

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION
oooooooooooooooooooooooooooo

ETUDE DES ANOMALIES DES CRUES DU NIGER
oooooooooooooooooooooooooooo

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE MER

JEAN - PIERRE LAMAGAT
MICHEL MOLINIER

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I :	
HISTORIQUE DES ANOMALIES DES CRUES DU NIGER	2
CHAPITRE II :	
TARAGE DES STATIONS NON BI-UNIVOQUES	
Approche théorique	4
Applications pratiques	8
DIRE	14
TOSSAYE	19
TONKA	24
BENENI KEGNY	28
SOFARA	31
MOPTI	38
KE MACINA	41
SARAFERE	44
Relation gradient/pente	
CHAPITRE III :	
COMPARAISON DES DEBITS CALCULES AUX STATIONS	
Introduction	46
Modules de KOULIKORO - KIRANGO AVAL - KE MACINA	51
Modules de KARA - TILEMBEYA	51
Modules de SOFARA - BENENI KEGNY - DOUNA	55
Modules de MOPTI	56
Modules de DIRE et TOSSAYE	58
Modules de TONKA	62
Modules de GOUNDAM	66
Modules de l'ensemble de la CUVETTE LACUSTRE	66
Reconstitution du module de TOSSAYE	66
Tableaux des MODULES MENSUELS	69
CHAPITRE IV :	
VARIATIONS DU REGIME DES CRUES DU NIGER	
Etalonnages	79
Interprétation	88
Modules - Débits maximaux	91
Tableaux des analyses et résultats des interprétations	93

INTRODUCTION

Lors de la rédaction du deuxième tome de la MONOGRAPHIE du FLEUVE NIGER, tome qui intéresse la CUVETTE LACUSTRE ou DELTA INTERIEUR, il nous a paru intéressant d'en extraire la partie qui représente les chapitres II et III de la présente note.

Les résultats obtenus nous ont encouragé à écrire le dernier chapitre qui contient l'interprétation et les conclusions qui nous ont semblé s'imposer dans l'état actuel d'avancement des programmes de mesures et de recherches.

Il reste, bien sûr, à déterminer la ou les causes physiques des changements de régimes, mais dans le cadre de l'équipement hydro-agricole de la VALLEE du NIGER, nous pensons que la présente étude quantitative des équilibres hydrauliques, des bilans, de la période transitoire, apporteront aux AMENAGEURS les éléments qui leurs sont indispensables dans l'élaboration de leurs projets.

L'expérience acquise aux cours de plus de dix années passées en République du MALI nous a été particulièrement précieuse lors de la réalisation des analyses et surtout dans le cadre des interprétations des bilans hydrauliques.

Le chapitre III "COMPARAISON DES DEBITS" a été écrit par Michel MOLINIER, Hydrologue, Maître de Recherches de l'O.R.S.T.O.M.-.

Bondy, Décembre 1982

Jean - Pierre LAMAGAT

Maître de Recherches de l'O.R.S.T.O.M.

C H A P I T R E I

HISTORIQUE DES ETUDES DES ANOMALIES DES CRUES DU NIGER

En 1970, dans la note intitulée : "MODIFICATIONS DU REGIME HYDROLOGIQUE DU NIGER A NIAMEY DEPUIS 1966", J. RODIER et P. CHAPERON mirent en évidence la variation d'amortissement de la crue du NIGER lors de son passage dans le DELTA INTERIEUR.

A la demande de la COMMISSION DU FLEUVE NIGER, le MINISTERE de la COOPERATION de la REPUBLIQUE FRANCAISE confia à l'ORSTOM la réalisation d'une étude de deux ans devant conduire à la détermination des causes des anomalies des crues du FLEUVE NIGER. Anomalies apparaissant dès TOSSAYE au MALI puis dans le bief aval.

Le projet d'étude fût étroitement associé au projet appelé "SAPHYR" (Satellit Project Hydrologic Research) déposé conjointement par la Direction Générale de l'Hydraulique et de l'Energie du MALI, l'ORSTOM et le BDPA (Bureau de Développement de la Production Agricole) pour bénéficier de l'imagerie du satellite ERTS B (devenu ensuite LANDSAT).

Les deux premières années d'étude furent consacrées à développer le système d'observations afin d'accroître l'information sur le transit de la crue du FLEUVE à travers son DELTA INTERIEUR. L'interprétation des données existantes permit de mettre en relief l'évolution du régime des crues et une première interprétation de l'imagerie LANDSAT fût réalisée afin de mieux décrire le processus de transit de la crue dans le DELTA en aval du Lac DEBO.

Nous ne reviendrons pas sur les conclusions qui furent tirées de ces deux premières années d'études, elles se trouvent dans le rapport de synthèses 1975/77. Il reste à souligner, cependant, que seule une recommandation fût très utile par la suite : la poursuite des mesures de débits et l'entretien des stations de la partie aval du Lac DEBO. Les autres recommandations conduisirent pratiquement à des impasses, en particulier la partie géomorphologie.

La seconde phase (1977-79) a fait suite aux conclusions tirées du premier "RAPPORT DE SYNTHESE - 1975-77 - F. MONIOD". Ces conclusions sont présentées dans le "RAPPORT INTERIMAIRE DE LA SECONDE PHASE D'ETUDE -1977-79" - J.C. KLEIN, nous les rappelons brièvement :

- " Les modifications du régime hydrologique sont hors de doute et leur ampleur a pu être quantifiée avec une relative précision;
- " Les modifications de structure du réseau hydrographique dans le DELTA CENTRAL sont pratiquement inexistantes et ne suffisent pas en tous cas à expliquer les anomalies;
- " L'analyse hydraulique détaillée, menée à partir des éléments dont on disposait, a conduit à l'hypothèse d'une activation du réseau défluent contournant la station de DIRE.

L'étude des causes des anomalies restant cependant peu concluante à l'issue de ces deux années, une nouvelle étude de deux ans (1977-1979) a été confiée à l'ORSTOM qui devait réaliser les études et travaux suivants :

- Poursuite des études hydrologiques dans le DELTA CENTRAL sur les anomalies des crues du NIGER et l'évolution du régime du Fleuve ;
- Recherche des facteurs agro-géomorphologiques ayant provoqué l'activation du réseau défluent, tenu pour responsable des anomalies.

Dans le chapitre V du rapport intérimaire, J.C. KLEIN donnait une orientation à suivre à l'étude (troisième phase). Nous ne rappellerons pas ici les sept points de cette orientation qui se trouvent dans le rapport cité ci-dessus.

Dans ce qui suit, nous utilisons une nouvelle méthode de traitement des hauteurs d'eau qui ne correspond pas, en fait, exactement aux recommandations du rapport intérimaire.

Au cours de la troisième phase (1979-1981) il nous est apparu que la solution possible du problème se situait dans une meilleure connaissance de la transformation des hauteurs en débits, en particulier dans le cas des stations non bi-univoques. Une traduction relativement précise pouvant seule nous apporter des éléments nouveaux pour une meilleure connaissance des phénomènes de transferts hydrauliques dans le DELTA INTERIEUR.

A l'heure actuelle, le problème à résoudre se traduit schématiquement de la façon suivante (en prenant en compte les résultats acquis à ce jour).

- Jusqu'à la crue 1961/62, on observe un transit de la crue du Fleuve entre l'entrée du DELTA INTERIEUR (KOULIKORO + DOUNA ou KE MACINA + BENENI KEGNY) et la sortie (TOSSAYE, ANSONGO et NIAMEY) qui correspond à un équilibre hydraulique, c'est-à-dire qu'à un volume d'eau entrant de fréquence donnée, il correspond un hydrogramme de sortie dont les paramètres (module et valeurs maximales) présentent sensiblement la même fréquence de retour.
- A partir de 1962 et jusqu'à la crue 1965/66 comprise, on assiste à une évolution de l'état d'équilibre hydraulique qui se traduit par une diminution de l'amortissement de la crue pendant le transit dans le DELTA INTERIEUR.
- Depuis 1966, nouvel état d'équilibre, les paramètres des hydrogrammes ne varient pratiquement plus et correspondent dans le nouvel équilibre à des fréquences très différentes de celle du volume d'eau entrant dans la CUVETTE LACUSTRE. Les valeurs maximales sont maintenant supérieures de 15% à ce qu'elles seraient si on était encore dans l'équilibre hydraulique antérieur à 1962. Les modules correspondent sensiblement, eux, aux mêmes régressions qui régissaient l'ancien équilibre, ces régressions qui établissent la correspondance entre modules aux stations d'entrée et de sortie du DELTA sont valables pour toutes la période des observations.





Depuis le début de la 3ème phase, en 1979, nous avons pensé que la solution du problème consistait à reconstituer une série de régressions entre modules aux stations du DELTA, régressions traduisant avec une précision suffisante le transfert des volumes d'eau entrant dans la CUVETTE LACUSTRE (KOULIKORO + DOUNA) en volumes sortant (TOSSAYE et NIAMEY).

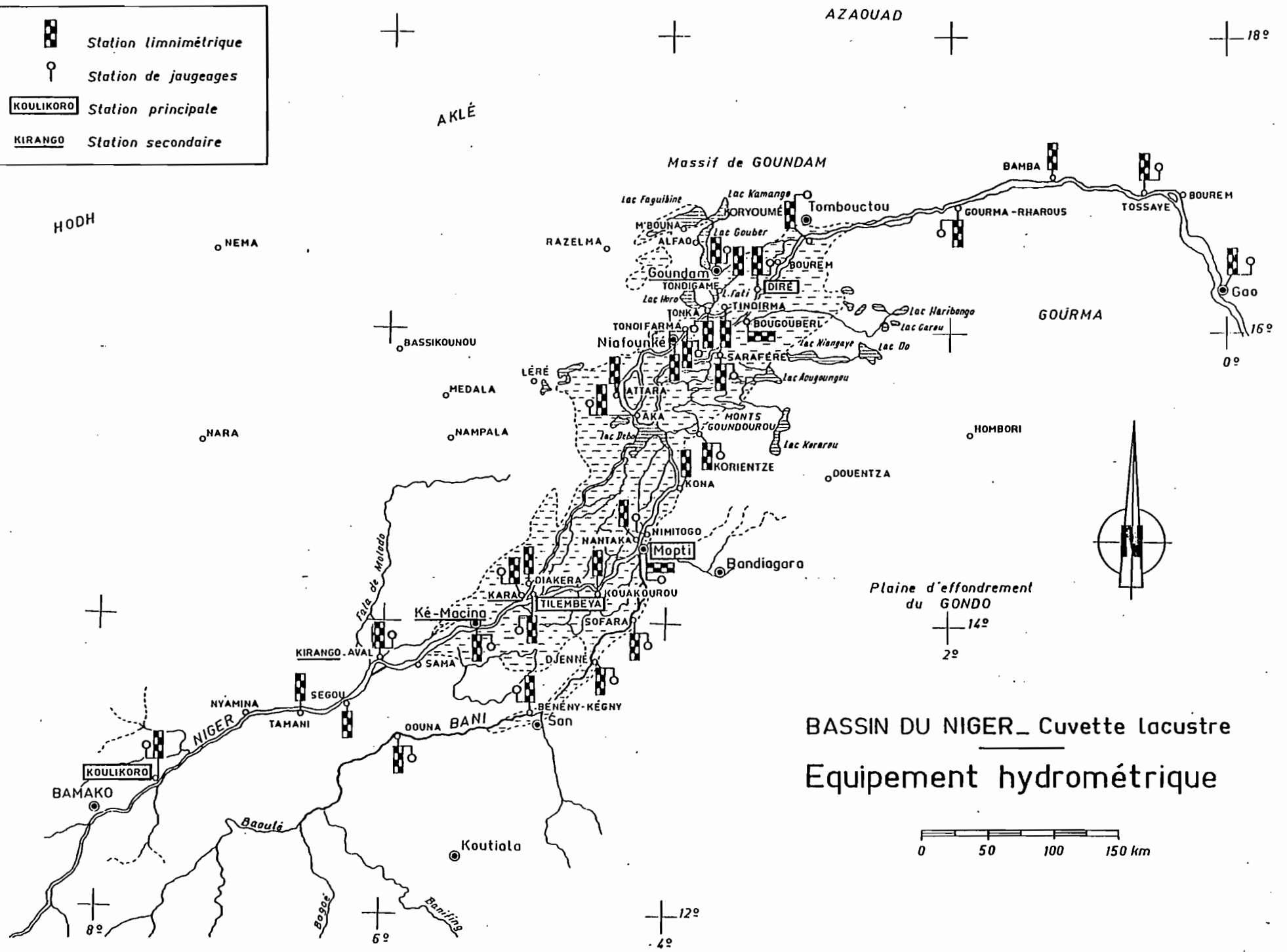
Dans le chapitre II nous exposons une solution théorique du problème de la transformation des hauteurs d'eau en débits pour les stations non bi-univoques. Dans ce même chapitre sont présentés les résultats de l'application de cette théorie à toutes les stations du DELTA INTERIEUR.

Dans le chapitre III nous établissons les régressions entre MODULES et nous effectuons les bilans aux niveaux mensuel et annuel, bilans qui assurent des validités des régressions et des différents étalonnages respectifs de chaque station. Ces détarages ont pu être calés dans le temps grâce à l'utilisation de la méthode des doubles cumuls.

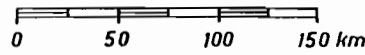
Le chapitre IV contient l'interprétation finale et les conclusions auxquelles nous ont conduits les traductions des hauteurs en débits qui jusqu'ici étaient mal connues, les comparaisons des MODULES et des DEBITS MAXIMAUX, ainsi que celles des HAUTEURS MAXIMALES entre stations consécutives.

A la fin de ce dernier chapitre nous proposons une interprétation des différents équilibres, de la période transitoire, et une prévision statistique concernant les stations de l'aval du DELTA INTERIEUR dans le cadre du nouvel équilibre actuel.

	Station limnimétrique
	Station de jaugeages
	Station principale
	Station secondaire



BASSIN DU NIGER_ Cuvette lacustre
 Equipement hydrométrique



C H A P I T R E I I

TARAGES DES STATIONS NON UNIVOQUES

Les stations du DELTA CENTRAL du NIGER et plus particulièrement celles des biefs DOUNA-MOPTI et KE MACINA-TOSSAYE sont du type non univoque à une seule échelle de crue.

Dans ces biefs, la non univocité est provoquée par la relative faiblesse de la pente moyenne du radier du fleuve devant les variations de pente de la ligne d'eau en crue et décrue.

Les variations de cotes engendrées par l'arrivée de l'onde de crue entraînent des changements de pente des lignes d'eau du fleuve qui ne sont pas négligeables en comparaison de la pente générale moyenne du radier du fleuve.

2.1. STATIONS NON UNIVOQUES

Dans ce qui suit nous nous proposons d'évaluer l'influence des variations du plan d'eau, en une station donnée, sur le débit du fleuve, pour une cote déterminée. C'est-à-dire que nous cherchons à connaître la variation relative de Q en fonction de la variation de pente engendrée par la montée ou la descente des eaux.

2.1.1. APPROCHE THEORIQUE

En régime uniforme, pour une hauteur H à l'échelle de crue nous avons un débit correspondant Q_0 et une vitesse moyenne dans la section au droit de l'échelle de crue V_0 .

D'après CHEZY nous avons :

$V_0 = K \cdot I_0^{0,5}$ (1) I_0 est la pente de la ligne d'eau en régime uniforme, elle est égale à la pente moyenne du radier du fleuve.

Lorsque le régime varie, pour la même cote H à l'échelle de crue, nous avons :

$V = K \cdot I^{0,5}$ K est constant puisque dépendant de la rugosité et de la section mouillée qui ne changent pas, à hauteur égale à l'échelle de crue.

En régime graduellement varié, pendant le temps Dt , la hauteur à l'échelle a changé et cette variation entraîne un changement de pente DI égal à :

$DI = DH/Dx$ DI : variation de pente par rapport à la pente moyenne du radier,

Dx : Chemin parcouru pendant le temps dt par l'onde de crue;

Si nous appelons U = célérité de l'onde de crue, il vient :

$$Dx = U \cdot Dt$$

et :

$$DI = DH/U \cdot Dt$$

comme :

$$I = I_0 + DI$$

(2) peut s'écrire : $V = K \cdot (I_0 + DI)^{0,5}$ (3)

Cette équation peut encore s'écrire en utilisant (1) :

$$V^2 / V_0^2 = 1 + (I_0 \cdot U)^{-1} \cdot DH/Dt$$

Nous posons : $y = V/V_0 = Q/Q_0$ Q_0 et V_0 débit et vitesse en régime uniforme pour la cote H .

DH/Dt est exprimé en m/s, si nous voulons l'exprimer en cm/jour, nous introduisons une constante de transformation égale à :

$$8,64 \cdot 10^6$$

I_0 , pente générale moyenne du radier est aussi une constante dans la mesure où il ne s'est pas produit de modification profonde du radier du fleuve. Nous regroupons les deux termes suivants sous un seul terme :

$$a = 1/8,64 \cdot 10^6 \cdot I_0$$

En exprimant en cm/j la variation de cote dans le temps et en l'appelant G (gradient limnimétrique), (3) s'écrit alors :

$$y^2 - 1 = G \cdot a/U \quad (4)$$

Le terme U qui représente la célérité de l'onde de crue est très difficile à cerner car impossible à mesurer si ce n'est par le moyen de l'équation (4). Il se décompose en deux éléments :

$$U = V + c \quad (5)$$

V = Vitesse moyenne dans une section donnée.

c = Vitesse de propagation des petites perturbations dans un canal considéré comme idéal.

$$c = (g \cdot y)^{0,5} \quad (6)$$

y = Profondeur moyenne dans la section considérée.

g = Accélération de la pesanteur.

Il est impossible de mesurer y en fonction de la cote à une échelle donnée et même si la connaissance de la topographie de la section était suffisamment précise, la vitesse moyenne de l'eau dans cette section ne serait pas mesurable, sauf dans le lit principal. En effet, nous nous trouvons dans un delta où les directions des vitesses, les défluences, les rugosités variables, l'influence de la végétation, etc... sont quasiment impossibles à mesurer.

Dans la mesure où l'on n'observe pas de modifications importantes dans le temps et dans l'espace des sections mouillées, il est toujours possible de représenter la variation de U en fonction de la cote à l'échelle, la profondeur de l'eau et les différents paramètres intégrés dans l'équation (5) étant directement liés à cette cote.

Pour une profondeur donnée en régime graduellement varié, le terme a/U sera donc assimilable à une constante. Nous aurons donc, pour le tracé de la courbe de tarage en régime uniforme, une équation de la forme :

$$y^2 - 1 = k \cdot G \quad (7)$$

avec :

$$k = (8,64 \cdot 10^6 \cdot I_0 \cdot U)^{-1} \quad (8)$$

(7) peut encore s'écrire :

$$y = (1 + k \cdot G)^{0,5} \quad (8)$$

Le terme k que nous appelons dans ce qui suit "coefficient de correction de gradient" est petit dans tous les cas envisagés et souvent inférieur à 0,1 ; pour les valeurs de G faibles nous pourrions écrire :

$$y \approx 1 + G \cdot k/2 \quad (9)$$

2.1.2. APPLICATIONS PRATIQUES

Nous utilisons l'équation de correction de gradient sous la forme (7). L'application n'est pas simple car les paramètres qui interviennent dans l'analyse sont connus avec une précision qui est très souvent insuffisante. Nous disposons de deux séries de valeurs pour établir la courbe de tarage d'une section donnée :

- Cotes à l'échelle de crue au moment de la mesure de débit et les jours précédents et suivants (évaluation du gradient).
- Débit mesuré réel, qui n'est pas toujours connu avec une précision inférieure à 4%, ceci en raison des mauvaises conditions de travail (vents, etc...), où de l'expérience insuffisante des Hydrométristes.

Afin de réduire les erreurs provenant des observations de cotes, nous utilisons dans la phase traitement automatique une pondération des lectures d'échelle qui s'étale sur la période entourant le jour où la mesure a été effectuée, ceci pour l'évaluation du gradient limnimétrique :

$$(10) \quad G = \frac{1}{200} \left(\sum_{i=-4}^{-1} \frac{H_{j+i} - H_j}{i} (5 + i)^3 + \sum_{i=4}^1 \frac{H_{j+i} - H_j}{i} (5 - i)^3 \right)$$

G est exprimé en cm/jour.

Lorsque nous effectuons l'analyse nous utilisons la valeur du gradient calculée à l'aide des cotes des jours j-1 et j+1 :

$$G = (H_{j+1} - H_{j-1})/2 \quad (11)$$

2.1.2.1. Méthodologie pratique

Les paramètres à évaluer sont Q_0 et k . Nous utilisons l'équation de correction sous la forme :

$$y^2 - 1 = K \cdot G \quad (7)$$

ou

$$Q_0 = Q / (1 + k \cdot G)^{0,5} \quad (12)$$

Nous procédons de la façon suivante :

- 1/ - Nous portons sur papier millimétré : en abscisses les cotes des mesures et en ordonnées les valeurs des débits mesurés.
- 2/ - Nous traçons une courbe moyenne passant sensiblement au milieu des points de crue et de décrue.
- 3/ - Cette courbe nous fournit une première valeur du débit "pseudo-univoque" avec lequel nous calculons les valeurs de :
 $y^2 - 1$ que nous portons en fonction de G calculé par (11) sur papier millimétré,
- 4/ - Sur cette figure nous traçons la droite de correction qui nous fournit une première régression de :
 $y^2 - 1$ en fonction de G, soit k , qui est la pente de la droite;
- 5/ - Nous calculons les valeurs de Q_0 à l'aide de l'équation (12) et de la valeur estimée de k ,
- 6/ - Les valeurs de Q_0 ainsi calculées sont reportées en fonction de H et nous traçons une courbe correspondant au régime uniforme :
 $Q_{0j} = f(H) \quad (13)$
- 7/ - Nous répétons l'opération jusqu'à ce que les écarts entre débits corrigés et débits fournis par la fonction (13) soient minimisés.
- 8/ - Nous disposons alors de la valeur de Q_0 en fonction de H, et connaissant la valeur H_j de la cote à l'échelle le jour j ainsi que la valeur du gradient G_j calculée à l'aide de l'équation (10), nous pouvons calculer le débit réel:
 $Q_j = Q_{0j} \cdot (1 + k \cdot G_j)^{0,5} \quad (14)$

L'équation (13) nous ayant fourni dans sa version définitive la valeur de Q_{0j} :

$$Q_{0j} = f_n(H_j) \quad (15)$$

L'indice n correspondant au nième essai qui est en même temps celui de la courbe adoptée.

2.1.2.2. Traitement automatique

Comme l'indique la méthodologie décrite ci-dessus, nous utilisons une régression linéaire entre les termes :

$$(Q/Q_0)^2 - 1 \text{ et } k.G$$

Lorsque G diminue, en décrue, il apparaît sur les figures représentant la régression (7) que le premier terme de celle-ci tend vers une limite inférieure, difficile à déterminer car nous ne possédons pas, ou peu, de mesures pour les valeurs très faibles de G. Ces valeurs n'intervenant d'ailleurs que très peu souvent, pendant une période bien délimitée de la décrue, et ceci pendant un temps assez court.

Afin de ne pas introduire de valeur nulles qui seraient non conformes à la réalité, le débit ne pouvant en aucun cas s'annuler du fait que nous avons un écoulement continu jusqu'au tarissement (vidange d'un réservoir avec déversoir fixe à l'aval) et le terme :

$(1 + k.G)^{0,5}$ ne pouvant être négatif, nous avons introduit une valeur inférieure limite pour le terme k.G .

Dans le programmes de calcul automatique, cette limite inférieure est appelée ACO :

$$ACO = \text{limite inférieure de } k.G$$

Lorsque G devient inférieur à ACO/k la valeur de k.G dans l'équation de traduction des hauteurs en débits est remplacée automatiquement par la valeur limite ACO.

Le tableau suivant donne les valeurs retenues pour ACO à chaque stations non bi-univoque du DELTA CENTRAL du NIGER.

STATIONS	ACO	K	G min. (cm/j)	Q/Q ₀ minimal
BENENI KEGNY	- 0,50	0,0255	- 20	0,707
SOFARA	- 0,50	0,0387	- 13	0,707
MOPTI	- 0,50	0,0300	- 17	0,707
KE MACINA	- 0,50	0,0420	- 12	0,707
DIRE	- 0,50	0,0924	- 5,5	0,707
TONKA (1)	- 0,70	0,1645	- 4,5	0,548
" (2)	"	0,0852	- 8,5	0,548
TOSSAYE	- 0,50	0,0460	- 11	0,707
SARAFERE	- 0,85	0,1660	- 5,1	0,387

Les valeurs de ACO sont choisies empiriquement d'après les figures représentant les régressions (équations 7).

L'introduction de ACO ne modifie en rien les bilans au niveau mensuel, les valeurs minimales de G n'étant pratiquement jamais atteintes. Ces valeurs limites du gradient ont été introduites, d'une part pour éviter dans les traductions des blocages de machines (racine carrée d'un nombre négatif), et d'autre part pour éliminer, ou au moins réduire, de possibles erreurs d'observations de cotes.

Sur ce dernier point, les erreurs de cotes pouvant modifier sensiblement le gradient sont réduites grâce à l'utilisation de la pondération (équation 10).

2.1.3. ANALYSE DES MESURES EFFECTUEES A DIRE

La précédente analyse permet de mettre en évidence un phénomène de détarage qui a atteint la station de DIRE, semble-t-il entre 1966 et 1974. Les séries de mesures effectuées de 1951 à 1969 puis de 1975 à 1981 donnent deux courbes de tarage univoques bien distinctes pour une même correction de gradient.

2.1.3.1. Période antérieure à 1970

Le tableau n° 1 contient les résultats de l'analyse ainsi que les observations brutes. Nous n'avons pas cru utile de produire les résultats intermédiaires. Avant d'effectuer les tracés définitifs de $Q_0 = f(H)$ nous avons procédé à deux essais de minimisation des écarts :

Les résultats des analyses nous ont conduit à adopter une courbe de débits univoques Q_0 traduite par 4 tronçons de paraboles utilisés sous la forme :

$$Q_0 = a. (H_j - H_{min})^2 + b. (H_j - H_{min}) + c$$

Chaque tronçon est caractérisé par ses bornes H_{min} et H_{max} ainsi que par $c = Q_{min}$, a et b sont les autres paramètres du tronçon.

2.1.3.1.1. Débit univoque

Tronçon (H) :	1 à 3m	3 à 5m	5 à 6m	+ de 6m
a	50,5	57,5	160	0
b	196,5	412,5	590	1.643
c	70	665	1.720	2.470

2.1.3.1.2. Droite de correction

La correction est utilisable pour toute la période des observations de cotes. Même s'il y a eu détarage, l'équilibre hydraulique a été maintenu, la correction de gradient n'a pas varié, la vitesse de propagation et la pente moyenne du radier du fleuve n'ont pas sensiblement changé :

$$K = 0,09238$$

$$Q = Q_0 \cdot (1 + 0,09238 \cdot G)^{0,5}$$

2.1.3.1.3. Tableau de l'analyse

Le tableau n° 1 contient les résultats des calculs. Q_c est obtenu en corrigeant les débits réels à l'aide de l'équation ci-dessus, Q_c étant en fait Q_0 . La réduction des écarts se présente sous la forme :

	<u>Mesurées</u>	<u>Corrigées</u>
Nombre de mesures :	37	37
Total écarts (N = 37) en %	504,9	171,3
Ecart moyen (N = 37) en %	13,6	4,6
Total écarts (N = 33) en %	359,1	99,3
Ecart moyen (N = 33) en %	10,9	3,0
Total écarts (N = 30) en %	317,7	73,7
Ecart moyen (N = 30) en %	10,6	2,5

2.1.3.2. Période postérieure à 1974

A partir de 1975 une série de 64 mesures a été effectuée, elle est poursuivie actuellement. Ces mesures ont été analysées à la suite des autres et la correction utilisée directement est la même que celle de la période antérieure.

Compte tenu de la morphologie des sections nous n'avons pas effectué de correction sur les mesures correspondant à des cotes inférieures à 1,00 mètres à l'échelle de crue de DIRE. La précision de ces mesures étant trop alléatoire.

En 1980 une section qui présente des caractéristiques convenables a été utilisée et les mesures d'étiage sont prises en compte dans ce qui suit.

2.1.3.2.1. Courbe des débits univoques

L'optimisation de la réduction des écarts est suffisante à partir du deuxième essai :

Tronçons (H) :	0 à 1m	1 à 4m	4 à 5,5m
a	76	39,111	67,262
b	58	292	552,44
c	6	140	1.380

2.1.3.2.2. Correction de gradient

La correction utilisée est la même que la précédente :

$$Q = Q_0 \cdot (1 + 0,09238 \cdot G)^{0,5}$$

2.1.3.2.3. Résultats de l'analyse

Le tableau n° 2 donne le détail des calculs, nous donnons ci-dessous les réductions d'écarts obtenues :

	Mesurées	Corrigées
Nombre de mesures	55	55
Total écarts (N = 55) en %	670,4	299,6
Ecart moyen (N = 55) en %	12,2	5,4
Total écarts (N = 49) en %	477,9	184,9
Ecart moyen (N = 49) en %	9,8	3,8
Total écarts (N = 44) en %	363,4	140,6
Ecart moyen (N = 44) en %	8,3	3,2

TABLEAU N° 1

STATION DE DIRE

- Analyse des mesures effectuées avant 1970 -

N°	DATE	H (m)	Q'm ³ /s	DHX (cm)	DH-1 (cm)	y ² -1	Q _c (m ³ /s)	DQ _c /Q _c (%)	DQ/Q _c (%)
1	26/08/51	3,75	1.060	+ 225,5	+ 2	+ 0,103	974	- 3,5	+ 5,0
2	4/04/52	4,65	1.243	- 136	- 4	- 0,315	1.565	+ 4,2	-17,3
3	11/01/54	6,01	2.540	- 5	0	+ 0,044	2.540	+ 2,2	+ 2,2
4	23/02/54	5,42	1.815	- 64	- 2	- 0,173	2.010	+ 0,7	- 9,1
5	10/06/54	1,29	118	- 476,5	- 1	- 0,205	124	- 6,3	-10,9
6	9/08/54	3,53	1.100	+ 260	+ 5,5	+ 0,495	806	- 0,4	+22,3
7	24/08/54	4,19	1.445	+ 195	+ 3,5	+ 0,364	1.256	+ 1,5	+16,8
8	5/09/54	4,56	1.735	+ 157	+ 3	+ 0,435	1.535	+ 6,0	+19,8
9	12/10/54	5,27	2.020	+ 86	+ 1,5	+ 0,141	1.893	+ 0,1	+ 6,8
10	15/12/54	6,03	2.540	+ 10	+ 0,5	+ 0,017	2.483	- 1,4	+ 0,8
11	19/01/55	6,09	2.645	- 4	- 0,5	+ 0,021	2.708	+ 3,4	+ 1,0
12	23/11/55	5,88	2.402	+ 24	+ 1	+ 0,033	2.298	- 2,8	+ 1,6
13	8/12/55	6,04	2.544	+ 8	+ 0,5	+ 0,007	2.487	- 1,9	+ 0,3
14	7/08/56	2,47	725	+ 318	+ 4	+ 1,400	620	+32,5	+54,9
15	30/07/57	2,37	467	+ 374	+ 5	+ 0,156	386	-11,1	+ 7,6
16	4/08/58	3,42	1.045	+ 239	+ 4,5	+ 0,517	878	+ 3,5	+23,2
17	26/08/58	4,05	1.349	+ 176	+ 2,5	+ 0,349	1.216	+ 4,7	+16,1
18	15/09/58	4,58	1.665	+ 123	+ 3	+ 0,300	1.473	+ 0,9	+14,0
19	28/10/58	5,30	2.005	+ .51	+ 1	+ 0,100	1.918	+ 0,3	+ 4,9
20	13/11/58	5,48	2.203	+ 33	+ 0,5	+ 0,166	2.154	+ 5,6	+ 8,0
21	17/03/59	4,56	1.131	- 125	- 3	- 0,390	1.330	- 8,2	-22,9
22	23/09/59	4,63	1.906	+ 110	+ 3	+ 0,636	1.687	+13,2	+27,9
23	25/03/60	3,02	430	- 270	- 6	- 0,592	644	- 4,3	-36,1
24	23/08/61	3,46	1.062	+ 213	+ 5	+ 0,501	878	+ 1,3	+22,5
25	30/03/63	3,86	783	- 199	- 3	- 0,457	921	-13,3	-26,3
26	5/08/63	1,84	370	+ 375	+ 5	+ 0,868	306	+13,0	+26,7
27	14/08/63	2,46	583	+ 313	+ 6	+ 0,575	468	+ 0,7	+25,5
28	16/09/63	4,04	1.266	+ 155	+ 2	+ 0,199	1.163	+ 0,6	+ 9,5
29	10/11/67	5,42	2.076	+ 44	+ 0,5	+ 0,082	2.030	+ 1,7	+ 4,0
30	12/12/67	5,68	2.289	+ 18	+ 0,5	+ 0,087	2.238	+ 2,0	+ 4,3
31	4/12/67	5,72	2.305	+ 14	+ 1,5	+ 0,071	2.160	- 3,0	+ 3,5
32	13/12/67	5,79	2.342	+ 7	+ 1	+ 0,017	2.241	- 2,0	+ 2,5
33	20/01/68	5,76	2.093	- 10	- 1	- 0,143	2.197	- 2,8	- 7,4
34	30/01/68	5,65	1.990	- 21	- 1	- 0,160	2.089	- 3,8	- 8,3
35	18/12/68	5,40	1.901	- 3	- 0,5	- 0,080	1.947	- 1,7	- 4,1
36	2/01/69	5,30	1.723	- 13	- 1	- 0,187	1.809	- 5,4	- 9,9
37	11/01/69	5,14	1.609	- 29	- 2	- 0,206	1.782	- 1,3	-10,9

TABLEAU N° 2

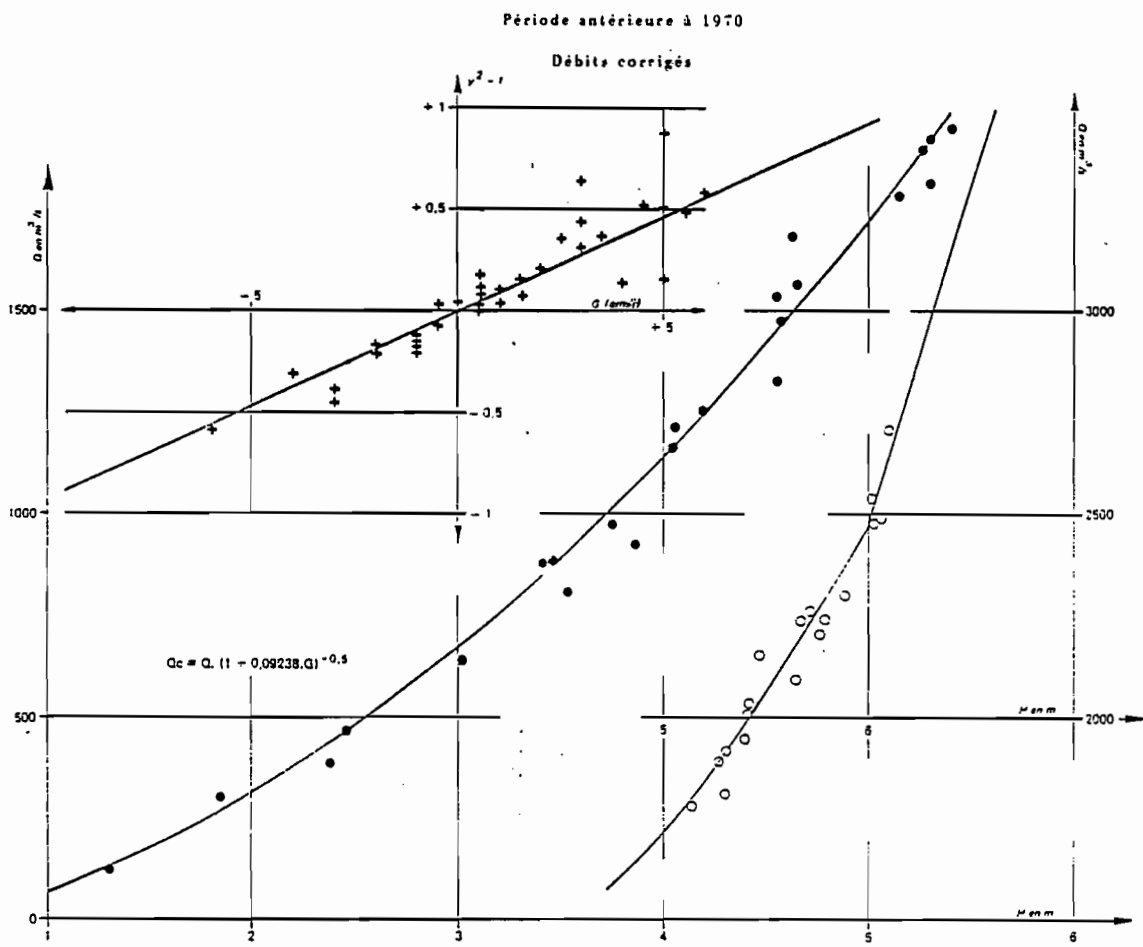
STATION DE DIRE

- Analyse des mesures effectuées depuis 1970 -

N°	DATE	H (m)	Q (m3/s)	DHX (cm)	DH-1 (cm)	DH-1X (cm)	$y^2 - 1$	Q_c (m3/s)	DQ_c/Q_c (%)	DQ/Q_c (%)
38	25/11/76	5,04	1.980	+ 22	0	+ 0,5	- 0,046	1.980	- 2,3	- 2,3
39	20/02/77	5,07	1.885	- 19	- 2	- 1,1	- 0,153	2.088	+ 1,9	- 8,0
40	21/01/77	5,05	1.775	- 21	- 2	- 1,2	- 0,239	1.966	- 3,4	- 12,7
41	1/03/77	3,75	771	- 151	- 6,5	- 5,0	- 0,619	1.220	- 2,6	- 38,3
45	4/10/77	3,98	1.305	+ 74	+ 4	+ 2,7	- 0,092	1.115	-18,6	- 4,7
46	30/11/77	4,51	1.560	- 21	- 1	- 1,2	- 0,137	1.637	- 2,5	- 7,1
47	9/12/77	4,36	1.480	- 36	- 2	- 1,9	- 0,131	1.639	+ 3,2	- 6,8
48	14/12/77	4,25	1.405	- 47	- 3	- 2,4	- 0,148	1.653	+ 8,6	- 7,7
49	4/01/78	3,58	889	- 114	- 3	- 4,0	- 0,417	1.046	-10,1	- 23,6
50	16/01/78	3,06	724	- 166	- 6	- 4,6	- 0,375	1.084	+18,4	- 20,9
51	23/01/78	2,64	475	- 208	- 6	- 4,8	- 0,577	711	- 2,7	- 35,0
52	27/01/78	2,43	454	- 229	- 4,5	- 4,9	- 0,502	594	- 7,7	- 29,4
53	31/01/78	2,24	387	- 248	- 5	- 5,0	- 0,534	528	- 6,9	- 31,8
54	4/05/78	0,00	12	- 472	0					
55	7/12/78	5,09	2.176	- 1	0	- 0,1	+ 0,114	2.176	+ 5,5	+ 5,5
56	19/02/79	2,86	638	- 224	- 4	- 5,4	- 0,403	803	+ 2,8	- 22,7
57	20/02/79	2,81	601	- 229	- 4	- 5,4	- 0,441	757	- 5,8	- 25,2
59	31/07/79	2,26	475	+ 293	- 2,5		- 0,318	542	- 5,7	- 17,4
60	28/09/79	4,66	1.909	+ 53	+ 1	+ 1,8	+ 0,158	1.826	+ 2,9	+ 7,6
61	30/09/79	4,71	2.013	+ 47,5	+ 1	+ 1,7	+ 0,238	1.926	+ 6,4	+ 11,3
62	4/10/79	4,78	1.885	+ 41	+ 1	+ 1,5	+ 0,036	1.804	- 2,6	+ 1,8
63	7/10/79	4,82	1.930	+ 37	+ 2	+ 1,4	+ 0,056	1.773	- 5,6	+ 2,8
64	12/11/79	5,17	2.179	+ 2	+ 1	+ 0,1	+ 0,058	2.085	- 1,6	+ 2,9
65	15/11/79	5,18	2.186	+ 1	+ 1	+ 0,1	+ 0,058	2.092	- 1,6	+ 2,8
66	20/11/79	5,19	2.184	0	0	0	+ 0,049	2.184	+ 2,4	+ 2,4
67	26/11/79	5,19	2.222	0	0	0	+ 0,086	2.222	+ 4,2	+ 4,2
68	7/02/80	3,39	855	- 180,5	- 4	- 5,3	- 0,360	1.077	+ 0,8	- 20,0
69	8/02/80	3,33	833	- 186	- 4,5	- 5,4	- 0,361	1.090	+ 4,3	- 20,1
70	13/02/80	3,05	729	- 214,5	- 5	- 5,5	- 0,357	994	+ 9,4	- 19,8
71	14/02/80	2,99	628	- 220	- 5	- 5,6	- 0,495	856	- 3,2	- 29,0
72	18/02/80	2,75	619	- 224	- 6	- 5,7	- 0,367	927	+19,2	- 20,4
73	19/02/80	2,70	591	- 250	- 6,5	- 5,8	- 0,386	935	+24,0	- 21,6
74	7/03/80	1,76	325	- 343	- 2	- 6	- 0,297	360	- 7,1	- 16,1
77	3/11/80	4,65	1.806	0	0	0	+ 0,044	1.806	+ 2,2	+ 2,2
78	7/11/80	4,64	1.726	- 1	- 0,2	- 0,1	- 0,039	1.746	- 0,9	- 2,0
79	11/11/80	4,63	1.816	- 2	0	- 0,1	+ 0,071	1.816	+ 3,5	+ 3,5
80	12/11/80	4,62	1.769	- 3	- 0,5	- 0,2	+ 0,024	1.811	+ 3,6	+ 1,2
81	16/11/80	4,59	1.651	- 6,5	- 1	- 0,4	- 0,085	1.733	+ 0,4	- 4,4
82	18/11/80	4,56	1.598	- 9	- 1,2	- 0,6	- 0,127	1.699	- 0,7	- 6,6
83	24/11/80	4,53	1.626	- 12	- 0,5	- 0,7	- 0,076	1.665	- 1,6	- 3,9
84	25/11/80	4,52	1.520	- 13	- 1	- 0,8	- 0,187	1.595	- 5,4	- 9,8
85	1/12/80	4,48	1.610	- 17	- 0,5	- 1,0	- 0,060	1.649	- 0,7	- 3,1
86	3/12/80	4,45	1.570	- 19,5	- 1,3	- 1,1	- 0,089	1.669	+ 1,4	- 4,6
87	27/01/81	2,71	681	- 191	- 3	- 4,7	- 0,225	807	+ 4,3	- 12,0
88	28/01/81	2,71	684	- 194	- 2,5	- 4,8	- 0,191	780	+ 2,6	- 10,1
89	7/02/81	2,22	536	- 244	- 3	- 5,0	- 0,075	630	+13,0	- 3,8
90	10/02/81	2,07	454	- 258	- 3	- 5,0	- 0,180	534	+ 6,5	- 9,5
91	14/02/81	1,87	427	- 278	- 3,5	- 4,8	- 0,001	519	+21,5	0,0
92	16/02/81	1,78	338	- 287	- 4	- 4,7	- 0,267	426	+ 7,9	- 14,4
94	27/02/81	1,32	194	- 333	- 4	- 3,6	- 0,331	244	+ 2,9	- 18,2
95	3/03/81	1,18	153	- 347	- 4	- 3,2	- 0,382	193	- 0,8	- 21,4
96	6/03/81	1,08	149	- 357	- 2,5	- 2,8	- 0,174	170	+ 3,7	- 9,1
97	9/03/81	0,97	119	- 368	- 2	- 2,5	- 0,221	132	- 2,1	- 11,7
98	12/03/81	0,89	86	- 376	- 4	- 2,2	- 0,467	108	- 8,3	- 29,0
99	14/03/81	0,84	107	- 381	- 0,5	- 2,0	- 0,025	110	+ 1,5	- 1,2
100	16/03/81	0,80	95	- 385	- 1,5	- 1,8	- 0,132	102	+ 0,1	- 6,8

DIRE

Fig. 3.1.

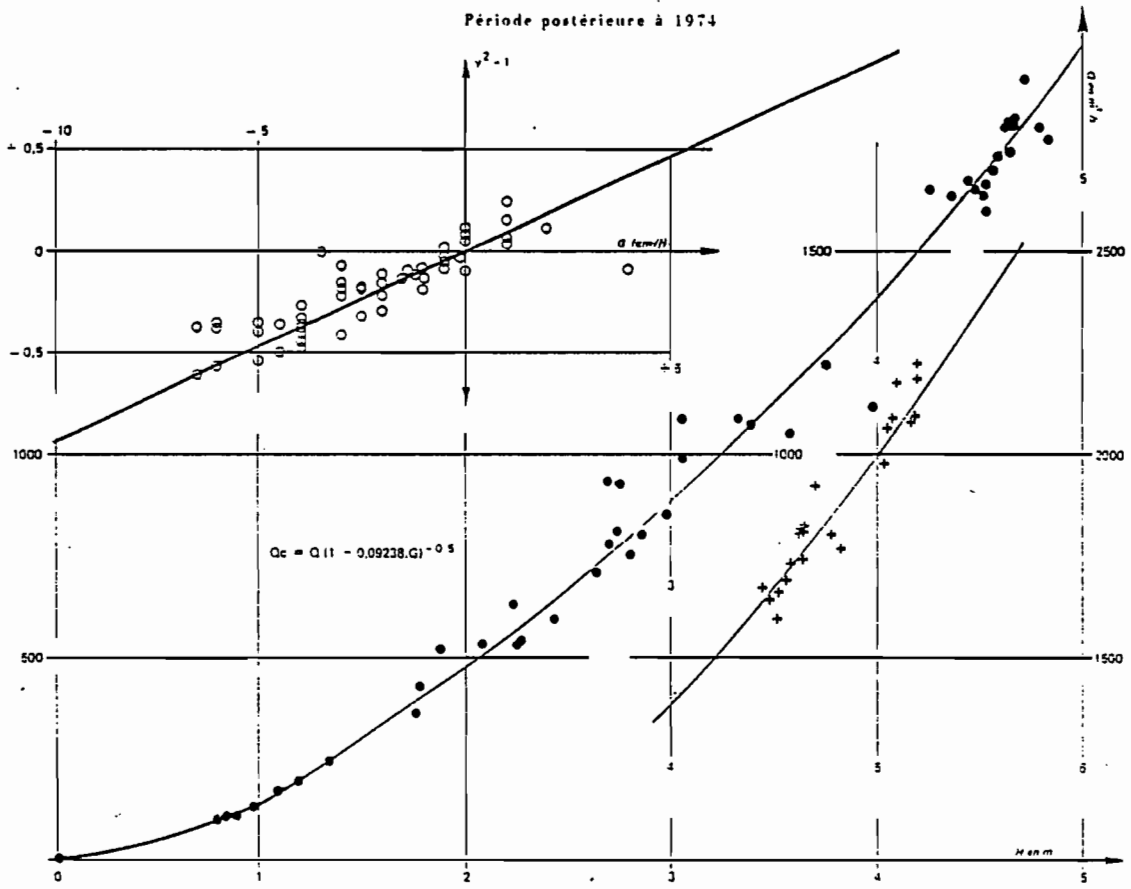


DIRE

Débits corrigés

Période postérieure à 1974

Fig. 3.2.



2.1.4. ANALYSES DES MESURES EFFECTUEES A TOSSAYE

Comme pour DIRE il y eu détarage en 1974, la date de ce détarage a été déduite de l'examen des modules (double cumuls avec NIAMEY). Il n'y a pas eu de mesures entre 1969 et 1974.

2.1.4.1. Période antérieure à 1970

Nous avons effectué l'analyse sur l'échantillon de 29 jaugeages réalisés de 1954 à 1969. Le tableau n° 3 présente le détail de cette analyse. La courbe univoque est définie par les tronçons de paraboles (3) dont les paramètres sont les suivants :

Tronçons : (H)	1 à 2,5m	2,5 à 3,7m	3,7 à 4,8m
a	131,667	4,167	111,515
b	197,167	647,5	668,242
c	120	712	1495

Pour avoir le débit réel à partir de la hauteur et du gradient, nous utilisons la même correction définie par :

$$Q = Q_0 \cdot (1 + 0,04598 \cdot G)^{0,5}$$

Le calcul de Q_0 fonction de Q mesuré donne les résultats suivants : (réduction des écarts)

	Mesurées	Corrigées
Nombre de mesures	29	29
Total écarts (N = 29) en %	133,2	65,9
Ecart moyen (%)	4,6	2,3
Total écarts (N = 26) en %	115,1	44,9
Ecart moyen (%)	4,4	1,7

Nombre de mesures corrigées présentant un écart inférieur à 5% : 26 et à 3% : 22 -.

2.1.4.2. Période postérieure à 1974

Nous avons utilisé la même correction que pour la période antérieure, soit :

$$Q_c = Q \cdot (1 + 0,04598 \cdot G)^{0,5}$$

Les débits corrigés nous ont permis de tracer la courbe de tarage dite "pseudo-univoque" qui correspond aux régimes uniformes. Elle est décrite par 5 tronçons de paraboles dont les paramètres sont :

Tronçons : (H)	0 à 0,5m	0,5 à 1m	1 à 2,6m	2,6 à 3,8	3,8 à 4,6m
a	120	16	89,844	0	143,75
b	34	144	303,125	662,5	697,5
c	7	54	130	845	1640

Le tableau n° 4 présente les résultats de l'analyse qui a été menée comme décrit ci-dessus. Nous en tirons les valeurs ci-dessous :

	Mesurées	Corrigées
Nombre de mesures	36	36
Total écarts (N = 36) en %	184,1	87,7
Ecart moyen (en %)	5,1	2,4
Total écarts (N = 32) en %	170,1	56,9
Ecart moyen (en %)	5,3	1,8

Les résultats ne comprennent pas les valeurs des jaugeages effectués à des cotes inférieures à 1m. Ces mesures (n° 30 - 35 à 37 - 57 - 58 - 64 - 75) ont été réalisées en basses eaux dans des secteurs qui ne permettent pas d'avoir des vitesses suffisamment fortes pour obtenir des valeurs d'une précision comparable à celles des autres mesures.

Toutes les valeurs ont été portées dans le tableau n° 4 et sur la figure de la courbe univoque.

2.1.4.3. CONCLUSION

Les deux courbes de tarage sont portées sur la figure correspondant à l'analyse des mesures effectuées après 1974. A première vue le détarage ressemble plus à une modification de zéro de l'échelle de crue qu'à un détarage réel de la section dû par exemple à l'érosion. Le problème est le même qu'à DIRE, les observations de hauteurs doivent être nettement améliorées car il faut absolument obtenir une précision de lecture de l'ordre du centimètre.

La section utilisée depuis la crue 1978-79 est bien meilleure que l'ancienne section qui se trouvait à l'amont du seuil. Dans cette dernière section, malgré toutes les précautions prises, il était difficile d'effectuer les corrections dues aux changements de directions des vitesses dans la section.

C'est pourquoi les mesures n° 30 à 55 présentent quelques divergences, malgré les qualités de l'Hydrométriste. A partir de la crue 78-79 la section aval a été utilisée et elle est particulièrement bonne, le fleuve présentant à cet endroit-là une section mouillée régulière avec des directions de vitesses du courant parallèles aux berges.

STATION DE TOSSAYE

- Analyse des mesures effectuées avant 1970 -.

N°	DATE	H(m)	Q (m3/s)	DHX(cm)	DH-1 (cm)	y^2-1	Q_c (m3/s)	DQ/Q _c (%)	DQ _c /Q _c (%)
1	26/09/54	3,67	1.570	+ 111	+ 1,5	+ 0,133	1.519	+ 6,4	+ 3,0
2	2/12/54	4,35	1.990	+ 43	+ 1,0	+ 0,014	1.946	+ 0,7	- 1,5
3	8/02/55	4,76	2.310	- 2	- 0,5	- 0,016	2.337	- 0,8	+ 0,4
4	18/08/55	3,02	1.090	+ 173	+ 3,5	+ 0,078	1.012	+ 3,8	- 3,6
5	15/09/55	3,57	1.420	+ 118	+ 1,5	+ 0,015	1.373	+ 0,7	- 2,6
6	6/05/56	2,49	697	- 226	- 4,0	- 0,026	772	- 1,3	+ 9,3
7	17/12/57	4,33	1.950	+ 30	+ 1,5	- 0,010	1.886	- 0,5	- 3,8
8	27/03/58	4,22	1.760	- 41	- 2,0	- 0,117	1.847	- 6,0	- 1,4
9	10/04/58	3,87	1.480	- 76	- 4,0	- 0,157	1.638	- 8,2	- 7,6
10	25/04/58	3,30	1.120	- 133	- 4,0	- 0,174	1.240	- 9,1	+ 0,6
11	6/05/58	2,65	692	- 198	- 5,0	- 0,269	789	- 14,5	- 2,5
12	20/05/58	2,07	437	- 236	- 4,5	- 0,177	493	- 9,3	+ 2,3
13	6/06/58	1,49	228	- 314	- 3,0	- 0,156	246	- 8,1	- 0,9
14	24/06/58	1,41	240	+ 308	+ 0,5	+ 0,159	237	+ 7,6	+ 6,3
15	3/08/58	2,53	723	+ 196	+ 2,0	- 0,023	692	- 1,2	- 5,4
16	7/03/59	4,16	1.710	- 33	- 2,0	- 0,123	1.794	- 6,4	- 1,8
17	10/09/68	3,25	1.310	+ 119	+ 2,0	+ 0,192	1.254	+ 9,2	+ 4,5
18	6/01/69	4,44	2.050	0	- 0,5	- 0,001	2.074	0,0	+ 1,1
19	8/01/69	4,43	1.990	- 1	- 0,5	- 0,051	2.013	- 2,6	- 1,4
20	10/01/69	4,42	2.060	- 2	0,0	+ 0,026	2.060	+ 1,3	+ 1,3
21	13/01/69	4,41	2.050	- 3	0,0	+ 0,024	2.050	+ 1,2	+ 1,2
22	16/01/69	4,39	1.980	- 5	- 1,0	- 0,029	2.027	- 1,5	+ 0,9
23	23/01/69	4,31	1.840	- 13	- 2,0	- 0,104	1.931	- 5,4	- 0,7
24	29/01/69	4,17	1.740	- 27	- 2,0	- 0,100	1.826	- 5,1	- 0,4
25	1/02/69	4,11	1.730	- 33	- 1,5	- 0,064	1.793	- 3,2	+ 0,3
26	4/02/69	4,07	1.725	- 37	- 2,0	- 0,037	1.810	- 1,9	+ 3,0
27	7/02/69	4,01	1.610	- 43	- 2,0	- 0,117	1.690	- 6,0	- 1,3
28	10/02/69	3,94	1.570	- 50	- 3,0	- 0,107	1.691	- 5,5	+ 1,8
29	13/02/69	3,87	1.320	- 57	- 2,0	- 0,111	1.595	- 5,7	- 1,0

TOSSAYE

Fig. 4.1.

Période antérieure à 1970

Débits corrigés

Courbe univoque

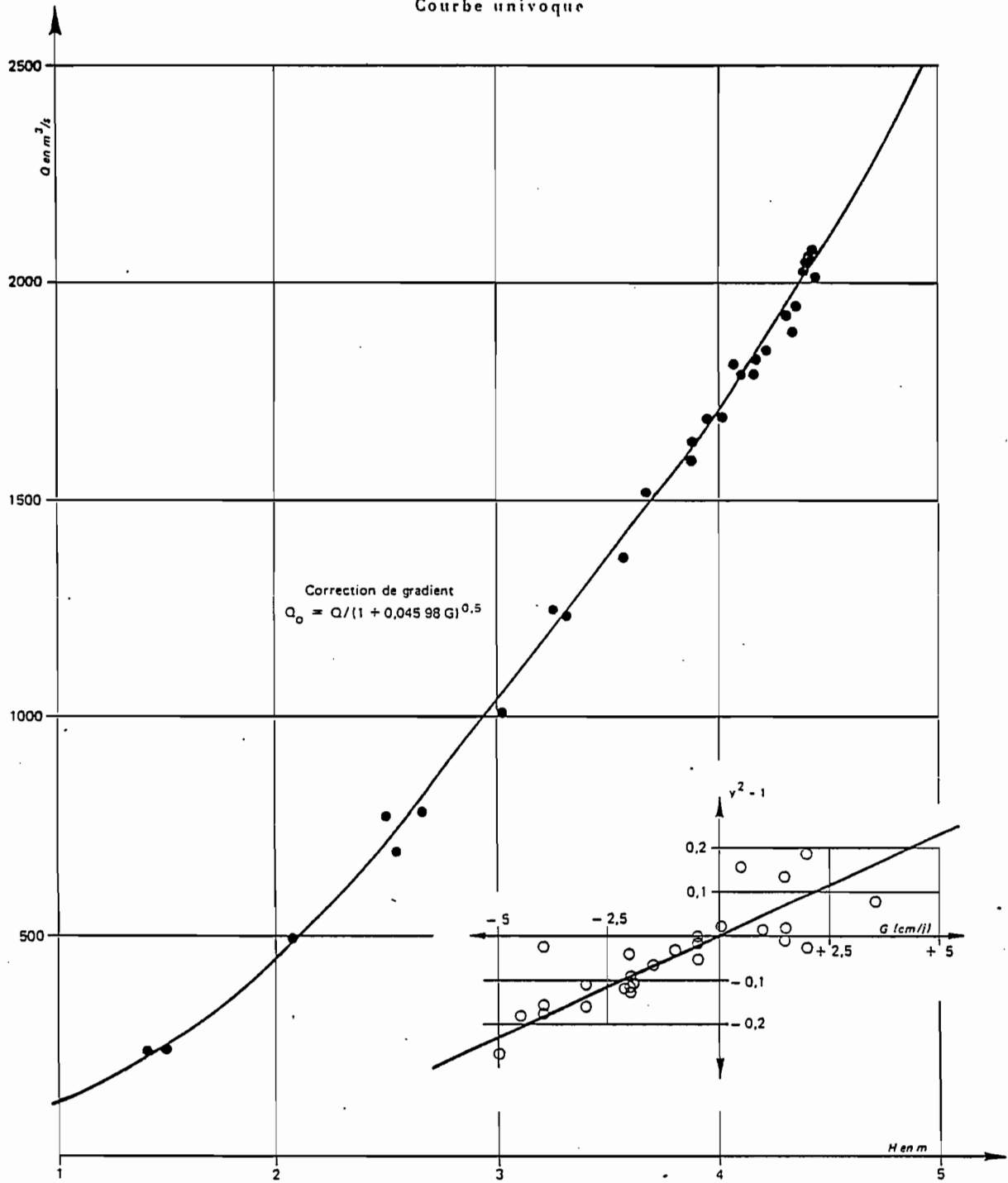


TABLEAU N° 4

STATION DE TOSSAYE

- Analyse des mesures effectuées après 1974 -.

N°	DATE	H(m)	Q(m3/s)	DHX (cm)	DH-1 (cm)	y^2-1	Q_c (m3/s)	DQ/Q ₀ (%)	DQ _c /Q ₀ (%)
30	24/06/75	- 0,02	6,18	- 432	- 0,5	+ 0,044	6,25	- 3,0	- 1,9
31	30/12/76	4,21	1.950	+ 7,5	+ 1,0	- 0,004	1.915	- 0,2	- 2,0
32	1/02/77	4,19	1.974	- 10	- 0,5	+ 0,042	1.996	+ 2,1	+ 3,2
33	7/03/77	3,22	1.158	- 106,5	- 4,0	- 0,154	1.264	- 8,0	+ 0,4
34	8/03/77	3,181	1.137	- 110,5	- 4,0	- 0,149	1.241	- 7,8	+ 0,7
35	13/03/77	0,69	81,2	- 360	- 1,5	+ 0,140	83,8	- 0,9	+ 2,3
36	14/05/77	0,67	80,0	- 362	- 2,5	+ 0,199	84,4	+ 1,3	+ 6,9
37	22/06/77	0,19	15,0	- 410	- 1,0	- 0,376	15,3	- 15,7	- 14,0
39	1/01/78	3,30	1.297	- 41	- 2,0	- 0,018	1.353	- 0,9	+ 3,4
40	8/01/78	3,12	1.045	- 59	- 5,0	- 0,228	1.168	- 12,1	- 1,8
41	11/01/78	3,01	1.018	- 70,5	- 4,0	- 0,174	1.111	- 9,1	- 0,8
42	16/01/78	2,85	939	- 86	- 2,5	- 0,137	990	- 7,1	- 2,0
43	20/01/78	2,67	772	- 103,5	- 5,0	- 0,255	863	- 13,7	- 3,5
44	21/01/78	2,63	797	- 108	- 4,5	- 0,151	880	- 7,8	- 1,7
45	24/01/78	2,49	739	- 121,5	- 5,5	- 0,111	837	- 5,7	+ 6,8
46	25/01/78	2,44	721	- 126,5	- 5,5	- 0,090	816	- 4,6	+ 8,0
47	26/01/78	2,41	703	- 130	- 4,5	- 0,088	776	- 4,5	+ 5,4
48	28/01/78	2,34	649	- 136,5	- 3,0	- 0,149	692	- 7,8	- 1,2
49	29/01/78	2,31	644	- 140	- 3,0	- 0,106	687	- 5,5	+ 0,8
50	30/01/78	2,28	626	- 143	- 3,0	- 0,144	668	- 5,9	+ 0,4
51	31/01/78	2,24	589	- 147	- 3,5	- 0,164	635	- 8,5	- 1,4
52	2/02/78	2,16	560	- 155	- 4,0	- 0,136	611	- 7,1	+ 1,4
53	3/02/78	2,12	535	- 159	- 4,0	- 0,156	584	- 8,1	+ 0,3
54	4/02/78	2,09	518	- 162	- 4,0	- 0,166	565	- 8,7	- 0,4
55	8/02/78	1,93	450	- 178	- 3,5	- 0,155	485	- 8,1	- 0,9
56	10/02/78	1,88	447	- 183	- 3,0	- 0,087	477	- 4,1	+ 2,3
57	10/05/78	0,10	13,0	- 360,5	- 1,0	+ 0,006	13,3	+ 9,3	+ 11,8
58	10/05/78	0,10	12,8	- 360,5	- 1,0	- 0,025	13,1	+ 7,6	+ 10,1
59	27/11/78	3,98	1.750	+ 15	+ 0,5	- 0,023	1.715	- 1,1	- 3,0
60	28/11/78	4,01	1.760	+ 11,5	+ 0,5	- 0,040	1.745	- 2,0	- 2,9
61	2/12/78	4,04	1.832	+ 9	+ 0,5	+ 0,018	1.816	+ 0,9	0,0
62	28/01/79	3,71	1.553	- 42	- 3,0	- 0,034	1.656	- 1,7	+ 4,8
63	27/02/79	2,38	702	- 175	- 5,0	- 0,042	785	- 2,4	+ 9,1
64	5/06/79	0,05	13,2	- 407,5	- 1,0		13,5		
65	19/07/79	0,96	142	+ 328,5	+ 9,0	+ 0,329	122	+ 14,1	- 1,9
66	17/11/79	4,13	1.959	+ 11,5	+ 1,5	+ 0,070	1.902	+ 3,5	+ 0,6
67	18/11/79	4,14	1.957	+ 11	+ 1,0	+ 0,068	1.921	+ 3,3	+ 1,4
68	19/11/79	4,15	1.972	+ 10	+ 0,5	+ 0,075	1.955	+ 3,7	+ 2,8
69	23/11/79	4,16	1.905	+ 8,5	- 0,5	- 0,009	1.926	- 0,5	+ 0,6
70	24/11/79	4,16	1.910	+ 9	- 1,0	0,000	1.951	0,0	+ 2,2
71	25/11/79	4,15	1.930	+ 9,5	0,0	+ 0,026	1.932	+ 1,3	+ 1,4
75	30/06/80	-0,05	4,4	- 420	0,0	+ 0,140	4,4		

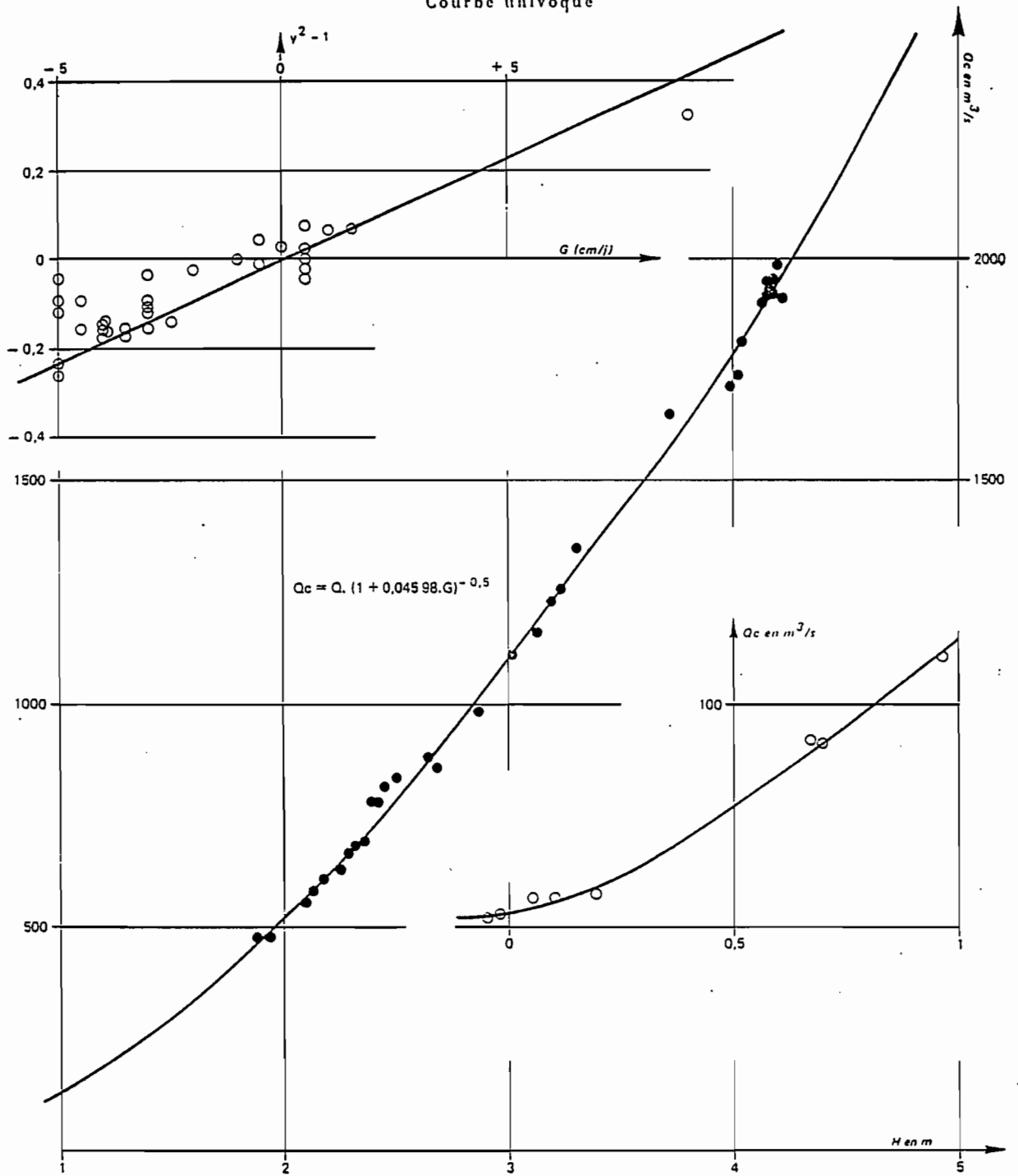
TOSSAYE

Fig. 4.2.

Période postérieure à 1974

Débits corrigés

Courbe univoque



2.1.5. ANALYSE DES MESURES EFFECTUEES A TONKA

Nous disposons de deux séries de mesures bien distinctes, la première, débutée en 1954, est arrêtée en 1958, la seconde débute en 1977. Elles permettent de tracer deux courbes de tarages différenciées (courbes univoques). Les droites de correction sont elles-aussi distinctes. Il y a deux explications à cela, la première à envisager est un changement de pente au niveau de TONKA qui proviendrait d'une modification du seuil de TONDIFARMA, situé à quelques kilomètres à l'amont de la station. Il s'agirait-là d'une modification très localisée qui ne changerait pas les conditions de l'écoulement à l'aval, l'équilibre hydraulique ne changeant pas au niveau de DIRE. A cette dernière station on n'observe d'ailleurs pas de changement de correction, la droite restant la même pour les deux périodes. Il est aussi possible que la vitesse de l'onde de crue ait varié, mais pour cela il aurait fallu que les conditions locales aient été modifiées artificiellement, par exemple par des aménagements hydro-agricoles qui augmenteraient la célérité de l'onde de crue.

2.1.5.1. Période antérieure à 1960

Treize mesures de débits ont été effectuées et permettent de tracer la courbe pseudo-univoque, les paramètres de cette courbe sont les suivants :

Tronçons :	0,5 - 2,0m	2,0 à 4,0m	4,0 à 6,0m
a	29,762	79	116,5
b	158,68	246	515,5
c	140	445	1253

Cette courbe a été obtenue en effectuant la correction par :

$$Q_0 = Q / (1 + 0,1645 \cdot G)^{0,5}$$

Le tableau n° 5 contient le détail de l'analyse.

Nous tirons du tableau les éléments caractéristiques suivants :

	Val. mesurées	Val. corrigées
Nombre de mesures	13	13
S 100% = somme des écarts abs. en %	199,0	26,9
Ecart moyen correspondant en %	15,31	2,07
S 90%	195,0	22,9
Ecart moyen	15,41	1,91

2.1.5.2. Période postérieure à 1977

Nous disposons de 39 mesures de débits qui permettent de tracer la courbe "pseudo-univoque". Cette dernière est représentée par quatre tronçons de paraboles qui sont caractérisés par les paramètres suivants :

Tronçons :	- 0,45 à 0,3m	0,3 à 1,4m	1,4 à 3m	3 à 5m
a	106,667	0	89,063	46,5
b	35,333	237,3	236,25	499,5
c	6,5	93	354	960

La droite de correction a pour équation :

$$Q_0 = Q / (1 + 0,0852 \cdot G)^{0,5}$$

Le détail de l'analyse se trouve dans le tableau n° 5 bis.

De ce tableau nous tirons les éléments suivants :

	Val. mesurées	Val. corrigées
Nombre de mesures	36	36
S 100% somme des écarts abs.en %	530,8	85,1
Ecart moyen en %	14,74	2,36
S 90% (N = 32)	464,9	55,1
Ecart moyen en %	14,53	1,72

STATION DE TONKA

- Analyse des mesures effectuées avant 1960 -.

N°	DATE	H (m)	Q (m3/s)	DHX (cm)	DH-1 (cm)	$y^2 - 1$	Q_c (m3/s)	DQ/Q _o (%)	DQ _c /Q _o (%)
1	25/02/54	4,93	1.455	- 102	- 2	- 0,370	1.776	- 20,6	- 3,1
2	7/06/54	0,79	191	+ 404	0	+ 0,026	191	+ 1,3	+ 1,3
3	14/08/54	3,46	1.285	+ 249	+ 4	+ 0,746	998	+ 32,1	+ 2,6
4	2/09/54	4,19	1.785	+ 176	+ 4	+ 0,735	1.386	+ 31,7	+ 2,3
5	16/10/54	5,16	2.290	+ 79	+ 2,5	+ 0,301	1.928	+ 14,1	- 4,0
6	19/12/54	5,91	2.835	+ 4	+ 1	+ 0,134	2.627	+ 6,5	- 1,3
7	30/01/55	5,79	2.335	- 16	- 1	- 0,161	2.555	- 8,4	+ 0,2
8	13/03/55	4,86	1.410	- 109	- 2,5	- 0,374	1.838	- 20,9	+ 3,1
9	19/08/57	3,50	1.175	+ 244	+ 3	+ 0,404	961	+ 18,5	- 3,1
10	21/01/58	5,65	2.300	- 11	- 1	- 0,097	2.516	- 5,0	+ 3,9
11	26/02/58	5,24	1.695	- 52	- 2	- 0,330	2.069	- 18,2	- 0,1
12	4/11/58	5,18	2.225	+ 49	+ 1	+ 0,209	2.062	+ 10,0	+ 1,9
13	20/11/58	5,41	2.470	+ 26	+ 1,5	+ 0,247	2.212	+ 11,7	0,0

TONKA

Fig. 5.1.

Période antérieure à 1960

Débits corrigés

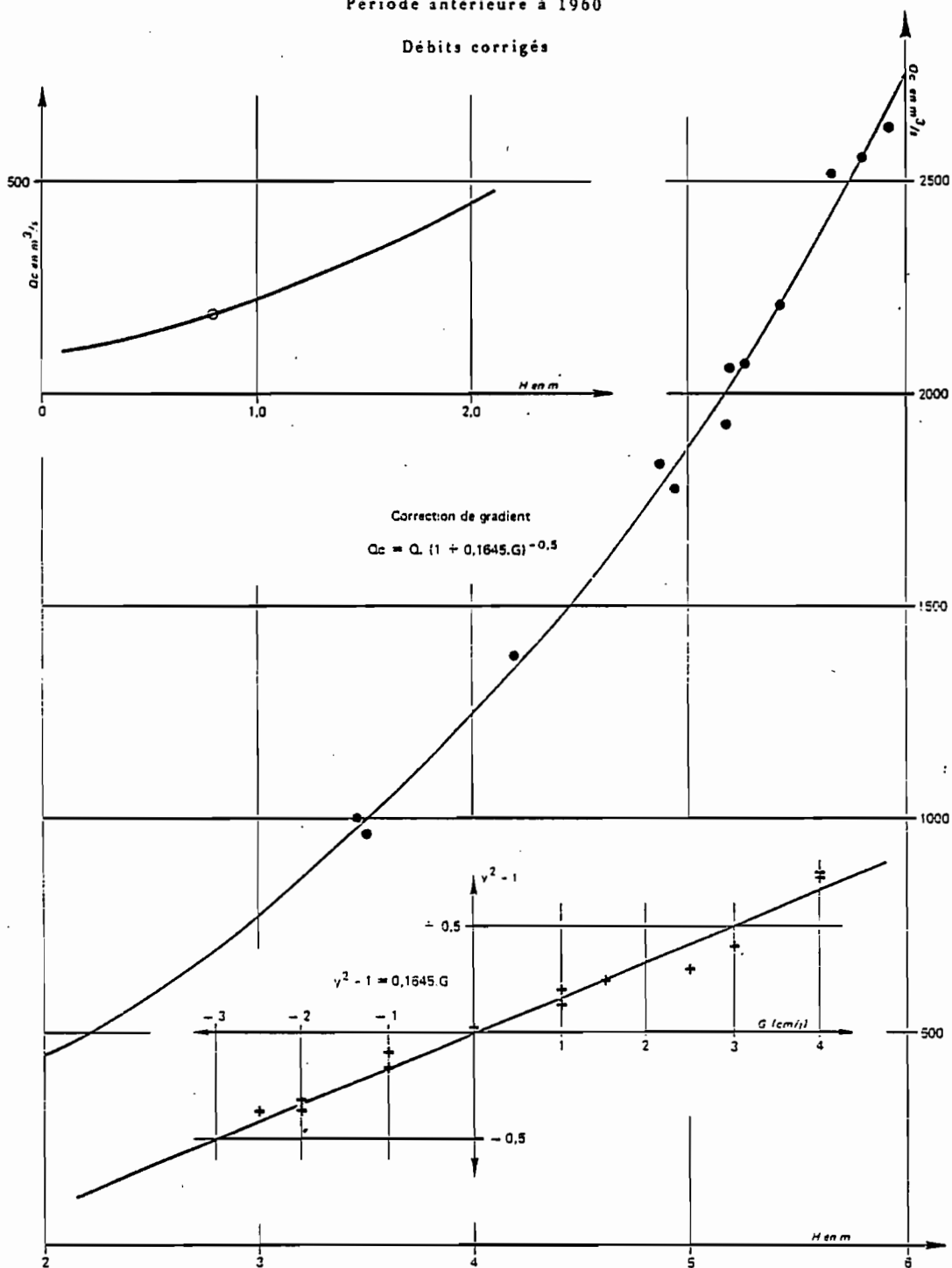


TABLEAU N° 5 bis

STATION DE TONKA

- Analyses des mesures de débits effectuées depuis 1977 -.

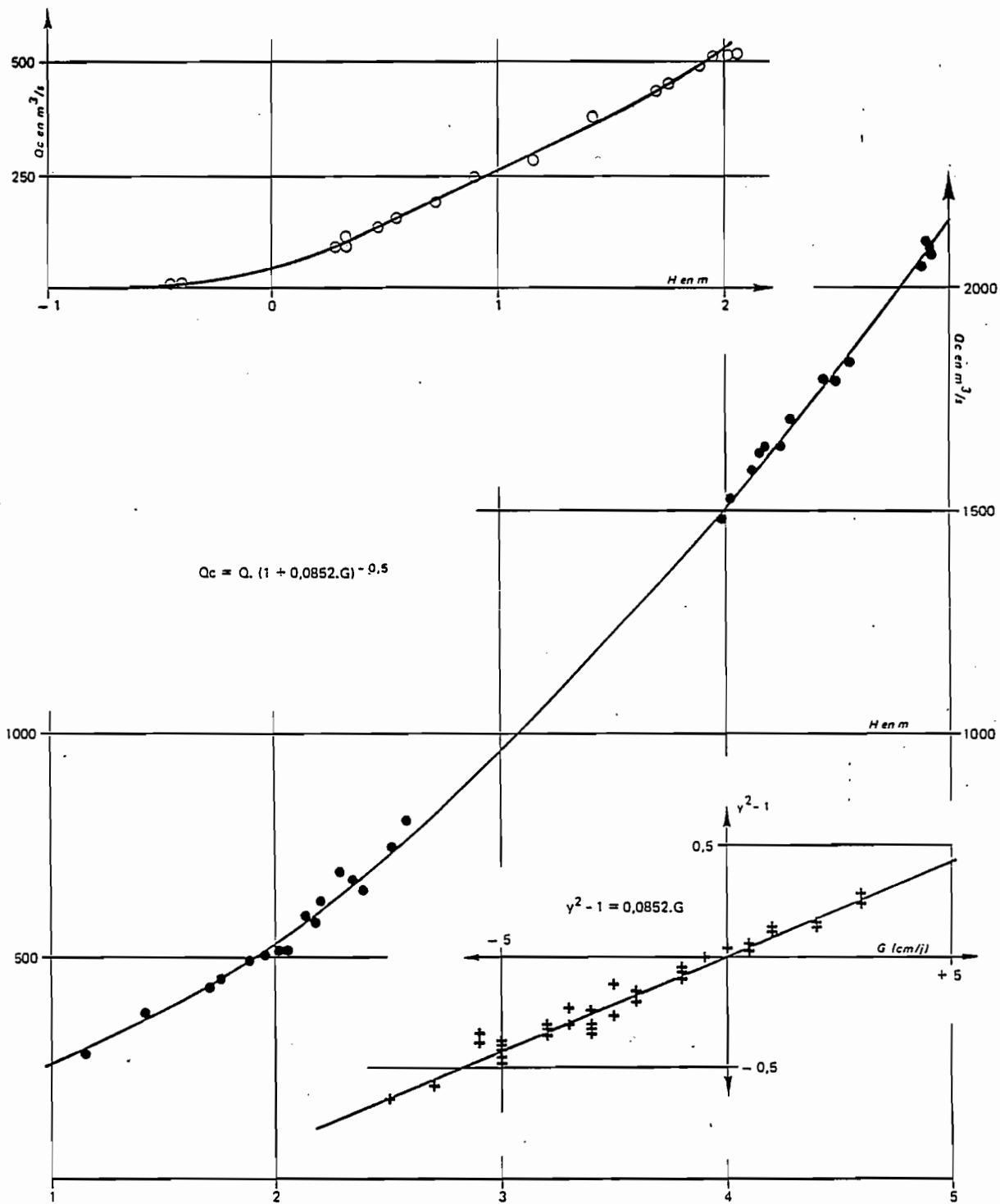
N°	DATE	H (m)	Q (m ³ /s)	DHX (cm)	DH-1 (cm)	y^2-1	Q _c (m ³ /s)	DQ/Q _o (%)	DQ _c /Q _o (%)
14	3/12/77	3,98	1.250	- 26	- 3,5	- 0,300	1.492	- 16,3	- 0,1
15	30/01/78	1,70	328	- 254	- 5	- 0,484	433	- 24,2	0,0
16	7/03/78	0,32	97,7	- 392	- 3	- 0,001	113		
17	17/02/79	2,38	560	- 240	- 3	- 0,304	649	- 16,6	- 3,3
18	18/02/79	2,34	504	- 244	- 5	- 0,408	665	- 23,0	+ 1,6
19	21/02/79	2,17	438	- 260	- 5	- 0,450	578	- 25,8	- 2,1
20	22/02/79	2,13	449	- 265	- 5	- 0,388	593	- 21,8	+ 3,3
21	19/05/79	-0,46	7,1	- 524	- 2		7,8		
22	28/07/79	1,75	506	+ 317	+ 3	+ 0,278	452	+ 13,0	+ 1,0
23	25/09/79	4,24	1.845	+ 67,5	+ 3	+ 0,244	1.647	+ 11,6	- 0,4
24	2/10/79	4,43	1.870	+ 49	+ 1	+ 0,117	1.795	+ 5,7	+ 1,4
25	5/10/79	4,49	1.943	+ 43	+ 2	+ 0,156	1.795	+ 7,5	- 0,6
26	8/10/79	4,55	1.984	+ 37	+ 2	+ 0,155	1.834	+ 7,5	- 0,6
27	14/11/79	4,91	2.124	+ 1	+ 0,5	+ 0,039	2.080	+ 1,9	- 0,2
28	17/11/79	4,92	2.132	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,044	2.088	+ 2,2	0,0
29	22/11/79	4,90	2.005	- 2	- 1	- 0,068	2.096	- 3,5	+ 0,9
30	28/11/79	4,88	1.961	- 5	- 1	- 0,094	2.050	- 4,8	- 0,5
31	11/02/80	2,58	589	- 234,5	- 5,5	- 0,391	808	- 21,9	+ 7,1
32	12/02/80	2,51	606	- 241	- 4	- 0,303	746	- 16,5	+ 2,8
33	16/02/80	2,27	507	- 265,5	- 5,5	- 0,342	696	- 18,9	+11,4
34	17/02/80	2,20	471	- 272	- 5	- 0,384	622	- 21,5	+ 3,7
35	21/02/80	1,95	304	- 297	- 7,5	- 0,646	506	- 40,5	- 1,0
36	22/02/80	1,89	313	- 303	- 7	- 0,594	493	- 36,3	+ 0,4
37	19/05/80	-0,41	5,9	- 533	0		5,9		
38	9/11/80	4,28	1.776	0	+ 1	+ 0,124	1.705	+ 6,0	+ 1,5
39	20/11/80	4,17	1.640	- 11,5	0	+ 0,044	1.640	+ 2,2	+ 2,2
40	21/11/80	4,16	1.600	- 12	- 0,5	- 0,002	1.635	- 0,1	+ 2,1
41	28/11/80	4,11	1.520	- 17,5	- 1	- 0,061	1.589	- 3,1	+ 1,3
42	4/12/80	4,01	1.390	- 27,5	- 2	- 0,151	1.526	- 7,9	+ 1,1
43	5/12/80	3,99	1.350	- 28,5	- 2	- 0,193	1.482	- 10,2	- 1,4
44	31/01/81	2,04	447	- 224	- 3	- 0,319	518	- 17,5	- 4,4
45	1/02/81	2,02	456	- 226	- 2,5	- 0,268	514	- 14,4	- 3,6
46	12/02/81	1,42	315	- 286	- 3,5	- 0,229	376	- 12,2	+ 4,8
47	19/02/81	1,15	190	- 313	- 6,5	- 0,585	284	- 35,5	- 3,6
48	23/02/81	0,89	218	- 339	- 2,5	- 0,126	246	- 6,4	+ 5,6
49	28/02/81	0,72	148	- 356,5	- 5	- 0,403	195	- 22,7	+ 1,8
50	5/03/81	0,55	126	- 373,5	- 4	- 0,305	155	- 16,6	+ 2,6
51	7/03/81	0,47	109	- 381	- 4	- 0,332	134	- 18,3	+ 0,5
52	13/03/81	0,32	79,5	- 396	- 3	- 0,339	92	- 18,7	- 5,9
53	15/03/81	0,28	78,7	- 399,5	- 3	- 0,237	91	- 12,6	+ 1,0

TONKA

Fig. 5.2.

Période postérieure à 1977

Débits corrigés



2.1.6. ANALYSE DES MESURES EFFECTUEES A BENENI KEGNY

Nous disposons de deux séries de mesures qui correspondent chacune à un étalonnage non-univoque. Les comparaisons de modules par la méthode des double-cumuls nous a permis de placer dans le temps ce détarage au 1er Mai 1971.

2.1.6.1. Période antérieure à 1971

31 mesures de débits ont été effectuées de Novembre 1954 à Mai 1971. 21 d'entre elles sont utilisées pour l'analyse. La courbe pseudo-univoque est traduite par cinq tronçons de parabole dont les paramètres respectifs sont :

Tronçons (en m.)	0,05-1,00	1,00-2,00	2,00-4,00	4,0-7,0	7,0-9,0
a	44,468	34	24	40	87,5
b	9,745	97	166	246,7	477,5
c	1,61	51	182	610	1710

La correction utilisée qui reste la même pour toute la période des observations est la suivante :

$$Q_0 = Q / (1 + 0,0255 \cdot G)^{0,5}$$

Le tableau n° 6 contient le détail de l'analyse qui a été réalisée comme les précédentes. Après analyse et l'application de la correction de gradient ci-dessus nous obtenons les résultats suivants :

N = Nombre de mesures utilisées.

	Q mesurés	Q corrigés
Total des écarts en % (N = 21)	244,2	95,0
Ecart moyen en %	11,6	4,5
Total des écarts en % (N = 19)	211,2	72,7
Ecart moyen en %	11,1	3,8

2.1.6.2. Période postérieure à 1971

La même correction est appliquée aux mesures de débits dont nous disposons. Nous traçons une courbe moyenne qui est traduite par six tronçons de parabole dont les paramètres respectifs sont :

Tronçons: (m)	0,05 - 0,3	0,3 - 1	1 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 9
a	14,667	67,111	22	17,5	34	77,778
b	17,133	23,308	135	189,5	286	403,333
c	1,6	6,8	56	213	662	1370

Le tableau n° 6.1. bis contient le détail de l'analyse. La réduction des écarts est la suivante :

	Q mesurés	Q corrigés
Total des écarts en % (N = 11)	61,3	21,0
Ecart moyen en %	4,7	1,6
Total des écarts en % (N = 10)	42,2	15,5
Ecart moyen en %	3,5	1,3

TABLEAU N° 6.

STATION DE BENENI KEGNY

- Analyse des mesures effectuées

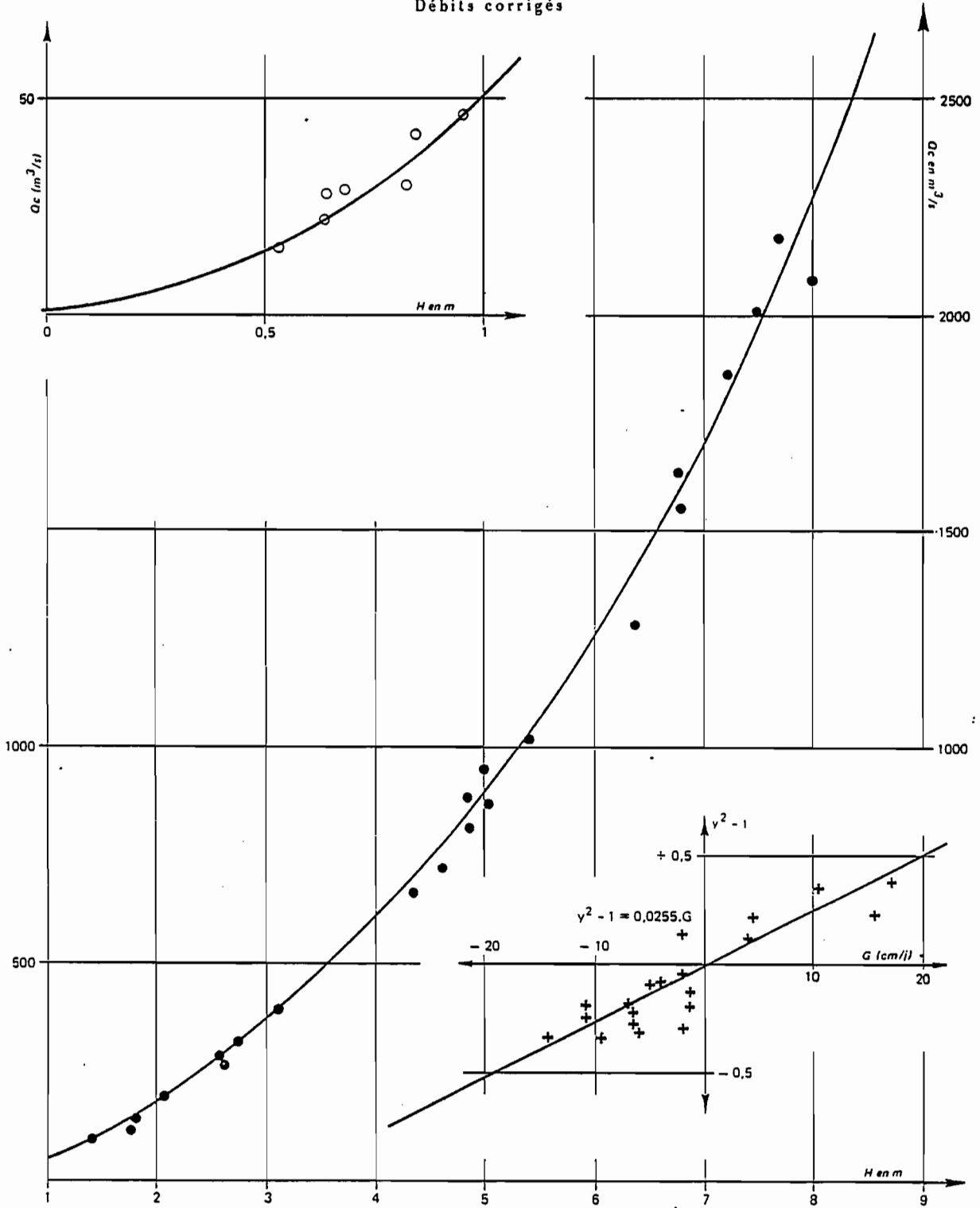
N°	DATE	H(m)	Q(m3/s)	DH-1 (cms)	$y^2 - 1$	Q_c (m3/s)	DQ/Q ₀ (%)	DQ _c /Q ₀ (%)
1	28/11/54	6,77	1.410	- 6,5	- 0,224	1.554	- 11,9	- 2,9
2	14/02/55	2,04	190	- 2,0	+ 0,014	197	+ 0,7	+ 4,4
3	24/05/55	0,72	70,2	- 0,5		71,3		
4	6/12/55	5,00	804	-11,0	- 0,196	953	- 10,3	+ 6,3
5	18/07/56	0,84	44,0	+ 4,0		42,3		
6	14/12/56	3,10	353	- 7,0	- 0,196	392	- 10,3	- 0,4
7	20/12/56	2,71	297	- 5,0	- 0,094	320	- 4,8	+ 2,6
8	25/01/57	1,79	138	- 1,5	- 0,140	142	- 7,3	- 4,6
9	9/08/57	4,33	771	+15,5	+ 0,228	660	+ 10,8	- 5,1
10	16/09/57	7,67	2.280	+ 4,5	+ 0,214	2.180	+ 10,2	+ 5,4
11	14/01/58	2,57	271	- 4,0	- 0,092	288	- 4,7	+ 1,3
12	11/03/58	1,39	96,0	- 2,0	+ 0,043	99,3	+ 2,1	+ 5,6
13	15/08/58	5,39	1.211	+17,0	+ 0,382	1.023	+ 17,6	- 0,7
14	17/11/58	6,36	1.175	- 6,0	- 0,310	1.286	- 17,0	- 9,1
15	5/12/58	4,85	735	- 6,5	- 0,250	810	- 13,4	- 4,5
16	20/08/58	4,83	982	+10,5	+ 0,359	881	+ 16,6	+ 4,6
17	18/09/59	7,52	2.090	+ 4,0	+ 0,112	2.010	+ 5,5	+ 1,4
18	22/10/59	7,98	2.027	- 1,5	- 0,197	2.084	- 10,4	+ 7,9
19	3/11/59	7,23	1.571	-11,0	- 0,259	1.861	- 13,9	+ 2,0
20	7/11/59	6,76	1.293	-14,5	- 0,343	1.634	- 19,0	+ 2,4
21	19/11/59	5,02	700	-17,5	- 0,399	868	- 22,5	- 3,9
22	23/11/59	4,60	624	- 9,5	- 0,347	721	- 19,2	- 6,7
23	20/01/60	1,75	120	- 2,0	- 0,295	124	- 16,0	- 13,2
24	15/03/60	0,95	45,4	- 1,0		46,4		
25	28/03/60	0,82	29,4	- 1,0		30,0		
26	17/04/60	0,68	28,8	- 1,0		29,4		
27	8/05/60	0,64	28,0	0,0		28,0		
28	21/07/60	2,59	312	+15,5		267		
29	12/06/63	0,53	16,1	+ 2,0		15,8		
30	20/05/60	0,63	21,5	- 1,0		22,0		
31	9/10/67	8,34	2.725	- 0,5	- 0,011	2.738	- 0,5	- 0,1
32	5/09/71	5,95	1.430	+ 6,0	+ 0,124	1.324	+ 6,0	- 1,9
33	5/04/74	0,05	1,6	0,0	0,000	1,6	+ 0,0	0,0
34	29/08/76	3,62	585	+ 6,5	+ 0,069	538	+ 3,4	- 4,9
35	11/10/76	3,93	670	+ 3,0	+ 0,083	643	+ 4,1	- 0,1
36	1/05/78	0,28	6,5	0,0	+ 0,059	6,5	+ 2,9	+ 2,9
37	7/05/80	0,22	4,9	0,0	- 0,015	4,9	- 0,7	- 0,7
38	3/08/80	1,74	177	+ 5,0	+ 0,111	166	+ 5,4	- 1,2
39	29/08/80	3,50	639	+10,0	+ 0,418	566	+19,1	+ 5,5
40	7/09/80	4,65	940	+ 8,0	+ 0,188	851	+ 9,0	- 1,3
41	12/09/80	5,22	1.150	+ 6,0	+ 0,174	1.065	+ 8,3	+ 0,3
42	27/09/80	5,47	1.150	- 2,0	- 0,010	1.180	- 0,5	+ 2,1

BENENI KEGNY

Fig. 6.1.

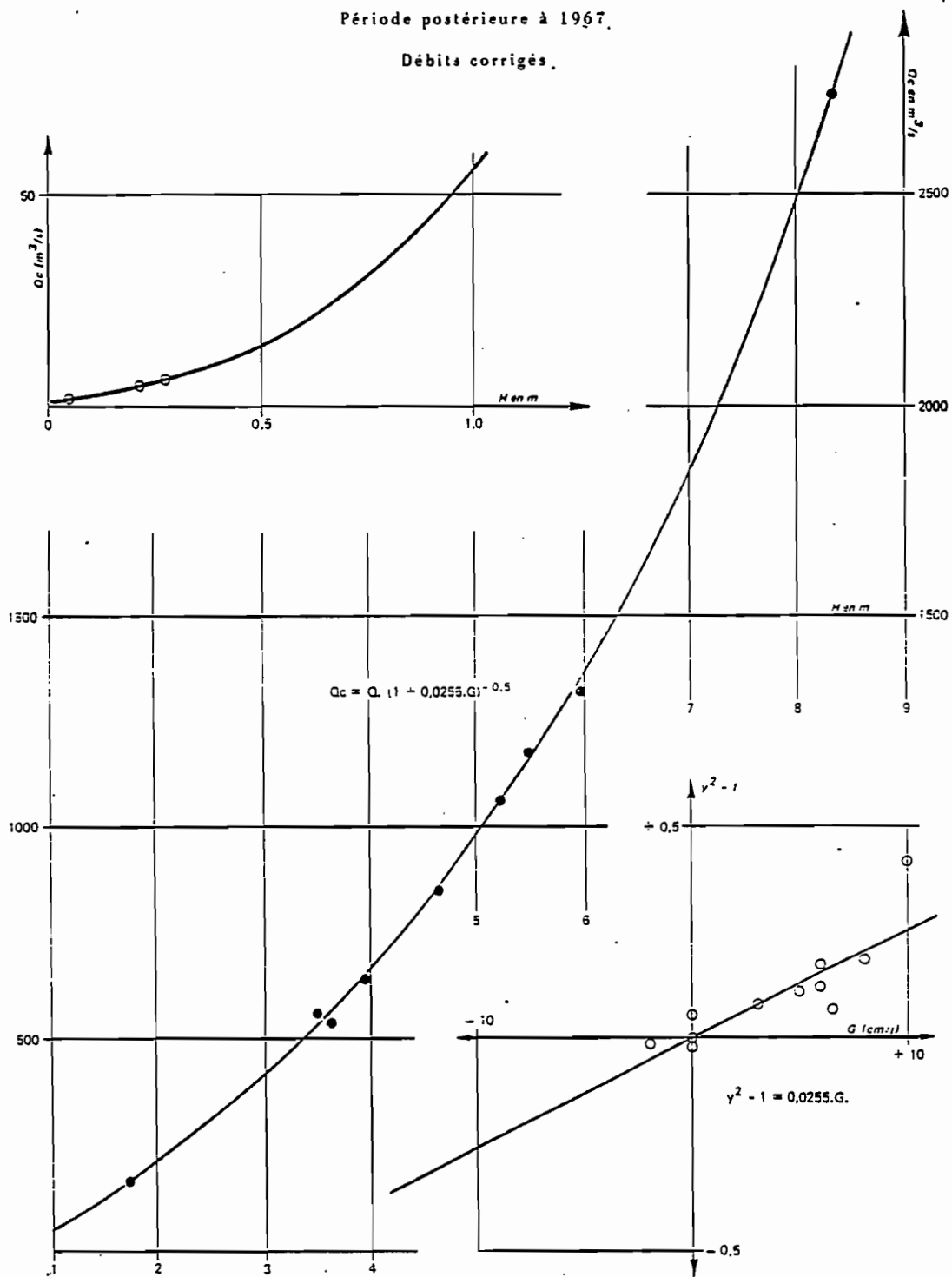
Période antérieure à 1967

Débits corrigés



BENENI KEGNY,
Période postérieure à 1967,
Débits corrigés.

Fig. 6.2.



2.1.7. ANALYSE DES MESURES EFFECTUEES A SOFARA

39 mesures de débits ont été effectuées à SOFARA du 24/11/51 au 29/09/80. Ces mesures ont été analysées et après correction de gradient :

$$K = 0,0387$$

Le débit corrigé est de la forme :

$$Q_0 = Q / (1 + 0,0387 \cdot G)^{0,5}$$

Nous avons tracé la courbe pseudo-univoque à l'aide des débits corrigés, elle est représentée par cinq tronçons de parabole dont les paramètres sont :

Tronçons (m):	0,5-0,0	0,0-1,0	1,0-2,0	2,0-4,0	4,0-7,2
a	16,867	38	15	27,5	41,111
b	0,527	20	81,5	115,5	235
c	0,020	4,5	62,5	159	500

Le tableau n° 7 contient le détail de l'analyse. Nous n'avons pas pris en considération les mesures effectuées à des cotes à l'échelle de crue inférieures à 1,0m. Seules 22 mesures ont été utilisées dans l'évaluation du coefficient de correction de gradient limnimétrique. Pour le tracé de la courbe pseudo-univoque, toutes les mesures ont été utilisées.

La valeur limite inférieure, ACO est égale à :

$$ACO = - 0,50$$

A partir du tableau n° 7 nous tirons de l'analyse les éléments suivants :

	Débits mesurés	Débits corrigés
Total des écarts en % (N = 22)	196,4	39,3
Ecart moyen en %	8,9	1,8
Total des écarts en % (N = 20)	178,4	31,9
Ecart moyen en %	8,9	1,6

La valeur fixée pour ACO correspond à un gradient minimal de - 16,7 cm/j. La figure n° 7 représente la courbe pseudo-univoque avec les mesures corrigées par le gradient limnimétrique.

TABLEAU N° 7.

STATION DE SOFARA

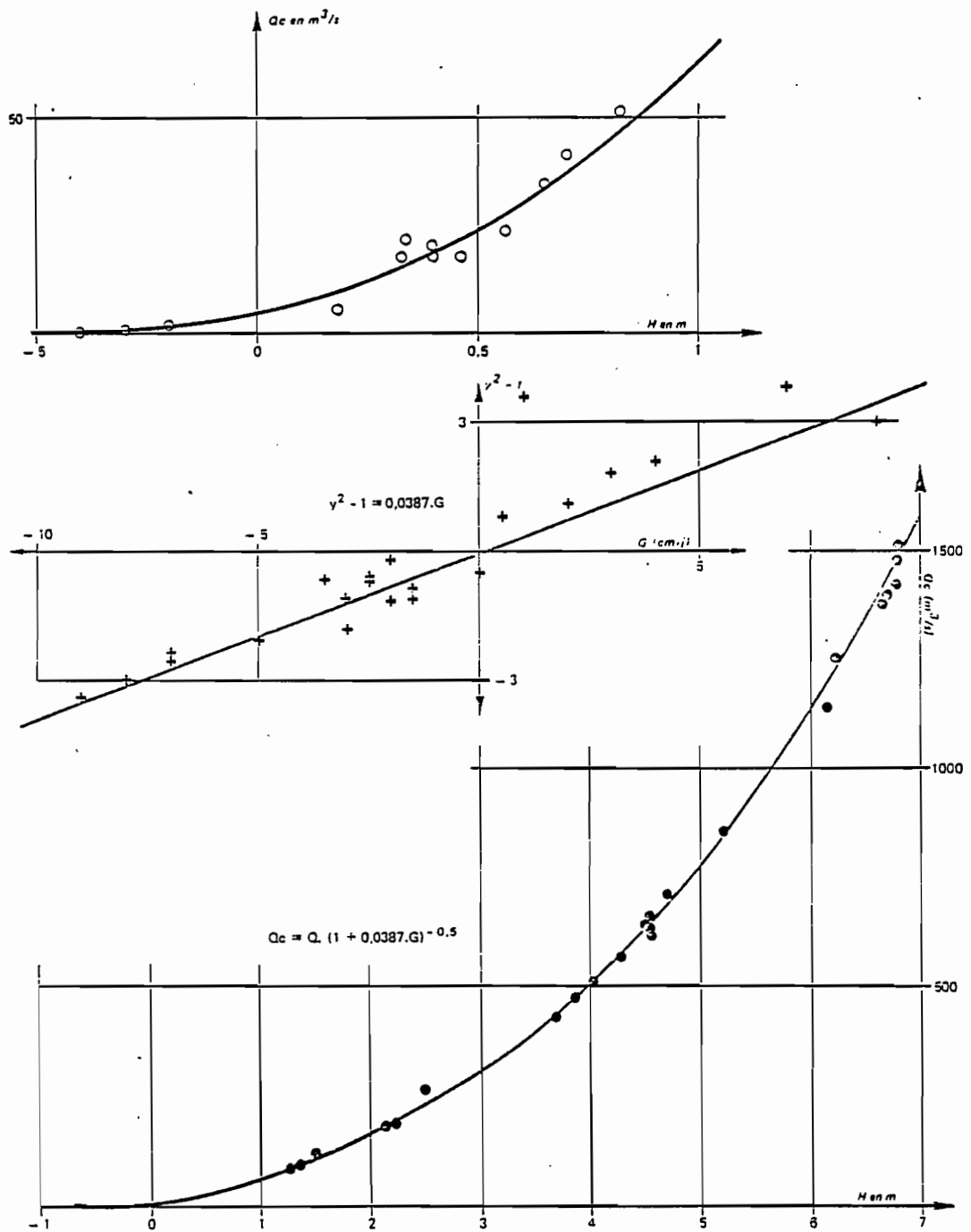
- Analyse des mesures effectuées à SOFARA -.

N°	DATE	H(m)	Q(m ³ /s)	DH-1 (cms)	y ² - 1	Q _c (m ³ /s)	DQ/Q _o (%)	DQ _c /Q _o (%)
1	24/11/51	6,79	1392	- 3	- 0,111	1481	- 6,5	- 0,4
2	28/01/52	3,86	404	- 7	- 0,258	473	-14,6	0,0
3	28/03/52	1,27	81	- 2	- 0,015	84	- 5,4	- 1,9
4	7/06/52	0,34	22			22		
5	1/12/54	6,64	1345	- 1,5	- 0,086	1386	- 3,9	- 1,0
6	12/02/55	2,69	244	- 3,5	- 0,061	262	- 4,0	+ 3,1
7	27/03/56	1,32	87	- 2,5	- 0,068	92	- 3,5	+ 2,1
8	23/05/56	0,70	40	- 2		42		
9	15/12/56	4,50	548	- 7	- 0,238	642	-14,0	+ 0,8
10	19/12/56	4,26	457	- 9	- 0,343	566	-20,0	- 0,9
11	26/01/57	2,15	171	- 2,5	- 0,066	180	- 3,7	+ 1,4
12	9/05/57	0,56	24	+ 1		24		
13	15/09/57	6,22	1345	+ 4	+ 0,207	1252	+12,0	+ 4,2
14	15/01/58	4,02	421	- 8	- 0,304	507	-17,3	- 0,4
15	14/08/58	4,53	741	+ 0,5	+ 0,357	634	+14,8	- 1,8
16	30/11/58	6,13	1075	- 3	- 0,180	1143	- 8,0	- 2,2
17	23/08/59	4,54	730	+ 9	+ 0,306	629	+12,6	- 3,0
18	26/10/59	6,75	1420	0,0	- 0,050	1420	- 3,0	- 3,0
19	6/11/59	6,68	1340	- 2	- 0,116	1395	- 5,8	- 2,0
20	21/01/60	2,20	173	- 1,5	- 0,108	178	- 6,0	- 3,2
21	15/03/60	0,82	50	- 2		52		
22	1/04/60	0,65	34	- 1		35		
23	23/04/60	0,46	17,4	- 1		18		
24	12/05/60	0,40	19,1	+ 0,5		19		
25	11/06/63	0,33	17,3	- 1		18		
26	21/05/67	0,40	21,0	- 1		21		
27	11/10/67	6,78	1530	+ 0,5	+ 0,082	1515	+ 3,2	+ 2,2
28	9/07/73	0,18	5,8	- 0,5		5,9		
29	25/04/74	-0,30	0,8	0,0		0,8		
30	22/06/74	-0,40	0,1	0,0		0,1		
31	28/04/78	-0,20	2,4	0,0		2,4		
32	22/08/79	3,685	385	- 5	- 0,205	429	-11,6	- 1,5
33	6/05/80	-0,16	3,3					
34	1/08/80	1,49	148	+10,5	(0,948)	125	+39,6	+17,5
35	19/08/80	3,125	456	+ 4				
36	27/08/80	3,44	487	+ 4				
37	9/09/80	4,54	675	+ 2	+ 0,116	650	+ 4,1	+ 0,3
38	11/09/80	4,68	7,98	+ 7	+ 0,382	708	+15,9	+ 2,8
39	29/09/80	5,20	904	+ 3	+ 0,185	856	+ 6,5	+ 0,9

le BANI à SOFARA

Fig. 7

Débits corrigés



2.1.8. ANALYSE DES MESURES EFFECTUEES A MOPTI

L'analyse conduit à conserver la même courbe d'étalonnage et la même correction pendant toute la période des observations.

La série de cinq mesures effectuées en 1980 ne permet pas de conclure à un détarage de la section pour diverses raisons. Il semble bien que l'équipe ait surévalué les résultats des mesures. La confirmation des valeurs fortes obtenues en 1980 s'impose et une campagne complète de jaugeages doit être réalisée à NANTAKA.

2.1.8.1. Mesures antérieures à 1963

Comme indiqué ci-dessus nous avons établi une courbe correspondant au régime uniforme. Cette courbe est essentiellement tracée à partir des jaugeages effectués après 1960, ceci pour la partie des débits supérieurs à 2000 m³/s, soit sensiblement pour les cotes supérieures à 5,50 mètres à l'échelle de crue de MOPTI.

Au-delà de 5,5 m, les mesures antérieures à 1960 semblent bien avoir été réalisées à la station de NIMITIGO comme l'indique C. AUVRAY dans la première monographie du NIGER; il estime que les débits sont sous-estimés de 4% environ. Au moment de la rédaction de l'ouvrage d'Auteur ne possédait pas les séries de mesures de 1967 et 1969 qui couvrent complètement la plage de cotes comprises entre 5,5m et 7,2 mètres à l'échelle de crue de MOPTI.

Il y a une mise en vitesse des débordements qui se produisent, au-delà de la cote 5,50, dans les plaines d'inondations de rive gauche et dans le bras de rive droite. Pour une faible augmentation de cote, les vitesses doivent croître très rapidement et les erreurs de l'ordre de 6 à 7% à la cote 6,00 passent à environ 17% à la cote 7,00 mètres à l'échelle de MOPTI.

Il serait illusoire de conclure à un détarage de la section de NANTAKA, et en fait de l'échelle de crue de MOPTI, car toutes les mesures effectuées au dessous de la cote 5,50 sont bien dans le système de tarage utilisé actuellement. Quelques erreurs dues au fait que nous prenons comme cotes de références celles de l'échelle de MOPTI, qui est située sur le BANI à l'amont de la confluence avec le NIGER, correspondant davantage à une dispersion provenant de l'imprécision de la connaissance des cotes du plan d'eau au niveau de la section de jaugeages de NIMITIGO.

120 mesures de débits, mises à part les mesures effectuées au-dessus de 5,50 mètres à MOPTI, sont utilisées pour tracer la courbe "pseudo-univoque" correspondant à un régime uniforme. Avant 1964 il a été réalisé 30 mesures dont 6 au dessus de 5,5 mètres. La courbe moyenne est représentée par 7 tronçons de paraboles dont les paramètres sont les suivants:

Tronçons (m) :	0,0	0,4	1,0	2,0	3,0	5,0	6,0	7,3
a	100	33,33	32	106	78	70	148,32	
b	-2,5	66,67	13	195	414	715	777,34	
c	0,0	15	67	229	530	1670	2455	

La correction de gradient limnimétrique est la suivante :

$$Q_c = Q / (1 + K \cdot G)^{0,5} \quad \text{avec } K = 0,030$$

Le tableau n° 8 contient le détail de l'analyse, la réduction des écarts est la suivante :

	Mesurées	Corrigées
Total des écarts en % (N = 29)	532,1	412,1
Ecart moyen en %	6,0	4,6
Total des écarts en % (N = 80)	405,5	302,1
Ecart moyen en %	5,1	3,8

Les figures 8.1. et 8.2. présentent la courbe "pseudo-univoque" et la droite de correction.

La valeur limite du gradient négatif (ACO) est fixée à :

$$ACO = - 0,50$$

Soit :

$$G_{min} = - 16,7 \text{ cms/jour}$$

TABLEAU N° 8

STATION DE MOPTI

- Analyse des mesures de débits effectuées avant 1964 -.

N°	DATE	H(cm)	Q(m3/s)	DH-1 (cms)	$y^2 - 1$	Q _c (m3/s)	DQ/Q _c (%)	DQ _c /Q _c (%)	H(cm) Obs.
1	22/08/51	527	1.780	+ 5,5	- 0,092	1.649	- 4,1	- 11,7	527
2	21/11/51	710	2.805	+ 0,5	- 0,356	2.784	- 19,7	- 20,3	709
3	26/01/52	527	1.570	- 6,5	- 0,294	1.750	- 16,0	- 6,3	527
4	27/03/52	232	279	- 6,5	- 0,148	311	- 7,7	+ 2,9	232
5	8/06/52	126	130	+ 3,0		125			127
6	19/02/54	310	507	- 3,5	- 0,215	536	- 11,4	- 6,3	300
7	30/03/55	231	325	- 2,5	+ 0,176	338	+ 8,5	+ 12,8	231
8	23/03/56	230	292	- 3,5	- 0,034	309	- 1,7	+ 4,0	230
9	18/12/56	540	1.772	- 7,0	- 0,189	1.994	- 9,9	+ 1,4	544
10	18/02/57	233	265	- 4,5	- 0,245	285	- 13,1	- 6,5	233
11	8/05/57	100	74	0,0		74			100
12	6/08/57	473	1.600	+ 6,0	+ 0,169	1.473	+ 8,1	- 0,5	466
13	14/09/57	639	2.590	+ 3,0	- 0,132	2.481	- 6,9	- 10,8	633
14	16/01/58	514	1.573	- 8,0	- 0,212	1.804	- 11,2	+ 1,8	516
15	19/02/58	346	530	- 6,5	- 0,483	591	- 28,1	- 19,8	344
16	12/03/58	268	278	- 6,5	- 0,542	310	- 32,3	- 24,5	265
17	4/06/58	227	357	+14,0	+ 0,522	300	+ 23,4	+ 3,7	222
18	25/07/58	414	1.224	+ 2,5	+ 0,231	1.181	+ 10,9	+ 7,0	412
19	13/08/58	464	1.554	+ 5,0	+ 0,200	1.449	+ 9,5	+ 2,1	462
20	22/08/58	515	1.942	+ 4,5	+ 0,192	1.823	+ 9,2	+ 2,5	509
21	6/09/58	580	2.400	+ 3,5	+ 0,101	2.283	+ 5,0	- 0,2	577
22	2/10/58	672	2.769	+ 3,0	- 0,198	2.652	- 10,4	- 14,2	659
23	21/11/59	670	2.555	- 2,0	- 0,308	2.635	- 16,8	- 14,2	676
24	9/12/59	604	2.134	- 4,5	- 0,263	2.294	- 14,2	- 7,7	610
25	14/03/60	142	120	- 2,5		125			143
26	31/03/60	120	84	- 1,5		86			120
27	22/04/60	92	55	0,0		55			92
28	11/05/60	74	39	- 1,5		40			83
29	23/07/60	376	1.075	+ 8,0	+ 0,460	865	+ 20,8	+ 8,2	374
30	9/06/63	140	130	0,0		130			140

- La dernière colonne contient les hauteurs consignées sur la feuille de relevés de l'observateur de l'échelle de crue de MOPTI -.

TABLEAU N° 8.1.

STATION DE MOPTI

- Analyses des mesures effectuées à partir de 1964 -.

N°	DATE	H(cm)	Q (m3/s)	DH-1 (cm)	y^2-1	Q_c (m3/s)	DQ/Q _c	DQ _c /Q _c
32	24/05/67	052	44	0,0		44		
33	15/10/67	690	3370	+ 1,0	0,029	3321	+ 1,4	0,0
34	17/10/67	693	3340	+ 1,5	-0,009	3267	- 0,5	- 2,6
35	19/10/67	696	3450	+ 1,5	+0,036	3375	+ 1,8	- 0,4
36	24/10/67	702	3465	+ 1,0	+0,004	3414	+ 0,2	- 1,3
37	29/10/67	708	3605	+ 1,0	+0,045	3552	+ 2,2	+ 0,7
38	1/11/67	710	3565	+ 1,0	+0,008	3513	+ 0,4	- 1,0
39	4/11/67	713	3540	+ 1,0	-0,025	3488	- 1,3	- 2,7
40	7/11/67	716	3525	+ 0,5	-0,052	3499	- 2,6	- 3,4
41	11/11/67	719	3625	0,0	-0,023	3615	- 1,1	- 1,1
42	13/11/67	720	3640	0,0	-0,015	3640	- 0,8	- 0,8
43	16/11/67	720	3630	0,0	-0,021	3630	- 1,0	- 1,0
44	19/11/67	718	3610	- 1,5	-0,019	3694	- 0,9	- 1,4
45	22/11/67	715	3440	- 1,0	-0,091	3493	- 4,7	- 3,2
46	25/11/67	711	3460	- 1,0	-0,056	3513	- 2,9	- 1,4
47	28/11/67	704	3390	- 1,5	-0,051	3469	- 2,6	- 0,3
48	30/11/67	701	3330	- 2,5	-0,066	3462	- 3,4	+ 0,5
50	22/10/68	650	2840	0,0	-0,045	2840	- 2,3	- 2,3
51	25/10/68	651	2790	+ 0,5	-0,084	2769	- 4,3	- 5,0
53	1/11/68	650	2900	- 0,5	-0,004	2922	- 0,2	+ 0,6
55	8/11/68	641	2760	- 4,5	-0,041	2824	- 2,1	+ 0,2
57	14/11/68	629	2610	- 1,5	-0,070	2671	- 3,6	- 1,3
59	18/11/68	619	2500	- 2,5	-0,087	2599	- 4,5	- 0,7
61	22/11/68	608	2390	- 4,0	-0,102	2548	- 5,2	+ 1,0
62	25/11/68	602	2310	- 3,0	-0,126	2422	- 6,5	- 2,0
63	10/10/69	666	3110	+ 2,0	+0,029	3021	+ 1,4	- 1,5
64	12/10/69	670	3140	+ 1,0	+0,021	3094	+ 1,0	- 0,4
65	14/10/69	670	3180	+ 1,0	+0,047	3133	+ 2,3	+ 0,8
66	16/10/69	674	3220	+ 2,0	+0,045	3128	+ 2,2	- 0,7
67	19/10/69	676	3275	+ 1,0	+0,067	3237	+ 3,3	+ 1,8
68	21/10/69	678	3320	0,0	+0,082	3320	+ 4,0	+ 4,0
69	23/10/69	678	3360	+ 1,0	+0,108	3311	+ 5,3	+ 3,7
70	25/10/69	680	3380	0,0	+0,106	3380	+ 5,2	+ 5,2
71	27/10/69	680	3385	0,0	+0,110	3385	+ 5,3	+ 5,3
72	29/10/69	681	3380	+ 0,5	+0,099	3355	+ 4,8	+ 4,1
73	31/10/69	681	3375	+ 1,0	+0,096	3325	+ 4,7	+ 3,1
74	2/11/69	684	3350	0,0	+0,058	3350	+ 2,9	+ 2,9
75	4/11/69	684	3300	0,0	+0,027	3300	+ 1,3	+ 1,3
76	7/11/69	681	3250	- 1,0	+0,016	3300	+ 0,5	+ 2,3
77	10/11/69	680	3220	0,0	+0,004	3220	+ 0,2	+ 0,2
78	13/11/69	680	3270	+ 1,0	+0,035	3222	+ 1,8	+ 0,3
79	15/11/69	684	3370	+ 1,0	+0,071	3321	+ 4,4	+ 2,9
80	17/11/69	684	3410	0,0	+0,096	3410	+ 5,7	+ 5,7
81	20/11/69	682	3380	- 1,0	+0,092	3432	+ 5,4	+ 7,1
82	12/11/69	682	3360	- 0,5	+0,079	3385	+ 4,8	+ 5,6
53	24/11/69	680	3340	- 0,5	+0,080	3365	+ 4,9	+ 5,7
84	26/11/69	679	3310	- 0,5	+0,068	3335	+ 4,3	+ 5,1
85	28/11/69	678	3275	- 1,5	+0,053	3351	+ 3,5	+ 5,9
86	30/11/69	675	3215	- 1,5	+0,035	3290	+ 2,6	+ 5,0
87	2/12/69	670	3140	- 1,5	+0,021	3213	+ 1,9	+ 4,3
88	5/12/69	664	3000	- 2,0	-0,030	3094	- 0,7	+ 2,4
89	8/12/69	654	2870	- 4,0	-0,050	3059	- 1,8	+ 4,6
90	10/12/69	646	2760	- 4,0	-0,073	2942	- 3,1	+ 3,3
91	14/12/69	630	2550	- 4,0	-0,118	2718	- 5,7	+ 0,5

TABLEAU N° 8.1.1

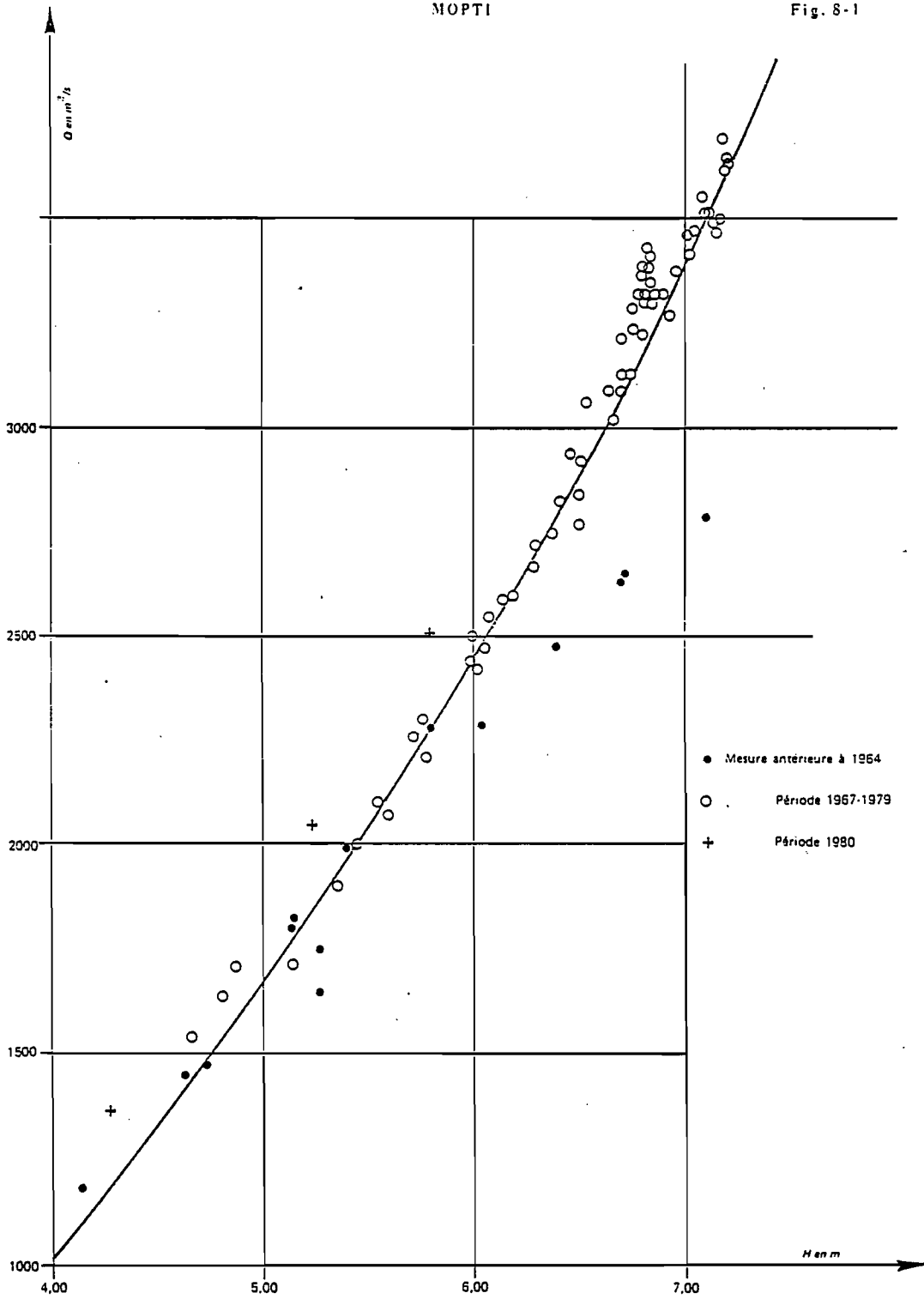
STATION DE MOPTI

- Analyse des mesures effectuées à partir de 1964 (suite)

N°	DATE	H(cm)	Q(m ³ /s)	DH-1 (cm)	y^2-1	Q _c (m ³ /s)	DQ/Q _o	DQ _c /Q _o
92	17/12/69	615	2390	- 5,0	-0,143	2592	- 7,2	+ 0,6
93	20/12/69	600	2225	- 7,0	-0,179	2503	- 9,4	+ 2,0
94	23/12/69	578	2070	- 4,0	-0,169	2207	- 8,8	- 2,8
95	26/12/69	560	1890	- 5,5	-0,208	2068	-11,0	- 2,6
96	30/12/69	536	1690	- 7,0	-0,238	1901	-12,7	- 1,8
97	2/01/70	514	1550	- 6,0	-0,234	1712	-12,5	- 3,4
98	9/04/70	114	86	- 3,0		90,2		
99	24/04/70	110	82	+ 6,0		75,5		
100	5/60/73	023	2,5	0,0		2,5		
101	22/04/74	039	17,5	- 0,5		17,6		
102	5/11/74	638	2730	- 0,5	-0,043	2751	- 1,6	- 0,9
103	13/11/74	606	2365	- 3,0	-0,109	2479	- 5,5	- 0,9
104	22/11/74	555	1900	- 6,0	-0,169	2098	- 8,8	+ 0,7
105	30/11/74	487	1490	- 8,0	-0,118	1709	- 5,5	+ 8,4
106	7/12/76	599	2310	- 3,5	-0,108	2442	- 5,6	- 0,2
107	12/12/76	576	2105	- 5,5	-0,131	2304	- 6,8	+ 2,0
108	13/12/76	571	2063	- 5,5	-0,131	2258	- 6,9	+ 2,0
104	17/12/76	544	1755	- 7,5	-0,229	1994	-12,2	- 0,2
110	26/12/76	481	1430	- 8,0	-0,147	1640	- 6,8	+ 6,8
111	28/12/76	467	1360	- 7,5	-0,134	1545	- 5,5	+ 7,4
112	26/01/77	309	505	- 2,0	-0,311	521	-11,1	- 8,3
113	26/02/77	273	470	- 2,0	+0,095	485	+ 9,9	+13,4
114	15/09/77	230	308	+ 7,5	+0,043	293	+ 3,7	- 1,4
115								
116	31/07/80	221	425	+11,0	1,355	369	+54,8	+34,4
117	21/08/80	400	1300	+ 7,5	+0,476	1175	+27,2	+15,0
118	25/08/80	428	1510	+ 7,5	+0,511	1364	+27,1	+14,8
119	10/09/80	523	2220	+ 6,0	+0,459	2044	+20,8	+11,2
120	30/09/80	579	2544	+ 1,0	+0,247	2507	+11,7	+10,0

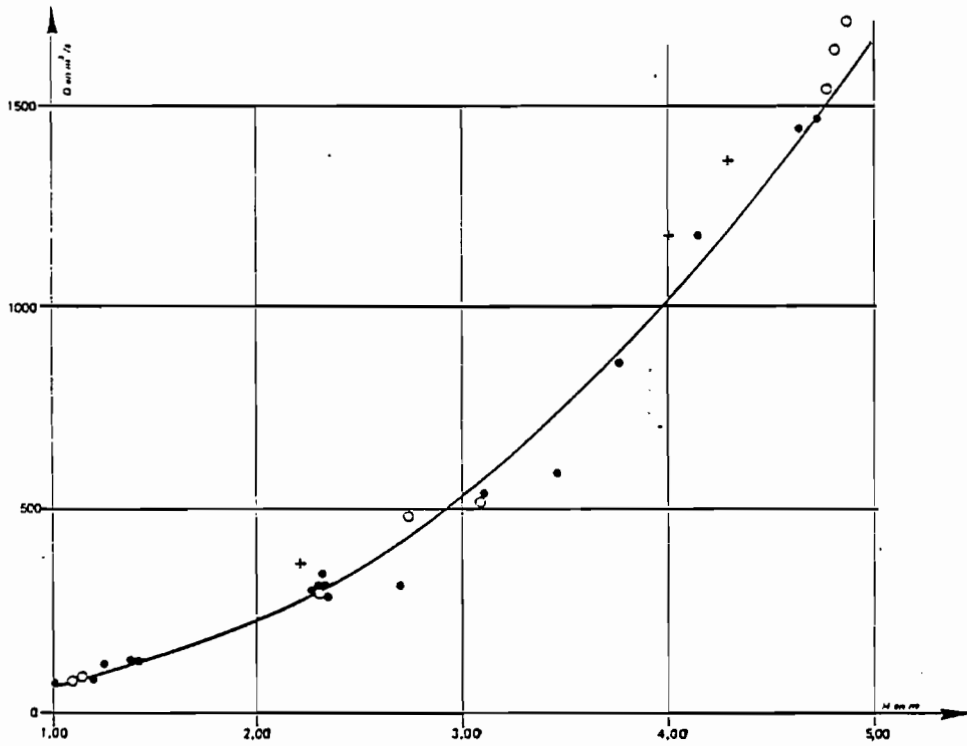
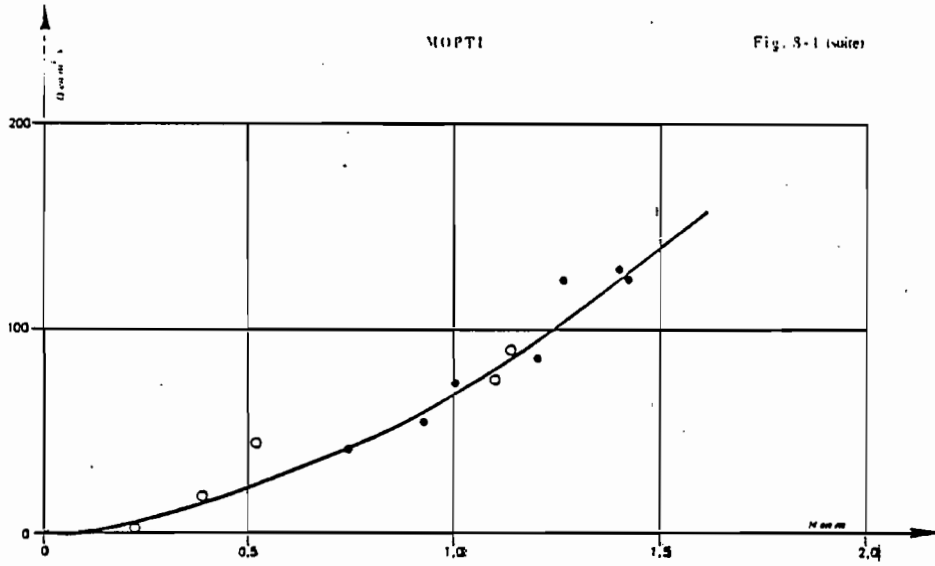
MOPTI

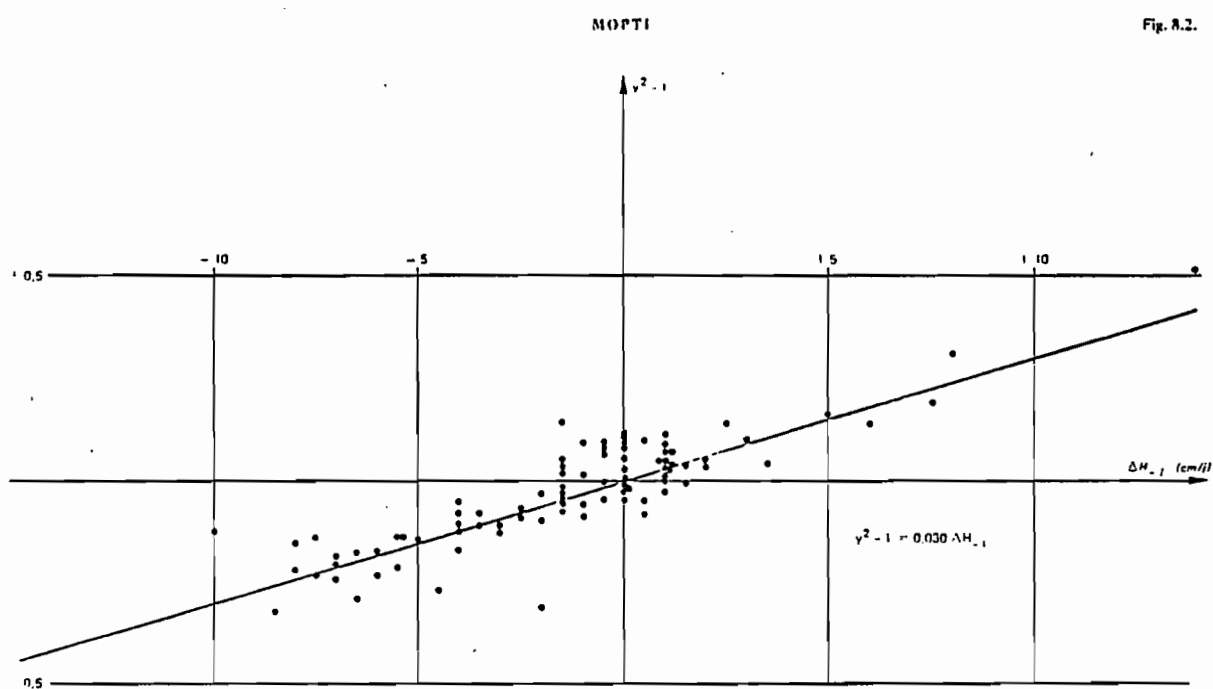
Fig. 8-1



MOPTI

Fig. 3-1 (suite)





2.1.9. ANALYSE DES MESURES EFFECTUEES A KE MACINA

18 mesures de débits ont été effectuées à KE MACINA. Après correction de gradient:

$$K = 0,042$$

$$Q_0 = Q / (1 + 0,042 \cdot G)^{0,5}$$

Nous avons tracé la courbe pseudo-univoque représentée par 7 tronçons de parabole dont les paramètres sont:

Tronçons(m) :	0,0	-	1,0	-	1,5	-	2,5	-	3,5	-	5,2	-	6,3	-	7,2
a	114,56	184	174	16	0	492,42	0								
b	1,44	210	387	772	842,35	812,88	1896								
c	2	118	269	830	1618	3050	4540								

La valeur limite du gradient négatif est :

$$ACO = - 0,50$$

Soit :

$$G_{min} = - 12 \text{ cm/jour}$$

Le tableau n° 9 présente le détail de l'analyse dont nous tirons les éléments suivants :

	Débits mesurés	Débits corrigés
Total écarts en % (N = 13)	98,7	23,8
Ecart moyen en %	7,6	1,8
Total écarts en % (N = 12)	75,1	20,1
Ecart moyen en %	6,3	1,7

La figure n° 9 représente la courbe d'étalonnage et la droite de correction de gradient limnimétrique.

le NIGER à KE MACINA

Débits corrigés

Fig. 9

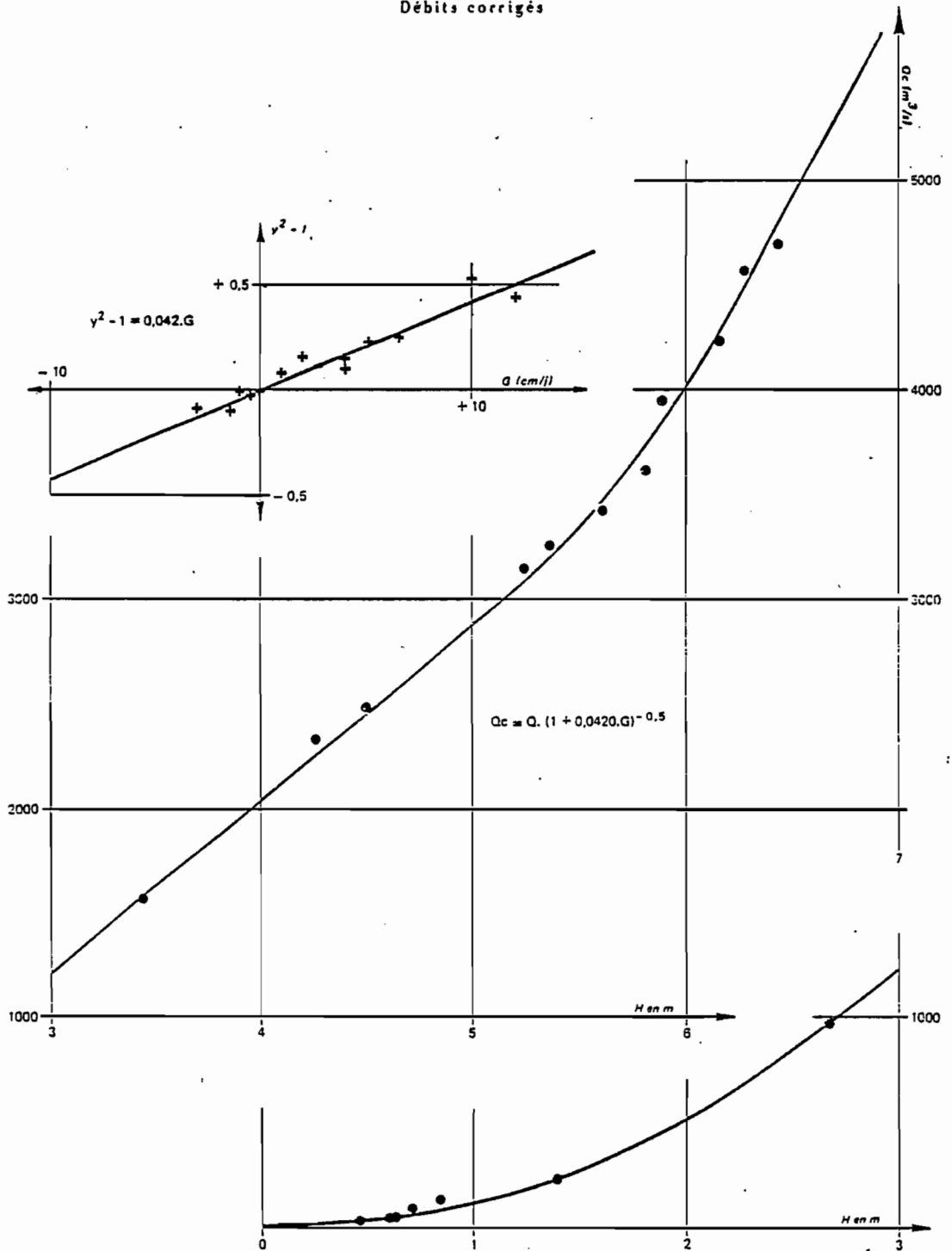


TABLEAU N° 9

STATION DE KE MACINA

- Analyse des mesures effectuées depuis l'origine des observations -.

N°	DATE	H(m)	Qm3/s)	DH-1 (cm)	$y^2 - 1$	Q _c (m3/s)	DQ/Q. (%)	DQ _c /Q. (%)
1	19/05/51	5,36	3.188	- 1	- 0,003	3.257	- 0,1	+ 2,0
2	28/11/51	6,43	4.547	- 1,5	- 0,098	4.697	- 5,0	- 1,9
3	12/04/52	0,83	137			137		
4	11/06/52	0,68	95			95		
5	17/12/52	2,68	1.071	+ 5	+ 0,220	974	+ 8,2	- 1,6
6	12/03/60	0,62	46	0		46	(- 6,6)	(- 6,-)
7	30/07/60	0,60	46	- 0,5		46	(- 0,3)	(- 0,3)
8	19/04/60	0,45	30	0		30	(+22,7)	(+22,7)
9	31/07/60	3,45	1.575	(0)	- 0,004	1.575	- 1,4	- 1,4
10	28/08/60	6,15	4.572	+ 4	+ 0,148	4.230	+ 7,2	- 0,9
11	30/08/60	6,28	4.667	+ 1	+ 0,075	4.572	+ 3,7	+ 1,5
12	7/02/61	1,39	226	- 0,5	- 0,016	228	- 0,8	0,0
13	24/08/76	4,26	2.790	+10	+ 0,526	2.341	+23,6	+ 3,7
14	26/08/76	4,49	2.952	+12	+ 0,449	2.497	+20,4	- 1,8
15	3/10/76	5,61	3.872	+ 6,5	+ 0,248	3.432	+11,7	- 1,8
16	6/10/76	5,81	3.920	+ 4	+ 0,101	3.627	+ 4,9	- 2,9
17	8/10/76	5,89	4.121	+ 2	+ 0,153	2.958	+ 7,4	+ 3,1
18	24/11/76	5,23	2.946	- 3	- 0,085	3.151	- 4,3	+ 2,3

TABLEAU N° 10

STATION DE SARAFERE

- Analyse des mesures de débits -.

N°	DATE	H(m)	Q(m3/s)	DH-1 (cms)	$y^2 - 1$	Q _c (m3/s)	DQ/Q. (%)	DQ _c /Q. (%)
1	21/02/54	5,52	161					
2	8/06/54	1,12	10,2					
3	22/08/54	3,60	180	+ 3,5	+ 0,811	143	+ 34,6	+ 6,9
4	9/09/54	4,12	235	+ 2,0	+ 0,618	204	+ 27,2	+ 10,4
5	15/10/54	4,80	320	+ 2,0	+ 0,480	277	+ 21,7	+ 5,3
6	5/11/54	5,11	335	+ 2,0	+ 0,229	290	+ 10,9	- 4,0
7	18/12/54	5,61	365	+ 0,5	- 0,026	351	- 1,3	- 5,1
8	28/01/55	5,49	422	- 1,5	+ 0,429	487	+ 19,5	+ 17,9
9	22/03/55	4,34	133	- 3,0	- 0,595	188	- 36,3	- 10,0
10	20/04/55	3,13	52	- 4,5	- 0,703	103	- 45,5	+ 8,0
11	5/06/55	1,46	21,5	- 2,0	+ 0,035	26	+ 1,8	+ 22,5
12	5/08/55	3,15	126	+ 5,0	+ 0,692	93	+ 30,1	- 4,0
13	4/09/55	4,08	198	+ 3,0	+ 0,204	162	+ 9,7	- 10,2
14	26/09/55	4,55	282	+ 2,0	+ 0,465	244	+ 21,0	+ 4,7
15	13/12/55	5,61	395	+ 0,5	+ 0,141	380	+ 6,8	+ 2,8
16	30/05/56	1,10	10,3	- 3,0	- 0,427	13	- 24,3	- 4,5
17	23/08/57	3,38	145	+ 4,0	+ 0,592	112	+ 26,2	- 2,5
18	21/09/57	4,24	212	+ 1,5	+ 0,149	190	+ 7,2	- 3,9
19	12/10/57	4,68	284	+ 3,0	+ 0,307	232	+ 14,3	- 6,6
20	25/11/57	5,28	375	+ 2,0	+ 0,335	325	+ 15,6	+ 0,2
21	9/04/58	3,38	57,7	- 4,5	- 0,748	115	- 49,8	+ 0,1
22	12/08/58	3,18	124	+ 2,0	+ 0,565	107	+ 25,1	+ 8,0
23	10/11/58	4,94	296	+ 1,0	+ 0,114	274	+ 5,6	- 2,3
24	14/03/60	2,89	29,9	- 5,0	- 0,859	73	- 62,5	- 8,3
25	9/09/60	3,95	197	+ 2,5	+ 0,393	166	+ 18,0	- 0,6
26	20/11/78	4,49	249	+ 1,0	+ 0,214	231	+ 10,2	+ 2,2
27	21/11/78	4,50	239	+ 0,5	+ 0,107	230	+ 5,2	+ 1,2
28	22/11/78	4,505	232	0,0	+ 0,038	232	+ 1,9	+ 1,9
29	25/11/78	4,51	240	+ 1,0	+ 0,105	222	+ 5,1	- 2,8
30	26/11/78	4,52	242	+ 0,5	+ 0,112	233	+ 5,4	+ 1,5

2.1.10. ANALYSE DES MESURES EFFECTUEES A SARAFERE SUR LE BARA ISSA

30 mesures de débits ont été effectuées sur le BAR ISSA au niveau du village de SARAFERE. 25 avant 1961 et une série de 5 pendant l'hivernage 1978.

Les 5 dernières mesures s'inscrivent après correction de gradient sur la même courbe de tarage que les mesures anciennes. Il n'y a donc pas de détarage apparent.

La courbe pseudo-univoque tracée à l'aide des mesures corrigées est découpée en 3 tronçons de parabole dont les paramètres sont :

Tronçons (m) :	1,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 5,8
a	11	16	11,25
b	15	70	104,75
c	12	86	172

La correction de gradient est évaluée à :

$$K = 0,166$$

Et :

$$Q_c = Q / (1 + 0,166 \cdot G)^{0,5}$$

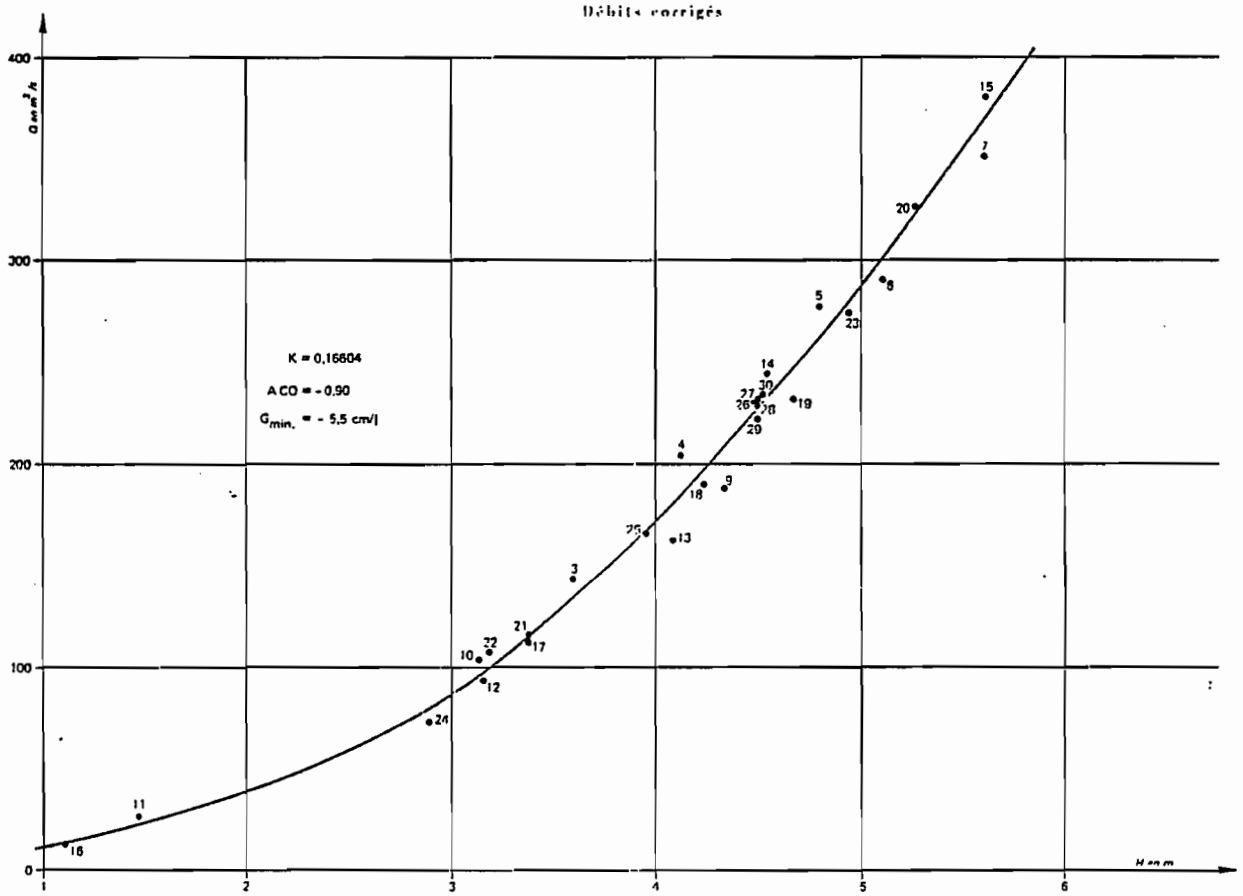
Le tableau n° 10 contient le détail de l'analyse. De celle-ci nous tirons :

	Débits mesurés	Débits corrigés
Total écarts en % (N = 28)	542,8	178,4
Ecart moyen en %	19,4	6,4
Total écarts en % (N = 25)	494,3	107,6
Ecart moyen en %	19,8	4,3

Les figures 9.1. et 9.2. présentent la courbe de tarage ainsi que l'analyse graphique de la correction de gradient limnimétrique.

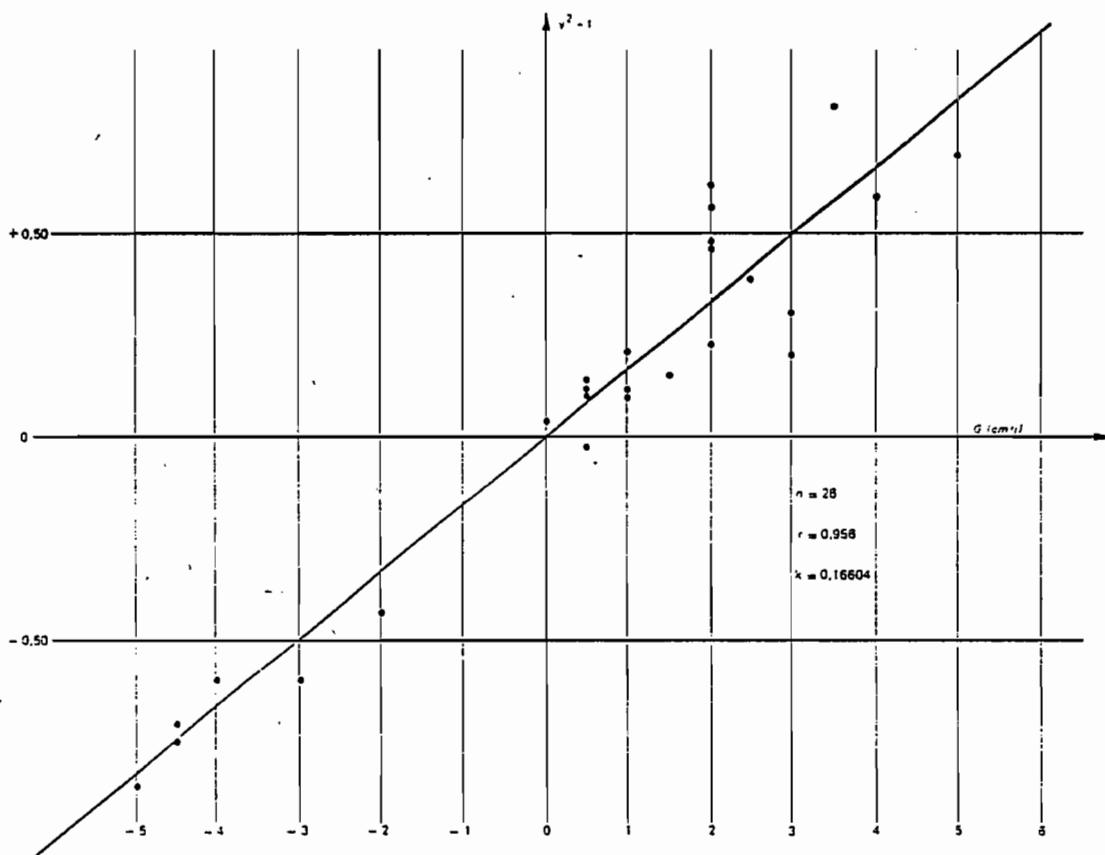
SARAFERE

Fig. 10.1.



SARAFERE

Fig. 10.2.



2.2. RELATION ENTRE COEFFICIENT DE CORRECTION DE GRADIENT - PENTE ET VITESSE DE PROPAGATION DE L'ONDE DE CRUE

L'équation (8) s'écrit : (§ 2.1.1.)

$$K = 1/8,64.10^6.I_0.U \quad (8)$$

Dans ce qui précède nous avons évalué empiriquement la valeur de K pour diverses stations du DELTA INTERIEURE du NIGER.

Dans le chapitre 4 de la 3ème partie du présent tome nous avons présenté une étude de la variation de la pente de la ligne d'eau en fonction de la période de retour des crues annuelles (tab. 3.3.1.). De même, pour le BANI (tab. 3.3.2.2.). Nous avons reporté dans le tableau ci-dessous les valeurs des divers paramètres évalués comme suit pour chaque station :

- Pente en m/m à chaque station, estimée à l'aide de la crue de fréquence moyenne,
- K = coefficient de correction de gradient estimé à partir des mesures de débits,
- Nous en tirons la célérité de propagation de l'onde de crue (gradient nul) :

$$U = 1/8,64.10^6.I_0.K \quad (\text{en m/s})$$

STATIONS	I_0 (m/m $\cdot 10^{-5}$)	K	U (m/s)	U (Kms/jour)
KE MACINA	5,95	0,0420	0,046	6,0
MOPTI	3,00	0,0300	0,129	11,1
BENENI KEGNY	3,97	0,0255	0,114	9,9
SOFARA	2,74	0,0387	0,109	9,4
TONKA	0,80	0,1645	0,088	7,6
TONKA	0,80	0,0852	0,170	14,7
DIRE	1,00	0,0924	0,125	10,8
SARAFERE	1,00	0,1660	0,070	6,0
TOSSAYE	4,01	0,0460	0,063	5,4

Le tableau ci-dessus ne permet pas de calculer la vitesse de propagation de l'onde de crue dans le DELTA INTERIEUR et à l'aval, il permet simplement de vérifier que les vitesses au niveau des sections sont du même ordre de grandeur que celles enregistrées en observant les limnigrammes à ces mêmes sections (passage du maximum = gradient nul).

Par exemple entre DIRE et MOPTI, suivant l'importance de la crue, les dates de passage entre ces deux stations peuvent différer de 30 à 65 jours. En moyenne la crue de fréquence 0,5 met sensiblement 50 jours pour franchir le bief séparant les deux stations qui sont éloignées de 319 Kms en suivant le lit du NIGER puis celui de l'ISSA BER. La vitesse moyenne de l'onde de crue est donc de :

$$U_{MD} = 6,4 \text{ Kms/j}$$

Dans les biefs principaux et secondaires la vitesse au niveau des sections de mesures varie de :

6,0 Kms/jour à SARAFERE
à
11,1 Kms/jour à MOPTI.

Il s'agit là des vitesses estimées au niveau des sections par l'intermédiaire de l'équation (8).

Dans le DELTA, une forte part des volumes transités (jusqu'à 20% suivant la puissance de la crue) n'utilise pas le bras principal mais les défluent et les plaines d'inondation (effets de stockage et de déstockage). La vitesse de l'onde de crue est d'autant plus ralentie que la profondeur moyenne de la section considérée est plus faible. Plus la crue est importante et plus la vitesse est faible, en raison de la largeur de la section qui devient de plus en plus grande lorsque la cote croît.

Les chiffres tirés de l'utilisation des mesures et de l'équation (8) sont tout à fait compatibles avec les temps observés pour les passages des maximums (gradient nul).

CHAPITRE III

COMPARAISON DES DÉBITS CALCULÉS AUX STATIONS

3.1. Introduction

Les remarques faites dans l'introduction du premier tome lors de la comparaison des débits calculés aux stations du NIGER Supérieur sont valables pour les stations de la Cuvette Lacustre.

Dans cette partie du bassin du NIGER où le régime est extrêmement complexe en raison de l'existence d'innombrables bras, émissaires et lacs, les observations sont de qualité très variable. En général les stations les plus importantes telles que celles de DIRE et MOPTI sont relativement bien suivies et les hauteurs d'eau paraissent de bonne qualité, malgré quelques lacunes. Pour certaines stations d'importance secondaire ou considérées, parfois à tort, comme telles ; les lectures sont parfois douteuses où même manifestement fausses. On a dû très souvent compléter, par comparaison avec les stations voisines, des mois entiers, principalement en saison sèche. Cependant les volumes transités au cours de ces mois étant très faibles, l'erreur entraînée par les estimations sur le module est négligeable.

La principale difficulté pour la connaissance des débits vient des étalonnages. Si les jaugeages sont dans la plupart des cas de très bonne qualité, la non-univocité du tarage et surtout le peu de connaissances sur les dates des changements d'étalonnage peuvent entraîner une certaine imprécision sur les débits calculés. Il n'est pas rare en effet que deux séries de jaugeages séparées par plusieurs années correspondent à deux étalonnages différents. La date approximative des changements d'étalonnage n'a pu alors être connue qu'en comparant cette station aux autres stations de la Cuvette (double cumul, ou corrélations). Ce travail a permis d'obtenir une certaine homogénéité dans les volumes écoulés annuellement pour l'ensemble des stations de la Cuvette.

La liste suivante donne pour 12 stations de la Cuvette Lacustre, les périodes pour lesquelles il a été possible de calculer les débits à partir des hauteurs réellement observées ou reconstituées avec assez de précision par comparaison avec les stations voisines. Dans ce cas, il s'agit presque uniquement des mois de basses eaux au cours desquels les débits sont très faibles. Les débits moyens mensuels sont donnés en annexe.

Les tableaux 2-1 à 2-4 donnent les modules en année hydrologique. Les valeurs portées entre parenthèses sont celles recalculées à partir des diverses régressions données dans la suite de ce chapitre.

- | | | |
|--------------------------|---------------------------|--|
| (1) NIGER à KIRANGO-AVAL | (137000 Km ²) | de 1925 à 1940, de 1951 à 1965, de 1975 à 1979 |
| (2) NIGER à KE-MACINA | (141000 Km ²) | de 1953 à 1979 |
| (3) NIGER à TILEMBEYA | (143000 Km ²) | de 1940 à 1949, de 1953 à 1963 |
| (4) DIAKA à KARA | | de 1952 à 1966, de 1969 à 1971, de 1976 à 1979 |
| (5) BANI à BENNENI-KEGNY | (116000 Km ²) | de 1952 à 1979 |
| (6) BANI à SOFARA | (125400 Km ²) | de 1952 à 1979 |
| (7) NIGER à MOPTI | (281600 Km ²) | de 1923 à 1929, de 1934 à 1937, de 1944 à 1979 |
| (8) ISSA-BER à TONKA | | de 1954 à 1959, de 1967 à 1979 |
| (9) BARA-ISSA à SARAFERE | | |
| (10) NIGER à DIRE | (340000 Km ²) | de 1924 à 1979 |
| (11) MARIGOT à GOUNDAM | | de 1932 à 1943, de 1951 à 1979 |
| (12) NIGER à TOSSAYE | | de 1954 à 1979 |

TABLEAU 2-1

	NIGER KOULIKORO	NIGER KIRANGO	NIGER KE-MACINA	NIGER TILEMBEYA	DIAKA KARA	BANI DOUNA	BANI BENENI -K.	BANI SOFARA	NIGER MOPTI
1907-08	1117	(1059)	(1107)	(759)	(372)				
08	1021	(1140)	(1185)	(806)	(393)				
09	1943	(1860)	(1862)	(1220)	(601)				
10	1228	(1167)	(1211)	(821)	(400)				
11	1596	(1524)	(1560)	(1027)	(499)				
12	1293	(1230)	(1272)	(857)	(417)				
13	810	(761)	(781)	(588)	(300)				
14	923	(871)	(910)	(651)	(326)				
15	1375	(1309)	(1350)	(903)	(438)				
16	1365	(1300)	(1340)	(898)	(436)				
17	1463	(1395)	(1433)	(952)	(452)				
18	1583	(1511)	(1548)	(1019)	(495)				
19	1381	(1315)	(1357)	(907)	(440)				
20	1228	(1167)	(1211)	(821)	(351)				
21	1026	(971)	(1020)	(709)	(351)				
22	1471	(1402)	(1435)	(957)	(464)				
23	1585	(1513)	(1550)	(1020)	(496)	452	(448)	(367)	1262
24	2182	(2050)	(2038)	(1354)	(676)	906	(807)	(631)	1643
25	2335	2143	(2130)	(1439)	(726)	732	(677)	(536)	1620
26	1670	1583	(1611)	(1068)	(520)	378	(383)	(318)	1180
27	1952	1867	(1874)	(1225)	(603)	753	(693)	(574)	1557
28	2137	2010	(2007)	(1328)	(661)	782	(715)	(563)	1543
29	2051	1974	(1973)	(1280)	(634)				(1695)
30	2008	1937	(1939)	(1256)	(620)				(1376)
31	1734	1634	(1658)	(1104)	(539)	614	(584)	(467)	(1276)
32	1758	1708	(1727)	(1117)	(545)				(1349)
33	1616	1551	(1581)	(1038)	(505)				(1406)
34	1457	1384	(1427)	(949)	(461)				1136
35	1436	1361	(1405)	(937)	(455)				1284
36	1719	1615	(1641)	(1095)	(534)				(1489)
37	1274	1213	(1268)	(847)	(412)				(1041)
38	1467	1403	(1444)	(955)	(463)				(1197)
39	1355	1314	(1362)	(892)	(433)				(1144)
40	1167	(1053)	(1059)	690	(353)				(952)
41	1236	(1118)	(1127)	736	(373)				(996)
42	992	(887)	(887)	585	(300)				(924)
43	1184	(1069)	(1076)	732	(349)				966
44	993	(888)	(888)	577	(303)				805
45	1227	(1109)	(1118)	719	(373)				1168
46	1525	(1392)	(1412)	1274	(425)				1273
47	1255	(1136)	(1146)	687	(341)				895
48	1669	(1528)	(1553)	896	(435)				1041
49	1379	(1253)	(1268)	837	(416)				(1055)
50	1504	(1372)	(1391)	908	(449)	668	(627)	(499)	1268

TABLEAU 2-2

	NIGER KOULIKORO	NIGER KIRANGO	NIGER KE-MACINA	NIGER TILEMBEYA	DIAKA KARA	BANI DOUNA	BANI BENENI -K.	BANI SOFARA	NIGER MOPTI
1951-52	2121	1952	(1960)	(1271)	(644)	808	(700)	(580)	1581
52	1628	1521	(1513)	(1002)	501	820	752	575	1481
53	1966	1811	1802	1173	583	835	734	583	1562
54	2065	1924	1947	1281	642	918	806	646	1702
55	2027	1882	1884	1215	604	854	798	618	1619
56	1349	1239	1275	853	410	544	521	432	1160
57	2062	1901	1867	1184	581	806	753	593	1545
58	1544	1432	1484	1003	482	(798)	723	563	1429
59	1528	1379	1381	919	445	599	562	455	1221
60	1680	1523	1560	1017	496	614	580	473	1296
61	1253	1141	1189	801	385	637	594	461	1169
62	1904	(1723)	1722	1091	524	561	534	(463)	1350
63	1543	1379	1445	(928)	451	(515)	497	416	1182
64	1637	1479	1594	(992)	488	(849)	750	568	1457
65	1472	(1315)	1385	(893)	437	(580)	560	464	1249
66	1454	(1285)	1329	(900)	(449)	(555)	520	410	1144
67	1975	(1760)	1728	(1123)	(522)	(732)	672	530	1393
68	1440	(1241)	1306	(854)	(409)	(459)	477	382	1098
69	2114	(1890)	1892	(1204)	566	540	539	453	1324
70	1150	(972)	1055	(664)	319	520	523	378	948
71	1311	(1125)	1203	(791)	(386)	359	377	292	866
72	1130	(945)	1017	(675)	(333)	170	177	170	689
73	928	(748)	825	(547)	(280)	159	160	150	562
74	1432	(1224)	1270	(837)	(395)	314	324	281	894
75	1553	1302	1363	(905)	(426)	361	369	299	982
76	1497	1245	1340	(915)	451	245	245	246	954
77	841	669	728	(483)	254	157	155	143	551
78	1287	1087	1173	(780)	(383)	220	251	219	858

TABLEAU 2-3

	ISSAR BER TONKA	BARA-ISSA SARAFERE	NIGER DIRE	GOUNDAM	NIGER TOSSAYE	NIGER ANSONGO	NIGER NIAMEY
1907-08							
08							
09							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24	(1377)		1412		(1325)		(1259)
25	(1468)		1496		(1404)		(1319)
26	(1019)		1084		(1015)		(977)
27	(1327)		1366		(1282)		(1225)
28	(1370)		1406		(1319)		(1253)
29	(1431)		1462		(1368)		1276
30	(1225)		1273		(1206)		1207
31	(1086)		1145	(48,2)	(1078)		1054
32	(1150)		1204	58,5	(1129)		1087
33	(1145)		1199		(1124)		(1081)
34	(875)		951		(898)		906
35	(983)		1051	21,1	(990)		981
36	(1212)		1261	45,7	(1182)		(1136)
37	(833)		913	21,3	(854)		(823)
38	(978)		1046	25,2	(979)		(942)
39	(922)		995	18,3	(931)		(896)
40	(721)		810		(757)		(732)
41	(767)		852	11,1	(789)		725
42	(656)		750	13,1	(704)		706
43	(766)		851		(803)		815
44	(600)		699		(650)		629
45	(885)		961		(903)		887
46	(1027)		1091		(1021)		974
47	(698)		789		(734)		697
48	(914)		(987)		(917)		850
49	(842)		921		(848)		751
50	(1084)		1143		(1080)		1080

TABLEAU 2-4

	ISSA BER TONKA	BARA-ISSA SARAFERE	NIGER DIRE	GOUNDAM	NIGER TOSSAYE	NIGER ANSONGO	NIGER NIAMEY
1951- 52	(1380)		1415	80,5	(1312)	1296	1168
52	(1281)		1324	80,8	(1245)	1230	1197
53	(1383)		1418	91,0	(1329)	1302	1254
54	1499		1522	114	1457	1428	1316
55	1445		1482	116	1408	1368	1304
56	1065		1059		1026	1012	968
57	(1411)		1440	(71,2)	1320	1289	1214
58	(1271)		1324	50,2	1245	1250	1197
59	(1043)		1106	(31,7)	1072	1082	1023
60	(1114)		1171	(36,7)	1116	(1083)	1038
61	(981)		1049		965	997	943
62	(1237)		1284	52,1	1180	(1170)	1138
63	(1022)		1086	40,8	1013	984	951
64	(1274)		1318		1219	(1205)	1197
65	(1132)		1187		1122	1128	1089
66	(1018)		1083		1004	(977)	944
67	(1154)		1340	(85,3)	1236	(1194)	1238
68	(1056)		1118	(46,7)	1033	996	966
69	(1154)		1316	(89,8)	1234	(1230)	1207
70	(1022)		914		893	(845)	804
71	(768)		893	30,8	851	(820)	796
72	(702)		793	22,0	(860)	(720)	711
73	(506)		626	15,2	586	589	588
74	(872)		946	33,0	867	838	871
75	(980)		1040	35,9	969	946	936
76	(985)		1066	33,9	981	893	931
77	(573)		647	11,8	588	(562)	565
78	(857)		962	26,0	873	853	828
79	(907)						

3.2. Comparaison des modules à KOULIKORO, KIRANGO AVAL et KE-MACINA

On prend comme station de référence la station de KOULIKORO étudiée dans la première partie, pour laquelle on a une période continue de 72 années.

A KIRANGO-AVAL on possède 33 années d'observations réparties en 3 périodes : 1925 à 1939, 1951 à 1964 et 1975 à 1978. L'étude de la corrélation entre les modules de cette station et ceux de KOULIKORO conduit à trois droites de régression (fig. 2-1) correspondant aux trois périodes d'observations citées ci-dessus. Le décalage entre les périodes 25-40 et 50-64 peut s'expliquer par la mise en service du barrage de MARKALA. Les pertes de 50 à 70 m³/s soit 1,5 à 2,2 milliards de m³ par an sont dues :

- aux débordements du fleuve,
- à l'augmentation de l'évaporation due à la création de la retenue,
- aux prélèvements de l'office du NIGER, prélèvements d'ailleurs très mal connus.

Les pertes ne sont pas compensées par les apports du bassin intermédiaire de 17000 Km².

La troisième droite de régression, ajustée aux modules de 1975 à 1978 est plus difficilement explicable. La reconstitution des débits entre 1965 et 1974 à partir des stations voisines montre que cette modification, qui lie les modules de KIRANGO-AVAL à ceux de KOULIKORO, est : (avec un coefficient de corrélation linéaire de 0,998)

$$\text{KIR-AV} = 0,952. \text{KOUL} - 137$$

La droite représentative est à peu près parallèle aux deux précédentes mais avec un décalage de 130 à 150 m³/s par rapport à la première (période : 1925-39), et de 75 à 80 m³/s par rapport à la seconde (période : 1950-64). Il est probable que cette dérive entre 1963 et 1967 soit due à la forte augmentation des prélèvements effectués par l'office du NIGER à partir de 1963, prélèvements qui se seraient stabilisés en 1967.

On observe une assez bonne corrélation entre les modules de KIRANGO-AVAL et ceux de KE-MACINA pour les deux périodes communes 1951-1964 et 1975-1978 :

$$N = 26 \quad r = 0,995 \text{ (régression linéaire)}$$

$$\text{KE.MAC} = 0,927. \text{KIR-AV.} + 144$$

Les débits reconstitués à KIRANGO-AVAL (cf. ci-dessus) pour la période 1965-74 ont été reportés sur le graphique de la figure 2-2. Cette régression a permis de calculer les modules à KE-MACINA entre 1925 et 1939 à partir de ceux de KIRANGO-AVAL.

Enfin, sur la figure 2-3 on a porté les modules de KOULIKORO en fonction de ceux de KE-MACINA. Cette corrélation est linéaire pour des modules de KOULIKORO inférieurs à 1700 m³/s :

$$N = 26 \quad r = 0,987 \text{ (corrélation linéaire)}$$

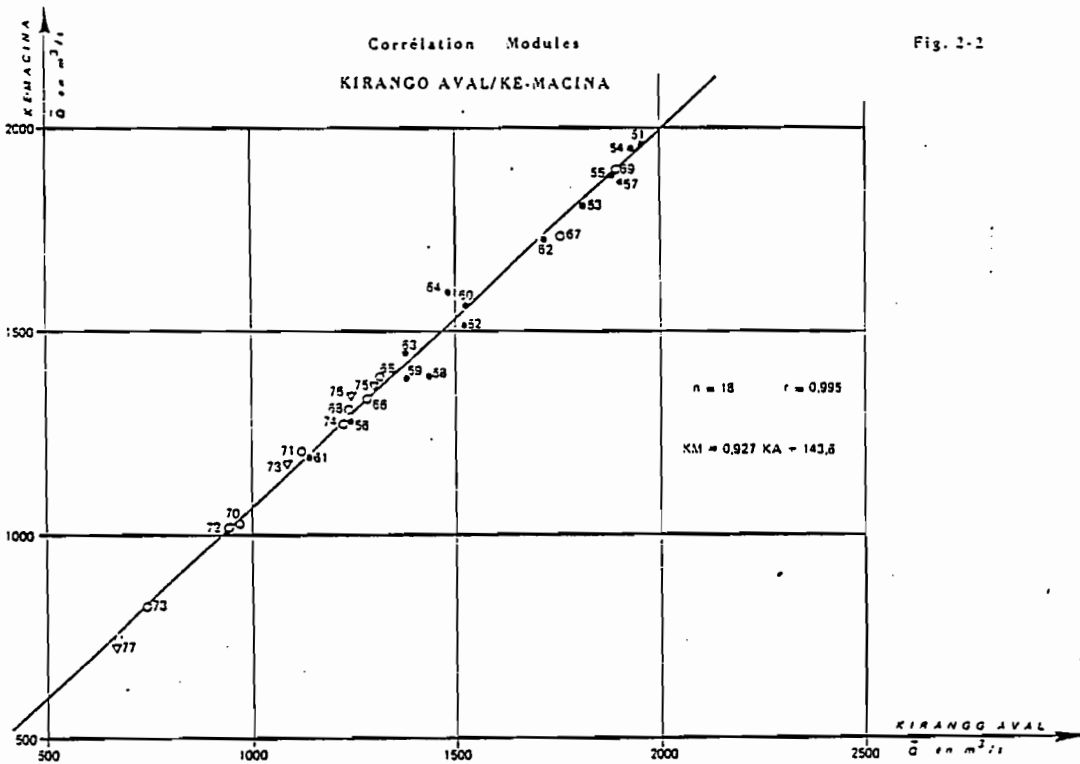
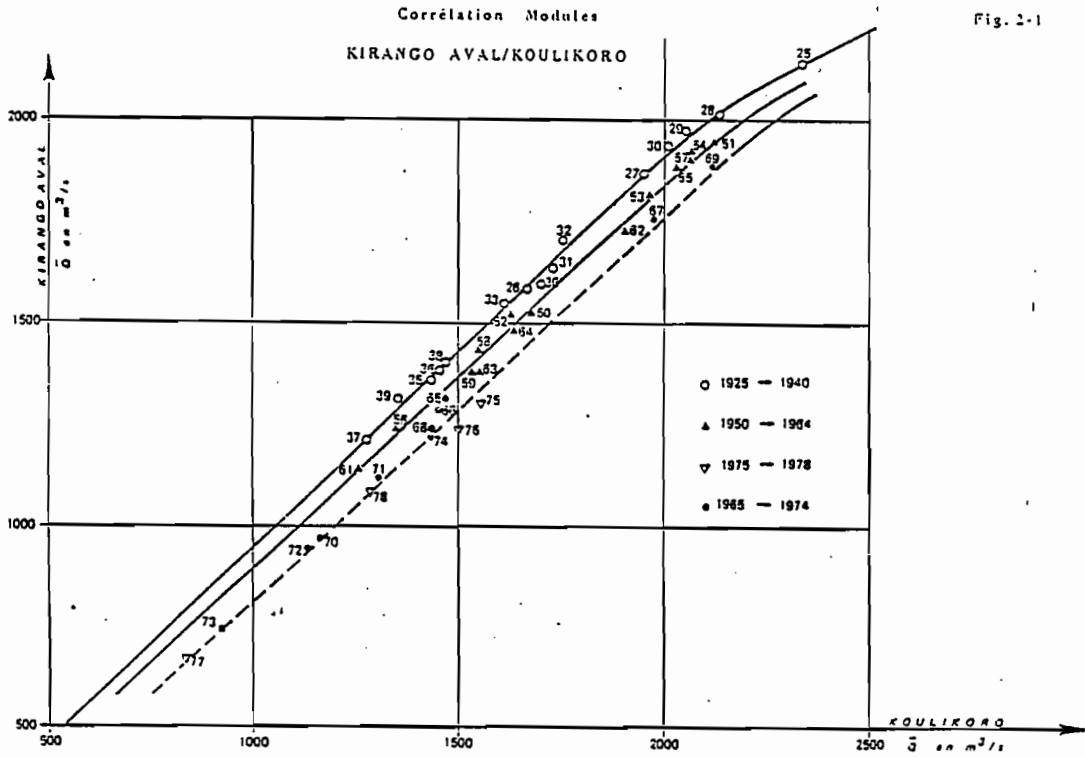
$$\text{KE.MAC} = 0,984. \text{KOUL} - 89$$

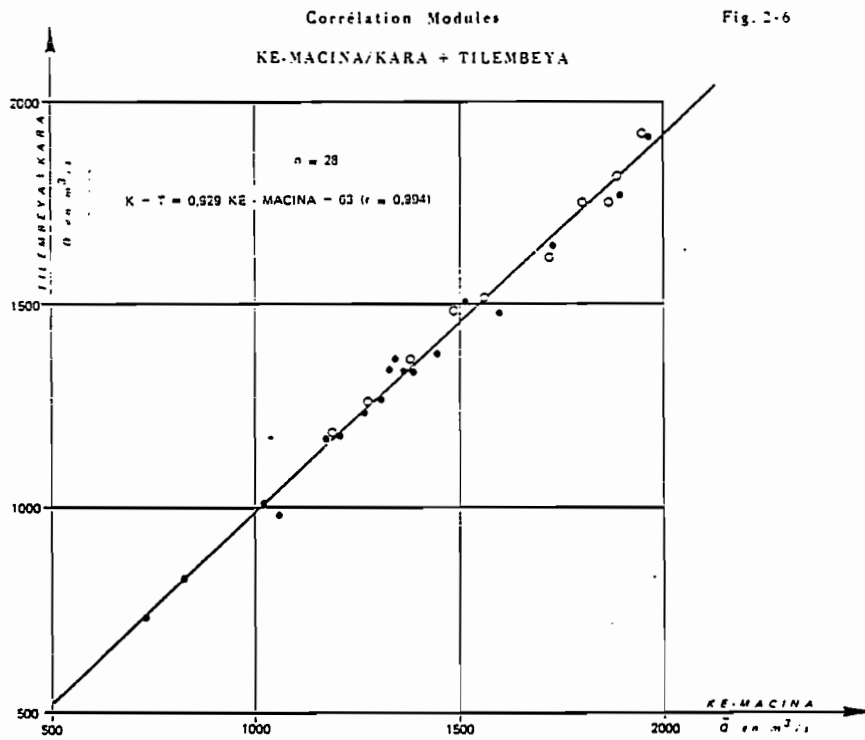
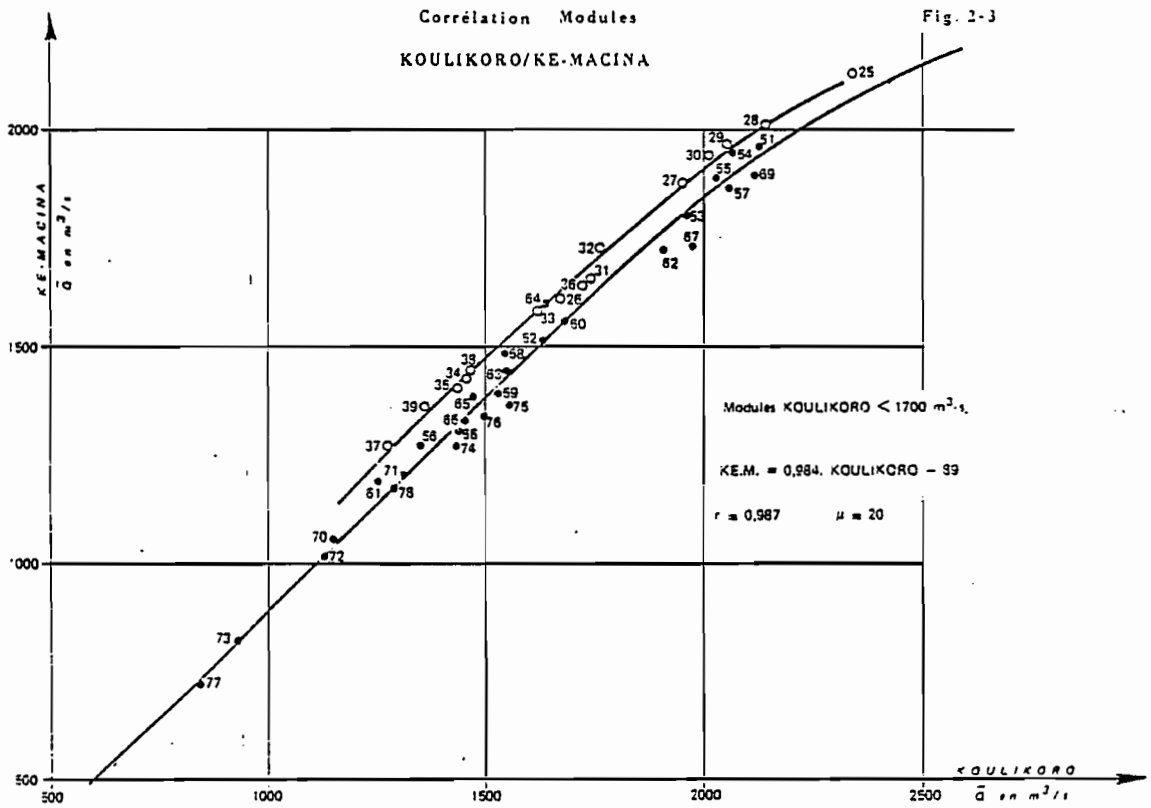
Elle devient parabolique pour les modules de KOULIKORO supérieurs à 1700 m³/s. On a reporté sur cette même figure les modules 1925 à 1939 reconstitués à KE-MACINA à partir de KIRANGO-AVAL en fonction de ceux de KOULIKORO. La courbe obtenue est parallèle à la précédente avec un translation de 65 à 95 m³/s. Ces deux courbes ont permis de calculer les modules probables à KE-MACINA pour les périodes 1907-24 et 1940-50.

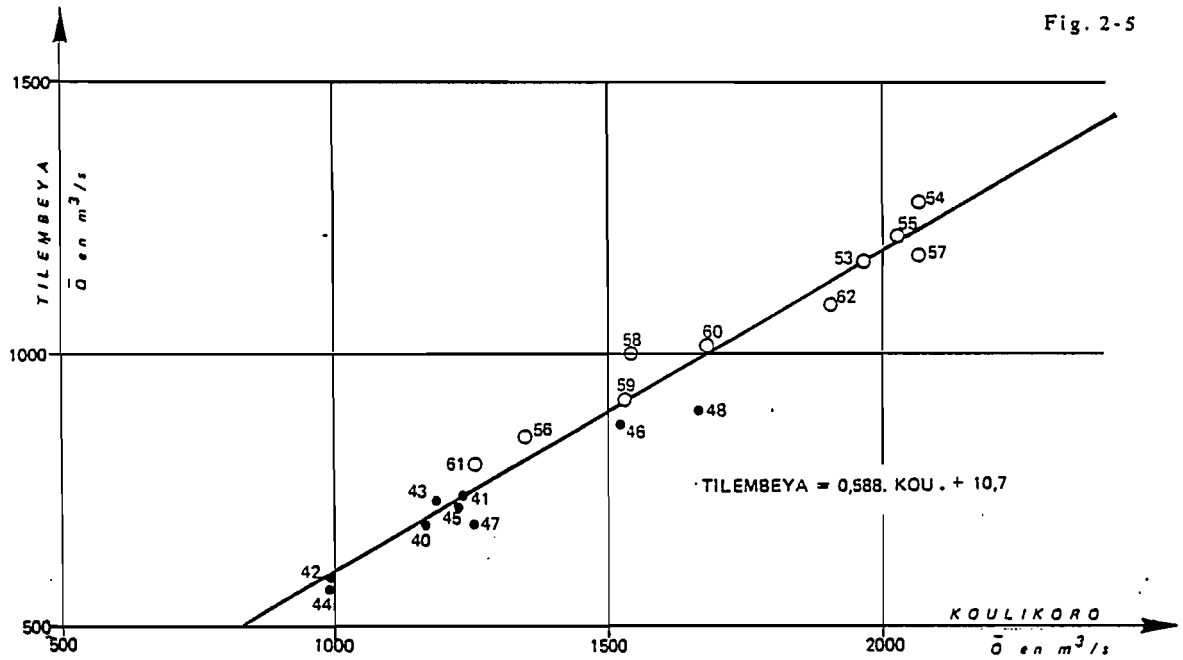
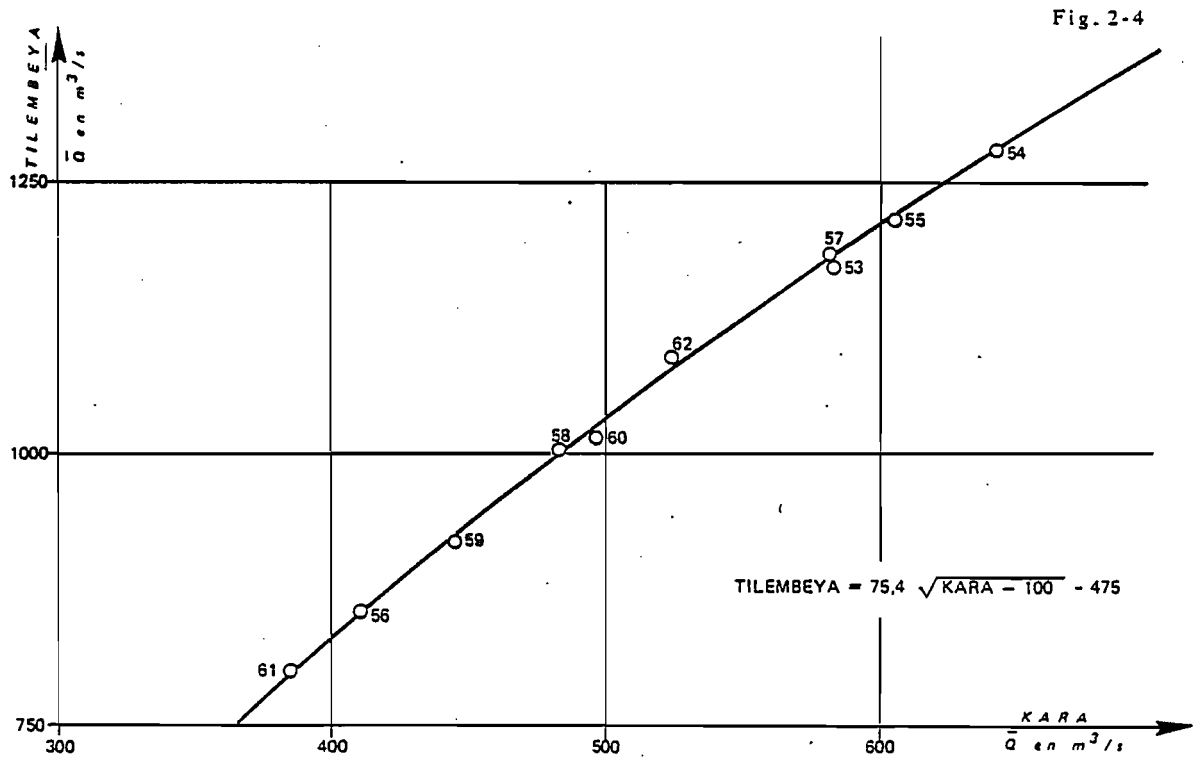
Pour la période 1907-1978 les modules moyens à KOULIKORO, KIRANGO et KE-MACINA seraient donc respectivement de 1511, 1391 et 1423 m³/s. Le débit moyen légèrement plus fort à KE-MACINA qu'à KIRANGO provient d'une part des apports entre les deux stations et d'autre part des restitutions par l'Office du NIGER en aval de KIRANGO.

3.3. Etude des modules à KARA et TILEMBEYA

Il existe à TILEMBEYA trois périodes de relevés : 1923-28, 1940-48 et 1953-62.







Cependant les débits de la première période sont manifestement faux. En fait, pour cette époque, on ne connaît rien sur l'échelle limnimétrique et, en particulier, on ignore la cote du zéro. Les relevés ont donc été écartés.

A KARA, on a des relevés depuis 1952 avec, malheureusement, de nombreuses lacunes, notamment dans les dernières années. Celles-ci ont cependant pu être reconstituées.

La corrélation entre ces modules de la période commune 1953-1962 à ces deux stations semble assez bonne (cf. fig. 2-4). La courbe de régression, de forme parabolique, a pour expression :

$$TIL = 75,4. (KARA - 100)^{0,5} - 475 \text{ pour } KARA > 300 \text{ m}^3/\text{s}$$

De même on a calculé la droite de régression des modules de TILÉMBEYA en fonction de ceux de KOULIKORO pour les 19 années communes. Avec un coefficient de corrélation de 0,980 on obtient :

$$TIL = 0,588 \text{ KOUL} + 11 \quad (\text{cf. fig. 2-5})$$

Ces deux corrélations permettent de calculer les modules à TILÉMBEYA de 1951-1978 et ainsi d'étendre la connaissance des volumes annuels à toute la période 1940-1978. Pour les années antérieures on a reconstitué les débits de TILÉMBEYA à partir de ceux de KOULIKORO en tenant compte de la mise en eau de la retenue de MARKALA.

On a ensuite porté, sur la figure 2-6, les points représentatifs des modules de KARA + TILÉMBEYA en fonction de ceux de KE-MACINA, cette corrélation ($K+T = 0,929 \text{ KM} + 63$ et $r = 0,994$) permet de reconstituer les débits de KARA de 1940 à 1978 en tenant compte aussi de la relation liant ces modules de KARA et TILÉMBEYA. Avec les 36 couples de modules à TILÉMBEYA et KARA, à l'exception des années 46,47 et 48 qui paraissent aberrantes, on peut affiner la corrélation entre les modules de ces deux stations. La nouvelle relation s'écrit :

$$TIL = 92,9. (KARA + 48,1)^{0,5} - 1146$$

Cette relation permet de compléter les modules à KARA pour la période 1907-39.

En définitive, pour la période 1907-1978 les débits moyens annuels sont :

$$\text{à KARA} \quad = 459 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{à TILÉMBEYA} \quad = 935 \text{ m}^3/\text{s}$$

En moyenne il passe donc, en aval de KE-MACINA, deux fois plus de débit dans le NIGER que dans le DIAKA.

3.4. Comparaison des modules à DOUNA, BENENI-KEGNY et SOFARA

On a vu lors de l'étude du BANI supérieur que la régression entre les modules de DOUNA et BENENI-KEGNY pouvait être représentée par la relation :

$$BK + 1356 = 56. (D + 586)^{0,5} \quad (4-1)$$

De même en prenant la station de SOFARA on a :

$$\text{DOUNA-SOFARA} \quad S + 752 = 38,1. (D + 410)^{0,5} \quad (4-2) \quad (\text{cf. fig. 2-7})$$

$$\text{BENENI-KEGNY-SOFARA} \quad S = 0,738 \text{ BK} + 36 \quad (4-3) \quad (\text{cf. fig. 2-8})$$

La corrélation entre les modules à DOUNA et à KOULIKORO étant très lâche, il est impossible d'étendre la période d'observation à DOUNA au-delà des 35 années réellement observées. Les relations 4-1 à 4-3 permettent de compléter les débits à BENENI-KEGNY et SOFARA.

Pour ces 35 ans les modules moyens à DOUNA, BENENI-KEGNY et SOFARA sont respectivement de 576, 572 et 436 m³/s avec les écarts-types de 229-194 et 143. Pour la même période le module moyen à KOULIKORO est de 1642 m³/s avec un écart type de 372 m³/s. Le module moyen interannuel 1907-78 à KOULIKORO étant de 1511 et en admettant, comme précédemment (cf. "NIGER Supérieur"), que le module à DOUNA pour la même période est de 503 m³/s, les modules moyens interannuels sont donc :

BENENI-KEGNY	:	492 m3/s	période 1907-78
SOFARA	:	399 m3/s	période 1907-78

Il a déjà été donné une explication, dans la partie "NIGER Supérieur" des pertes entre DOUNA et BENENI-KEGNY. Entre cette dernière station et SOFARA le débit moyen annuel est proche de 100 m3/s. En fait une partie importante des eaux du BANI est dérivée en amont de SOFARA par le MAYO-MANGA qui rejoint le NIGER entre TILÉMBEYA et MOPTI. Toute cette eau ne passe d'ailleurs pas à MOPTI car une forte proportion rejoint la Lac DEBO par le système des défluent rive gauche en amont de MOPTI.

3.5. Etude des modules à MOPTI

La station de MOPTI-NANTAKA est une des plus importante de la Cuvette Lacustre puisqu'elle contrôle le bassin amont du NIGER et le bassin du BANI.

A l'exception de quelques lacunes mensuelles que l'on peut aisément reconstituer, on possède des observations depuis 1943 à MOPTI, à l'exclusion de l'année 1949. De plus en admettant que les cotes des différents zéros avant 1940, données dans la première monographie (ORSTOM-1960) soient exactes il est possible d'avoir, une estimation des modules de 1923 à 1929 et en 1934 et 1935. Ceci porte à 44 la taille de l'échantillon des modules. Afin de l'étendre nous avons cherché à établir diverses corrélations entre les volumes annuels écoulés à MOPTI et ceux des stations voisines. Les résultats ne sont pas toujours très satisfaisants en raison de la complexité du régime du fleuve dans cette partie de la Cuvette.

Malgré la position de la station au confluent du NIGER et du BANI MOPTI ne contrôle pas la totalité des débits de ces deux cours d'eau. En effet, en amont de la station de nombreux défluent prélevant une partie des eaux qui rejoignent le lac DEBO sans passer par le confluent. De plus à ces pertes il faut ajouter celles dues aux débordements et à l'évapotranspiration.

Afin de préciser s'il y a ou non détachement de la station de MOPTI ou réactivation des défluent de rive gauche à l'amont, nous avons comparé les modules observés à MOPTI à ceux de KOULIKORO et DOUNA puis à ceux de KE-MACINA et BENENY-KEGNY.

La relative faiblesse des crues du BANI qui se retrouvent presque intégralement à MOPTI ayant engendré un glissement des modules de MOPTI depuis 1968, nous aurions pu penser que s'était produite une réactivation des bras de rive gauche à l'amont du confluent BANI-NIGER.

3.5.1. Régression multiple entre modules KOULIKORO - DOUNA et MOPTI

Nous disposons de 29 couples de données communes. L'étude de la régression multiple est portée au chapitre "Variations du régime des crues du NIGER". Nous reprenons ici les résultats :

Taille : $N = 29$ $R = 0,991$

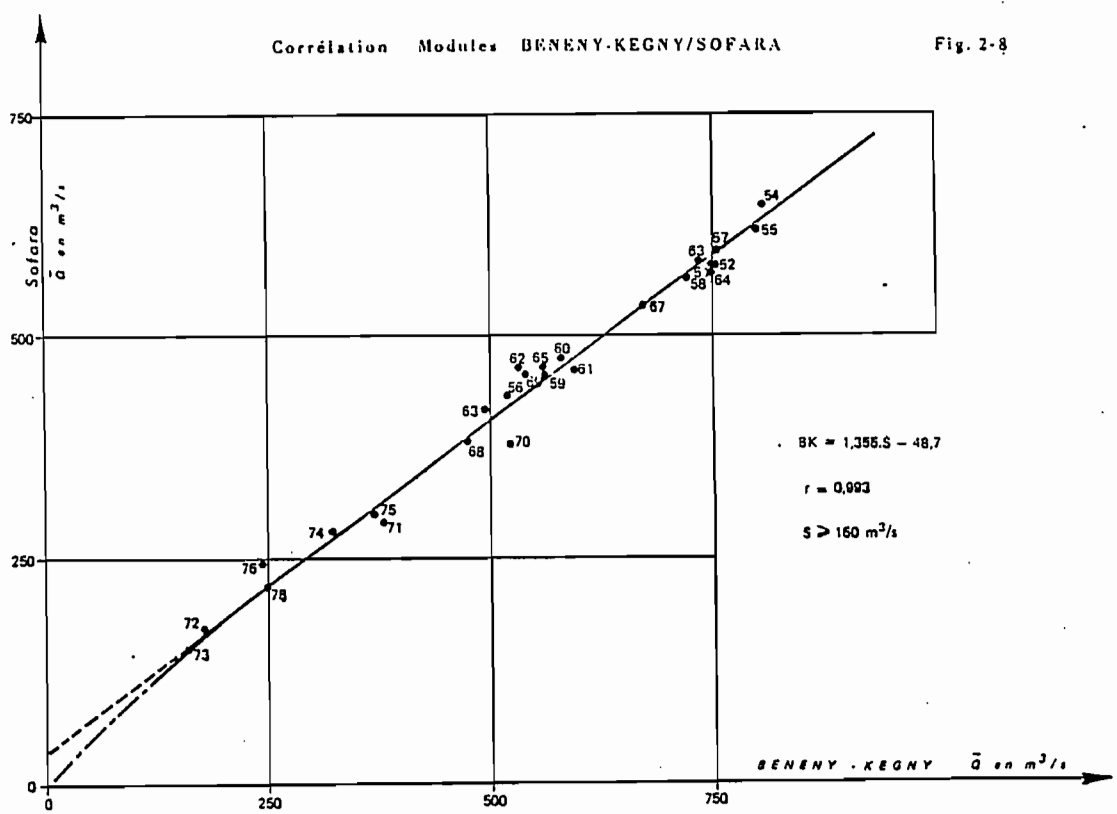
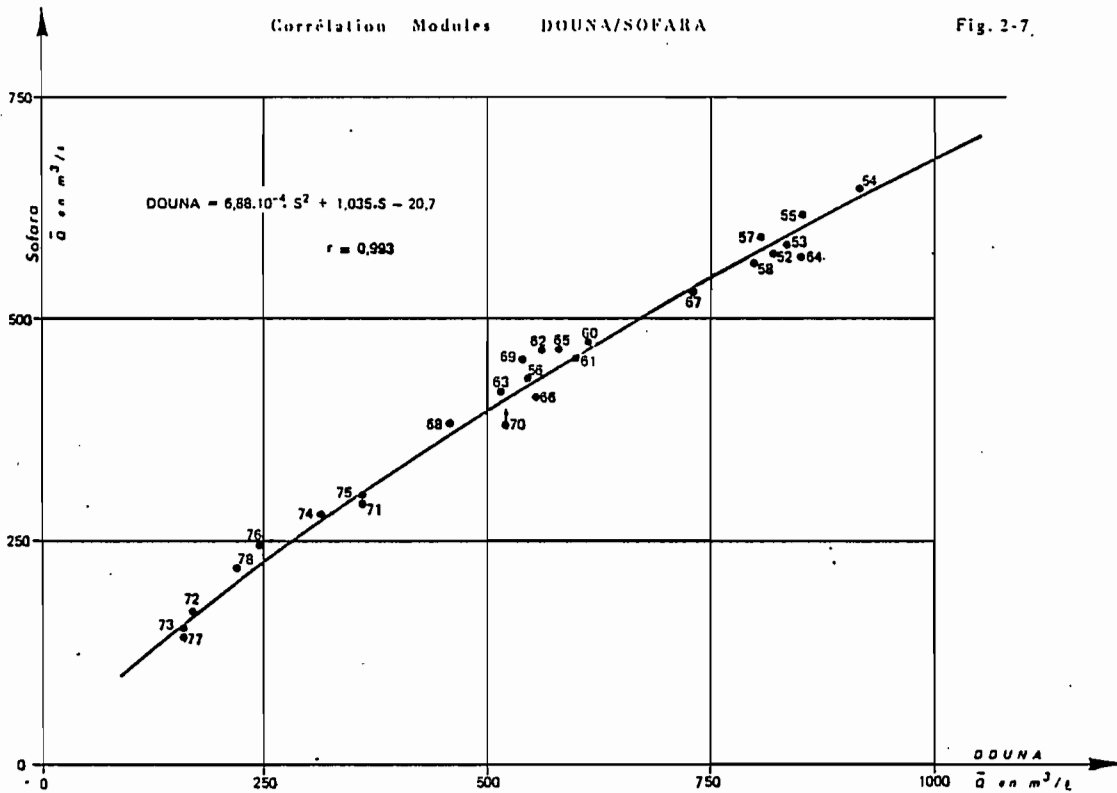
$$\bar{Q}_{\text{MOPTI}} = 0,910 \bar{Q}_{\text{DOUNA}} + 0,331 \bar{Q}_{\text{KOULIKORO}} + 164 \text{ (en m}^3\text{/s)}$$

L'écart moyen entre modules observés et modules calculés est de :

$$\Delta\bar{Q}/\bar{Q} = 3,3\% \text{ (valeur absolue)}$$

En valeur algébrique, l'écart moyen est de + 0,7% avant 1968 , il passe à -1,8% par la suite.

En fait nous n'observons rien de significatif qui permettrait d'écrire qu'il y a un changement de régime au niveau des modules à MOPTI.



3.5.2. Régression multiple entre modules KE-MACINA/BENENY-KEGNY/MOPTI

Le tableau suivant correspond au même calcul, en prenant comme stations d'entrée KE-MACINA et BENENY-KEGNY.

$$N = 26$$

$$R = 0,991$$

$$\bar{Q}_{\text{MOPTI}} = 0,41731 \bar{Q}_{\text{KM}} + 0,94418 \bar{Q}_{\text{BK}} + 92,2$$

L'écart moyen des valeurs absolues est égal à :

$$\frac{1}{N} \sum |\Delta Q| / Q = 2,9\%$$

L'écart moyen (valeur algébrique) est de :

$$\text{Période antérieure à 1968} : - 1,1\%$$

$$\text{Période postérieure à 1968} : + 1,7\%$$

Là non plus le test n'est pas significatif.

Il semble donc bien que le décalage existant depuis 1968 provienne de la relative faiblesse des crues du BANI durant cette période. En effet si pratiquement tous les débits du BANI sont contrôlés à MOPTI, seulement une partie de ceux du NIGER le sont. Les débits alimentant les affluents de rive gauche ne sont fonction que de la puissance très inégale, mais celle du BANI a toujours été très faible et il est normal que la part de la crue du NIGER qui emprunte les défluent soit relativement plus importante par rapport aux modules du NIGER à MOPTI.

La part des défluent est donc plus importante d'environ 100 m3/s par rapport aux modules de MOPTI depuis 1968.

Pour étudier la corrélation entre les modules de MOPTI et de DIRE il convient donc de prendre en compte la part du débit du NIGER prélevée entre KE-MACINA et MOPTI. Pour cela on ajoute au module de MOPTI une part de celui de KE-MACINA.

Pour reconstituer les modules manquants à MOPTI nous utilisons les régressions linéaires multiples mises en évidence ci-dessus. Lorsque ces régressions ne sont pas utilisables nous prenons d'autres régressions établies entre DIRE, KE-MACINA et MOPTI.

$$1924 \text{ à } 1947 : \text{DIRE} = 0,255 \text{ KE.MAC.} + 0,654 \text{ MOPTI} + 3. \quad (R = 0,994)$$

$$1950 \text{ à } 1967 : \text{DIRE} = 0,199 \text{ KE.MAC.} + 0,690 \text{ MOPTI} - 9. \quad (R = 0,982)$$

$$1968 \text{ à } 1979 : \text{DIRE} = 0,268 \text{ KE.MAC.} + 0,511 \text{ MOPTI} + 161. \quad (R = 0,986)$$

Pour la période 1923-1978, le module moyen à MOPTI est de 1211 m3/s, pour la même période à KOULIKORO, le module est de 1567 m3/s. Le module moyen interannuel (1907/1978) KOULIKORO étant de 1511 m3/s, celui de MOPTI pour la même période est d'environ 1165 m3/s.

3.6. Etude des modules à DIRE et TOSSAYE

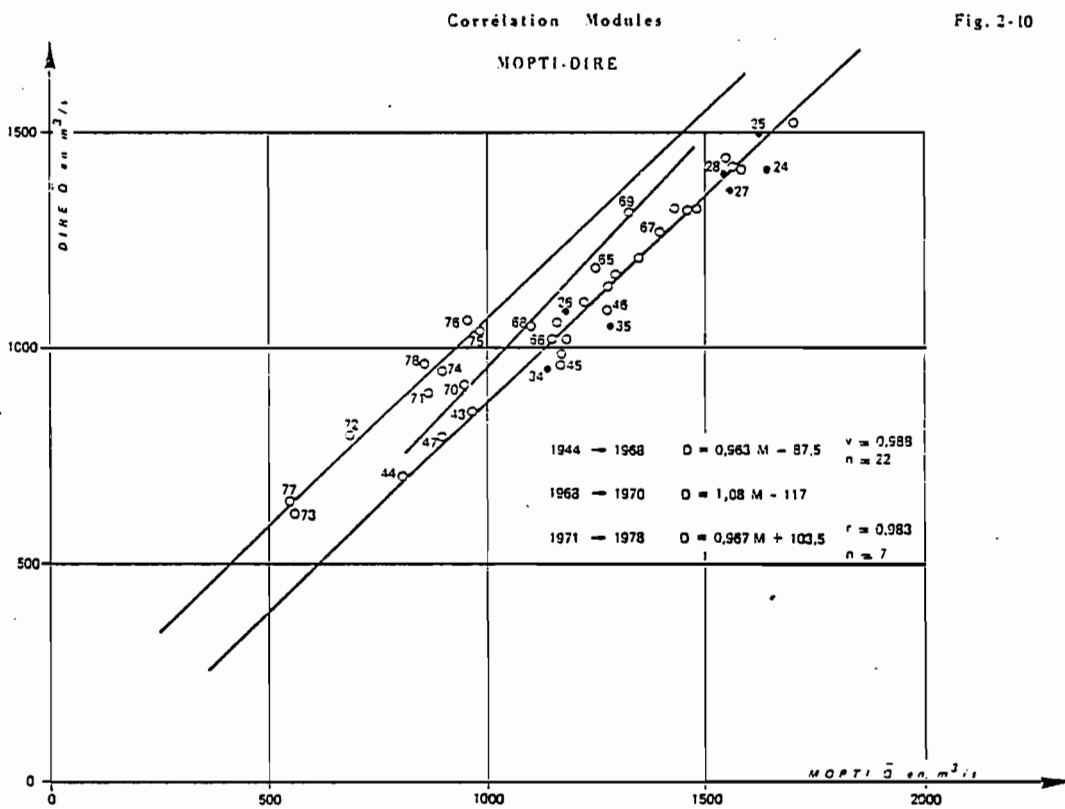
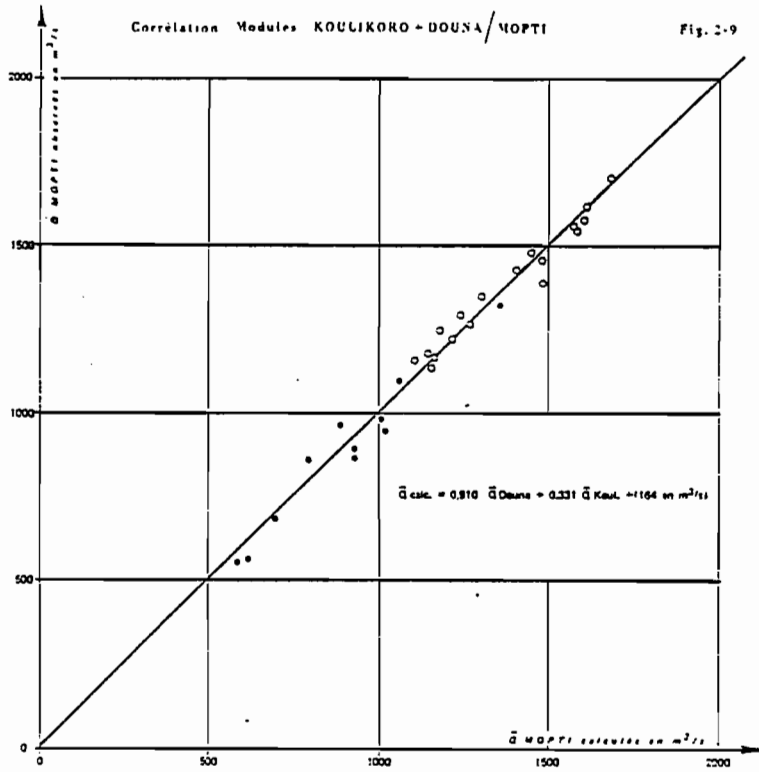
La station hydrométrique la plus proche de la sortie de la Cuvette Lacustre pour laquelle la série de données est la plus complète est celle de TOSSAYE. Les observations ne commencent qu'en 1954 et les lacunes y sont assez nombreuses en particulier au cours des mois de basses eaux. Ceux-ci ont pu être reconstitués grâce aux relevés des stations voisines.

Pour augmenter la taille de cet échantillon de modules on a étudié les corrélations liant ces modules à ceux de DIRE et NIAMEY. La figure 2-13 montre que cette corrélation est assez fortes entre les débits de TOSSAYE et DIRE, mais un peu plus lâche entre ceux de TOSSAYE et NIAMEY notamment pour les années très abondantes. Il semblerait d'ailleurs que pour ces forts débits la relation ne soit plus linéaire mais parabolique. En conservant une régression de type linéaire les relations obtenues sont :

$$\text{TOSSAYE} = 0,994 \text{ DIRE} - 8 \quad (R = 0,995)$$

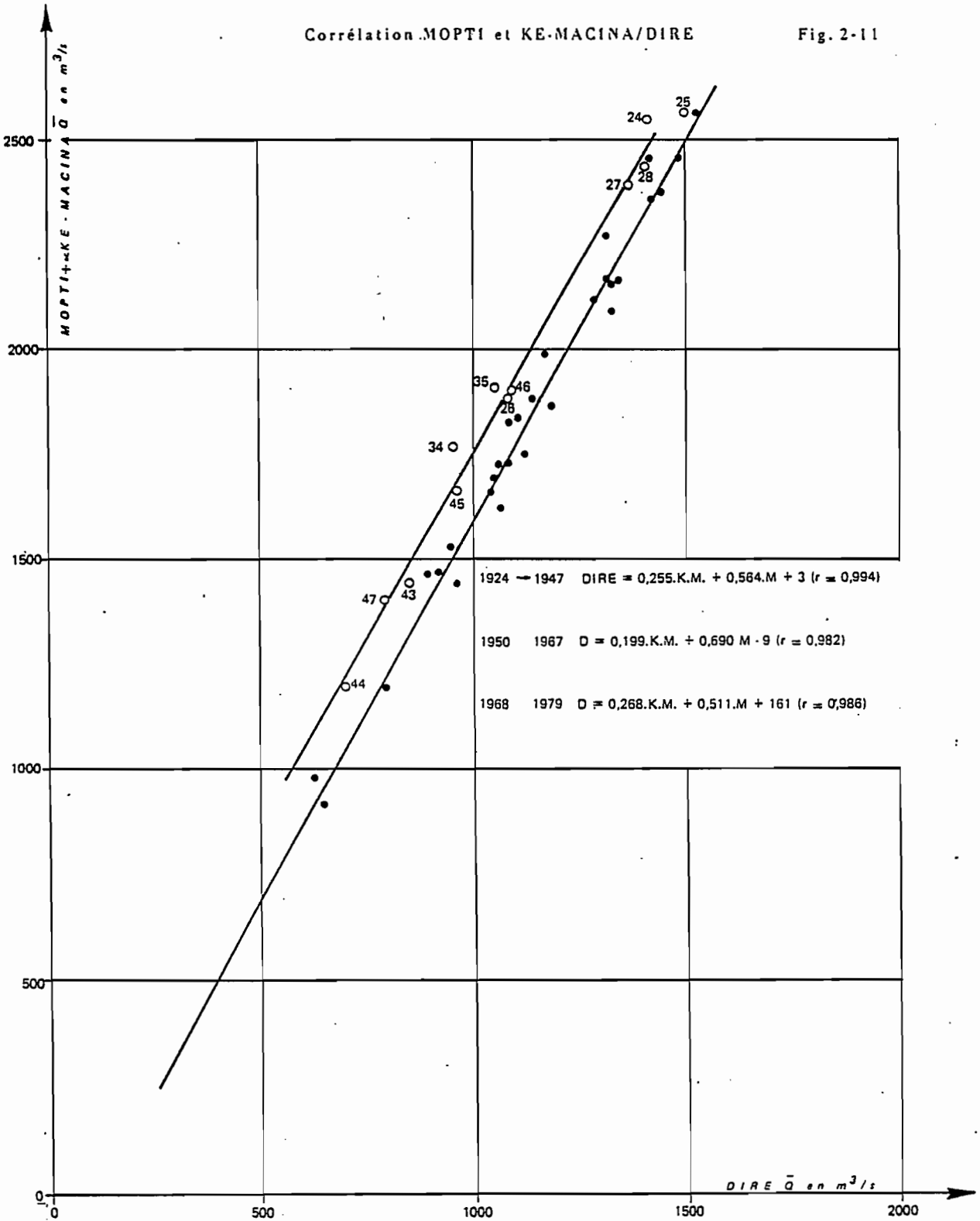
$$\text{TOSSAYE} = 1,069 \text{ NIAMEY} - 19 \quad (R = 0,989)$$

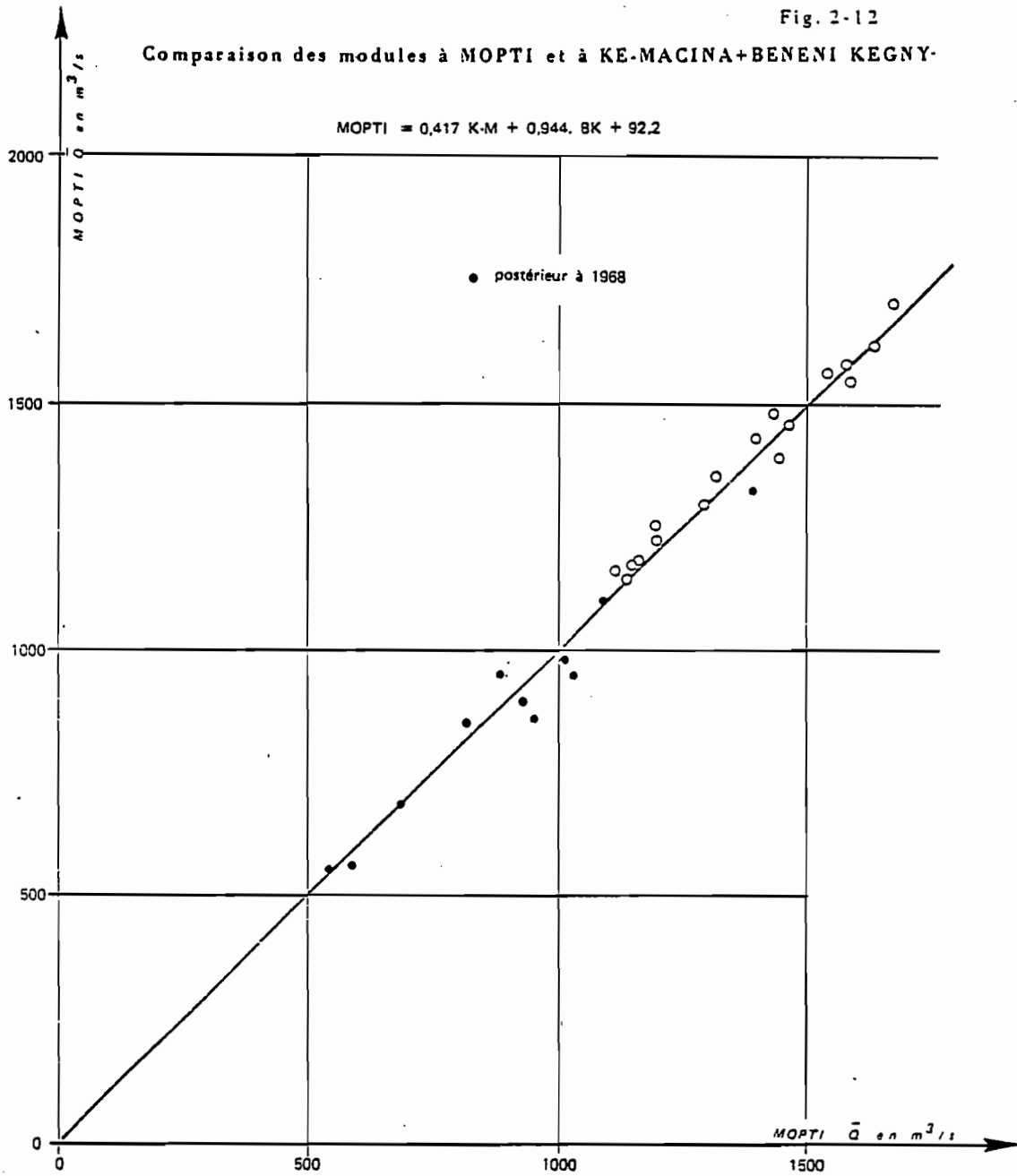
Le module de l'année hydrologique 1972-73 est manifestement surestimé à TOSSAYE.



Corrélation MOPTI et KE-MACINA/DIRE

Fig. 2-11





Pour reconstituer les débits manquants à TOSSAYE, on a utilisé lorsque cela était possible une régression multiple entre modules de DIRE, TOSSAYE et NIAMEY. Celle-ci est particulièrement satisfaisante (cf. fig. 2-13) et les écarts entre les débits observés et calculés à TOSSAYE ne sont que très rarement supérieurs à 2%. La relation obtenue s'écrit :

$$\text{TOSSAYE} = 0,797 \text{ DIRE} + 0,169 \text{ NIAMEY} - 13$$

Pour compléter les modules de NIAMEY on a utilisé la corrélation existante entre DIRE et NIAMEY représentée par les relations suivantes : (cf. fig. 2-14)

Module DIRE	1250 m3/s	NIAMEY = 0,932 DIRE -28
Module DIRE	1250 m3/s	NIAMEY = 19,9 (DIRE -1147) ^{0,5} + 935

ainsi que la relation donnant le module de NIAMEY en fonction ceux de DIRE et TOSSAYE (cf. fig. ci-dessus).

On peut estimer que les modules interannuels (période 1907-78) à ces trois stations sont :

Module DIRE	:	1085 m3/s
Module TOSSAYE	:	1020 m3/s
Module NIAMEY	:	975 m3/s

En étudiant les corrélations qui existent entre les modules de TOSSAYE KOULIKORO DOUNA, KE-MACINA et BENENY-KEGNY, on peut déterminer une expression qui donne le volume annuel écoulé à la sortie de la Cuvette à TOSSAYE en fonction du volume total d'entrée représenté par la somme des volumes écoulés à BENENI-KEGNY et KE-MACINA. Cette relation où les volumes sont exprimés en milliards de m3 est de la forme suivante :

$$Vt = 8,2 \cdot (Vk + B + 29,7)^{0,5} - 44,7$$

où Vt est le volume de sortie à TOSSAYE en milliards de m3 et Vk+B est le volume d'entrée à BENENY-KEGNY + KE-MACINA en milliards de m3.

3.7. Etude des modules de TONKA

La représentation graphique de la figure 2-16 montre que la corrélation entre les modules de DIRE et TONKA est assez forte si on écarte les années hydrologiques 67-68 et 68-69 trop faibles à TONKA et l'année 70-71 trop forte. Les relevés de cette dernière année sont manifestement faux de Septembre à Décembre 1970. Pour les deux autres années il semblerait que les débits calculés à partir des observations au cours des premiers trimestres 1968 et 1970 soient sous-estimés. La comparaison avec TOSSAYE (cf. fig. 2-16) fait apparaître la même tendance à TONKA pour les années 1967 et 1969. Au lieu de 1154 m3/s le module à TONKA pour ces années doit être de 1270 m3/s.

Ces régression permettent de compléter les modules manquant à TONKA et d'estimer le module interannuel qui pour la période 1907-78 est de 1020 m3/s.

3.8. Comparaison des modules à GOUNDAM et DIRE

La figure 2-17 montre que bien qu'elle soit assez lâche, il existe une corrélation entre les modules de DIRE et ceux de GOUNDAM ce qui n'a rien de surprenant puisque les volumes transitant dans le MARIOT de GOUNDAM, sont directement fonction de la hauteur du NIGER en aval de DIRE. Pour confirmer cette corrélation on a essayé plusieurs régression entre le modules à GOUNDAM et certaines caractéristiques hydrologiques de DIRE telles que le débit maximal, le volume total écoulé au-dessus d'un certain seuil de débit. Tous ces essais n'ont apporté aucune amélioration et la dispersion reste assez forte autour d'une courbe moyenne. On a donc préféré garder la régression entre les modules des deux stations.

On remarque sur la figure 2-17 que la répartition des points représentatifs autour de la courbe moyenne n'est pas identique suivant les périodes. On a successivement :

Années 31 à 32	:	Au-dessus de la courbe
Années 35 à 42	:	En dessous de la courbe
Années 51 à 55	:	De part et d'autre de la courbe (années très fortes)
Années 57 à 62	:	En dessous de la courbe
Années 63 à 67 à 78	:	Au-dessus de la courbe

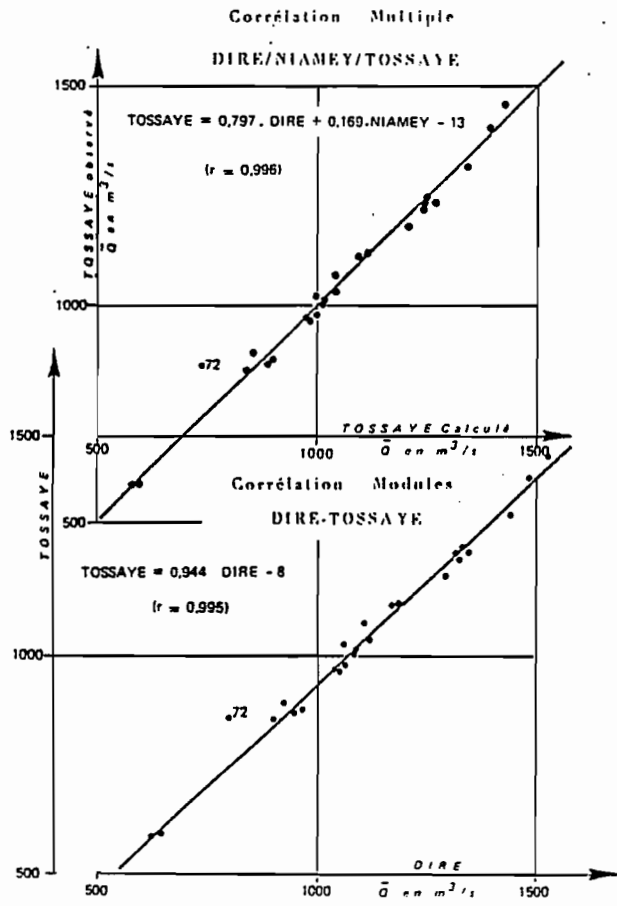


Fig. 2-13

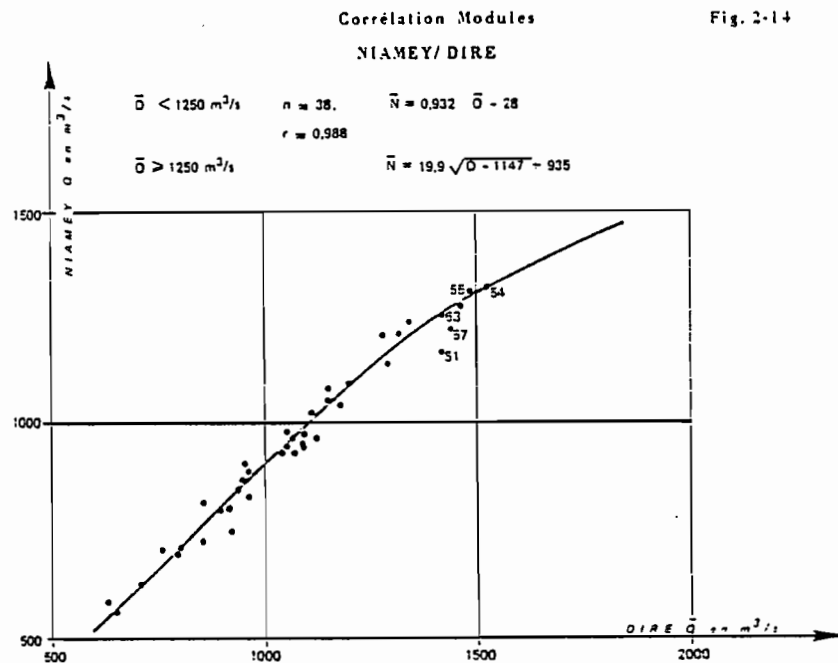
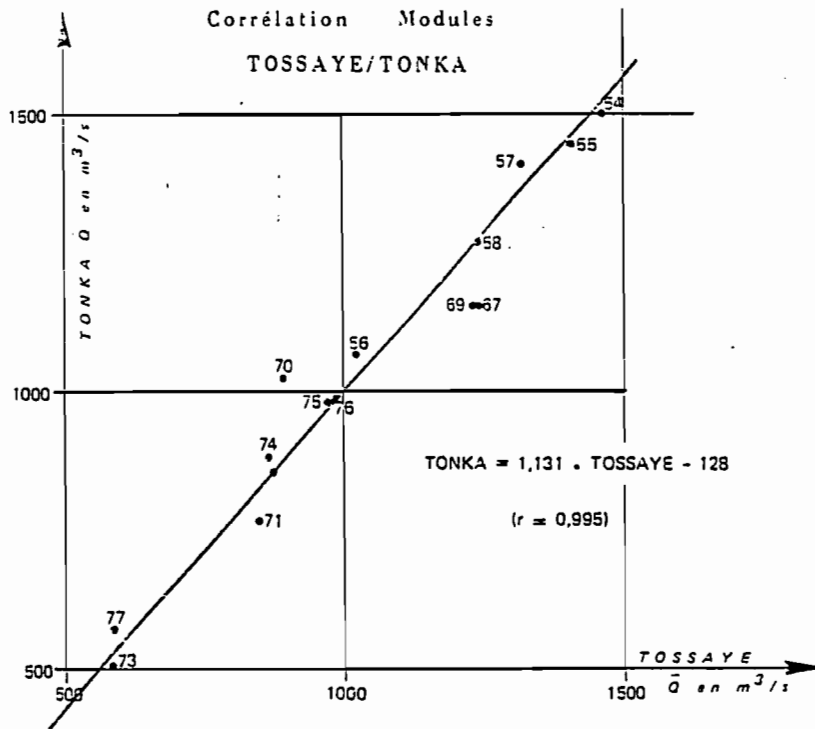
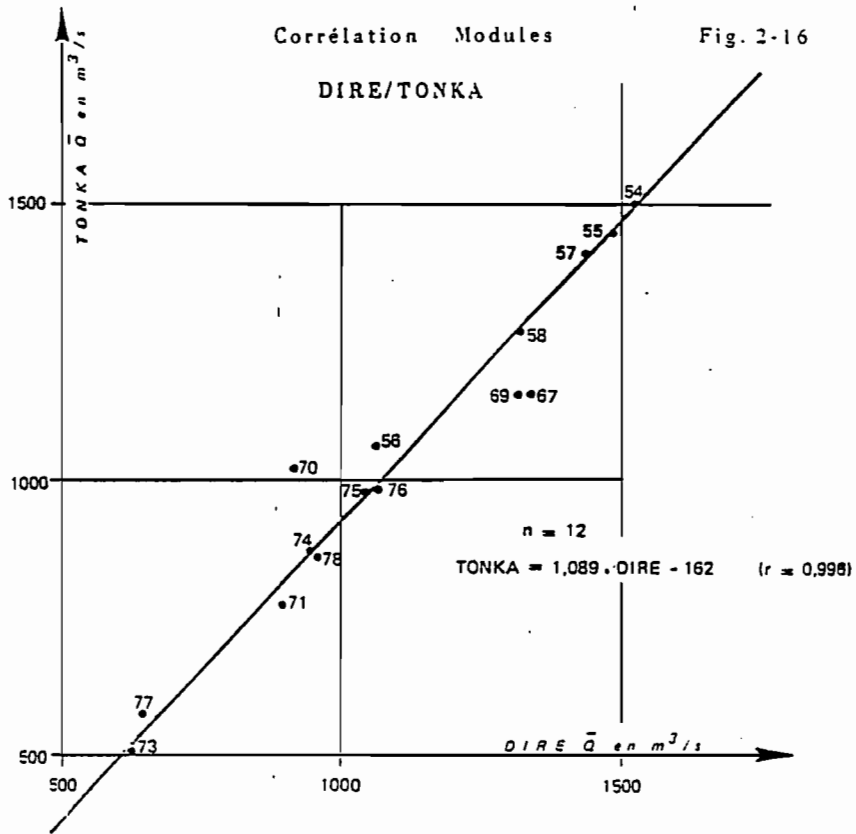
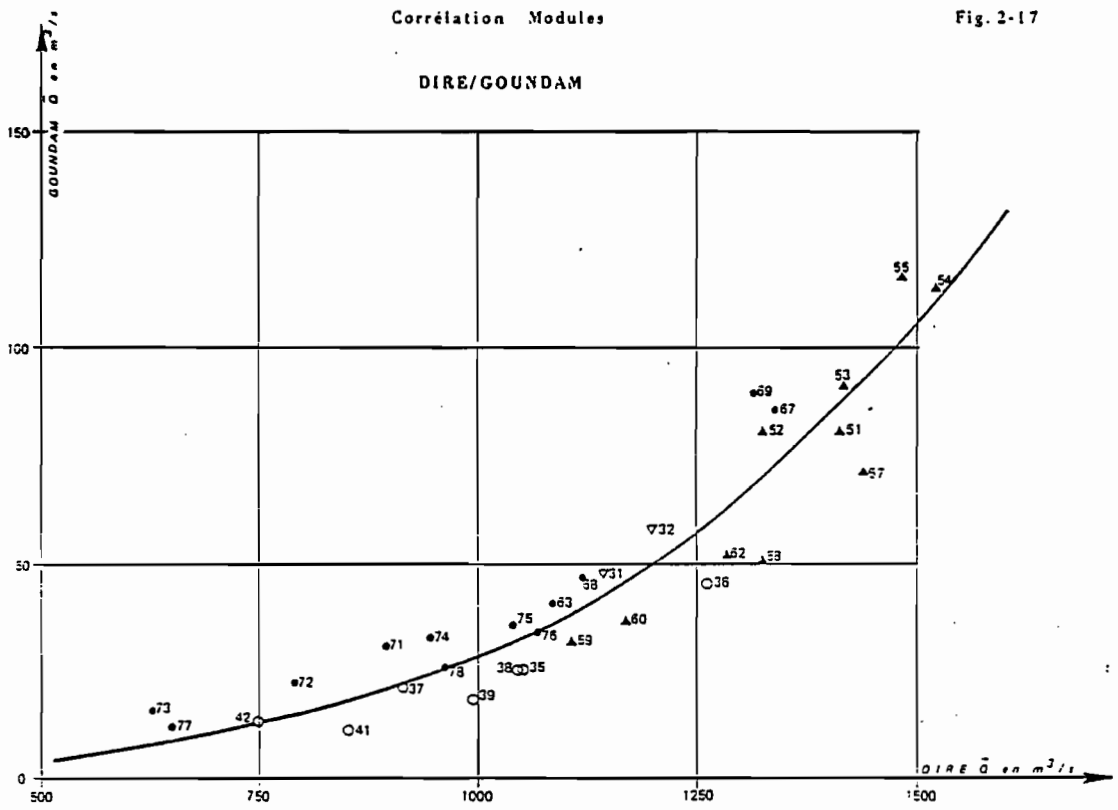


Fig. 2-14



Corrélation Modules

Fig. 2-17



Il est donc possible que la répartition des eaux entre le NIGER et le MARIGOT de GOUNDAM se soit modifiée entre 1932 et 1935 et entre 1962 et 1968. Pour les années fortes on ne peut pas conclure. Cependant, les variations peuvent aussi provenir de la mauvaise connaissance du zéro de l'échelle de GOUNDAM ainsi que de l'imprécision sur l'étalonnage de cette station.

3.9. Comparaison des modules dans l'ensemble de la Cuvette

Les différentes relations données dans les paragraphes précédents permettent de déterminer les modules pour chaque station connaissant les volumes d'entrée dans la Cuvette Lacustre. Si l'on considère que les stations d'entrée sont KE-MACINA et BENENY-KEGNY on peut reconstituer tous les modules jusqu'à TOSSAYE à partir de 1953, pour les années antérieures ont utilisé les stations de KOULIKORO et DOUNA.

3.9.1. Modules de KE-MACINA et BENENY-KEGNY

$$KE.MA + BE.KE = 130,7.(KOUL + DOUNA + 3075)^{0,5} - 7447 \quad (a)$$

$$KE.MA. = 0,984 KOUL - 89 \quad \text{pour } KOUL \leq \text{à } 1700 \text{ m}^3/\text{s} \quad (b)$$

$$KE.MA = 40,5.(KOUL - 1279)^{0,5} + 754 \quad \text{pour } KOUL > \text{à } 1700 \text{ m}^3/\text{s} \quad (c)$$

$$BE.KE = 56.(DOUNA + 586)^{0,5} - 1356 \quad (d)$$

3.9.2. Modules à KIRANGO-AVAL, TILEMBEYA et KARA

$$KIR.AV. = 0,952 KOUL - 137 \quad (e)$$

$$TIL = 0,588 KOUL + 11 \quad (f)$$

$$KARA = 0,316 KE.MA - 4 \quad (g)$$

3.9.3. Modules à SOFARA

$$SOF = 38,1.(DOUNA + 410)^{0,5} - 752 \quad (h)$$

$$SOF = 0,738 BE.KE + 36 \quad (i)$$

3.9.4. Modules à MOPTI

$$MOPTI = 0,41731 K.M. + 0,99418 B.K. + 92,2 \quad (j)$$

3.9.5. Modules à DIRE

$$1924-1947 \quad DIRE = 0,255 KE.MA + 0,564 MOPTI + 3 \quad (k)$$

$$1950-1967 \quad DIRE = 0,199 KE.MA + 0,69 MOPTI - 9 \quad (l)$$

$$1968- \quad DIRE = 0,268 KE.MA + 0,511 MOPTI + 161 \quad (m)$$

3.9.6. Modules à TONKA

$$TONKA = 1.089 DIRE - 162 \quad (n)$$

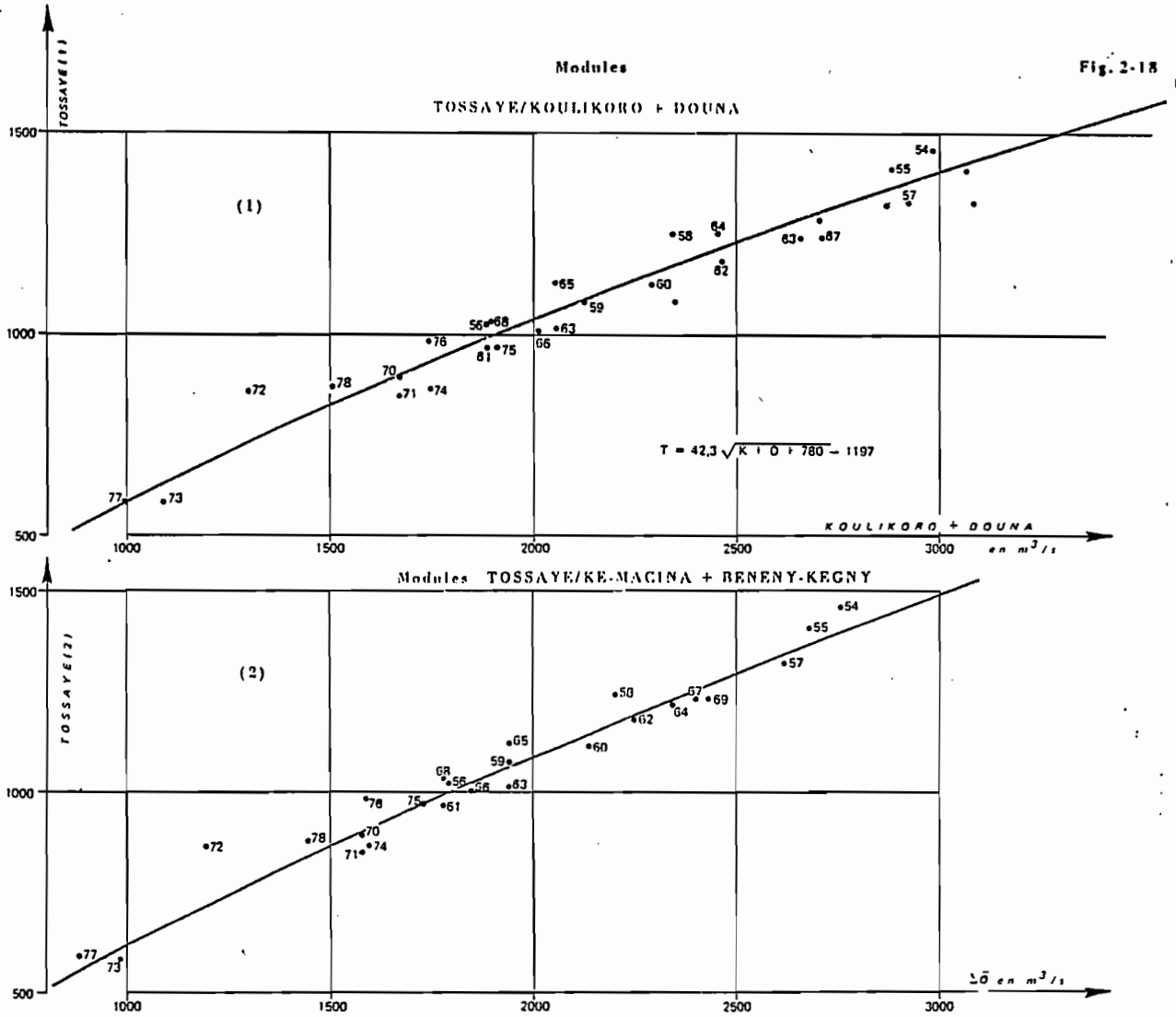
3.9.7. Modules à TOSSAYE

$$TOSS. = 0,944 DIRE - 8 \quad (o)$$

En fait pour trouver le volume annuel à la sortie de la Cuvette à TOSSAYE en connaissant celui d'entrée à KOULIKORO et DOUNA ou KE-MACINA et BENENY-KEGNY, il est préférable d'établir directement ces régressions entre ces diverses stations afin d'éviter le cumul des erreurs.

Une première relation a été déterminée au paragraphe 6. Elle donne les volumes à TOSSAYE en fonction des volumes à KE-MACINA et BENENY-KEGNY. En modules elle peut s'écrire :

$$TOSS. = 46,15.(KE.MA + BE.KE + 942)^{0,5} - 1418 \quad (p)$$



Une autre relation représentée sur la figure 2-18 est donnée par

$$\text{TOSS.} = 42,3.(\text{KOUL} + \text{DOUNA} + 780)^{0,5} - 1197 \quad (q)$$

Le tableau 2-5 résume les résultats obtenus à partir de ces deux relations. Dans ce tableau on a ajouté le calcul des modules de TOSSAYE en partant de ceux de KOULIKORO et DOUNA et appliquant successivement les relations des paragraphes 9.1 à 9.7 et notamment les relations (b), (c), (d), (j), (l), (m), et (o). Dans ce cas tous les modules sont reconstitués de proche en proche à partir de KOULIKORO et DOUNA jusqu'à TOSSAYE. Les résultats du tableau 2.5. montrent que l'écart moyen est à peu près le même. Il est compris entre 3 et 4%, le meilleur résultat étant obtenu avec la relation (p) ci-dessus (écart 3,3%). Les deux autres méthodes (relation (q) et suites des relations (b) à (a)) donnent un écart moyen identique de 3,8%.

En conclusion on peut estimer que le volume annuel à la sortie de la Cuvette est assez bien connu à partir du volume entrant. La proportion des pertes dans la Cuvette par rapport aux volumes d'entrée passe de 35% pour les années très faibles à 50% pour les années très fortes.

TABLEAU 2.5
DETERMINATION DU MODULE A TOSSAYE

1	2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		
	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	+	%	-	m3/s	+	%	-	m3/s	+	%	-
1951	2121	808	2929																				
52	1628	820	2448																				
53	1966	835	2801	2536																			
54	2065	918	2983	2753	1457	1398								-4,1	1387			-4,8	1402				-3,8
55	2027	854	2881	2682	1408	1362								-3,2	1360			-3,4	1366				-3,0
56	1349	544	1893	1796	1026	990								-3,5	997			-2,8	959				-6,5
57	2062	806	2868	2620	1320	1358	2,9								1336	1,2			1358	2,9			
58	1544	798	2342	2207	1245	1167								-6,3	1172			-5,9	1157				-7,0
59	1528	599	2127	1943	1072	1084	4,1								1061			-1,0	1065				-0,7
60	1680	614	2294	2140	1116	1148	2,9								1144	2,5			1139	2,0			
61	1253	637	1890	1783	965	989	2,5								991	2,7			958				-0,7
62	1904	561	2465	2256	1180	1213	2,8								1192	1,0			1204	2,0			
63	1543	515	2058	1942	1013	1056	4,3								1060	4,7			1033	2,0			
64	1637	849	2486	2344	1219	1220	0,1								1227	0,7			1218				-9,1
65	1472	580	2052	1945	1122	1054								-6,1	1062			-5,4	1031				-2,1
66	1454	555	2009	1849	1004	1037	3,3								1020	1,6			1012	0,8			
67	1975	732	2707	2400	1236	1301	5,2								1250	1,1			1301	5,3			
68	1440	459	1899	1783	1033	992								-3,9	991			-4,1	960				-7,1
69	2114	540	2654	2481	1234	1282	3,9								1282	3,9			1259	2,0			
70	1150	520	1670	1578	893	897	0,4								899	0,6			881				-1,4
71	1311	359	1670	1580	851	897	5,4								900	5,7			890	4,6			
72	1130	170	1300	1194	(860)																		
73	928	159	1087	985	586	631	7,6								608	3,7			635	8,3			
74	1432	314	1746	1594	867	929	7,1								906	4,5			924	6,6			
75	1553	361	1914	1732	969	999	3,0								968			-0,1	994	2,6			
76	1497	245	1742	1585	981	927								-5,5	902			-8,1	924				-5,8
77	841	157	998	883	588	587								-0,2	554			-5,9	594	1,0			
78	1287	220	1507	1424	873	826								-5,4	827			-5,3	823				-5,7
79																							

- 1 Année Hydrologique
2 KOULIKORO
3 DOUNA
4 KOULIKORO + DOUNA
5 KE-MACINA + BENENI-KEGNY
6 TOSSAYE
7 TOSSAYE calculé par : TOSS. = $42,3 \cdot (KOUL+DOUNA+780)^{0,5} - 1197$
8 Ecart en % (7/6)-1
9 TOSSAYE calculé par : TOSS. = $46,15 \cdot (KE.MA+BE.KE+942)^{0,5} - 1418$
10 Ecart en % (9/8)-1
11 TOSSAYE calculé à partir de KOULIKORO et DOUNA et des relations des § 9-1 à 9-7
12 Ecart en % (11/6)-1

NIGER à KIRANGO AVAL

	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVR	ANNEE
1924-25									591	297	159	83,0	
25	76,6	347	1409	3565	5805	7241	4327	1486	(690)	(390)	178	95,0	(2143)
26	77,1	361	1985	3420	5216	4281	1842	878	394	238	134	78,8	1583
27	111	222	1410	2936	5080	5963	5982	1388	613	313	179	124	1867
28	151	347	1067	4148	6822	6092	3002	1155	588	318	194	143	2010
29	142	592	2155	3831	5658	6200	2743	1065	527	324	204	128	1974
30	104	779	1578	4193	5705	5847	2793	1030	538	285	161	126	1937
31	231	735	1587	3620	5019	4876	1771	814	386	189	143	138	1634
32	175	424	1540	3033	5833	4917	2362	1034	489	265	179	112	1708
33	101	338	1863	3439	5802	3623	1579	922	439	229	126	76,2	1551
34	58,0	113	757	3069	4809	3940	2201	821	384	221	105	60,4	1384
35	46,5	64,6	906	3405	4872	4113	1627	628	301	157	86,7	41,3	1361
36	246	597	1264	2811	4680	5519	2175	1096	449	238	118	92,0	1615
37	98,0	196	690	2041	4245	3855	1942	760	345	159	91,6	78,6	1213
38	52,4	155	674	2610	4804	4677	2197	893	370	184	99,4	53,9	1403
39	62,8	217	(550)	1882	4172	4757	2285	990	443	197	101	52,5	1314
40	34,9	98,7	631	2238									
50-51				2231	4555	5267	2441	755	358	154	68,9	36,3	
51	92,1	442	1361	3261	4663	5021	5102	1984	806	377	168	83,5	1952
52	52,2	112	970	2832	4617	5305	2407	978	481	228	130	53,3	1521
53	28,3	426	1994	3698	5942	4989	2400	1088	561	256	138	113	1811
54	112	544	1701	3686	5555	4920	3150	1753	765	425	213	179	1924
55	142	469	1827	3469	5342	5774	2770	1305	668	395	199	116	1882
56	76,3	113	925	1972	3986	4540	1736	797	(400)	172	62,5	20,6	1239
57	17,9	194	1125	3199	5473	6362	3762	1378	632	355	132	93,9	1901
58	178	675	1416	2035	3859	4207	2162	1439	619	321	153	46,7	1432
59	27,7	170	1183	2623	4690	4486	1876	821	357	163	49,5	26,8	1379
60	17,9	193	1260	3096	5088	4762	2215	872	389	181	84,0	81,0	1523
61	(11)	54,7	764	2640	4738	3245	1296	527	217	985	33,8	11,6	1141
62	11,0	119	872	2779	5946	5819	2741	1241	(550)	(300)	(180)	(40)	(1723)
63	75,7	58,9	536	2106	3905	5230	2999	918	392	168	54,1	38,7	1379
64	24,7	188	1029	3280	4472	4776	1897	978	591	275	101	59,6	1479
65	45,6	219	1492	2369	3833	4301	1974	461	247				
66									420	223	29,3	28,8	
67-68	12,7	49,1	198	(1980)	5031	6741							
1971-72					4754	3395	1001	518					
72-73													
73-74													
74-75									182	70,9	22,5	10	
75-76	40	100	840	2634	4578	4722	1653	634	237	87,9	20,0	9	1302
76-77	20	100	566	2047	2805	3798	3619	1186	480	212	45,6	11	1245
77-78	10	45	401	1152	2695	2315	903	320	96,3	40,7	12	10	669
78-79	30	241	881	2042	3357	3733	1706	568	253	108	41,6	25	1087
79-80			1019	3642	4418	3009	1504	571					

KE-MACINA

	MAI	JUIN	JUI	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVR	ANNEE
1952-53									438	189	98,0	47,1	
53-54	23,8	393	2127	4123	5785	4826	2126	1075	559	224	126	123	1802
54-55	(115)	516	1878	4125	5687	4950	2953	1633	762	352	180	153	1947
55-56	126,6	437	2042	3928	5608	5367	2428	1327	641	298	176	115	1884
56-57	66,7	106	908	2247	4565	4261	1708	769	357	145	66,7	32,8	1275
57-58	23,6	165	1290	3654	5629	5848	3250	1284	614	325	116	109	1867
58-59	150	691	1480	2337	4224	4195	2159	1432	602	282	128	45,2	1484
59-60	22,0	141	1280	2890	5030	4084	1796	799	338	155	53,5	31,4	1391
60-61	23,2	178	1354	3570	5444	4496	1984	896	400	191	63,0	38,6	1560
61-62	12,4	54,8	906	2951	5172	2903	1281	539	238	109	41,0	9,24	1189
62-63	9,35	136	1009	3184	5910	5551	2515	1219	549	286	169	40,6	1722
63-64	77,3	78,4	612	2322	4538	5449	2587	941	410	148	(66)	31,9	1445
64-65	17,6	222	1888	3536	4991	4604	1695	957	567	299	145	104	1594
65-66	74,8	97,0	1584	2680	4642	4241	1769	752	357	184	96,9	55,4	1385
66-67	32,5	41,6	486	2607	4389	4662	2213	892	320	129	(65)	42	(1329)
67-68	(50)	92,7	855	3207	5478	6075	2826	1127	496	233	129	66,9	1728
68-69	77,7	578	992	3161	4114	3428	1640	860	392	181	99,9	79,5	1306
69-70	49,3	243	1667	3391	5722	5344	3976	1200	544	236	150	107	1892
70-71	60,7	114	447	2285	4920	2527	1188	663	(240)	(100)	(50)	(35)	(1055)
71-72	(25)	71,6	568	3104	5129	3133	1311	575	272	(100)	(50)	(30)	(1203)
72-73	98,1	531	1138	2377	3274	2524	1280	551	209	(90)	(50)	(20)	(1017)
73-74	(10)	(90)	(290)	2500	3168	1981	1119	524	(152)	(70)	(35)	(25)	(825)
74-75	(15)	(35)	(770)	3169	4917	4090	1439	420	(155)	(100)	(40)	(20)	(1270)
75-76	(32)	(115)	987	2840	4932	4582	1551	654	287	145	102	(53)	(1363)
76-77	(35)	(150)	621	2386	2947	4209	3631	1207	490	249	(75)	(25)	(1340)
77-78	(15)	(65)	462	1353	3017	2224	924	348	172	74,8	30,7	27,7	(728)
78-79	27,6	259	961	2322	3744	3720	1728	638	309	171	101	39,0	1173
79-80	26,3	201	1197	3883	4646	2927	1545	622					
80													

BENETI - KEGNY

	MAI	JUIN	JUI	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVR	ANNEE
1951-52				716	1779	2202	2023	1010	323	143	63,8	21,8	
52-53	9,33	3,71	103	811	1736	2480	2430	968	283	106	52,0	20,9	752
53-54	6,70	64,1	364	1428	2329	2480	1161	450	234	136	76,1	44,4	734
54-55	26,2	52,4	150	1079	2415	2557	1821	850	333	183	114	63,7	806
55-56	35,6	67,0	272	1758	2314	2366	1482	639	282	166	98,9	58,1	798
56-57	34,9	32,3	46,6	739	1823	1874	968	363	171	99,2	55,1	29,6	521
57-58	25,1	39,5	195	1178	2119	2477	1825	657	259	160	82,6	39,2	753
58-59	26,4	33,1	269	1275	2334	2308	1318	567	247	145	80,4	38,8	723
59-60	25,7	31,7	47,1	767	2029	2214	964	332	158	85,2	45,5	25,7	562
60-61	26,5	24,0	241	977	1836	2099	1033	363	162	90,1	49,5	26,2	580
61-62	18,1	18,8	147	1211	2293	2108	728	269	122	68,2	39,4	22,9	594
62-63	23,3	26,2	101	601	1756	2039	1054	426	182	97,4	53,7	31,2	534
63-64	27,5	25,8	84,4	586	1573	1802	1172	371	154	84,4	43,0	22,5	497
64-65	26,7	45,9	181	1287	2342	(2610)	1386	(555)	245	164	85,1	(45)	(750)
65-66	(25)	(50)	(270)	(987)	1656	1936	1019	(400)	165	88	(50)	(32)	(560)
66-67	(20)	29,2	37,6	487	1593	2110	(1200)	(410)	165	90,8	49,3	25,5	(520)
67-68	(20)	22,9	77,5	(1080)	2324	2367	1270	475	199	108	60,3	35,5	(672)
68-69	(30)	42,1	263	887	1556	1483	753	302	150	75,3	39,4	(23)	477
69-70	11,0	7,39	253	1033	1780	1685	1067	(340)	157	62,6	31,1	17,3	(539)
70-71	11,1	17,4	78,2	832	2053	2085	730	239	108	57,4	29,2	18,5	523
71-72	17,2	16,7	139	653	1669	1303	477	130	66,2	34,1	19,4	13,1	377
72-73	11,0	42,6	90,6	332	725	536	234	71,4	33,1	16,5	12,5	9,12	177
73-74	(3,8)	(6,7)	19,7	482	805	390	(125)	48,8	(20)	(10)	(4,5)	(2,0)	(160)
74-75	(1,9)	(1,8)	127	837	1421	997	314	101	(40)	(20)	(10)	(7)	(324)
75-76	(30)	19,9	62,3	591	1413	1480	510	179	68,0	29,8	14,0	7,99	369
76-77	15,3	34,1	31,3	366	580	694	756	277	(90)	(53)	(26)	(8,81)	(245)
77-78	8,38	12,6	43,1	142	718				(83)	113	(14,9)	(6,04)	
78-79	16,5	43,7	60,5	452	845	768	384	232	133	46,6	11,5	5,80	251
79-80	5,80	22,2	50,7	351	1205	1165	440	191					

SOFARA

	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVR	ANNEE
1951-52													
52-53	27,0	14,3	88,8	721	1145	1487	1550	1087	567	240	114	55,8	(58)
53-54	20,4	49,7	270	930	1394	1572	1317	785	324	166	93,9	44,5	575
54-55	80,2	51,7	231	913	1408	1576	1473	1095	517	225	131	78,2	646
55-56	41,4	62,2	253	1000	1392	1531	1400	927	410	192	111	66,1	618
56-57	38,9	31,7	57,5	503	1133	1327	1107	551	206	114	64,8	32,7	432
57-58	25,5	38,8	159	780	1274	1496	1518	1018	437	199	(100)	46,3	593
58-59	25,4	36,3	238	788	1337	1509	1314	837	337	169	94,3	43,5	563
59-60	25,6	28,2	71,1	524	1203	1434	1170	584	223	109	52,2	24,8	455
60-61	22,7	20,1	183	719	1146	1384	1190	594	213	107	53,4	(27,3)	473
61-62	15,4	(17)	113	801	1292	1474	1073	424	161	80,6	41,2	(23)	461
62-63	19,8	18,3	88,3	(550)	1080	1378	1235	699	(270)	111	64,4	30,3	(463)
63-64	24,7	18,1	69,0	425	1021	1252	1150	633	220	104	44,3	21,1	416
64-65	18,0	33,2	147	773	1369	1542	1395	826	360	183	108	45,5	568
65-66	23,1	44,1	249	712	1141	1334	1129	526	196	106	53,8	30,3	464
66-67	17,1	19,3	39,7	280	964	1334	1223	636	212	104	57,3	26,0	410
67-68	17,8	16,9	75,4	651	1322	1494	1372	836	303	148	72,9	34,1	530
68-69	25,3	46,1	196	611	1052	1147	864	348	146	77,2	39,6	18,5	382
69-70	11,2	9,99	194	694	1139	1235	1113	646	212	98,2	44,2	17,1	453
70-71	10,7	15,8	77,3	523	1126	1342	914	279	118	65,2	33,1	15,2	378
71-72	9,58	8,24	78,9	447	1007	1077	552	170	81,8	34,7	16,1	8,34	292
72-73	6,17	33,9	92,6	284	596	566	289	97,3	42,6	18,2	7,83	(4)	170
73-74	(3)	(4,6)	-15,2	340	685	469	180	66,5	18,0	8,78	3,92	1,41	150
74-75	0,102	0,292	64,0	557	990	968	537	155	51,8	18,7	9,04	4,63	281
75-76	10,5	21,5	59,2	442	888	1054	699	248	92,5	36,1	14,8	5,57	299
76-77	7,08	22,3	34,9	285	534	635	770	436	134	60,9	21,9	9,85	246
77-78	(5,3)	(5,5)	34,2	141	518	633	255	73,7	27,6	12,6	5,94	1,53	143
78-79	20,6	18,5	75,8	358	684	759	474	147	50,8	22,1	10,2	1,70	219
79-80	0,701	(10)	61,4	383	830	862	489	166					

DIAKA & KARA

	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVR	ANNEE
1952-53	0,612	14,9	246	993	1541	1669	992	338	126	45,9	16,5	3,71	501
53-54	0,918	84,1	655	1273	1668	1642	972	388	165	65,8	25,8	18,7	383
54-55	13,0	128	530	1336	1663	1644	1269	685	230	103	38,6	30,0	642
55-56	21,4	90,6	621	1233	1654	1688	1135	463	182	71,9	33,6	15,5	604
56-57	4,19	9,87	207	649	1441	1551	705	229	83,2	21,4	3,57	0	410
57-58	0	14,3	307	1145	1640	1697	1400	506	158	63,9	10,4	1,61	581
58-59	9,72	144	441	676	1392	1525	848	508	149	50,7	11,5	0	482
59-60	0	13,9	313	955	1489	1502	720	237	62,6	15,7	0,033	0	445
60-61	0	18,4	350	1061	1617	1593	904	274	797	21,2	2,34	0	496
61-62	0	0,121	173	964	1523	1306	465	134	31,8	2,00	0	0	385
62-63	0	4,19	210	970	1640	1679	1136	449	117	44,4	15,4	0,7	524
63-64	0,081	0,034	96,8	700	1385	1639	1185	293	80	15,8	0,100	0	451
64-65	0	(12)	(195)	1152	1546	1591	787	322	(170)	(50)	2,77	0	(488)
65-66	0	(13)	(230)	(850)	1457	1547	(770)	(260)	(85)	(8,6)	0	0	(437)
66-67	0	0	(120)	(730)	1495	1510	1004	320	(80)	(6)	0	0	(449)
67-68	0	0	169	972	1501	1687	1258	403	(110)	(30)	(8)	0	(522)
68-69	0	(50)	(150)	983	1415	1399	611	(175)	(78)	(15)	(4)	0	(409)
69-70	0	(12)	377	1098	1598	1619	1456	447	121	28,9	10,9	0	566
70-71	0	4,64	65,2	622	1484	1126	333	143	33,0	6,93	0	0	319
71-72	0	0	(100)	850	1570	1306	(515)	(195)	(70)	(9)	0	0	(386)
72-73	0	(80)	289	(730)	1145	953	576	151	(50)	5)	0	0	(313)
73-74	0	0	(80)	(710)	1191	892	350	108	(12)	0	0	0	(280)
74-75	0	0	(100)	(960)	1507	1476	564	98,2	11,1	2,77	0	0	(395)
75-76	0	2,66	194	936	1486	1575	676	172	(40)	(9)	0	0	(426)
76-77	0	2,12	102	663	1162	1402	1399	535	108	(25)	0,117	0	451
77-78	0	(3)	(73)	(300)									
78-79	0	(34)	288	692	1243	1425	719	162	(54)	(14)	(4)	(0)	(383)
79-80	0		241	1319	1499	1231							

TONKA													
	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	ANNEE
1954	(230)	617	1254	1829	2283	2611	2736	2362	1946	1283	604	257	1499
55	221	675	1350	1846	2289	2696	2743	2296	1612	981	445	181	1455
56	120	291	786	1495	1930	2237	2200	1631	1312	533	222	128	1065
57	97,5	273	(970)	1652	2317	2466	(2690)	2452	2233	(1220)	510	(200)	(1411)
58	280	(630)	1166	1658	2010	2355	(2450)	2039	1419	(835)	(300)	(114)	(1271)
59		246											
60													
61													
62													
63													
64													
65													
66			409	1362									
67	(70)	(220)	899	1320	2010	2370	2487	2045	1360	681	289	104	1154)
68	158	565	932	1618									
69	(80)	(500)	(1150)	1639	1984	2286	2363	1857	1146	527	191	109	1154)
70	(82)	173	569	1506	2341	2618	2162	1257	801	514	(200)	(35)	1022)
71	(59)	(180)	762	1408	1773	1923	1550	944	417	(136)	(29)	(20)	(768)
72	(126)	(495)	852	1281	1505	1495	1111			(73)	(30)	(15)	
73	(40)	(145)	517	1229	1434	1251	802	331	148	90,6	(53)	(12)	(506)
74	(58)	(170)	929	1587	1949	2144	1877	1175	(430)	(115)	(23)	(21)	(872)
75	(38)	(285)	945	1597	1974	2194	2045	1588	726	(250)	(60)	(35)	(980)
76	(34)	(220)	(790)	1411	1726	1939	2098	1773	1137	(490)	(140)	60	(985)
77	(35)	(185)	508	1070	1541	1593	1114	544	207	(40)	(16)	(5)	(573)
78	(40)	382	874	1430	1756	1998	1794	1227	541	167	(45)	(7)	(857)
79	16,1	350	1021	1687	2026	2083	1801	1168	489	157	(40)	(10)	(907)
80	3,62	54,7	514	1264	1656								

MARICOT DE GOUNOAM													
	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	ANNEE
1931-32	(2,2)	2,66	12,0	43,3	70,3	91,7	126	124	76,0	25,3	3,50	(2,2)	(48,2)
32-33	(2,17)	(2,6)	6,27	25,2	42,1	66,9	146	200	137	56,0	9,88	2,30	58,5
33-34	2,10							71,9	39,5	0,33	2,10	1,58	
34-35								106	55,3	12,6	2,39	1,74	25,1
35-36	0,093	1,59	2,05	4,19	14,0	24,4	76,7	174	127	44,6	5,42	1,70	45,7
36-37	1,12	0,697	3,90	9,89	25,5	46,6	112	174	127	44,6	5,42	1,70	45,7
37-38	1,67	1,58	1,80	6,16	24,7	40,2	64,5	71,3	35,6	5,24	1,76	0,876	21,3
38-39	0,055	0,841	1,74	6,40	21,1	32,4	66,0	96,6	57,2	17,6	2,40	1,41	24,2
39-40	0,909	0,391	0,175	1,64	8,27	19,0	39,9	75,7	60,7	13,2	1,75	0,087	18,3
40-41	0	0	0,163	1,29	5,44	16,9	25,7						
41-42	0	0	(2,0)	(5,0)	11,9	20,1	37,0	39,1	14,1	2,60	1,18	0,085	(11,1)
42-43	0	0	0,964	8,45	19,7	34,2	47,4	35,5	8,90	(1,55)	(0,110)	0	13,1
43-44	0	0	0,336	5,54	15,5	25,2	53,2						
44-45								83,3	30,6	7,62	(0,98)	0	
45-46								152	89,0	30,3	2,99	1,96	
46-47	0	0			26,6	43,6	100						
47-48	1,11												
48-49													
49-50													
50-51													
51-52	0	0	11,675	12,6	31,7	52,3	128	267	257	136	69,0	22,5	80,5
52-53	2,36	1,96	3,12	32,9	60,3	78,9	167	273	200	98,3	46,6	3,09	80,0
53-54	2,16	1,40	13,8	54,9	76,3	102	229	295	191	83,3	34,6	12,7	91,0
54-55	4,97	1,75	22,4	53,6	72,0	105	245	342	201	159	65,8	25,6	114
55-56	7,88	4,60	8,80	54,6	92,4	133	254	311	236	148	95,9	55,8	116
56-57	24,2	11,7			41,9	57,1	82,5	95,6	61,1	45,4	25,1	6,68	
57-58	2,91	2,12	2,69	10,8	(27,4)	48,0	141	253	231	105	(35,3)	(3,5)	(71,2)
58-59	(0,03)	2,48	17,5	36,4	49,3	60,0	110	156	110	40,7	7,30	(0,15)	50,2
59-60	0	0	3,63	22,4	37,5	56,8	80,7	104	59,2	15,2	(1,5)	(0,2)	(31,7)
60-61	0	0	3,99	19,2	32,3	45,7	91,1	(136)	(03)	(26)	(4,0)	(0,5)	(36,7)
61-62	0	0	1,54	17,2	35,3	54,2							
62-63	0	0	3,23	19,6	35,0	53,8	121	200	131	55,5	9,45	0,115	52,1
63-64	0	0	0,899	18,8	39,0	60,4	101	141	96,1	30,6	1,19	0	40,8
64-65	0	(0,01)	7,07	32,2	52,1	77,4	179	230	149				
65-66				51,5									
66-67					(43)	62,9	101	120	62,0				
67-68	0	0	8,10	39,2	69,0	108	230	273	178	94,1	(20)	(7)	(85,3)
68-69	0	0,012	11,6	53,5	87,2	(93)	122	118	59,5	12,5	(2,5)	(0,5)	(46,7)
69-70	0	0	(16,3)	58,5	91,3	124	227	298	180	69,2	(14)	(3)	(89,8)
70-71				(39)	75,2	98,1	117	88,4	(30)				
71-72	0	0	(3,8)	33,8	58,9	83,1	100	68,7	18,3	1,31	0,127	0	30,8
72-73	0	0	5,49	31,6	55,1	70,5	67,4	29,5	2,06	0,029	0	0	22,0
73-74	0	0	15,3	48,6	61,4	44,2	11,3	0,076	0	0	0	0	15,2
74-75	0	0	1,67	30,5	58,4	(90)	120	77,3	15,1	0,566	0	0	33,0
75-76	0	(1,0)	2,99	29,8	57,2	82,8	130	91,8	31,7	1,80	0	0	35,9
76-77	0	0	0,411	18,7	41,2	62,1	90,5	118	62,1	13,9	0,731	0	33,9
77-78	0	0	0	7,51	(32)	49,8	40,3	10,6	0,175	0	0	0	11,0
78-79	0	0	3,03	22,7	47,3	67,8	88,4	63,4	16,9	0,605	0	0	26,0
79-80	0	0	4,15	30,0	73,4	105	129						

NIGER à DIRE

	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	ANNEE
1924-25	35,6	256	1028	1691	2071	2410	2579	2418	2068	754	754	259	1412
25-26	116	358	997	1676	2051	2342	2598	2620	2226	1686	947	380	1496
26-27	146	444	1082	1567	1891	2118	2113	1712	1135	563	180	50,8	1084
27-28	50,6	267	877	1507	1919	2222	2483	2436	2089	1489	809	281	1366
28-29	151	275	848	1578	1999	2349	2612	2481	2086	1461	782	293	1046
29-30	170	563	1315	1795	2111	2410	2639	2307	1925	1373	714	239	1462
30-31	136	481	1011	1539	1900	2160	2358	2164	1745	1094	513	192	1273
31-32	196	469	988	1531	1865	2123	2193	1882	1368	746	291	101	1145
32-33	94,2	300	839	1414	1807	2120	2274	2156	1708	1100	506	162	1204
33-34	69,9	368	1027	1536	1888	2189	2275	2044	1564	951	386	99,9	1199
34-35	30,7	87,4	558	1270	1707	1958	2038	1741	1197	605	189	40,9	951
35-36	12,8	101	659	1396	1815	2095	2181	1943	1395	727	247	57,2	1051
36-37	166	378	942	1554	1906	2188	2341	2207	1724	1116	488	150	1261
37-38	55,9	118	566	1239	1658	1912	1993	1642	1083	503	163	35,8	913
38-39	20,8	113	528	1276	1765	2078	2221	1983	1436	806	284	65,0	1046
39-40	45,6	138	528	1201	1660	1921	2080	1896	1409	767	264	55,9	995
40-41	17,0	116	524	1137	1534	1769	1791	1452	879	378	98,4	18,7	810
41-42	11,9	175	681	1264	1639	1870	1858	1464	854	317	64,4	24,6	852
42-43	40,7	130	635	1257	1600	1765	1624	1151	564	175	34,7	6,37	750
43-44	6,44	104	602	1254	1687	1940	1899	(1489)	(880)	292	48,2	(6,6)	851
44-45	(0,93)	45,9	359	1069	1532	1752	1688	1179	553	162	27,5	4,41	699
45-46	0,212	37,9	528	1354	1749	1998	2084	1826	1251	560	127	30,0	961
46-47	32,3	185	777	1410	1796	2061	2191	2019	1530	812	252	45,5	1091
47-48	11,5	81,5	630	1222	1596	1848	1820	1332	668	207	37,4	7,17	789
48-49	0,725	270	955	1479	1808	2014	2018	(1025)	(1060)	(480)	(110)	(20)	(987)
49-50	(5)	38,4	537	1306	1726	1945	1914	1512	1189	641	180	78,7	(921)
50-51	42,7	58,2	736	1494	1886	2139	2304	2112	1645	937	325	66,5	1143
51-52	123	382	948	1564	1887	2164	2422	2464	2209	1658	896	305	1415
52-53	73,8	179	928	1701	2004	2261	2443	2342	1923	1299	621	146	1324
53-54	74,8	566	1317	1703	2076	2365	2530	2349	1920	1306	605	224	1418
54-55	170	547	1219	1726	2067	2359	2578	2530	2167	1627	914	391	1522
55-56	189	610	1289	1767	2103	2395	2584	2484	2010	1399	721	254	1482
56-57	80,6	188	740	1409	1817	2074	2175	1890	1365	708	222	52,7	1059
57-58	40	287	1025	1685	2045	2344	2541	2523	2148	1579	801	298	1440
58-59	214	634	1151	1594	1926	2176	2300	2226	1759	1277	531	121	1324
59-60	50,2	232	896	1518	1880	2147	2257	1948	1413	696	208	38,2	1106
60-61	26,1	300	1009	1584	1897	2146	2296	2060	1529	868	294	52,8	1171
61-62	20,5	123	941	1599	1937	2179	2190	1800	1125	505	131	31,9	1049
62-63	23,8	227	960	1601	1974	2195	2431	2304	1805	1170	542	107	1284
63-64	71,0	116	705	1413	1804	2047	2229	2065	1495	801	244	67,1	1086
64-65	36,3	373	1031	1682	2104	2281	2438	2295	1820	1157	483	134	1318
65-66	51,1	416	1231	1772	2003	2220	2267	1984	1367	692	196	49,4	1187
66-67	25,6	127	615	1435	1862	2150	2278	2004	1483	740	245	58,6	1083
67-68	29,8	174	976	1743	2091	2364	2589	2407	1912	1178	520	131	1340
68-69	125	654	1137	1704	2009	2154	2148	1712	1088	498	125	43,4	1118
69-70	32,8	341	1282	1789	2098	2339	2517	2285	1707	970	341	103	1316
70-71	43,0	131	733	1497	1899	2086	1982	1394	792	281	82,3	33,6	914
71-72	25,7	100	838	1511	1929	2125	1903	1329	650	207	53,9	24,8	893
72-73	88,5	552	995	1477	1726	1773	1462	878	376	104	35,8	20	793
73-74	17	64,9	514	1354	1605	1680	1336	609	288	80,2	32,3	25,4	626
74-75	27	100	1049	1686	2019	2200	2003	1364	646	175	42,5	14,5	946
75-76	15,2	256	1084	1699	2047	2219	2204	1623	885	323	71,2	27,7	1040
76-77	13,5	267	899	1515	1830	2034	2180	1925	1299	623	161	47,2	1066
77-78	13,7	121	666	1231	1661	1695	1274	700	255	75,8	28,3	12,4	647
78-79	13,1	484	1055	1578	1903	2071	1924	1393	700	300	79,0	11,4	962
79-80	-	387	-	1794	2102	2115	1930	1316	620	-	-	-	-

NIGER à ANSONGO

	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	ANNEE
1950-51					1650	1844	(1945)	(1945)	1865	1063	-	-	
51-52	267	664	1087	1376	1617	1787	1988	2088	2099	2021	858	225	1296
52-53	77,8	485	1143	1492	1720	1902	2087	2108	1911	1316	505	77,6	1230
53-54	184	875	1271	1519	1755	1935	2071	2075	1920	1321	540	215	1302
54-55	336	841	1263	1522	1754	1984	2186	2259	2124	1687	910	326	1428
55-56	328	884	1280	1559	1797	1994	2175	2022	1964	1448	634	212	1368
56-57	135	452	935	1310	1575	1772	1910	1827	1445	608	172	54,1	1012
57-58	103	605	1157	1427	1659	1846	2059	2146	1998	1605	649	(280)	1289
58-59	(335)	938	1266	1506	1728	1897	1985	1982	1822	(1050)	(408)	(130)	(1250)
59-60	(130)	559	1123	1417	1666	1858	1984	1913	1481	687	170	50,6	(1082)
60-61	120						1957	1897	1554	815	(240)	(73)	
61-62	(23)	161	977	1416	1586	1785	1891	1783	1485	786	(110)	(15)	(997)
62-63		131	1091	1389			2017	2026	1652	1102	(370)	(115)	
63-64	(90)	(315)	933	1277	1468	1693	1870	1871	1490	618	(170)	(70)	(984)
64-65	(190)	627	1136	1425	1693	1921	2118	2126	1852	1039	(285)	(105)	(1205)
65-66	(220)	764	1330	1570	1743	(1900)	2010	1987	1404	496	(138)	(33)	(1128)
66-67			770	1255	1537	1778			1230	545	(134)	(20)	
67-68	(50)	(410)	(1100)	1467	1734	1971	2181	2134	1813	1042	(300)	(700)	(1194)
68-69	(250)	708	1163	1402	1644	1834	(1950)	1685	976	290	(75)	(19)	(996)
69-70		645	1222	1537	1824	2019				936	(190)	(75)	
70-71		408	1078	1702	1926						(38)	(7)	
71-72			1223	1530	1647				1235	531	106	55,0	
72-73	128	263	425	938	1575		1515	914			(8)	78,1	
73-74	147	309	888	1440	1485	1267	(950)	396	140)	25)	(5)	(4)	(589)
74-75	(20)	(300)	1132	1477	1715	1882	1812	1227	395	101	17,6	6,08	(838)
75-76	21,2	510	1158	1494	1772	1985	2000	1531	664	189	46,5	12,7	946
76-77	31,9	410	951	1333	1541	1693	1726	1399	1058	495	91,7	(23)	893
77-78	(35)	(370)	(850)	1126	1377	1483	860	375	180	57,9	14,6	3,69	(562)
78-79	(75)	656	1069	1354	1595	1792	(1775)	1297	459	150)	(27)	(138)	(253)
79-80	73,8					1891							

CHAPITRE IV

VARIATIONS DU REGIME DES CRUES DU NIGER

4.1. ETALONNAGES

Toutes les stations des bief TONKA - ANSONGO sont apparues détarées, les détarages étant particulièrement importants au départ du bief, à TONKA et DIRE. Le tableau 1.1. présente ces détarages en fonction des débits antérieurs aux détarages (gamme 500 à 2.000 m³/s).

A DIRE par exemple, pour la même cote correspondant autrefois au débit de 500 m³/s en régime uniforme, il correspond actuellement 698 m³/s en régime uniforme (+ 40%). A 2.000 m³/s il correspond maintenant 2.300 m³/s, soit une augmentation de 15%.

A TOSSAYE, le détarage est moins important et nous passons de 15 à 4,6%.

A ANSONGO, la variation est de 5,8% à 500 m³/s (ancien régime) et de 10% à 2.000 m³/s (2.200 m³/s dans le nouveau régime).

Nous avons présenté dans le chapitre II des "DONNEES HYDROLOGIQUES" la méthode utilisée pour effectuer la transformation hauteur/débit dans le cas des stations non-univoques. Cette méthode précise nous a permis de régler les étalonnages et les éventuels détarages dans le temps.

4.1.2. MODULES

A l'aide des modules obtenus nous avons mis au point un système de régressions qui permet de transférer les modules d'entrée, soit KOULIKORO + DOUNA, en modules de sortie : TOSSAYE et NIAMEY.

Le transfert peut se faire bief après bief ou directement. Les résultats des analyses se trouvent dans le chapitre "COMPARAISON DES DEBITS".

Pour toute la période d'observations, deux régressions permettent de passer des volumes entrants aux volumes sortant (tableau 1.2.).

$$\text{TOSSAYE} = 46,15 \cdot (\text{KE MACINA} + \text{BENENI KEGNY} + 942)^{0,5} - 1.418 \quad (p)$$

$$\text{TOSSAYE} = 42,3 \cdot (\text{KOULIKORO} + \text{DOUNA} + 780)^{0,5} - 1.197 \quad (q)$$

Les régressions ci-dessus sont exprimées en m³/s, (p) donne le module de TOSSAYE en fonction des modules de BENENI KEGNY + KE MACINA. Les relations sont stables dans le temps et cela nous permet d'écrire qu'il n'y a pas de modifications au niveau du volume des crues lors du passage à travers le DELTA INTERIEUR.

4.1.3. DEBITS MAXIMAUX

Le tableau 1.3.1. présente les modules et débits maximaux correspondant des stations de MOPTI - DIRE - TOSSAYE et NIAMEY pour la période où les observations directes ont été effectuées.

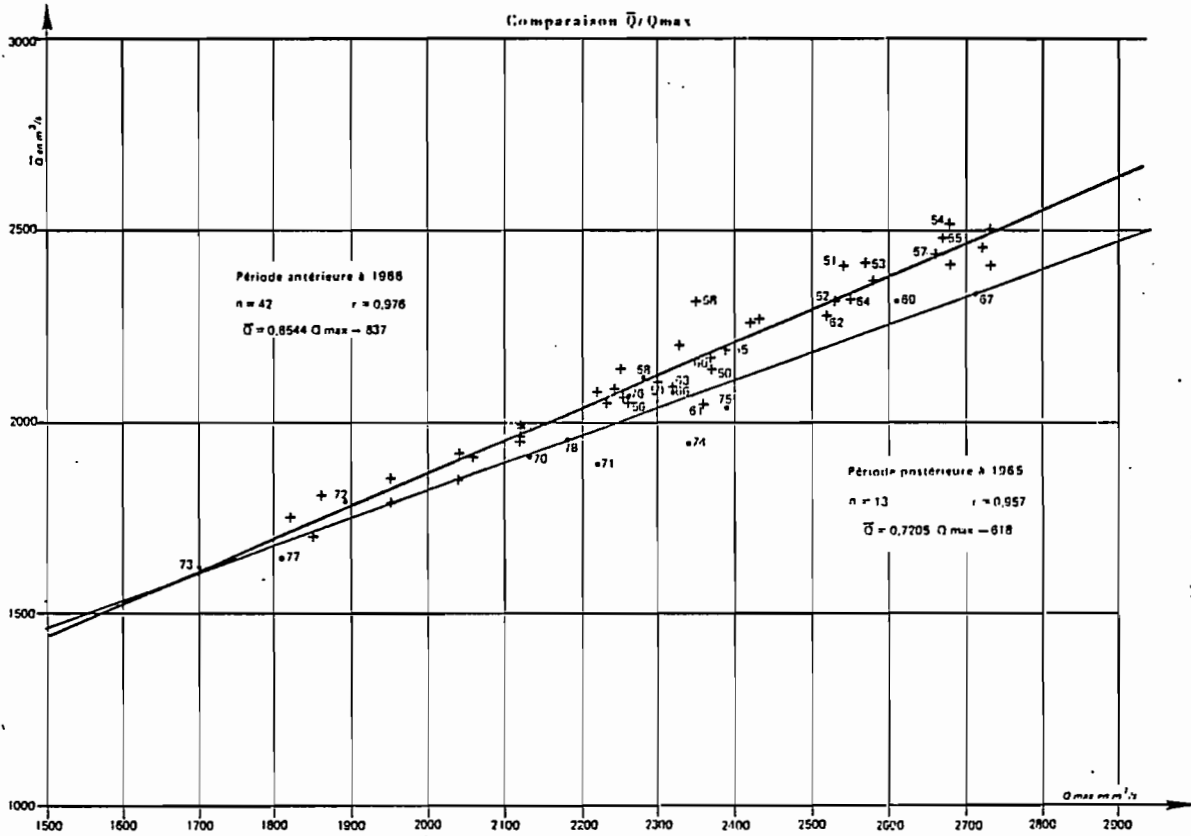
Les valeurs ont été reportées sur les figures 2.3.1. à 2.3.4. Nous constatons que les modifications de régime qui sont traduites par le rapport $Q_{\text{moy.}}/Q_{\text{max}}$ apparaissent à DIRE et s'accroissent en allant vers l'aval.

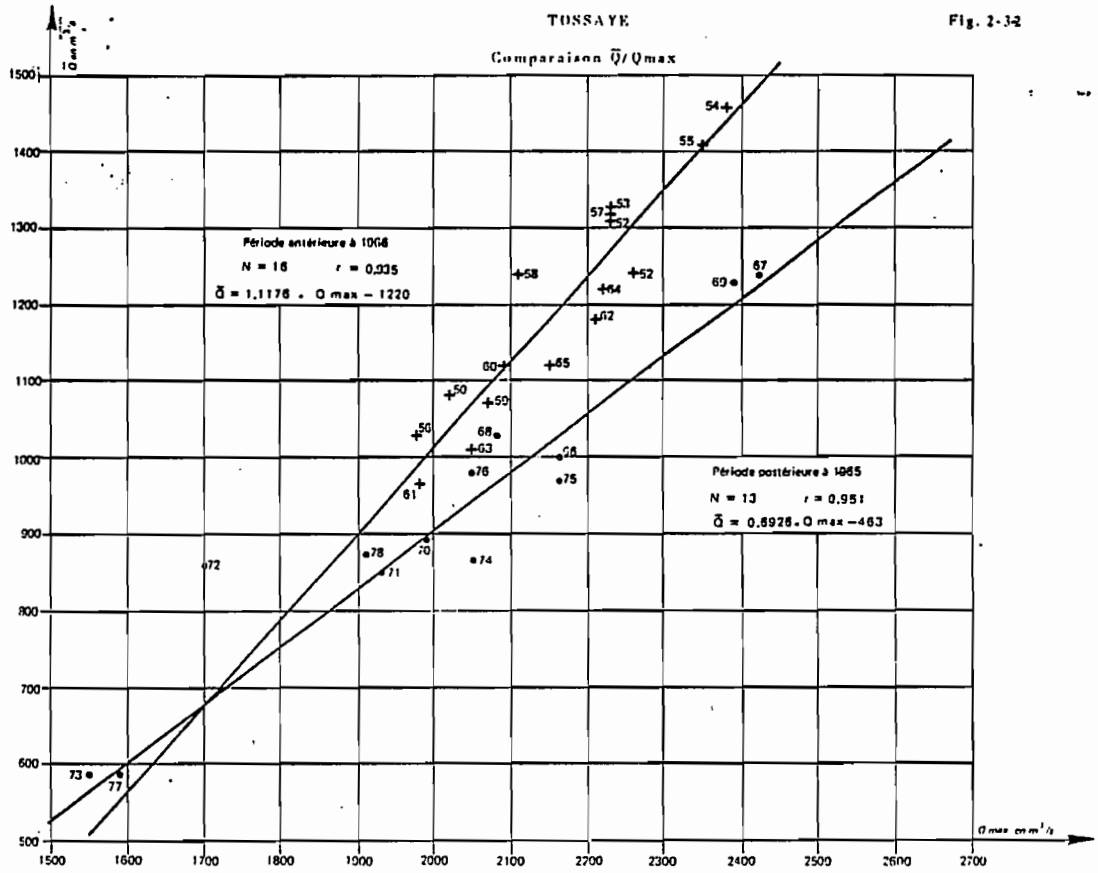
A MOPTI il ne semble pas y avoir de modifications et par conséquent nous pouvons affirmer qu'il n'y a pas de variations de l'amortissement dans la partie du DELTA située en amont de MOPTI.

A DIRE comme aux autres stations situées plus à l'aval il y a apparition en 1966 d'un nouvel équilibre qui se traduit par une seconde régression entre MODULES et DEBITS MAXIMAUX de crues.

DIRR

Fig. 2-3-1

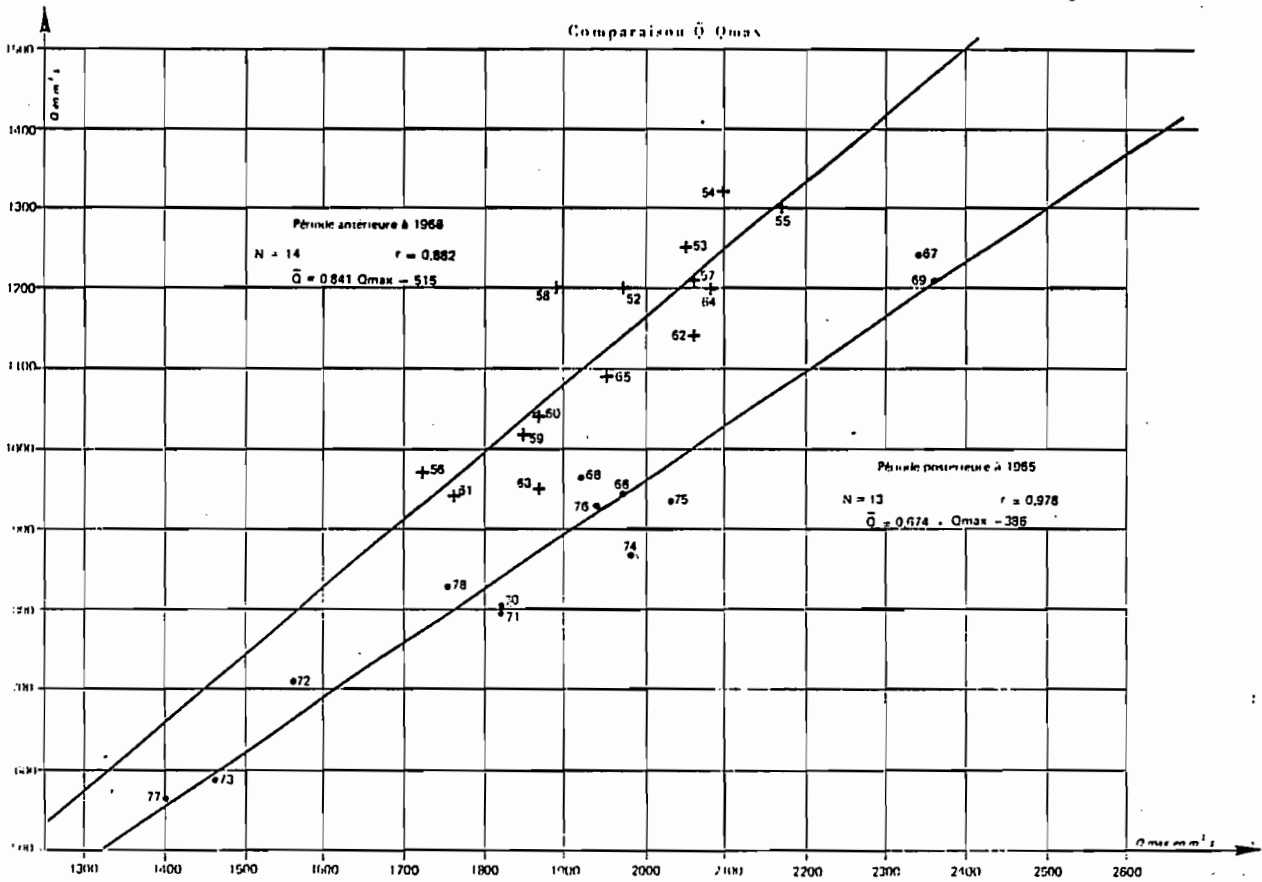


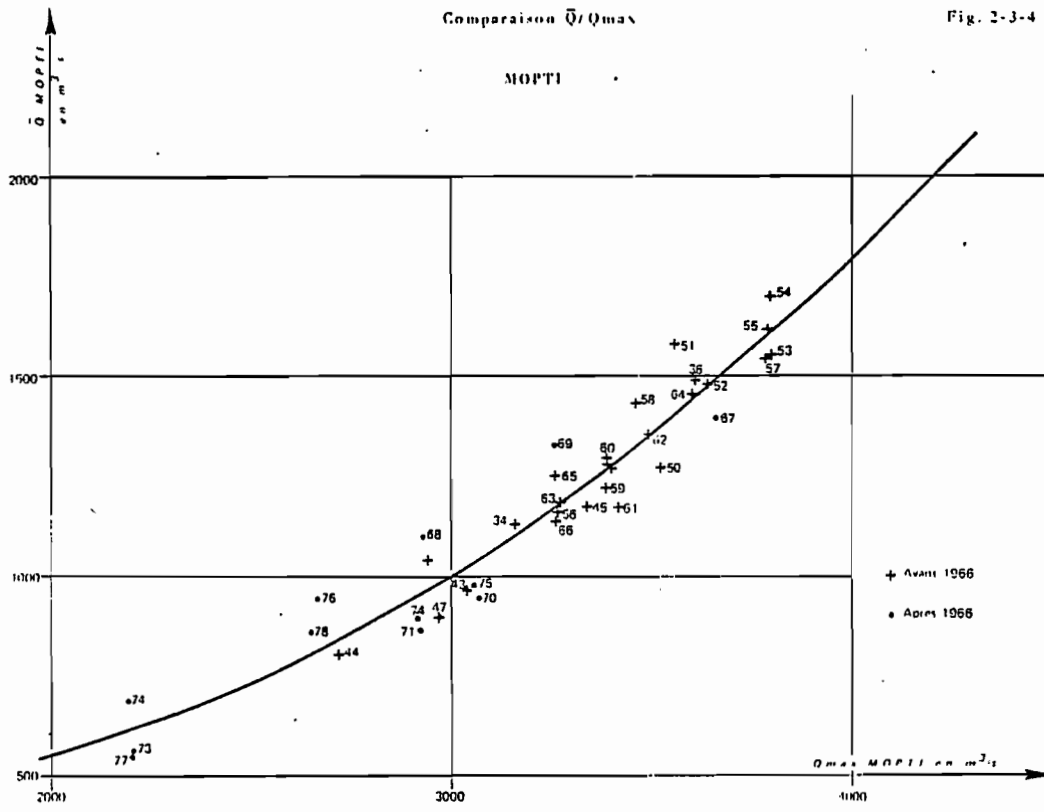


SIAMEY

Fig. 2-2-3

Comparaison \bar{Q} Q_{max}





Nous avons porté dans le tableau 1.3.2. les variations de débits maximaux constatées à partir de 1966 pour les modules allant de 750 m³/s à 1.500 m³/s. Dans cette gamme de modules, nous notons des variations de débit maximal pouvant atteindre à NIAMEY 15,5% pour un module correspondant de 1.250 m³/s.

A DIRE la variation d'amortissement est comprise entre 2,2 et 7,1% pour la gamme ci-dessus.

4.1.4. INFLUENCE DES DETARAGES

La première station où apparaît un changement d'étalonnage est la station de TONKA sur l'ISSA BER. La station la plus proche à l'amont se trouve sur le BARA ISSA, il s'agit de SARAFERE. A cette dernière, comme à MOPTI, nous n'avons pas constaté de variation apparente de l'étalonnage. Les analyses et les résultats des interprétations des mesures de débit se trouvent dans la partie : "Transformation des hauteurs d'eau en débits aux stations non-univoques".

Nous avons comparé les cotes maximales atteintes annuellement aux stations de DIRE et de MOPTI, nous avons constaté que les crues se propagent de la même manière entre ces deux stations pendant toute la période des observations. La régression établie entre cotes maximales annuelles est valable pour toute la durée des observations.

A MOPTI, où nous disposons d'un échantillon relativement important de valeurs maximales du débit et de la hauteur, nous avons essayé de reconstituer ces valeurs maximales à l'aide de régressions multiples en utilisant les valeurs correspondantes enregistrées à KOULIKORO et DOUNA. Pour les hauteurs nous disposons de 29 valeurs communes, le coefficient de corrélation est :

$$\begin{aligned} r &= 0,877 \text{ pour } N = 29 \\ \text{Pour les débits :} \\ r &= 0,895 \text{ pour } N = 27 \end{aligned}$$

L'examen des écarts entre valeurs observées et calculées, dans les deux cas, nous conduit à penser qu'il n'y a pas de variation dans le temps de l'équilibre hydraulique à l'amont de MOPTI.

Nous avons établi une régression entre modules observés aux trois mêmes stations pour la période 1950-51

$$\begin{aligned} \text{Nombre de valeurs communes : } N &= 29 \\ \text{Coefficient de cor.} &: r = 0,991 \end{aligned}$$

Le tableau 1.4.1. présente les résultats de la régression multiple établie entre, d'une part KOULIKORO et DOUNA, et d'autre part MOPTI, cette régression est traduite par l'équation suivante :

$$\bar{Q}_{\text{MOPTI}} = 0,910 \cdot \bar{Q}_{\text{DOUNA}} + 0,331 \cdot \bar{Q}_{\text{KOUL.}} + 164,4 \quad (\text{en m}^3/\text{s})$$

Cette équation de régression est valable pour toute la période indiquée, et nous n'observons pas d'écarts importants entre valeurs observées et calculées, sauf dans le cas des très faibles valeurs des modules de DOUNA. Il n'apparaît pas dans la période récente de variation significative nous permettant de conclure à une réactivation des défluent de rive gauche du bief DIAFARABE - MOPTI.

Nous en avons conclu qu'il est peu probable qu'il y ait un changement d'équilibre hydraulique, c'est-à-dire des conditions d'écoulements, dans la partie du DELTA située à l'amont du Lac DEBO.

Plus précisément, et autant que l'on puisse faire confiance aux mesures de débits effectuées en 1978, en hautes eaux, à la station de SARAFERE, nous pensons que le début des variations de régime se situe au niveau du seuil de TONDIFARMA, la station de TONKA étant la première à être détannée. De plus, et c'est un cas unique, le coefficient de correction de gradient limnimétrique n'est pas le même dans le premier équilibre et dans l'équilibre actuel à TONKA.

4.1.4.1. Modifications d'amortissements

Les biefs situés à l'aval de TONDIFARMA sont détarés positivement. Pour les mêmes cotes, les débits transités sont supérieurs actuellement à ce qu'ils étaient dans l'ancien équilibre.

Un volume donné mettra moins de temps pour transiter dans le bief détaré positivement qu'il n'en mettait avant le détarage.

La vitesse de propagation de l'onde de crue restera sensiblement la même dans le deuxième équilibre la vitesse étant fonction de la profondeur moyenne du bief. Cette profondeur varie très peu lorsque l'équilibre change.

Nous obtenons donc, après le détarage, un hydrogramme qui progresse avec sensiblement la même vitesse dans le bief, mais qui a une forme plus pointue qu'auparavant. Le rapport Q_{max}/Q_{moyen} augmente à mesure que l'on se dirige vers l'aval, relativement à ce qu'il était auparavant.

De plus, le volume entrant dans le bief restant le même avec la même charge spécifique à l'entrée, le lit principal étant détaré, les débits transitant par le bras principal sont relativement plus importants que dans l'équilibre précédent. La part du volume transité à travers les bras secondaires et les plaines est moins importante et l'amortissement est d'autant moins réduit.

Au niveau des seuils d'alimentation des défluent l'hydrogramme est plus étroit, et à cote égale il transite plus rapidement, donc les volumes empruntant les seuils de défluences sont inférieurs à ce qu'ils étaient autrefois. Ceci est valable dans le DELTA INTERIEUR, mais non vers l'AVAL, lorsque le Fleuve emprunte un seul chenal, au droit de la station de KORYOUME. A partir de celle-ci il n'y a plus de défluent, ni de plaines d'inondations suffisamment importantes pour créer des variations de régime lorsque l'hydrogramme a une forme plus "pointue".

Il n'est pas possible de chiffrer la variation d'amortissement autrement que par ses effets, c'est-à-dire les modifications du rapport Q_{max}/Q_{moyen} à chaque station du bief DIRE/NIAMEY.

4.1.4.1.1. VARIATIONS D'AMORTISSEMENT A DIRE

C'est à cette station qu'apparaissent les premières modifications notables de l'amortissement. Nous constatons plusieurs phénomènes :

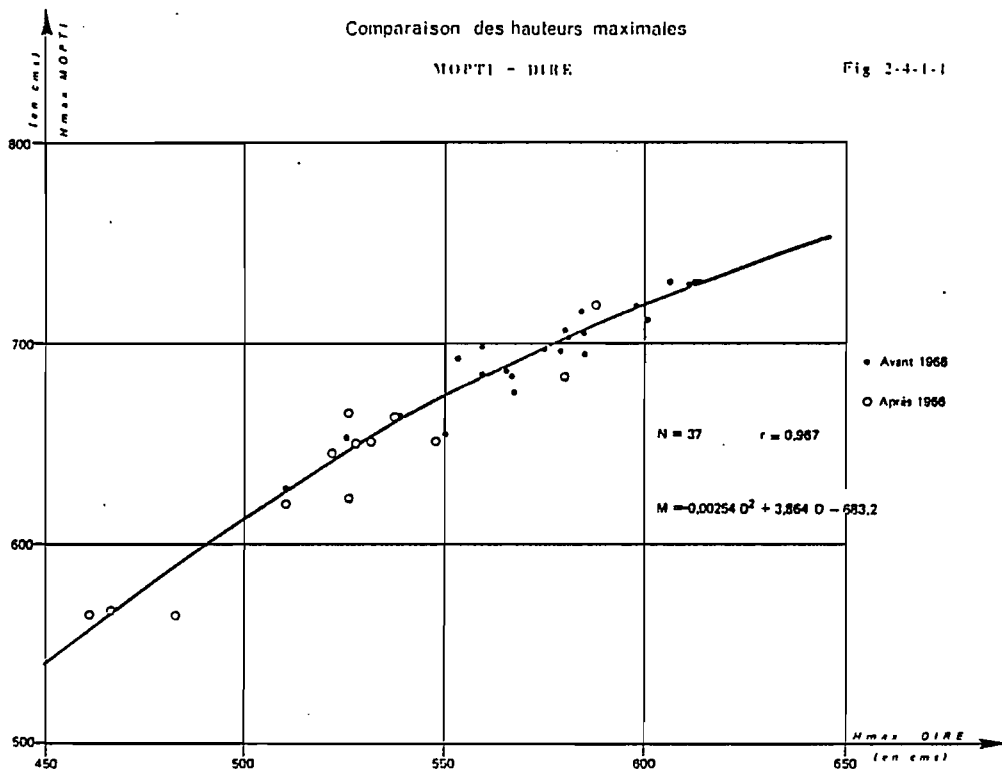
- Pas de modification significative de la régression entre hauteurs maximales à MOPTI et DIRE (fig.2.4.1.1.).
- Modification de la régression entre Module et Q_{max} à DIRE, (Fig.2.3.1.). Les valeurs faisant apparaître cette modification sont portées dans le tableau 1.3.2. .

Les modifications au niveau de DIRE sont faibles et il est à peu près certain que le bief amont de DIRE n'est détaré que sur quelques dizaines de kilomètres et que ce phénomène ne dépasse pas le seuil de TONDIFARMA.

4.1.4.1.2. VARIATIONS D'AMORTISSEMENT A TOSSAYE.

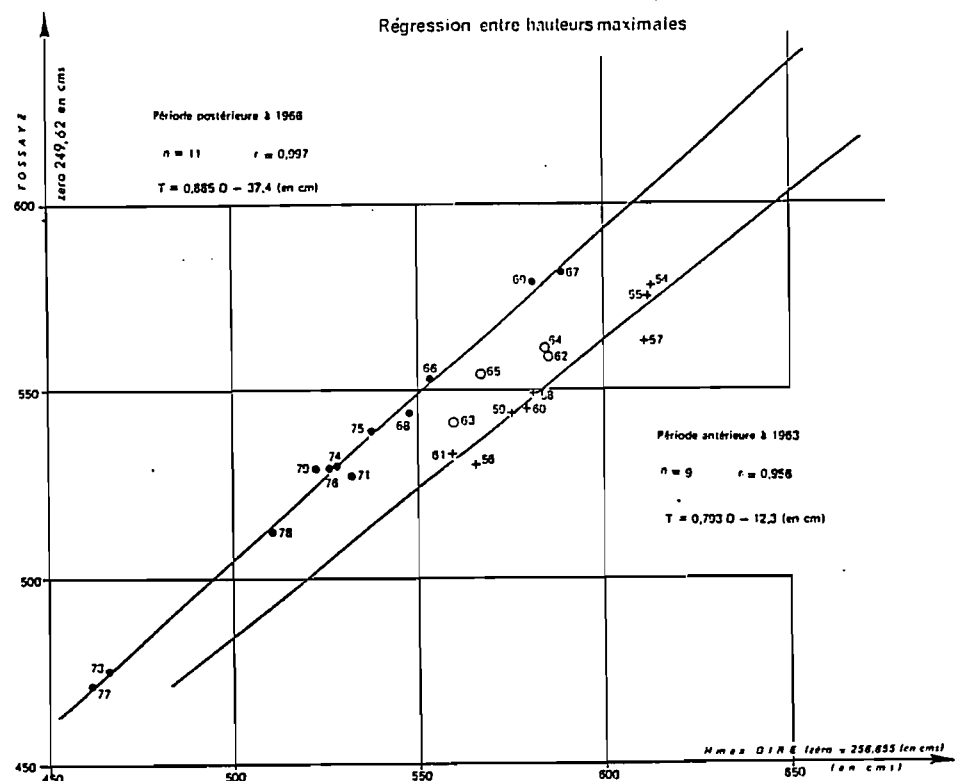
A cette station, nouvelles modifications, inhérentes au détarage plus faible qu'à DIRE (tableau 2.1.1.) et à la variation de l'amortissement créée par le détarage du bief DIRE - TOSSAYE.

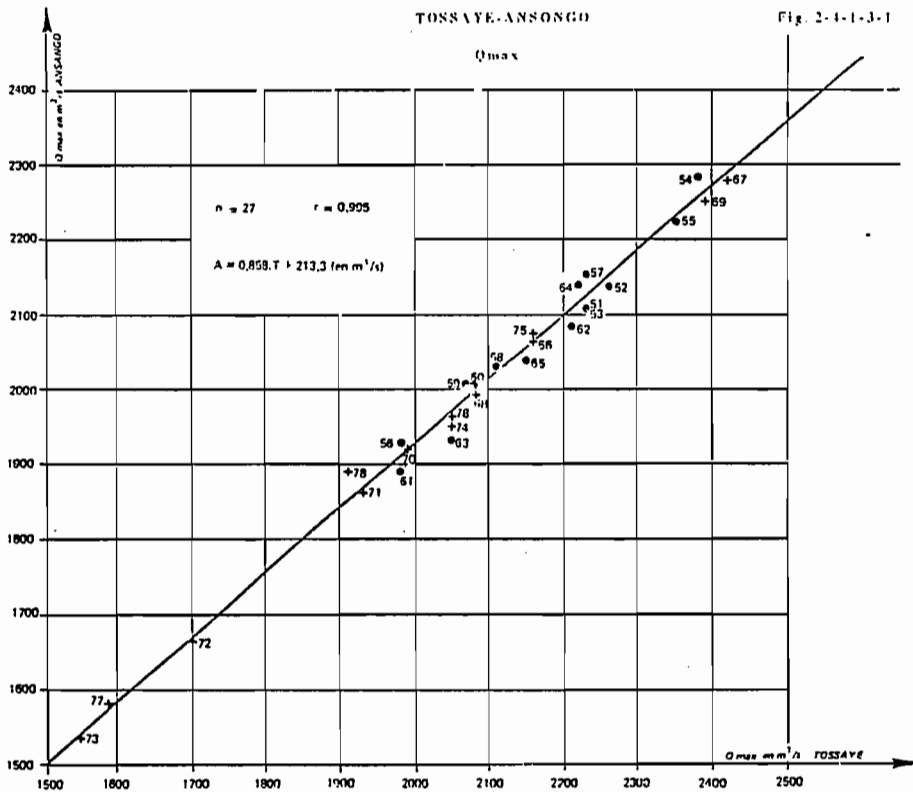
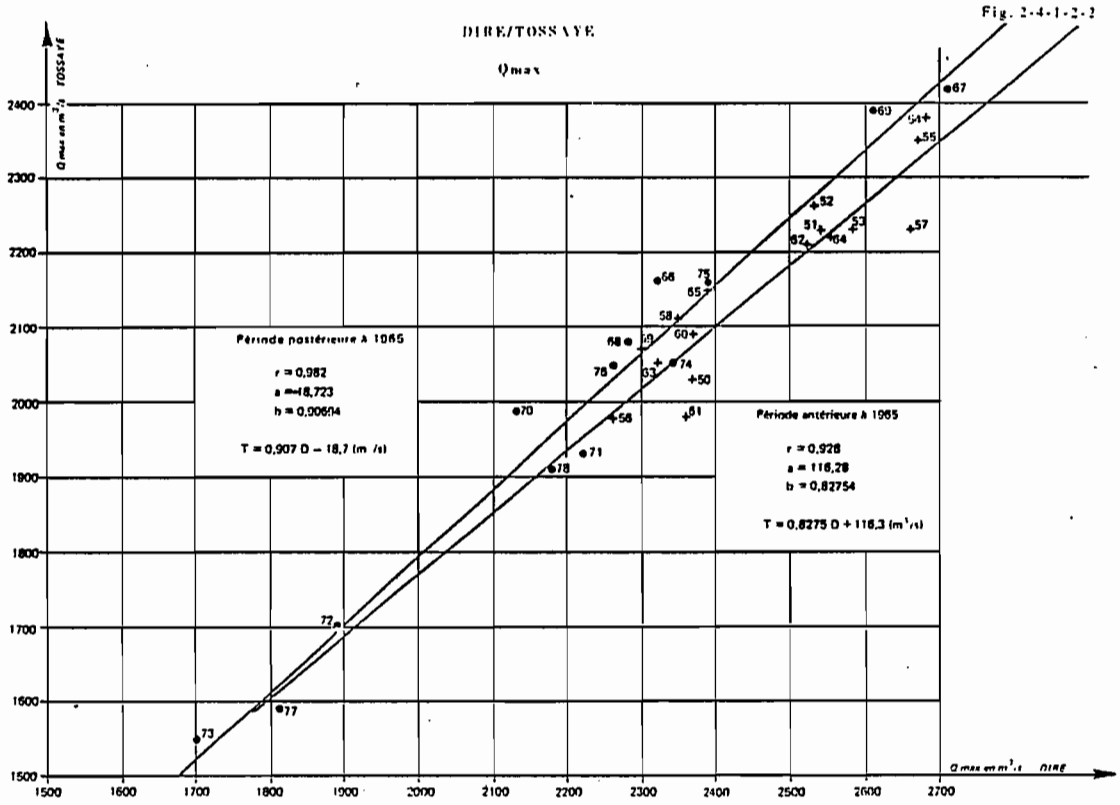
Ce détarage est traduit par un changement dans la régression entre Q_{max} à ces deux stations. La figure 2.4.1.2.2. représente les deux régressions. Le changement apparaît assez nettement en 1965, année qui semble être le pivot de pratiquement toutes les variations du régime. Sur la figure 2.4.1.2.1 sont portées, les deux régressions qui traduisent les relations entre H_{max} à DIRE et à TOSSAYE. Nous notons qu'il y apparaît une période transitoire (1962-1965) puis les H_{max} aux deux stations sont à nouveau liées par une régression tout à fait stable ce qui indique un équilibre hydraulique solide depuis 1966. Pour les crues de fréquence moyennes, les H_{max} sont relevées de 25 centimètres environ, le seuil n'étant pas suffisamment détaré pour masquer la variation d'amortissement des Q_{max} .



DIRE-TOSSAYE

Fig. 2-4-1-2-1





La comparaison des modules dans le bief nous a conduit à situer le début du détàrage en 1974, au début de la crue 74/75. La variation d'amortissement provenant des détàrages du bief amont apparaît, elle, en 1965/1966.

A partir de 1974 (fig.2.3.2.), comme à toutes les stations situées à l'aval de TONKA, il apparaît un équilibre stable traduit par :

- Etalonnage constant,
- Rapport Q_{max}/Q_{moyen} constant,
- Lignes d'eau fixes commandées par l'amont,
- Rapports des Q_{max} avec stations amont et aval inchangés.

4.1.4.1.3. VARIATIONS D'AMORTISSEMENT A ANSONGO

Le bief TOSSAYE/ANSONGO ne semble pas être détàré fortement car la régression entre Q_{max} aux deux stations est sensiblement la même pour toute la période d'observation (gr. 2.4.1.3.1.). La figure suivante (2.4.1.3.2.) ne diffère pas de celui de TOSSAYE (2.3.2.) et il n'y apparaît pas de variation nette au niveau des Q_{max} .

4.1.4.1.4. VARIATIONS D'AMORTISSEMENT A NIAMEY

Il existe une évolution de la variation d'amortissement entre ANSONGO et NIAMEY, elle est traduite sur la figure 2.4.1.4.1. par la présence de deux droites de régression représentant les relations entre Q_{max} à NIAMEY et ANSONGO pour la période antérieure à 1963 et celle postérieure à 1965. Il semble qu'il y ait une amplification du phénomène de détàbilisation de l'amortissement depuis 1966 bien que le détàrage de la station d'ANSONGO n'apparaisse qu'en 1974.

Cette détàbilisation ne peut pas avoir une importance majeure, les effets de stockage et de déstockage étant très limités dans le bief ANSONGO - NIAMEY, le lit majeur et les plaines d'inondation étant trop limités.

La figure 2.3.3 mentionnée au paragraphe 2.3. montre l'évolution du débit maximal en fonction du volume de la crue au cours de toute la période d'observation.

Depuis 1966 le rapport $Q_{moy.}/Q_{max}$ suit la même droite de régression.

4.2. INTERPRETATION

A la suite des analyses et constatations présentées dans les chapitres précédents il nous est possible de conclure sur plusieurs points intéressants :

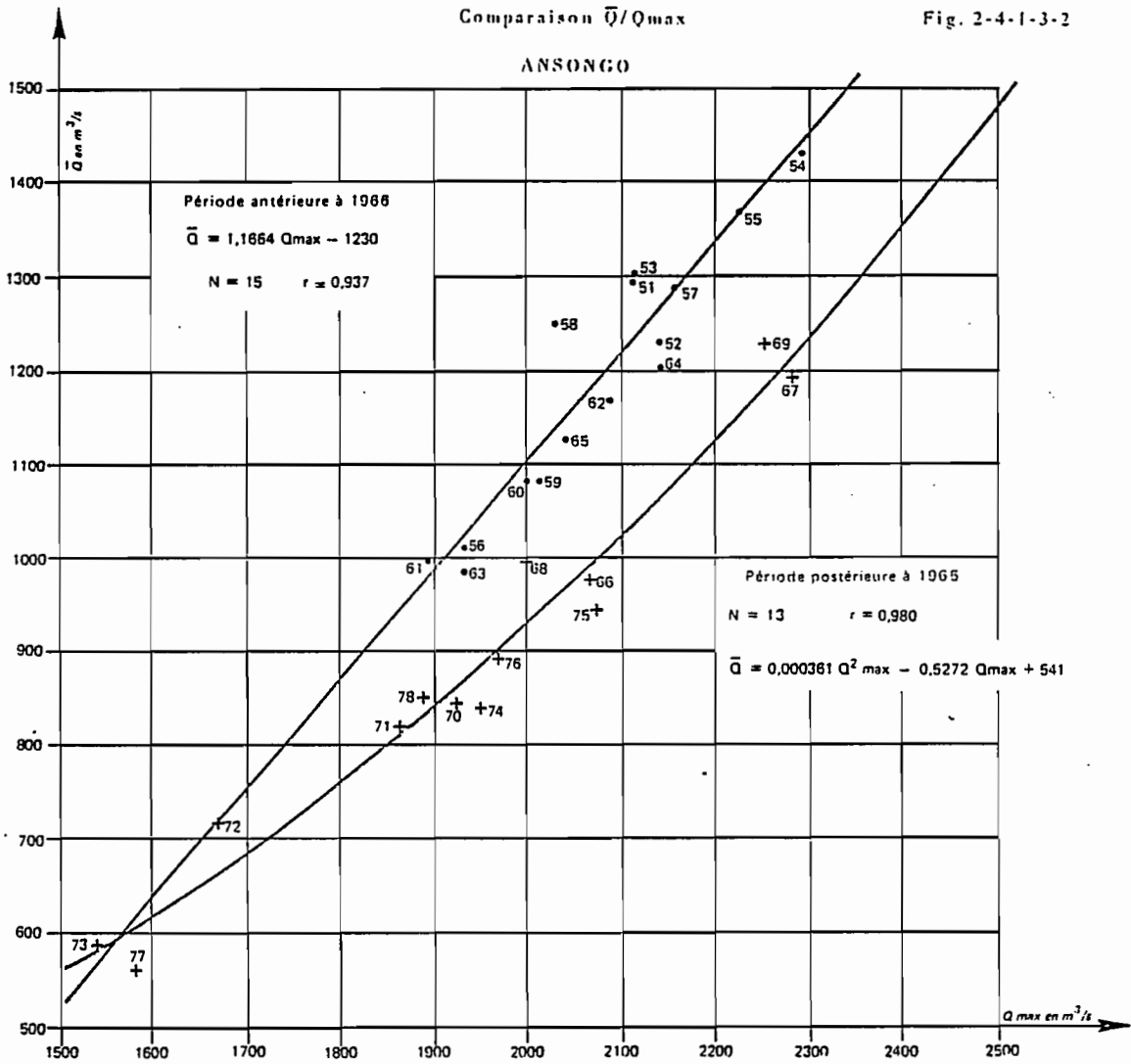
- Durant la période antérieure à 1962 le régime hydraulique du fleuve était stable, avec un équilibre bien défini, les crues se propageant à travers le DELTA CENTRAL et à l'aval toujours de la même manière. Le rapport Q_{max}/Q_{moyen} suivait une régression linéaire qui est restée la même jusqu'à la crue 1962.
- De 1962 à 1965 nous assistons à un changement de cet équilibre hydraulique, changement progressif qui traduit une variation lente de l'amortissement des crues à l'aval du seuil de TONDIFARMA. Pour un même volume entrant le dévit maximal est de plus en plus fort, le rapport Q_{max}/Q_{moyen} ne suit plus la régression précédente.
- A partir de 1966 un nouvel équilibre s'instaure, les crues transitent de la même manière et le rapport Q_{max}/Q_{moyen} suit une nouvelle fonction de régression linéaire.

Les équations établies dans le chapitre précédent, équations qui traduisent l'équilibre hydraulique actuel, nous permettent de calculer les valeurs des débits et hauteurs extrêmes en fonction des volumes de crue entrant dans le DELTA CENTRAL.

Les paramètres qui intéressent les Aménageurs sont la FORME de l'HYDROGRAMME et les VALEURS MAXIMALES de la HAUTEUR et éventuellement du DEBITS.

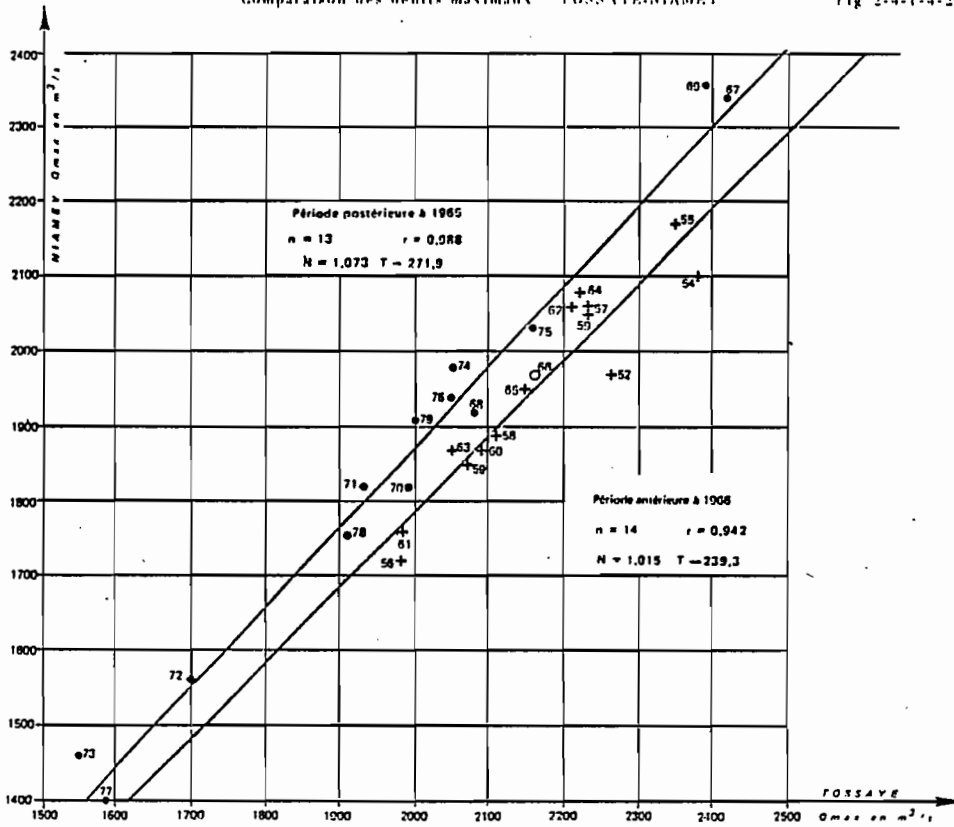
Comparaison \bar{Q}/Q_{max}

Fig. 2-4-1-3-2



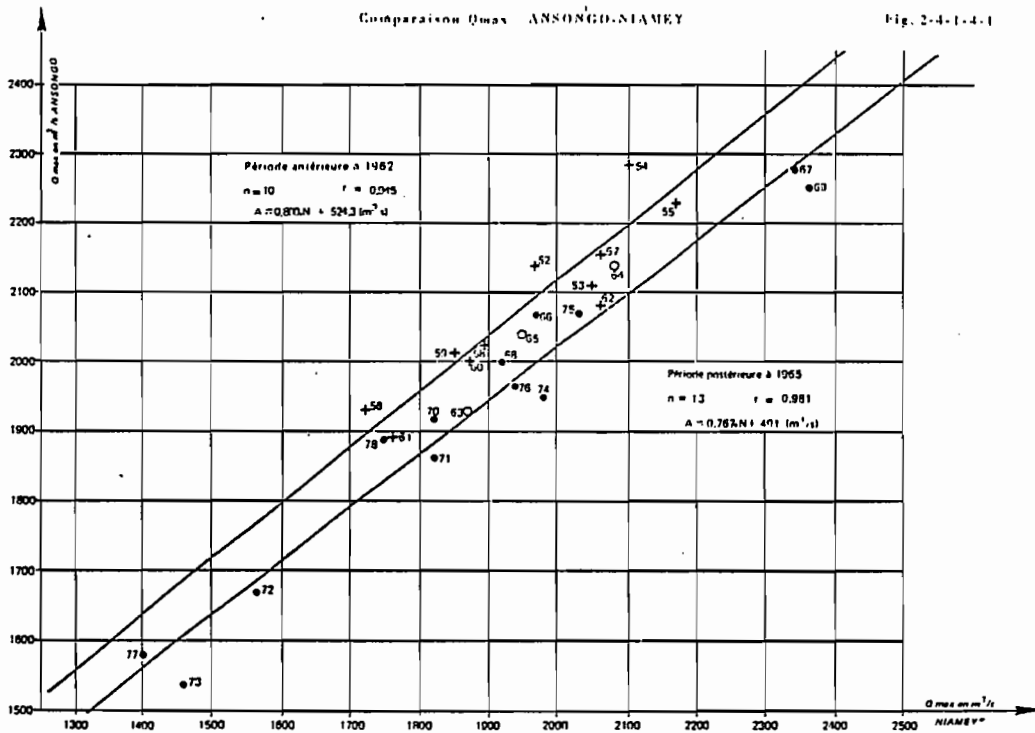
Comparaison des débits maximaux TOSSAYE-NIAMEY

Fig. 2-4-1-4-2



Comparaison Q_{max} ANSONGO-NIAMEY

Fig. 2-4-1-4-1



4.2.1. MODULES

Les modules, dans la partie aval du DELTA et dans le bief TOSSAYE - NIAMEY, sont fonction des modules à KOULIKORO et DOUMA et ceci pour toute la période des observations.

La célérité de l'onde de crue ne dépend pratiquement que de ces modules d'entrée. Les autres paramètres intervenant dans la propagation ont des effets non significatifs.

En conséquence nous considérons que l'analyse statistique conduite à l'aide des observations directes est parfaitement valable dans l'équilibre actuel et nous n'apporterons aucune modification aux résultats présentés dans le chapitre "Etude statistique des MODULES".

4.2.2. DEBITS MAXIMAUX.

Nous avons établi dans les chapitres précédents que les débits maximaux étaient liés aux modules correspondants par de nouvelles régressions depuis 1966.

L'évaluation des débits maximaux en fonction de leur période de retour doit être effectuée en analysant des échantillons modifiés de façon à ce qu'ils correspondent à l'équilibre actuel.

Pour chaque station étudiée nous disposons d'une correspondance entre Q_{max} dans l'ancien et le nouveau régime par le biais du module correspondant, celui-ci ne changeant pas quel que soit l'équilibre. Les équations ci-dessous traduisent ces correspondances. L'indice (1) représente les valeurs enregistrées dans le 1er équilibre et (2) celles qui auraient dû être observées si les modules correspondants étaient intervenus dans le deuxième équilibre.

$$\begin{aligned} \text{DIRE} & : Q_2 = 1,186 \cdot Q_1 - 304,4 \\ \text{TOSSAYE} & : Q_2 = 1,614 \cdot Q_1 - 1092,3 \\ \text{ANSONGO} & : Q_2 = 730,2 + 1385,04 \cdot (0,0001684 \cdot Q_1 - 2,27885)^{0,5} \\ \text{NIAMEY} & : Q_2 = 1,248 \cdot Q_1 - 190,6 \\ & " \quad Q_1 = 0,801 \cdot Q_2 + 152,7 \end{aligned}$$

Les paramètres Q sont exprimés en m^3/s .

A DIRE la modification de régime n'apparaît pas dans l'analyse des hauteurs maximales, elle apparaît faiblement dans celle des débits maximaux.

A toutes les autres stations situées plus à l'aval, la modification entraîne des variations importantes des H_{max} et des Q_{max} pour les mêmes périodes de retour.

Les tableaux 2.2.1. , 2.2.2. et 2.2.3. contiennent les échantillons de valeurs qui correspondent à l'équilibre actuel. Ces échantillons ont été obtenus en modifiant les valeurs observées durant la période antérieure à 1966 à l'aide des équations de régressions ci-dessus.

Nous avons ajusté des distributions exponentielles généralisées sur ces échantillons après classement . Le tableau 2.2.5. contient les résultats de ces ajustements. Le tableau 2.2.4. contient les paramètres des ajustements.

Afin de chiffrer les effets du changement de régime sur les valeurs extrêmes, nous avons effectué l'analyse contenue dans les tableaux 2.2.6. et 2.2.7. . Il s'agit d'évaluer les écarts entre H_{max} introduits par le changement de régime. Nous avons comparé les valeurs des H_{max} évaluées à partir de trois échantillons de Q_{max} , les H_{max} étant obtenues à partir des Q_{max} en utilisant la courbe d'étalonnage bi-univoque de NIAMEY.

- Le premier échantillon correspond à l'ancien équilibre, les valeurs observées avant 1966 sont conservées, les suivantes sont modifiées en utilisant l'équation de régression :

$$Q_1 = 0,801 \cdot Q_2 + 152,7 \quad (\text{en } m^3/s)$$

Cette équation donne la valeur du débit maximal dans l'ancien régime en fonction du débit observé (dans le nouvel équilibre), ces deux valeurs du Qmax correspondant au même module.

- Le deuxième échantillon correspond aux observations réelles.
- Le troisième correspond au nouvel équilibre, nous avons fait l'opération inverse du premier, les observations postérieures à 1965 sont conservées, les autres sont modifiées par la régression inverse :

$$Q_2 = 1,248 \cdot Q_1 - 190,6 \quad (\text{en m}^3/\text{s})$$

Nous constatons que les écarts entre ancien et nouvel équilibre sont importants, ils sont compris entre 30 et 40 cms. La crue médiane dans le nouvel équilibre correspond à la crue décennale forte de l'ancien régime, quant à la crue de cette fréquence du nouveau régime elle est supérieure de 5 cms à la crue millénaire de l'ancien régime.

TABLEAU 1.1.

VARIATIONS D'ETALONNAGES

STATIONS :	TONKA	D (%)	DIRE	D (%)	TOSSAYE	D (%)	ANSONGO	D (%)
(1)	(2)	(3)	(2)	(3)	(2)	(3)	(2)	(3)
500	604	+ 20,8	698	+ 39,6	576	+ 15,2	529	+ 5,8
1.000	1.231	+ 23,1	1.243	+ 24,3	1.072	+ 7,2	1.037	+ 3,7
1.500	1.774	+ 18,3	1.766	+ 17,7	1.578	+ 5,2	1.604	+ 6,9
2.000	2.249	+ 12,5	2.304	+ 15,2	2.092	+ 4,6	2.199	+ 9,9
Dates des détarages	Juin 1974		Juin 1964 à Juin 1974		Juin 1974		Juin 1974	

Colonnes (1) = Débits univoques correspondant au premier équilibre hydraulique (avant 1964 pour DIRE), ces débits correspondent au régime uniforme.

(2) = Débits dans l'équilibre nouveau. Ils correspondent aux mêmes cotes en régime uniforme, donc à la nouvelle courbe moyenne (bi univoque).

(3) = Ecart en % entre les débits correspondants (ancien et nouvel équilibre).

STATIONS PRINCIPALES DU DELTA INTERIEUR
DEBITS MAXIMAUX ET MODULES (exprimés en m3/s)

ANNEES	MOPTI		DIRE		TOSSAYE		ANSONGO		NIAMEY	
	Q	Qmax	Q	Qmax	Q	Qmax	Q	Qmax	Q	Qmax
1924			1.410	2.680						
25			1.500	2.730						
26			1.080	2.220						
27			1.370	2.580						
28			1.410	2.730						
29			1.460	2.720						
1930			1.270	2.430						
31			1.140	2.250						
32			1.200	2.330						
33			1.200	2.340						
34	1.135	3.160	950	2.120						
35	1.285	3.390	1.050	2.230						
36	1.490	3.610	1.260	2.420						
37			910	2.060						
38			1.050	2.260						
39			995	2.120						
1940			810	1.860						
41			852	1.950						
42			750	1.820						
43	966	3.040	850	2.040						
44	805	2.720	700	1.850						
45	1.170	3.340	960	2.120						
46	1.275	3.400	1.090	2.240						
47	895	2.970	790	1.950						
48	1.040	2.940	987	2.120						
49			921	2.040						
1950	1.270	3.520	1.140	2.370	1.080	2.030				
51	1.580	3.560	1.415	2.540	1.310	2.230	1.296	2.110		
52	1.480	3.640	1.320	2.530	1.240	2.260	1.230	2.140	1.200	1.970
53	1.560	3.800	1.420	2.580	1.300	2.230	1.302	2.110	1.250	2.050
54	1.700	3.800	1.520	2.680	1.460	2.380	1.428	2.280	1.320	2.100
55	1.620	3.790	1.480	2.670	1.410	2.350	1.368	2.230	1.300	2.170
56	1.160	3.270	1.060	2.260	1.030	1.980	1.012	1.930	968	1.720
57	1.545	3.790	1.440	2.660	1.320	2.230	1.289	2.150	1.210	2.060
58	1.430	3.460	1.320	2.350	1.240	2.110	1.250	2.030	1.200	1.890
59	1.220	3.385	1.110	2.300	1.070	2.070	1.082	2.014	1.020	1.850
1960	1.295	3.390	1.170	2.370	1.120	2.090	1.083	2.000	1.040	1.870
61	1.170	3.415	1.050	2.360	965	1.980	997	1.890	943	1.760
62	1.350	3.490	1.280	2.520	1.180	2.210	1.170	2.080	1.140	2.060
63	1.182	3.275	1.090	2.320	1.010	2.050	984	1.930	951	1.870
64	1.455	3.605	1.320	2.550	1.220	2.220	1.205	2.140	1.200	2.080
65	1.250	3.265	1.190	2.390	1.120	2.150	1.128	2.040	1.090	1.950
66	1.145	3.270	1.080	2.320	1.000	2.160	977	(2.070)	944	1.970
67	1.395	3.665	1.340	2.710	1.240	2.420	1.194	(2.280)	1.240	2.340
68	1.100	2.925	1.120	2.280	1.030	2.080	996	(2.000)	966	1.920
69	1.325	3.260	1.320	2.610	1.230	2.390	1.230	(2.250)	1.210	2.360
1970	948	3.070	914	2.130	893	1.990	845	(1.920)	804	1.820
71	866	2.925	893	2.220	851	1.930	820	(1.860)	796	1.820
72	689	2.190	793	1.890	(860)	1.700	(720)	1.670	711	1.560
73	562	3.210	626	1.700	586	1.550	589	1.540	588	1.460
74	894	2.915	946	2.340	867	2.050	838	1.950	871	1.980
75	982	3.055	1.040	2.390	969	2.160	946	2.070	936	2.030
76	954	2.665	1.070	2.260	981	2.080	893	(1.970)	931	1.940
77	551	2.205	647	1.810	588	1.590	562	1.580	565	1.400
78	858	2.650	962	2.180	873	1.910	853	1.890	828	1.750
79				2.300		2.000				1.910

TABLEAU n° 1.2.

COMPARAISON DES MODULES ENTRANT ET SORTANT
DE LA CUVETTE LACUSTRE

MODULES : ANNEES :	TOSSAYE	KOULIKORO + DOUNA	KE MACINA + BENENI KEGNY
1954	1.457	2.983	2.753
55	1.408	2.881	2.682
56	1.026	1.893	1.796
57	1.320	2.868	2.620
58	1.245	2.342	2.207
59	1.072	2.127	1.943
1960	1.116	2.294	2.140
61	965	1.890	1.783
62	1.180	2.465	2.256
63	1.013	2.058	1.942
64	1.219	2.486	2.344
65	1.122	2.052	1.945
66	1.004	2.009	1.849
67	1.236	2.707	2.400
68	1.033	1.899	1.783
69	1.234	2.654	2.431
1970	893	1.670	1.578
71	851	1.670	1.580
72	860	1.300	1.194
73	586	1.087	985
74	867	1.746	1.594
75	969	1.914	1.732
76	981	1.742	1.585
77	588	998	883
78	873	1.507	1.424

Les modules sont exprimés en m³/s.

Pour passer aux volumes en milliards de m³, multiplier par $3,1536 \cdot 10^{-2}$.

TABLEAU n° 1.3.2.

COMPARAISON DES DEBITS MAXIMAUX ET MOYENS

Q moyens (m ³ /s) (3)	DIRE		D (%)	TOSSAYE		D (%)	NIAMEY		D (%)
	(1)	(2)	(4)	(1)	(2)	(4)	(1)	(2)	(4)
750	1.860	1.900	+ 2,2	1.765	1.800	+ 2,0	1.508	1.687	+ 11,9
1.000	2.155	2.245	+ 4,2	1.990	2.125	+ 6,8	1.805	2.057	+ 14,0
1.250	2.450	2.590	+ 5,9	2.210	2.455	+11,1	2.102	2.428	+ 15,5
1.500	2.740	2.935	+ 7,1						

Colonnes (3) = Débit moyen journalier correspondant à l'année hydrologique (valable pour toute la période).

(1) = Débit maximal dans le premier équilibre (avant 1966).

(2) = " " dans le nouvel équilibre (à partir de 1966).

(4) = Ecart en % entre Q_{max} correspondant à l'ancien et au nouvel équilibre pour le même module de la colonne (3).

TABLEAU n° 2.2.7.

STATION DE NIAMEY

HAUTEURS MAXIMALES DANS LES DIVERS REGIMES :

(0) Ancien équilibre hydraulique.

$$D1 = H_{max}(2) - H_{max}(0)$$

(1) Echantillon observé.

$$D2 = H_{max}(2) - H_{max}(1)$$

(2) Nouvel équilibre.

Période de retour (en années)	H _{max} (0) (cms)	D1 (cms)	H _{max} (1) (cms)	H _{max} (2) (cms)	D2 (cms)
1000	549	+ 39	560	588	+ 28
500	546	+ 38	557	584	+ 27
200	542	+ 38	552	580	+ 28
100	538	+ 37	548	575	+ 27
50	533	+ 37	544	570	+ 26
20	526	+ 36	536	562	+ 26
10	519	+ 35	530	554	+ 24
5	510	+ 34	521	544	+ 23
2	488	+ 31	500	519	+ 19
5	461	+ 27	476	488	+ 12
10	443	+ 24	462	467	+ 5

TABLEAU 1.4.1.

REGRESSION MULTIPLE DES MODULES DE MOPTI
AVEC CEUX DE KOULIKORO ET DOUNA

D = Q observé MOPTI - Q calculé MOPTI en m3/s et en % du débit observé -.

ANNEES	Qobs.	Qcalc.	D (m3/s)	D (%)
1950/51	1.268	1.270	- 2	- 0,2
51/52	1.581	1.602	- 20	- 1,3
52/53	1.481	1.450	+ 31	+ 2,1
53/54	1.562	1.575	- 13	- 0,8
54/55	1.702	1.683	+ 18	+ 1,1
55/56	1.619	1.613	+ 6	+ 0,4
56/57	1.160	1.106	+ 54	+ 4,7
57/58	1.545	1.580	- 35	- 2,3
58/59	1.429	1.402	+ 27	+ 1,9
59/60	1.221	1.215	+ 6	+ 0,5
1960/61	1.296	1.239	+ 17	+ 1,3
61/62	1.169	1.159	+ 10	+ 0,9
62/63	1.350	1.305	+ 45	+ 3,3
63/64	1.182	1.145	+ 38	+ 3,2
64/65	1.457	1.479	- 22	- 1,5
65/66	1.249	1.179	+ 70	+ 5,6
66/67	1.144	1.151	- 7	- 0,6
67/68	1.393	1.484	- 91	- 6,6
68/69	1.098	1.59	+ 39	+ 3,6
69/70	1.324	1.356	- 32	- 2,4
1970/71	948	1.018	- 70	- 7,4
71/72	866	925	- 59	- 6,8
72/73	686	693	- 4	- 0,6
73/74	562	616	- 54	- 9,7
74/75	894	924	- 30	- 3,4
75/76	982	1.007	- 25	- 2,5
76/77	964	883	+ 71	+ 7,5
77/78	551	586	- 35	- 6,3
78/79	858	791	+ 67	+ 7,9

Taille échantillon N = 29

r = 0,991

$$Q_{\text{MOPTI}} = 0,910 \cdot Q_{\text{DOUNA}} + 0,331 \cdot Q_{\text{KOUL.}} + 164$$

(en m3/s)

D = DOUNA

K = KOULIKORO

TABLEAU 2.2.6.

STATION DE NIAMEY

Etude de l'ancien équilibre hydraulique. L'échantillon observé est modifié pour la période postérieure à 1965. Les valeurs du débit maximal devenant:

$$Q_1 = 0,801 \cdot Q_2 + 152,7 \quad (\text{en m}^3/\text{s})$$

Cette équation est l'inverse de la précédente. Les valeurs du Q_{\max} entre parenthèses sont issues de la modification .

r	ANNEES	Q max
1	1955	2.170
2	1954	2.100
3	1964	2.080
4	1962	2.060
5	1957	2.060
6	1953	2.050
7	1969	(2.044)
8	1967	(2.028)
9	1952	1.970
10	1965	1.950
11	1958	1.890
12	1960	1.870
13	1963	1.870
14	1959	1.850
15	1975	(1.779)
16	1961	1.760
17	1974	(1.739)
18	1966	(1.731)
19	1956	1.720
20	1976	(1.707)
21	1968	(1.691)
22	1979	(1.683)
23	1970	(1.611)
24	1971	(1.611)
25	1978	(1.555)
26	1972	(1.403)
27	1973	(1.323)
28	1977	(1.275)

Paramètres de la Loi Exponentielle Généralisée ajustée à l'échantillon ci-contre :

$$Q_{\max} = 1.806 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s_{Q_{\max}} = 237,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\gamma_1 = -0,53692$$

$$\gamma_2 = 2,60671$$

$$\delta = 0,12424$$

$$s = 1.712,4$$

$$x_0 = 193,2$$

Les valeurs atteintes par la hauteur maximale annuelle sont calculées à partir de l'étude statistique des débits maximaux par le biais de la courbe d'étalonnage, celle-ci étant bi-univoque -.

TABLEAU 2.2.5.

DEBITS MAXIMAUX

- Estimation des débits maximaux en fonction de leur période de retour (en années) - Ajustement d'une distribution exponentielle généralisée -.

Période de retour en années	DIRE		TOSSAYE		ANSONGO		NIAMEY		
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(0)
1.000	3.000	3.290	2.540	2.970	2.410	2.620	2.480	2.765	2.370
500	2.960	3.240	2.520	2.930	2.390	2.595	2.450	2.730	2.340
200	2.900	3.160	2.490	2.870	2.360	2.560	2.400	2.680	2.300
100	2.850	3.100	2.460	2.820	2.340	2.530	2.365	2.630	2.265
50	2.800	3.030	2.430	2.760	2.310	2.490	2.320	2.580	2.220
20	2.710	2.910	2.380	2.670	2.265	2.430	2.250	2.500	2.155
10	2.630	2.810	2.330	2.580	2.220	2.380	2.190	3.420	2.095
5	2.530	2.680	2.260	2.470	2.160	2.300	2.105	2.320	2.010
2	2.310	2.410	2.110	2.230	2.030	2.130	1.930	2.090	1.830
5	2.080	2.120	1.920	1.960	1.860	1.920	1.735	1.825	1.615
10	1.950	1.960	1.810	1.810	1.760	1.780	1.620	1.665	1.490
20	1.850	1.840	1.700	1.680	1.660	1.660	1.530	1.530	1.375
50	1.735	1.705	1.565	1.535	1.540	1.510	1.425	1.365	1.250
100	1.660	1.620	1.470	1.440	1.455	1.400	1.355	1.260	1.160
200	1.600	1.550	1.380	1.355	1.370	1.300	1.295	1.160	1.080
500	1.530	1.470	1.270	1.250	1.270	1.175	1.230	1.040	985
1.000	1.490	1.425	1.185	1.195	1.195	1.080	1.180	955	919

(1) échantillon observé (2) échantillon modifié (équilibre actuel) -.

TABLEAU 2.2.4.

VARIATIONS DES DEBITS MAXIMAUX

Ajustement de la distribution exponentielle généralisée aux échantillons observés et modifiés (équilibre actuel).

STATIONS :	DIRE		TOSSAYE		ANSONGO		NIAMEY		
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	
N	56	56	30	30	28	28	28	28	Taille échantillon
$Q_{max}(m^3/s)$	2.300	2.376	2.005	2.209	2.005	2.101	1.916	2.064	
σ	265	313	211	301	187	239	220	297	
γ_1	- 0,21451	- 0,11992	- 0,80064	- 0,36028	- 0,82824	- 0,79817	- 0,34031	- 0,54066	Coef. d'asymétrie
γ_2	2,40037	2,35346	3,67105	2,70878	3,57038	2,98991	3,48396	2,61708	" d'aplatissement
δ	0,20847	0,23099	0,06390	0,17020	0,05813	0,06442	0,17571	0,12331	Paramètres de la D.G.
s	1.199	1.374	2.774	1.642	2.694	3.125	1.169	2.151	
x_0	1.203	1.145	- 597,5	608	- 607,5	- 920	835,5	32,2	

TABLEAU n° 2.2.2.

DEBITS MAXIMAUX EN ORDRE CHRONOLOGIQUE
 (CORRESPONDANCE AVEC L'EQUILIBRE ACTUEL)
 (Q_{max} en m³/s)

ANNEE	TOSSAYE	ANSONGO	NIAMEY
1950	2.180		
51	2.510	2.300	
52	2.550	2.320	2.270
53	2.510	2.300	2.370
54	2.750	2.460	2.430
55	2.700	2.410	2.520
56	2.110	2.100	1.960
57	2.510	2.340	2.380
58	2.310	2.210	2.170
59	2.250	2.190	2.120
1960	2.260	2.180	2.140
61	2.100	2.050	2.010
62	2.470	2.270	2.380
63	2.220	2.100	2.140
64	2.490	2.320	2.400
65	2.380	2.220	2.240
66	2.160	2.070	1.970
67	2.420	2.280	2.340
68	2.080	2.000	1.920
69	2.390	2.250	2.360
1970	1.990	1.920	1.820
71	1.930	1.860	1.820
72	1.700	1.670	1.560
73	1.550	1.540	1.460
74	2.050	1.950	1.980
75	2.160	2.070	2.030
76	2.050	1.970	1.940
77	1.590	1.580	1.400
78	1.910	1.890	1.750
1979	2.000		1.910

TABLEAU 2.2.1.

DIRE

Débits maximaux classés (après modification appliquée aux valeurs observées avant 1966) :

$$Q_{2max} = 1,186 \cdot Q_{1max} - 304,4 \quad (m^3/s)$$

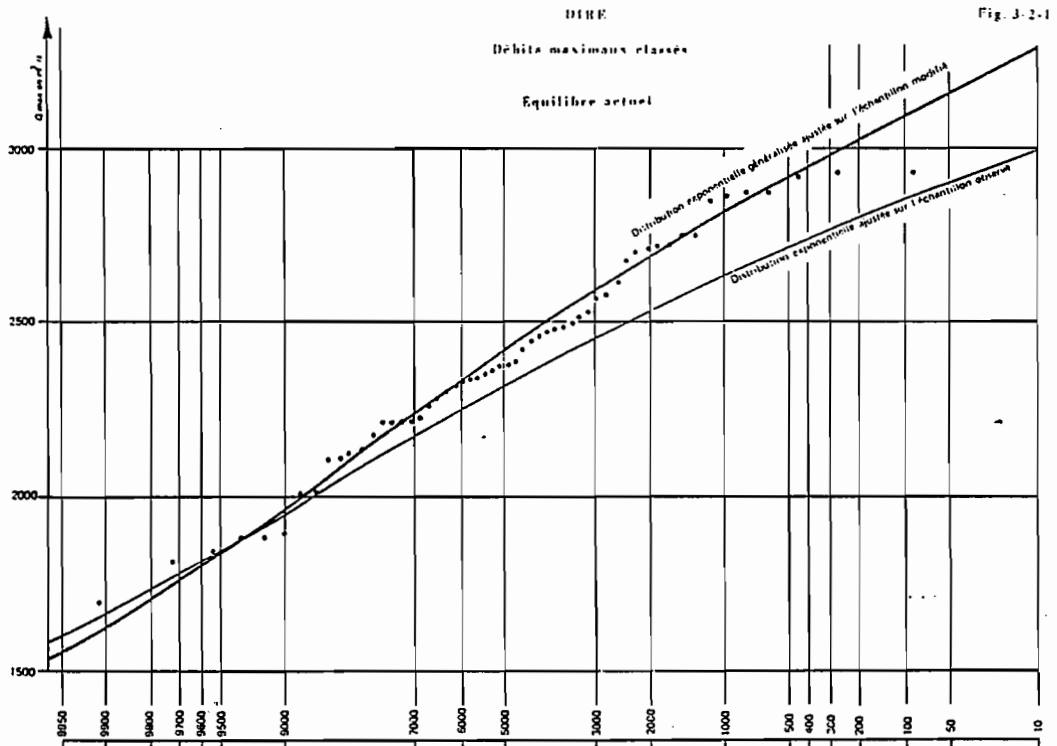
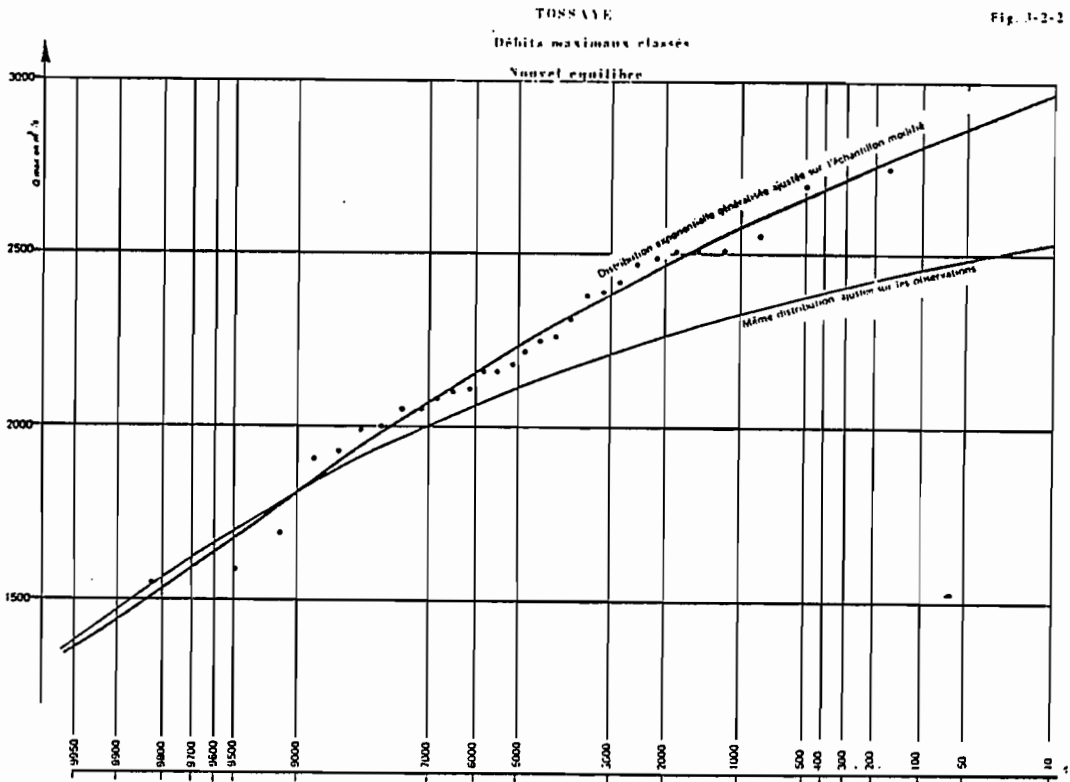
Q_{2max} = débit maximal dans le deuxième équilibre correspondant au même module que celui du Q_{1max} observé -.

r	F	an	Qmax
1	0,009	1925	2.930
2	0,027	1928	2.930
3	0,045	1929	2.920
4	0,063	1924	2.870
5	0,080	1954	2.870
6	0,098	1955	2.860
7	0,116	1957	2.850
8	0,134	1953	2.750
9	0,152	1927	2.750
10	0,170	1964	2.720
11	0,188	1951	1.710
12	0,205	1967	2.710
13	0,223	1952	2.700
14	0,241	1962	2.680
15	0,259	1969	2.610
16	0,277	1930	2.580
17	0,295	1936	2.570
18	0,313	1965	2.530
19	0,330	1960	2.510
20	0,348	1950	2.510
21	0,366	1961	2.490
22	0,384	1958	2.480
23	0,402	1933	2.470
24	0,420	1932	2.460
25	0,438	1963	2.450
26	0,455	1959	2.420
27	0,473	1975	2.390
28	0,491	1956	2.380

r	F	an	Qmax
29	0,509	1938	2.380
30	0,527	1931	2.360
31	0,545	1946	2.350
32	0,563	1935	2.340
33	0,580	1974	2.340
34	0,598	1926	2.330
35	0,616	1966	2.320
36	0,634	1979	2.300
37	0,652	1968	2.280
38	0,670	1976	2.260
39	0,688	1971	2.220
40	0,705	1945	2.210
41	0,723	1939	2.210
42	0,741	1934	2.210
43	0,759	1948	2.210
44	0,777	1978	2.180
45	0,795	1937	2.140
46	0,813	1970	2.130
47	0,830	1943	2.110
48	0,848	1949	2.110
49	0,866	1947	2.010
50	0,884	1941	2.010
51	0,908	1940	1.900
52	0,920	1944	1.890
53	0,938	1972	1.890
54	0,955	1942	1.850
55	0,973	1977	1.810
56	0,991	1973	1.700

- Les Qmax sont exprimés en m³/s.

- Les valeurs "observées" après 1965 ont été conservées puisque étant comprises dans la période du nouvel équilibre -.



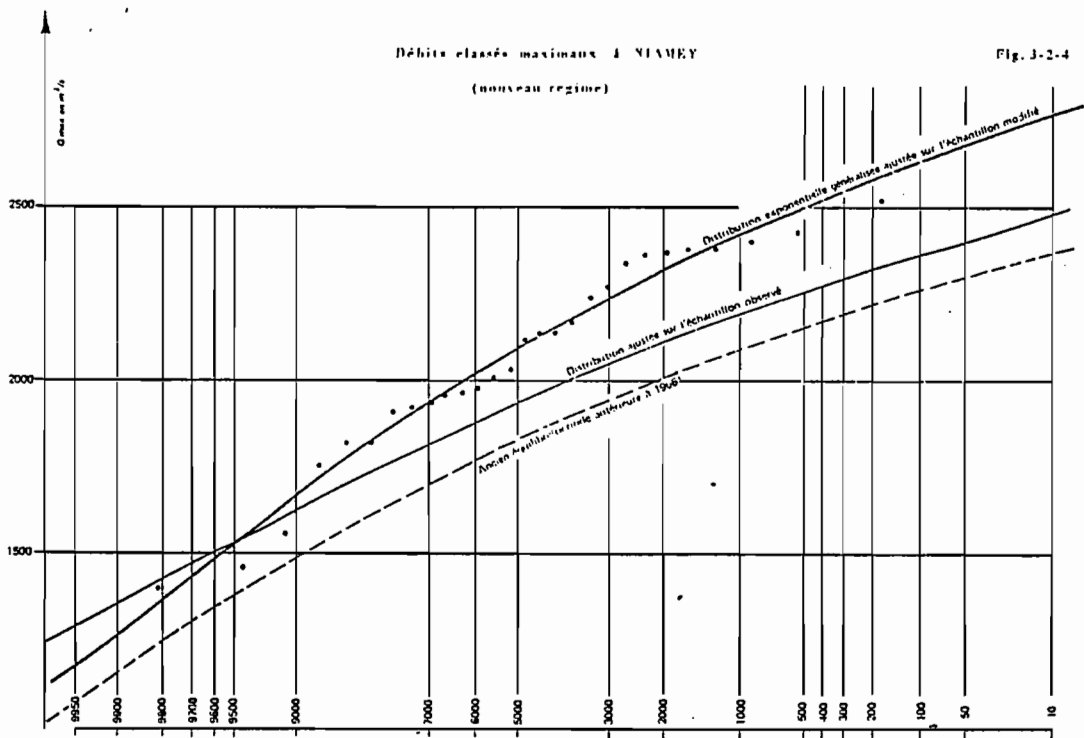
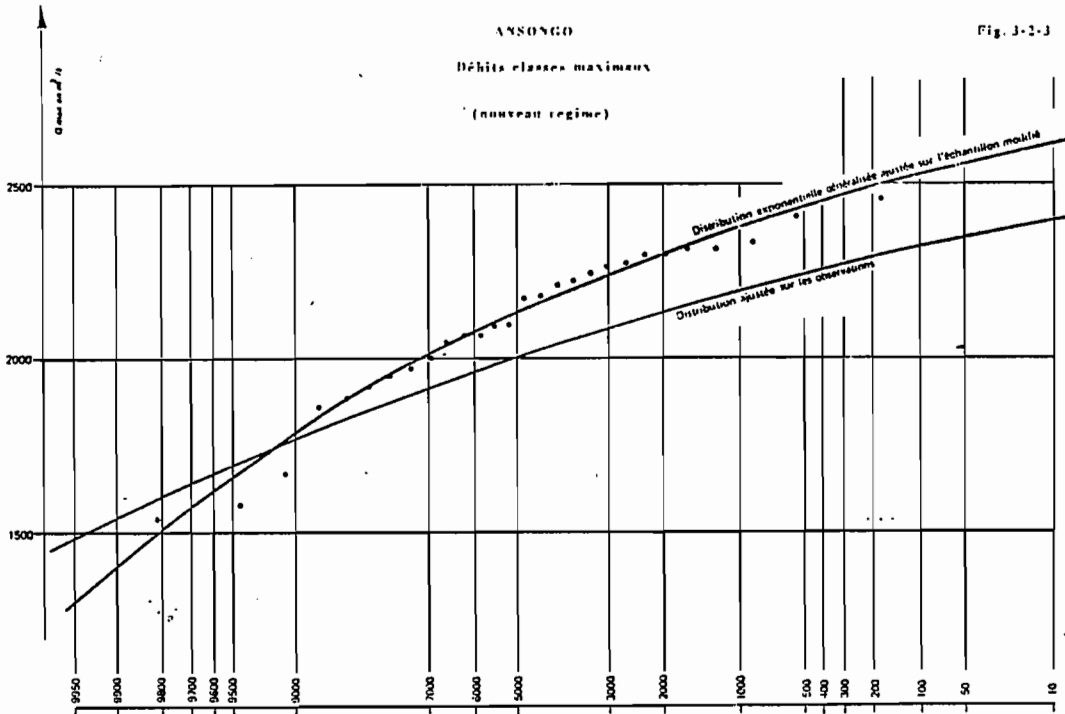


TABLEAU n° 2.2.3.

DEBITS MAXIMAUX CLASSES MODIFIES POUR LA PERIODE ANTERIEURE A 1966

r	F	TOSSAYE		F	ANSONGO		NIAMEY	
		an	Qmax		an	Qmax	an	Qmax
1	0,017	1954	2.750	0,018	1954	2.460	1955	2.520
2	0,050	55	2.700	0,054	55	2.410	54	2.430
3	0,050	52	2.550	0,089	57	2.340	64	2.400
4	0,117	57	2.510	0,125	52	2.320	62	2.380
5	0,150	53	2.510	0,161	64	2.320	57	2.380
6	0,183	51	2.510	0,196	51	2.300	53	2.370
7	0,217	64	2.490	0,232	53	2.300	69	2.360
8	0,250	62	2.470	0,268	67	2.280	67	2.340
9	0,283	67	2.420	0,304	62	2.270	52	2.270
10	0,312	69	2.390	0,339	69	2.250	65	2.240
11	0,350	65	2.380	0,375	65	2.220	58	2.170
12	0,383	58	2.310	0,411	58	2.210	60	2.140
13	0,417	60	2.260	0,446	59	2.190	63	2.140
14	0,450	59	2.250	0,482	60	2.180	59	2.120
15	0,483	63	2.220	0,518	56	2.100	75	2.030
16	0,517	50	2.180	0,554	63	2.100	61	2.010
17	0,550	75	2.160	0,589	66	2.070	74	1.980
18	0,583	66	2.160	0,625	75	2.070	66	1.970
19	0,617	56	2.110	0,661	61	2.050	56	1.960
20	0,650	61	2.100	0,696	68	2.000	76	1.940
21	0,683	68	2.080	0,732	76	1.970	68	1.920
22	0,717	76	2.050	0,768	74	1.950	79	1.910
23	0,750	74	2.050	0,804	70	1.920	71	1.820
24	0,783	79	2.000	0,839	78	1.890	70	1.820
25	0,817	70	1.990	0,875	71	1.860	78	1.750
26	0,850	71	1.930	0,911	72	1.670	72	1.560
27	0,883	78	1.910	0,946	77	1.580	73	1.910
28	0,917	72	1.700	0,982	1973	1.540	1977	1.400
29	0,950	77	1.590					
30	0,983	1973	1.550					

Qmax exprimés en m3/s -.