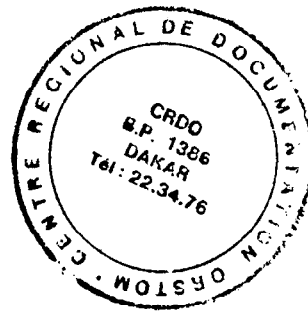


2

non non  
non soustraire ni e

28  
Tours  
Méditerranée  
J.P. 1958-64  
062 H 20 65.11

# ORSTOM



## Cuvette de Nianga

### Rapport hydrologique Hivernage 1991

(deuxième partie)

\_\_\_\_\_  
L. SEGUIS  
\_\_\_\_\_

CRDO - DAKAR  
date 18/09/97  
n° 2294 cote ORB 85/1

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : Bx 18465 Ex: *un volume*

Dakar

Juin 1992



## Chapitre I - Inventaire des stations

En plus des trois stations hydrométriques de N'Diawara, de la digue Nord-Sud et de N'dayène (cf. tableau 1 et première partie), trois autres stations ont été suivies. Ceux sont :

- Ndiawara sur le Doué à la hauteur de l'effluence du Dioissorol,
- Moundou sur le Dioissorol à l'amont de la digue Nord-Sud,
- Pont Gari sur le N'Galenka.

Nom	Cours d'eau	Latitude	Longitude	Nombre d'éléments	Altitude du zéro théorique ( cm I.G.N.)
N'Diawara	Doué	16°34.79 N	14°51.14 W	4	0.5
N'Diawara amont est	Dioissorol	16°34.79 N	14°51.21 W	1	-3.5
N'Diawara aval ouest	Dioissorol	16°34.79 N	14°51.21 W	2	297
Dioundou	Dioissorol	16°34.74 N	14°53.53 W	3	139
Digue nord sud amont	Dioissorol	16°34.34N	14°54.22W	1	-5.6
Digue nord-sud aval	Dioissorol	16°34.34N	14°54.22W	1	268.7
Pont Gari	N'Galenka	16°32.98N	14°57.90W	3	74.2
N'Dayène intérieur est	N'Galenka	16°30.66N	15°03.49W	3	29
N'Dayène extérieur ouest	N'Galenka	16°30.66N	15°03.49W	3	29

Tableau 1- Inventaire des stations suivies durant l'hivernage 1991

## Chapitre II - Analyse limnimétrique de la cuvette de Dioundou

Les liaisons entre échelles seront successivement présentées de l'extérieur vers l'intérieur de la cuvette.

### II.1. Liaison Guédé-N'Diawara

Guédé, station longue durée sur le Doué, est située 13 km à l'amont de N'Diawara. Son zéro est à -0.63 m IGN. Des hauteurs portées sur la figure II.1, la relation suivante a été calculée:

$$H_{N'Diawara} = 0.905 H_{Guédé} \quad (r^2=0.99)$$

Pour une hauteur de 4 m IGN à Guédé, la dénivelée est de 0.38 m. En crue, la pente de la ligne d'eau doit être peu influencé par le niveau dans la retenue de Diama du fait de son éloignement.

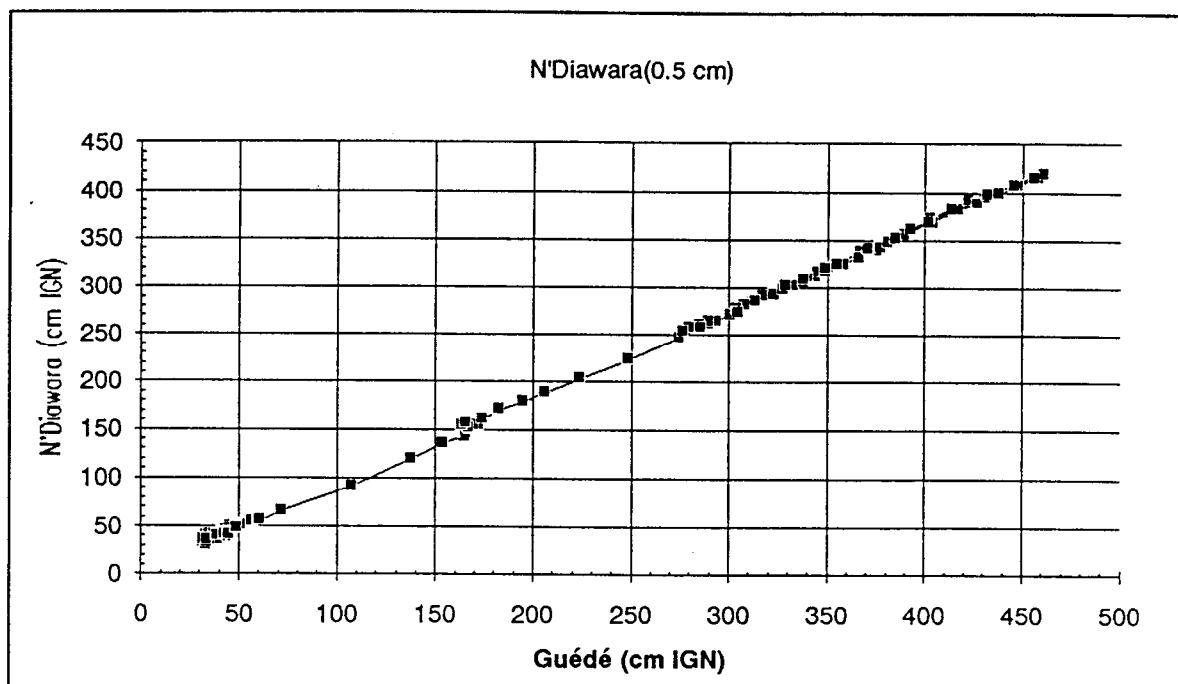


Figure II.1- Liaison Guédé-N'Diawara durant l'hivernage 1991

## II.2. - Liaison N'Diawara amont est - N'Diawara aval ouest

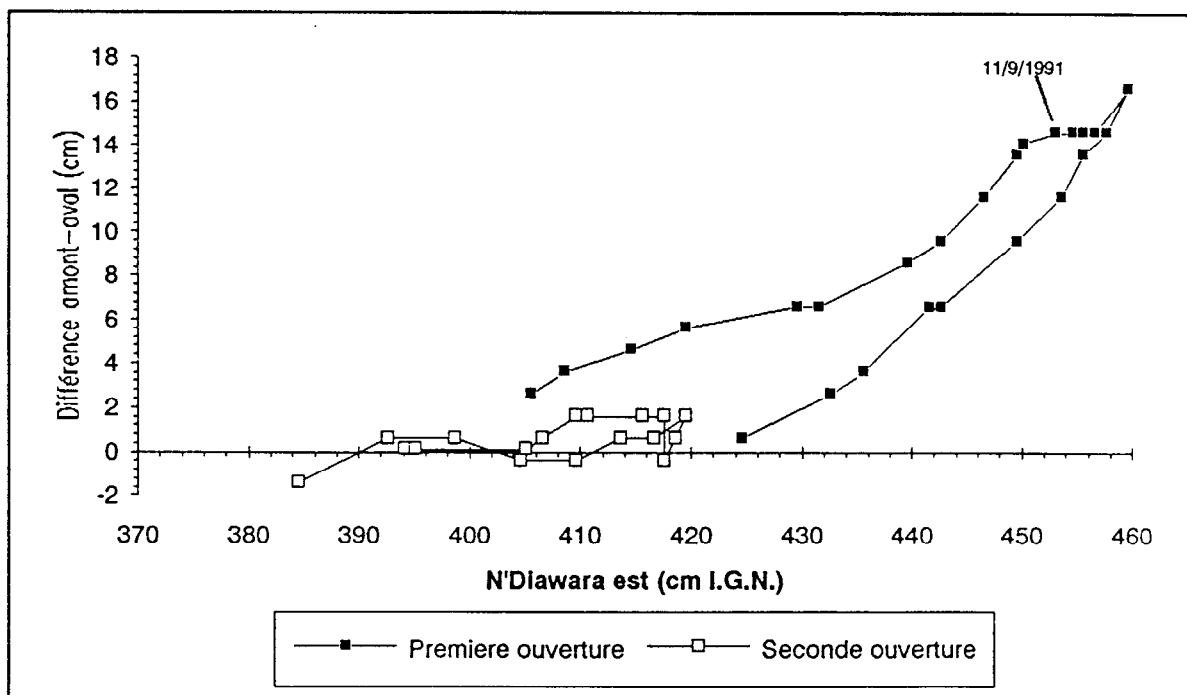


Figure II.2. Différence de hauteurs d'eau entre l'amont et l'aval du barrage de N'Diawara

Lors de la de la première ouverture du barrage(30 août au 22 septembre), une seule vanne était ouverte tandis que durant la seconde(10 au 16 octobre), les deux vannes étaient levées. Dans ce cas, la différence de hauteurs amont-aval assimilable à une perte de charge (si les vitesses à l'entrée et à la sortie sont supposées nulles) est négligeable. Durant la première période, l'influence du niveau d'eau dans la cuvette intervient à partir du 11 septembre : pour les mêmes hauteurs à l'échelle, la perte de charge est inférieure après cette date.

### II.3. Liaison N'Diawara aval ouest - Dioundou - Digue nord-sud amont

La limnimétrie des trois stations est reportée sur la figure II.3 avec l'indication des principaux événements.

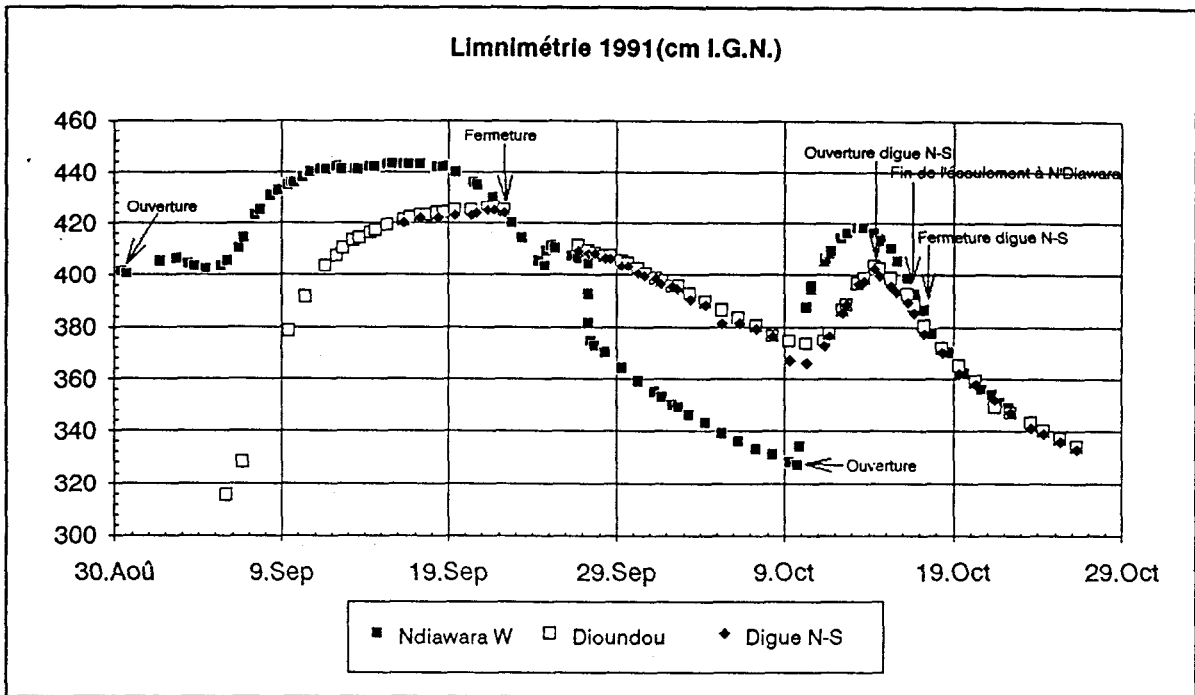


Figure II.3 - Limnimétrie de la cuvette de Dioundou

L'équation de continuité rapportée à la cuvette de Dioundou s'écrit :

$$W_2 - W_1 = [(Q_{n1} + Q_{n2})/2 + (Q_{d1} + Q_{d2})/2] * (t_2 - t_1) + [P - E] * A * (t_2 - t_1)$$

avec

- $W_2 - W_1$  : variation du stock d'eau entre  $t_1$  et  $t_2$
- $Q_{n1}$  et  $Q_{n2}$  : débits à N'Diawara aux instants  $t_1$  et  $t_2$
- $Q_{d1} + Q_{d2}$  : débits à la digue nord-sud aux instants  $t_1$  et  $t_2$
- $P$  : précipitation entre  $t_1$  et  $t_2$
- $E$  : pertes (évaporation, infiltration) par unité de surface et de temps
- $A$  : surface inondée.

En posant :

$$W_2 - W_1 = A * (h_2 - h_1)$$

avec  $h_2 - h_1$  : variation de la hauteur à la station de Dioundou entre  $t_1$  et  $t_2$ ,  
on tire :

$$h_2 = A * h_1 + [(Q_{n1} + Q_{n2})/2 + (Q_{d1} + Q_{d2})/2] * (t_2 - t_1) + [P - E] * A * (t_2 - t_1)$$

Connaissant la courbe hypsométrique de la cuvette par la cartographie, on en déduit l'évolution du remplissage. Nous avons préféré recalculer cette courbe en écrivant :

$$A = \{ [(Q_{n1} + Q_{n2})/2 + (Q_{d1} + Q_{d2})/2] * (t_2 - t_1) \} / [(h_2 - h_1) + [E - P] * (t_2 - t_1)]$$

Les débits entrant dans la cuvette sont comptés positivement. Les périodes où les apports sont nuls permettent d'évaluer les pertes. Ils sont environ égales à 3 cm par jour.

Les surfaces ainsi calculées sont reportées en fonction des hauteurs à Dioundou sur la figure II.4. Les écarts au nuage de points les plus importants sont attribuables à des erreurs de lecture plus qu'à des erreurs de jaugeages. A l'ouverture de la digue nord sud, le déstockage important n'entraîne pas une variation immédiate de la hauteur à l'échelle de Dioundou. Ceci expliquera la trop forte valeur de la surface inondée (167 ha) le 14 octobre.

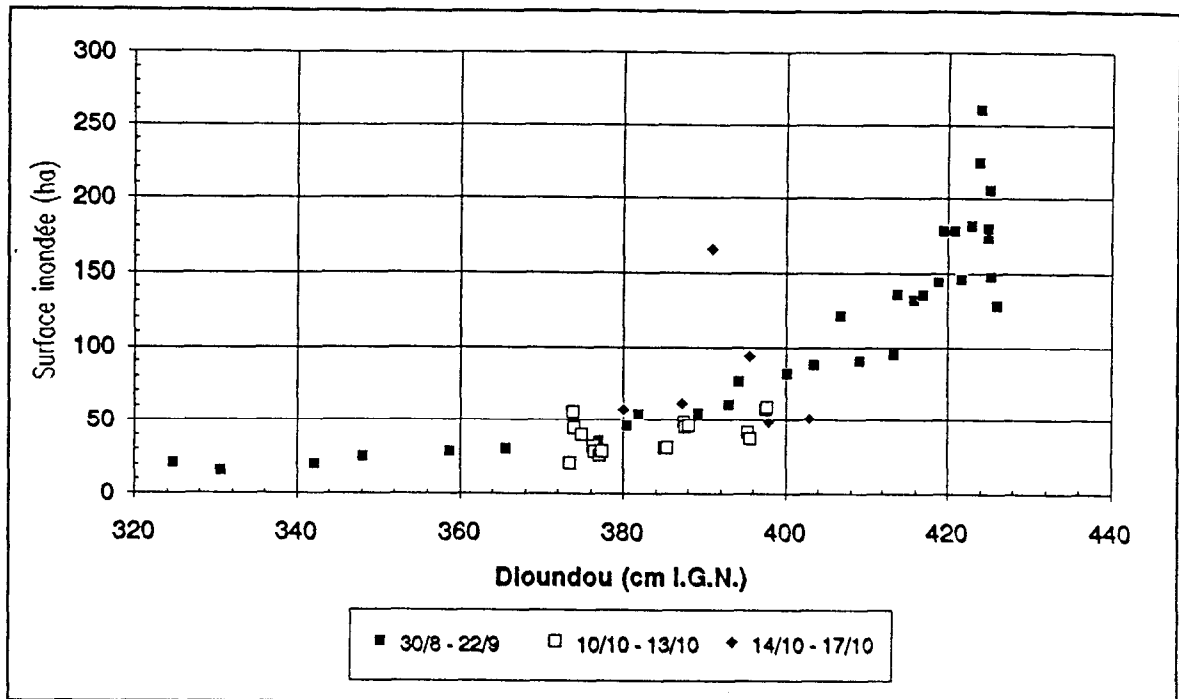


Figure II.4 - Surface inondée en fonction de la hauteur à l'échelle de Dioundou

## Chapitre III - Analyse limnimétrique de la cuvette Figo- Pont Gari

Les échelles implantées sur cette fraction de la cuvette de Nianga sont d'est en ouest :

- digue nord-sud aval,
- pont Gari,
- Ndayène intérieur est,
- et Ndayène extérieur ouest.

Avant la description du comportement interne de la cuvette, l'étude des relations entre N'Dayène ouest et les stations voisines du lit mineur du Sénégal est présentée.

### III.1 Etude des variations du N'Galenka à N'Dayène ouest

La figure III.1 présente la carte du Sénégal et des stations voisines de N'Dayène avec en mention la distance kilométrique les séparant de St. Louis.

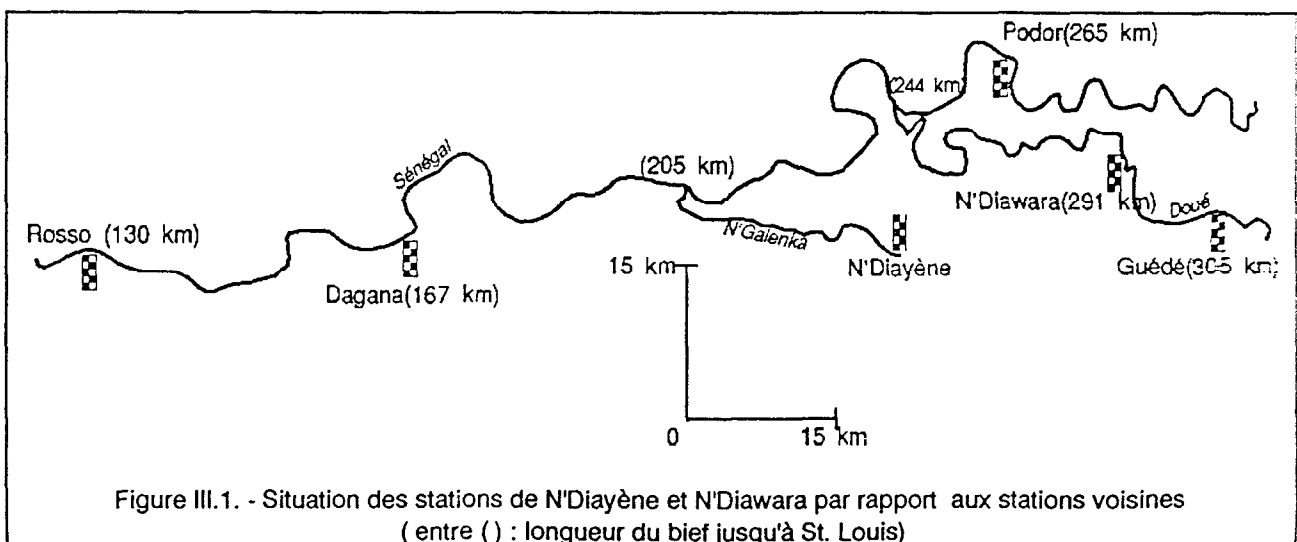
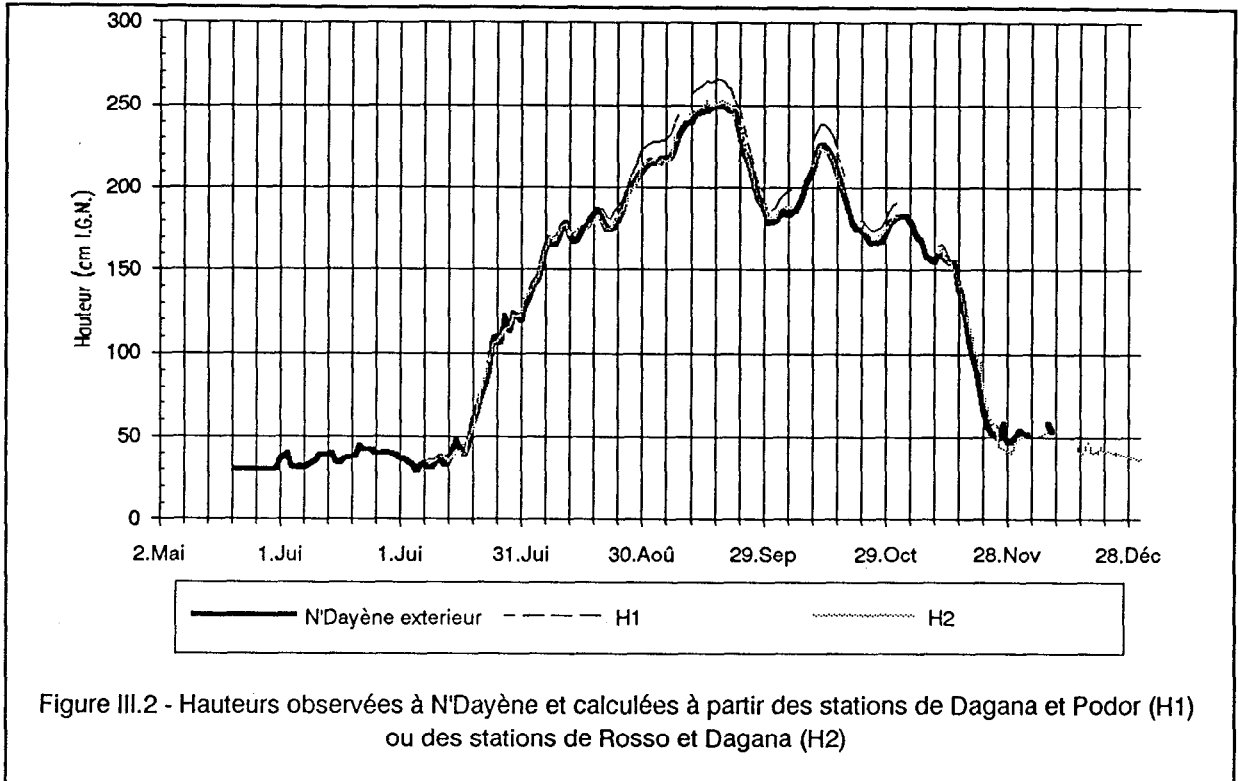


Figure III.1. - Situation des stations de N'Diawara et N'Dayène par rapport aux stations voisines (entre ( ) : longueur du bief jusqu'à St. Louis)

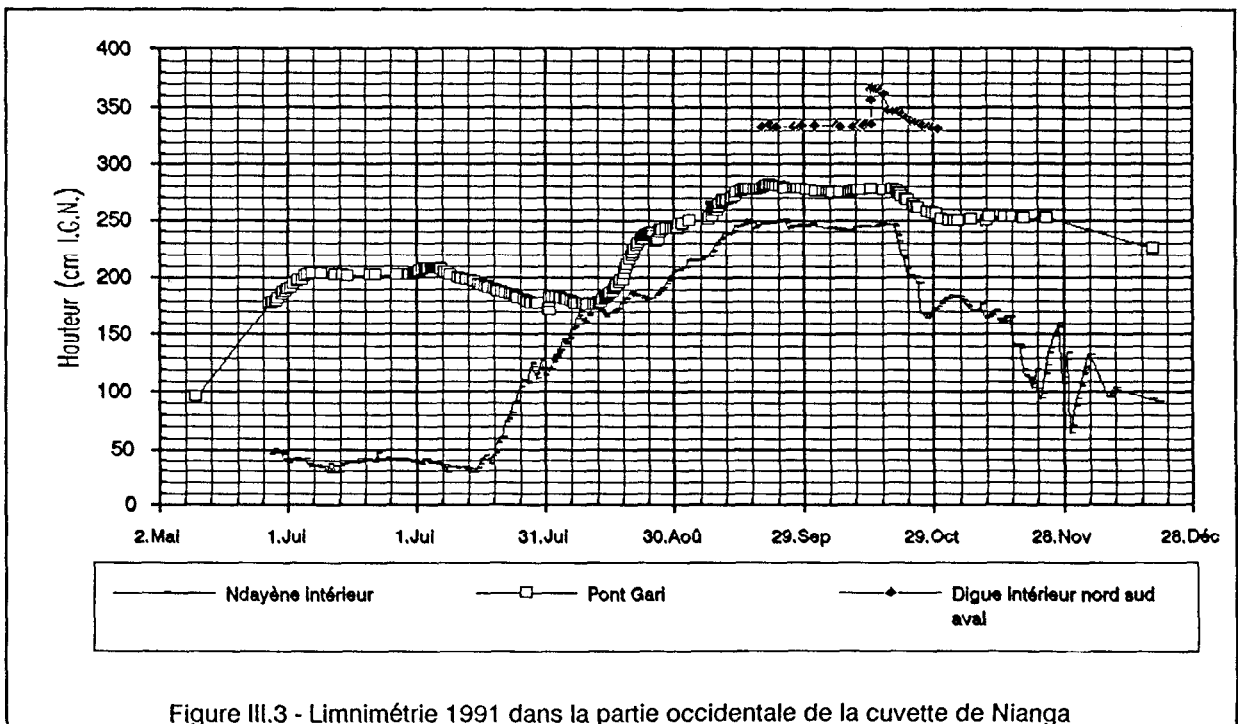
Sous l'hypothèse que le N'Galenka ne présente pas de seuil, le niveau d'eau à N'Dayène est égal au niveau d'eau à l'effluence du N'Galenka. La hauteur à l'effluence peut se calculer linéairement par interpolation entre Dagana et Podor ou par extrapolation de la ligne d'eau Rosso-Dagana. Dans le premier cas, les hauteurs calculées sont surestimées en crue, alors que dans le second cas, il y a adéquation (Cf. figure III.2). On peut en conclure que la ligne d'eau n'est pas linéaire entre Podor et Dagana, probablement du fait de la confluence du Sénégal et du Doué.

La hauteur à N'Dayène ouest est donc égale à  $H_{Dagana} + 1.027 \times (H_{Dagana} - H_{Rosso})$ .

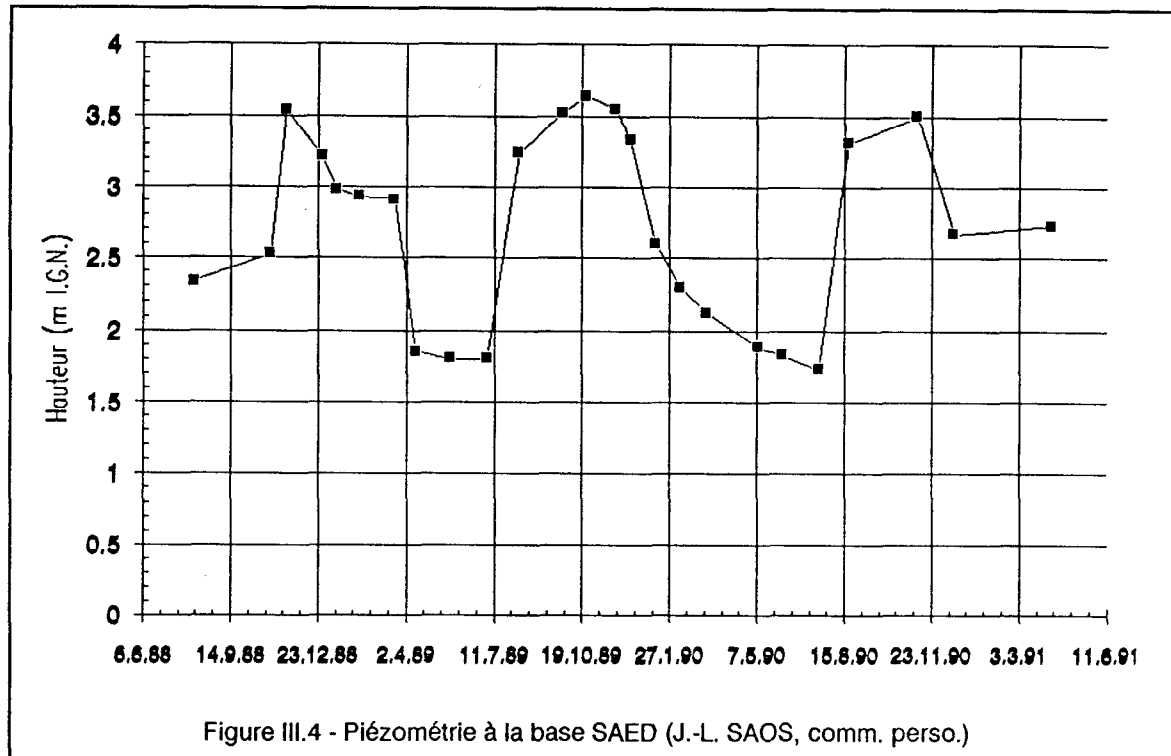


### III.2 Liaison N'Dayène intérieur, Pont Gari, Digue Nord-Sud aval

La figure III.3 montre la complexité des relations entre échelles. L'eau présente à la digue nord sud aval ne peut provenir du Pont-Gari. Une erreur de nivellement n'est pas à mettre en cause car l'échelle amont de la digue, calée sur le même repère, est en accord avec l'échelle de N'Diawara. Le suivi de la ligne d'eau vers l'aval sera nécessaire en 1992.



Les discordances entre Pont-Gari et N'Dayène peuvent s'expliquer par la présence d'un seuil sur le bief et par une double alimentation par le barrage de N'Dayène d'une part et, d'autre part, par les drains du périmètre de Nianga. Le marigot de Wali Diala doit être aussi alimenté par le drainage interne des nappes superficielles liées au périmètre. La figure III.4 présente les hauteurs piézométriques enregistrées à proximité de la base SAED à environ 1,5 km à l'ouest du Wali Diala, pour les années précédentes. Les hauteurs sont très importantes et doivent être parfois d'altitude supérieure à l'entaille du marigot.



La hauteur du seuil est probablement entre 2 m et 2,40 m. En effet, durant le mois de juin, tandis que la hauteur à Pont Gari fluctue entre 2 m et 2,10m, la hauteur à N'Diayène intérieur en communication avec le N'Galenka ouest reste à 0,40m. Par contre du 20 septembre au 19 octobre, bien que les vannes soient fermées, aucune diminution du plan d'eau due à des pertes par évaporation ou infiltration n'est observée à N'Diayène. Ceci implique une alimentation par Pont-Gari où la hauteur est d'environ 2,75 m. En novembre, le niveau à N'Diayène extérieur est bas et à chaque ouverture des vannes, il y a vidange de la cuvette. A chaque fois que les vannes sont refermées, le niveau à N'Diayène intérieur remonte. Là aussi, il doit y avoir une alimentation par pont Gari où le plan d'eau n'est plus qu'à 2,45 m.

La campagne 1991 par l'observation des niveaux des plans d'eau a mis en évidence deux systèmes hydrauliques, celui de Pont-Gari et du N'Galenka alimentant principalement la cuvette de Figo. Pour assurer leur compréhension, il conviendra en 1992 de :

- suivre le remplissage de la cuvette de Figo par l'implantation d'une échelle,
- localiser le seuil et son altitude,
- vérifier l'influence de la nappe dans le niveau à Pont-Gari par l'implantation de piézomètres (2),
- mesurer la conductivité dans les canaux d'adduction primaire (eau du fleuve), dans les drains de surface et dans le marigot de pont-Gari. Si des différences se remarquent, des analyses chimiques des ions majeurs seront effectuées.

## IV.1. - Principe

La méthode nécessitant le moins de données consiste à identifier la cuvette à un réservoir en communication avec le lit mineur (dans le cas le plus simple) par un déversoir à seuil épais à l'effluence. Connaissant les volumes transitant sur le déversoir, les précipitations, les pertes (infiltration, évaporation) et la courbe hypsométrique de la cuvette, on déduit la hauteur du plan d'eau dans la cuvette.

## IV.2 - Evaluation du débit sur un déversoir à seuil épais (CARLIER, 1980)\*

### IV.2.1 - Déversoir dénoyé

Le déversoir est dénoyé lorsque le niveau aval n'influence pas le débit du déversoir.

Soit  $H$  la charge à l'amont et  $h$  la charge sur le déversoir, le théorème de Bernouilli appliqué en deux points d'un filet liquide,  $M$  à l'amont et  $m$  sur le déversoir, permet d'écrire :

$$z_0 + (H - z_0) + \frac{V^2}{2g} - z_1 - (H - z_1) - \frac{U^2}{2g} = 0 \quad (\text{on néglige la perte de charge très faible entre } m \text{ et } M)$$

soit en négligeant la vitesse d'approche  $V$ ,

$$U = [2g(H-h)]^{0.5}$$

et pour une largeur  $L$  du déversoir, le débit sera :

$$Q = L h [2g(H-h)]^{0.5} \quad (1)$$

Le débit est maximal pour  $dQ/dh = 0$ .

Soit en dérivant (1),

$$h = 2/3 H$$

L'expression du débit devient :

$$Q = 0.385 L H [2gH]^{0.5}$$

ou en définissant la surface mouillée sur le seuil:  $S$ ,

$$Q = S [g h]^{0.5}$$

### IV.2.2 - Déversoir noyé

Le niveau aval  $H_1$  influence le débit du déversoir lorsque il est supérieur à  $2/3H$ . Dans ce cas, le débit  $Q_n$  est une fraction du débit dénoyé  $Q_d$ . Il peut s'écrire sous la forme :

$$Q_n = K' Q_d$$

$K'$  est une fonction du rapport  $H_1/H$ . La figure IV.1 présente l'évolution de ce rapport pour un seuil épais.

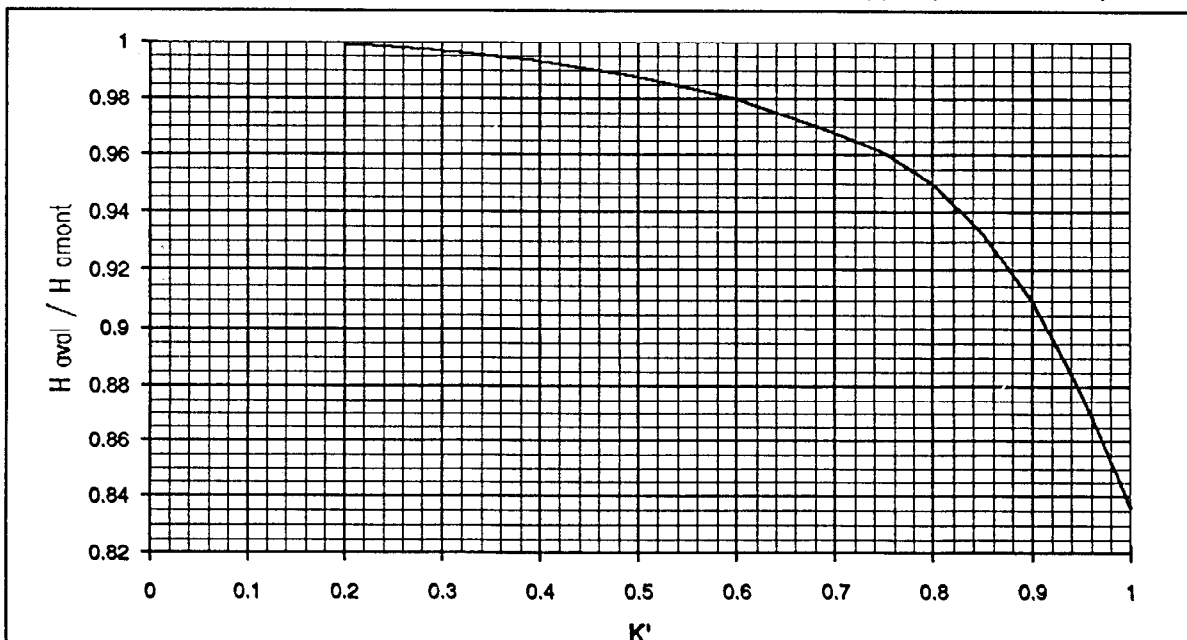


Figure IV.1 - Valeur du coefficient  $K'$  pour un seuil épais

\* CARLIER, 1980. Hydraulique générale et appliquée. Edit. Eyrolles, Paris, 567 p.



### IV.3 - Application à la cuvette de Dioundou

Lorsque le seuil est dénoyé (du 30 août au 11 septembre), le débit s'exprime sous la forme :

$$Q = S [g h]^{0.5} \quad (1)$$

L'altitude du seuil établie par nivellement à 3.76 m I.G.N. est arrondie à 3.80 m. La hauteur d'eau sur le seuil,  $h$ , est posée égale à la cote à l'échelle de N'Diawara ouest (dans le repère I.G.N.) moins l'altitude du seuil.

Les jaugeages n'étant pas effectués sur le seuil mais en aval, la section mouillée  $S$  au droit du seuil s'obtient par multiplication de la surface mouillée au site de jaugeage par un coefficient réducteur  $K$ .

Les sections mouillées des jaugeages sont portées en fonction de la cote à N'Diawara ouest sur la figure IV.2.

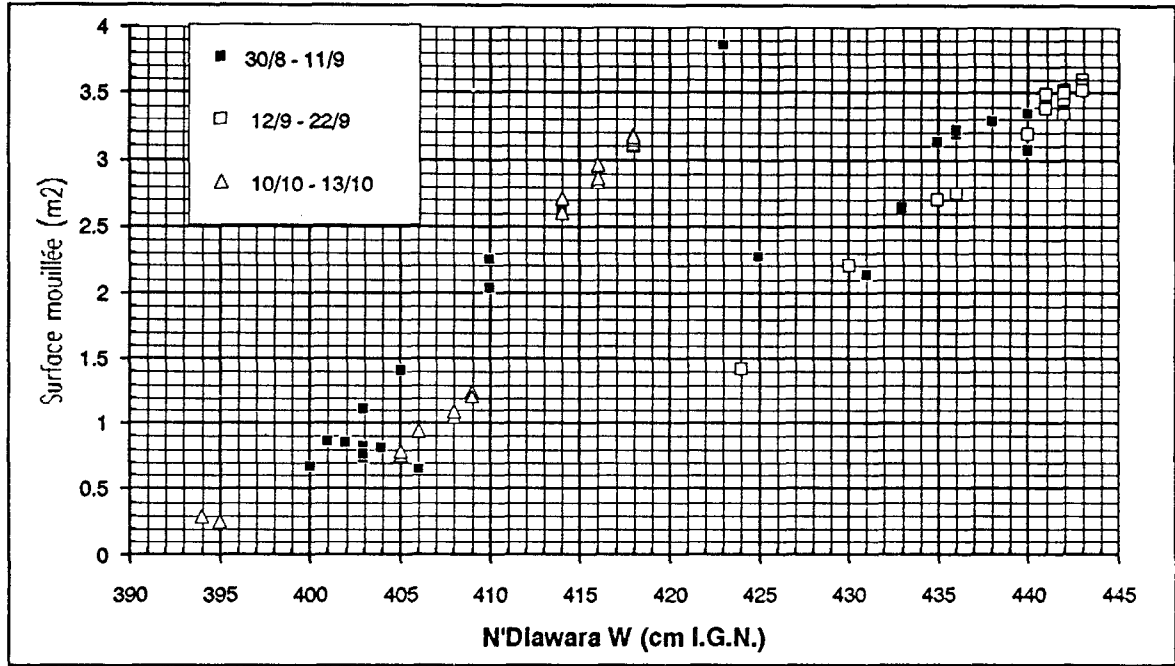


Figure IV.2 - Section mouillée des jaugeages

Deux sections de jaugeage se différencient. Le coefficient  $K$  s'obtient en faisant le rapport du débit mesuré au débit théorique calculé par la formule (1) avec comme section mouillée la section du jaugeage.  $K$  est reportée en fonction de la cote à N'Diawara ouest sur la figure IV.3.

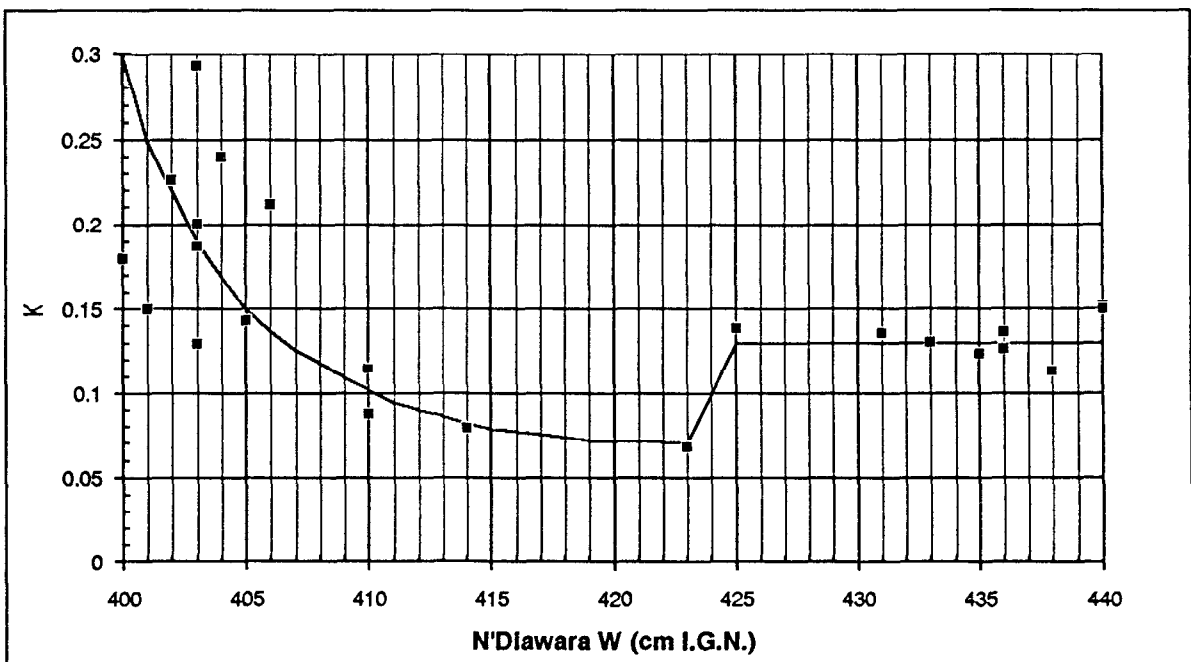


Figure IV.3. Valeur du coefficient K

En déduisant les valeurs de K de la courbe en trait plein de la figure IV.3, on détermine les débits Q par la formule

$$Q = K S_{\text{mouillée, jaugeage}} [g h_{N, \text{Diawara}} - 3.80]^{0.5}$$

La figure IV.4 permet la comparaison des débits observés aux calculés.

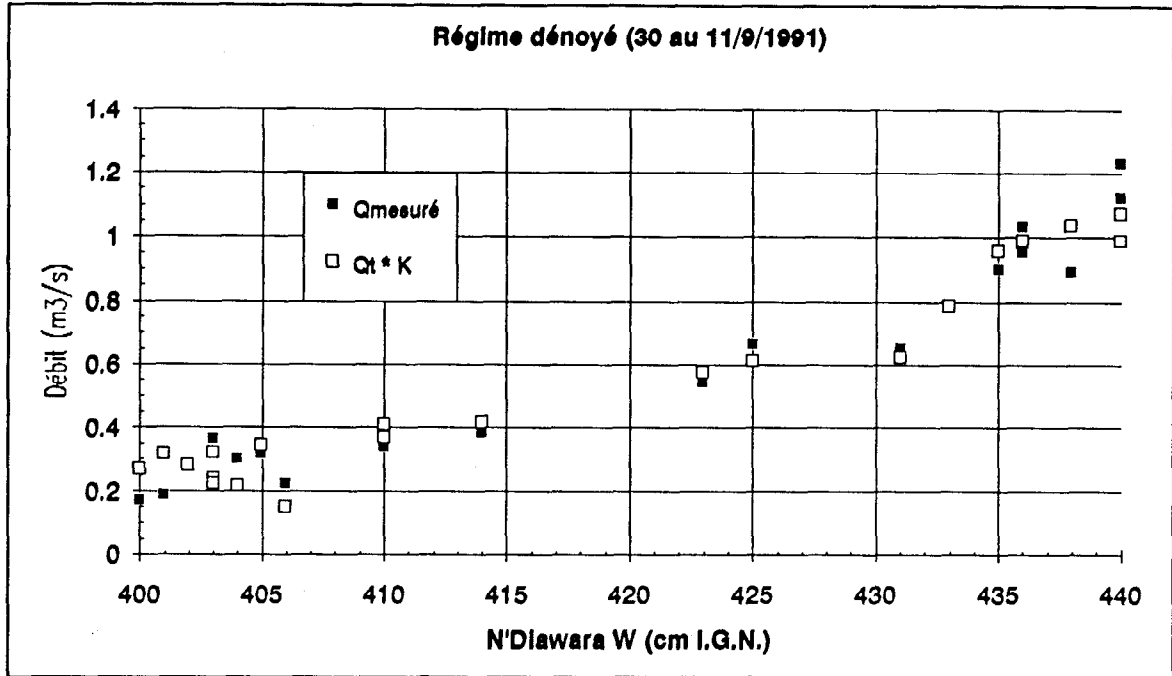


Figure IV.4 - Débit mesuré et débit calculé (selon l'hypothèse d'un seuil épais dénoyé)

Une fois le seuil noyé, le débit, d'après la théorie, est le produit du débit équivalent, en régime dénoyé, par un coefficient K' fonction du rapport Haval/Hamont :

$$Q_{\text{noyé}} = K' Q_{\text{dénoyé}} = K' * [K S_{\text{mouillée, jaugeage}} (g h_{N, \text{Diawara}} - 3.80)^{0.5}]$$

Sur la figure IV.5, nous avons reporté le rapport  $Q_{\text{noyé}}/Q_{\text{dénoyé}}$  (égal à  $K'$ ) en fonction du rapport des niveaux d'eau de Dioundou sur N'Diawara. Les valeurs de  $K'$  pour différents types de seuil sont également reportées. Les valeurs expérimentales sans être distribuées autour de la courbe correspondant au seuil épais restent dans une gamme de valeurs acceptables.

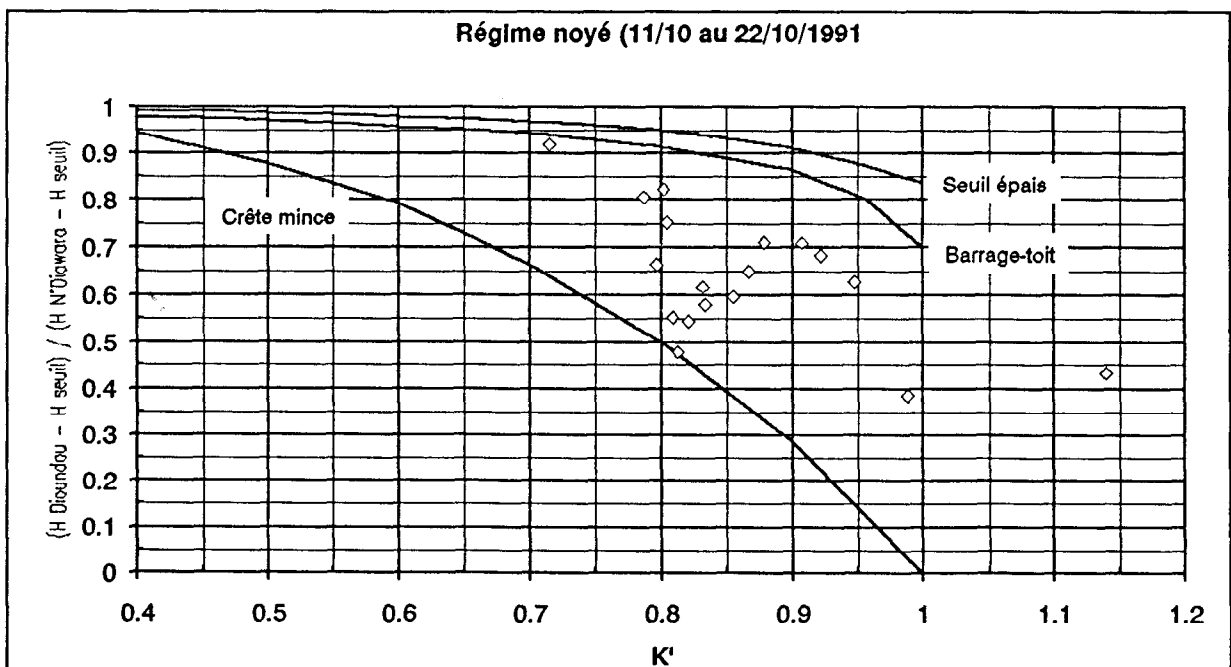


Figure IV.5 - Valeurs expérimentales du coefficient K'

Connaisant les lois de débit en régime dénoyé et noyé, la courbe hypsométrique de la cuvette et les pertes (évapotranspiration et infiltration), il est maintenant possible de modéliser le remplissage. Les données de 1992 serviront à valider les résultats présents.

## Chapitre V - Apport de l'image SPOT à la connaissance hydrologique de la cuvette

### V.1 Situation de l'image par rapport à la crue

Le 3 octobre 1991, les barrages de N'Diawara et de N'Diayène sont fermés car le fleuve est bas (Cf. figure V.1).

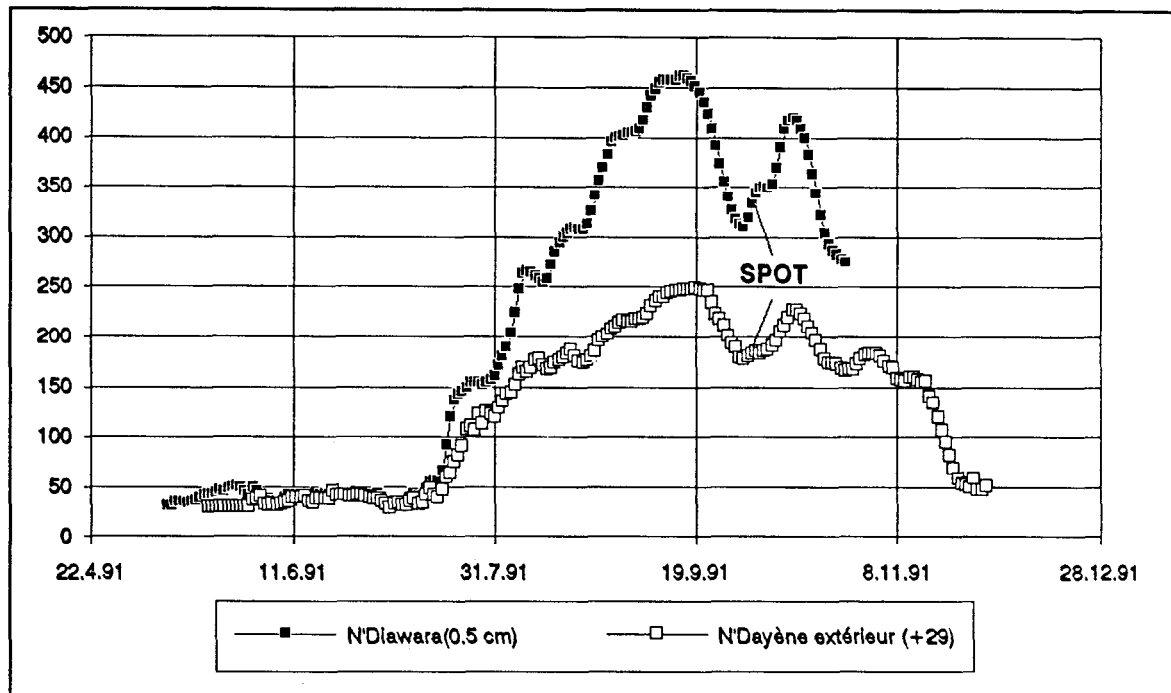


Figure V.1 Date de la prise de l'image SPOT par rapport aux limnigrammes (cm I.G.N.) de N'Diayène et N'Diawara

En altitude IGN, les niveaux aux échelles de Dioundou, Pont-Gari et N'Diayène intérieur sont respectivement de 3,92m, 2,75m et 2,44m.

### V.2 Cartographie des zones inondées

L'étude de la luminance dans le canal 3 (proche infra-rouge) montre que les surfaces en eau correspondent aux pixels de compte numérique inférieur à 96. La figure V.2 permet la vérification de la justesse de ce seuil. Sur ce détail de l'image SPOT, les pixels de valeur inférieure à 93 sont en noir. Des points astronomiques d'une précision de 20 m (un pixel ou 1/100 de minute) ont été pris sur le terrain à la limite eau-sol. Les losanges qui les symbolisent interceptent pratiquement toutes les surfaces noircies. Dans la région du fleuve où les terres sont dénudées, la cartographie satellitaire des surfaces en eau est d'une grande précision.

Fort de ce résultat, nous avons effectué le comptage des pixels "en eau" dans la zone de la cuvette de Dioundou. On aboutit à un total de 1380 soit une superficie de 55 ha. Ce résultat confirme la courbe hypsométrique obtenue par modélisation et invalide la courbe déduite de la carte topographique au 1:50 000. (Cf. figure II.4).

La précision de la délimitation des surfaces inondées suggère un croisement avec les données topographiques existantes. La topographie certes insuffisante pour l'établissement d'une courbe hypsométrique devrait permettre, par superposition à l'image SPOT, la définition du niveau moyen du plan d'eau. L'examen de la figure V.3 le confirme: le plan d'eau de la mare de Pont-Gari est à environ 2.75 m, niveau mesuré à l'échelle du pont.

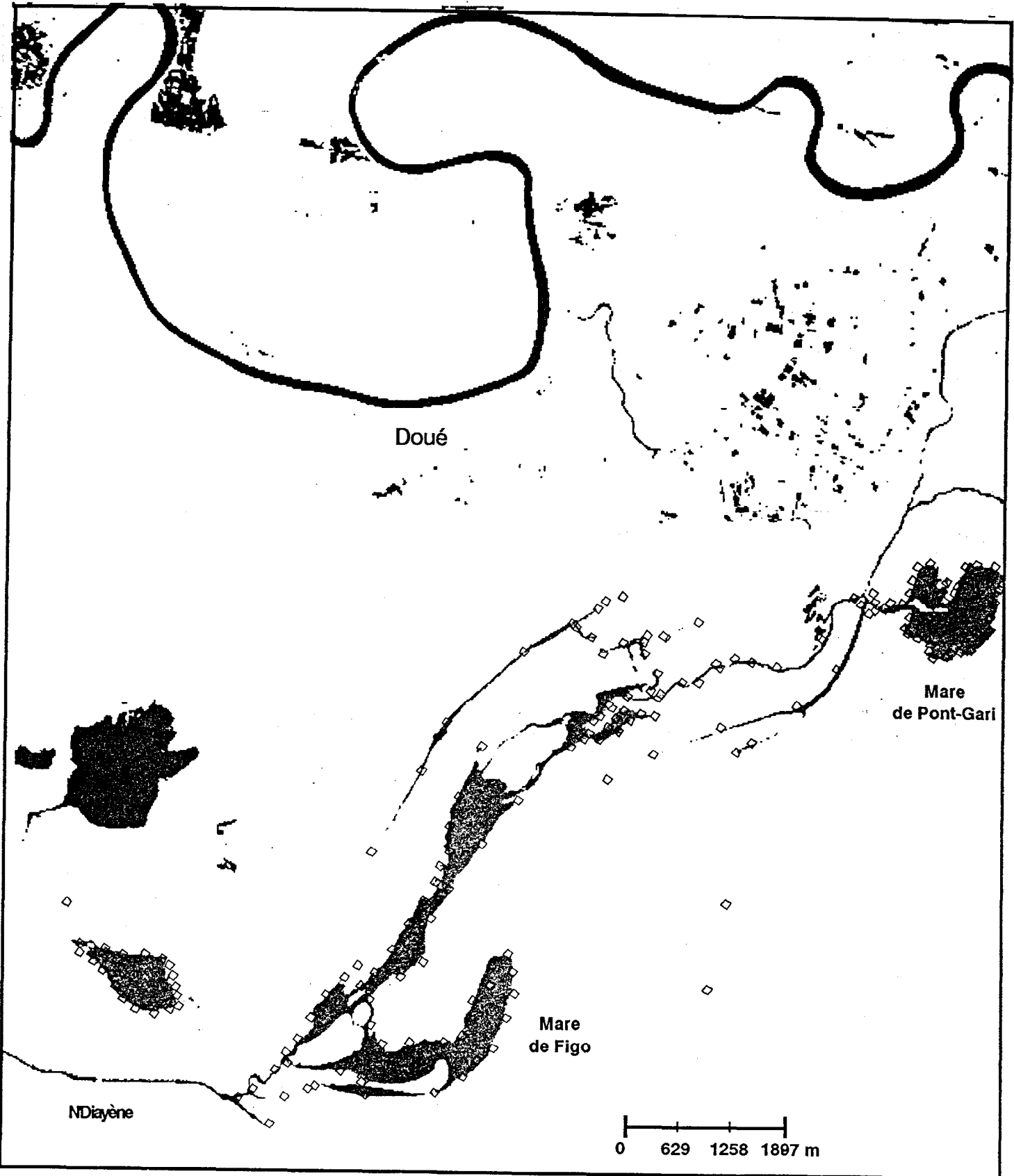


Figure V.2 - Zones en eau (noir) et points géographiques de la limite sol-eau (losange) déterminés sur le terrain avec un récepteur G.P.S.

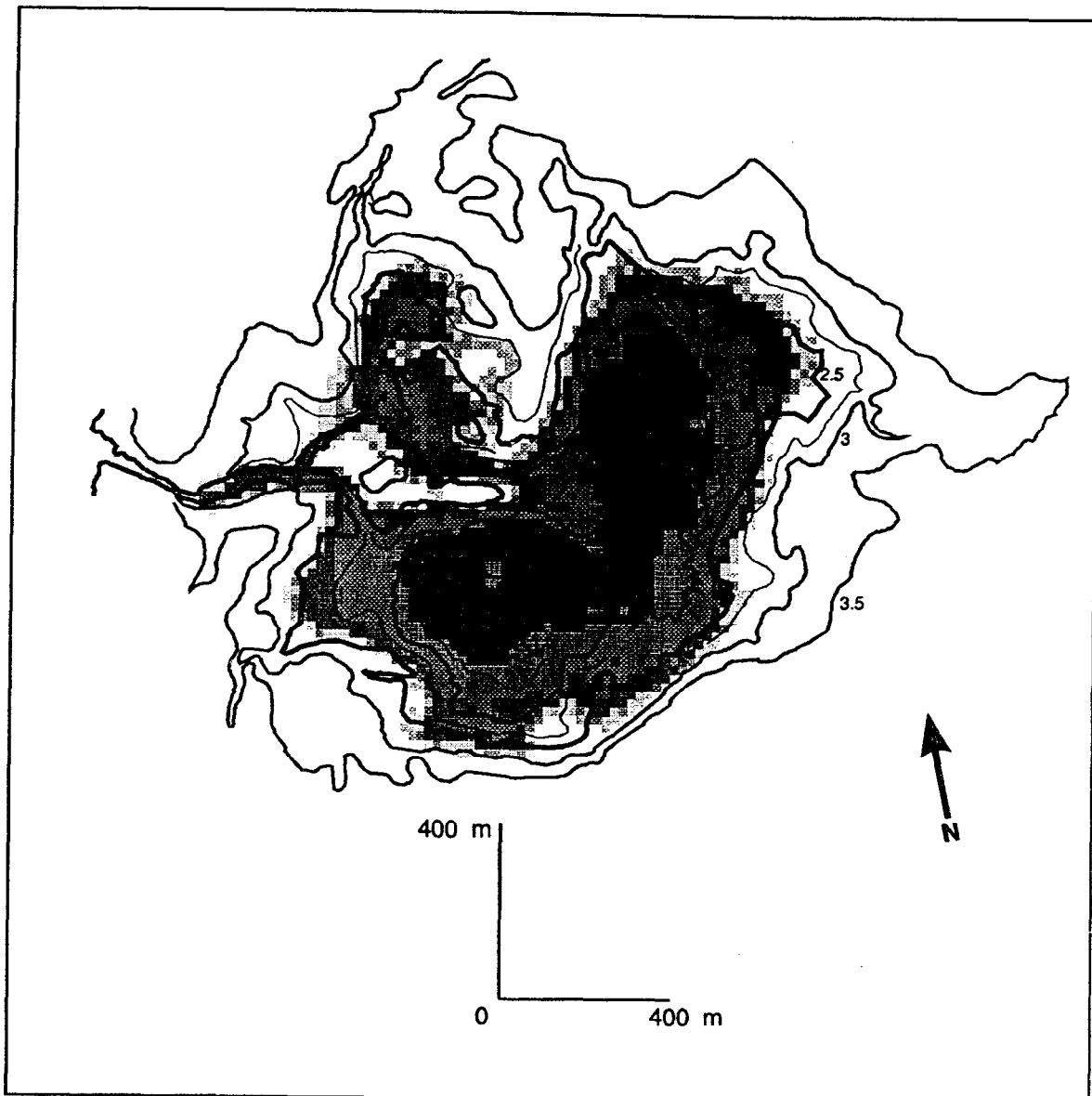


Figure V.3 - Délimitation de la mare de Pont Gari (zone exondée en jaune)

### V.3. Caractérisation du système hydraulique N'Diayène-Pont Gari

Une composition colorée des 3 canaux (Cf. figure V.4) montre une nette différenciation entre d'une part les eaux du Doué, du N'Galenka à N'Diayène et Figo et d'autre part les eaux de Pont-Gari. Les comptes numériques plus bas dans les trois canaux de ces dernières indiquent des eaux moins turbides filtrées dans le périmètre ou dans le sol.

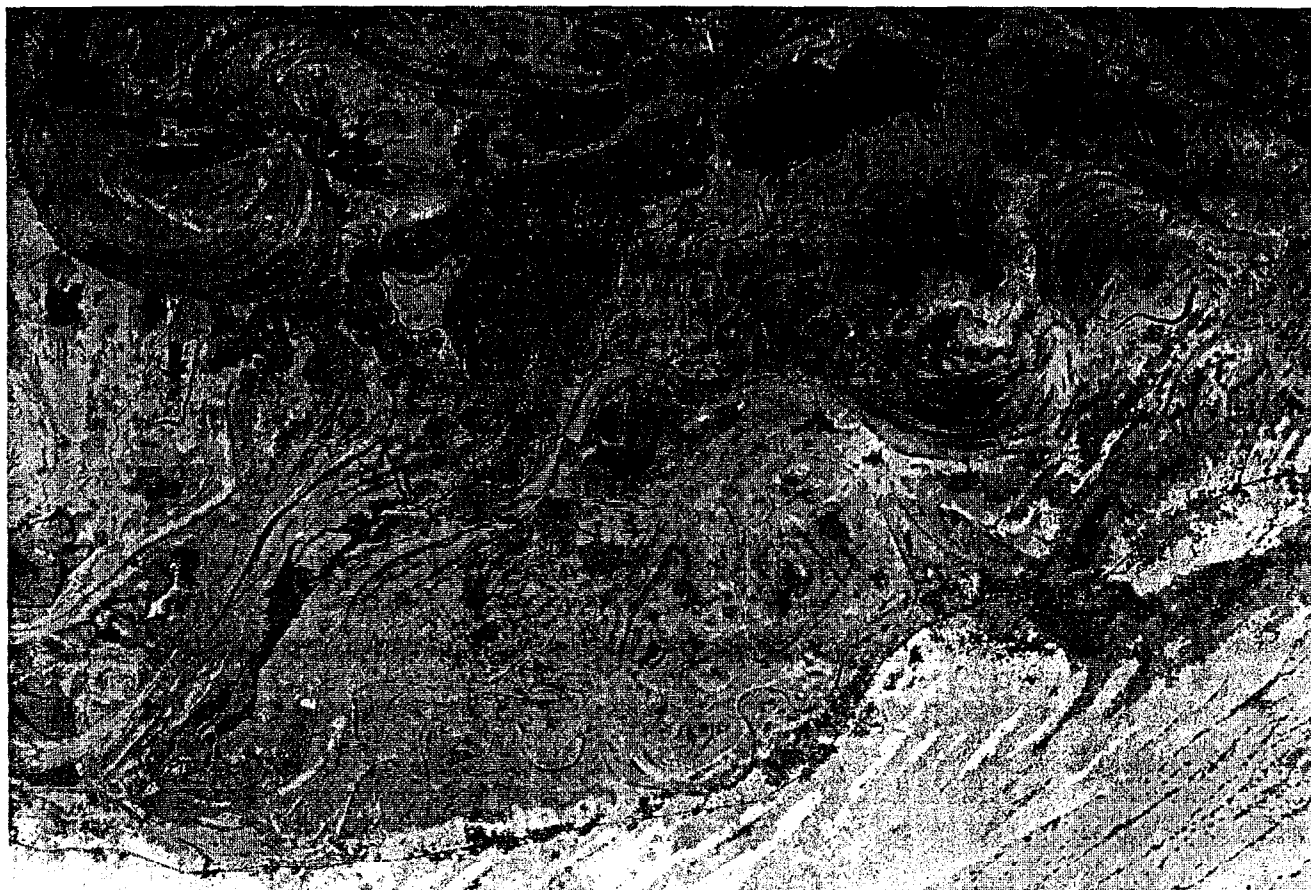


Figure V.4 - Composition colorée (cuvette de Nianga (3 octobre 1991)) : les eaux de drainage du périmètre (rouge) apparaissent foncées et se distinguent de celles de la crue, turquoise.

### Conclusion

A l'issu d'une année d'observations, les résultats suivants ont été obtenus :

- Etalonnage des voies d'accès de l'eau à la cuvette (N'Diayène, N'Diawara) et dans la cuvette (digue Nord-Sud),
- Cubage des volumes ayant transité à ces stations,
- Définition des relations entre les hauteurs aux stations de contrôle de la cuvette et les stations longue durée du lit mineur (Guédé chantier, Rosso, Dagana),
- Modélisation hydrologique de la sous-cuvette de Dioundou,
- Etablissement des signatures spectrales des surfaces inondées en fonction de l'épaisseur de la lame d'eau et de la turbidité,
- Justification de la télédétection comme outil qualitatif et quantitatif de caractérisation des zones inondées.

Les travaux de terrain à effectuer en 1992 devront servir à :

- valider la modélisation de la sous-cuvette de Dioundou,
- caractériser et modéliser les plans d'eau de N'Diayène-Figo et Pont Gari.

## Table des matières

Chapitre I - Inventaire des stations.....	1
Chapitre II - Analyse limnimétrique de la cuvette de Dioundou .....	1
II.1. Liaison Guédé-N'Diawara.....	1
II.2. - Liaison N'Diawara amont est - N'Diawara aval ouest .....	2
II.3. Liaison N'Diawara aval ouest - Dioundou - Digue nord-sud amont .....	3
Chapitre III - Analyse limnimétrique de la cuvette Figo- Pont Gari .....	4
III.1 Etude des variations du N'Galenka à N'Dayène ouest.....	4
III.2 Liaison N'Dayène intérieur, Pont Gari, Digue Nord-Sud aval .....	5
Chapitre IV - Modélisation du remplissage d'une cuvette .....	7
IV.1. - Principe .....	7
IV.2 - Evaluation du débit sur un déversoir à seuil épais(CARLIER, 1980)* .....	7
IV.2.1 - Déversoir dénoyé .....	7
IV.2.2 - Déversoir noyé .....	7
IV.3 - Application à la cuvette de Dioundou.....	8
Chapitre V - Apport de l'image SPOT à la connaissance hydrologique de la cuvette .....	10
V.1 Situation de l'image par rapport à la crue .....	10
V.2 Cartographie des zones inondées .....	10
V.3.Caractérisation du système hydraulique N'Diayène-Pont Gari .....	13