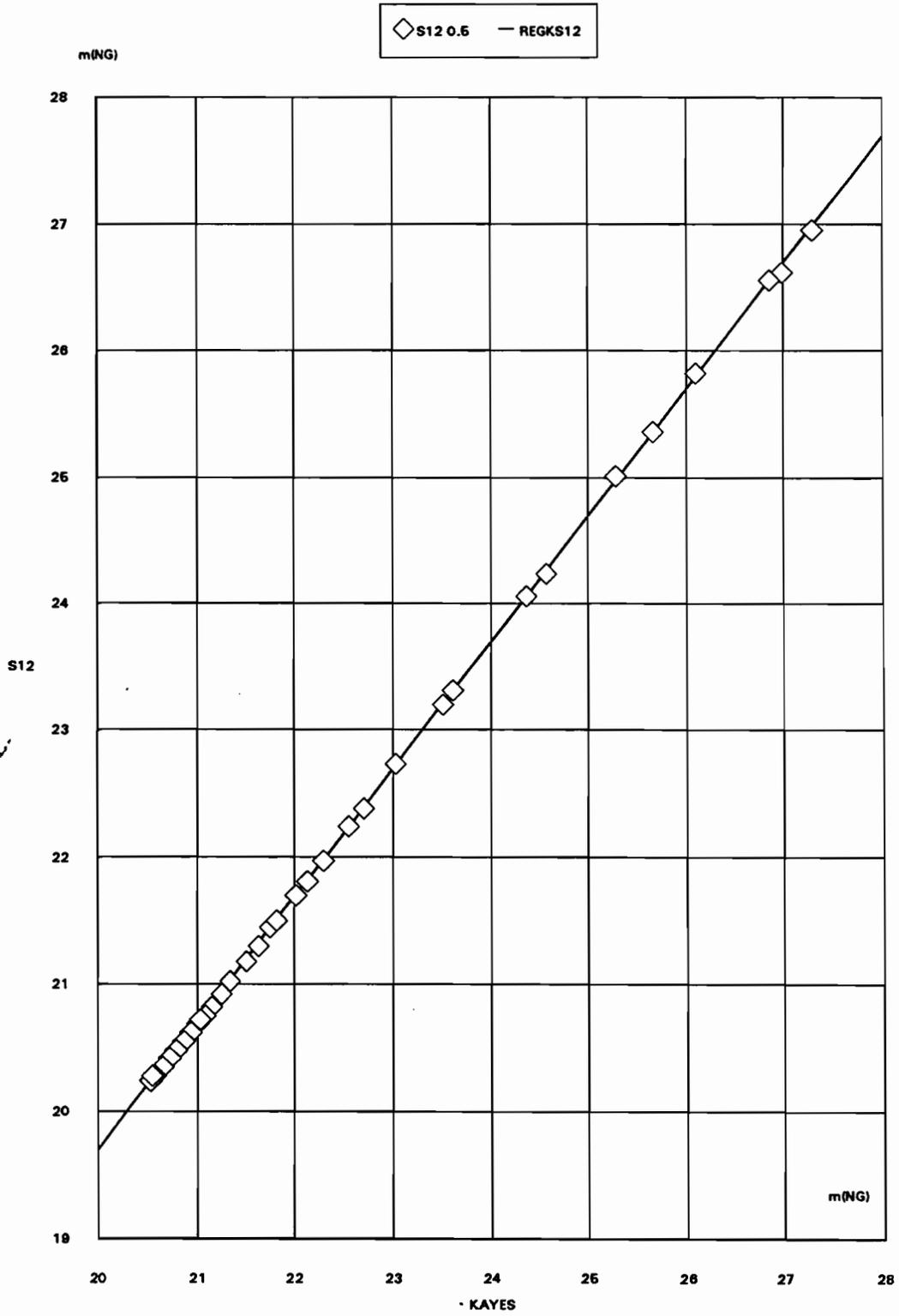


Figure C-3.2.2.4.4

Correspondance entre hauteurs à Kayes et à Dialebougou



**CRUE "A" AU DROIT DE S9 ET S10 EN FONTION
DE LA FREQUENCE DES CRUES DE LA FALEME**

Tableau C3-2.2.5

TAMBOUKANE

J décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80
5-Jan	19.27	19.26	19.25
15-Jan	19.27	19.27	19.26
26-Jan	19.28	19.27	19.26
5-Fév	19.28	19.27	19.26
15-Fév	19.28	19.27	19.26
24-Fév	19.28	19.27	19.27
5-Mar	19.28	19.28	19.27
15-Mar	19.28	19.28	19.28
26-Mar	19.28	19.28	19.27
5-Avr	19.28	19.28	19.28
15-Avr	19.28	19.28	19.28
25-Avr	19.28	19.28	19.28
5-Mai	19.49	19.49	19.49
15-Mai	19.49	19.49	19.49
26-Mai	19.49	19.49	19.49
5-Jui	19.49	19.49	19.49
15-Jui	19.49	19.49	19.49
25-Jui	19.49	19.49	19.49
5-Jui	19.49	19.49	19.45
15-Jui	19.41	19.39	19.32
26-Jui	19.35	19.26	19.09
5-Aoû	20.66	20.59	20.46
15-Aoû	20.53	20.41	20.19
26-Aoû	20.42	20.25	19.91
5-Sep	20.61	20.41	20.10
15-Sep	24.02	23.91	23.73
25-Sep	23.85	23.16	23.01
5-Oct	21.87	21.78	21.62
15-Oct	20.73	20.68	20.59
26-Oct	19.98	19.93	19.86
5-Nov	19.95	19.93	19.87
15-Nov	19.96	19.95	19.93
25-Nov	19.25	19.23	19.20
5-Déc	19.25	19.25	19.23
15-Déc	19.26	19.26	19.24
26-Déc	19.27	19.26	19.25

SABE FARA

J décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80
5-Jan	19.82	19.81	19.80
15-Jan	19.82	19.82	19.81
26-Jan	19.83	19.82	19.81
5-Fév	19.83	19.82	19.81
15-Fév	19.83	19.82	19.81
24-Fév	19.83	19.82	19.82
5-Mar	19.83	19.83	19.82
15-Mar	19.83	19.83	19.83
26-Mar	19.83	19.83	19.82
5-Avr	19.83	19.83	19.83
15-Avr	19.83	19.83	19.83
25-Avr	19.83	19.83	19.83
5-Mai	19.98	19.98	19.98
15-Mai	19.98	19.98	19.98
26-Mai	19.98	19.98	19.98
5-Jui	19.98	19.98	19.98
15-Jui	19.98	19.98	19.98
25-Jui	19.98	19.98	19.98
5-Jui	19.98	19.98	19.94
15-Jui	19.97	19.95	19.88
26-Jui	19.91	19.81	19.65
5-Aoû	21.21	21.14	21.01
15-Aoû	21.08	20.96	20.73
26-Aoû	20.97	20.80	20.45
5-Sep	21.16	20.96	20.64
15-Sep	24.62	24.50	24.32
25-Sep	24.37	23.69	23.53
5-Oct	22.41	22.31	22.16
15-Oct	21.27	21.23	21.14
26-Oct	20.53	20.49	20.41
5-Nov	20.51	20.49	20.42
15-Nov	20.52	20.51	20.49
25-Nov	19.80	19.78	19.76
5-Déc	19.80	19.80	19.78
15-Déc	19.81	19.81	19.79
26-Déc	19.82	19.81	19.80

Hauteurs exprimées en mètre NG

**CRUE "A" AU DROIT DE S11 ET S12 EN FONCTION
DE LA FREQUENCE DES CRUES DE LA FALEME**

Tableau C-3.2.2.6

DARSALAM

J décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80
5-Jan	20.51	20.50	20.49
15-Jan	20.51	20.51	20.50
26-Jan	20.52	20.51	20.50
5-Fév	20.52	20.51	20.50
15-Fév	20.52	20.51	20.50
24-Fév	20.52	20.51	20.51
5-Mar	20.52	20.52	20.51
15-Mar	20.52	20.52	20.52
26-Mar	20.52	20.52	20.51
5-Avr	20.52	20.52	20.52
15-Avr	20.52	20.52	20.52
25-Avr	20.52	20.52	20.52
5-Mai	20.66	20.66	20.66
15-Mai	20.66	20.66	20.66
26-Mai	20.66	20.66	20.66
5-Jui	20.66	20.66	20.66
15-Jui	20.66	20.66	20.66
25-Jui	20.66	20.66	20.66
5-Jui	20.66	20.66	20.62
15-Jui	20.65	20.63	20.56
26-Jui	20.59	20.50	20.34
5-Aoû	21.88	21.81	21.67
15-Aoû	21.75	21.61	21.38
26-Aoû	21.62	21.45	21.09
5-Sep	21.83	21.61	21.29
15-Sep	25.38	25.26	25.07
25-Sep	24.92	24.26	24.11
5-Oct	23.02	22.93	22.78
15-Oct	21.92	21.88	21.79
26-Oct	21.19	21.15	21.08
5-Nov	21.17	21.15	21.09
15-Nov	21.18	21.17	21.15
25-Nov	20.49	20.47	20.45
5-Déc	20.49	20.49	20.47
15-Déc	20.50	20.50	20.48
26-Déc	20.51	20.50	20.49

DIALEBOUGOU

J décade	F=0.95	F=0.90	F=0.80
5-Jan	21.04	21.03	21.02
15-Jan	21.04	21.04	21.03
26-Jan	21.05	21.04	21.03
5-Fév	21.05	21.04	21.03
15-Fév	21.05	21.04	21.03
24-Fév	21.05	21.04	21.04
5-Mar	21.05	21.05	21.04
15-Mar	21.05	21.05	21.05
26-Mar	21.05	21.05	21.04
5-Avr	21.05	21.05	21.05
15-Avr	21.05	21.05	21.05
25-Avr	21.05	21.05	21.05
5-Mai	21.19	21.19	21.19
15-Mai	21.19	21.19	21.19
26-Mai	21.19	21.19	21.19
5-Jui	21.19	21.19	21.19
15-Jui	21.19	21.19	21.19
25-Jui	21.19	21.19	21.19
5-Jui	21.19	21.19	21.15
15-Jui	21.18	21.16	21.09
26-Jui	21.12	21.03	20.87
5-Aoû	22.40	22.33	22.19
15-Aoû	22.27	22.14	21.91
26-Aoû	22.15	21.98	21.62
5-Sep	22.35	22.14	21.82
15-Sep	25.91	25.79	25.60
25-Sep	25.45	24.79	24.63
5-Oct	23.54	23.45	23.30
15-Oct	22.44	22.40	22.31
26-Oct	21.72	21.68	21.61
5-Nov	21.70	21.68	21.62
15-Nov	21.71	21.70	21.68
25-Nov	21.02	21.00	20.98
5-Déc	21.02	21.02	21.00
15-Déc	21.03	21.03	21.01
26-Déc	21.04	21.03	21.02

Hauteurs exprimées en mètre NG

C-3.2.3. BASSIN DU KARAKORO

Ce cours d'eau est peu ou mal observé à ce jour. Les seules observations en notre possession sont des relevés qui datent de 1978 et ne concerne que la station de BOKEDIAMBY . Cette station n'est pas rattachée au nivellement général et les quelques observations qui sont contenues dans la banque HYDROM ne peuvent pas être utilisées. Le tableau C-3.2.3.1 ci-dessous contient l'inventaire des données :

Tableau C-3.2.3.1

Station : 1272602003-1 BOKEDIAMBY

Rivière : KARAKORO

Pays : MALI

Bassin : SENEGAL

Année	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
1978	-	-	-	-	-	-	-	C	C	-	-	-

C : Mois complet * : Mois incomplet - : Mois manquant

C-3.2.4. BASSIN DE LA KOLOMBINE

Les tableaux des pages 87 et 88 contiennent les inventaires des observations de hauteurs d'eau aux stations de la KOLOMBINE.

La zone aval du bassin est contrôlée par la station de KABATE. Cette station est manifestement sous l'influence de la courbe de remous du fleuve Sénégal lorsque ce dernier est en crue. L'évaluation des débits y est pratiquement impossible, hormis les mesures ponctuelles de débit qui ont pu y être réalisées.

Quant aux Hauteurs Moyennes Décadaires, l'influence des crues du fleuve empêche toute étude statistique, l'échantillon des observations est trop faible. De plus les observations ont été, semble-t-il, réalisées sur des échelles n'ayant pas les mêmes zéro (rattachement dans le système NG).

L'extension de l'échantillon à l'aide des crues du fleuve est lui aussi impossible du fait de l'hétérogénéité des régimes des deux cours d'eau.

Les données sont disponibles sous forme de hauteurs moyennes journalières pour la période 1981 à 1988. La période antérieure (1972 - 1980) présente quelques observations, mais elles sont inutilisables.

ORSTOM

*** HYDROMETRIE *** LABORATOIRE D'HYDROLOGIE
INVENTAIRE DES COTES INSTANTANÉES

Station : 1272601803-1 KOLINBINE
Rivière : KOLINBINE
Pays : MALI
Bassin : SENEGAL

Année	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
1935	-	-	-	-	-	*	C	C	C	C	*	C
1936	-	-	-	-	-	*	C	C	*	C	C	C
1937	-	-	-	-	-	-	*	C	C	C	C	-
1938	-	-	-	-	-	*	C	*	C	C	C	C
1941	-	-	-	-	-	*	C	C	C	C	C	C
1942	-	-	-	-	-	*	C	C	C	C	C	C
1945	-	-	-	-	-	-	*	C	C	*	C	C
1946	C	-	-	-	-	-	C	C	C	-	-	-
1947	-	-	-	-	-	-	*	C	C	C	C	*
1948	-	-	-	-	-	*	C	C	C	-	-	-
1950	-	-	-	-	-	-	*	C	C	-	-	-

Année	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
-------	------	------	------	------	-----	------	------	------	------	------	------	------

Station : 1272601806-1 KABATE PONT
Rivière : KOLINBINE
Pays : MALI
Bassin : SENEGAL

Latit. 14.30.00
Longit. -11.12.00
Altit. 33M
Aire 25285.0 km²

Année	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
1972	-	-	-	C	-	C	*	*	*	C	-	C
1973	C	-	-	-	C	-	-	-	C	*	*	-
1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	-
1975	-	-	-	-	-	-	*	C	*	*	-	-
1977	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	*
1978	C	-	-	-	-	C	*	*	*	*	C	-
1979	*	C	C	-	C	*	*	-	C	C	*	-
1980	*	-	*	-	-	*	*	-	*	-	-	-
1981	-	-	*	-	-	-	C	C	C	C	C	C
1982	C	C	-	-	-	*	*	C	C	C	C	C
1983	C	-	-	-	-	C	C	C	C	C	C	C
1984	C	-	-	-	-	C	C	C	C	C	C	C
1985	C	-	-	-	-	C	C	C	C	C	C	C
1986	C	C	-	-	-	C	C	C	C	C	C	C
1987	C	C	-	-	-	-	C	C	C	C	C	C
1988	C	-	-	-	-	C	C	C	C	C	C	C

Année	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
-------	------	------	------	------	-----	------	------	------	------	------	------	------

C : Mois complet * : Mois incomplet - : Mois manquant

INVENTAIRE DES COTES INSTANTANÉES

Station : 1272609503-1 KEROUGOU

Rivière : LAC MAGUI

Pays : MALI

Bassin : SENEGAL

Année	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
1936	-	-	-	-	-	*	C	C	*	C	C	C
1937	-	-	-	-	-	-	*	C	C	C	C	-
1938	-	-	-	-	-	*	C	C	C	C	C	C
1941	-	-	-	-	-	*	C	*	C	C	C	C
1942	-	-	-	-	-	*	C	C	C	C	C	C
1945	-	-	-	-	-	-	*	C	C	*	C	C
1946	C	-	-	-	-	-	*	*	C	-	-	-
1947	-	-	-	-	-	-	*	C	C	C	C	*
1948	-	-	-	-	-	*	C	C	C	-	-	-
1950	-	-	-	-	-	-	*	C	C	-	-	-
Année	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE

3.3.0 ANALYSE DU COMPORTEMENT DES BASSINS VERSANTS DES TRIBUTAIRES AUX ZONES D'INONDATIONS

Dans ce troisième volet de l'étude hydrologique, sont étudiés les comportements des petits bassins versants dont les exutoires se trouvent proches des zones d'inondation aménageables du Haut Bassin du SENEGAL. L'esprit de ce travail est de donner des estimations fiables des paramètres hydrologiques sur les apports par les pluies locales aux zones d'aménagement potentiel. Les méthodes d'estimations des apports annuels et de prédétermination de crues exceptionnelles (crue décennale prise comme crue de projet) sont explicitées et appliquées sur certains sites.

Vingt sites ont été choisis dans les quatre zones pilotes de l'étude : Bakel, Kayes, Falémé et Karakoro (voir plan de situation général de la figure 3.3.1). Ce choix a été guidé par les critères suivants :

- étudier un échantillon de bassins versants suffisamment représentatifs pour extrapoler les données hydrologiques à n'importe quel bassin ou sous bassin de la zone
- avoir une référence pour l'étude de faisabilité d'ouvrage dans les zones pilotes, estimation de la crue décennale pour la protection des ouvrages (digues et retenues) et estimation des apports annuels par les pluies pour le dimensionnement de retenues collinaires ou pour étudier les quantités complémentaires qu'il faut apporter à partir du fleuve.

La carte 3.3.1 donne la situation de ces sites et les numéros qui leur sont appliqués pour les désigner dans toute cette étude:

- Secteur de Bakel:

- Site 1: bassin de Tourimé
- Site 2: bassin de Béma
- Site 3: bassin de Gounia
- Site 4: bassin de Golmi
- Site 5: bassin de Gabou sur le Gourang Kole
- Site 6A: bassin de Moulessimou
- Site 6B: bassin de Mare de Golmikaré
- Site 6C: bassin de Diogountourou
- Site 6D: bassin de bassin du Bounokole
- Site 7A: bassin de Aroundou
- Site 7B : bassin de bassin de Aourou

- Secteur de Kayes:

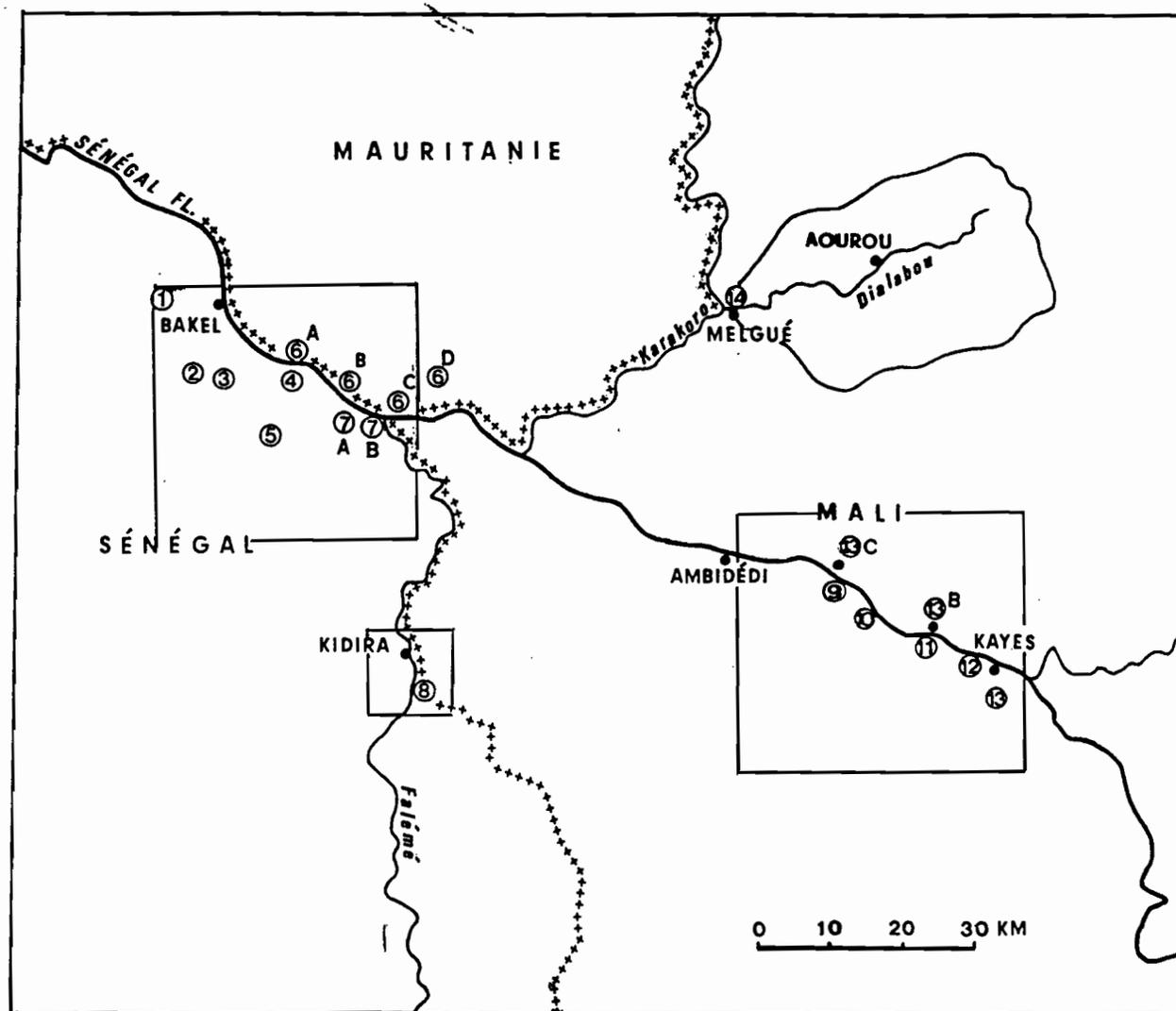
- Site 9: bassin de Tamboukane sur Sinbikolé
- Site 10 : bassin de Diakandape
- Site 11 : bassin de Dar Salam
- Site 12 : bassin de Diyalla
- Site 13 A: bassin de Papara
- Site 13 B : bassin de Dag-Dag
- Site 13 C : bassin de Kolegoumo

- Nahé sur la Falémé (site n° 8),

- Melgue sur le Karakoro (site n°14),

Les bassins versants ont été délimités à partir des cartes I.G.N. au 1/200 000 de Bakel et Kayes, et de cartes au 1/20 000 des 4 secteurs, fournies par Dames and Moore. Les paramètres

Fig. 3.3.1 Carte de situation des bassins versants étudiés



physiographiques ont été calculés sur les zones où cela était possible à partir des cartes au 1/20 000, sinon à partir du 1/200 000 de l'IGN.

Les quatre secteurs d'aménagement sont situés dans la zone du climat Nord-Soudanien comprise entre les isohyètes 500 et 800 mm dont la végétation caractéristique est la steppe ou la savane boisée à épineux.

3.3.1. METHODES DE CALCUL UTILISEES

3.3.1.1 Méthodes d'évaluation de la crue d'étude de récurrence décennale

3.3.1.1.1. Méthode de prédétermination de Rodier et Auvray (ORSTOM 1965)

Il s'agit d'une méthode analytique applicable à des bassins versants de superficie inférieure à 200 km² et dans des zones de pluviométrie annuelle n'excédant pas 1700 mm.

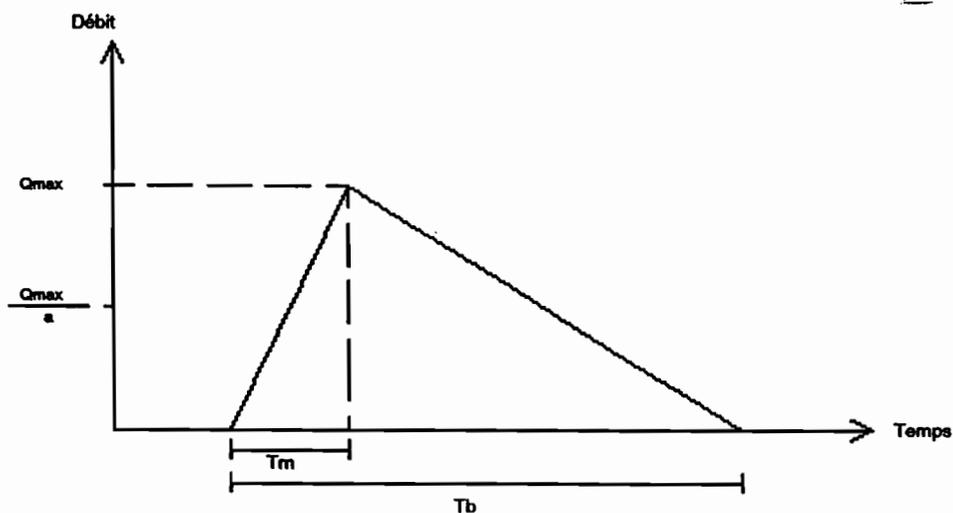
A partir des résultats de 60 bassins observés, Rodier et Auvray ont proposé une estimation du débit de pointe de la crue décennale par la relation suivante:

$$Q_{10} = K \cdot P_{10j} \cdot K_{r10} \cdot S \cdot a \cdot T_b^{-1}$$

avec K le rapport de la pluie ponctuelle à la pluie moyenne sur le bassin,
 P_{10j} la pluie journalière décennale,
 K_{r10} le coefficient de ruissellement correspondant à la pluie décennale,
 S la superficie du bassin versant,
 a le rapport du débit maximum sur le débit moyen pendant le temps de base,
 T_b le temps de base.

Le schéma de la figure 3.3.1.1.1 illustre les concepts utilisés plus hauts.

Figure 3.3.1.1.1 : Forme de la crue de projet suivant Rodier Auvray



La détermination des caractéristiques hydrologiques (Kr_{10} , T_b et T_m le temps de montée) se fait par l'intermédiaire d'abaques en fonction de la superficie S et de classes de perméabilité (P) et de pente (R).

La variable P intègre l'absorption d'eau par la végétation. Elle est divisée en 5 classes, P_1 représentant un bassin rigoureusement imperméable, et P_5 un bassin très perméable avec un couvert végétal important.

Le paramètre R est divisé en 6 classes, en fonction des pentes longitudinale et transversale.

Enfin, l'étude de Rodier et Auvray donne une estimation de K et de a en fonction de S .

En 1988, Rodier et Ribstein ont apporté des corrections à la méthode initiale de prédétermination mise au point par Rodier et Auvray, pour les bassins de superficie inférieure à 10 km², en proposant notamment une «check list» permettant de prendre en compte les particularités de certains bassins.

3.3.1.1.2. Méthode de prédétermination de Puech et Chabi-Gonni (CIEH, 1984)

Cette méthode repose sur l'étude statistique de 160 bassins de superficie inférieure à 2500 km², pour des pluies annuelles comprises entre 100 et 2500 mm.

La relation énoncée ci-dessous est la meilleure au sens de la régression multiple ne comportant pas le coefficient de ruissellement Kr_{10} toujours très délicat à estimer pour des bassins non jaugés.

$$Q_{10} = 131.S^{0,68}.lg^{0,56}.Pan^{-0,68}$$

avec Q_{10} le débit de pointe décennal,
 S la superficie du bassin,
 lg l'indice global de pente,
 Pan la pluviométrie moyenne interannuelle.

$lg = dH/L$, dH étant la différence d'altitude entre l'amont et l'aval du bassin, et L la longueur du rectangle équivalent ayant la même superficie et le même périmètre que le bassin.

On remarque dans la relation obtenue par régression multiple que Q_{10} est inversement proportionnel à la pluie annuelle. Ceci s'explique par le fait que plus les précipitations sont faibles plus la végétation est clairsemée et les sols imperméables, autant de facteurs qui augmentent le ruissellement alors que les maxima journaliers varient peu avec la latitude.

3.3.1.2 Méthode d'estimation des apports annuels

Nous avons utilisé la méthode proposée par J. Rodier dans une étude datant de 1975.

On trouve dans cette étude, pour différentes catégories de bassins définies par leur substratum rocheux, des diagrammes de distribution permettant de déterminer le coefficient d'écoulement annuel pour n'importe quelle fréquence, moyennant la connaissance préalable de la pluviométrie correspondant à la fréquence voulue.

Dès lors qu'on a réussi à rattacher le bassin étudié à un bassin type, la valeur de l'écoulement annuel s'obtient par l'équation suivante:

$$V_{ef} = P_f \cdot K_{ef} \cdot S$$

avec V_{ef} le volume écoulé pour la fréquence f ,
 P_f la pluie annuelle de fréquence f ,
 K_{ef} le coefficient d'écoulement de fréquence f ,
 S la superficie du bassin.

Sur chacun des bassins versants étudiés nous avons effectué les calculs en année médiane ($f=0,5$) et en année décennale sèche ($f=0,9$).

3.3.2. ETUDE DES DIFFERENTS SITES RETENUS

3.3.2.1 Le secteur de Bakel

La figure 3.3.2.1 donne l'emplacement des sites envisagés pour des aménagements et les bassins versants correspondants.

Site 1: Tourimé
 Site 2: Béma
 Site 3: Gounia
 Site 4: Golmi
 Site 5: Gabou sur le Gourang Kole
 Site 6A: Moulessimou
 Site 6B: Mare de Golmikaré
 Site 6C: Diogountourou
 Site 6D: Bounokole
 Site 7A: Aroundou
 Site 7B : Aourou

3.3.2.1.1 Pluviométrie

La pluviométrie annuelle moyenne à Bakel sur la période de référence 1951-1980 est de 499 mm.

Le meilleur ajustement statistique de la pluviométrie annuelle est obtenu par la loi de Galton (voir figure 3.3.2.2). Cette analyse a permis de déterminer les valeurs de précipitations suivantes pour l'année médiane et les années de récurrences sèches:

F=0.5	P=480 MM
F=0.8	P=376 MM
F=0.9	P=331 MM
F=0.95	P=297 MM
F=0.99	P=243 MM

En ce qui concerne la pluie journalière, l'ajustement par la loi de Pearson III tronquée a permis d'obtenir les valeurs suivantes en fonction de la fréquence au dépassement:

F=0.5	P=68.5 MM
F=0.2	P=86.1 MM
F=0.1	P=99.6 MM
F=0.05	P=113.2 MM
F=0.02	P=131.4 MM
F=0.01	P=145.2 MM

Fig. 3.3.2.1 Bassins versants étudiés dans la zone pilote de BAKEL

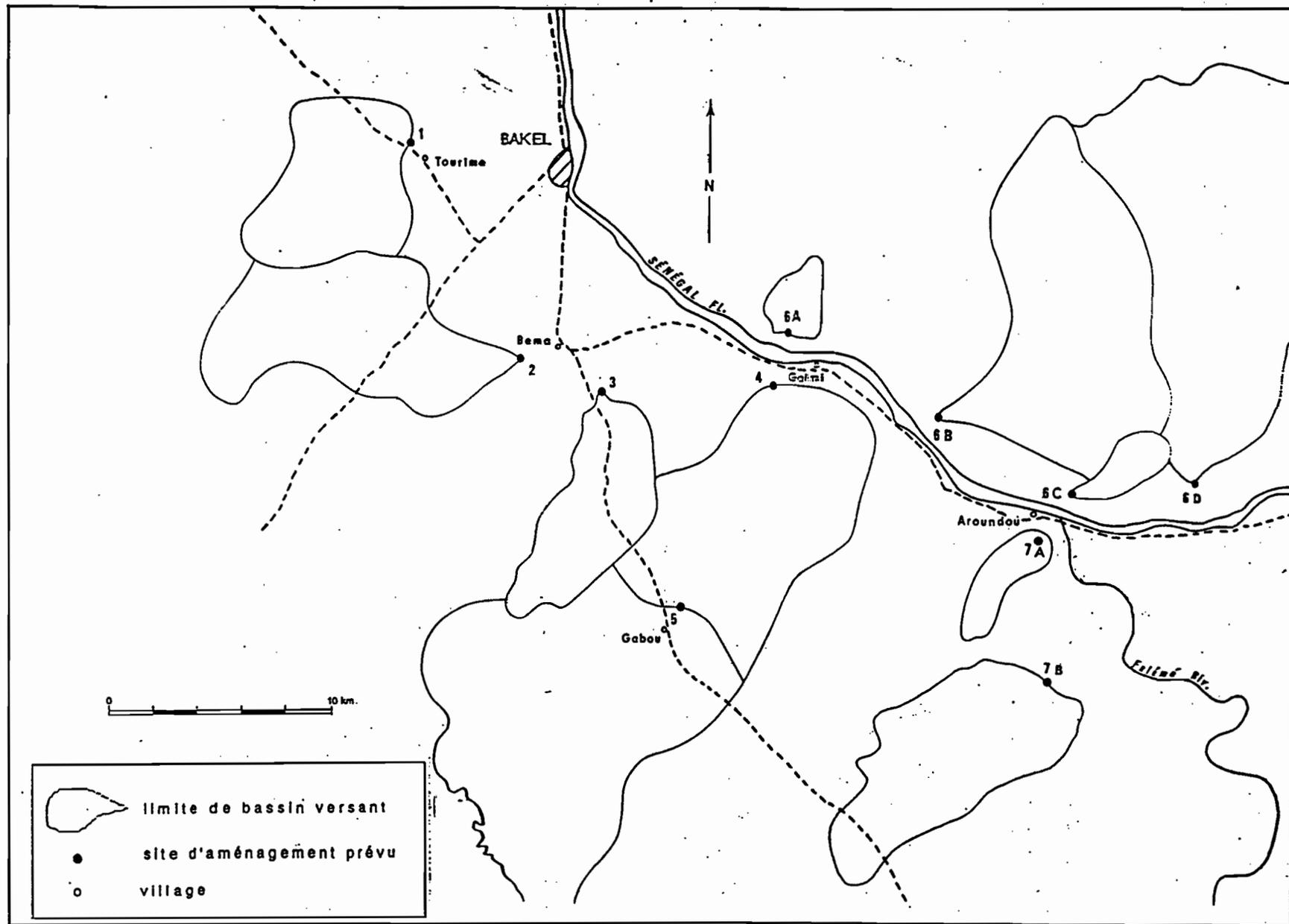
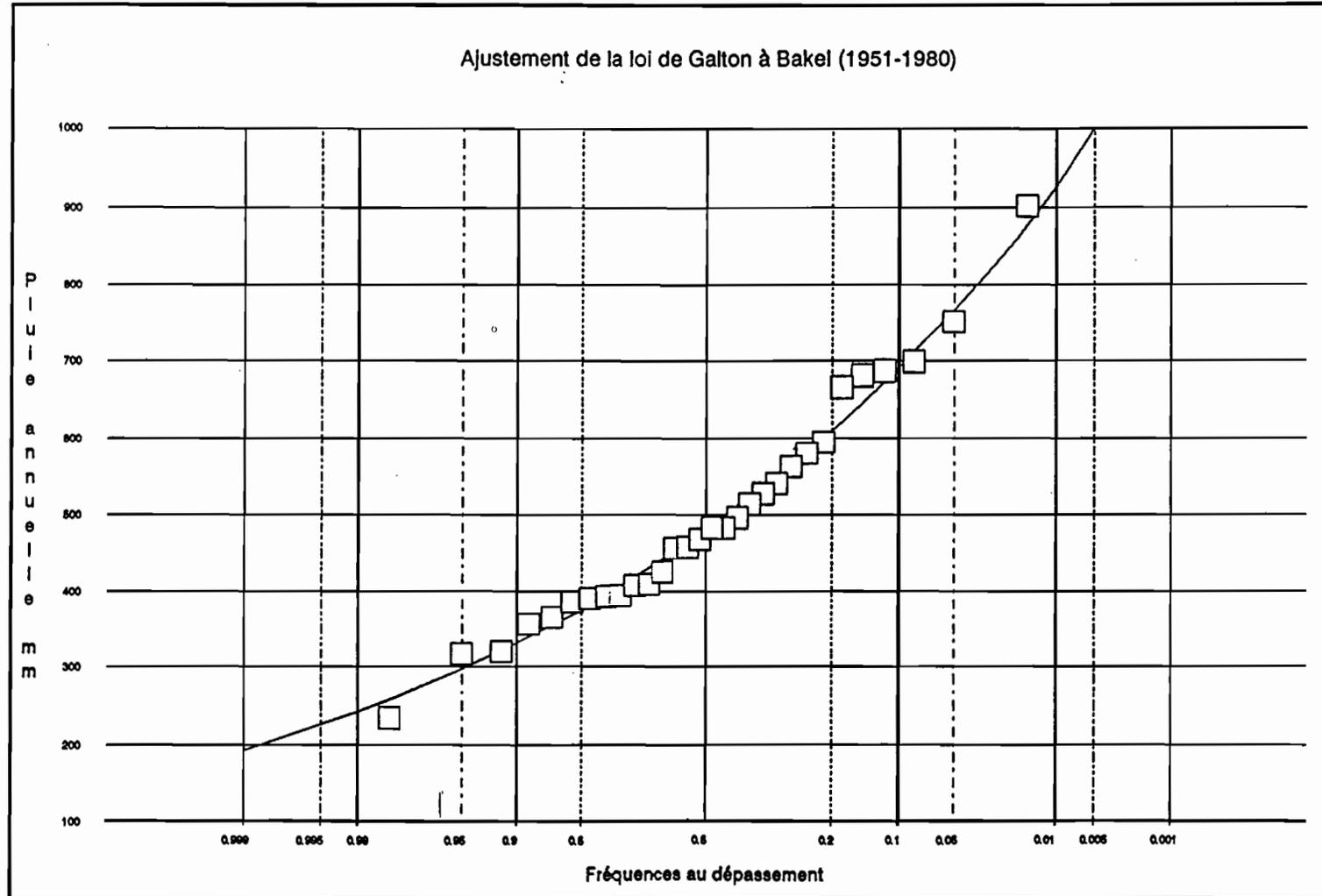


Fig. 3.3.2.2



Il pleut en moyenne 46 jours par an à Bakel, les pluies inférieures à 1 mm n'étant pas prises en compte.

3.3.2.1.2 Facteurs conditionnant l'écoulement

La géologie:

L'essentiel du substratum rocheux sur le secteur de Bakel est constitué par des schistes et quartzites métamorphiques (roches vertes) de la série de Bakel-Akjoujt. Les bassins versants 1, 2, 3, 6A, 6B et 6C sont entièrement localisés sur ce type de formations.

Vers le Sud, à partir de la confluence du Sénégal et de la Falémé, le sous-sol est formé par des roches sédimentaires du Cambrien. Le bassin n°7 se situe sur ces formations.

Enfin, un massif granitique de 10 km de long occupe environ 10% de la surface des bassins 4 et 5, par ailleurs situés sur les roches vertes de la série de Bakel-Akjoujt.

Du point de vue hydrogéologique, l'ensemble de ces roches sont considérées comme imperméables, les seuls systèmes aquifères se limitant à de petites nappes alluviales ou d'arènes, très localisées et très peu productives.

Les sols:

la pédogénèse sur les schistes, quartzites et sur le granit a donné lieu à des sols peu évolués d'érosion et à des sols minéraux bruts. Sur les roches sédimentaires, on rencontre essentiellement des sols vertiques et des sols bruns tropicaux, et dans la plaine alluviale des sols hydromorphes.

Globalement, l'ensemble de ces sols semblent favoriser le ruissellement au détriment de l'infiltration.

Végétation et activité humaine:

le couvert végétal discontinu (steppe arbustive) et le faible développement de l'activité agricole en dehors de la plaine alluviale favorisent le ruissellement en limitant la rétention d'eau par les plantes.

3.3.2.1.3. Caractéristiques physiques des bassins versants

Le tableau 3.3.2.1 énumère les principaux caractères physiques des bassins versants dont les exutoires correspondent aux emplacements choisis par Dames and Moore. A noter que le bassin n°5 est inclus dans le bassin n°4 (voir figure 3.3.2.1).

Tableau 3.3.2.1 Caractéristiques physiques des bassins de la zone de Bakel

N°de B.V.	S en km2	P en km	L en km	Ig en m/km	Catégorie RP
1	46	27	7	7.1	R3P2
2	67	40	16	4.4	R3P2
3	39	27	9	6.7	R3P2
4	220	72	28	2.9	R3P2
5	128	50	18	4.2	R3P2
6A	7.4	11	3	3	R2P2
6B	98	44	16	2.2	R2P2
6C	8.5	14	5.5	3.6	R2P2
6D	180.8	39	15.9	16.6	R3P2
7A	9	15	6	10	R3P2
7B	57.6	39	15.9	16.6	R3P2

P: périmètre du bassin

L: longueur du rectangle équivalent (voir chap.3.3.1.1.2.)

Ig: indice global de pente

3.3.2.2. Le secteur de Kayes

La figure 3.3.2.3 donne l'emplacement des 5 sites d'aménagement, tous situés à proximité du fleuve Sénégal.

Lorsque ces sites n'étaient pas implantés dans un talweg, nous avons délimité des bassins versants dont les exutoires situés à proximité permettent la réalisation de retenues collinaires.

- Site 9: Tanbounkane sur le Sinbikolé
- Site 10: au Sud de Diakandape
- Site 11: Dar Salam
- Site 12: Diyalla
- Site 13A: Papara
- Site 13B: Dag-Dag
- Site 13 C: Kolegoumo

3.3.2.2.1. Pluviométrie

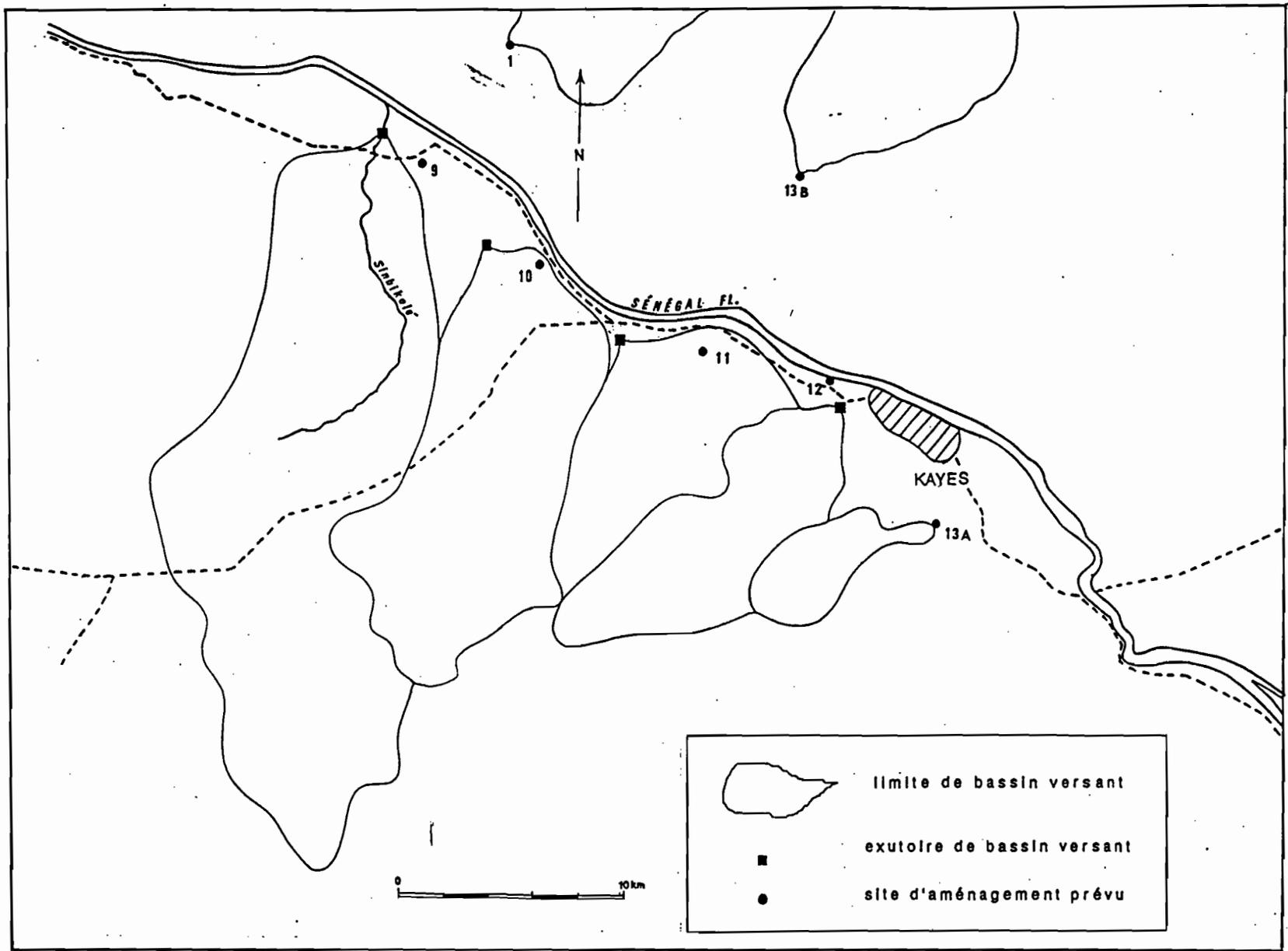
La pluviométrie moyenne annuelle à Kayes s'élève à 695 mm sur la période de référence 1951-1980.

Le meilleur ajustement statistique de la pluie annuelle est obtenu avec la loi de Goodrich (voir figure 3.3.2.4). Les valeurs médiane et de récurrences sèches sont les suivantes:

F=0.5	P=683 MM
F=0.8	P=592 MM
F=0.9	P=540 MM
F=0.95	P=501 MM
F=0.99	P=436 MM

Pour les maxima journaliers, l'ajustement par la loi de Pearson III tronquée donne les valeurs suivantes en fonction de la fréquence au dépassement:

Fig. 3.3.2.3 Bassins versants étudiés dans la zone pilote de KAYES



F=0.5	P=67.2 MM
F=0.2	P=81.0 MM
F=0.1	P=91.5 MM
F=0.05	P=102.0 MM
F=0.02	P=115.9 MM
F=0.01	P=126.4 MM

Il pleut en moyenne 46 jours par an à Kayes, les pluies journalières inférieures à 1 mm n'étant pas prises en compte.

3.3.2.2 Facteurs conditionnant l'écoulement

La géologie:

le substratum rocheux est constitué de formations datant du Cambrien et réparties en deux groupes:

- le groupe de Nioro, série occupant une surface limitée au sud-ouest de Kayes et formée pour l'essentiel de grés feldspathiques,
- le groupe de Bakoye qui occupe la plus grande partie du périmètre avec deux formations distinctes: des grés constituant le plateau qui s'étend au sud de kayes, et une série dominée par des tillites (roches argileuses d'origine glaciaire) entre ce plateau et le fleuve Sénégal.

Le plateau gréseux est entaillé par de nombreuses fractures tectoniques.

Le long du fleuve le substratum est recouvert par des alluvions anciennes formant des terrasses.

Le tableau 3.3.2.2 donne les proportions des différentes roches sur les cinq bassins.

Tableau 3.3.2.2 Etude géologique des bassins

B.V.n°	Tillites	Grés de Bakoye	Grés de Nioro	Alluvions anc.
9	55%	40%	0%	5%
10	45%	30%	10%	15%
11	30%	5%	40%	25%
12	10%	40%	30%	20%
13A	0%	70%	10%	20%

Bien que toutes ces roches soient imperméables, on peut penser que l'importante fracturation du plateau gréseux est susceptible d'occasionner une infiltration notable en tête des bassins versants.

Les sols:

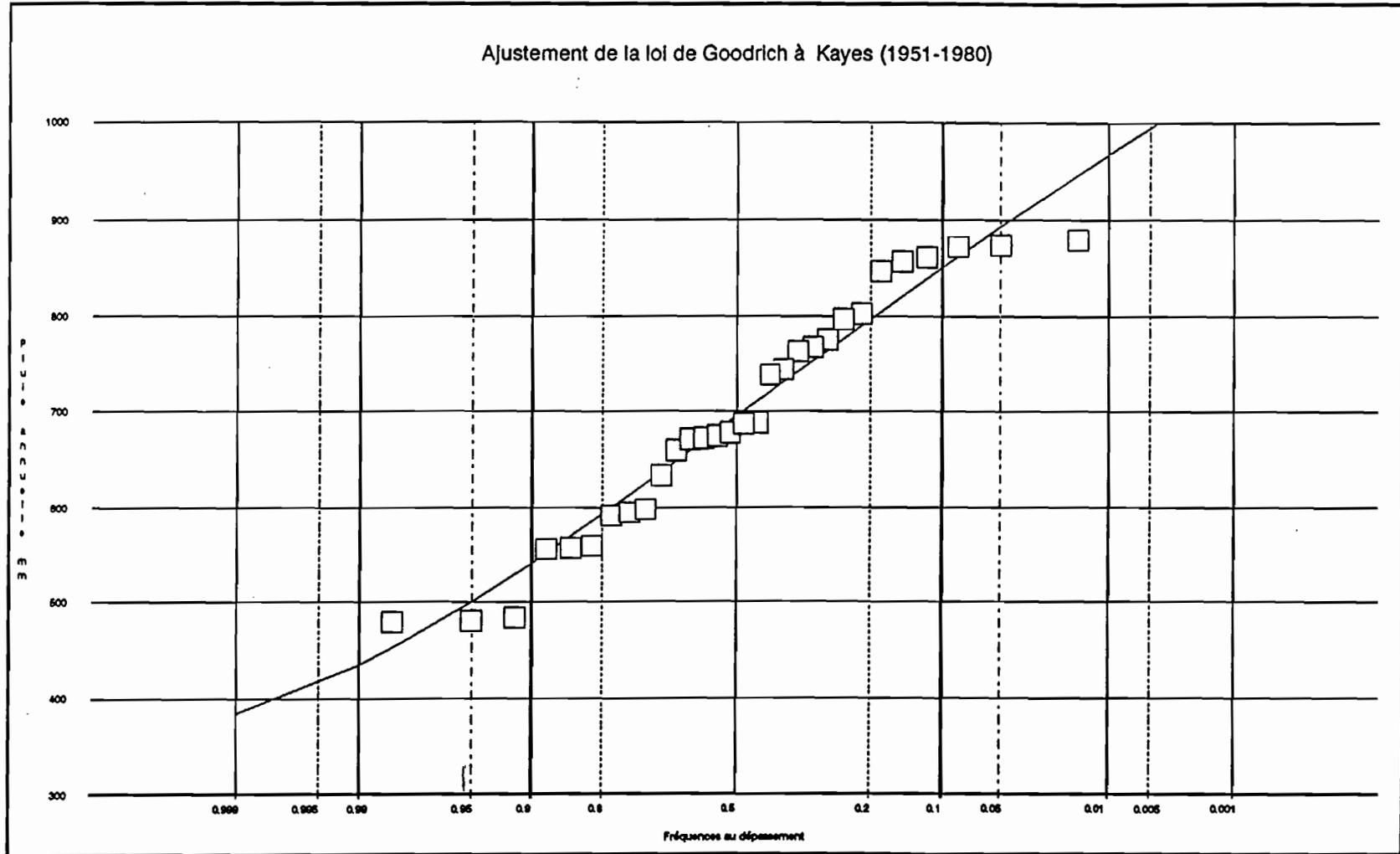
comme sur l'ensemble du haut-bassin, la pédogénèse dépend surtout de la roche mère.

On trouve sur les grés des sols ferrugineux pouvant former une carapace latéritique.

Les roches argileuses (tillites) donnent des sols bruns tropicaux ou des sols vertiques.

Enfin, sur les alluvions on rencontre des sols hydromorphes. Seuls les sols ferrugineux de plateaux peuvent être relativement perméables lorsque la carapace de surface est désagrégée.

Fig. 3.3.2.4



Végétation et activité humaine: mêmes remarques que pour le secteur de Bakel.

3.3.2.1.3. Caractéristiques physiques des bassins versants

Le tableau ci-dessous donne les principales caractéristiques des bassins étudiés.

Tableau 3.3.2.3 caractéristiques physiographiques des bassins

N° de B.V.	S en km ²	P en km	L en km	lg en m/km	Catégorie RP
9	235	76	30	6.8	R3P2
10	130	50	18	9.2	R3P2
11	82	36	9	18.3	R3P2
12	66	38	14	14.6	R4P3
13A	21	20	7	27.9	R4P3
13B	48.8	54	25	7.7	R3P2
13C	490.4	94	31.5	3.8	R4P2

3.3.2.3. Site de Nahé sur la Falémé

Ce point d'aménagement se situe près du village de Nahé à environ 1 km de la rivière Falémé et 5 km de Kidira (voir figure 3.3.2.5).

3.3.2.3.1. Pluviométrie

La station pluviométrique la plus proche se trouve à Kidira. C'est elle qui a été prise en compte pour les calculs.

La pluviométrie annuelle moyenne sur la période 1951-1980 est de 662 mm. Le meilleur ajustement statistique des valeurs de pluie annuelle est obtenu avec la loi de Galton (voir figure 3.3.2.6). Les précipitations en année médiane et en années sèches sont les suivantes:

F=0.5	P=647 MM
F=0.8	P=520 MM
F=0.9	P=462 MM
F=0.95	P=419 MM
F=0.99	P=346 MM

L'ajustement de loi de Pearson III tronquée à la pluie journalière donne les valeurs de maxima annuels suivantes:

F=0.5	P=63.5 MM
F=0.2	P=78.7 MM
F=0.1	P=90.1 MM
F=0.05	P=101.7 MM
F=0.02	P=116.9 MM
F=0.01	P=128.5 MM

On dénombre en moyenne 28 jours de pluie par an à Kidira, étant donné que seules les pluies supérieures à 1 mm sont comptabilisées.

Fig. 3.3.2.5 : Bassin versant de Nahé (site 8)
échelle 1/20000 ème

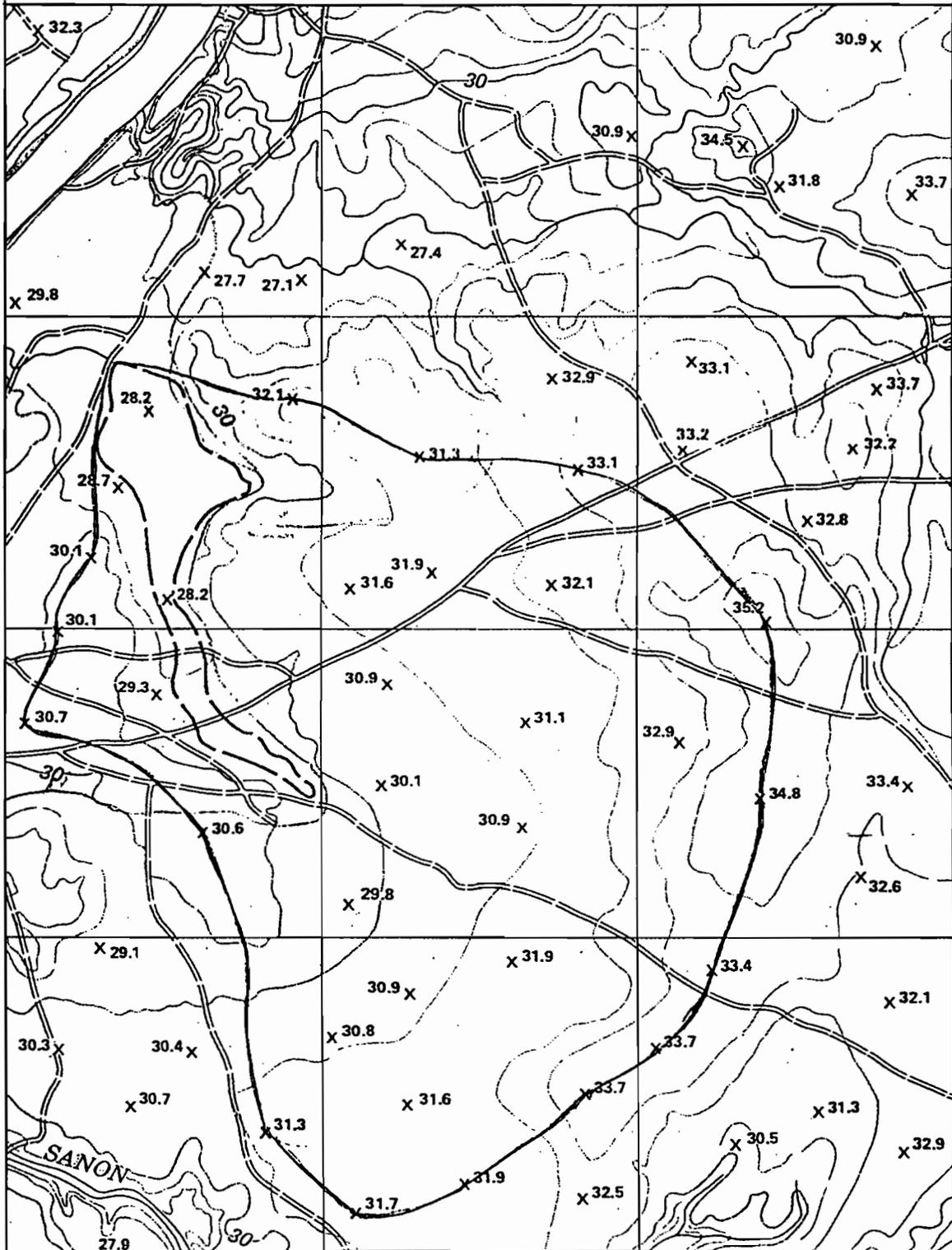
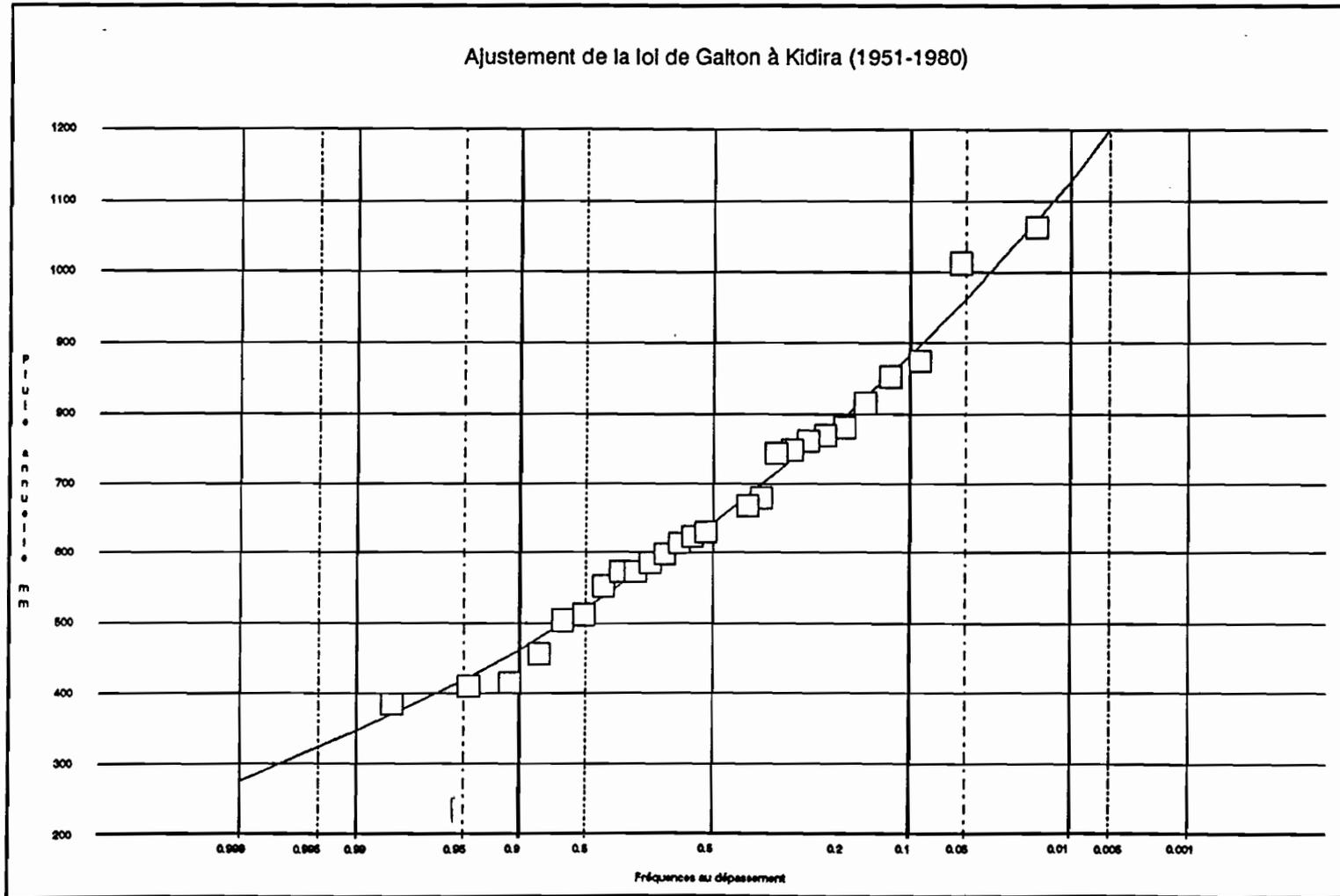


Fig. 3.3.2.6



3.3.2.3.2 Caractéristiques du bassin

Le bassin contrôlé par le site de Nahé occupe une superficie de 4 km². Il est situé sur des sols hydromorphes d'alluvions, le sous-sol rocheux étant constitué de formations sédimentaires du Cambrien.

L'indice global de pente (lg) est faible (2,5 m/km) ainsi que la perméabilité, ce qui nous a amené à ranger ce bassin dans la catégorie R2P2 selon la méthodologie de Rodier-Auvray.

3.3.2.4. Le site de Melgue

Ce site est situé sur le Dialabou tout près de la confluence avec le Karakoro, lui-même affluent du Sénégal (voir plans de situation de la figure 3.3.1 et de la figure 3.3.2.7).

3.3.2.4.1 Pluviométrie

Nous avons utilisé les données de la station d'Aourou située pratiquement au centre du bassin de Melgue. La pluviométrie moyenne annuelle sur la période 1951-1980 s'élève à 573 mm. Le meilleur ajustement statistique de la pluie annuelle est obtenu avec la loi de Goodrich (seules 23 valeurs annuelles ont été retenues compte tenu des lacunes d'observation). Le tracé théorique et la distribution expérimentale sont représentées sur la figure 3.3.2.8. Les précipitations en année médiane et pour les récurrences sèches sont les suivantes:

F=0.5	P=573 MM
F=0.8	P=466 MM
F=0.9	P=412 MM
F=0.95	P=370 MM
F=0.99	P=301 MM

L'ajustement de la loi de Pearson III tronquée à la pluie journalière donne les valeurs suivantes de maxima annuels en fonction de la fréquence au dépassement:

F=0.5	P=63.4 MM
F=0.2	P=76.8 MM
F=0.1	P=86.9 MM
F=0.05	P=97.0 MM
F=0.02	P=110.4 MM
F=0.01	P=120.4 MM

Il pleut en moyenne 30 jours par an à Aourou (seules les pluies dépassant 1 mm sont prises en compte).

3.3.2.4.2. Caractéristiques du bassin

Le bassin versant de Melgue occupe une superficie de 930 km². 90% de la surface du bassin repose sur du granite précambrien entaillé par de nombreuses failles, les 10% restant étant constitués par des formations sédimentaires et volcaniques du Birrimien dans la partie aval.

Contrairement à la région située au Sud de Kayes, la latérite est absente des formations pédogénétiques dominées par des sols d'érosion.

Compte tenu de la superficie importante de ce bassin nous nous sommes limités à la méthode du CIEH pour l'évaluation du débit de pointe de la crue décennale, la méthode de Rodier-Auvray ne s'appliquant qu'à des bassins versants de moins de 200 km². L'indice global de pente (lg) a pu être estimé à 4 m/km.

Fig. 3.3.2.7 Site de Melgué

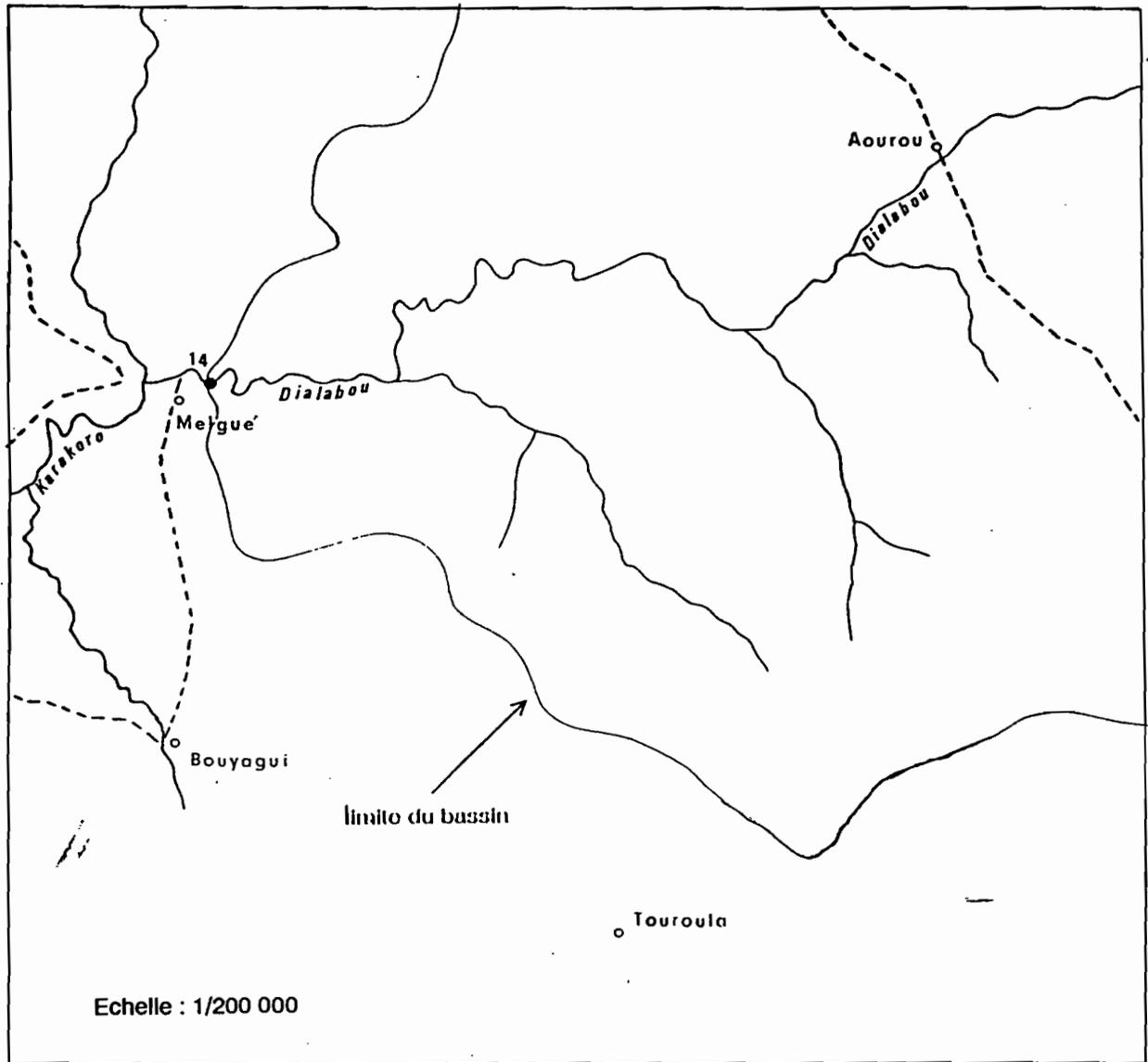
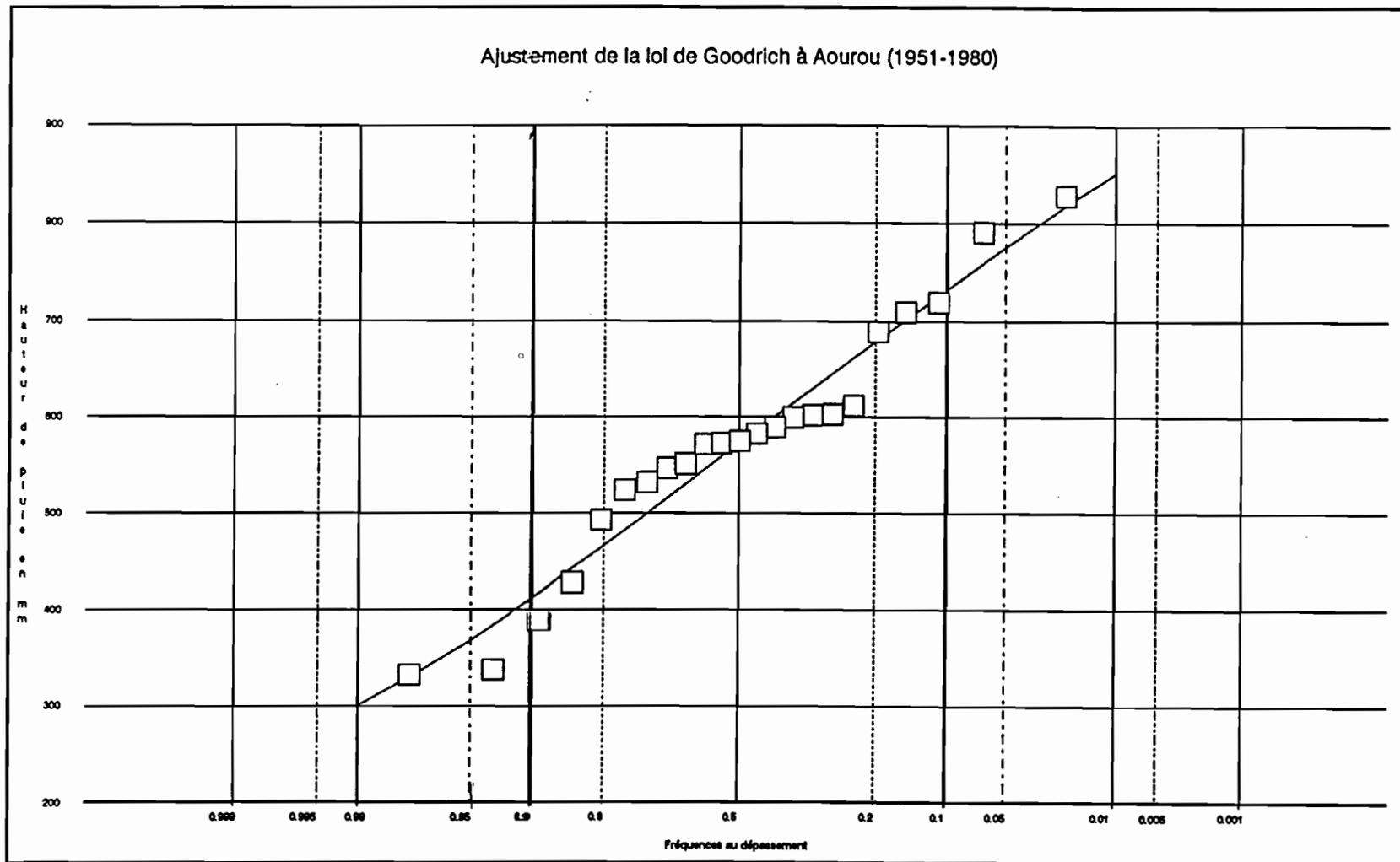


Fig. 3.3.2.8



En ce qui concerne les apports annuels, nous avons bien sûr utilisé la méthode de Rodier qui est la seule disponible.

La taille du bassin rend les estimations de débits et de volumes très aléatoires et il convient de les utiliser avec prudence. L'idéal serait d'installer une station hydrométrique à l'exutoire du bassin et de réaliser des mesures (hauteurs d'eau et jaugeages) pendant au moins deux saisons des pluies.

3.3.3. RESULTATS

3.3.3.1. Débit de pointe de la crue décennale

Le tableau 3.3.3.1 récapitule les caractéristiques des bassins qui permettent d'entrer dans les abaques de Rodier & Auvray.

Tableau 3.3.3.1 Caractéristiques des bassins

Bassins	Géologie	Sols	Perméabilité
1,2,3 6A,6B,6C,6D	schistes et quartzites	peu évolués	P2
4,5	90 % schistes et quartzites 10 % granite	peu évolués	P2
7A et 7B	Cambrien sédimentaire	sols bruns et vertisols	P2
8	Alluvions	sols hydromorphes	P2
9,10,11	40 % grés 60 % argiles	sols ferrugineux vertisols	P2
12	70 % grés 30 % argiles	sols ferrugineux sols hydromorphes	P3
13A, B, C	80 % grés 20 % argiles	sols ferrugineux sols hydromorphes	P3
14	90 % granite 10 % volcano- sédimentaire	sols d'érosion	P3-P4

P2 : bassin globalement imperméable

P3 : bassin assez imperméable avec des zones perméables

P4 : bassin globalement perméable

Tableau 3.3.3.2 Caractéristiques de la crue Décennale

BV n°	Surface km2	P10 mm	K	Pmoy. 10 mm	Kr10 %	Tb h	Tm mn	a	Qm10(R.A.) m3/s	Qm10(CIEH) m3/s
1	46	100	0.95	95	47	19	260	2.9	87	78
2	67	100	0.9	90	45	23	330	3	98	77
3	39	100	0.95	95	49	17.5	250	2.8	81	67
4	220	100	0.8	80	35	35	540	3	147	136
5	128	100	0.85	85	40	30	440	3	121	116
6A	7.4	100	1	100	57	13	170	2.6	23	14
6B	98	100	0.9	90	31	40	900	3	57	67
6C	8.5	100	1	100	56	15	200	2.6	23	17
6D	180.8	100	0.8	80	37	33	490	3	136	28
7A	9	100	1	100	65	8	110	2.6	53	31
7B	57.6	100	0.9	90	46	21	305	3	93	78
8	4	90	1	90	59	9	120	2.6	17	7
9	235	92	0.8	74	35	35	540	3	145	183
10	130	92	0.85	78	40	30	440	3	113	145
11	82	92	0.9	83	40	25	360	3	91	156
12	66	92	0.9	83	30	10	135	3	137	119
13A	21	92	1	92	35	7	90	2.5	67	78
13B	48.8	92	0.95	87	32	8	118	3	110	104
13C	490	92	-	-	-	-	-	-	-	250
14	930	87	-	-	-	-	-	-	-	396

P10 : pluie journalière ponctuelle de fréquence décennale
 K : coefficient d'abattement
 Pm10 : lame précipitée sur le bassin de fréquence décennale
 Kr10 : coefficient de ruissellement décennal

Tb : temps de base
 Tm : temps de montée
 a : rapport du débit maximum sur le débit moyen
 Qm10 : débit maximum de la crue d'étude décennale

Fig. 3.3.3.1

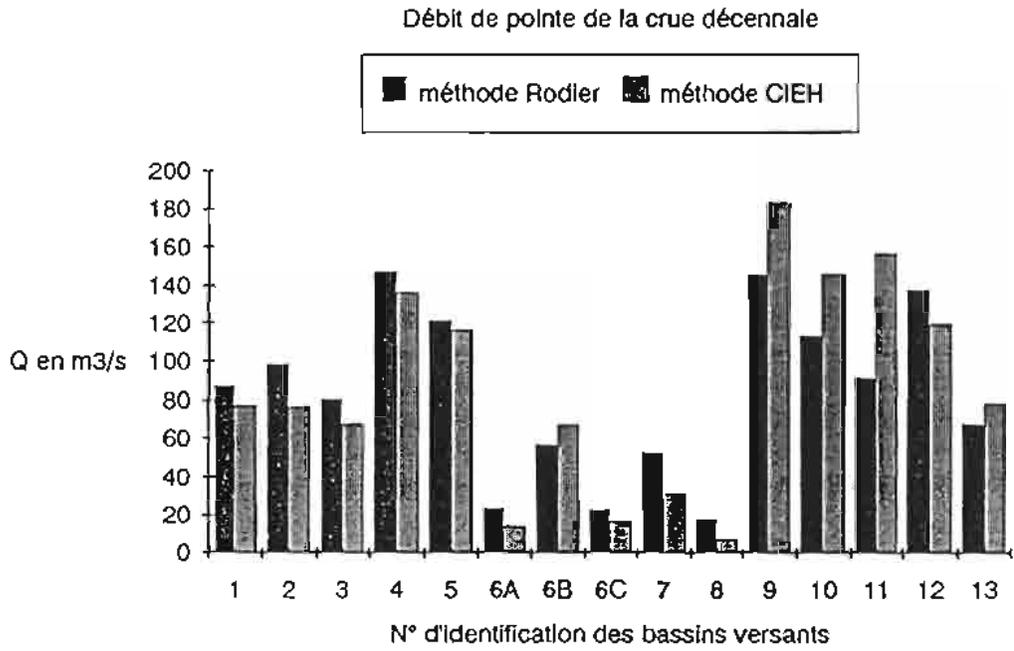
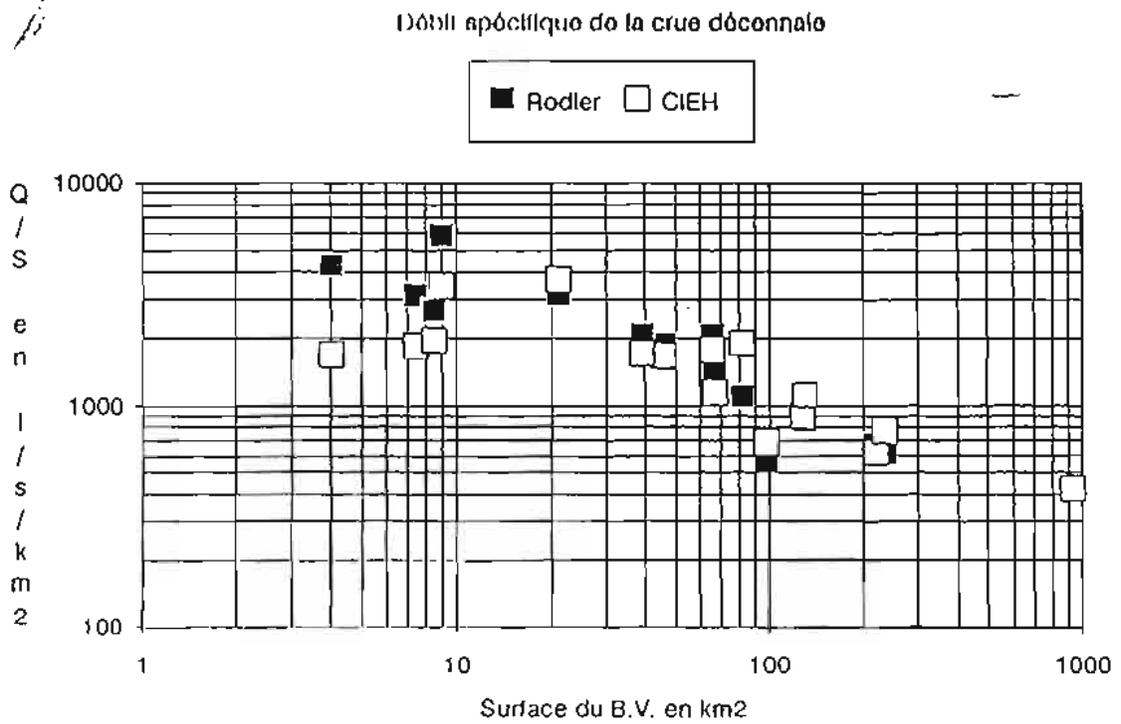


Fig. 3.3.3.2



Le tableau 3.3.3.2 donne pour chaque bassin versant, identifié par le numéro du site d'aménagement correspondant, le débit de pointe ainsi que les autres paramètres de la crue d'étude décennale (T_m et T_b en particulier). Les débits de pointes sont estimés à partir de la méthode de Rodier & Auvray et à partir de celle du CIEH.

La figure 3.3.3.1 offre une comparaison entre les débits obtenus par les deux méthodes (ORSTOM et CIEH). On peut constater que les écarts ne sont pas excessifs.

Ces résultats étant acquis, certains bassins présentent des particularités dont il convient de tenir compte pour réviser les valeurs de débit de pointe obtenues. Nous utilisons pour cela la méthode révisée de RODIER et RIBSTEIN.

Le bassin de Golmi (n°4) présente dans sa partie avale un réseau hydrographique très dégradé et des zones marécageuses. On peut minorer le débit maximum décennal d'au moins 30 %. La même correction peut s'appliquer aux petits bassins de Moulessimou (6A), Diogountourou (6C), Aroundou (7) et Nahé (8), dont la partie avale est occupée par des mares.

Le cas du bassin de Dar Salam (n° 11) est assez délicat. En effet il présente dans sa partie amont une zone de faible étendue à forte pente. Dans notre étude pour le plan directeur, nous avons choisi d'en tenir compte, et rangé ce bassin dans la catégorie R3 avec un I_g de 18,3 m/km. Il semble a posteriori plus justifié de faire abstraction de cette portion du bassin, auquel cas on opte pour la classe de relief R2, l'indice global de pente étant alors égal à 2,2 m/km. Cette correction entraîne une réduction du débit de pointe décennal supérieure à 50 %.

Cet exemple permet de se rendre compte du risque d'erreur que comporte ce type d'estimations, celles-ci étant encore plus aléatoires quand aucune observation de terrain n'a été effectuée.

Toutes ces observations étant faites, nous proposons dans le tableau 3.3.3.3 les valeurs approchées les plus probables du débit de pointe décennal, ainsi que les débits spécifiques correspondants, et la lame ruisselée sur les bassins ($L_r = K \cdot P_{10} \cdot K_{r_{10}}$).

Tableau 3.3.3.3 Estimation du débit de pointe la crue décennale après révision

Bassin	Q_{10} en m ³ /s	Q_{10}/S en l/s.km-2	$L_{r_{10}}$ en mm
Zone de BAKEL			
Tourimé	70	1522	36.1
Béma	80	1194	33.5
Gounia	65	1667	38.1
Golmi	85	386	23.5
Gabou	100	781	28.2
Moulessimou	10	1351	38.6
Golmikaré	50	510	22.4
Diogountourou	12	1412	37.4
Bouokole	136	751	29.6
Aourou	93	1615	41.4
Aroundou	30	3333	41.6
Zone de la FALEME			
Nahé	7	1750	39.7
Zone de KAYES			
Tanboukane	130	553	22.1
Diakandape	100	769	26.5
Dar Salam	45	549	22.7
Diyalla	115	1742	21.0
Papara	60	2857	26.6
Dag-Dag	110	2254	27.8
Kolegoumo	250	510	-
Zone de KARAKORO			
MELGUE	396	425	-

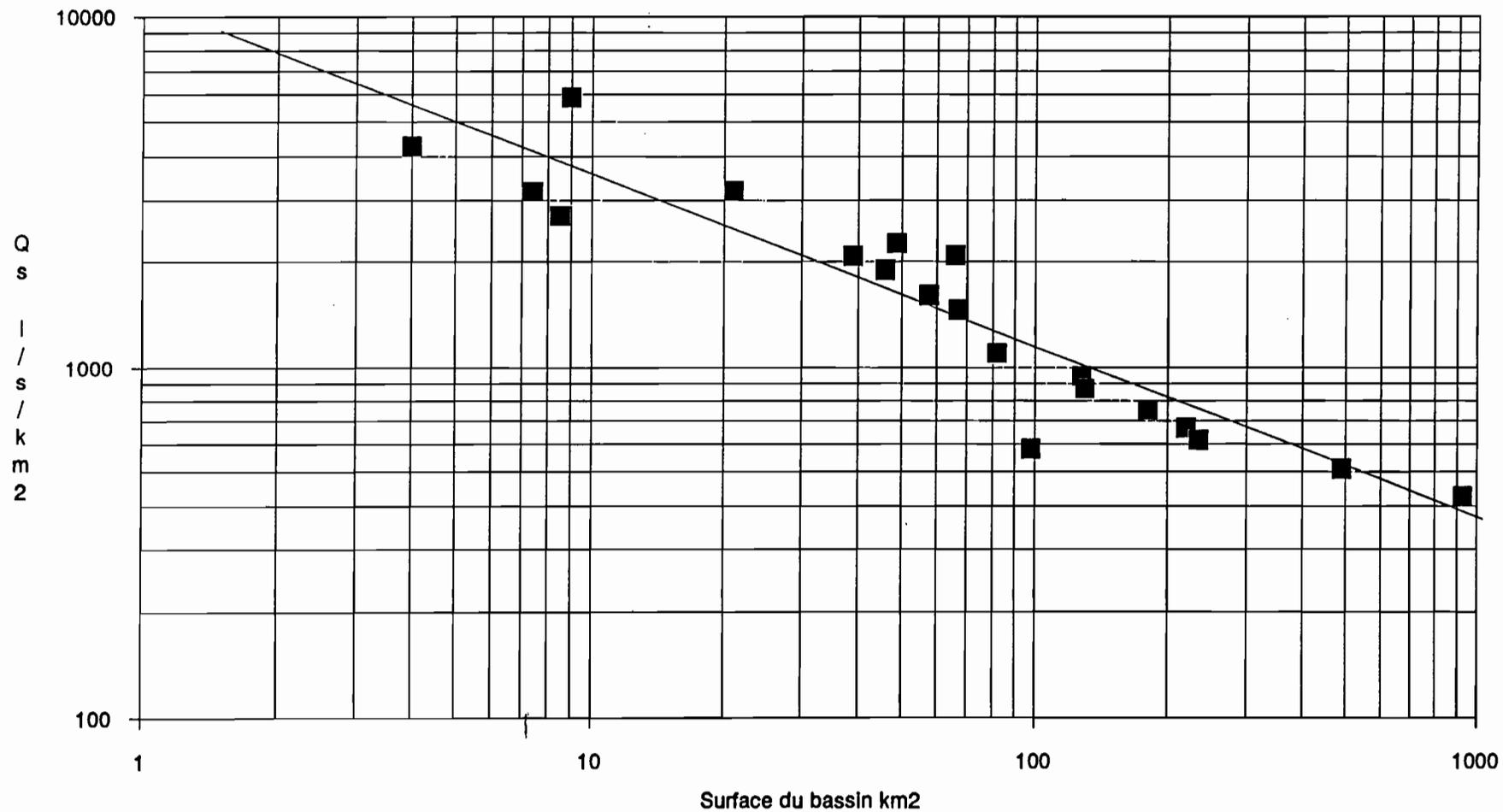
Le graphique de la figure 3.3.3.2 met en évidence la décroissance du débit spécifique avec l'accroissement de la surface du bassin.

A noter que cette décroissance serait parfaitement linéaire (en coordonnées bilogarithmiques) si la superficie du bassin était le seul facteur explicatif du débit de pointe des crues sahéliennes. On aurait alors une relation de la forme $Q_{max} = a.S_b$, avec $b < 1$.

A l'échelle régionale, pour des bassins dont les caractéristiques physiographiques sont voisines, on peut tracer un abaque qui donne une estimation moyenne du débit spécifique de pointe pour la crue décennale. La figure 3.3.3.3 donne cette estimation moyenne pour tous les bassins versants de la zone de pluviométrie interannuelle 500mm à 800 mm dans le Haut bassin du fleuve SENEGAL. Cette estimation doit être révisée en fonction de particularité locale, notamment pour les bassins versants dont la surface est inférieure à 10 km² et dont le réseau hydrographique est très dégradé et se termine par une zone d'inondation.

Fig. 3.3.3.3

Débit spécifique du maximum de la crûe décennale en fonction de la surface pour les bassins versants de la zone 500 à 800 mm du Haut Bassin du Fleuve SENEGAL



3.3.3.2. Ecoulement annuel

Le tableau 3.3.3.4 donne pour chaque bassin les volumes annuels écoulés en année médiane ($F=0,5$) et en année décennale sèche ($F=0,9$), calculés à partir des coefficients d'écoulement annuel les plus probables (voir chapitre 3.3.1.2 concernant la méthodologie appliquée).

Ces valeurs ne doivent être considérées que comme des ordres de grandeur, compte tenu de l'incertitude inhérente au choix des coefficients d'écoulement, sur des bassins où on ne dispose d'aucune donnée expérimentale.

Il a été également possible de proposer des abaques donnant le volume écoulé annuel pour les bassins de la zone pilote de BAKEL et pour celle de KAYES. Les figures 3.3.3.4 et 3.3.3.5 représentent ces abaques. Les volumes écoulés sont donnés en fonction de la surface pour une année décennale sèche, une année médiane et une année décennale humide.

Tableau 3.3.3.4 Estimation de l'écoulement annuel

BV n°	Surface km2	P(0.5) mm	P(0.1) mm	P(0.9) mm	Ke (0.5) %	Ke (0.1) %	Ke (0.9) %	Le (0.5) mm	Le (0.1) mm	Le (0.9) mm	Ve (0.5) Mm3	Ve (0.1) Mm3	Ve (0.9) Mm3
1	46	480	331	690	20	15	30	96	50	207	4.42	2.28	9.52
2	67	480	331	690	20	15	30	96	50	207	6.43	3.33	13.90
3	39	480	331	690	20	15	30	96	50	207	3.74	1.94	8.07
4	220	480	331	690	20	15	30	96	50	207	21.10	10.90	45.50
5	128	480	331	690	20	15	30	96	50	207	12.30	6.36	26.50
6A	7.4	480	331	690	27	20	38	130	66	262	0.96	0.49	1.94
6B	98	480	331	690	20	15	30	96	50	207	9.41	4.87	20.30
6C	8.5	480	331	690	27	20	38	130	66	262	1.10	0.56	2.23
6D	181	480	331	690	20	15	30	96	49	207	17.36	8.98	37.43
7A	9	480	331	690	27	20	38	130	66	262	1.17	0.60	2.36
7B	57.6	480	331	690	28	21	40	134	70	276	7.74	4.00	15.90
8	4	647	462	882	28	21	40	181	97	353	0.72	0.39	1.41
9	235	683	540	850	20	14	30	137	76	255	32.20	17.90	60.00
10	130	683	540	850	20	14	30	137	76	255	17.80	9.83	33.20
11	82	683	540	850	12	7	20	82	38	170	6.72	3.10	13.90
12	66	683	540	850	12	7	20	82	38	170	5.41	2.49	11.20
13A	21	683	540	850	20	12	30	137	65	255	2.87	1.36	5.36
13B	48.8	683	540	850	28	21	40	191	113	340	9.33	5.53	16.56
13C	490.4	683	540	850	2	1	5	14	5	43	6.70	2.65	20.84
14	930	573	412	733	2	1	5	11.5	4	37	10.70	3.72	34.10

P (F) : pluie annuelle (fréquence au dépassement)

Ke : coefficient d'écoulement moyen annuel

Le : lame écoulée annuelle

Ve : volume écoulé annuel

Fig. 3.3.3.4

Estimation du volume écoulé annuellement. Zone pilote de BAKEL

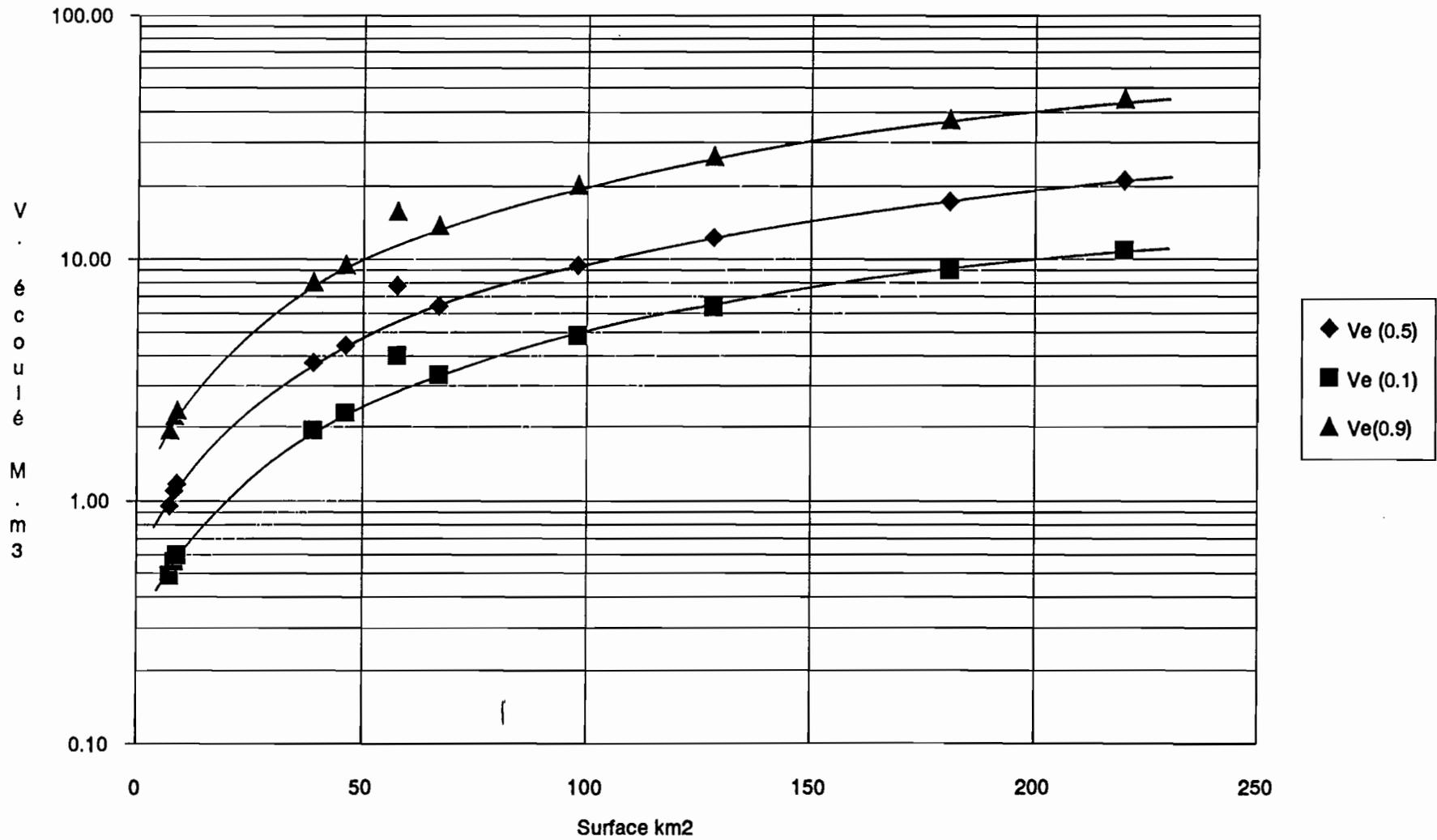
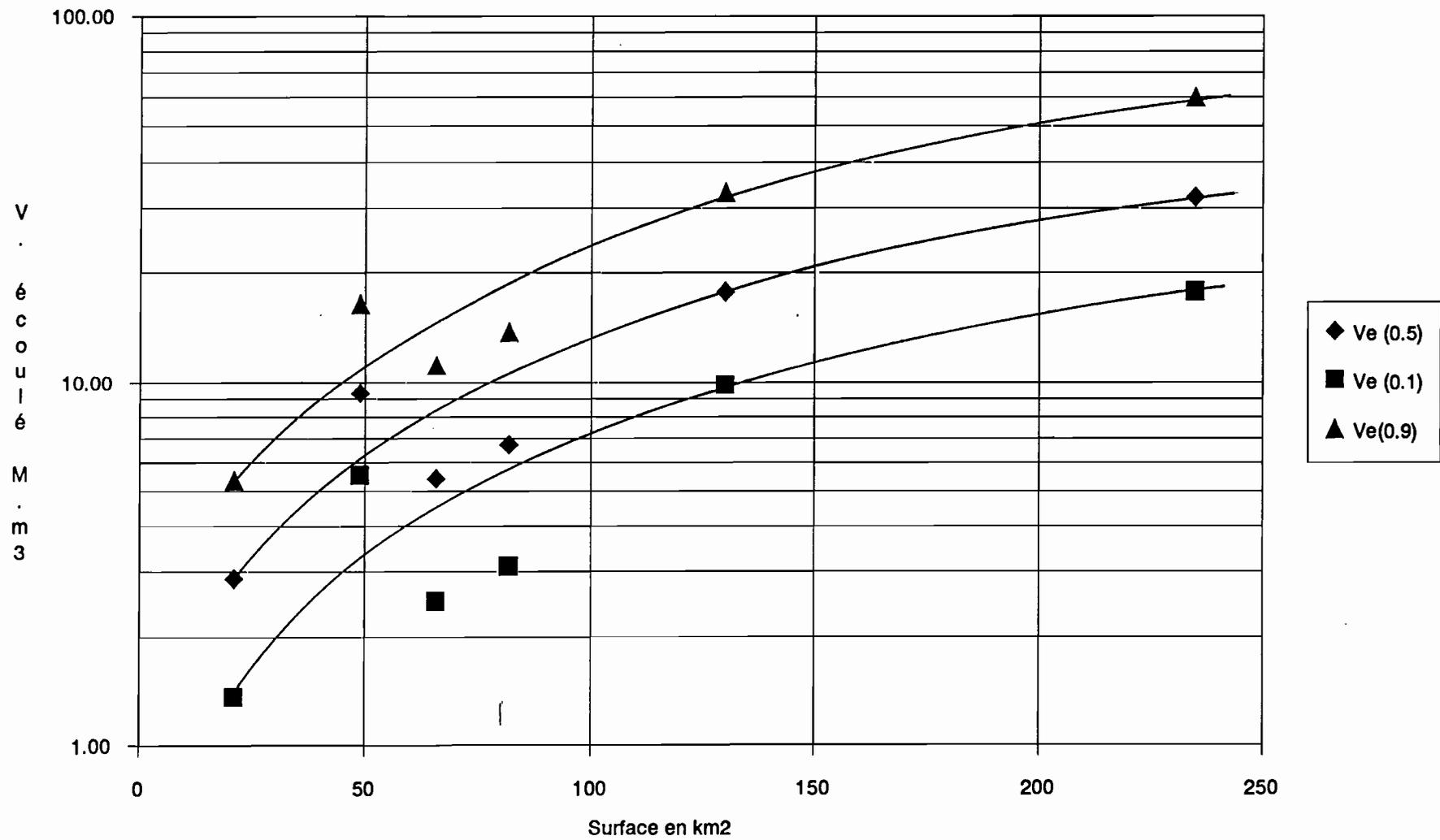


Fig. 3.3.3.5

Estimation du volume écoulé annuellement. Zone pilote de KAYES



4.0 APERÇU HYDROGÉOLOGIQUE DU HAUT BASSIN DU SENEGAL

4.1. GENERALITES SUR L'HYDROGÉOLOGIE DU HAUT BASSIN

Du point de vue de la capacité de rétention en eau toutes les formations du Haut Bassin du SENEGAL doivent être considérées comme imperméables (ROCHETTE, 1974).

Cette région du socle et de ses couvertures paléozoïques est constituée par des formations anciennes où les roches mères les mieux représentées sont les grès, les quartzites, le faciès schisteux et pélitique, les roches vertes et quelques formations granitiques ou doléritiques.

Dans les roches métamorphiques comme dans les grès, les systèmes aquifères se réduisent à des cuvettes topographiques peu étendues, favorables à l'accumulation d'alluvions et de sables.

Leur degré d'altération, fissures des séries de granite, diaclases des schistes et des grès, érosion des dolérites et des grès crée des conditions d'infiltration favorables et peut en faire de bonnes roches "magasins". Les reliefs cuirassés peuvent également laisser l'eau s'infiltrer et constituer des nappes de faibles profondeurs. L'ensemble de ces conditions favorables donnent naissance à un écoulement souterrain à faible profondeur et à des réserves à plus grandes profondeurs. Cependant aucune étude d'ensemble ne signale l'existence de nappes importantes dans le Haut Bassin.

4.1.1. Les nappes peu profondes

Les populations du plateau Mandingues ont de tout temps exploité des puits qui permettent de faire la soudure entre la fin de la saison sèche et les premières pluies. Ces petites nappes locales ont un débit très faible n'excédant pas, pour les plus importantes, 10 m³/jour. Les cônes d'éboulis, souvent très importants (région de KEDOUGOU, falaise d'Infracambrien gréseux) constituent d'excellentes roches magasins et il n'est pas rare de trouver, à la rupture de pente, des sources alimentées par le drainage de ces éboulis. Les débits de ces sources n'excèdent jamais 1 m³/jour en saison sèches.

P. MICHEL (1973) étudie les vitesses de tarissement des rivières du Haut Bassin. Il signale leur grande variabilité, mais dans l'ensemble assez rapide. Des niveaux phréatiques, en relation avec les cours d'eau existent mais uniquement " au niveau superficiel d'altération et de colluvionnement, ou dans les alluvions des lits majeurs des cours d'eau". Les seuils barrant les rivières peuvent donner naissance à de petites nappes.

4.1.2 Les réserves profondes

Différents programmes d'hydraulique villageoise ont mis en place des forages profonds. La productivité hydraulique de ces forages est fonction de la fréquence d'apparition des accidents structuraux (nbre de fractures/mètre linéaire) et la profondeur forée.

4.1.2.1 Productivité des forages

A l'occasion de la construction du barrage de MANANTALI des moyens financiers importants ont été mis en oeuvre pour l'étude des eaux souterraines aux environs immédiats du site de barrage. Les résultats sont représentatifs de toute la zone des grès blancs et grès rouges qui intéresse près de 50% du Haut bassin.

Aux environs du barrage de MANANTALI, le projet OMVS/USAID " Eaux Souterraines" a installé un réseau de 20 piézomètres et a étudié ce milieu aquifère constitué de roches consolidées fracturées. Lors de la mise en place de ce réseau, les travaux de forages ont identifié

plusieurs aquifères fracturés, appartenant à la série lithostratigraphique du groupe de Bakoye (grès siliceux et feldspathique et shistes). Ce groupe a été subdivisé en deux complexes Inférieur et Supérieur. Shématiquement, le complexe Inférieur se rattache au fond de la vallée du BAFING et le complexe Supérieur aux falaises de bordure du réservoir de MANANTALI.

La relation entre la fréquence d'apparition des accidents structuraux (nbre de fractures/mètre linéaire) et la profondeur forée dans le socle a été recherchée; Cette fréquence, sans tenir compte de la formation géologique traversée, diminue avec la profondeur forée dans le socle. Lorsque le type de roche est pris en considération, il apparaît que le grès du complexe Inférieur est plus fracturé (0.2 accident structuraux/mètre linéaire) et que toutes les autres formations (Complexe Supérieur et Inférieur) sont comparables entre elles (0.06 à 0.1 accidents structuraux/mètre linéaire).

La productivité hydraulique par formation lithostratigraphique a été recherché. Les formations du Complexe Supérieur (falaise de bordure) ont une productivité hydraulique de 14 à 22 m³/h/accidents structuraux) de loin supérieure à celle du Complexe Inférieur : environ 7 m³/h/accidents structuraux. La transmissivité moyenne estimée à partir de pompage d'essais se situe entre 3.10⁻³ et 3.10⁻⁴ m²/s et le coefficient d'emmagasinement varie entre 10⁻³ et 10⁻⁵.

4.1.2.2 Qualité des eaux de forage

Les analyses chimiques des eaux souterraines sur le réseau piézométrique de l'OMVS montrent une grande diversité de faciès géochimiques tels :

- * bicarbonatées calcique et magnésiennes (50% des piézomètres)
- * chlorurées calciques et magnésiennes (40% des piézomètres)
- * sulfatées calciques et bicarbonatées (20% des piézomètres).

Les eaux sont le plus souvent douces, mais, il arrive de rencontrer des eaux saumâtres. Leur aptitude à l'irrigation varie de "médiocre" à "excellente" selon la minéralisation de l'eau. Les résultats de ces analyses chimiques supposent l'existence de plusieurs réseaux fracturés juxtaposés ou superposés et non communicants. Ces différents réseaux délimitent plusieurs aquifères anisotropes.

4.1.2.3 Niveaux piézométriques et recharge des aquifères

La comparaison des valeurs moyennes des paramètres physicochimiques (conductivité électrique et pH) entre la fin de la saison sèche et la fin de la saison des pluies montre une diminution qui suppose une recharge verticale des réseaux fracturés, par infiltration des eaux de pluies, faiblement minéralisées. Les hautes valeurs de turbidité, mesurées sur les échantillons d'eaux souterraines sont théoriquement caractéristiques de celles des eaux de surface, ce qui tend à confirmer l'infiltration des eaux de pluies.

L'analyse des variations piézométriques réalisée par l'OMVS montre que :

- la principale source de recharge des aquifères demeure l'infiltration des eaux de pluie limitée au mois d'août et de septembre (2 mois par an)
- les pertes d'eau sont liées principalement, à l'évaporation (10 mois par an), l'évapotranspiration et à l'égouttement probable d'un réseau fracturé à un autre.
- la charge hydraulique (proportionnelle à une colonne d'eau de 54 m) provoquée par la mise en eau du réservoir de MANANTALI n'influence pas la piézométrie des nappes captées par le réseau de l'OMVS.

- la profondeur des niveaux d'eau par rapport au sol est faible ($NS < 3.7$ m/sol). La surface piézométrique semble, alors, être contrôlée par le relief lequel contrôle évoque une recharge verticale efficace.

4.2. ESQUISSE DES SYSTEMES AQUIFERES DU HAUT BASSIN DU FLEUVE SENEGAL

SOW (1984) propose une carte simplifiée des aquifères du Haut Bassin. Cette carte réalisée a été à partir des cartes géologiques du bassin (ROCHETTE, 1974), des travaux géologiques et géomorphologiques de ELUARD (1962), BASSOT (1966) et MICHEL (1973). (Carte 4.2.1).

En utilisant la méthode de classification hydrogéologique de l'ORSTOM (DUBREUIL & GUISCAFRE, 1971), SOW distingue 5 unités hydrogéologique dans le Haut Bassin du Fleuve SENEGAL :

- P2 désigne les roches à perméabilité d'interstices qu'on retrouve dans les sables , les grès, mais où les rivières drainent les nappes;
- P3 désigne l'alternance des roches perméables et imperméables; grès argileux, calcaires argileux sur plusieurs mètres. Les débits sont plus faibles qu'en P2
- P4 désigne les roches à circulations de fissures
- P6 désigne le groupe de roches cristallines ou cristallophylliennes susceptibles de renfermer des niveaux aquifères;
- P7 forme le groupe des roches recristallisées, totalement imperméables (quartzites, calcaires cristallins...)



Carte 4.2.1

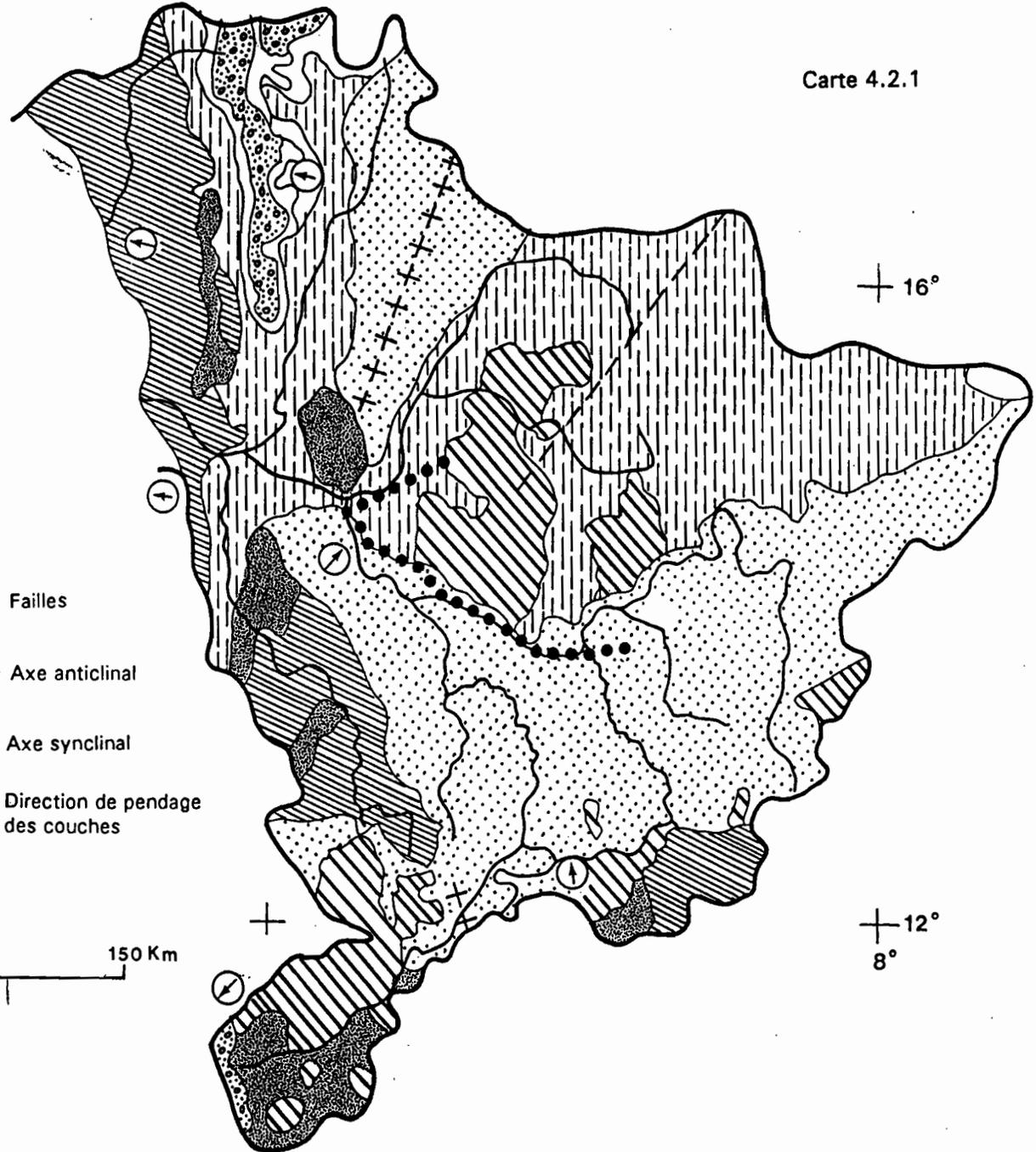
Esquisse Hydrogéologique du Haut Bassin du Fleuve SENEGAL

d'après A. A. SOW, 1984

- P2  Grés blancs
Grés rouges
- P3  Calc. Grés
Tillites
- P4  Grés
Grés quartzites
- P6  Roches vertes
Quartzites
- P7  Dolérites
- P7  Granites
Granodiorites

-  Failles
-  Axe anticlinal
-  Axe synclinal
-  Direction de pendage
des couches

0 150 Km



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.2.1.1 - Vitesse des vents	C-10
Tableau 2.2.2.1 - Direction des vents	C-10
Tableau 2.3.1 - Les facteurs thermiques	C-12
Tableau 2.3.1 - Les facteurs thermiques(suite)	C-13
Tableau 2.3.2 - Humidité relative moyenne en%	C-15
Tableau 2.3.3 - Durée de l'insolation	C-17
Tableau 2.3.4 - Evapotranspiration potentielle en mm	C-17
Tableau 2.4.1 - Liste des stations données sous forme de pluies journalières	C-19
Tableau 2.4.2 - Liste des stations homogénéisées,	C-21
Tableau 2.4.1.1 - Importance cumulée en % des mois de saison des pluies	C-22
Tableau 2.4.2.1 - Lames d'eau précipitées moyenne (mm)	C-25
Tableau 2.4.3.1 - Ecart à la moyenne 1951 - 1980 en %	C-26
Tableau 2.4.4.1 - Statistiques des pluies annuelles, lois ajustées	C-28
Tableau 2.4.4.2 - Statistiques des pluies annuelles, récurrences	C-28
Tableau 2.4.3.2 - Données pluviométriques de la dernière décennie et écarts à la moyenne 51-80	C-29
Tableau 2.4.5.1 - Statistiques des pluies journalières Loi de Pearson III sur le fichier 1951-1980	C-33
Tableau 3.1.1 - Valeur de C pour chaque point considéré	C-43
Tableau 3.1.2 - Hauteurs moyennes décennales en fonction de la fréquence au dépassement - BAKEL -	C-44
Tableau 3.1.3 - Hauteurs moyennes décennales en fonction de la fréquence au dépassement - MOUSSELI MOU	C-46
Tableau 3.1.4 - Hauteurs moyennes décennales en fonction de la fréquence au dépassement - GOLMIKARE- ..	C-48
Tableau 3.1.5 - Hauteurs moyennes décennales en fonction de la fréquence au dépassement - DIOUROBOUGOU	C-50
Tableau 3.1.6 - Hauteurs moyennes décennales en fonction de la fréquence au dépassement - AMBIDEDI	C-52
Tableau 3.1.7 - Hauteurs moyennes décennales en fonction de la fréquence au dépassement - TAMBOUKANE	C-54
Tableau 3.1.8 - Hauteurs moyennes décennales en fonction de la fréquence au dépassement - SABE FARA ..	C-56
Tableau 3.1.9 - Hauteurs moyennes décennales en fonction de la fréquence au dépassement - Station 11	C-58
Tableau 3.1.10 - Hauteurs moyennes décennales en fonction de la fréquence au dépassement - DIALEBOUGOU	C-60
Tableau 3.1.11 - Hauteurs moyennes décennales en fonction de la fréquence au dépassement - KAYES	C-62
Tableau 3.1.12 - Hauteurs moyennes décennales en fonction de la fréquence au dépassement - NAHE	C-64
Tableau 3.2.1.1 - Correspondance entre hauteurs à BAKEL et aux stations 6A-6B et 6C	C-68
Tableau 3.2.1.2 - Crue "A" GIBB - Irrigation de 50 000 ha	C-70
Tableau 3.2.1.3 - Stations 6A - 6B et 6C - Crue "B" GIBB - Irrigation de 75 000 ha	C-72
Tableau 3.2.1.4 - Stations 6A - 6B et 6C - Crue "C" GIBB - Irrigation de 100 000 ha	C-73
Tableau 3.2.2.1 - Etablissement de la relation entre débit à Bakel et débit à Kayes	C-74
Tableau 3.2.2.2 - Station de Kayes - Gestion de la crue GIBB "A" (HMD)	C-76
Tableau 3.2.2.2 - Station de Kayes - gestion de la crue GIBB "A" (QMD)	C-78
Tableau 3.2.2.4 - Résultats des analyses de correspondance entre hauteurs à Kayes et aux stations du bief KAYES - AMBIDEDI	C-79
Tableau 3.2.2.5 - Crue "A" au droit de S9 et S10 en fonction de la fréquence des crues de la Falémé	C-84
Tableau 3.2.2.6 - Crue "A" au droit de S11 et S12 en fonction de la fréquence des crues de la Falémé	C-85
Tableau 3.2.3.1 - Inventaire des données hydrométriques du KARAKORO	C-86
Tableau 3.2.3.2 - Inventaire des observations hydrométriques de la KOLOMBINE	C-86
Tableau 3.3.2.1 - Caractéristiques physiques des bassins de la zone de Bakel	C-97
Tableau 3.3.2.2 - Etude géologique des bassins	C-99
Tableau 3.3.2.3 - Caractéristiques physiographiques des bassins	C-101
Tableau 3.3.3.1 - Caractéristiques des bassins	C-107
Tableau 3.3.3.2 - Caractéristiques de la crue décennale	C-108
Tableau 3.3.3.3 - Estimation du débit de pointe la crue décennale après révision	C-110
Tableau 3.3.3.4 - Estimation de l'écoulement annuel	C-114

LISTE DES FIGURES

Fig. 2.1.1 - Les climats du bassin versant du fleuve SENEGAL	C-9
Fig 2.2.1 - Roses des vents en saison sèche	C-11
Fig. 2.2.2 - Roses des vents en saison humide	C-11
Fig. 3.3.1 - Variation de la température moyenn	C-14
Fig. 2.3.2 - Variations des humidités	C-16
Fig 2. 3.3 - Durée de l'insolation	C-16
Fig 2.3.4 - Evaporation et facteurs thermiques déterminants de l'écoulement	C-18
Fig. 2.4.1 - Carte de situation des postes climatiques	C-20
Fig 2.4.2 - Carte des isohyètes interannuelles 1951-1980	C-23
Fig. 2.4.1.1 - Répartition des pluies mensuelles	C-24
Fig. 2.4.3 - Variabilité interannuelle des précipitations $CV = f(\text{latitude})$	C-25
Fig. 2.4.3 - Déficit en % de la période de sécheresse	C-27
Fig. 2.4.4 - Ajustements statistiques des pluviométries annuelles	C-30 à C-32
Fig. 2.4.5.1 - Statistique des pluies journalières	C-34
Fig. 2.4.5.1 - Statistique des pluies journalières	C-35
Fig. 3.1.0 - Hydrographie du bassin supérieur du Fleuve Sénégal	C-38
Fig. 3.1 - Module à KAYES et BAFING MAKANA	C-39
Fig. 3.2 - Module annuel de KAYES - Moyenne mobile(7 ans)	C-40
Fig. 3.1.2 - BAKEL - HMD dans le système NG PK 794	C-45
Fig. 3.1.3 - MOUSSELI MOU - HMD dans le système NG - PK 807	C-47
Fig. 3.1.4 - GOLMIKARE - HMD dans le système NG - PK 816	C-49
Fig. 3.1.5 - DIOROUBOUGOU - HMD dans le système NG - PK 823	C-51
Fig. 3.1.6 - AMBIDEDI - HMD dans le système NG - PK 877	C-53
Fig. 3.1.7 - TAMBOUKANE - HMD dans le système NG - PK 897	C-55
Fig. 3.1.8 - SABE FARA - HMD dans le système NG - PK 905	C-57
Fig. 3.1.9 - DARSALAM - HMD dans le système NG - PK 913	C-59
Fig. 3.1.10 - DILEBOUGOU - HMD dans le système NG - PK 920	C-61
Fig. 3.1.11 - KAYES - HMD dans le système NG - PK 924	C-63
Fig. 3.1.12 - NAHE (Falémé) - HMD dans le système NG - PK 879	C-65
Fig. 3.2.1.1 - Régression entre hauteurs à BAKEL et aux stations 6°	C-69
Fig. 3.2.1.2 - Crue "A" aux stations 6°	C-71
Fig. 3.2.2.1 - Correspondance débits BAKEL - KIDIRA et KAYES	C-75
Fig. 3.2.2.2 - KAYES - Crue artificielle GIBB "A" en fonction des crues de la Falémé	C-77
Fig. 3.2.2.4.1 - Correspondance entre hauteurs à KAYES et TAMBOUKANE en crue et décrue	C-80
Fig. 3.2.2.4.2 - Correspondance entre hauteurs à KAYES et SABE FARA en crue et décrue	C-81
Fig. 3.2.2.4.3 - Correspondance entre hauteurs à KAYES et à DARSALAM en crue et décrue	C-82
Fig. 3.2.2.4.4 - Correspondance entre hauteurs à KAYES et à DIALEBOUGOU en crue et décrue	C-83
Fig. 3.3.1 - Carte de situation des bassins versants étudiés	C-90
Fig. 3.3.1.1.1 - Forme de la crue décennale suivant Rodier & Auvray	C-91
Fig. 3.3.2.1 - Bassins versants étudiés dans la zone de BAKEL	C-94
Fig. 3.3.2.2 - Ajustement de la loi de Galton à Bakel (1951-1980)	C-95
Fig. 3.3.2.3 - Bassins versants étudiés dans la zone pilote de Kayes	C-98
Fig. 3.3.2.4 - Ajustement de la loi de Goodrich à Kayes (1951-1980)	C-100
Fig. 3.3.2.5 - Bassin versant de Nahé	C-102
Fig. 3.3.2.2 - Ajustement de la loi de Galton à Kidira (1951-1980)	C-103
Fig. 3.3.2.7 - Site de Melgué	C-105
Fig. 3.3.2.4 - Ajustement de la loi de Goodrich à Aourou (1951-1980)	C-106
Fig. 3.3.3.1 - Débit de pointe de la crue décennale	C-109
Fig. 3.3.3.2 - Débit spécifique de pointe de la crue décennale	C-109
Fig. 3.3.3.3 - Débit spécifique du maximum de la crue décennale en fonction de la surface pour les bassins versants de la zone 500 à 800 mm du haut bassin du Fleuve SENEGAL	C-112
Fig. 3.3.3.4 - Estimation du volume écoulé annuellement. - Zone pilote de Bakel	C-115
Fig. 3.3.3.5 - Estimation du volume écoulé annuellement. - Zone pilote de KAYES	C-116
Fig. 4.2.1 - Esquisse hydrologique du haut bassin du fleuve Sénégal	C-120