

**ORSTOM**



Programme CEE - DG XII N° TS2A-0017-F (CD)

**Projet Pilote " Sine Saloum "**  
**Bas-fond de THYSSE KAYMOR**  
**Rapport de synthèse :**  
**HYDROLOGIE- HYDROGEOLOGIE**

Jean ALBERGEL  
Alain BERNARD  
Honoré DACOSTA  
Gaston DUBEE  
Yannick PEPIN  
Jean Luc SAOS

DAKAR, Décembre 1991

# Sommaire

## Projet Pilote " Sine - Saloum " Bas-fond de NDIBA et de KEUR SAMBA DIAMA Rapport de synthèse : Volet HYDROLOGIE - HYDROGEOLOGIE

1. OBJECTIFS, METHODOLOGIE, MOYENS .....	3
1.1 Objectifs de l'étude hydrologique .....	3
1.2 Méthodes d'études mises en oeuvre sur les bassins du SINE-SALOUM .....	3
1.2.1 Le dispositif expérimental des bassins du SINE SALOUM .....	3
1.2.2 Périodes des observations, quantité et qualité des mesures .....	4
1.3 Moyens de l'étude .....	6
1.3.1 Moyens humains .....	
1.3.2 Moyens financiers .....	6
2. FACTEURS CLIMATIQUES DE LA ZONE DE PROJET .....	7
2.1 Caractéristiques de la pluviométrie régionale .....	7
2.2 Statistique des pluies annuelles .....	7
2.3 Pluies mensuelles .....	8
3. CARACTERES PHYSIOGRAPHIQUES DES BASSINS VERSANTS ET BAS-FONDS .....	14
3.1 Bassin versant de NDIBA .....	14
3.2 Bassin versant de KEUR SAMBA DIAMA .....	15
4. LES ECOULEMENTS DE SURFACE .....	15
4.1 Les écoulements annuels et mensuels .....	15
4.2 Etudes des crues .....	16
4.2.1 Crues observées .....	16
4.2.2 Crues d'étude .....	19
4.3 Etudes des tarissements .....	21
5. ECOULEMENTS SOUTERRAINS .....	22
5.1 Géologie et caractérisation de l'aquifère .....	22
5.2 Piézométrie et variations saisonnières .....	22
6. TRANSPORTS DE MATIERES LIES A L'ECOULEMENT .....	25
7. ELEMENTS DE REGIONALISATION .....	26
7.1 Régionalisation des paramètres de la ressource en eau .....	26
7.2 Régionalisation de la crue d'étude .....	29
8. CONCLUSION : HYDROLOGIE ET MISE EN VALEUR DU BAS-FOND .....	30
BIBLIOGRAPHIE .....	32

## Projet Pilote " Sine - Saloum " Bas-fond de NDIBA et de KEUR SAMBA DIAMA Rapport de synthèse : Volet HYDROLOGIE - HYDROGEOLOGIE

### 1. OBJECTIFS, METHODOLOGIE, MOYENS

#### 1.1 Objectifs de l'étude hydrologique

La persistance de la période de sécheresse des années 1970 à 1984 a eu une forte incidence sur les niveaux de productions végétales et sur l'équilibre du milieu naturel, dans le bassin arachidier sénégalais. Compte tenu des pratiques d'exploitation, de la forte pression démographique et du contexte de dégradation du milieu, l'ISRA a lancé, en 1983, un programme de recherches sur les problèmes d'érosion et de baisse de la fertilité dans la région. Le retour d'une pluviométrie satisfaisante laisse espérer un accroissement de la production; cependant inféodée à une meilleure gestion de l'espace rural par les villageois et une prise en compte, par la recherche, de l'ensemble du système de production.

Exutoire naturel des flux observés sur les bassins versants, nervure essentielle du paysage, unité écologique et agronomique à part entière, le bas-fond participe à l'ensemble de la dynamique de surface de la toposéquence.

Jusqu'en 1988, le dispositif expérimental en place n'incluait qu'un seul bas-fond non cultivé (NDIBA, dont le bassin versant a une superficie 16.2 km<sup>2</sup>). Aussi, après une prospection locale, le bas-fond de Keur Samba Diama a été choisi selon les critères suivants :

- Faire l'objet d'un début d'exploitation de la part de la communauté villageoise
- Dépendre d'un bassin versant de l'ordre de 100 km<sup>2</sup>.

Ces deux bas-fonds ont permis d'introduire, dans le dispositif expérimental du bilan hydrologique, la problématique de l'aménagement de ces zones humides très particulières (cf volet morpho-pédologique).

Les caractéristiques hydrologiques recherchées sont les suivantes:

- Mesures des précipitations: mise en place d'un réseau pluviométrique, bilan, intensité, répartition spatiale et lames précipitées,
- Mesures des écoulements de surface : création et étalonnage des stations hydrométriques, détermination des volumes écoulés, des relations pluie-débit, écoulement de base et prédétermination des crues,
- Mesures des transports solides et dissous par prélèvements d'échantillons d'eau pour analyse au laboratoire de l'ORSTOM à Dakar.

#### 1.2 Méthodes d'études mises en oeuvre sur les bassins du SINE-SALOUM

##### 1.2.1 Le dispositif expérimental des bassins du SINE SALOUM

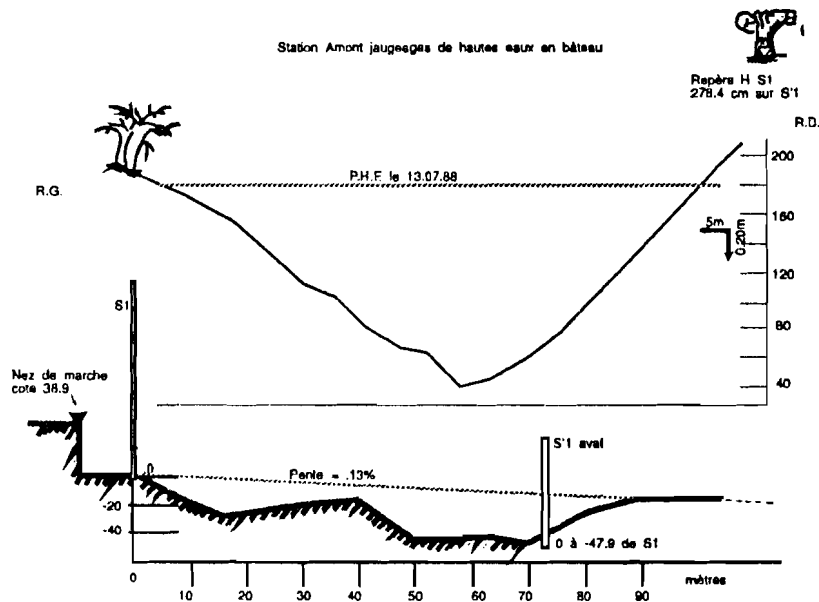
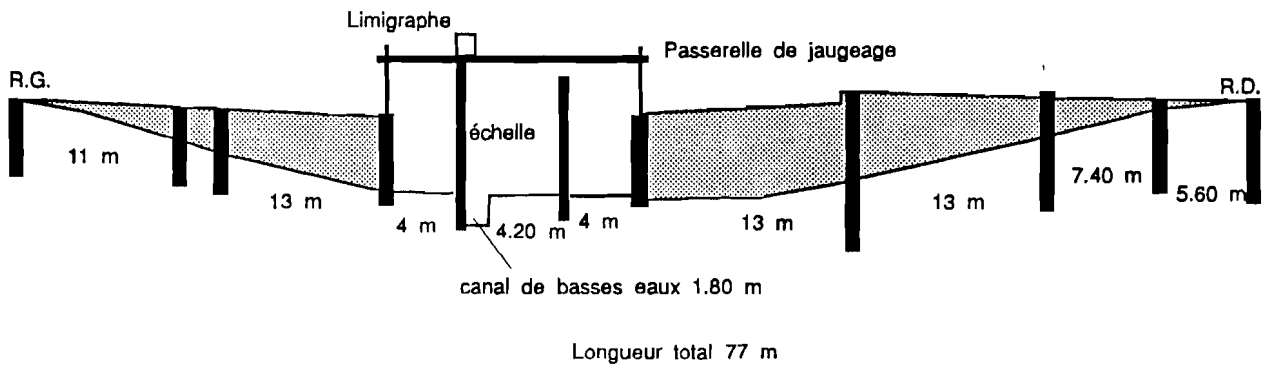
Le dispositif expérimental installé sur les deux bas-fonds étudiés, est composé d'un réseau dense de mesure de la pluie dans le bas-fond et sur les versants, de 2 stations hydrologiques équipées pour l'enregistrement des hauteurs d'eau et de sections de jaugeages aménagées. Quatre autres stations hydrologiques ont été installées sur de plus petits bassins et sont représentatives de l'hydrologie sur les versants. Le suivi systématique de l'érosion a été réalisé sur trois de ces petits bassins versants. Les fluctuations du niveau piézométrique de la nappe sont mesurées à partir des puits villageois. La nappe phréatique, se trouvant dans les formations profondes du Continental Terminal (30m en moyenne de la surface du sol), a une dynamique indépendante des limites des bassins versants choisis. Les mesures piézométriques ont été réalisées à une échelle plus représentative sur l'ensemble de l'inter-fluve BAO BOLON / Marigot de DJIGUIMAR. La figure 1 donne un aperçu de ce dispositif.



mais ne permet plus une mesure fiable du débit lorsque les déversoirs sont noyés. En 1989, une nouvelle station de jaugeage a été installée en amont de la construction en béton, il s'agit d'une section naturelle propice à la mesure des débits qui a été matérialisée par un câble tendu au dessus de la ligne des plus hautes eaux. Les mesures de vitesse sont réalisées à partir d'une embarcation pneumatique. 74 écoulements ont été observés et analysés ce qui a permis une analyse statistique des crues. Le dispositif d'observation de la pluie a évolué au cours des années, celui représenté sur la figure 1 est valable pour l'année 1989. Le nombre de pluviomètres et de pluviographes a toujours été suffisant pour une bonne appréciation de la pluie moyenne, de la répartition des pluies et des valeurs des intensités. Trois pluviographes ont fonctionné pendant toute la période des observations et ont permis d'une part une étude statistique des intensités-durée-fréquence et d'autre part une étude de l'agressivité des pluies quant à l'érosion par la méthode de WISCHMEYER (1978).

Figure 2 : Station de NDIBA

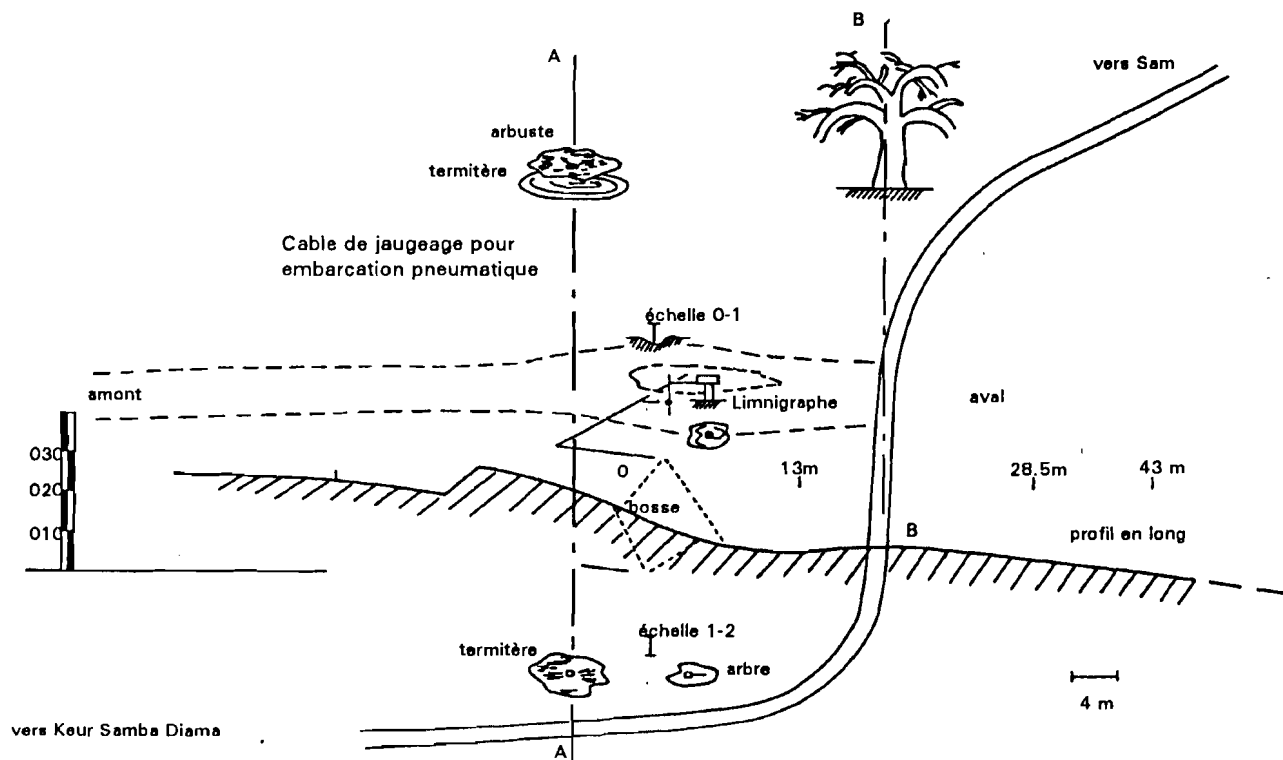
Barrage déversoir de NDIBA S1



Le bas-fond de KEUR-SAMBA-DIAMA (surface du bassin = 75.6 km<sup>2</sup>) a été observé de 1988 à 1990. L'équipement du bassin versant n'ayant été complet qu'en 1989, les bilans hydrologiques n'ont pu être réalisés que sur les deux dernières années d'observations. Deux stations hydrologiques ont été installées, la première pour suivre le remplissage de la mare, et la seconde en aval du seuil de la mare pour suivre les écoulements (figure 3). Sur ce bas-fond ont été étudiés, la ressource en eau, les crues, le remplissage et tarissement de la mare et les vitesses de l'eau en rapport avec le déracinement du riz.

L'étude de l'érosion a été réalisée sur les petits bassins versants dans le cadre d'une action thématique programmée de recherche concernant la conservation des eaux et des sols sur les versants. Les résultats intéressants la mise en valeur des bas-fonds seront rappelés dans ce rapport de synthèse.

Figure 3 : Station hydrologique du bas-fond de KEUR SAMBA DIAMA



Des suivis réguliers de la nappe à partir des puits villageois ont été réalisés entre 1988 et 1990, deux puits ont été mesurés hebdomadairement dans chaque bassin versant. En 1989, le dispositif complet représenté sur la figure 1 a été suivi et les principales caractéristiques hydrologiques ont pu être décrites.

### 1.3 Moyens de l'étude

#### 1.3.1 Moyens humains

Le volet hydrologique a été coordonné par J. ALBERGEL, hydrologue au centre ORSTOM de DAKAR et H. DACOSTA, assistant à l'Université de DAKAR, département de Géographie physique. Le dispositif expérimental de l'étude des eaux de surface a été installé et suivi par A. BERNARD, hydrologue du centre ORSTOM de DAKAR. Le suivi piézométrique a été réalisé par P. SARR étudiant stagiaire sous la direction de J.L. SAOS, hydrogéologue au centre ORSTOM de DAKAR. L'hydrométrie a été assurée par G. DIATTA, technicien hydrologue au centre ORSTOM de DAKAR. Plusieurs stagiaires ont contribué aux mesures et à leur interprétation :

- O. DIONE stagiaire EIER, 2ème année (1990)
- Y. KAMARA & F. KEITA mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, option génie rural, de l'ENSA de Thiès (1990)
- S. BADJI stagiaire EIER, 2ème année (1991)

G. DUBEE et Y. PEPIN ont participé aux travaux d'informatisation de la banque de données.

#### 1.3.2 Moyens financiers

Le volet hydrologique a bénéficié des concours financiers de la CEE DG12, de l'ORSTOM, Département Eaux Continentales, UR 2 DEC et de l'action thématique de recherche : ATP PIREN. Le matériel pour équiper les bassins versant a été totalement prêté par le centre ORSTOM de DAKAR et par l'ISRA. Les frais de fonctionnement des équipes hydrologiques se sont élevés en moyenne à 8 000 ECUS/ an, financés à 40% par la CEE et 60% par l'ORSTOM pour la période 1988 à 1990.

## 2. FACTEURS CLIMATIQUES DE LA ZONE DE PROJET

### 2.1 Caractéristiques de la pluviométrie régionale

Trois postes peuvent servir de référence pluviométrique pour les bassins versants de Thyse-Kaymor. L'un, Nioro du Rip, observé depuis 1931, fait partie du réseau national; le second, le PAPEM, se trouve dans l'Unité Expérimentale de l'ISRA, à quelques 2 km au nord-nord-est des bassins versants. Les observations au Papem remontent à 1970. Le troisième poste, Georgetown, se trouve en territoire gambien. Les trois stations forment les sommets d'un triangle à l'intérieur duquel se situent les bassins étudiés. Nioro du Rip et Georgetown ont des relevés de très bonne qualité, mais comportant des lacunes.

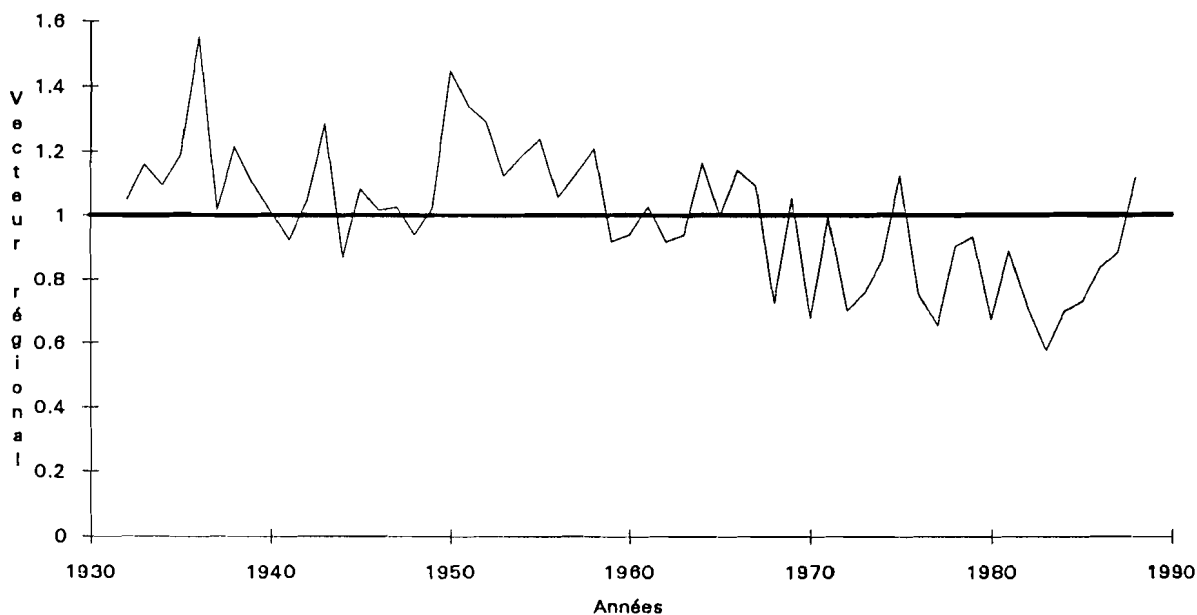
En prenant en compte tous les pluviomètres environnant nos bassins une homogénéisation des données pluviométriques, par les vecteur régional, a été tentée (BRUNET MORET, 1980). Le plus faible coefficient de corrélation trouvé entre le vecteur et les stations est de 0.862 ce qui indique l'existence de relations serrées entre les stations. L'indice pluviométrique annuel a été calculé pour la région.

Cette variation des indices pluviométriques du vecteur régional permet de caractériser la pluie à l'échelle régionale de 1932 à 1988. La figure 4 en montre une évolution en dents de scie dans laquelle on peut dégager quatre grandes coupures:

- 1932 - 1943: période globalement excédentaire malgré un petit déficit en 1941.
- 1944 - 1949: la pluviométrie oscille autour de la moyenne.
- 1950 - 1958: pluviométrie très excédentaire.
- 1960 - 1988: le déficit pluviométrique va croissant. Pendant cette période de 28 ans seules 7 années accusent un léger excédent par rapport à la moyenne.

Les stations pluviométriques les plus proches de nos bassins ont été créés après 1968 donc au début de la sécheresse.

Figure 4  
Variation des indices pluviométriques du vecteur régional



### 2.2 Statistique des pluies annuelles

L'étude statistique des pluies annuelles a été faite sur la base des stations de Nioro du Rip et du Papem. Nous avons écarté celle de Ndiba du fait de la faiblesse de son échantillon (12 ans). A ces échantillons on a ajusté trois lois de distribution :

- la loi de Gauss ou loi normale,
- la loi de Galton ou loi log-normale,
- la loi de Goodrich qui est une distribution exponentielle.

Le choix de la loi est basée sur le test de BRUNET-MORET (1977) qui permet de retenir la loi dont la distribution théorique se rapproche le plus de la distribution expérimentale de l'échantillon et qui prend bien en compte les valeurs extrêmes.

Nous avons retenu pour les deux stations la loi de Goodrich. Les pluviométries annuelles de différentes période de retour, allant de la centennale sèche à la centennale humide, sont indiquées dans le tableau 1. Les valeurs médianes sont 760mm au PAPEM et 800 mm à NIOURO DU RIP.

**Tableau 1 : Pluies annuelles de diverses fréquences excédentaires.**

Station	PERIODE EXCEDENTAIRE				PERIODE DEFICITAIRE			
	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Niouro	1079	1170	1275	1346	569	526	490	472
Papem	1094	1186	1292	1362	539	487	440	416

En année décennale humide la région de Thyse Kaymor enregistrerait des pluies de l'ordre de 1080 mm et en année décennale sèche quelques 570 mm. Le coefficient d'irrégularité  $K_3$  de RODIER (1975) est de 1,9.

### 2.3 Pluies mensuelles

Dans le tableau 2 est indiquée la répartition mensuelle des pluies dans la région de Thyse-Kaymor en valeurs absolue et relative. Elle est quasi identique pour les deux stations à quelques exceptions près, avec une saison des pluies centrée sur le mois d'août (36-37%).

**Tableau 2 : Répartition des précipitations mensuelles à Niouro et au Papem en mm.**

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Niouro	0	0.5	0	0	4.2	64.7	172	288	192	61.5	11.1	0.5
%	0	0.1	0	0	0.5	8.2	21.9	36.7	24.5	7.8	.1	.1
Papem	0	0	0	0	2.9	58.5	132	232	163	33.8	0	0
%	0	0	0	0	0.5	9.4	21.3	37.2	26.2	5.4	0	0

Ce tableau traduit l'homogénéité climatique déjà signalée (LAMAGAT J P, ALBERGEL J et al, 1989).

### 2.4 Pluviométrie journalière

Le pas de temps journalier est l'information de base des chroniques de précipitations. Cette donnée de base est un paramètre déterminant dans l'étude et le calcul des crues des petits bassins versants. C'est pourquoi la connaissance de la distribution statistique de ces précipitations est de première importance.

Les hauteurs de pluies journalières ont été saisies sous le logiciel PLUVIOM. On a ajusté à cet échantillon la loi Gamma incomplète de Pearson III tronquée.

Toutes les pluies étant prises en compte,  $F_1(0)$  est égale à  $M/365.25$  avec  $M$  égal au nombre moyen de jours de pluie. Il est cependant préférable de calculer  $F_1(0)$  avec  $M'$ , nombre moyen théorique de jours



de pluies 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, oubli de l'observateur) toutes les pluies inférieures à 0.5 mm sont écartées de l'échantillon.

Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau 3 pour les stations de Nioro du Rip et du Papem. On constate que les deux stations présentent les mêmes caractéristiques. Ainsi l'averse de fréquence médiane à Nioro et au Papem est respectivement de 83.5 mm et 77.4 mm; l'averse de période de retour une fois tous les dix ans est de 116 mm à Nioro et 108 mm au Papem.

Tableau 3 : Précipitations journalières fréquentielles

STATION	PERIODE DE RETOUR					
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
NIORO (mm)	83	102	116	130	149	163
PAPEM (mm)	77	94	108	121	138	151

### 2.5 Bilan climatique pluie/évaporation

La demande climatique en eau de la région a été estimée à partir du calcul de l'évapotranspiration par la formule de PENMAN (ETPen) journalière à l'échelle décadaire à la station climatologique de NIORO du RIP. Le tableau 4 récapitule les valeurs moyennes de l'ETPen décadaires sur la décennie 1980-1989 (C. MBAYE, 1991).

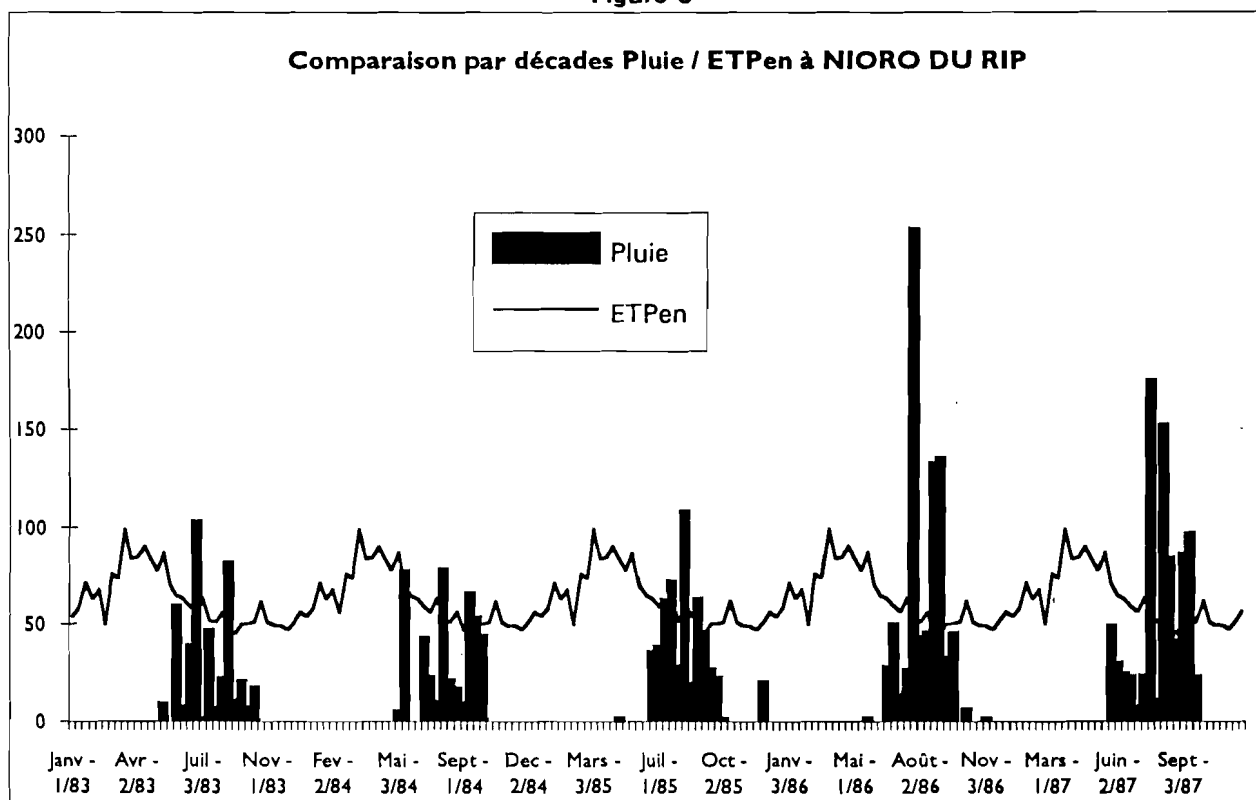
La demande climatique en eau se situe entre 3 et 12 mm, elle est maximum en Mars et avril et minimum en novembre et décembre.

Tableau 4 : Moyenne journalière décadaire d' ETPen, 1980-1989  
Station agroclimatique de NIORO DU RIP

Décade	Max. mm	Min. mm	Moy. mm	E.T mm	Décade	Max. mm	Min. mm	Moy. mm	E.T mm
Janvier -1	7	4	5.4	1	Juillet -1	6.8	4.6	5.9	0.7
Janvier -2	7.6	3.9	5.8	1.1	Juillet -2	7	4.2	5.6	0.9
Janvier -3	8.8	4.4	6.5	1.5	Juillet -3	7.7	4.3	5.8	1.1
Février -1	9.7	4.9	6.3	1.3	Août -1	6.8	4.3	5.2	0.8
Février -2	8.8	5.3	6.8	1.2	Août -2	6.4	4	5.1	0.9
Février -3	8.7	3.1	6.2	1.8	Août -3	6.4	3.9	5.1	0.9
Mars -1	9.7	5.2	8.2	1.3	Sept. -1	6.1	3.7	4.7	0.8
Mars -2	9.3	5.5	7.4	1.2	Sept. -2	6.1	3.9	4.8	0.8
Mars -3	10.7	6.6	9	1.5	Sept. -3	5.9	4.1	5	0.7
Avril -1	10.6	6.8	8.4	1.2	Octob. -1	6.4	3.9	5	0.8
Avril -2	10.6	6.8	8.5	1.2	Octob. -2	6.7	4.1	5.1	0.7
Avril -3	11.9	6.7	9	1.7	Octob. -3	7.3	4.1	5.6	1
Mai -1	9.7	6.7	8.4	1	Nov. -1	7.1	4	5.1	0.9
Mai -2	9.4	6.6	7.8	0.7	Nov. -2	5.7	4.1	4.9	0.6
Mai -3	9.4	6.7	7.9	0.8	Nov. -3	5.8	4	4.9	0.6
Juin -1	9.7	6.1	7.1	1.1	Dec. -1	6.1	3.8	4.7	0.7
Juin -2	8.5	5.1	6.5	1.1	Dec. -2	6.7	4.3	5.1	0.9
Juin -3	8.1	4.9	6.3	1.1	Dec. -3	6.1	4	5.1	0.8

La Figure 5 compare la demande climatique en eau et les précipitations à la station de Nioro du Rip par décade. On remarquera que la demande évaporative est souvent plus forte que les précipitations même au coeur de la saison des pluies. L'année 1984 montre un déficit quasi permanent tandis que 1985 montre une satisfaction de l'ETPen par les pluies malgré un total pluviométrique faible.

Figure 5



## 2.4 LA Pluviographie

Tous les pluviogrammes enregistrés pendant les huit années, ont été dépouillés à l'aide du Logiciel PLUVIOM. Les fichiers résultants ont été traités avec le programme «POH 126» qui fournit les hyétogrammes classés et centrés ainsi que les paramètres permettant le calcul de l'indice d'érodibilité de WISCHMEYER.

Les enregistrements obtenus montrent des hyétogrammes simples avec généralement une pointe unique survenant en début d'averse. Au milieu de la saison des pluies les averses durent plus longtemps et se terminent par une longue traîne. Des averses de très forte intensité, parfois supérieure à 180 mm/heure, ont été enregistrées ainsi que des averses complexes ayant deux ou trois pointes, avec des intensités variables.

A chaque station et pour chaque averse, on a déterminé : la hauteur maximale de pluie tombée pour des pas de temps de 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 minutes et l'intensité horaire correspondante en mm/h. Le tableau 5 donne les caractéristiques de ces averses.

**Tableau 5 : caractéristiques des averses**

Hauteur mm	Date	Heure	5 MIN	10 MIN	15 MIN	30 MIN	45 MIN	60 MIN	90 MIN	120 MIN	180 MIN	Durée MIN
73.6	13.7.1983	18 HRE 45	99.6	96.0	85.2	76.8	74.3	61.5	42.7	32.9	23.2	250
41.6	25.9.1984	10 HRE 14	166.8	142.2	128.0	83.2	55.5	41.6	27.7	20.8	13.9	29
80.0	1.9.1985	6 HRE 58	128.4	124.8	115.2	99.6	86.4	73.0	51.9	39.8	26.7	127
64.0	2.8.1986	20 HRE 1	78.0	78.0	78.0	78.0	68.7	59.1	42.2	32.0	16.0	96
60.8	22.8.1987	9 HRE 55	52.8	52.2	51.6	50.6	49.1	44.8	35.9	30.4	20.3	120
76.8	13.7.1988	18 HRE 25	90.0	89.4	89.6	89.6	80.0	67.7	49.5	37.8	25.6	145
35.2	17.6.1989	19h58	66.0	66.0	66.0	64.4	46.7	35.2	23.5	17.6	11.7	46
49.5	17.7.1990	14H 12	178.8	158.4	144.0	93.2	62.7	47.0	31.8	24.4	16.5	136

Dans le but de pouvoir définir des averses types, nous avons cherché à ajuster une loi statistique sur les intensités et durées d'averses observées au pluviographe de NDIERGUENE. Pour former un échantillon de valeurs représentatives, seules les averses dépassant 5 mm ont été conservées. Cette échantillon de 6 années contient alors 120 valeurs. Vue la forme de la fonction de répartition des points expérimentaux, deux lois ont été testées : la loi de distribution Gausso-logarithmique et la loi exponentielle généralisée. Par comparaison graphique entre la fonction de distribution théorique et celle des points expérimentaux, la même loi a été choisie pour tous les échantillons : la loi de distribution exponentielle généralisée avec les paramètres d'échelle et de forme positifs (loi de GOODRICH). La fonction de répartition d'une telle loi s'écrit :

$$F(x) = 0.5 (\sigma + 1) - \sigma e^{-u^{1/\delta}} \text{ avec } u = (x - x_0)/s$$

$x_0$  est le paramètre de position, borne inférieure de l'intervalle de définition de la variate

$s$  est le paramètre d'échelle, différent de 0, ayant les mêmes dimensions que  $x$  et  $x_0$

$\delta$  est le paramètre de forme différent de 0

$\sigma$  est égal à 1 avec le signe de  $\sigma\delta$ , ici positif

Rappelons que l'ajustement a été réalisé avec plusieurs observations par an et que la récurrence d'un événement s'obtient à partir de la proportionalité suivante :

$$\frac{\text{Récurrence}}{\text{nombre total d'années}} = \frac{1}{F(x) \cdot \text{nombre total d'observations}}$$

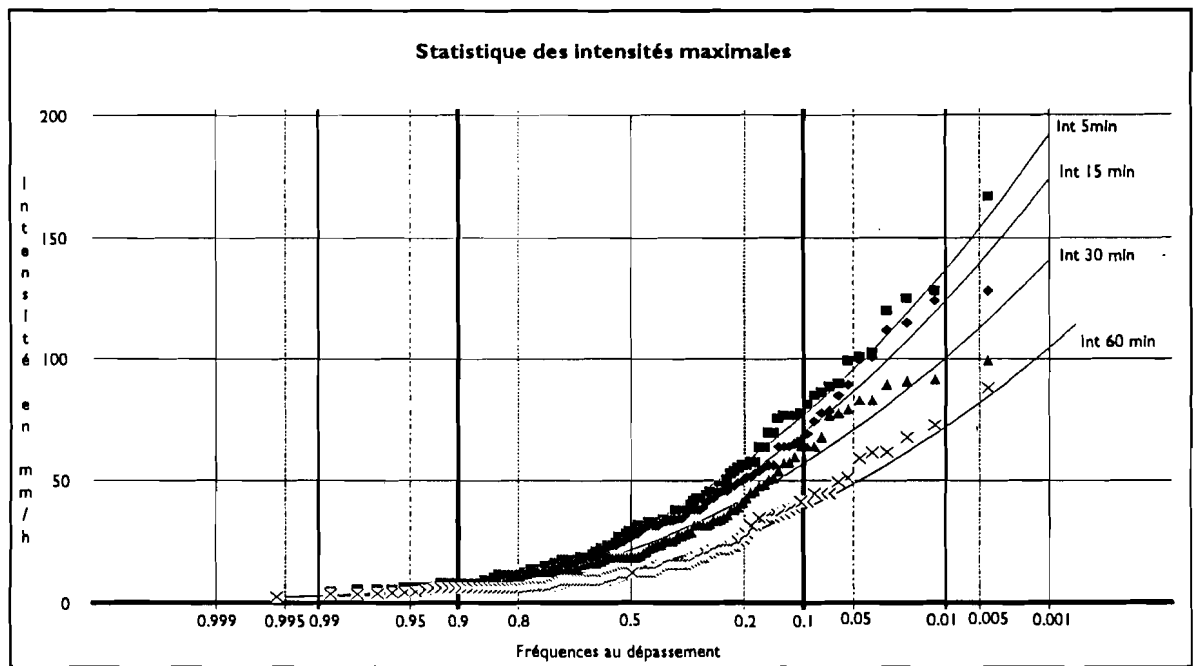
Le tableau 6 récapitule les données de ces ajustements pour les intensités maximale en 5, 15, 30 et 60 minutes et pour la durée totale de l'averse. Pour séparer deux averses le critère suivant a été choisi: deux averses sont considérées comme distinctes si elles sont séparées par un temps de 15 minutes où l'intensité est nulle.

**Tableau 6 : Ajustement d'une loi de GOODRICH aux intensités et durée des averses**

Variable	$x_0$	$s$	$\delta$	Valeur de la variable pour une récurrence:		
				2 ans	5 ans	10 ans
Int en 5min (mm/h)	2.3	36.9	0.846	114	137	154
Int en 15min (mm/h)	2.7	32.9	0.852	104	124	139
Int en 30 min (mm/h)	2.6	29.0	0.845	84	101	112
Int en 60 min (mm/h)	2.7	16.2	0.953	59	72	82
Durée de l'averse (mn)	10.9	85.6	0.931	300	366	415

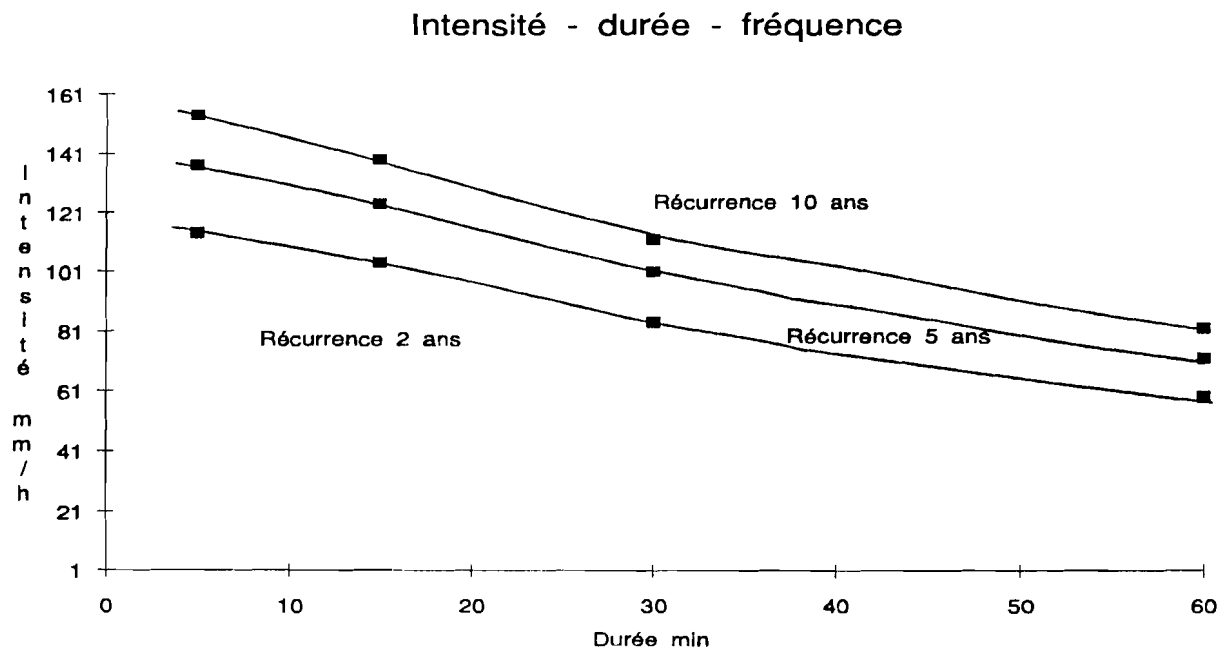
La figure 6 montre la qualité de l'ajustement de la loi de GOODRICH aux intensités maximales tombées en 5, 15 et 30 minutes.

Figure 6



La figure 7 représente les intensités - durées - fréquences pour les averses dans la région étudiée.

Figure 7



Cette étude permet de définir deux averses type, la première de récurrence 2 ans et la seconde de récurrence 10 ans. L'analyse de la forme des averses à partir des hyétoigrammes centrés montre que la majorité des averses sont formées d'un corps simple suivi d'une traîne. L'intensité maximale arrive en début d'averse, elle décroît ensuite rapidement. Nous définirons l'averse de récurrence bi-annuelle type comme une averse ayant une hauteur total et une répartition en intensité et durée de récurrence bi-annuelle. Nous définirons l'averse de récurrence décennale type comme une averse ayant une hauteur total et des intensités / durées de récurrence décennale mais avec une longueur totale de récurrence bi-annuelle. En effet, ce ne sont pas les averses les plus longues qui sont les plus fortes et les plus intenses. Les tableau 7 et 8 donne la forme de ces deux averses et les figures 8 et 9 les représentent.

Tableau 7

Averse de récurrence 2 ans		
Tranche horaire	Intensité	Hauteur
	mm/h	mm
0 à 5 min	94	7.8
5 à 10 min	114	9.5
10 à 15 min	104	8.7
15 à 20 min	84	7.0
20 à 25 min	64	5.3
25 à 30 min	44	3.7
30 à 35 min	38	3.2
35 à 40 min	36	3.0
40 à 45 min	34	2.8
45 à 50 min	34	2.8
50 à 55 min	32	2.7
55 à 60 min	32	2.7
60 à 65 min	20	1.7
65 à 70 min	10	0.8
70 à 220 min	4.5	11.3
220 à 300 min	3	4.0
Total		76.9

Tableau 8

Averse de récurrence 10 ans		
Tranche horaire	Intensité	Hauteur
	mm/h	mm
0 à 5 min	120	10.0
5 à 10 min	154	12.8
10 à 15 min	143	11.9
15 à 20 min	107	8.9
20 à 25 min	80	6.7
25 à 30 min	69	5.8
30 à 35 min	65	5.4
35 à 40 min	62	5.2
40 à 45 min	55	4.6
45 à 50 min	50	4.2
50 à 55 min	45	3.8
55 à 60 min	35	2.9
60 à 65 min	20	1.7
65 à 70 min	10	0.8
70 à 125 min	7	6.4
125 à 290 min	6	16.5
290 à 300 min	3	0.5
Total		108.0

Figure 8

Averse de récurrence 2 ans

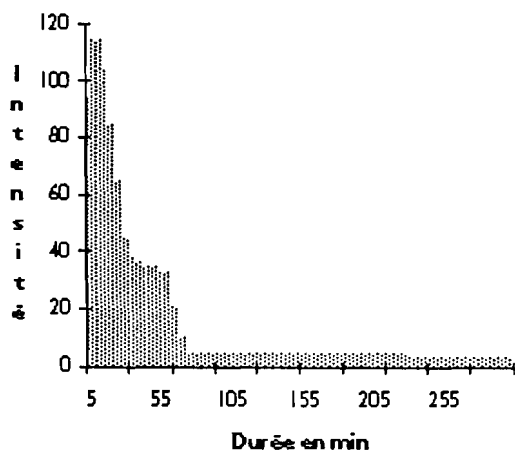
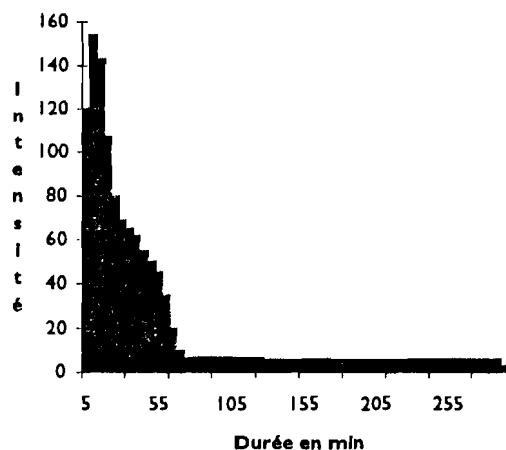


Figure 9

Averse de récurrence 10 ans



Les intensités des pluies sont directement liées à l'érosion des sols par l'énergie cinétique des gouttes de pluie lors de leur impact sur le sol. Cette énergie cinétique a été calculée par tranche d'intensité et traduite en énergie globale disponible et en indice d'érodibilité de WISCHMEYER, pour chaque averse. La sommation des indices RUSA est donnée pour chaque année dans le tableau 9 au pluviographe de NDIERGUENE. La moyenne des indice RUSA pour les années où les observations sont complètes est 260 sur l'ensemble des pluviographes (WISCHMEIER, SCHMIDT 1978).

**Tableau 9 : Somme des indices RUSA sur le pluviographe de NDIERGUENE**

année	valeur	année	valeur
1983	301	1987	323
1984	116	1988	417
1985	198	1989	200
1986	381	1990	308

Moyenne RUSA = 280

### 3. CARACTERES PHYSIOGRAPHIQUES DES BASSINS VERSANTS ET BAS-FONDS

Les bassins étudiés sont situés sur les formations sédimentaires du Continental Terminal mises en place au Pliocène. Le faciès dominant de ce continental terminal est un grès hétérométrique, argileux, bariolé et azoïque. Ces dépôts contiennent localement des lentilles de sable, des bancs d'argile kaolinite et des passées de gravillons ferrugineux. Le modelé, les paysages et les sols ont été décrits dans le volet morpho-pédologique qui donne également une carte des états de surface. Nous rappellerons ici que la végétation est très dégradée et que la perméabilité du substratum est très limitée par des formations pelliculaires de surface dès les premières pluies.

Les bassins sont très cultivés ( plus de 50% de la superficie ), les cultures dominantes sont le mil et l'arachide. Dès que les cultures sont mises en place et que l'arachide devient couvrante, l'effet de battance des sols diminue et les coefficients de ruissellement aux exutoires sont plus faibles.

#### 3.1 Bassin versant de NDIBA

Caractéristiques du bassin de NDIBA S1		
Surface	16.2	km <sup>2</sup>
Périmètre	16.8	km
Indice de compacité	1.17	
Longueur du rectangle équivalent	5.40	km
largeur du rectangle équivalent	3.00	km
Pente moyenne	0.005	m/km
Indice de pente de ROCHE	0.067	

Hypsométrie		
Altitude	> Alt	Surface
m	%	Km <sup>2</sup>
46	0	0.00
45	0.8	0.13
40	38	6.15
35	59	12.74
25	89	14.45
20	97	15.65
19.5	100	16.2

Classe de Relief suivant RODIER et AUVRAY	R3
Classe de Perméabilité suivant RODIER et AUVRAY	P3

### 3.2 Bassin versant de KEUR SAMBA DIAMA

Caractéristiques du bassin de KEUR SAMBA DIAMA		
Surface	75.6	km <sup>2</sup>
Périmètre	19.6	km
Indice de compacité	0.63	
Longueur du rectangle équivalent	13	km
largeur du rectangle équivalent	5.82	km
Pente moyenne	0.002	m/km
Indice de pente de ROCHE	0.039	

Hypsométrie		
Altitude	> Alt	Surface
m	%	Km <sup>2</sup>
46	0	0.00
45	1	0.76
42.5	39	29.51
40	63	47.67
35	81	61.28
30	92	69.61
25	98	74.15
20	100	75.60

Classe de Relief suivant RODIER et AUVRAY	R2-R3
Classe de Perméabilité suivant RODIER et AUVRAY	P3

## 4. LES ECOULEMENTS DE SURFACE

### 4.1 Les écoulements annuels et mensuels

L'essentiel de l'écoulement dans ces bassins provient du ruissellement pendant la crue. L'analyse des différents hydrogrammes montre l'inexistence des écoulements de base, on note que le bas-fond s'assèche quelques heures après le passage de la crue, et il ne subsiste plus que quelques mares temporaires.

Les lames écoulées sont la somme des lames ruisselées pendant les différentes crues qui surviennent entre Mai et Octobre. Les résultats sont regroupés (tabl. 10) pour les deux bassins. Une relation entre la pluie moyenne et la lame écoulee n'est pas évidente. Sur la période observée, hormis l'année 1987, on obtiendrait une relation satisfaisante sur le bassin de NDIBA (figure 10). L'année 1987 est atypique, la pluviométrie totale est plutôt forte (699.2 mm), mais aucun événement pluvieux n'est important, l'intensité maximale en 5 minutes n'a pas dépassé 60 mm/h, la pluie la plus forte 58 mm, survient au mois d'août lorsque le couvert végétal est très développé et forme déjà un frein à l'écoulement. L'écoulement moyen annuel est de 15.5 mm sur 8 années d'observations (pour une pluviométrie moyenne de 612 mm). Cet écoulement correspond à une production de 15500 m<sup>3</sup> par km<sup>2</sup> ou 250000 m<sup>3</sup> pour l'ensemble du bassin versant de NDIBA.

Dans la période observée (1983 à 1990 pour NDIBA et 1988 à 1990 pour KEUR SAMBA DIAMA) seules les années 1987 et 1988 sont proches de la moyenne voire légèrement excédentaire, les années 1983 et 1984 sont particulièrement sèches (proches de la fréquence 0.01).

La distinction d'un écoulement mensuel n'a pas de sens étant donné la répartition aléatoire des crues pendant la saison des pluies.

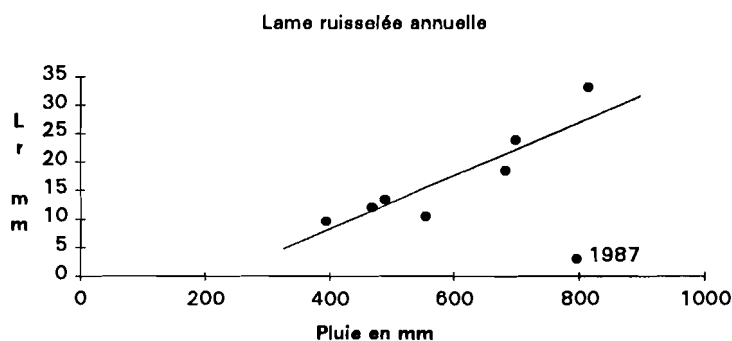
**Tableau 10 : Ecoulement annuel**

Station NDIBA S1 16.2 km <sup>2</sup>					
Année	Pmoy. mm	Qmax m3/s	Vr m3	Lr mm	Kr %
1983	393.6	35.4	157338	9.71	2.47
1984	469.2	57.2	196685	12.14	2.59
1985	554.8	16.0	169663	10.47	1.89
1986	682.7	44.9	298190	18.41	2.70
1987	795.3	3.89	49519	3.06	0.38
1988	816.5	57.2	538857	33.26	4.07
1989	699.2	55.5	385743	23.81	3.41
1990	488.6	21.0	219380	13.54	2.77

Station KEUR SAMBA DIAMA 75.6 km <sup>2</sup>					
Année	Pmoy. mm	Qmax m3/s	Vr m3	Lr mm	Kr %
1989	765	14.8	159520	2.11	0.28
1990	494.9	0.302	8690	0.12	0.20

**Figure : 10**



## 4.2 Etudes des crues

### 4.2.1 Crues observées

L'écoulement annuel dans les bas-fond est constitué de quelques crues (rarement plus de 10) violentes et brèves dans le temps. Dans le bas-fond de NDIBA ( bassin versant de 16 km<sup>2</sup>) les plus fortes crues ne durent pas plus de 24 heures et dans celui de KEUR SAMBA DIAMA (bassin versant de 75 km<sup>2</sup>), les temps de base ne dépassent pas 48 heures. Après chaque crue, l'écoulement s'arrête laissant des chapelets de mares dans le bas-fond à la faveur des seuils naturels. Dans le bas-fond de KEUR SAMBA DIAMA on a observé 9 crues en deux ans et 74 crues en 8 ans dans le bas-fond de NDIBA.

Les plus fortes crues surviennent en début d'hivernage avant la mise en place de la végétation et au moment où les orages à fortes intensités sont les plus probables. Une seule crue peut représenter plus de 50% de l'écoulement annuel. Le tableau 11 montre la part de la plus forte crue dans l'écoulement annuel. Les tableaux 11 à 13 récapitulent les caractéristiques des plus fortes crues observées sur les deux bassins. Sur le bassin de KEUR SAMBA DIAMA les deux plus fortes crues ont été observées correspondent aux dates du 13 juillet et du 1er août 1989. Le limnigraphe n'était pas encore installé. Mais les lectures d'échelles confirmées par le nivellement de plusieurs délaissés de crues ont permis une bonne estimation des paramètres de ces crues.



**Tableau 11 : part du volume de la plus forte crue dans l'écoulement annuel dans le bas-fond de NDIBA (B.V. 16.8 km<sup>2</sup>)**

Année	Pm mm	Ve 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	Date	Crue la plus forte	
				Ve 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	Part %
1983	394.0	157.6	13/07	141.5	89.8
1984	469.2	233.0	02/06	159.7	68.5
1985	554.8	170.7	19/07	71.5	42.1
1986	682.7	299.5	02/08	182.9	61.0
1987	795.3	49.3	17/06	20.9	42.4
1988	819.9	543.3	13/07	208.9	38.5
1989	704.3	385.5	17/06	370.0	96.0
1990	465.3	219.4	08/08	95.2	43.4

Pm = pluie moyenne en mm sur le bassin

Ve = volume écoulé en millier de m<sup>3</sup>

**Tableau 12 : Caractéristiques des crues observées, bassin de NDIBA (16.8 km<sup>2</sup>)**

DATE	P Moy mm	Qmax m <sup>3</sup> /s	Tm hh:mn	Tb hh:mn	Vr 1000 m	L r mm	Qs l/s.km <sup>2</sup>	Kr %
13.7.83	69.9	35.4	1:33	12:06	141.5	8.74	2190	12.50
2.6.84	49.7	57.2	1:00	7:33	159.7	12.1	3530	24.33
14.7.84	39.7	2.13	1:26	9:13	19.1	1.18	131	2.97
19.7.85	31.0	16	1:02	6:29	71.5	4.42	988	14.28
19.8.85	57.4	1.65	3:36	8:30	15.4	0.95	102	1.65
1.9.85	68.6	10.8	2:07	9:33	74.0	4.57	667	6.66
2.8.86	105.7	44.9	1:31	8:09	182.9	11.29	2770	10.68
3.8.86	52.1	7.9	1:52	4:52	43.6	2.69	488	5.16
13.9.86	50.4	4.08	2:04	8:39	40.1	2.48	252	4.92
17.6.87	33.6	3.89	1:50	5:34	21.0	1.29	240	3.84
8.8.87	54.4	2.32	2:38	8:30	19.0	1.17	143	2.15
13.7.88	79.2	57.2	1:05	6:50	208.9	12.9	3530	16.29
28.7.88	89.1	14.6	1:10	7:20	83.4	5.12	901	5.75
1.8.88	64.3	24.3	0:35	9:30	133.0	8.13	1500	12.64
2.8.88	48.8	12.9	1:20	7:10	75.3	4.63	796	9.49
17.6.89	46.4	55.5	0:52	12:28	370.3	22.86	3425.9	49.30
17.7.90	50.6	20.3	0:41	12:05	77.3	4.77	1253.1	9.40
8.8.90	70.1	21	1:04	11:19	95.2	5.87	1296.3	8.40
18.8.90	30.0	4.74	1:06	12:21	25.8	1.59	292.59	5.30

Pmoy = pluie moyenne sur le bassin; Qmax = débits maximum; Tm = temps de montée

Tb = temps de base; Vr et Lr = volume et lame ruisselés; Qs = Débits spécifiques maximums

Kr = coefficient d'écoulement.

**Tableau 13 : Caractéristiques des crues observées, bassin de KEUR SAMBA DIAMA (75.6 km<sup>2</sup>)**

DATE j/m/an	P moy mm	Qmax m3/s	Tm h:mn	Tb h:mn	Vr m3	Lr mm	Qs l/s/km2	Kr %
13.7.88	80.0	147	3:00	40:00	1654000	21.88	1944.4	27.35 *
1.8.88	65.0	74	3:00	30:00	832500	11.01	978.8	16.94 *
17.6.89	39.0	14.8	2:40	34:00	155200	2.05	195.8	5.26
14.8.89	46.7	0.406	0:35	5:20	1544	0.02	5.4	0.04
24.8.89	24.0	1.07	0:35	7:45	2561	0.03	14.2	0.14
17.7.90	31.0	0.251	0:28	3:56	506	0.01	3.3	0.03
20.7.90	55.4	0.302	6:13	21:39	5304	0.07	4.0	0.13
8.8.90	68.0	0.296	0:38	20:23	1923	0.03	3.9	0.04
18.8.90	43.6	0.287	0:32	4:52	957	0.01	3.8	0.02

\* Ces crues n'ont pas été enregistrées sur un limnigraphe, les débits ont été estimés à partir d'une extrapolation des vitesses moyennes dans la section.

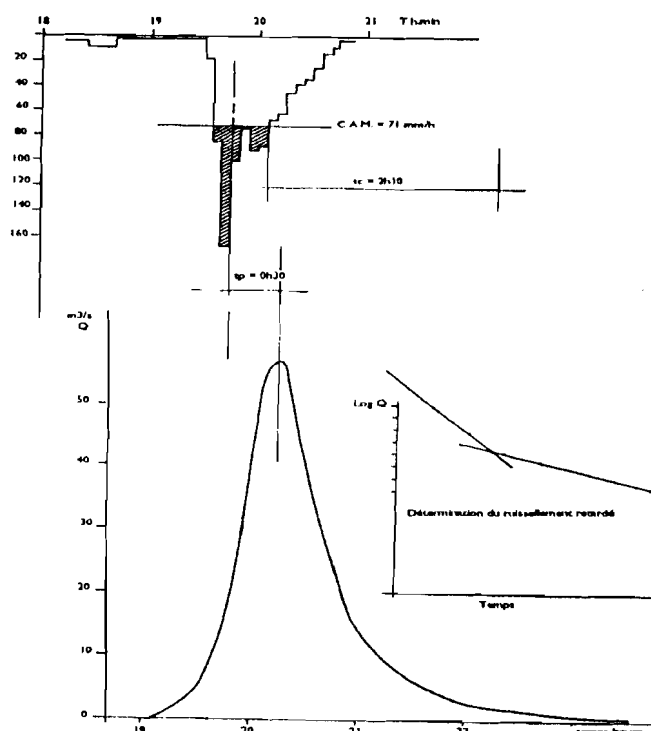
Pmoy = pluie moyenne sur le bassin; Qmax = débits maximum; Tm = temps de montée  
 Tb = temps de base; Vr et Lr = volume et lame ruisselés; Qs = Débits spécifiques maximums  
 Kr = coefficient d'écoulement.

Les principales crues du bassin de NDIBA ont été mis en regard des hyétogrammes moyens des averses qui les ont engendrées, et les caractéristiques suivantes du bassin versant ont été déterminées:

- CAM, Capacité moyenne d'absorption du bassin. Elle est plutôt élevée pour un bassin sahélien, en début de saison des pluies, elle a une valeur de 71 mm/h, elle diminue après les premières pluies et prend une valeur de 46 mm/h au mois d'août.
- Tp, temps de réponse du bassin. Il varie en fonction de la forme du hyétogramme moyen entre 30 minutes et 2 heures
- Tc, temps de concentration du bassin versant. Il varie entre 2h10 et 15 h.

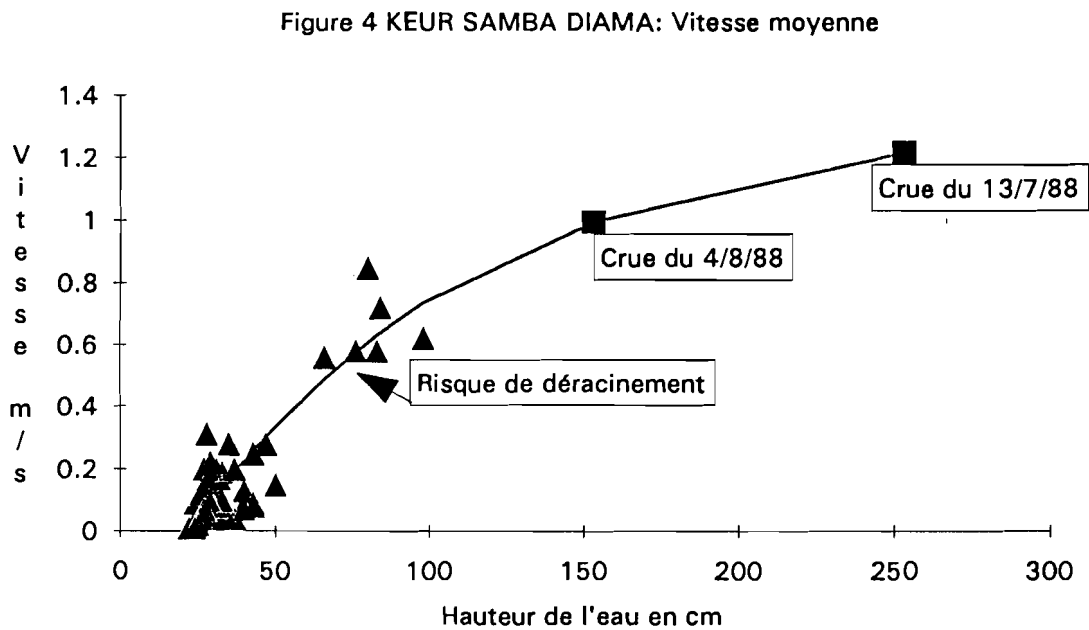
La figure 11 illustre ce type d'étude sur la crue du 13 juillet 1988.

**Figure 11 : crue du 13 juillet 1988 à NDIBA**



Ces crues violentes arrachent les cultures, lorsqu'elles surviennent après la levée des graines ou le repiquage. Une étude des vitesses du courant a été réalisée à KEUR SAMBA DIAMA où toute la riziculture, mise en place pendant l'hivernage 1988 a été emportée par la crue survenue le 1er Août. Les vitesses mesurées sur les verticales de jaugeages montrent qu'elles diffèrent peu de la surface vers le fond. Sur 56 jaugeages réalisés, le rapport "vitesse moyenne dans la section sur la vitesse de surface" varie entre 0.9 et 1.04. La figure 12 montre la variation de la vitesse moyenne en fonction de la hauteur de l'eau dans une section du bas-fond.

Figure 12



#### 4.2.2 Cruel d'étude

La cruel de récurrence décennale a été estimée par la méthode de l'hydrogramme unitaire (DUBREUIL, 1972) à partir du hyétogramme d'une pluie décennale définie au paragraphe 2.4. Elle a les caractéristiques suivantes :

Tableau 14 : Caractéristiques de la cruel décennale

	Bas-fond de NDIBA bassin de 16 km <sup>2</sup>	Bas-fond KEUR SAMBA DIAMA bassin de 75 km <sup>2</sup>
Volume écoulé	336000 m <sup>3</sup>	1720000 m <sup>3</sup>
Débit de pointe	60 m <sup>3</sup> /s	160 m <sup>3</sup> /s
Temps de montée	1h 05	2h 30
Temps de base	10h	35h

En comparaison avec cette méthode un ajustement statistique a été réalisé sur les lames écoulés et les débits de pointes des 34 crues observées les plus fortes à NDIBA. La loi de distribution qui s'ajuste le mieux au sens du test de BRUNET MORET est la loi de distribution exponentielle généralisée, avec les paramètres d'échelle et de forme positifs (loi de GOODRICH). C'est la même loi que pour les intensités maximales. Le tableau 15 donne les valeurs de la lame ruisselée et du débits de pointe pour les récurrences 2,5 et 10 ans (fig 13 & 14).

Figure 13 : Ajustement de la loi de GOODRICH aux débits maximums

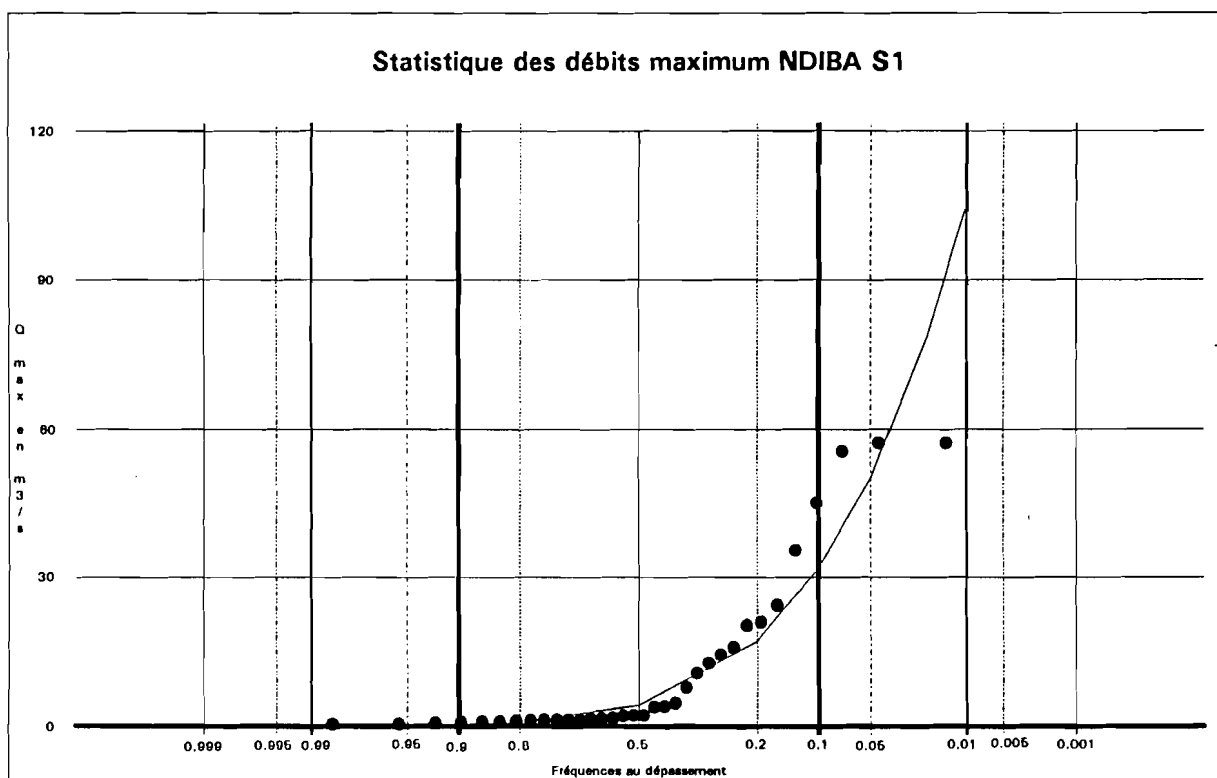
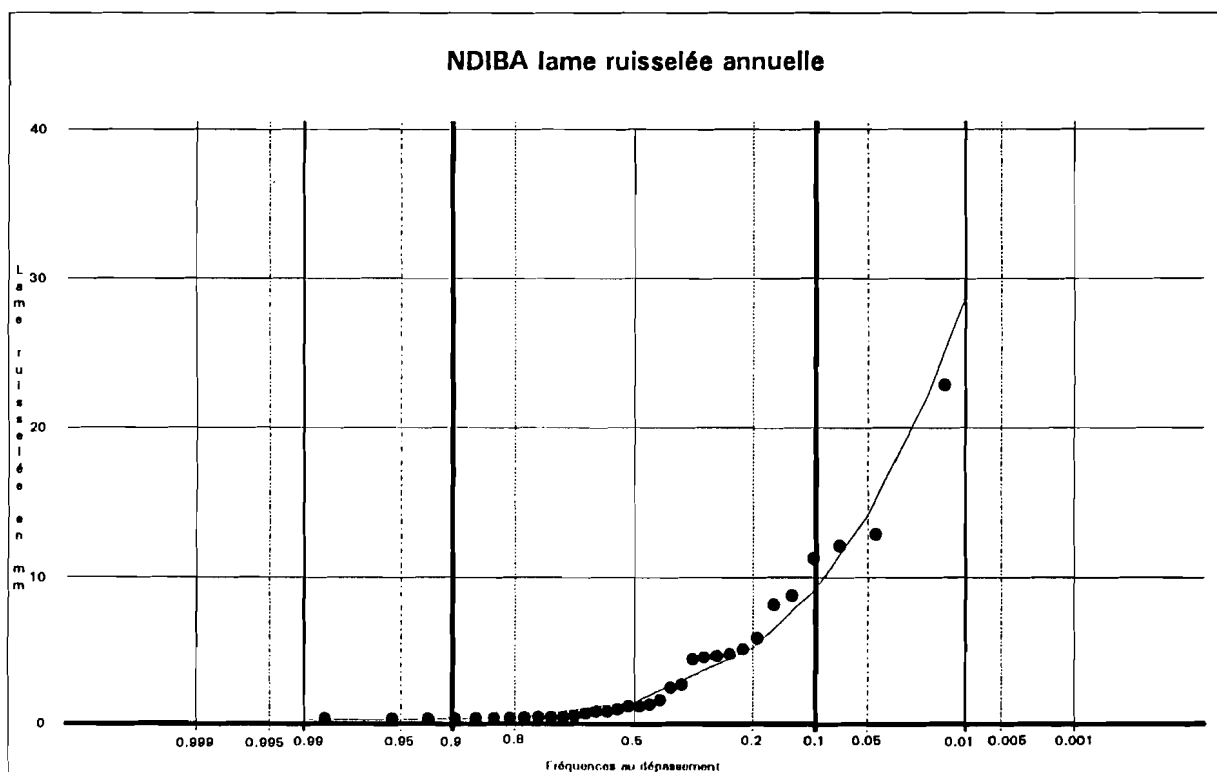


Figure 14 : Ajustement de la loi de GOODRICH aux lames écoulées



**Tableau 15 : Ajustement d'une loi de GOODRICH aux débits de pointes lames écoulées et aux , B.V de NDIBA**

Variable	$x_0$	s	$\delta$	Valeur de la variable pour une récurrence:		
				2 ans	5 ans	10 ans
Qmax en m3/s	0.47	7.32	1.745	29.2	53	75.7
Le en mm	0.28	2.25	1.672	8.5	15	21.1

Il est possible de comparer les estimations par les deux méthodes, l'ajustement statistique et le modèle de l'hydrogramme unitaire :

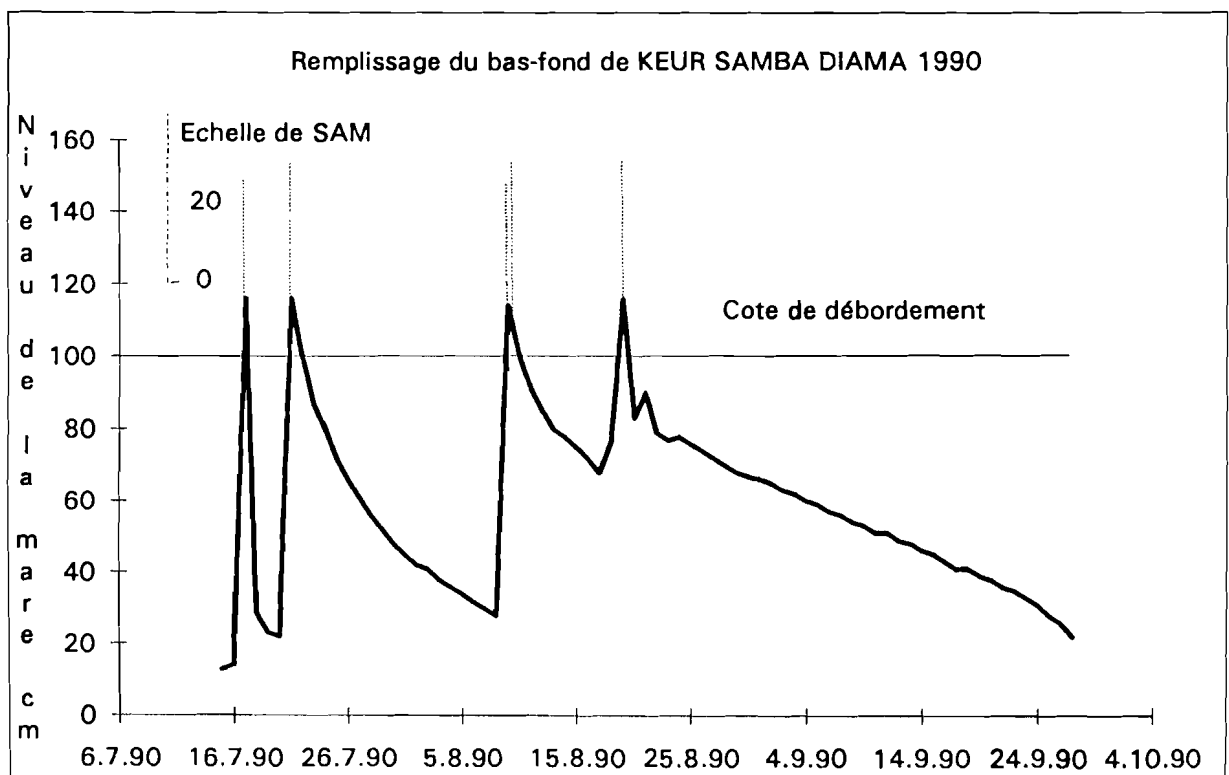
**Tableau 16 : Comparaison des résultats donnés par l'ajustement statistique et ceux donnés par le modèle de l'hydrogramme unitaire**

Méthode	Qmax décennal m3/s	Le décennale mm
Ajustement statistique	75.7	21.1
Hydrogramme unitaire	60	20.7

**4.3 Etudes des tarissements**

Le tarissement des écoulements est très rapide et n'a pas fait l'objet d'étude particulière. Le suivi du tarissement de la mare de KEUR SAMBA DIAMA donne des informations utiles sur la perméabilité globale du bas-fond. A ce titre, l'analyse de la vidange des crues du 20/07/90 et du 07/08/90, après arrêt de l'écoulement, permet d'obtenir une approximation de la vitesse d'infiltration globale du plan d'eau, après mise en charge complète. Les cinq premiers jours, la vitesse atteint 4,6 mm/h puis décroît progressivement jusqu'à 2,0 mm/h, vitesse de vidange de la mare temporaire. Cela confirme la forte perméabilité du bas-fond (cf volet morpho-pédologie). La figure 15 montre le suivi des hauteurs d'eau au cours de la saison pluvieuse 1990.

**Figure 15**



## 5. ECOULEMENTS SOUTERRAINS

L'hydrogéologie a été étudiée à partir d'une soixantaine de puits villageois. Ce sont des puits traditionnels, dont la profondeur peut aller de 11 m à DIALAKOUNA près du GRAND BAO BOLON, jusqu'à 55 m à SANTIE KELIMANE sur le plateau. Le mode d'exhaure est manuel lorsqu'il s'agit de besoins domestiques. Il se fait par traction chevaline pour les besoins agricoles surtout pendant la période de maraîchage après la saison des pluies.

Le niveau de l'eau oscille entre 7.30 m à DIALAKOUNA et 53 m à SANTIE KELIMANE au dessous de la surface du sol.

### 5.1 Géologie et caractérisation de l'aquifère

Ces puits ne traversent que les formations du Quaternaire et du Continental Terminal. Le Quaternaire est composé de sables, de sables argileux et de cuirasses latéritiques. Le Continental Terminal est composé de sables plus ou moins argileux, souvent bariolés : blancs, ocres et violacés. Ce sont des sables fins et des sables grossiers, avec quelques intercalations argileuses.

Avec une lithostratigraphie souvent lenticulaire, l'aquifère n'est pas homogène et certains niveaux peuvent servir de drain comme par exemple la cuirasse ferrugineuse. On peut admettre pour l'ensemble de la région les caractéristiques suivantes:

Perméabilité	$K = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
Transmitivité	$T = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
Coefficient d'emmagasinement	$S = 15 \%$

### 5.2 Piézométrie et variations saisonnières

Le niveau statique de la nappe phréatique est à une cote voisine du zéro IGN, légèrement positif au S.W. ( 3m), il descend vers le N.E. jusqu'à -3 m et même -6 m à AMATH MARAN.

Quelques anomalies sont à noter sur certains puits : NDAKHAR PEUL à 4.5 m (peut être dû à des nappes perchées?).

Le bombement de la nappe est certainement lié au bas-fond.

La figure 16 montre les niveaux piézométriques de juillet 1989 et représente un état de la nappe avant son alimentation de saison des pluies.

Quatre puits ont été suivis régulièrement pendant la période d'étude. Une série de mesures sur l'ensemble du dispositif, réalisée en juillet, octobre 1989 et février 1990 a permis de caractériser les variations piézométriques (figure 17). Ces variations sont dans l'ensemble positives durant la saison des pluies et négatives par la suite. Elle peuvent atteindre exceptionnellement plusieurs mètres dans certains puits (à SAM par exemple) mais elles sont généralement de l'ordre de 20 cm près des bas-fonds et de quelques centimètres dans les inter-fluves. La figure 18 montre le suivi régulier d'un puits à forte variations (SAM) et celui d'un puits dont le toit de la nappe ne fluctue que très peu (KEUR SAMBA DIAMA). On peut penser que les fortes variations se font à la faveur d'un drain. Dans le puits de SAM, il a été observé un niveau cuirassé.

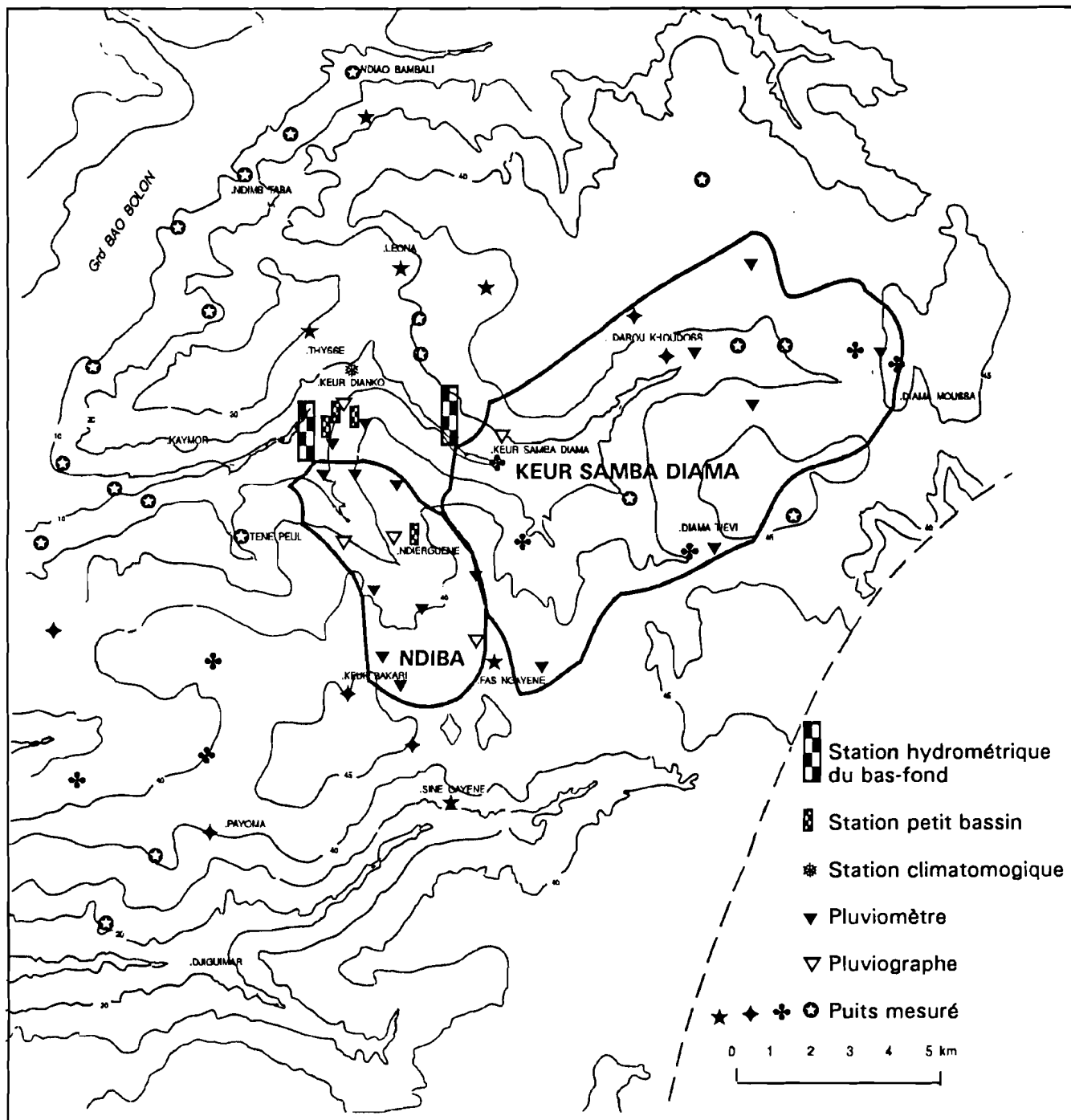
D'après la piézométrie on peut dire qu'il y a peu d'écoulement de la nappe, excepté sur quelques sites très localisés favorisés par une formation drainante. Le niveau phréatique se situe souvent au dessous du niveau de base. C'est dans ce cas, les transferts verticaux qui prédominent.

La qualité chimique de l'eau est excellente ( pH de l'ordre 6.5, Conductivité mesurée in situ inférieure à 5 mS/cm), les formations étant constituées essentiellement de sable, grès et argile très pauvre en matières solubles. La conductivité des puits dans les bas-fonds est légèrement inférieure. Cela plaiderait en faveur d'une recharge, par les eaux accumulées dans les mares de bas-fonds.

Signalons l'existence de la nappe du Maëstrichtien dont le toit se situe à la cote -300 dans la région. Cette nappe est l'une des plus puissante de l'Afrique de l'Ouest.



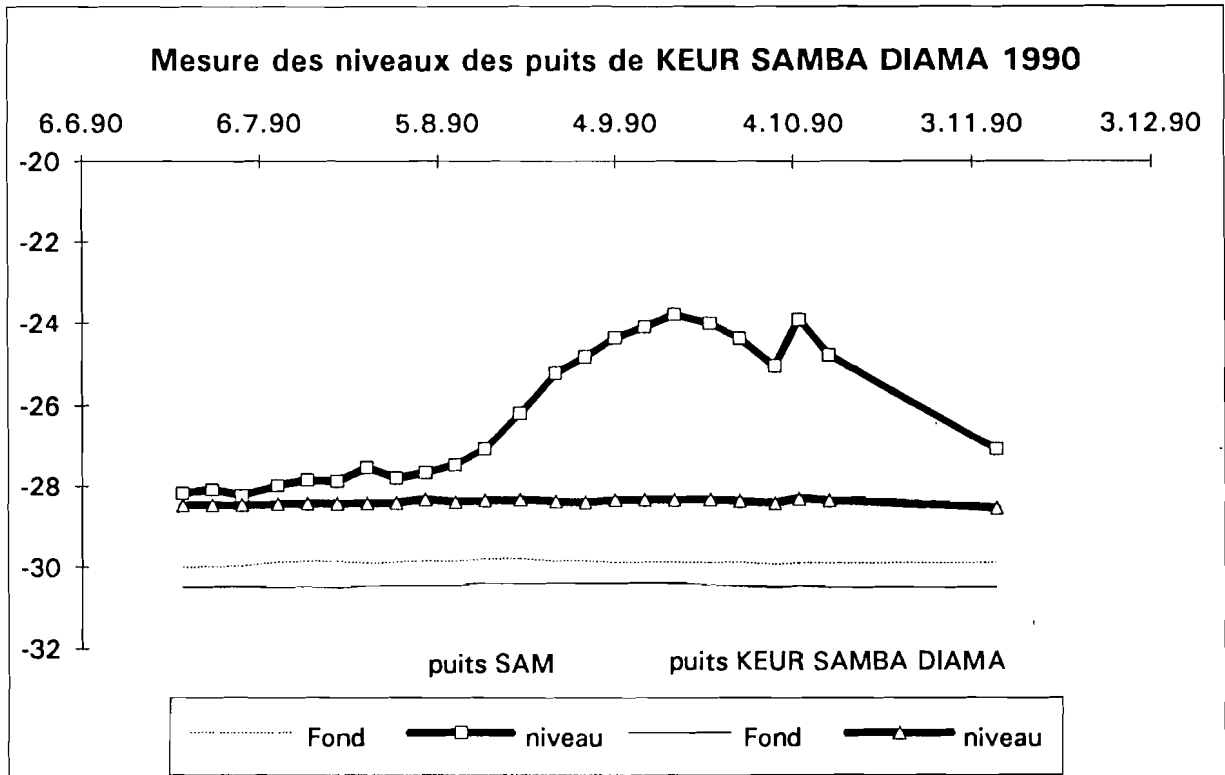
Figure 17 : variations piézométriques , hivernage 1989



- ✦ Variation piézométrique négative
- ◆ Variation piézométrique de 0 à 10 cm
- ★ Variation piézométrique de 10 à 20 cm
- ⊕ Variation piézométrique supérieure à 20 cm



Figure 18

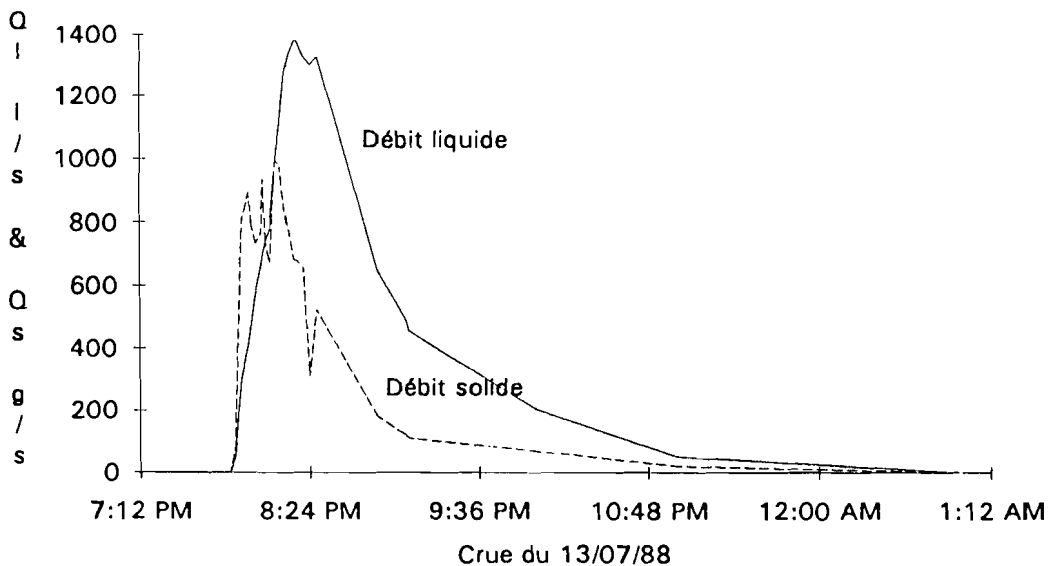


6. TRANSPORTS DE MATIERES LIES A L'ECOULEMENT

Une contrainte à la mise en valeur des bas-fonds et liée aux fortes crues, est constituée par les apports en matériaux d'érosion. Quatre ravines dont les bassins versants varient de 2.5 ha à 90 ha ont été équipées d'un dispositif de mesure du ruissellement et de l'érosion ( fosse à sédiments et mesure des matières en suspension). Avant aménagement anti-érosif, les apports en matières solides ont été évalués à 1.5 t/ha dont 12 % sont formés de sables grossiers se déposant sous forme de cône de déjection dans le bas-fond. Les concentrations maximales annuelles mesurées varient entre 20 et 30 g/l et surviennent un peu avant le maximum des premières fortes crues. Ces concentrations diminuent au fur et à mesure que la végétation s'installe durant l'hivernage. La figure 19 montre l'évolution du débit solide durant une forte crue dans une ravine dont le bassin a une superficie de 58 ha.

Les problèmes d'érosion et d'aménagement anti érosif ont été étudiés dans le cadre du programme "Economie de l'eau, défenses et restaurations des sols" qui a donné lieu à plusieurs publications dont on peut citer : ALBERGEL & al, 1990 et RUELLE & al,1990.

Figure 19  
Transports liquides et solides-Crue du 13/07/88 à S2



## 7. ELEMENTS DE REGIONALISATION

Dans la région du SINE SALOUM, les deux bas-fonds de THYSSE KAYMOR, ont été les seuls à faire l'objet d'un bilan hydrologique complet, il n'a donc pas été possible de faire une synthèse régionale en comparant les paramètres hydrologiques estimés sur plusieurs bassins de la zone comme nous l'avons fait pour les projets pilotes, MALI SUD et CASAMANCE.

Nous avons néanmoins, essayé de dégager quelques données sur la ressource en eau et sur la crue de projet qui peuvent servir de référence aux aménagements des bas-fonds de la région.

### 7.1 Régionalisation des paramètres de la ressource en eau

A partir des données observées sur le bas-fond de NDIBA, nous avons cherché à donner un ordre de grandeur de la lame d'eau écoulee annuelle et de celle disponible pour la recharge des nappes. Ces estimations, doivent être représentatives des bassins versants de la région dont la superficie varie entre 10 et 50 km<sup>2</sup>. En effet RODIER (1975) montre dans son ouvrage sur l'écoulement annuel au SAHEL, que les lames écoulées annuelles sont du même ordre de grandeur pour cette catégorie de bassins.

Le modèle de bilan hydrologique proposé pour cette étude et mis au point par ALBERGEL & PEPIN (1991), repose sur une conceptualisation du cycle de l'eau sur les bassins sahéliens et fonctionne au pas de temps journalier :

- Toute la partie de l'averse dont les intensités sont supérieures à la capacité absorption du sol donne lieu à un ruissellement immédiat. La variation de capacité d'absorption du sol dépend des variations de son état de surface (développement de la végétation, encroûtement, travaux agricoles...) et de son état de saturation. De nombreuses études parmi lesquelles on peut citer : CHEVALIER, 1983, SEGUIS, 1986, ALBERGEL, 1987, ont montré que cette variation de la capacité d'absorption des sols, au cours de la saison des pluies peut être caractérisé au SAHEL par un indice pluviométrique récurrent de la forme :

$$IK_n = (IK_{n-1} + P_{n-1}) e^{-\alpha t}$$

où  $IK_n$  est l'indice de capacité d'absorption du sol pour l'évènement pluvieux  $P_n$  (mm),  $\alpha$  est une constante d'ajustement caractéristique du bassin comprise entre 0 & 1 (jour<sup>-1</sup>) et  $t$  le temps exprimé en jour entre les évènements pluvieux  $n$  et  $n-1$ .

On fait l'hypothèse (justifiée dans notre zone d'étude) qu'il ne se produit qu'un seul évènement pluvieux par jour de pluie et que les évènements pluvieux de deux jours de pluies consécutifs sont séparés de 24 h.

La lame ruisselée journalière est une expression linéaire des variables  $P$  et  $IK$ .

- La partie non ruisselée est acheminée vers un réservoir sol, dont la première sortie est le prélèvement occasionné par l'évapotranspiration potentielle. Ce réservoir est caractérisé par sa capacité, classiquement appelée réserve facilement utilisable (RFU). Le niveau de remplissage de ce réservoir ( $S$ ) est soumis soit à la pluie diminué du ruissellement ( $P-L_r$ ) soit à l'évaporation (ETP).  $S$  est calculé chaque jour :

$$S = P - L_r - ETP \text{ et } S \geq 0$$

- Lorsque, pour un évènement pluvieux,  $S$  dépasse RFU, la lame d'eau  $S-RFU$  est considérée comme infiltrée et gagne le réservoir "zone saturée". Ce second réservoir est également caractérisé par sa capacité, lorsque celle ci est atteinte le volume excédentaire regagne l'écoulement de surface.

Les 8 années d'observations ont permis le calage du modèle :

- $\alpha = 0.5 \text{ jour}^{-1}$
- Si  $P > 20 \text{ mm}$ ,  $L_r = 0.085 P + 0.04 IK - 2.6$  ( coefficient de corrélation  $R = 0.8$  pour 70 couples d'observations)
- Si  $P < 20 \text{ mm}$ ,  $L_r = 0$

- RFU = 140 mm, nous avons pris la valeur pour laquelle se stabilise le stock hydrique mesuré à 1m70 sous culture. Sur les nombreux sites tensio-neutroniques du bassin, on remarque une augmentation de ce stock hydrique pendant mes premiers jours de juillet, puis son oscillation autour de la valeur 140 mm en Août et Septembre (PEREZ & SARR 1990, PEREZ & al, 1991). La profondeur de 1m70 a été choisie par rapport aux profils racinaires observés sous culture (SENE, 1989).

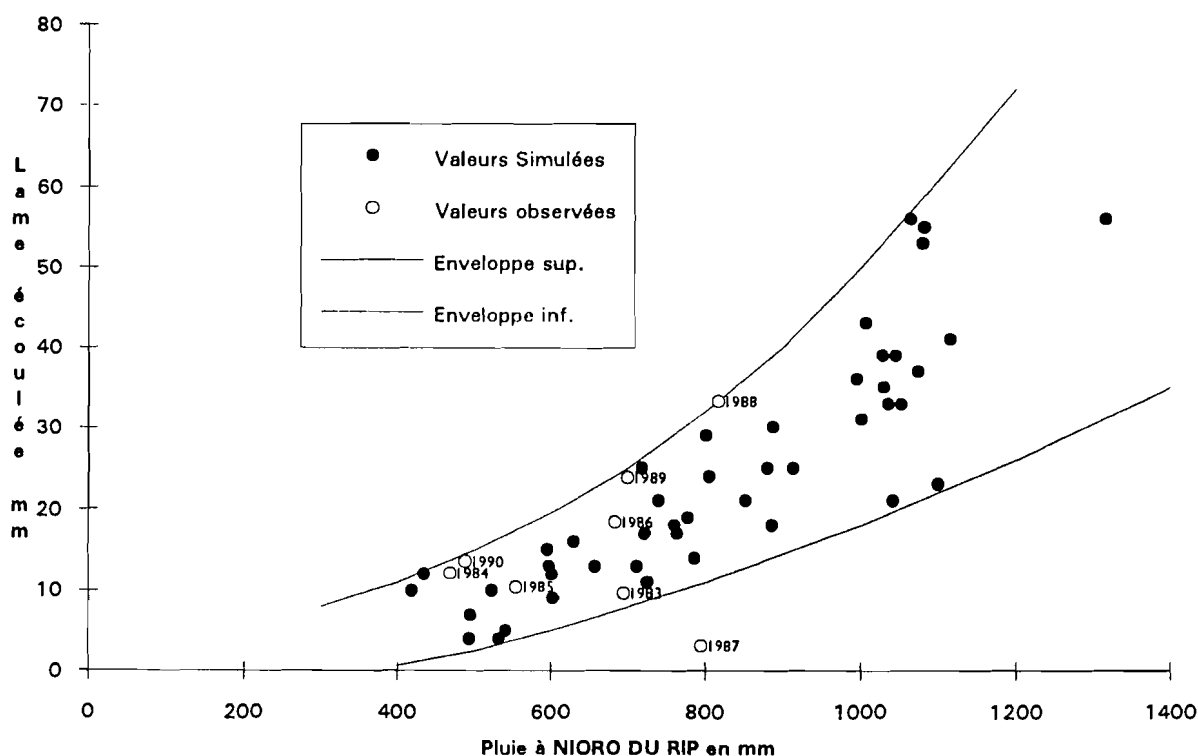
- Le réservoir " zone non saturée " n'a pas été pris en compte, puisque l'on n'a jamais observé de débit de base.

Une simulation des lames écoulées annuelles et des lames d'eau disponible pour l'infiltration sous le profil racinaire a été réalisée à partir des données de pluies journalières et des moyennes décadaires de l'ETP, relevées à la station agroclimatique de NIORO DU RIP sur la période 1931-1987. Les années 1931, 32, 33, 51, 52, 60, 61, 66, 77, 78 et 79 comportant des lacunes d'observations ou des cumuls dans la pluviométrie journalière ont été supprimées. La simulation a donc porté sur 45 années. Le tableau 17 donne les caractéristiques moyennes de cette simulation à l'échelle annuelle. Sur la figure 20, ont été représentées les lames écoulées annuelles simulées et observées en fonction de la pluie annuelle.

Tableau 17 : Lames écoulées et lames disponibles pour l'infiltration, Bassin de NDIBA

Variables	nb d'années	Moyenne	Ecart type
Pluviométrie (mm)	45	820	222
Lame écoulée (mm)	45	24	14
Lame disponible pour l'infiltration (mm)	45	167	145

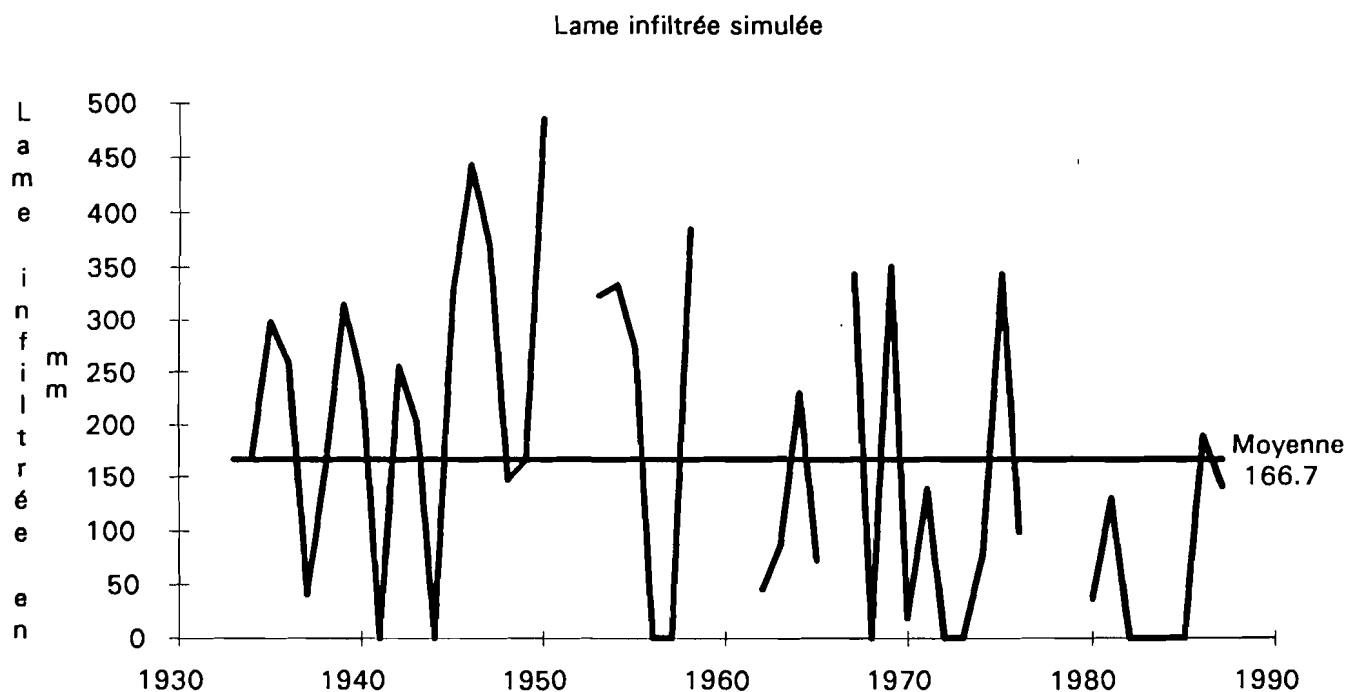
Figure 20 : Ecoulement annuel simulé et observé en fonction des précipitations annuelles sur le bassin de NDIBA



On remarquera que l'écoulement annuel n'est pas une fonction simple des précipitations annuelles et qu'il dépend d'avantage de la répartition des pluies journalières et du nombre de fortes pluies observées dans l'année.

La figure 21 montre les variations de la lame d'eau disponible pour l'infiltration sur la période 1934-1987. Si la moyenne laisse supposer une recharge de l'ordre de 150 mm/an, il faut préciser que pour de nombreuses années, aucune réalimentation de la nappe n'est possible. Lorsque ces années sont isolées comme 1941, 44, 56, 57, 68, 72 et 73, le préjudice sur la ressource en eau souterraine n'est pas sensible, tandis que lorsque ces années sont groupées comme 1982, 83, 84, et 85, alors le niveau des puits descend et certains s'assèchent.

Figure 21 : Variations de la lame d'eau disponible pour l'infiltration



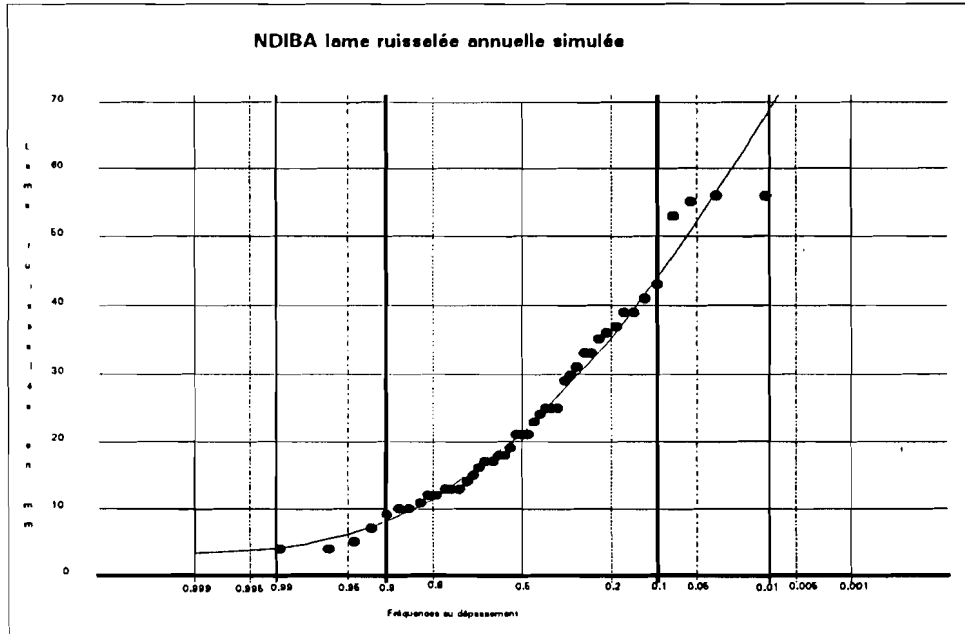
Une étude statistique des lames écoulées simulées a été réalisée. La loi de distribution qui s'ajuste le mieux au sens du test de BRUNET MORET est la loi de distribution exponentielle généralisée, avec les paramètres d'échelle et de forme positifs (loi de GOODRICH). C'est la même loi que pour les lames écoulées journalières. Le tableau 18 donne les valeurs de la lame ruisselée pour les récurrences 2,5,10, 50 et 100 ans (fig 22).

Tableau 18 : Récurrences des lames annuelles écoulées (mm)

PERIODE EXCEDENTAIRE				MEDIANE	PERIODE DEFICITAIRE			
10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	2ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
44.1	52.1	61.9	68.8	21.2	8.08	6.13	4.68	4.06

En comparant ces résultats aux bassins étudiés pour la synthèse de l'écoulement annuel (RODIER, 1975), on se rapproche du bassin NIAMEY 7, on utiliserait l'abaque des bassins dont la superficie est voisine de 25 km² et appartenant à la catégorie sol sableux, il faudrait cependant légèrement majorer les valeurs obtenues en raison de la pluviométrie plus forte dans la région de NIORO DU RIP.

Figure 22 : Statistique des lames écoulées



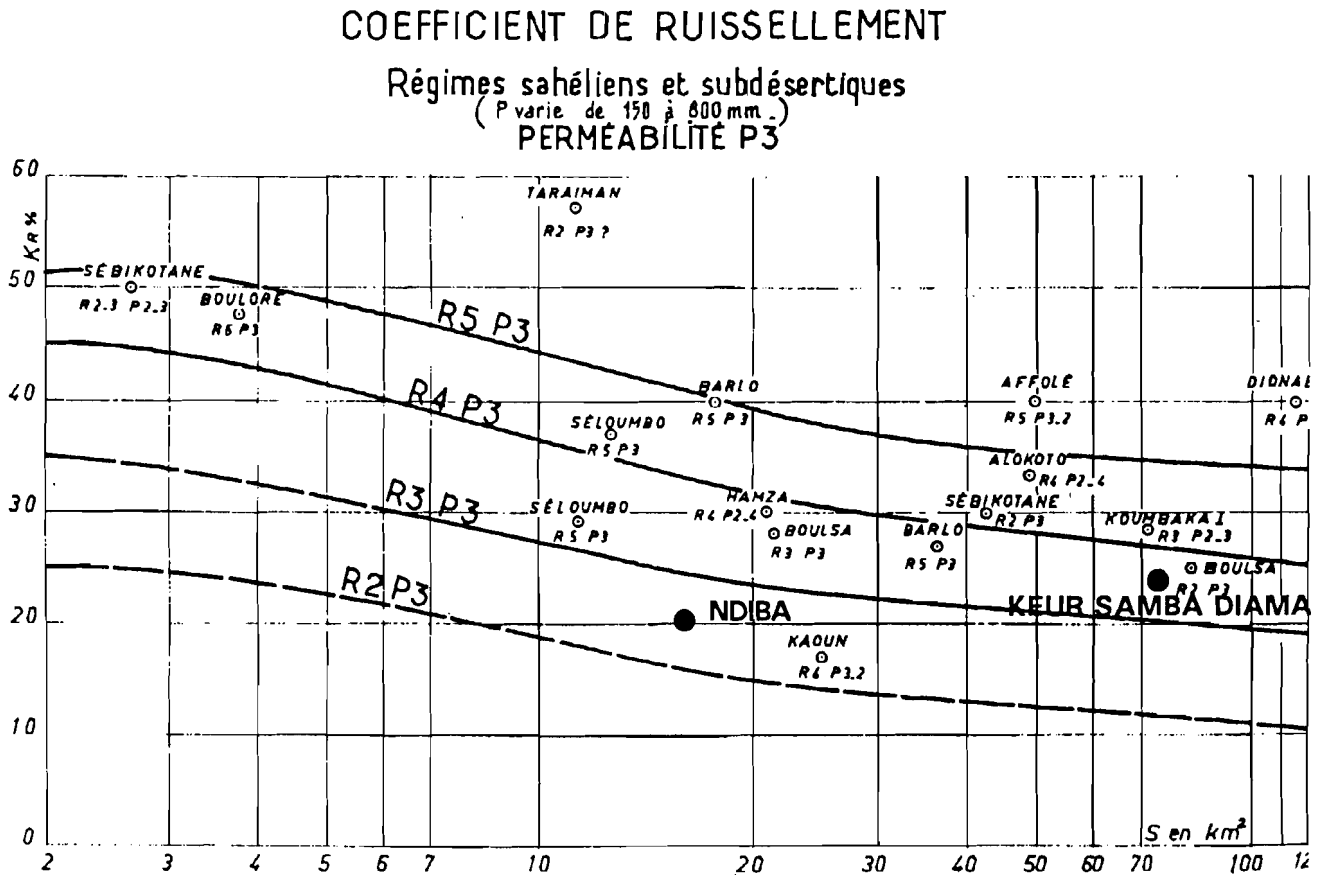
### 7.2 Régionalisation de la crue d'étude

Les débits spécifiques de pointe de la crue décennale sont pour un bassin de l'ordre de 15 km<sup>2</sup> de 3500 l/s/km<sup>2</sup> et de 2100 l/s/km<sup>2</sup> pour ceux dont la surface approche 75 km<sup>2</sup>. La pluie ponctuelle décennale à prendre en compte a une hauteur de 110 mm. Le coefficient d'abattement à appliquer pour une estimation de la pluie moyenne de la crue décennale est de 0.9 pour les bassins dont la superficie est comprise entre 10 et 25 km<sup>2</sup>, 0.85 pour ceux dont la superficie est comprise entre 25 et 50 km<sup>2</sup> et 0.8 pour les bassins dont la superficie est comprise entre 50 et 100 km<sup>2</sup>.

Les coefficients de ruissellement par rapport à la pluie moyenne obtenus sont pour le bassin de NDIBA de 20% et de 26 % pour KEUR SAMBA DIAMA. En reportant ces valeurs dans l'abaque de RODIER & AUVRAY pour la prédétermination de la crue décennale en zone sahélienne, on se rend compte que ces valeurs encadrent la courbe R3-P3 (fig. 23).

La méthode de RODIER & AUVRAY (1965) s'applique donc dans la zone du SINE SALOUM en utilisant les abaques correspondants au régime sahélien et aux bassins R3-P3.

Figure 23 : Position des bassins sur l'abaque RODIER & AUVRAY



## 8 CONCLUSION : HYDROLOGIE ET MISE EN VALEUR DU BAS-FOND

Les recherches menées sur le site expérimental de THYSSEKAYMOR apportent quelques éléments pour proposer des aménagements dans les bas-fonds du sud Sine Saloum, afin d'y introduire une intensification agricole qui assurera une pérennité écologique et économique à la région (Cf. volet Aménagement génie rural)

Une étude par télédétection spatiale a permis, en première approximation, d'évaluer les zones de bas-fond potentiellement exploitables (PEREZ, SEGUIS 1991) (Cf. Volet Morpho-pédologie). Celles-ci représentent moins de 5% des superficies de la région étudiée (150 km², centrés sur THYSSE-KAYMOR). D'autre part, les sites utilisables excèdent rarement 5 ha d'un seul tenant. Cette caractéristique régionale doit être prise en compte dans les modes d'intensification proposés et les aménagements nécessaires à leur réalisation.

Un aménagement en maîtrise totale de l'eau (barrage et irrigation gravitaire) n'est pas envisageable. La ressource annuelle en eau de surface est précaire, les crues peuvent être violentes et les terres en aval de l'ouvrage ne présentent pas les superficies nécessaires pour amortir les ouvrages.

Les solutions envisagées pour sécuriser les cultures d'hivernage (riz, maïs, sorgho...) et intensifier les cultures spéculatives de contre saison (maraîchage) doivent limiter les contraintes suivantes:

- vitesse du courant durant les fortes crues (semis emportés, pieds arrachés)
- perméabilité trop forte des sols de bas-fonds (stress hydrique, lessivage minéral)
- érosion des versants (colluvionnement sableux du bas-fond)
- profondeur de la nappe (moyens d'exhaure)

De ce fait, l'aménagement d'un bas-fond s'intègre dans un dispositif prenant en compte les problèmes de dégradation des sols, de redistribution de l'eau et du déséquilibre du système de culture des versants.

L'ensemble des solutions techniques testées dans la zone a permis d'envisager, après une étude socio-économique (SARR, 1990, rapport volet socio-économique), un plan d'aménagement du bas-fond de KEUR SAMBA DIAMA.

Un dispositif pour étaler les crues comprenant une digue filtrante au niveau du seuil aval et une série d'enrochements et endiguements pierreux dans les arrivées d'eau permettra de réduire les vitesses de fond. Il augmentera les surfaces inondées et favorisera le colmatage de la dépression.

L'état de dégradation du bassin entraînera un ensablement de l'aménagement si un traitement des versants ne l'accompagne pas. Pour la région, un recueil de fiches techniques présente les solutions efficaces pour lutter contre l'érosion, et pérennisables en milieu paysan ( RUELLE & al, 1990).

Pour prolonger la saison agricole et favoriser les cultures spéculatives, un moyen d'exhaure mécanisé est indispensable. Une pompe électrique alimentée par un générateur fuel/biogaz a été proposée après une étude sur la disponibilité en résidus de récolte et matières fécales du village (BOULANGER, 1989). Ce système présente un double avantage, d'être économiquement rentable et de fournir un disponible en compost. Il doit permettre, en plus de l'exhaure, la création d'une unité de mouture mais nécessite une formation technique et une organisation sociale adéquates. Les expériences récentes des communautés urbaines et rurales (THIES, St LOUIS, NIAYES) équipées en unité de production de biogaz sont un test sur la viabilité d'un tel projet.

## BIBLIOGRAPHIE

ALBERGEL J. 1987. Genèse et prédétermination des crues au BURKINA FASO. Du m<sup>2</sup> au km<sup>2</sup>. Etude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Thèse doctorat Uni. PARIS VI. Etudes et Thèses, édition de l'ORSTOM

ALBERGEL J. DIATTA M. JUNCKER E. PEREZ P. RUELLE P. SENE M. 1990 Méthodes pour améliorer l'infiltration et réduire le ruissellement. Présentation du cas du SINE SALOUM . Réseau érosion, bulletin n°10. MONTPELLIER

ALBERGEL J. & PEPIN Y. 1991. Etude des ressources en eau des îles du CAP VERT, Projet CVI/87/001/90, ORSTOM, PNUD, DAKAR.

BADJI M., 1991. Etude hydrologique du bassin de NDIERGUENE. Rapport de stage E.I.E.R. ORSTOM DAKAR.

BOULANGER X. 1989 DOPO. Aménagement d'un bas-fond et action anti-érosive dans le département de NIORO. AFVP DAKAR N20/DOPO/Fev 89/24

BRUNET MORET Y. 1969. Etude des lois statistiques utilisées en hydrologie. Cah. ORSTOM ser. HYDRO Vol 1,2,3.

BRUNET MORET Y. 1977. Test d'homogénéité. Cah ORSTOM, Hydrologie, Vol XIV,n°2.

BRUNET MORET Y. 1980. Retour sur l'homogénéisation des pluies annuelles par vecteur régional. Météorologie, Vième série, N° 20-21.

CHEVALIER P. 1983 L'indice des précipitations antérieures. Evaluation de l'humectation des sols des bassins versants représentatifs. Cah. ORSTOM, ser. HYDRO, Vol XX, N°3&4.

DIONE O. 1990. Etude hydrologique du bassin de KEUR SAMBA DIAMA. Rapport de stage EIER. ORSTOM DAKAR.

DUBREUIL P. 1972 Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux. ORSTOM, PARIS.

DUBREUIL P. 1974 Initiation à l'analyse hydrologique éd. MASSON et CIE ORSTOM

KAMARA Y., KEITA F. 1990. Contribution à l'étude des processus hydrologiques et érosifs dans les bassins expérimentaux de THYSSE KAYMOR. Mémoire d'ingénieur.

LAMAGAT J.P., ALBERGEL J., BOUCHEZ J.M., DESCROIX L. 1989 Monographie hydrologique du fleuve Gambie. ORSTOM/OMVG.

MBAYE C. 1991. Etude de l'évapo-transpiration potentielle au SENEGAL, Mémoire de maîtrise. UCAD, Dakar. dép. de géographie physique.

MICHEL P. 1973. Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie, étude géomorphologique. Thèse d'état, mémoire ORSTOM n°63, 3 tomes.

PEREZ P., SARR P.S. 1990. Programme Gestion des Ressources Naturelles. Rapport d'activité "Economie de l'eau - DRS" année 1989. ISRA/IRAT,

PEREZ P., RAUTUREAU J., SARR P.S. 1991 Programme Gestion des Ressources Naturelles. Rapport d'activité "Economie de l'eau - DRS" année 1990. ISRA/IRAT,

PEREZ V., SEGUIS L. 1991. Essai de caractérisation des bas-fonds par l'utilisation de la télédétection spatiale, Sine Saloum, SENEGAL. ISRA/ORSTOM



**RODIER J.A & AUVRAY C., 1965 Estimation des débits de crues décennales pour des bassins versants de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup> en Afrique Occidentale. ORSTOM, CIEH, PARIS**

**RODIER J.A. , 1975 : Evaluation de l'écoulement dans le SAHEL tropical africain. Travaux et documents de l'ORSTOM n°46, PARIS**

**RUELLE P., SENE M., JUNCKER E., DIATTA M., PEREZ P. 1990 Fiches techniques de Défense et Restauration des Sols. Collection fiches techniques vol 1 numéro 1, ISRA-UNIVAL.**

**SARR D.Y. 1989 Contribution à l'étude de la mise en place du projet d'aménagement du Bas-fond de KEUR SAMBA DIAMA, ISRA KAOLAK**

**SEGUI S. L. 1986 Recherche pour le SAHEL, d'une fonction de production journalière (lame précipitée, lame écoulée). Thèse de doctorat Université des Sciences et Techniques du Languedoc. MONTPELLIER.**

**SENE M. 1989 Quelques caractéristiques de l'enracinement des principales cultures dans le sud est du bassin arachidier Secteur centre sud Kaolack ISRA, 28 p**

**VALET S. 1985 Note explicative de la carte d'occupation comparative des sols 1970/1983 de la région de THYSSE KAYMOR (Sine Saloum). IRAT/DEVE.**

**WISCHMEIER W., SCHMIDT D., 1978: Preceding rainfall erosion losses; guide to conversation planning. USDA, Washington.**