

REPUBLIQUE DU NIGER

SOFRELEC

ETUDE DE FACTIBILITE
DU BARRAGE DE KANDADJI

-- == --

H Y D R O L O G I E

D A F E C O

PARIS - mai 1977

S O M M A I R E

- I CADRE HYDROLOGIQUE
- II DONNEES DE BASE
 - II. 1 - NIGER à TOSSAYE
 - II. 2 - NIGER à GAO
 - II. 3 - NIGER à ANSONGO
 - II. 4 - NIGER à KANDADJI
 - II. 5 - NIGER à TILLABERY
 - II. 6 - NIGER à NIAMEY
 - II. 7 - NIGER à MALANVILLE
 - II. 8 - GOROUOL à ALCONGUI
 - II. 9 - GOROUOL à DOLBEL
 - II.10 - DARGOL à KAKASSI
 - II.11 - SIRBA à GARBE-KOUROU
 - II.12 - GOROUBI à DIONGORE
 - II.13 - DIAMANGO à TAMOU
 - II.14 - TAPOA à W
 - II.15 - MEKROU à BAROU
 - II.16 - MEKROU à KOMPONGOU
 - II.17 - ALIBORI à la route KANDI-BANIKOUARA
- III REGIME DU NIGER à KANDADJI
 - III.1 - débits mensuels
 - III.2 - modules
 - III.3 - crues
 - III.4 - étiages
- IV EVAPORATION SUR LA RETENUE DE KANDADJI
 - IV.1 - données disponibles
 - IV.2 - estimation de l'évaporation sur la retenue
 - IV.3 - estimation des pertes nettes sur la retenue
- V ELABORATION DES DONNEES HYDROLOGIQUES POUR LE MODELE DE SIMULATION
 - V.1 - apports dans la retenue de KANDADJI (A1)
 - V.2 - apports intermédiaires (AC3)
- VI SEDIMENTATION DANS LA RETENUE DE KANDADJI
 - VI.1 - apports solides à KANDADJI
 - VI.2 - sédimentation dans la retenue de KANDADJI

ANNEXE 1 : TABLEAUX DES DEBITS MOYENS MENSUELS OBSERVES :

A1	NIGER à TOSSAYE
A2	NIGER à ANSONGO
A3	NIGER à NIAMEY
A4	NIGER à MALANVILLE
A5	GOROUOL à ALCONGUI
A6	GOROUOL à DOLBEL
A7	DARGOL à KAKASSI
A8	SIRBA à GARBE-KOUROU
A9	GOROUBI à DIONGORE
A10	DIAMANGOUE à TAMOU
A11	TAPOA à W
A12	MEKROU à BAROU
A13	MEKROU à KOMPONGOU
A14	ALIBORI à route K-B
A15	SOTA à COUBERI

ANNEXE 2 : BIBLIOGRAPHIE HYDROLOGIQUE

* *

*

Par convention du 25 janvier 1977 SOFRELEC a chargé la Direction des Affaires Extérieures et de la Coopération (DAFECO) de quelques études particulières concernant le projet d'aménagement de KANDADJI (République du NIGER).

Ces études bien que menées simultanément ont été regroupées en 2 opérations distinctes :

- d'une part, les études complémentaires permettant l'actualisation des connaissances déjà acquises en matière d'hydrologie et de climatologie et leur application aux problèmes particuliers que posent un tel aménagement.
- d'autre part, l'élaboration d'un modèle mathématique permettant de simuler la confrontation des ressources (apports en eau) aux besoins à satisfaire (demandes pour l'agriculture, l'énergie électrique et la navigation) selon les différentes hypothèses d'exploitation de la retenue.

Nous ne rendons compte ici que des études relatives à l'hydrologie et à la climatologie effectuées par DAFECO en y incluant la préparation des données hydrologiques pour le modèle de simulation.

Au préalable, nous faisons les remarques suivantes :

1. Conformément aux termes de référence, il ne s'agit que d'un complément aux études antérieures dont on trouvera la liste dans la bibliographie donnée en Annexe 2.

Ces études complémentaires sont donc orientées avec pour objectif essentiel de fournir les éléments indispensables à l'étude de faisabilité. Il s'agit en particulier :

- de préciser le régime du NIGER, au site même de KANDADJI (apports, crues, étiages)
- d'estimer les pertes par évaporation sur la retenue
- d'estimer la sédimentation des apports solides dans la retenue.

En outre, comme nous l'avons déjà signalé, ces études doivent permettre la mise en forme des séries de données hydrologiques utilisées en entrée dans le modèle de simulation :

- apports dans la retenue et apports complémentaires à l'aval,
- pertes nettes sur la retenue,
- courbe de restitution à l'aval du barrage (relation hauteur/débit à KANDADJI pour les calculs d'énergie),
- modifications à apporter à la courbe capacité/hauteur de la retenue pour un horizon donné, compte tenu de la sédimentation.

2. Parallèlement à ce travail, des mesures complémentaires ont été entreprises sur le terrain par la Mission ORSTOM de NIAMEY :

- mesures hydrométriques au site même de KANDADJI avec mise en place et étalonnage d'une échelle limnimétrique à la fin 1975,
- mesures climatologiques avec installation et exploitation d'une station climatologique au site même en novembre 1976,
- mesures de la turbidité des eaux du NIGER à KANDADJI et du GOROUOL à DOLBEL à partir de juillet 1976.

Les premiers résultats obtenus ont fait l'objet d'une note ORSTOM (Mission au NIGER) datée de mai 1977 et intitulée : "Etude hydrologique du NIGER à KANDADJI - rapport intérimaire par M. HOEPFFNER".

Ces mesures se poursuivent, mais leur exploitation définitive ne sera envisageable que lorsque l'on disposera d'au moins une année complète. Cependant dès à présent nous avons été amenés à utiliser un certain nombre de ces résultats provisoires lorsqu'ils constituaient la seule source d'information disponible, comme par exemple pour les transports solides en suspension.

I - C A D R E H Y D R O L O G I Q U E

L'aménagement prévu à KANDADJI est situé sur le NIGER moyen entre AYOROU et TILLABERY, c'est-à-dire à environ 180 km à l'amont de NIAMEY (voir carte de situation, figure 1).

Les coordonnées géographiques du site sont :

Latitude 14° 37' Nord
Longitude 0° 59' Est
Altitude du lit du fleuve : environ 210 m.

Cet ouvrage étant à objectifs multiples et devant en particulier éventuellement améliorer la navigabilité du NIGER entre TOSSAYE (République du MALI) et YELWA (République du NIGERIA), l'environnement hydrologique concerné s'étend en fait sur la zone du NIGER moyen située entre la cuvette lacustre et l'aval de la confluence du SOKOTO.

Au niveau de TOSSAYE, le régime du NIGER résulte directement de la vidange de la cuvette lacustre. Ensuite, il subit des pertes par évaporation en partie compensées par les affluents voltaïques (GOROUOL, DARGOL et SIRBA) dont le coefficient d'écoulement est relativement faible et influence peu son régime.

Ces affluents provoquent simplement un léger renforcement des débits entre juillet et octobre qui se traduit par les petites pointes de crues observables à NIAMEY.

En aval de NIAMEY, le NIGER reçoit quelques autres affluents voltaïques dont le régime encore sahélien subit une forte influence tropicale (GOROUBI, DIAMANGO et TAPOA). Enfin, il reçoit les affluents dahoméens (MEKROU, ALI-BORI et SOTA) au régime tropical assez pur et dont les apports sont assez importants pour modifier de façon sensible son régime comme on peut le constater au niveau de MALANVILLE.

Les principaux affluents reçus de l'amont vers l'aval entre la cuvette lacustre et YELWA sont :

* En rive droite

1e GOROUOL	bassin de 45 000 km ² , longueur 255 km, terrains cristallins et précambriens.
1e DARGOL	bassin de 72 000 km ² , longueur 212 km, granites et terrains précambriens (schistes et roches vertes).
1a SIRBA	bassin de 38 750 km ² , longueur 460 km, granites et terrains précambriens (schistes et roches vertes).

1e GOROUBI	bassin de 15 500 km ² , longueur 433 km, granites et terrains précambriens (schistes et roches vertes).
1e DIAMANGOU	bassin de 4 400 km ² granites et terrains précambriens (schistes).
1a TAPOA	bassin de 5 500 km ² , longueur 260 km, granites et dolérites en amont, sédimentaire et grés à l'aval.
1e MEKROU	bassin de 10 500 km ² , longueur 500 km, terrains précambriens (gneiss, micaschistes, quartzites), grés et schistes.
1' ALIBORI	bassin de 13 650 km ² , longueur 408 km, granites, terrains précambriens (gneiss).
1a SOTA	bassin de 12 100 km ² , longueur 284 km, granites et gneiss à l'amont, terrains sédimentaires (grés) sur le reste du bassin.

Ces cours d'eau sont dans l'ensemble assez bien observés depuis une vingtaine d'années et nous avons pu disposer de la quasi totalité de l'information qui les concerne.

* En rive gauche

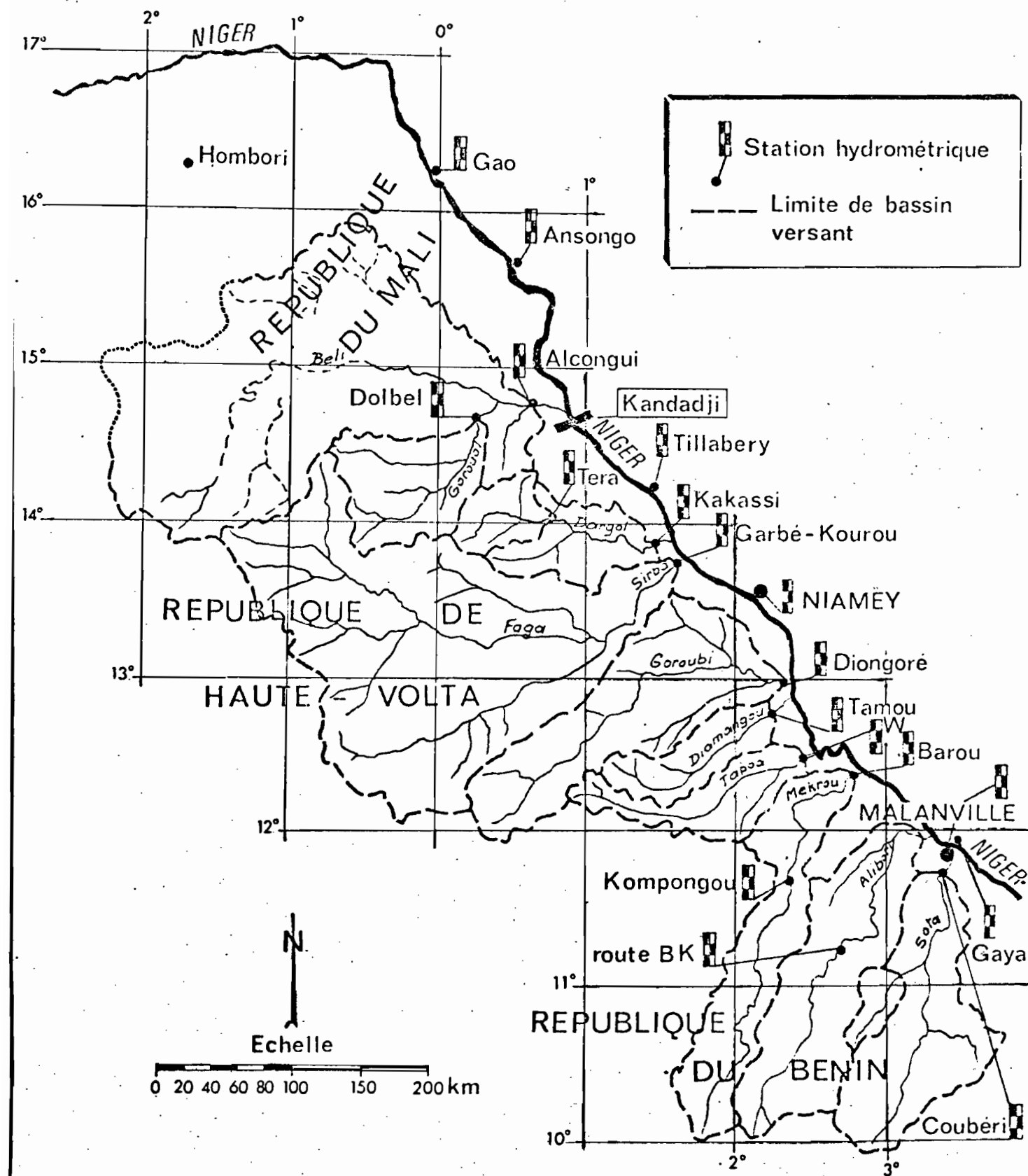
1e SOKOTO	bassin de 88 060 km ² , longueur 620 km, terrains sédimentaires (grés argileux, sables, argiles) quelques zones granitiques sur le haut bassin.
-----------	--

Cet affluent coule sur le territoire du NIGERIA et nous n'avons aucune information directe sur son régime.

Par contre, nous avons quelques données récentes mais de très mauvaise qualité sur les débits du NIGER à l'aval de sa confluence (JIDERE BODE et SABONGARI).

PROJET DE KANDADJI

Situation et équipement hydrométrique



II - DONNEES DE BASE

Pour cette étude, nous avons examiné l'ensemble des données disponibles sur la zone hydrologique concernée par le projet d'aménagement et nous n'avons finalement conservé que l'information indispensable et véritablement exploitable.

Ce choix a été guidé par un double objectif :

- D'une part établir les séries de données homogènes qui seront utilisées en entrée dans le modèle mathématique de simulation :
 - . apports principaux dans la retenue
 - . apports intermédiaires à l'aval (pour la prise en considération des contraintes de navigation)
 - . pertes par évaporation
 - . éléments de la courbe de restitution à l'aval du barrage (pour la prise en compte d'une demande hydroélectrique).
- D'autre part fournir les données permettant de calibrer les évacuateurs de crues :
 - . récurrence des débits de crues
 - . forme des hydrogrammes des crues de projet et de travaux.

Pour la plupart des stations hydrométriques retenues nous avons revu les étalonnages et effectué la mise à jour des débits journaliers et mensuels. Nous donnons en annexe les tableaux des débits moyens mensuels ainsi obtenus.

II.1. NIGER à TOSSAYE (MALI)

Cette station a été installée le 1er juin 1954 en rive droite du NIGER au village de TAOUSSA.

Coordonnées géographiques :

Latitude 16° 58' Nord
Longitude 0° 34' Ouest
Altitude du zéro de l'échelle : 249,62 m.

- Les observations ont été effectuées sans interruption, mais avec de nombreuses lacunes en basses eaux.
Ces lacunes ont pu être comblées par utilisation de corrélations avec BOUREM, GAO et ANSONGO. On dispose ainsi après reconstitution d'un échantillon de 21 années complètes (juillet 1954 - 1976).

- L'étalonnage a été effectué à l'aide de 30 jaugeages (cote -0,02 à 4,80 m) la relation hauteur / débit n'est pas univoque et on doit faire une correction de variation de pente de la ligne d'eau pour évaluer les débits à partir des hauteurs.

II.2. NIGER à GAO (MALI)

Cette station comporte une échelle installée en 1947 et observée de façon incomplète jusqu'à présent.

Coordonnées géographiques :

Latitude 16° 16' Nord
Longitude 0° 03' Ouest
Altitude du zéro : 245,05 m.

Cette station n'est pas étalonnée et n'a pas été retenue pour notre étude.

II.3. NIGER à ANSONGO (MALI)

Cette station est située à environ 120 km à l'amont du site de KANDADJI.

Coordonnées géographiques :

Latitude 15° 40' Nord
Longitude 0° 30' Est
Altitude du zéro de l'échelle : 242,195 m.

L'échelle actuelle a été installée en juillet 1949. Les relevés sont très incomplets et douteux. La courbe d'étalonnage est construite à l'aide de 22 jaugeages (cote 1,21 à 3,17 m) avec un débit maximum jaugé de 1913 m³/s. Il semble que la relation hauteur / débit ne soit pas tout à fait univoque.

Nous n'avons pas retenu cette station réputée médiocre (débits certainement sous-estimés).

II.4. NIGER à KANDADJI (NIGER)

Cette nouvelle station est située juste à l'aval du site de KANDADJI.

Coordonnées géographiques :

Latitude 14° 36' 37" Nord
Longitude 0° 59' 26" Est
Altitude du zéro de l'échelle amont 208,426 m.

La nouvelle échelle a été installée en janvier 1975. Depuis cette date 10 jaugeages ont été effectués permettant d'établir une courbe d'étalonnage provisoire donnée en figure 2. Cette courbe semble correcte et conduit à des débits calculés tout à fait en accord avec ceux observés à NIAMEY en 1975 - 1976.

Cette station est beaucoup trop récente pour permettre l'étude du régime du NIGER au site même. Son rôle est essentiellement de fournir la relation niveau / débit au point de restitution à l'aval du barrage. Cette relation est introduite dans le modèle de simulation pour le calcul de la production d'énergie. Pour cela la courbe d'étalonnage est découpée en 7 segments de paraboles, chaque tronçon étant défini par 2 hauteurs limites et par les coefficients de la parabole qui lui est ajustée.

Nous avons calculé les débits journaliers à cette station pour la période disponible c'est-à-dire de janvier 1975 à février 1977. Les débits moyens correspondants sont rassemblés dans le tableau II.

TABLEAU I

JAUGEAGES EFFECTUES A LA STATION DE KANDADJI

Numéro	Date	Hauteur échelle amont (cm)	Débits (m ³ /s)
1	31/07/76	158	8,12
2	12/09/76	453	900
3	21/10/76	514	1380
4	11/11/76	530	1560
5	25/11/76	541	1550
6	17/12/76	561 - 562	1750
7	20/01/77	586	1960
8	10/02/77	576 - 573	2000
9	24/02/77	542	1670
10	17/03/77	482 - 480	1060

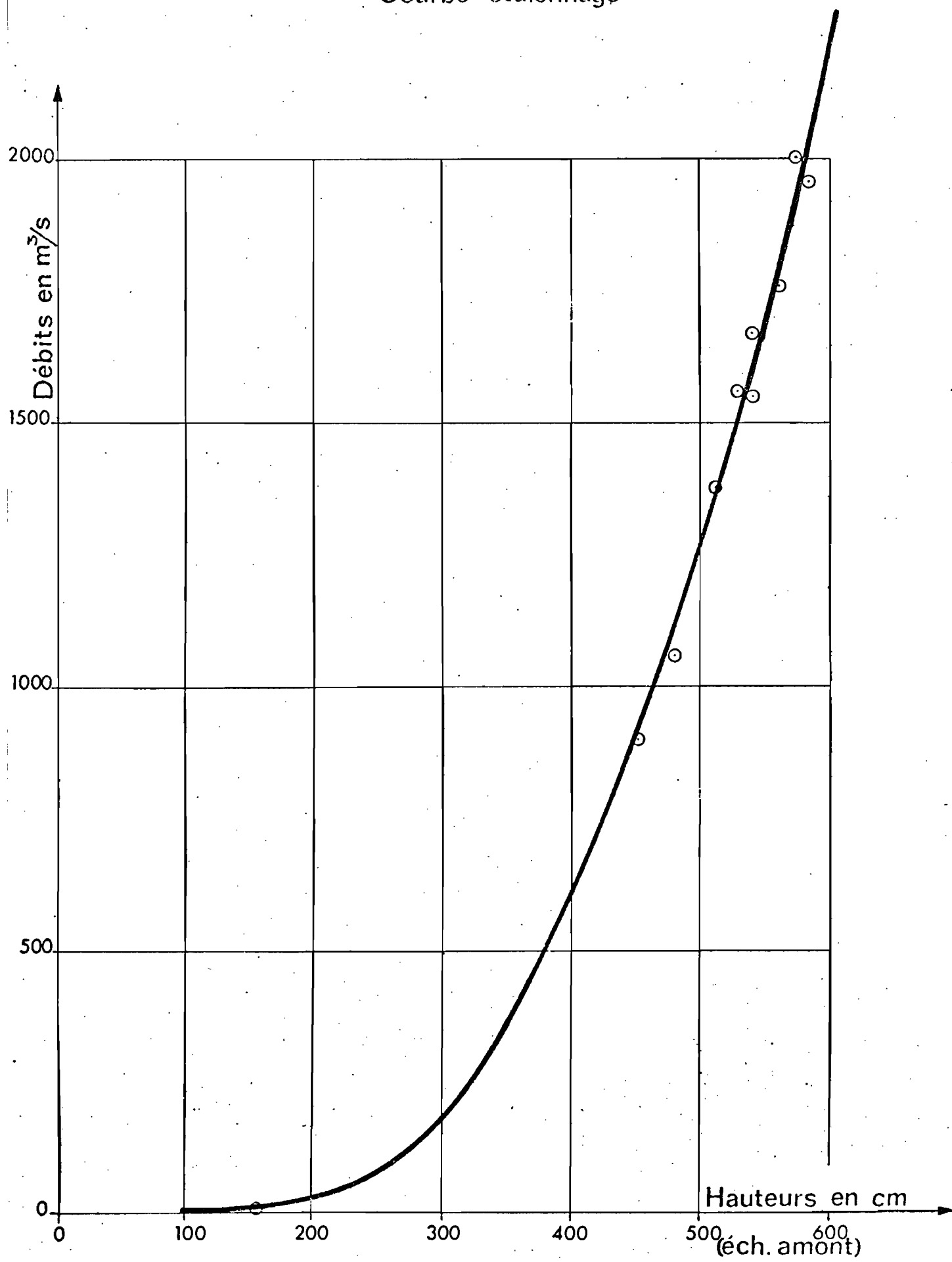
TABLEAU II

DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS DU NIGER A KANDADJI
(en m³/s)

Année	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module
74-75							1960	1270	405	56,6	13,9	3,16	
75-76	6,65	444	1150	1410	1750	2000	2070	1570	688	130	23,1	7,08	936
76-77	6,91	349	901	1300	1560	1800	2020	1820					

NIGER à KANDADJI

Courbe étalonnage



II.5' NIGER à TILLABERY (NIGER)

Station installée sur le NIGER en mars 1953.

Coordonnées géographiques :

Latitude 14° 12' Nord
Longitude 1° 27' Est
Zéro de l'échelle : 195,80 m.

Les relevés de hauteurs sont très incomplets avec une interruption totale de janvier 1965 à juillet 1970.

La station n'est pas étalonnée et n'a pas été retenue pour notre étude.

II.6. NIGER à NIAMEY (NIGER)

Station installée en 1928.

Coordonnées géographiques :

Latitude 13° 31' Nord
Longitude 2° 05' Est.

- Première échelle installée en 1928 par l'Office du NIGER (zéro à 176,37 m). Cette échelle a été relevée de façon discontinue jusqu'en octobre 1936 (lacunes totales de juin 1932 à janvier 1934).
- Deuxième échelle installée en 1941 (zéro à 176,17 m). Relevés très discontinus de 1941 à décembre 1943 - Ensuite relevés quasi complets jusqu'en 1952.
- Echelle actuelle installée en 1952 (zéro à 176,14) - Relevés quasi complets jusqu'à maintenant. L'élément d'échelle -050 à +050 installé le 10 juin 1969 a été remplacé le 7-7-1972 par un élément 0 - 1 m.

Cette station est étalonnée par 78 jaugeages. La relation hauteur / débit est univoque et relativement stable.

Débits extrêmes jaugés : 0,382 m³/s (3/7/1974)
 2358 m³/s (3/2/1970).

La station de NIAMEY est donc particulièrement intéressante par la qualité des données et par la longueur de la période d'observations. Pour notre étude, elle a en outre l'avantage de contrôler la totalité des apports entrant dans la future retenue simplement augmentés des apports relativement négligeables du Dargol et de la Sirba (moins de 5 % du module du NIGER à NIAMEY).

C'est donc à partir des données à cette station que nous avons étudié le régime du NIGER à KANDADJI (chapitre III).

TABLEAU III

JAUGEAGES DU NIGER A NIAMEY.

N°	D A T E	Hauteur (cm)	Débit (m ³ /s)	N°	D A T E	Hauteur (cm)	Débit (m ³ /s)
1	13/11/1953	346	1615	40	12/07/1969	000	30,2
2	5/01/1956	395	1950	41	21/07/1969	020 - 021	52,6
3	17/02/1956	423	2111	42	31/07/1969	051 - 052	122
4	4/04/1956	363	1671	43	3/02/1970	446	2358
5	15/05/1956	196	645	44	28/06/1971	-018	15,5
6	11/06/1956	103	243	45	10/06/1971	-013	18,6
7	28/06/1956	067	130	46	13/04/1972	066	176
8	13/08/1956	134	402	47	20/04/1972	049	129
9	20/08/1956	184	620	48	3/05/1972	023	76,0
10	1/09/1956	238	884	49	16/05/1972	006	41,0
11	10/09/1956	284	1150	50	30/05/1972	-004	29,0
12	3/10/1956	292	1185	51	16/06/1972	-020	16,6
13	7/11/1956	318	1428	52	22/06/1972	-022	16,0
14	21/11/1956	329	1425	53 *	16/10/1972	393	1262
15	11/12/1956	343	1576	54	24/10/1972	400	1318
16	24/09/1957	275	1006	55	2/11/1972	405	1303
17	3/01/1958	377	1776	56	10/11/1972	412	1383
18	22/07/1958	141	353	57	12/12/1972	441	1678
19	25/07/1961	038	94,5	58	2/02/1973	360	1085
20	11/08/1961	112	360	59	19/02/1973	297	751
21	7/09/1961	303	1300	60	5/03/1973	235	452
22	19/01/1962	373	1870	61	14/03/1973	205	294
23	1/03/1962	334	1526	62	30/03/1973	168	140
24	28/04/1962	092	236	63	10/04/1973	142	64,0
25	2/06/1962	020	57,6	64	4/05/1973	105	24,0
26	19/06/1962	003	23,5	65	15/05/1973	091	21,0
27	29/07/1963	052	105	66	23/05/1973	083	13,5
28	15/02/1966	391	1906	67	5/06/1973	074	8,00
29	30/05/1967	041	70,0	68	12/06/1973	069	5,30
30	6/06/1967	027	44,2	69	21/06/1973	061	3,14
31	16/02/1968	441	2300	70	10/09/1973	286	686
32	21/02/1968	442	2320	71	25/09/1973	344	1003
33	4/03/1968	429	2170	72	11/11/1973	413	1420
34	15/03/1968	409	2015	73	3/05/1974	093	23,4
35	27/04/1968	216	764	74	11/05/1974	084	15,6
36	22/01/1969	395	1902	75	24/05/1974	075	9,85
37	7/06/1969	006	48,1	76	20/06/1974	067	3,94
38	21/06/1969	-006	18,9	77	29/06/1974	056	1,99
39	8/07/1969	-002	30,8	78	3/07/1974	052	0,382

(*) - Abaissement du zéro de 1 m le 7/7/1972.

II.7: NIGER à MALANVILLE (BENIN)

Coordonnées géographiques :

Latitude 11° 53' Nord
Longitude 3° 24' Est
Cote du zéro de l'échelle 155,13 m
Superficie du bassin versant : 100 000 km².

La station a été installée en 1952 sur la rive droite du fleuve puis réinstallée en 1959 en rive gauche à GAYA. L'échelle actuelle a été mise en place en juillet 1969 en conservant le même zéro.

Les relevés de hauteurs d'eau sont assez discontinus depuis 1952. L'étalonnage repose sur 61 jaugeages effectués entre le 27-7-1952 et le 23-9-1973. La relation hauteur/débit n'est pas univoque en hautes eaux en raison de la situation de la station juste en amont de la confluence de la SOTA. On doit donc distinguer la crue locale provoquée en septembre par les affluents dahoméens de la crue propre du NIGER supérieure en février-mars. Le calcul des débits est donc assez délicat et nous avons préféré ne pas utiliser cette station pour estimer les apports intermédiaires du bief NIAMEY - MALANVILLE.

II.8. GOROUOL à ALCONGUI (NIGER)

Coordonnées géographiques :

14° 45' Nord
0° 36' Est
Superficie du bassin versant : 44 855 km².

Cette station contrôle la quasi totalité du GOROUOL, échelle mise en service le 23 mai 1957 - Relevés très discontinus (absence de relevés en 1960, 1965, 1970, 1971 et lacunes nombreuses de janvier à mai) et douteux.

L'étalonnage n'est pas de bonne qualité. Il s'appuie sur 43 jaugeages dont une dizaine sont très douteux. (Maximum jaugé : 109 m³/s le 23-8-1973). Nous avons repris le calcul des débits journaliers depuis 1957 en considérant 2 courbes de tarage. Les résultats obtenus sont à considérer avec beaucoup de méfiance.

II.9. GOROUOL à DOLBEL (NIGER)

Cette station placée en amont de la précédente avant la confluence du BELI, a été installée en juin 1972.

Coordonnées géographiques :

14° 37' Nord
0° 18' Est
Superficie du bassin versant : 7 500 km².

Cette station contrôle la partie la plus active du bassin du GOROUOL.

Les relevés sont continus et de bonne qualité. L'étalonnage est très correct et s'appuie sur 46 jaugeages effectués entre août 1961 et août 1976. Le maximum jaugé est de $95 \text{ m}^3/\text{s}$ le 14 septembre 1966.

Nous avons revu le calcul des débits journaliers et effectué leur mise à jour.

Si nous comparons les résultats donnés en annexe (débits moyens mensuels et annuels) pour les 2 stations contrôlant le GOROUOL, nous constatons que les modules sont sensiblement identiques et parfois même plus élevés à la station amont (DOLBEL) qu'à la station aval (ALCONGUI). La mauvaise qualité des données d'ALCONGUI ne suffit pas à expliquer cette anomalie. Il y a en fait des pertes en amont, l'écoulement du GOROUOL se faisant par moment vers son affluent (BELI) avec remplissage des mares situées le long du cours d'eau. Ce processus est d'autant plus important que les apports du BELI sont faibles.

II.10. DARGOL à KAKASSI (NIGER)

Station installée en 1956 contrôlant la totalité du bassin versant du DARGOL.

Coordonnées géographiques :

13° 51' Nord

1° 28' Est

Superficie du bassin versant : 6940 km^2 .

Relevés incomplets (lacunes totales en 1961-1962, 1964-1965 et 1965-1966) depuis le 21 juin 1957.

Nous n'avons pas les éléments suffisants pour revoir le calcul des débits à cette station. Les débits moyens mensuels donnés en annexe sont ceux publiés par le Service du Génie Rural de la République du NIGER. L'étalonnage semble correct et s'appuie sur 49 jaugeages (maximum jaugé : $95 \text{ m}^3/\text{s}$ le 12-9-1964).

II.11. SIRBA à GARBE-KOUROU (NIGER)

Station installée le 15 juin 1956 contrôlant la totalité du bassin versant de la SIRBA et équipée d'un limnigraphe.

Coordonnées géographiques :

13° 45' Nord

1° 37' Est

Superficie du bassin versant : $38\,750 \text{ km}^2$.

Relevés discontinus (lacunes en 1960, 1961). Etalonnage reposant sur 53 jaugeages (maximum jaugé : $477 \text{ m}^3/\text{s}$ le 10-9-1958).

Les débits mensuels donnés en annexe sont ceux publiés par le Service du Génie Rural de la République du NIGER.

II.12. GOROUBI à DIONGORE (NIGER)

Coordonnées géographiques :

12° 57' Nord

2° 16' Est

Superficie du bassin versant : $15\,350 \text{ km}^2$.

Une première station installée en 1954 a fonctionné jusqu'en 1970. Les relevés sont incomplets et inutilisables de 1954 à 1962 et sont de meilleure qualité de 1962 à 1969. Cependant, l'étalonnage de cette station n'est pas bon et particulièrement instable ; il s'appuie sur 37 jaugeages (maximum jaugé : $73 \text{ m}^3/\text{s}$ le 19-9-1964).

Une nouvelle station a été mise en place en 1970, 6 km à l'aval de la précédente et équipée d'un limnigraphe. Le tarage est correct et s'appuie sur 34 jaugeages (maximum jaugé : $62,4 \text{ m}^3/\text{s}$ le 5-9-1973).

Nous ne possédons pas les relevés complets de cette station et les débits donnés en annexe sont ceux publiés par le Service du Génie Rural de la République du NIGER.

II.13. DIAMANGOUE à TAMOU (NIGER)

Coordonnées géographiques :

12° 46' Nord

2° 11' Est

Superficie du bassin versant : $4\,030 \text{ km}^2$.

Une première station a fonctionné de 1954 à 1971 au pont de la route SAY-TAMOU. De 1954 à 1962, les relevés sont incomplets et inutilisables.

De 1962 à 1970 les relevés sont réguliers et 18 jaugeages permettent le tarage correct de la station (maximum jaugé $42,1 \text{ m}^3/\text{s}$ le 16-8-1964).

Une nouvelle station a été installée en 1971 au nouveau pont et est équipée d'une limnigraphe. Elle est correctement étalonnée par 19 jaugeages (maximum jaugé : $84 \text{ m}^3/\text{s}$ le 13-7-1973).

Nous ne possédons pas les relevés complets de cette station et les débits donnés en annexe sont ceux publiés par le Service du Génie Rural de la République du NIGER.

II.14. TAPOA à W

Coordonnées géographiques :

12° 28' Nord

2° 25' Est

Superficie du bassin versant : 5 330 km².

Cette station a été mise en service en 1963. Elle est correctement étalonnée par 36 jaugeages (maximum jaugé : 24,3 m³/s le 1-8-1973).

Nous ne possédons pas les relevés complets de cette station et les débits donnés en annexe sont ceux publiés par le Service du Génie Rural de la République du NIGER.

II.15. MEKROU à BAROU (BENIN)

Coordonnées géographiques :

12° 21' Nord

2° 45' Est

Superficie du bassin versant : 10 500 km².

Station installée en 1961 à une dizaine de kilomètres de la confluence avec le NIGER. Elle est actuellement équipée d'un limnigraphe.

Les relevés sont discontinus et de qualité médiocre depuis 1961. Nous avons revu l'étalonnage qui semble correct et stable et repose sur 37 jaugeages (maximum jaugé : 220 m³/s le 26-9-1962).

II.16. MEKROU à KOMPONGOU (BENIN)

Coordonnées géographiques :

11° 24' Nord

2° 12' Est

Superficie du bassin versant : 5 700 km².

Station installée en 1957, les relevés n'ayant commencé qu'en 1958. Cette station est difficile d'accès et les lectures d'échelle sont considérées comme peu sûres.

Jusqu'en mai 1966, il n'y avait pas d'élément d'échelle supérieur à 4 m. Le 4 mai 1966 des éléments de 4 à 6 m ont été installés et en 1970 un élément de 6 à 7 m a été mis en place.

On dispose cependant de séries complètes de débits journaliers publiés par le Ministère des Travaux Publics et de l'Energie de la République du DAHOMEY (1958 à 1970).

Nous avons utilisé ces données et effectué leur mise à jour pour la période 1970 - 1975. L'étalonnage est bon et très stable.

II.17. ALIBORI à la route KANDI-BANIKOUARA (BENIN)

Coordonnées géographiques :

11° 10' Nord
2° 41' Est

Superficie du bassin versant : 8 150 km².

Une ancienne échelle a été installée le 1er juillet 1952. Une nouvelle station a été mise en place en 1962.

De nombreuses lacunes dans les relevés de 1952 à 1961. Ensuite les observations sont plus régulières et de bonne qualité. L'étalonnage repose sur 41 jaugeages (maximum jaugé : 521 m³/s le 9-9-1957). Le tarage est satisfaisant, mais on constate une certaine instabilité du lit. Cette station ne contrôle que 60 % du bassin versant total de l'ALIBORI.

II.18. SOTA à COUBERI (BENIN)

Coordonnées géographiques :

11° 45' Nord
3° 20' Est

Superficie du bassin versant : 13 400 km².

Echelle mise en service le 20 mai 1953. Les lectures ont été très régulières depuis cette date et sont considérés comme étant de bonne qualité.

Nous avons revu l'étalonnage qui repose sur 46 jaugeages (maximum jaugé : 339 m³/s le 10-9-1957).

La relation hauteur/débit est instable en basses eaux (Hauteur < 2m), et probablement non univoque en hautes eaux. La dispersion des points autour de la courbe de tarage adoptée reste acceptable.

• •

•

III - REGIME DU NIGER à KANDADJI

L'examen critique des données disponibles (chapitre I), nous a conduit à baser l'étude du régime du NIGER à KANDADJI sur les résultats acquis à la station de NIAMEY.

On dispose en effet à cette station d'une longue série d'observations et de bien meilleure qualité qu'aux stations de TOSSAYE ou ANSONGO.

D'autre part, KANDADJI n'est qu'à 175 km à l'amont de NIAMEY et nous avons une connaissance suffisante des affluents intermédiaires (DARGOL et SIRBA) entre KANDADJI et NIAMEY pour savoir que ceux-ci ne modifient pratiquement pas le régime du NIGER, dont ils ne représentent qu'un apport infime (moins de 3 % du module) et très régulièrement situé dans le temps (juillet - août - septembre).

Nous pouvons donc facilement et sans gros risques d'erreurs appréhender le régime du NIGER à KANDADJI à partir de l'étude du NIGER à NIAMEY.

III.1. Débits mensuels

La série des débits mensuels observés à NIAMEY depuis 1929 (voir annexe), montre la régularité de la répartition de l'écoulement au cours de l'année avec un maximum en janvier ou février et un minimum en juin ou juillet. Il apparaît également que la décrue est toujours beaucoup plus rapide que la montée des eaux. Les caractéristiques moyennes de l'écoulement mensuel du NIGER à NIAMEY sont données dans le tableau IV.

Le tableau VI et la figure 3 donnent la valeur des débits moyens mensuels à NIAMEY, selon quelques fréquences au dépassement. On remarque sur cette figure que la variance des débits mensuels est beaucoup plus grande à la décrue pour les mois de février, mars et avril qu'à la montée des eaux avec cependant en septembre l'incidence assez marquée des affluents voltaïques.

Pour passer de NIAMEY à KANDADJI, nous avons utilisé les données disponibles sur le DARGOL (station de KAKASSI) et la SIRBA (station de GARBE-KOUROU) pour la période 1957 à 1975.

La somme de ces apports intermédiaires retranchée du débit du NIGER à NIAMEY donne une estimation du débit à KANDADJI. Nous avons ainsi calculé les débits mensuels à KANDADJI de janvier 1957 à juin 1976 (tableau V) et par comparaison aux débits mensuels de NIAMEY sur la même période nous avons étendu les résultats moyens obtenus à la période 1929-1976. Les caractéristiques de l'écoulement moyen mensuel à KANDADJI, ainsi estimées figurent dans le tableau VII.

Pour l'année 1975-1976, nous avons pu comparer les débits ainsi calculés à ceux observés à KANDADJI (tableau II du chapitre I). Il ne faut cependant pas accorder trop d'importance à cette comparaison qui n'est pas très significative en raison de l'aspect provisoire du tarage de KANDADJI (surtout en basses eaux).

TABLEAU IV

ECOULEMENT MOYEN MENSUEL DU NIGER à NIAMEY
(période d'observation 1929-1976)

Mois	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
Débits (m ³ /s)	109	488	1080	1270	1440	1630	1760	1700	1300	747	284	98,6
Volumes (10 ⁶ m ³)	292	1307	2199	3402	3732	4366	4714	4113	3482	1936	761	256
Pourcentage d'écoulement (%)	0,9	4,1	9,1	10,7	12,1	13,7	14,8	14,3	10,8	6,3	2,4	0,8

TABLEAU V

NIGER à KANDADJI (NIGER à NIAMEY - SIRBA et DARGOL)
débits moyens en m³/s

	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module
56-57							1680	1680	1390	653.	196.	72.9	
57-58	66.0	504.	966.	1240	1480	1650	1870	2030	1970	1610	771.	279.	1200.
58-59	329.	796.	1130	1230	1420	1620	1790	1870	1710	1160	422.	100.	1130.
59-60													
60-61													
61-62							1740	1640	1130	376.	120.	39.3	
62-63	19.6	415.	962.	1210	1470	1660	1880	2040	1740	1120	406.	134.	1080.
63-64	93.1	256.	791.	1110	1320	1550	1750	1820	1530	687.	202.	94.0	931.
64-65						1730	1980	2060	1780	1120	387.		
65-66						1730	1900	1880	1400	570.	166.	56.1	
66-67	36.7	150.	694.	1140	1420	1700	1910	1930	1430	559.	164.	56.2	927.
67-68	28.9	288.	1030	1300	1590	1870	2170	2300	1970	1140	358.	115.	1180.
68-69						1890	1700	1020	323.	90.3	33.2		
69-70	48.0	544.	1150	1450	1660	1890	2230	2280	1840	883.	243.	86.9	1190.
70-71	38.8	214.	804.	1220	1480	1690	1800	1470	646.	198.	60.4	15.4	800.
71-72	19.0	202.	865.	1230	1510	1760	1800	1340	518.	162.	51.2	18.9	788.
72-73	111.	576.	934.	1200	1390	1530	1370	761.	252.	59.9	18.1	2.05	684.
73-74	500.	108.	651.	1130	1380	1440	1110	481.	170.	57.0	14.5	4.56	546.
74-75	11.6	200.	1020	1340	1600	1820	1880	1340	455.	111.	37.9	8.34	816.
75-76	14.6	377.	1120	1380	1650	1880	2040	1690	772.	192.	23.1	7.08	927.
57-76	62.8	356.	932.	1240	1490	1700	1820	1680	1210	610.	207.	66.1	949.

TABLEAU VI

NIGER à NIAMEY - Débits moyens mensuels en m³/s
Fréquences au dépassement (Période 1954-1975)

Fréquence au dépassement	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
0,01	440	990	1675	1590	1740	1960	2320	2420	2200	1870	1050	410
0,05	290	855	1530	1510	1670	1895	2200	2270	2070	1660	830	268
0,10	225	780	1450	1465	1630	1855	2130	2190	2000	1500	675	207
0,20	160	690	1350	1410	1585	1805	2040	2080	1860	1240	455	145
0,50	80	520	1150	1310	1495	1695	1870	1830	1450	640	190	64
0,80	50	350	885	1215	1415	1580	1630	1450	650	180	65	23
0,90	40	265	785	1160	1360	1520	1480	1180	370	90	35	12
0,95	34	190	695	1120	1325	1465	1330	930	220	60	20	5
0,99	27	60	525	1040	1250	1360	1020	400	100	35	10	3

TABLEAU VII

Ecoulement moyen mensuel du NIGER à KANDADJI estimé sur la
période 1929-1976 à partir des données de NIAMEY et des apports
intermédiaires (SIRBA et DARGOL)

M O I S	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
Débits (m ³ /s)	72,5	389	940	1220	1430	1630	1760	1700	1300	747	281	92,7
Volumes (10 ⁶ m ³)	194	1042	2436	3268	3707	4366	4714	4113	3482	1936	753	240
Coefficient d'écoule- ment (%)	0,6	3,4	8,1	10,5	12,4	14,1	15,2	14,7	11,2	6,5	2,4	0,8

NIGER à NIAMEY

Débits moyens mensuels selon leur fréquence de dépassement

- ① Fréquence 0,90
- ② Fréquence 0,50
- ③ Fréquence 0,10

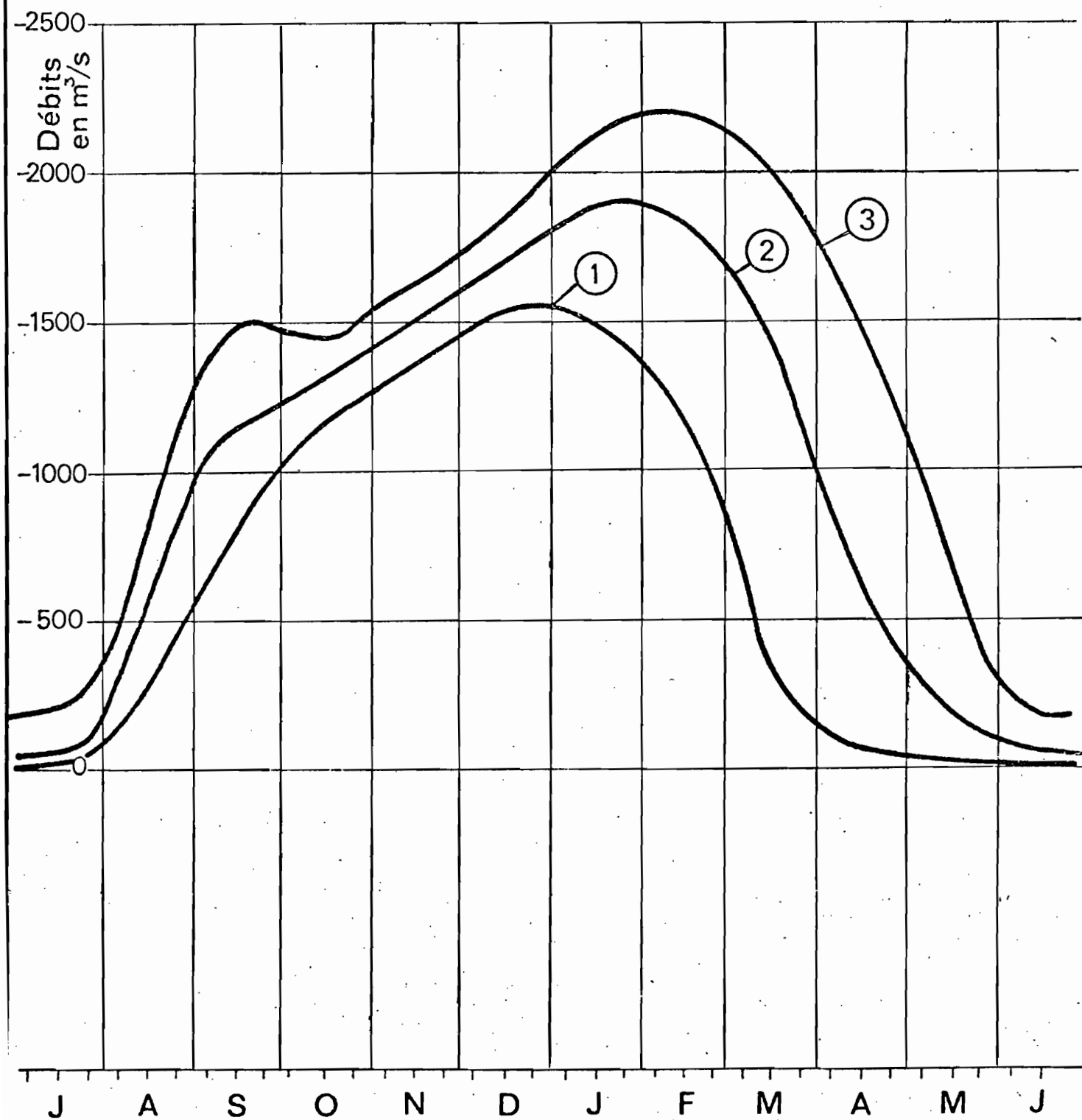


TABLEAU VIII

Modules annuels classés et fréquence au non-dépassement du
NIGER à NIAMEY

$$F = \frac{r - 0,5}{N}$$

Rang r	Année hydrologique	Module m ³ /s	Fréquence F
1	1973-1974	573	0.0135
2	1944-1945	627	0.0405
3	1942-1943	694	0.0675
4	1947-1948	694	0.0945
5	1972-1973	694	0.1216
6	1941-1942	723	0.1486
7	1949-1950	746	0.1756
8	1971-1972	807	0.2027
9	1943-1944	813	0.2297
10	1970-1971	814	0.2567
11	1948-1949	846	0.2837
12	1974-1975	856	0.3108
13	1945-1946	884	0.3378
14	1934-1935	911	0.3648
15	1961-1962	928	0.3918
16	1966-1967	936	0.4189
17	1963-1964	942	0.4459
18	1968-1969	954	0.4729
19	1956-1957	956	0.5000
20	1946-1947	960	0.5270
21	1975-1976	965	0.5540
22	1935-1936	970	0.5810
23	1959-1960	1010	0.6081
24	1960-1961	1020	0.6351
25	1950-1951	1080	0.6621
26	1965-1966	1080	0.6891
27	1962-1963	1120	0.7162
28	1951-1952	1170	0.7432
29	1958-1959	1180	0.7702
30	1964-1965	1190	0.7972
31	1952-1953	1200	0.8243
32	1957-1958	1200	0.8513
33	1969-1970	1210	0.8783
34	1967-1968	1230	0.9054
35	1953-1954	1250	0.9324
36	1955-1956	1300	0.9594
37	1954-1955	1310	0.9864

On constate un bon accord d'ensemble à l'exception de juillet 1975 et une tendance générale à une légère sous estimation des apports intermédiaires (SIRBA et DARGOL).

III.2. Modules

Avant d'analyser la distribution statistique des modules, nous nous sommes assurés de l'homogénéité de la série des observations en examinant en particulier l'incidence éventuelle des modifications du régime du NIGER signalée depuis quelques années.

Pour cela, nous avons porté sur les graphiques de la figure 4, les modules du NIGER à NIAMEY et ceux du NIGER à DIRE en fonction de ceux observés à KOULIKORO (station de longue durée en amont de la cuvette lacustre).

On constate au vu de ces graphiques que si pour DIRE, il y a très nettement 2 familles de points montrant une modification de la relation entre les modules depuis 1966, par contre pour NIAMEY, il n'en est rien. Une étude en cours à l'ORSTOM sur ces anomalies observées le long du fleuve NIGER laisse à penser que ces modifications résultent de changements locaux du réseau hydrographique et des conditions d'écoulement au niveau de la cuvette lacustre (ensablement, modification de la végétation).

Ainsi la station de DIRE serait en partie "court-circuitée" par ensablement et d'une façon générale l'écoulement dans la cuvette lacustre serait amélioré entraînant une modification de la forme de l'hydrogramme, mais sans incidence notable sur le total du volume écoulé.

Ces modifications ont été progressives de 1961 à 1966 et depuis 1966 le nouveau régime est apparemment stabilisé.

Pour la série des modules, nous avons donc admis l'homogénéité de la série de NIAMEY (1929-1976).

Nous avons étudié la distribution de ces modules dont on trouvera la liste classée dans le tableau VIII. La fréquence observée donnée dans ce tableau est :

$$F = \frac{r - 0,5}{N}$$

r : étant le rang du module classé

N : le nombre de modules classés.

Après ajustement de différentes lois de distribution par la méthode du maximum de vraisemblance, il s'avère que la meilleure adéquation est obtenue avec la loi de GOODRICH (ou exponentielle généralisée).

Les paramètres calculés de l'ajustement sont les suivants :

Moyenne	:	968,89	m ³ /s
---------	---	--------	-------------------

paramètre de forme : 0,31311

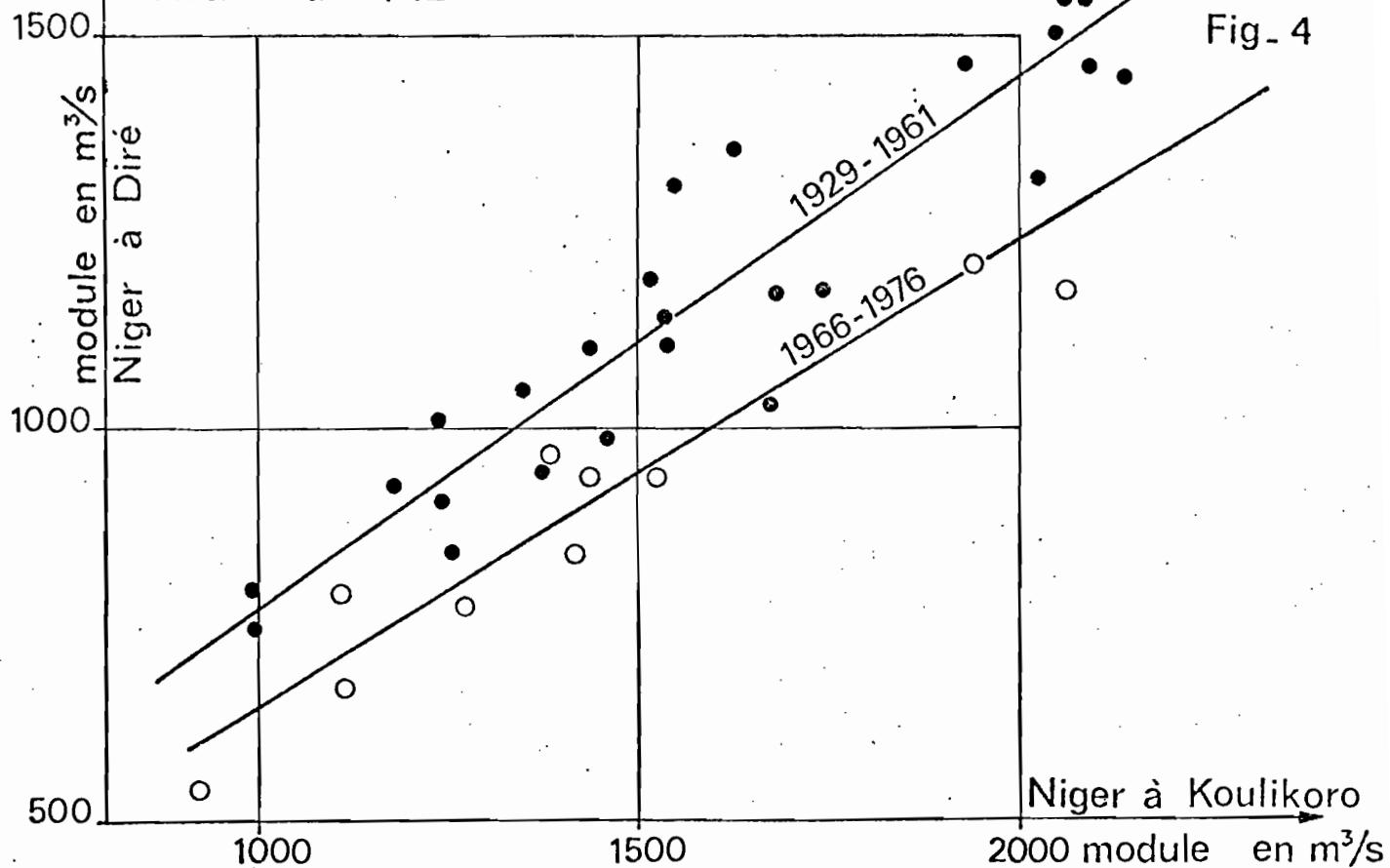
paramètre d'échelle : 629,747

paramètre de position : 406,18

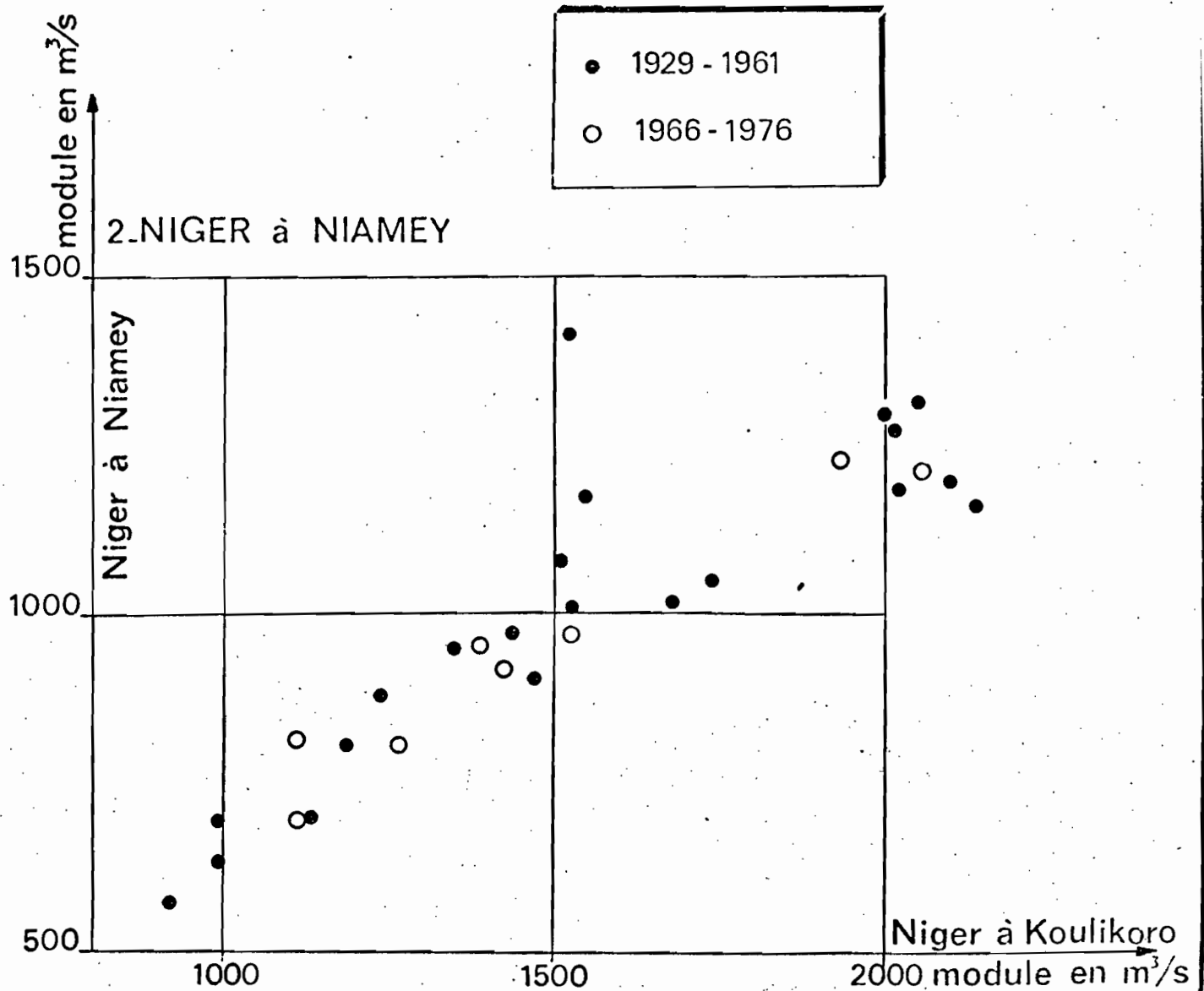
MODIFICATIONS DU REGIME DU NIGER

1 NIGER à DIRE

Fig. 4



2. NIGER à NIAMEY



Nous avons porté sur la figure 5, les points observés et tracé la courbe ajustée et définie par les paramètres donnés ci-dessus.

Cet ajustement nous conduit aux résultats suivants :

TABLEAU IX

Modules du NIGER à KANDADJI

	Années humides					Médiane	Années sèches				
	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80		0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
Fréquence au non dépassement	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
Période de retour (ans)	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100
Module m^3/s	1400	1330	1260	1190	1100	940	775	700	635	570	540
Apport annuel ($10^9 m^3$)	44,2	41,9	39,7	37,5	34,7	29,6	24,4	22,1	20,0	18,0	17,0

Pour établir ce tableau, nous avons tenu compte des apports intermédiaires (SIRBA et DARGOL) qui représentent en moyenne 3 % de l'écoulement annuel du NIGER à NIAMEY.

Le module interannuel à KANDADJI peut être estimé à $939 m^3/s$.

III.3. Crues

L'hydrogramme annuel du NIGER à NIAMEY est le résultat du laminage de la crue du NIGER dans la cuvette lacustre. Sa forme est relativement bien régulière surtout à la décrue qui correspond à une loi de vidange. Cependant depuis une dizaine d'années, les modifications de l'écoulement que nous avons signalées dans le paragraphe 2.1 ont entraîné une modification dans la forme de l'hydrogramme qui est mise en évidence dans la figure 6. Sur cette figure, on a porté les modules en fonction des débits maximaux annuels correspondants. On voit nettement un changement dans la relation entre module et débit maximal à partir de 1966. Cette modification va dans le sens d'un redressement de l'hydrogramme.

III.3.1. Distribution statistique des débits maximaux annuels

Pour étudier la distribution statistique des débits de crue à NIAMEY, nous avons donc homogénéisé la série des débits maximaux annuels observés depuis 1934 sur la série 1966-1976 qui correspond aux nouvelles conditions d'écoulement.

La correction affectée à chaque débit de crue de la période 1934-1966 est obtenue à partir des relations entre module et débit maximal annuel établies pour cette période et pour la période 1966-1976. Nous donnons en figure 7 la valeur du coefficient de correction K appliquée en fonction du module. Les débits maximaux annuels, ainsi homogénéisés (1934 à 1976) sont donnés dans le tableau X.

TABLEAU X

Débits maximaux annuels du NIGER à NIAMEY homogénéisés sur la période 1966 - 1976

Année Hydrologique	Débit max. observé m ³ /s	Module m ³ /s	Débit max/ module	Coefficient K d'homogéné- isation	Débit max. homogénéisé m ³ /s
1934-1935	1750	911	1,92	1,117	1955
1935-1936	1803	976	1,85	1,124	2027
1941-1942	(1500)	723	(2,07)	1,086	1629
1942-1943	(1450)	694	(2,09)	1,080	1566
1943-1944	1623	813	1,99	1,103	1790
1944-1945	1480	627	2,36	1,063	1573
1945-1946	1810	884	2,05	1,114	2016
1946-1947	1810	960	1,89	1,123	2033
1947-1948	1500	694	2,16	1,080	1620
1948-1949	1670	846	1,97	1,108	1850
1949-1950	1610	746	2,16	1,090	1755
1950-1951	1910	1080	1,77	1,134	2166
1951-1952	1920	1170	1,64	1,141	2191
1952-1953	1970	1200	1,64	1,143	2252
1953-1954	2040	1250	1,63	1,147	2340
1954-1955	2090	1310	1,60	1,151	2406
1955-1956	2155	1300	1,66	1,150	2478
1956-1957	1725	956	1,80	1,122	1935
1957-1958	2055	1200	1,71	1,143	2349
1958-1959	1890	1180	1,60	1,142	2158
1959-1960	1850	1010	1,83	1,128	2087
1960-1961	1870	1020	1,83	1,129	2111
1961-1962	1760	928	1,90	1,119	1969
1962-1963	2055	1120	1,83	1,137	2337
1963-1964	1850	942	1,96	1,121	2074
1964-1965	2075	1190	1,74	1,142	2370
1965-1966	1945	1080	1,80	1,134	2206
1966-1967	1970	936	2,10	1,0	1970
1967-1968	2320	1230	1,89	1,0	2320
1968-1969	1920	954	2,01	1,0	1920
1969-1970	2360	1210	1,95	1,0	2360
1970-1971	1820	814	2,24	1,0	1820
1971-1972	1830	807	2,27	1,0	1830
1972-1973	1565	694	2,86	1,0	1565
1973-1974	1470	573	2,57	1,0	1470
1974-1975	1935	856	2,26	1,0	1935
1975-1976	2070	965	2,15	1,0	2070
1976-1977	1980	-	-	1,0	1980

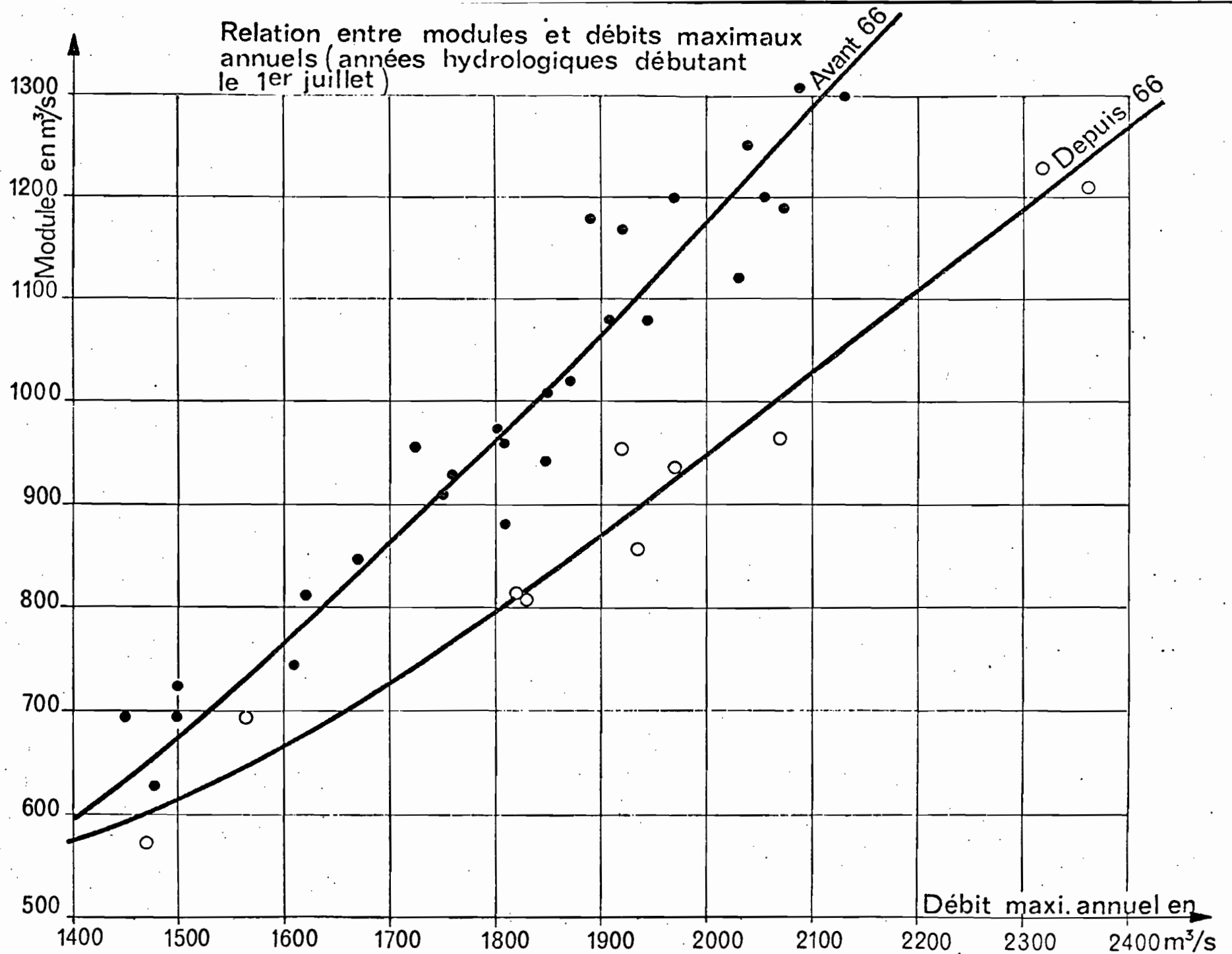
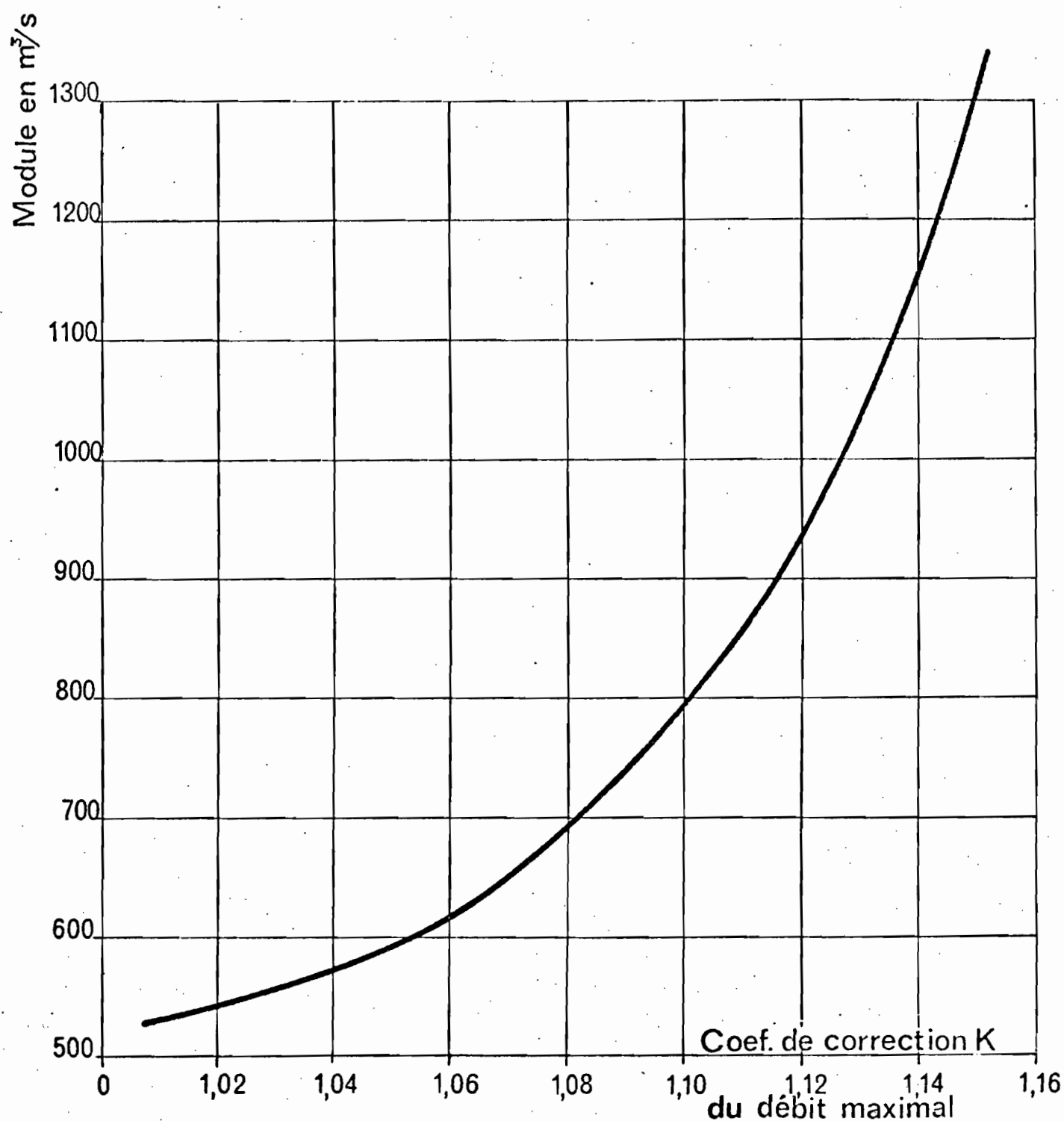


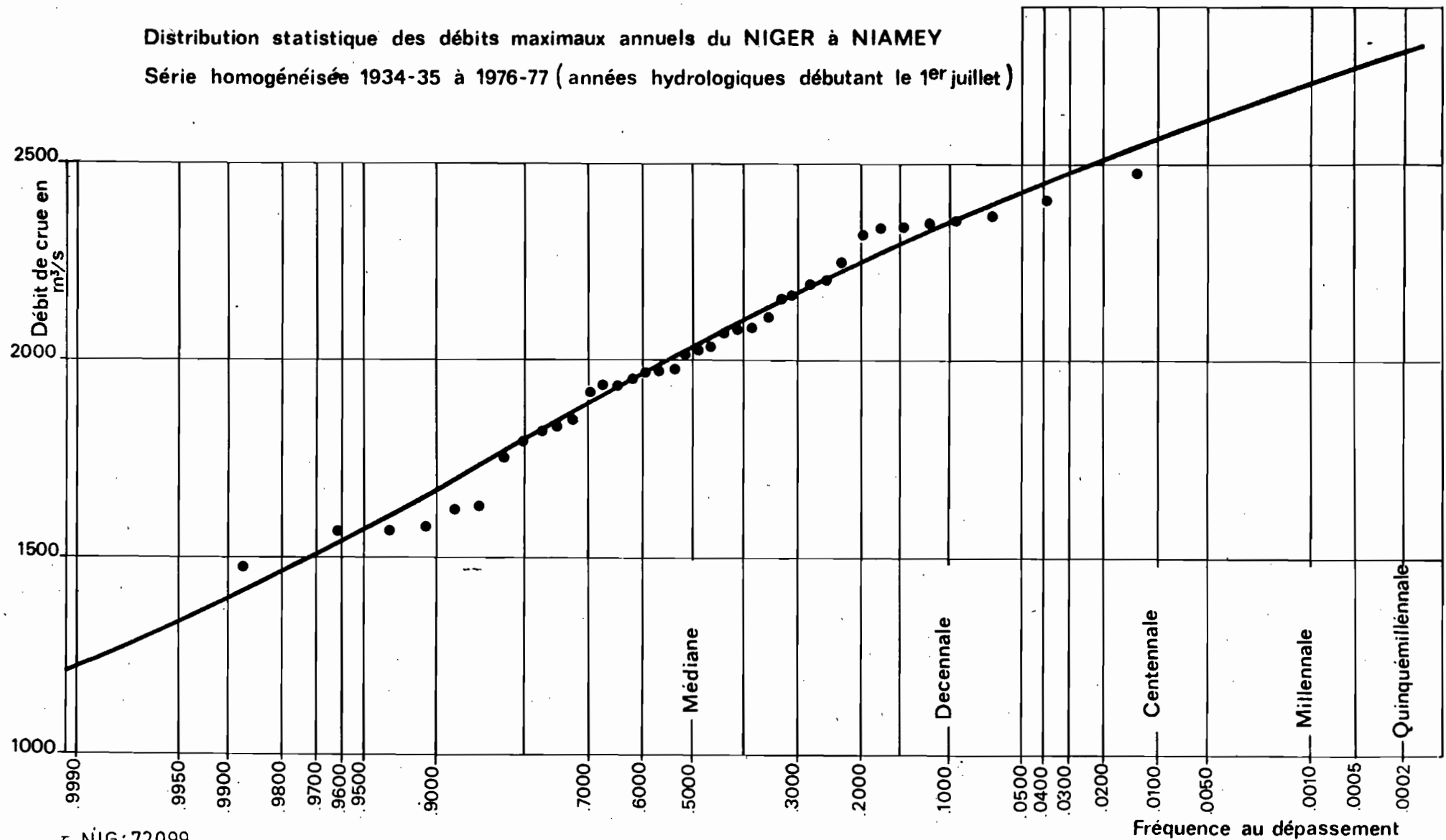
Fig-6

Homogénéisation des débits maximaux annuels sur la période 1966-76

Coefficient de correction K à appliquer au débit maximal pour la période 1934-1965 en fonction des modules



Distribution statistique des débits maximaux annuels du NIGER à NIAMEY
Série homogénéisée 1934-35 à 1976-77 (années hydrologiques débutant le 1^{er} juillet)



NIG:72099

TABLEAU XI

**Classement et fréquence observée des débits maximaux annuels
du NIGER à NIAMEY (après homogénéisation)**

$$f = \frac{r - 0,5}{N}$$

Rang r	Année hydrologique	Débit maximal annuel m ³ /s	Fréquence f
1	1955-1956	2478	0,0131
2	1954-1955	2406	0,0394
3	1964-1965	2370	0,0657
4	1969-1970	2360	0,0921
5	1957-1958	2349	0,1184
6	1953-1954	2340	0,1447
7	1962-1963	2337	0,1710
8	1967-1968	2320	0,1973
9	1952-1953	2252	0,2236
10	1965-1966	2206	0,2500
11	1951-1952	2191	0,2763
12	1950-1951	2166	0,3026
13	1958-1959	2158	0,3289
14	1960-1961	2111	0,3552
15	1959-1960	2087	0,3815
16	1963-1964	2074	0,4078
17	1975-1976	2070	0,4342
18	1946-1947	2033	0,4605
19	1935-1936	2027	0,4868
20	1945-1946	2016	0,5131
21	1976-1977	1980	0,5394
22	1966-1967	1970	0,5657
23	1961-1962	1969	0,5921
24	1934-1935	1955	0,6184
25	1974-1975	1935	0,6447
26	1956-1957	1935	0,6710
27	1968-1969	1920	0,6973
28	1948-1949	1850	0,7236
29	1971-1972	1830	0,7500
30	1970-1971	1820	0,7763
31	1943-1944	1790	0,8026
32	1949-1950	1755	0,8289
33	1941-1942	1629	0,8552
34	1947-1948	1620	0,8815
35	1944-1945	1573	0,9078
36	1942-1943	1566	0,9342
37	1972-1973	1565	0,9605
38	1973-1974	1470	0,9868
M o y e n n e		2013	

Le tableau XI donne ces débits classés et leur fréquence au non dépassement.

L'ajustement des lois classiques de distribution sur cet échantillon de 38 valeurs conduit à adopter la loi de GOODRICH comme meilleure adéquation.

Les paramètres de cette loi calculés à partir des valeurs expérimentales par la méthode du maximum de vraisemblance sont :

moyenne	: 2013 m ³ /s
---------	--------------------------

paramètre de forme : 0,21830
paramètre d'échelle : 1141,16
paramètre de position : 972,6

Nous avons porté sur la figure 8 les points observés et tracé la courbe ajustée, la faible pente de cette courbe pour les fréquences rares correspond au considérable laminage de la pointe de crue par suite des débordements à l'amont.

Cet ajustement nous conduit aux extrapolations suivantes pour le NIGER à NIAMEY :

Crue médiane	(f = 0,50)	2030 m ³ /s
Crue décennale	(f = 0,10)	2340 m ³ /s
Crue centennale	(f = 0,01)	2570 m ³ /s
Crue millennale	(f = 0,001)	2710 m ³ /s
Crue cinq-millennale	(f = 0,0002)	2790 m ³ /s
Crue dix-millennale	(f = 0,0001)	2825 m ³ /s.

Pour tenir compte de l'amortissement des crues entre KANDADJI et NIAMEY, nous avons majoré ces valeurs d'environ 4 % ce qui donne les estimations suivantes pour KANDADJI :

Crue décennale	: 2430 m ³ /s
Crue centennale	: 2670 m ³ /s
Crue millennale	: 2800 m ³ /s
Crue dix-millennale	: 2900 m ³ /s

Pour la crue exceptionnelle à KANDADJI, nous adopterons un débit de pointe de : 3000 m³/s

REMARQUE IMPORTANTE : Par mesure de sécurité nous nous sommes placés dans les conditions de régime du NIGER établies depuis 1966. Rien pour l'instant ne permet de penser à une aggravation de cette situation par suite d'une évolution naturelle des conditions d'écoulement dans la cuvette lacustre (la tendance actuelle étant plutôt un retour progressif à la situation antérieure). Par contre, il est évident que toute modification artificielle (dragage, recalibrage, endiguement) effectuée à l'amont nécessiterait de revoir cette étude.

III.3.2. Occurrence des pointes de crues

Nous avons examiné les dates d'occurrence des débits maximaux annuels sur l'ensemble des données disponibles (tableau XIII).

Cela conduit à la répartition suivante :

TABLEAU XII

Occurrence des crues du NIGER à NIAMEY

Dates d'occurrence		Nombre de crues observées	Valeurs extrêmes des débits de crues observées m^3/s
Décembre	1 au 10	1	1470
	11 au 20	0	-
	21 au 31	1	1565
Janvier	1 au 10	5	1565-1935
	11 au 20	7	1629-2070
	21 au 31	8	1620-2360
Février	1 au 10	8	1935-2320
	11 au 20	8	2033-2480
	21 au 29	3	2191-2410
Mars	1 au 10	1	2057

- Nous constatons que très régulièrement la pointe de crue apparaît en janvier ou février, la date d'occurrence étant d'autant plus tardive que la crue est importante.

Le temps de propagation des débits de crue entre KANDADJI et NIAMEY peut-être estimé à environ 5 jours.

III.3.3. Forme de l'hydrogramme de la crue de projet

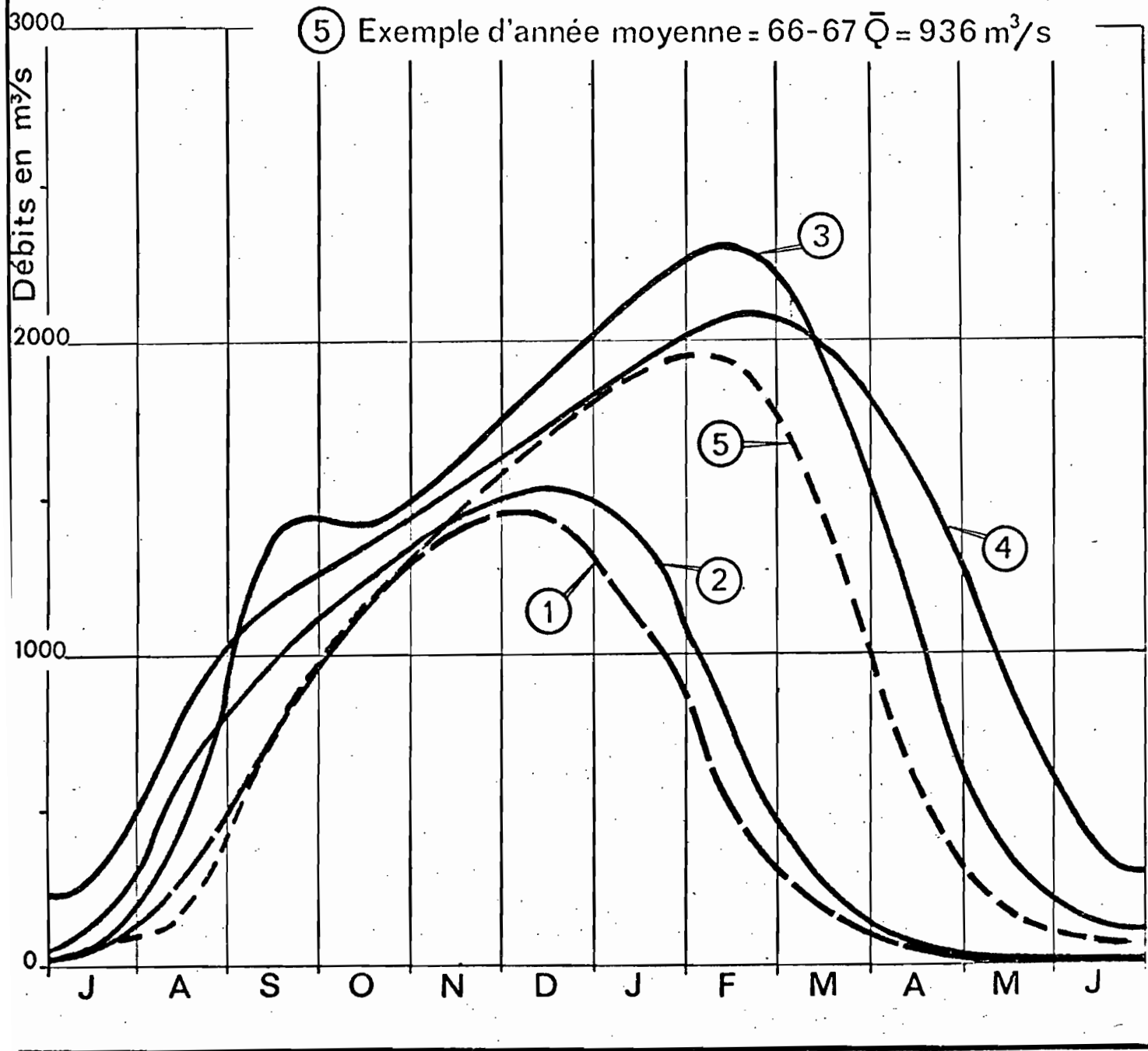
La figure 9 montre quelques exemples d'hydrogrammes observés à NIAMEY pour différentes fréquences du module.

Pour étudier la forme de l'hydrogramme de projet à KANDADJI nous avons retranché les apports de la SIRBA et du DARGOL à ceux de NIAMEY (voir tableau V) et porté sur le même graphique les hydrogrammes ainsi obtenus (période 1957-1958 à 1975-1976) en les calant sur la courbe de décrue. (Celle-ci ayant d'ailleurs toujours la même allure car il s'agit d'une courbe de vidange).

NIGER a NIAMEY

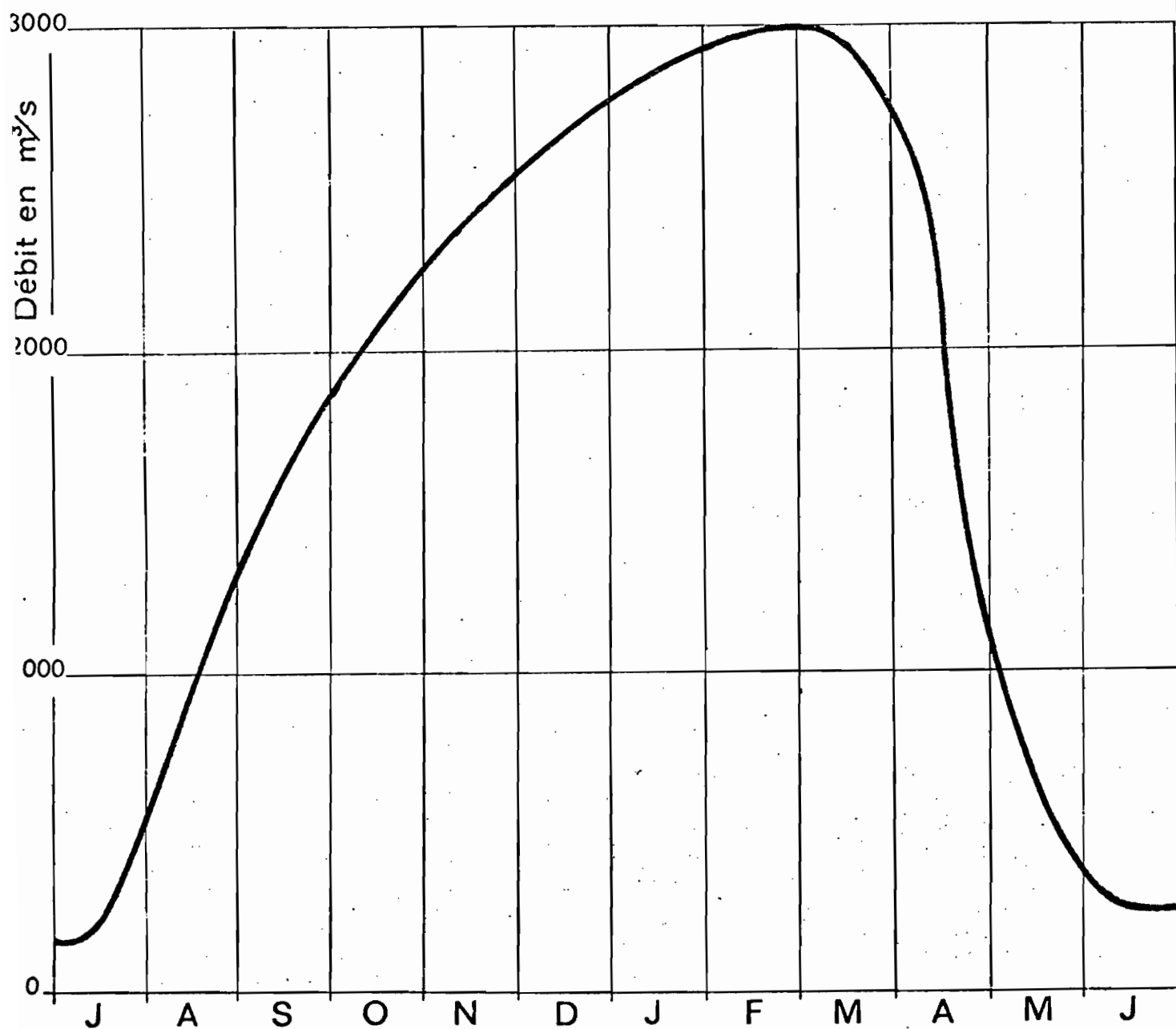
Exemples d'hydrogrammes observés

- ① Module minimum observé=73-74 $\bar{Q} = 573 \text{ m}^3/\text{s}$
- ② Exemple d'année decennale sèche=72-73 $\bar{Q} = 694 \text{ m}^3/\text{s}$
- ③ Exemple d'année decen. humide =67-68 $\bar{Q} = 1230 \text{ m}^3/\text{s}$
- ④ Module maximum observé= 54-55 $\bar{Q} = 1310 \text{ m}^3/\text{s}$
- ⑤ Exemple d'année moyenne = 66-67 $\bar{Q} = 936 \text{ m}^3/\text{s}$

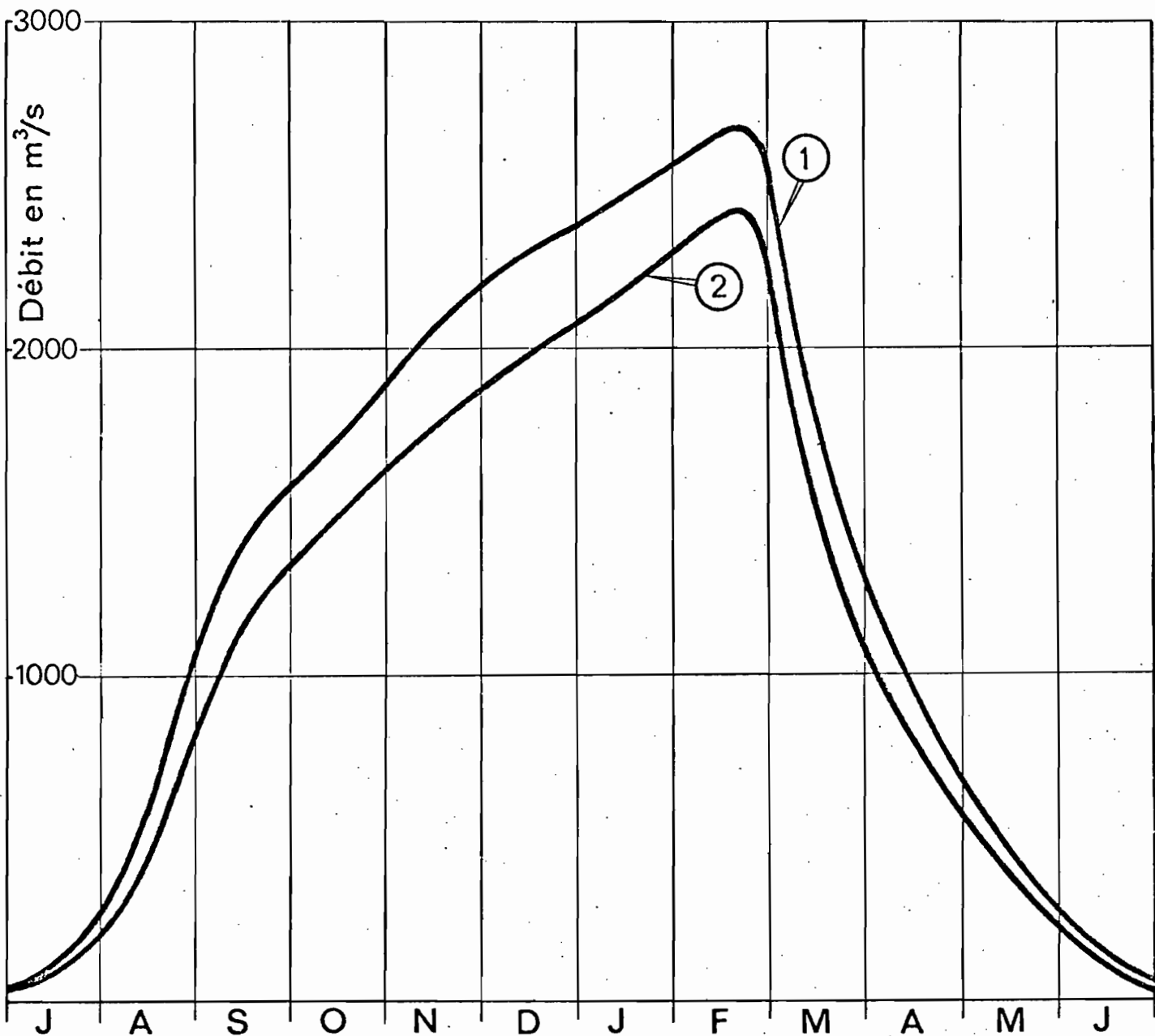


NIGER à KANDADJI

Hydrogramme de la crue de projet

 $Q \text{ max.} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q \text{ moy.} = 1800 \text{ m}^3/\text{s}$ $\text{Volume} = 56,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ 

Hydrogrammes des crues de travaux

① Crue décennale $Q \text{ max.} = 2430 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q \text{ moy.} = 1190 \text{ m}^3/\text{s}$ $\text{Volume} = 37,3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ② Crue centennale $Q \text{ max.} = 2670 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q \text{ moy.} = 1380 \text{ m}^3/\text{s}$ $\text{Volume} = 43,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ 

Pour obtenir la forme de l'hydrogramme de projet, nous avons extrapolé en adoptant un débit de pointe de 3000 m³/s qui conduit à un module de 1800 m³/s en utilisant la relation (2) module/débit maximal de la figure 6 (régime établi depuis 1966).

TABLEAU XIII

Occurrence des crues et des étiages du NIGER à NIAMEY.

C R U E S			E T I A G E S		
Année hydrologique	Débit maximal observé m ³ /s	Date du maximum de crue	Année calendaire	Débit d'étiage m ³ /s	Date de l'étiage
1929-1930	2057	1/3	1929	203	15/7
1930-1931	1944	6-9/2	31	239	27/6
1931-1932	1757	9-12/2	34	68,6	3/7
1933-1934	1826	6-8/2	35	49,0	14/7
1934-1935	1750	10-13/2	36	74,2	20/6
1935-1936	1803	10-16/2	41	(23,3)	-
1941-1942	(1500)	19/1	42	(28,1)	-
1942-1943	(1450)	5/1	43	(21,6)	-
1943-1944	1620	13-26/1	44	(9,30)	1/8
1944-1945	1480	5-7/1	45	18,1	4/8
1945-1946	1810	19-20/1	46	25,9	12/7
1946-1947	1810	16/2	47	19,8	23/7
1947-1948	1500	21-26/1	48	15,6	19/7
1948-1949	1670	15-17/1	49	24,0	7/7
1949-1950	1610	17-18/1	50	14,9	10/7
1950-1951	1910	14/2	51	36,6	3/7
1951-1952	1920	27/2-1/3	52	78,6	19/7
1952-1953	1970	14-18/2	53	104	9/7
1953-1954	2040	18/2	54	159	1/7
1954-1955	2090	22-23/2	55	206	5/7
1955-1956	2155	14-24/2	56	89,7	15/7
1956-1957	1725	1-2/2	57	43,9	20/7
1957-1958	2055	26-28/2	58	194	28/6
1958-1959	1890	17-20/2	59	45,8	12/7
1959-1960	1850	28/1-3/2	60	30,7	1/7
1960-1961	1870	27/1-5/2	61	52,5	23/6
1961-1962	1760	21-26/1	62	21,9	2/7
1962-1963	2055	13-18/2	63	93,1	20/7
1963-1964	1850	3-11/2	64	53,8	1/7
1964-1965	2075	11-20/2	65	64,6	24/7
1965-1966	1945	25/1-8/2	66	37,3	16/7
1966-1967	1970	25-28/1	67	28,4	3/7
1967-1968	2320	9-10/2	68	60,4	10/7
1968-1969	1920	20-25/1	69	20,2	23/6
1969-1970	2360	30/1-4/2	70	32,0	8/7
1970-1971	1820	7-13/1	71	13,3	23/6
1971-1972	1830	7-12/1	72	12,4	20/6
1972-1973	1565	31/12-3/1	73	2,03	23/6
1973-1974	1470	7-12/12	74	(0,60)	4/7
1974-1975	1935	5-8/1	75	6,15	22/6
1975-1976	2070	17-21/1	76	17,0	28/6
1976-1977	1980	25/1			

Cet hydrogramme est donné sur la figure 10. Il correspond à la distribution mensuelle suivante (débits moyens en m^3/s) :

Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
200	950	1600	2050	2400	2650	2850	2950	2950	2000	650	250

La pointe de crue se situe début mars, le module correspondant est de $1800 \text{ m}^3/\text{s}$ ce qui correspond à un volume total écoulé de $56,76 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

III.3.4. Forme des hydrogrammes des crues de travaux

Selon les phases de construction prévues, on peut penser que les risques encourus conduiront à se préserver durant les travaux contre une crue éventuelle se situant entre la crue décennale et la crue centennale.

Nous avons donc examiné la forme des hydrogrammes des crues décennale et centennale à KANDADJI en procédant de la même façon que pour la crue de projet.

Ceci donne les résultats suivants :

- Crue décennale : débit maximum estimé à $2430 \text{ m}^3/\text{s}$ se situant fin février.
Module correspondant : $1190 \text{ m}^3/\text{s}$ soit un volume total écoulé de $37,3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.
- Crue centennale : débit maximum estimé à $2670 \text{ m}^3/\text{s}$ se situant fin février - début mars.
Module correspondant : $1380 \text{ m}^3/\text{s}$ soit un volume total écoulé de $43,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

La distribution mensuelle correspondant à ces crues est la suivante (débit moyens en m^3/s) :

	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
Crue décennale	85	475	1160	1460	1790	1970	2160	2350	1500	800	390	115
Crue centennale	120	600	1350	1710	2060	2280	2460	2630	1800	980	470	130

Les hydrogrammes relatifs aux crues de travaux sont donnés en figure 11.

III.4. Etiages

La décroissance des débits du NIGER moyen s'effectue de mars à la mi-juillet selon la loi de vidange de la cuvette lacustre. Pendant cette période les apports des affluents voltaïques sont quasiment nuls sauf en juillet où ils peuvent soutenir sensiblement les débits.

Cette incidence des affluents voltaïques n'intervient guère à KANDADJI (apports supplémentaires limités au seul GOROUOL) et les étiages risquent d'y être encore plus sévères qu'à NIAMEY).

Le tableau XIV montre qu'à NIAMEY, l'étiage se situe le plus souvent dans les 10 premiers jours de juillet. Pour KANDADJI, on peut admettre un décalage d'une dizaine de jours ce qui situe l'étiage à la fin juin.

TABLEAU XIV

Occurrence des étiages du NIGER à NIAMEY

Dates d'occurrence		Nombre d'étiages observés
Juin	1-10	0
	11-20	2
	21-30	8
Juillet	1-10	15
	11-20	9
	21-31	2
Août	1-10	2
	11-20	0
	21-31	0

Les débits d'étiage absolu sont donnés dans le tableau XIII. L'étiage de juillet 1974 est incontestablement le plus sévère depuis le début des observations, mais le débit minimal correspondant est estimé avec une grande imprécision car pour ces très faibles débits, les prélèvements par pompage (alimentation de NIAMEY en particulier) deviennent du même ordre de grandeur que le débit jaugé.

Nous avons étudié la distribution de ces débits d'étiage (en ne prenant pas en compte l'année 1974). Les valeurs classées et les fréquences correspondantes figurent dans le tableau XV. L'ajustement des lois classiques de distribution nous conduit à adopter la loi de GALTON (gausso-logarithmique) comme meilleure adéquation. Les paramètres ajustés par la méthode du maximum de vraisemblance à partir de l'échantillon observé sont les suivants :

Moyenne : 58,4 m ³ /s

paramètre de forme : 0,921
 paramètre d'échelle : 39,688
 paramètre de position : -1,74.

La courbe correspondante est tracée sur la figure 12 aussi que les points observés.

TABLEAU XVI

Etiages du NIGER à NIAMEY.

Fréquence ou non dépassement Débit minimal annuel (m ³ /s)	Années humides					Médiane	Années sèches				
	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80		0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
	337	262	179	128	84,5	37,9	16,5	10,5	6,98	4,25	2,92

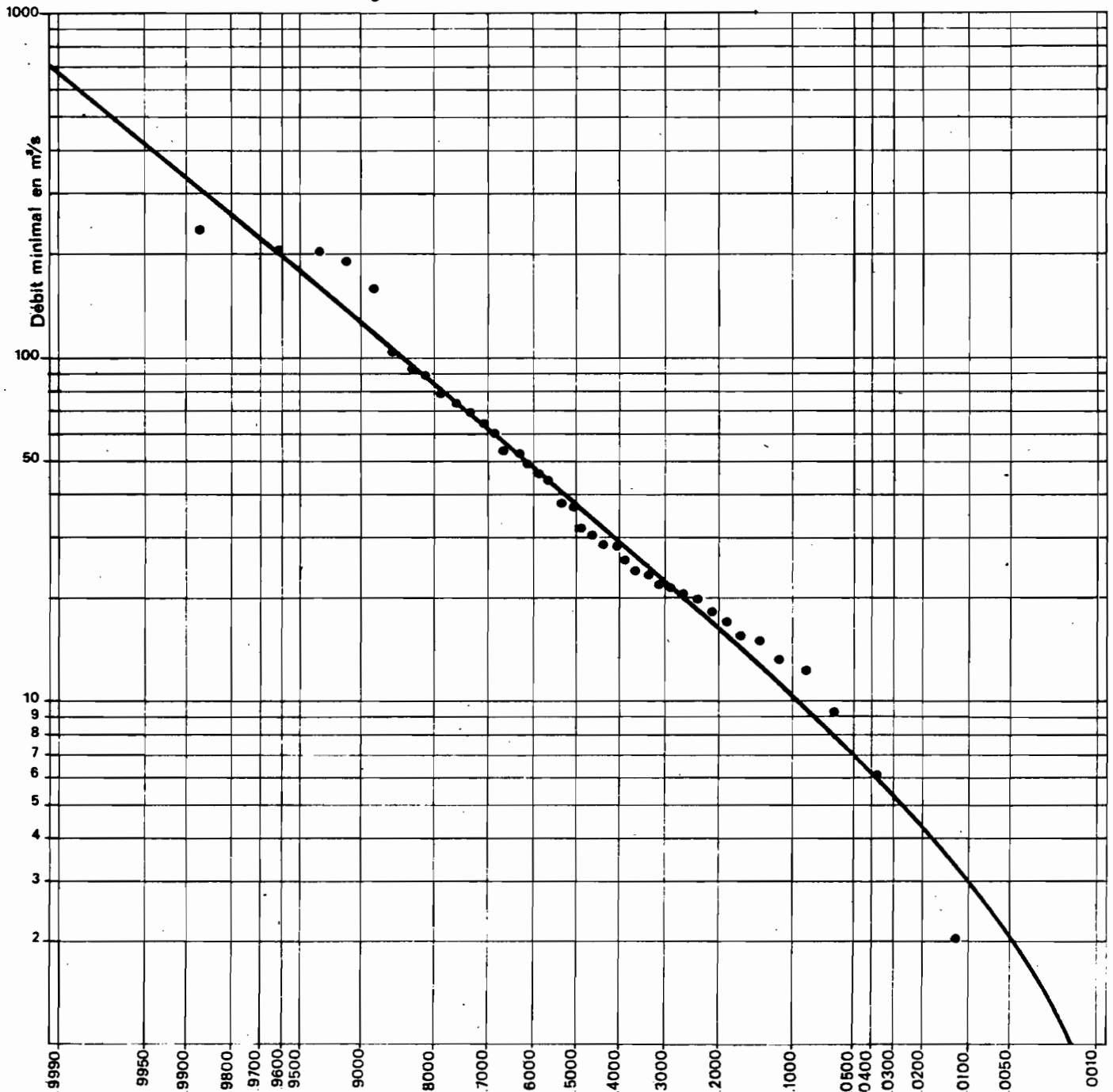
TABLEAU XV

Classement et fréquence observée des débits d'étiage
absolu du NIGER à NIAMEY

$$f = \frac{r - 0,5}{N}$$

Rang	Année	Débit d'étiage (m ³ /s)	Fréquence observée f
1	1973	2,03	0,0125
2	1975	6,15	0,0375
3	1944	9,30	0,0625
4	1972	12,4	0,0875
5	1971	13,3	0,1125
6	1950	14,9	0,1375
7	1948	15,6	0,1625
8	1976	17,0	0,1875
9	1945	18,1	0,2125
10	1947	19,8	0,2375
11	1969	20,2	0,2625
12	1943	21,6	0,2875
13	1962	21,9	0,3125
14	1941	23,3	0,3375
15	1949	24,0	0,3625
16	1946	25,9	0,3875
17	1942	28,1	0,4125
18	1967	28,4	0,4375
19	1960	30,7	0,4625
20	1970	32,0	0,4875
21	1951	36,6	0,5125
22	1966	37,3	0,5375
23	1957	43,9	0,5625
24	1959	45,8	0,5875
25	1935	49,0	0,6125
26	1961	52,5	0,6375
27	1964	53,8	0,6625
28	1968	60,4	0,6875
29	1965	64,6	0,7125
30	1934	68,6	0,7375
31	1936	74,2	0,7625
32	1952	78,6	0,7875
33	1956	89,7	0,8125
34	1963	93,1	0,8375
35	1953	104	0,8625
36	1954	159	0,8875
37	1958	194	0,9125
38	1929	203	0,9375
39	1955	206	0,9625
40	1931	239	0,9875

Etiages du NIGER à NIAMEY



IV.1 DONNEES DISPONIBLES

La station climatologique installée à KANDADJI, dans le cadre des mesures complémentaires pour l'étude de l'aménagement projeté, ne fonctionne que depuis le 11 novembre 1976.

Les quelques données recueillies à cette station (cf. note HOEPFFNER - étude hydrologique du NIGER à KANDADJI - rapport intérimaire - mai 1977) ne permettent donc pas pour l'instant une estimation correcte des pertes par évaporation sur la retenue. L'utilisation de ces données ne sera envisageable que lorsque l'on disposera au minimum d'un an de relevés.

Par contre, nous disposons de données climatologiques et même de données d'évaporation sur bac à la station météorologique de NIAMEY, ainsi qu'à la station agronomique de TILLABERY (INRAN).

Nous avons pu utiliser également les renseignements figurant dans la publication récente du CIEH sur l'évapotranspiration potentielle en Afrique calculée à partir de la formule de TURC (cf. "Cartes d'évapotranspiration potentielle par L. LEMOINE et J.C. PRAT", CIEH 1972).

Enfin et surtout, nous disposons des résultats des rares travaux effectués en régime sahélien sur l'estimation directe des pertes par évaporation sur quelques lacs africains (lac Tchad, lac de Bam, lac Aleg).

IV.2 ESTIMATION DE L'EVAPORATION SUR LA RETENUE

Nous n'avons pas voulu nous contenter des seuls résultats des mesures sur bacs évaporatoires de NIAMEY et TILLABERY car nous savons toute la difficulté d'interprétation de tels résultats liés à l'environnement propre de la station. En particulier, de nombreuses études précédentes montrent l'instabilité manifeste du coefficient (dit "coefficient de bac") à attribuer aux valeurs mesurées sur bac pour passer à l'estimation de l'évaporation sur une grande surface d'eau libre.

Nous avons donc également procédé à une estimation de ces pertes par évaporation par des méthodes moins directes à partir du calcul de l'évapotranspiration potentielle.

On sait en effet qu'en première approximation, la tranche d'eau annuelle perdue par évaporation sur une grande surface d'eau libre en régime sahélien peut être assimilée à l'évapotranspiration potentielle (ETP). Cette ETP est définie comme la limite maximale vers laquelle tend l'évapotranspiration à partir d'un couvert végétal continu non soumis à une quelconque restriction en eau (cf. "La détermination pratique de l'évaporation - Application à l'Afrique Centrale" Ch. RIOU - ORSTOM - Paris, 1975).

En résumé, notre étude a été menée de la façon suivante :

Nous avons tout d'abord essayé d'exploiter les résultats obtenus localement sur bacs et également calculé l'ETP aux différents points où les données disponibles le permettaient.

De cette estimation ponctuelle nous sommes passés à la retenue elle-même en tenant compte des cartes publiées par L. LEMOINE et J.C. PRAT.

TABLEAU XVI

STATION DE NIAMEY-AERO (latitude 13° 29' N)

Valeurs moyennes (1970 - 1975)

	Evaporation Bac Classe A E_B (mm)	Coefficient de bac C_B	ETP = $E_B \times C_B$ mm	ETP PENMAN mm	ETP TURC mm
JANVIER	304	0,620	189	114	192
FEVRIER	320	0,585	187	126	199
MARS	392	0,628	246	173	243
AVRIL	399	0,673	269	194	223
MAI	351	0,708	248	217	196
JUIN	323	0,703	227	210	176
JUILLET	270	0,700	189	176	155
AOUT	174	0,689	120	162	152
SEPTEMBRE	198	0,703	139	169	156
OCTOBRE	274	0,673	185	184	188
NOVEMBRE	296	0,620	184	142	204
DECEMBRE	280	0,602	168	120	182
ANNEE	3581	0,656	2351	1978	2251

TABLEAU XVII

STATION DE TILLABERY (latitude 14° 12' N)
Valeurs moyennes (1970 - 1975)

	Evaporation Bac Colorado E_B^* (mm)	Coefficient de bac C_B	ETP = $E_B \times C_B$ mm	ETP PENMAN mm	ETP TURC mm
JANVIER	273	0,691	189	108	198
FEVRIER	294	0,651	191	113	201
MARS	382	0,710	271	154	239
AVRIL	374	0,751	280	177	232
MAI	352	0,800	282	205	212
JUIN	357	0,778	278	208	187
JUILLET	355	0,766	272	175	160
AOUT	263	0,745	196	161	155
SEPTEMBRE	241	0,773	186	169	162
OCTOBRE	272	0,746	203	173	207
NOVEMBRE	292	0,691	202	131	215
DECEMBRE	256	0,666	170	108	186
ANNEE	3712	0,733	2721	1881	2352

(*) Période 1972 - 1976

Enfin, nous avons confronté ces résultats à ceux acquis directement sur les grands lacs sahéliens étudiés par l'ORSTOM.

Nous avons rassemblé dans les tableaux XVI et XVII les résultats moyens obtenus à partir des observations faites à NIAMEY et TILLABERY de 1970 à 1975.

Les coefficients de bac utilisés dans ces tableaux résultent des travaux de Ch. RIOU en Afrique Centrale. Ils tiennent compte du type de bac (enterré ou au niveau du sol), de sa situation géographique (latitude) et de la température moyenne et de la pluviosité du mois.

Les résultats obtenus par la formule de TURC sont tout à fait en accord avec ceux donnés par L. LEMOINE et J.C. PRAT que nous avons rassemblé dans le tableau XVIII. Il faut remarquer que les valeurs données par ces auteurs sont des moyennes calculées sur 10 ans environ (entre 1960 et 1970) tandis que nos résultats portent sur la période plus récente et particulièrement sèche.

TABLEAU XVIII

EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE CALCULEE PAR LA FORMULE DE TURC

Valeurs moyennes (1960 - 1970)

(mm)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
NIAMEY-AERO 13°29'N	219	214	254	217	194	162	156	139	152	165	191	189	2262
TILLABERY 14°12'N	208	213	248	219	217	166	159	148	155	164	187	183	2267
HOMBORI 15°20'N	200	219	260	250	222	184	158	155	164	200	214	181	2407

La carte des valeurs moyennes annuelles fait apparaître la grande régularité du climat de toute la région du Niger moyen. On constate en effet que l'évapotranspiration potentielle croît régulièrement du sud vers le nord, les isocourbes étant à peu près confondues avec les parallèles.

Ainsi, la station d'HOMBORI (Mali) est située à la même latitude que la future retenue de KANDADJI et l'ensemble des résultats précédents nous conduit à adopter une valeur moyenne annuelle de l'ETP pour la retenue de 2 400 mm.

Les résultats obtenus à partir de la formule de PENMAN (tableaux XVI et XVII) nous paraissent sous-estimés. Il faut remarquer que cette formule, bien que plus rigoureuse que la formule de TURC, fait appel à des données non directement mesurées aux stations considérées et donc certainement assez mal estimées.

A titre de comparaison, nous avons examiné les résultats obtenus par la méthode du bilan hydrologique sur 3 lacs sahéliens : le lac Tchad, le lac de Bam (Haute-Volta) et le lac d'Aleg (Mauritanie).

Sur ces lacs, les pertes moyennes annuelles par évaporation estimées sur plusieurs années sont respectivement :

- lac Tchad (13° 30' N)	2 150 mm	(1954 - 1966)
- lac de Bam (13° 30' N)	2 350 mm	(1966 - 1971)
- Lac Aleg (17° 10' N)	2 785 mm	(1958 - 1960)

Ces résultats confirment notre première estimation à partir de l'ETP et nous adopterons donc la valeur de 2 400 mm d'évaporation annuelle brute avec la répartition annuelle suivante :

TABLEAU XIX

EVAPORATION BRUTE SUR LA RETENUE DE KANDADJI (mm)

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
166	168	240	247	250	246	235	173	166	180	178	151	2 400

Bien entendu, les résultats des mesures complémentaires effectuées à KANDADJI permettront de préciser notre estimation.

IV.3. ESTIMATION DES PERTES NETTES SUR LA RETENUE

Le calcul des pertes nettes provoquées par la création de la retenue doit tenir compte du fait qu'avant son existence il existait des pertes naturelles par évapotranspiration qu'il faut donc déduire de l'évaporation brute de la retenue.

Cette évapotranspiration naturelle correspond en fait au déficit d'écoulement sur la zone considérée qui, en première approximation, peut être assimilé à la totalité des précipitations.

Pour estimer ces précipitations, nous avons utilisé les relevés des stations de TILLABERY et d'ANSONGO sur la période 1923 - 1975. Les tableaux XX et XXI résument les caractéristiques de la pluviométrie à ces stations.

TABLEAU XX

TILLABERY : TOTAUX PLUVIOMETRIQUES MENSUELS INTERANNUELS (en mm)
(1923 - 1975)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
auteur moyenne	0,0	0,6	1,9	3,4	20,9	54,8	124,6	187,8	75,6	10,7	0,3	0,1	480,9
auteur médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7	53,4	126,4	165,1	63,6	3,6	0,0	0,0	
auteur maxi	1,3	30,8	35,7	67,4	108,5	183,9	238,5	411,5	205,6	49,6	9,7	4,2	
auteur mini	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	50,0	60,3	22,3	0,0	0,0	0,0	
ombre d'années	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	

TABLEAU XXI

ANSONGO : TOTAUX PLUVIOMETRIQUES MENSUELS INTERANNUELS (en mm)
(1923 - 1975)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
auteur moyenne	0,0	0,6	0,4	0,5	14,5	26,0	72,2	128,9	37,0	6,7	0,0	0,0	286,8
auteur médiane	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	19,1	68,3	128,4	33,4	2,3	0,0	0,0	
auteur maxi	1,6	14,5	11,8	8,5	188,2	126,2	164,0	347,0	90,7	63,7	0,0	0,0	
auteur mini	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ombre d'années	51	49	51	50	49	50	50	51	50	50	51	51	

TABLEAU XXII

PRECIPITATIONS MOYENNES SUR LA RETENUE DE KANDADJI (en mm)

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
0	0,6	1,2	2,0	17,7	40,4	98,4	158,4	56,3	8,7	0,2	0,1	383,9

En raison de la régularité de la décroissance des précipitations du sud vers le nord (isohyètes quasiment confondues avec les parallèles), nous avons adopté comme valeur de la pluie sur la retenue la moyenne aux stations de TILLABERY et d'ANSONGO (Tableau XXII).

En retranchant cette pluie (considérée comme représentant l'évapotranspiration réelle actuelle) à l'évaporation brute déterminée dans le paragraphe précédent, nous obtenons les pertes nettes par évaporation sur la retenue qui figurent dans le tableau XXIII.

Remarquons que pour estimer les pertes totales en eau à prendre en compte dans le projet, il serait nécessaire d'ajouter à ces valeurs d'éventuelles pertes par infiltration dont la détermination résultera de l'étude de l'étanchéité de la retenue.

TABLEAU XXIII

PERTES NETTES PAR EVAPORATION DANS LA RETENUE DE KANDADJI (en mm)

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
166	167	239	245	232	206	137	15	110	171	178	151	2017

V - ELABORATION DES DONNEES HYDROLOGIQUES POUR LE MODELE DE SIMULATION

Le modèle mathématique de simulation de KANDADJI fonctionne au pas de temps mensuel et son exploitation nécessite en entrée des séries complètes d'apports sur la période la plus longue possible.

Après la mise au point des séries de débits moyens mensuels observés aux stations, nous avons donc dû choisir une période de travail sur laquelle nous avons homogénéisé les données et constitué l'échantillon "historique" utilisé dans le modèle.

Dans la configuration adoptée pour le modèle actuel, le tronçon KANDADJI/retenue de KAINJI a été découpé en deux tronçons :

- le bief KANDADJI/MALANVILLE
- le bief MALANVILLE/retenue de KAINJI.

En outre, on suppose que le débit dans le tronçon KANDADJI/MALANVILLE est égal à celui lâché à KANDADJI diminué des prélèvements pour l'agriculture et le débit dans le tronçon MALANVILLE/KAINJI est égal à ce même débit augmenté des apports des affluents rive droite (essentiellement constitués des affluents dahoméens).

Compte tenu des résultats des chapitres précédents, il s'agissait donc d'établir un échantillon historique complet constitué de deux séries d'apports homogénéisés sur la même période :

- les apports mensuels dans la retenue de KANDADJI (apports A1)
- les apports mensuels intermédiaires aval supposés concentrés à MALANVILLE (apports AC3).

Bien entendu, ces deux séries n'ont pas la même importance pour l'exploitation du modèle, l'une constituant les apports de base régularisés par la retenue et l'autre n'étant qu'un complément d'apports sauvages susceptibles éventuellement d'améliorer les conditions de navigation durant un ou deux mois.

V.1. APPORTS A1 DANS LA RETENUE DE KANDADJI

Pour calculer ces apports nous avons utilisé la série des apports à NIAMEY qui a l'avantage d'être longue, d'excellente qualité et quasiment complète depuis 1944.

C'est donc cette série qui a déterminé le choix de la période de simulation 1944-1976.

Nous avons en effet préféré ne pas utiliser les quelques années antérieures trop incomplètes et partiellement reconstituées.

Pour le calcul des apports mensuels dans la retenue de KANDADJI, nous n'avons pas estimé nécessaire de prendre en considération l'incidence de la SIRBA et du DARGOL (affluents intermédiaires entre KANDADJI et NIAMEY) et ceci pour les raisons suivantes :

- l'incidence de ces affluents est très faible (environ 3 % des apports annuels du NIGER à NIAMEY) et, en première approximation, ils peuvent donc être négligés. D'ailleurs, le fait de prendre pour KANDADJI la série observée à NIAMEY revient, en réalité, à les introduire dans le système en supposant qu'ils sont régularisés par la retenue.
- De toutes façons, nous ne disposons que de données incomplètes et observées sur une courte période pour ces deux cours d'eau. La reconstitution des apports mensuels sur la période 1944-1976 serait une opération difficile et hasardeuse dont l'intérêt ne paraît donc pas évident.

Nous avons rassemblé dans le tableau XXIV la série des 33 années calendaires (1944-1976) des apports A1 dans la retenue, exprimés en m^3 .

V.2. APPORTS INTERMEDIAIRES à l'AVAL (AC3)

En première approximation, nous avons négligé les apports du DARGO de la SIRBA, du DIAMANGOUE et de la TAPOA dont le module global moyen n'est que de l'ordre de $40 \text{ m}^3/\text{s}$, soit environ 4 % de celui du NIGER à NIAMEY.

Dans le modèle de simulation, les apports intermédiaires AC3 sont donc essentiellement constitués des trois affluents dahoméens : le MEKROU, l'ALIBORI et la SOTA. Pour ces cours d'eau, nous disposons des observations suivantes :

- MEKROU : avril 1961 à décembre 1976 avec quelques lacunes
- ALIBORI : janvier 1952 à décembre 1975
- SOTA : janvier 1953 à décembre 1975.

L'homogénéisation de ces données et la constitution de la série des apports globaux (MEKROU + ALIBORI + SOTA) sur la période 1944-1975 a comporté les opérations suivantes :

- calcul des apports globaux observés sur la période 1961-1976,
- reconstitution des apports de la MEKROU pour la période 1953-1960 et calcul des apports globaux sur cette période,
- reconstitution des apports globaux pour la période 1944-1952.

V.2.1. Homogénéisation des données sur la période 1961-1976

Pour cette période :

- il n'y a que quelques lacunes partielles, (le plus souvent, il ne manque qu'un débit mensuel de l'un des affluents). Ces lacunes ont été très facilement comblées en complétant les données manquantes par simple estimation en tenant compte des relations entre stations.

TABLEAU XXIV

APPORTS A1 DANS LA RETENUE DE KANDADJI

NUMERO : 10000001

APPORTS MENSUELS ET ANNUELS (EN MEGA M3)

		JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	TOTAL
1	44	4290	3630	2300	684.	177.	75.7	52.2	319.	1530	2530	3030	3700	22300
2	45	3880	2780	1400	378.	110.	73.1	69.9	137.	2350	3400	3710	4340	22600
3	46	4740	3990	3460	1310	297.	86.6	127.	1230	2640	3210	3500	4100	28700
4	47	4470	4310	4120	2160	214.	169.	76.3	667.	2090	2790	3080	3720	27900
5	48	3960	3180	1650	521.	137.	62.2	53.3	1320	2480	3110	3500	4040	24000
6	49	4420	3750	2680	936.	262.	123.	105.	378.	2120	2950	3340	3910	25000
7	50	4210	3360	2200	700.	197.	64.0	60.8	1320	3370	3640	3890	4450	27500
8	51	4900	4570	4530	2490	731.	195.	490.	1570	2500	3210	3600	4150	32900
9	52	4660	4710	5040	4120	2310	682.	292.	1210	3600	4120	4070	4500	34300
10	53	4980	4720	4870	3370	1450	524.	498.	2200	3470	3860	4070	4580	38600
11	54	5200	4890	4960	3470	1550	568.	755.	2170	3010	3640	4020	4610	38800
12	55	5200	5010	5300	4170	2410	886.	731.	2130	3190	3860	4200	4770	41900
13	56	5360	5360	5250	3780	1790	575.	329.	1230	2750	3370	3600	4150	37500
14	57	4500	4060	3720	1690	525.	202.	193.	1410	2590	3370	3840	4420	30500
15	58	5010	4910	5280	4170	2070	728.	921.	2370	3890	3590	3760	4370	41100
16	59	4790	4520	4580	3010	1130	277.	209.	1460	3210	3430	3730	4420	34800
17	60	4790	4540	3830	1650	431.	122.	141.	1380	2640	3400	3780	4450	31200
18	61	4870	4400	4070	2140	672.	200.	193.	1230	3370	3460	3680	4290	32600
19	62	4660	3970	3030	975.	321.	102.	139.	1380	3190	3510	3840	4450	29600
20	63	5040	4940	4660	2900	1090	353.	289.	806.	2160	3030	3420	4150	32900
21	64	4690	4560	4100	1780	541.	252.	262.	1870	3600	3750	3940	4630	34000
22	65	5300	4980	4770	2900	1040	329.	229.	1820	3910	3990	4100	4630	38000
23	66	5090	4550	3750	1480	445.	173.	130.	450.	1900	3130	3710	4550	29400
24	67	5120	4670	3830	1450	439.	150.	145.	1150	3600	3780	4150	5010	33500
25	68	5810	5760	5280	2950	959.	298.	496.	1750	2620	3460	3990	4710	38100
26	69	5060	4110	2730	837.	242.	87.1	152.	1630	3290	4040	4330	5060	31600
27	70	5970	5520	4930	2290	651.	229.	148.	731.	2250	3350	3840	4530	34400
28	71	4820	3560	1730	513.	162.	48.5	134.	737.	2430	3400	3910	4710	26200
29	72	4820	3360	1390	420.	137.	57.0	359.	1630	2530	3270	3600	4100	25700
30	73	3670	1840	675.	155.	48.5	20.8	115.	766.	1900	3080	3580	3860	19700
31	74	2970	1160	455.	148.	38.8	12.2	375.	994.	3030	3640	4150	4870	21800
32	75	5040	3240	1220	288.	102.	28.8	190.	1480	3240	3780	4280	5040	27900
33	76	5460	4230	2070	498.	166.	79.1	180.	1080	2560	3510	3910	4530	28300
44-76		4780	4160	3450	1830	692.	237.	262.	1270	2820	3440	3790	4420	31200

V.2.2. Homogénéisation des données sur la période 1953-1960

Pour cette période, on ne dispose d'observations que sur l'ALIBORI et la SOTA. Il est donc nécessaire de reconstituer les débits de la MEKROU à BAROU.

Cette opération avait déjà été réalisée en 1972 par P. TOUCHEBEUF (cf. la MEKROU à BAROU - Extension des débits mensuels et annuels - mars 1972) à partir des données pluviométriques de 3 postes encadrant le bassin et dont les relevés de longue durée (depuis 1921) sont considérés comme étant de très bonne qualité. P. TOUCHEBEUF disposait à l'époque des observations de la MEKROU de 1961 à 1970. Nous avons repris ce travail en utilisant le complément d'information recueillie de 1970 à 1975.

Les postes pluviométriques utilisés sont les suivants (voir fig. 1)

	Latitude	Longitude	Altitude
NATITINGOU	10° 19' N	1° 23' E	460 m
BEMBEREKE	10° 12' N	2° 40' E	490 m
KANDI	11° 08' N	2° 56' E	290 m.

Le procédé utilisé pour cette reconstitution est l'analyse de régression linéaire multiple permettant d'établir mois par mois la meilleure relation stochastique entre le débit de la MEKROU à BAROU du mois M et la pluviométrie observée sur les 3 postes le même mois ou dans les 3 mois antérieurs.

La sélection des variables expliquant au mieux les débits observés de 1961 à 1975 a été effectuée sur ordinateur selon la méthode de STEPWISE.

Si on admet en première approximation la normalité de la distribution marginale de la variable dépendante et des variables explicatives, on aboutit à des régressions linéaires de la forme :

$$Q' (M) = b_0 + b_1 P_1 + \dots + b_m P_m$$

$b_0, b_1, \dots, b_m$ étant les coefficients de régression et $P_1, \dots, P_m$ les pluviométries explicatives données dans le tableau XXV.

Par cette méthode on ne peut reconstituer que les débits des mois de juin à décembre pour lesquels les coefficients de corrélation multiple obtenus, bien que peu élevés, restent relativement satisfaisants.

L'écart-type résiduel $S (M)$ donné dans le tableau XXV permet d'évaluer la précision avec laquelle le débit mensuel peut être calculé. On sait en effet que l'intervalle de confiance à 90 % du vrai débit inconnu $Q (M)$ est :

$$Q' (M) - 1,64 S (M), \quad Q' (M) + 1,64 S (M)$$

$Q' (M)$ étant le débit calculé du mois M.

Pour les débits des mois de janvier à mai, on a utilisé les relations déduites des étiages observés entre le débit du mois considéré et celui du mois de décembre précédent.

Pour la MEKROU à BAROU, nous avons :

$$\begin{aligned} Q_{JAN} &= 0,3 (Q_{DEC} - 1) \\ Q_{FEV} &= 0,125 (Q_{DEC} - 3,5) \\ Q_{MAR} &= 0,035 (Q_{DEC} - 7) \\ Q_{AVR} &= 0 \\ Q_{MAI} &= 0 \end{aligned}$$

TABLEAU XXV

MEKROU à BAROU - Régressions linéaires multiples liant les débits mensuels Q (m^3/s) aux pluviométries mensuelles P_n suivantes (en mm) :

P_1 = Pluviométrie à BEMBEREKE P_2 = Pluviométrie à KANDI P_3 = Pluviométrie à NATITINGOU P_4 = $(P_1 + P_2 + P_3)/3$		
régressions linéaires multiples	coefficient de corrélation multiple	écart-type résiduel
$Q_{JUIN} = - 0,239 + 0,0954 P_{2AVR}$	0,891	1,791
$Q_{JUILLET} = 1,39 + 0,1149 P_{3JUIN}$	0,669	6,717
$Q_{AOUT} = 30,0 + 0,2036 P_{1JUIL} + 0,1734 P_{4AOUT}$	0,712	17,218
$Q_{SEPT} = 23,9 + 1,0571 P_{3JUIN}$	0,656	63,909
$Q_{OCTO} = - 134 + 0,2278 P_{1AOUT} + 0,6506 P_{3SEP}$	0,833	32,256
$Q_{NOV} = - 3,76 + 1,4578 P_{1NOV} + 0,0839 P_{4AOUT}$	0,875	8,657
$Q_{DEC} = 4,64 + 0,3606 P_{1NOV} + 0,0687 P_{2OCTO}$	0,885	2,563

Après avoir reconstitué les débits de la MEKROU de 1953 à 1960, nous avons calculé la somme des apports MEKROU + ALIBORI + SOTA sur cette période.

Les résultats obtenus peuvent être considérés comme satisfaisants dans la mesure où l'apport de la MEKROU ne représente que 30 % des apports globaux.

V.2.3. Reconstitution des données sur la période 1944-1952

Pour cette période, nous ne disposons d'aucunes données hydrométriques sur aucun des affluents.

Nous avons tout d'abord effectué de nombreuses tentatives de reconstitution à partir d'observations sur d'autres cours d'eau dahoméens ou guinéens ayant a priori un régime hydrologique analogue. Ces essais sont restés infructueux.

Nous avons finalement utilisé la pluviométrie des 3 postes ayant déjà servi à la reconstitution des débits de la MEKROU et nous sommes parvenus à des résultats qui, bien que douteux, peuvent être considérés comme acceptables pour une telle étude.

La méthode utilisée est celle décrite dans le paragraphe précédent, le débit à reconstituer étant cette fois la somme des débits des 3 affluents dahoméens et la période d'observation commune permettant l'établissement des régressions étant encore 1961-1975.

Les résultats de l'analyse de régression linéaire sont donnés dans le tableau XXVI. Ils ne concernent que les mois d'avril à décembre pour lesquels les coefficients de corrélation multiple obtenus restent significatifs bien que parfois bien faibles. Pour janvier, février et mars, nous avons établi des relations entre le débit du mois considéré et celui du mois de décembre précédent.

Pour la somme des affluents dahoméens, nous avons :

$$Q_{JAN} = 0,29 Q_{DEC} + 2,5$$

$$Q_{FEV} = 0,18 Q_{DEC} + 2,3$$

$$Q_{MAR} = 0,14 Q_{DEC} + 2,0$$

Nous avons rassemblé dans le tableau XXVII la série des 32 années calendaires (1944-1975) des apports intermédiaires AC3 exprimés en méga m³.

TABLEAU XXVI

SOMME DES AFFLUENTS DAHOMEENS (MEKROU + ALIBORI + SOTA) :

Régressions linéaires multiples liant les débits mensuels Q (m^3/s)
aux pluviométries mensuelles suivantes : (en mm)

P1 : Pluviométrie à BEMBEREKE P2 : Pluviométrie à KANDI P3 : Pluviométrie à NATITINGOU P4 : (P1 + P2 + P3) /3		
régressions linéaires multiples	coefficient de corrélacion multiple	écart-type résiduel
$Q_{AVRIL} = 4,13 + 0,0609 P1_{JAN}$	0,583	1,161
$Q_{MAI} = 2,20 + 0,0232 P1_{MAI} + 0,0394 P2_{AVR}$	0,763	2,104
$Q_{JUIN} = - 4,05 + 0,1482 P3_{JUIN}$	0,653	9,030
$Q_{JUILLET} = 33,7 + 0,9583 P2_{AVR}$	0,749	31,262
$Q_{AOUT} = - 149 + 0,9035 P1_{AOUT} + 1,1707 P3_{JUIN}$	0,837	79,770
$Q_{SEPT} = - 1435 + 2,0725 P1_{AOUT} + 4,3734 P4_{SEP} + 1,6170 P4_{JUIL}$	0,903	111,215
$Q_{OCT} = - 287 + 1,1645 P3_{SEP} + 0,7094 P4_{AOUT}$	0,822	81,741
$Q_{NOV} = - 44,2 + 2,9266 P1_{NOV} + 0,1335 P3_{SEP} + 0,1668 P4_{AOUT}$	0,946	13,042
$Q_{DEC} = 9,95 + 0,6893 P4_{NOV}$	0,834	4,872

TABLEAU XXVII

APPORTS INTERMEDIAIRES AC3 (AFFLUENTS DAHOMEENS)

NUMERO : 20000003

APPORTS MENSUELS ET ANNUELS (EN MEGA M3)

		JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	TOTAL
1	44	16.6	11.5	10.2	10.7	15.6	54.2	172.	643.	863.	431.	80.6	32.4	2340
2	45	16.1	10.8	9.88	10.7	14.9	53.7	157.	900.	1860	1140	167.	26.7	4370
3	46	14.4	9.89	9.08	10.7	10.6	37.6	72.0	496.	1870	809.	115.	27.3	3480
4	47	14.6	10.0	9.19	10.7	13.2	42.0	144.	785.	2830	911.	185.	70.4	5030
5	48	27.1	17.6	15.2	10.7	14.4	56.8	263.	892.	1810	632.	105.	54.9	3900
6	49	22.6	14.5	13.0	10.7	12.9	55.7	175.	1120	1130	418.	358.	99.6	3430
7	50	35.6	21.8	19.3	21.1	18.1	42.5	183.	683.	708.	453.	88.1	26.7	2300
8	51	14.4	9.89	9.08	10.8	20.5	76.5	332.	1450	3970	1060	231.	50.4	7230
9	52	21.3	14.2	12.4	10.7	16.2	52.1	144.	471.	1850	1180	147.	28.7	3950
10	53	25.0	12.6	11.1	10.5	64.0	128.	431.	943.	2140	889.	118.	35.9	4810
11	54	18.1	12.0	10.9	8.63	106.	60.9	136.	640.	2000	777.	167.	42.9	3980
12	55	18.9	12.8	11.7	10.1	20.4	45.9	439.	1770	2080	1260	212.	66.4	5970
13	56	32.1	24.9	22.0	14.4	13.1	37.6	177.	627.	1340	857.	92.5	37.2	3270
14	57	18.4	11.1	9.80	10.4	44.2	109.	238.	1530	2750	1250	209.	65.1	6240
15	58	28.4	17.1	15.7	17.6	19.6	44.1	61.1	96.2	474.	434.	90.5	34.8	1330
16	59	15.5	9.73	8.68	7.93	24.9	31.9	130.	517.	2100	1170	147.	36.2	4200
17	60	20.4	16.1	16.9	16.8	19.9	67.7	222.	613.	1840	1480	170.	54.6	4540
18	61	37.0	22.3	18.1	18.6	18.5	32.1	154.	380.	1080	303.	46.1	17.2	2130
19	62	11.8	9.22	9.70	12.3	20.1	68.7	415.	1570	2830	1010	188.	64.0	6210
20	63	27.3	16.7	15.2	12.6	20.2	45.4	142.	857.	1400	830.	192.	50.6	3610
21	64	20.2	11.3	9.94	9.33	10.5	48.5	140.	798.	1630	445.	88.9	27.3	3240
22	65	15.9	11.3	11.1	12.9	23.5	35.3	106.	461.	1040	257.	76.5	27.3	2080
23	66	13.3	8.06	7.55	6.92	9.67	34.0	98.8	292.	1070	739.	125.	25.9	2430
24	67	11.7	8.42	8.33	7.67	15.7	24.5	81.7	710.	2140	1100	150.	47.1	4310
25	68	24.3	17.0	15.8	14.7	29.7	101.	434.	954.	1370	739.	136.	40.7	3880
26	69	18.9	10.8	8.57	11.0	11.0	29.0	172.	1030	2010	911.	402.	99.1	4710
27	70	33.2	18.4	13.3	9.51	12.2	16.5	73.7	651.	1930	1030	121.	34.6	3940
28	71	18.1	12.3	13.2	13.5	18.7	36.0	230.	506.	941.	256.	46.1	21.5	2110
29	72	14.6	13.9	15.1	16.7	25.5	40.4	122.	383.	975.	412.	50.8	23.1	2090
30	73	11.1	8.64	8.33	7.49	7.50	28.5	67.8	485.	635.	287.	40.2	16.8	1600
31	74	11.1	8.95	8.20	7.15	11.7	42.0	237.	378.	1180	600.	114.	37.5	2640
32	75	13.3	9.99	8.87	9.90	22.2	20.1	169.	351.	853.	410.	62.2	20.3	1950
33	76	12.3	10.3	9.37	8.79	12.7	46.7	38.8	266.	212.	247.	117.	23.1	1000
44-76		19.8	13.2	12.0	11.6	21.8	49.8	187.	735.	1600	750.	141.	41.4	3580

VI - SEDIMENTATION DANS LA RETENUE DE KANDADJI

La seule source sérieuse d'informations chiffrées relatives aux transports solides au droit de KANDADJI est constituée des résultats des mesures très récentes et non achevées entreprises par la mission ORSTOM du NIGER dans le cadre des mesures complémentaires.

Nous rappellerons donc et exploiterons dans ce chapitre les principaux résultats acquis à ce jour et publiés dans la note ORSTOM "Etude hydrologique du NIGER à KANDADJI RAPPORT INTERIMAIRE par M. HOEPFFNER - mai 1977".

VI.1. APPORTS SOLIDES à KANDADJI

Les mesures ne concernent que les sédiments en suspension, le charriage de fond qui est de très faible importance sur le NIGER se prêtant mal à des mesures précises. Elles ont débuté le 25 juin 1976.

Le mode opératoire est le suivant :

- Prélèvement de 10 litres d'eau au niveau de l'échelle aval de KANDADJI à raison d'un prélèvement tous les 3 jours.
- Flocculation des éléments en suspension par adjonction d'acide chloridrique et décantation.
- Filtration du résidu sur du papier filtre préalablement pesé puis dessiccation à l'étuve et nouvelle pesée du filtre avec résidu sec permettant de déterminer par différence le poids de matière solide contenu dans l'échantillon prélevé.

Actuellement, ces mesures ont permis d'estimer la concentration en sédiments et par conséquent les débits solides correspondants sur une période de 10 mois (juillet 1976 à avril 1977).

On constate que les concentrations mesurées sont faibles, la plus forte valeur étant de 0,413 g/l le 8 juillet 1976. Les valeurs moyennes mensuelles sont rassemblées dans le tableau XXVIII.

TABLEAU XXVIII

Transports solides en suspension du NIGER à KANDADJI
moyennes mensuelles mesurées

Concentrations (g/m ³)	272	139	168	108	69,5	37,0	29,6	44,6	68,4	71,4
Débits solides (kg/s)	1,64	46,5	155	138	108	66,2	60,1	80,4	77,1	24,2

Cette faible turbidité s'explique par le fait que les eaux du NIGER ont subi une efficace décantation en amont et, à la sortie de la cuvette lacustre, elles ne contiennent pratiquement plus que de fins éléments argileux en suspension.

Cependant, à ces eaux très peu chargées s'ajoutent localement les eaux des affluents voltaïques essentiellement constitués du GOROUOL dont la confluence avec le NIGER est juste à l'amont de KANDADJI.

La figure 13 montre très nettement une variation annuelle du débit solide à 2 maxima :

- le premier maximum se situe en septembre et correspond à la fois aux apports du GOROUOL beaucoup plus chargés et également à un apport du reste du bassin du NIGER moyen provoqué par l'action des premières pluies importantes (juillet) dont l'effet d'érosion sur un sol desséché est considérable.
- le deuxième maximum, moins marqué, se situe en février et correspond à la crue du NIGER, importante en apports liquides mais avec des concentrations en sédiments beaucoup plus faibles.

En fait ces résultats ont été obtenus à partir de mesures ponctuelles effectuées sur une des rives.

Pour estimer leur signification par rapport à une mesure complète de la concentration dans toute la section, on ne dispose que de 3 jaugeages complets (avec 50 prélèvements par jaugeage répartis dans la section et une prise d'échantillon témoin sur la rive).

Pour ces 3 mesures le rapport entre concentration moyenne dans la section et concentration ponctuelle sur une rive varie de 1,18 à 1,81. Il est probable que ce rapport soit fonction de la concentration et peut être de la vitesse d'écoulement mais pour l'instant l'insuffisance de mesures complètes ne permet pas son estimation correcte et nous adopterons une valeur provisoire de 1,5.

Les résultats portent sur 10 mois, mais peuvent facilement être extrapolés à l'année en admettant pour mai et juin une concentration moyenne de l'ordre de 70 g/m³ et un débit/moyen liquide de l'ordre de 120 m³/s en mai et 40 m³/s en juin.

On obtient ainsi pour 1976-1977 un débit moyen solide estimé à 96 kg/s pour un débit moyen liquide de 960 m³/s environ. La concentration moyenne des sédiments en suspension peut donc être estimée à 0,1 g/l pour 1976-1977 ce qui conduit à un apport solide annuel d'environ 3.10⁶ tonnes.

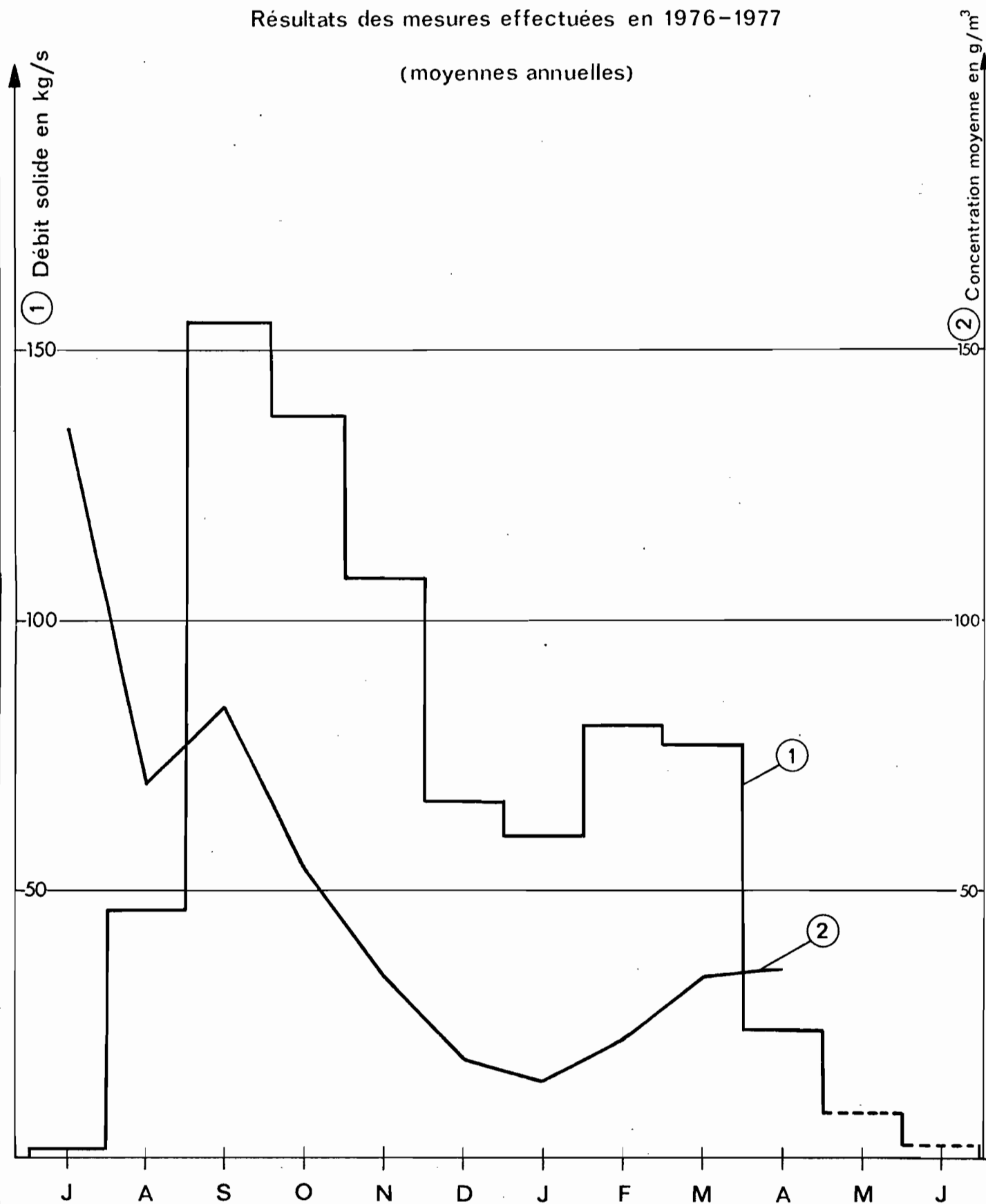
Nous négligerons le charriage de fond qui doit représenter moins de 5 % du transport en suspension c'est à dire environ 150 000 tonnes par an.

NIGER à KANDADJI

Apports solides en suspension

Résultats des mesures effectuées en 1976-1977

(moyennes annuelles)



VI.2. SEDIMENTATION DANS LA RETENUE DE KANDADJI

On peut admettre dès à présent que l'année 1976-1977 sera une année proche de la moyenne pour les apports liquides du NIGER à KANDADJI. Compte tenu de la grande régularité interannuelle du climat et en particulier de l'occurrence et de l'intensité des premières pluies, on peut penser qu'il en sera de même pour les apports solides.

L'apport moyen annuel à KANDADJI peut donc être estimé à environ $3 \cdot 10^6$ tonnes/an.

Il est probable que sur ce tonnage annuel une proportion difficile à estimer ne sédimenterait pas dans la retenue, car elle serait entraînée par les déversements et vidanges de fond. Cette quantité qui échapperait à la sédimentation doit dépendre de la granulométrie des sédiments et aussi de la capacité de la retenue et de son mode de gestion.

Par mesure de sécurité et dans l'état actuel de nos connaissances, nous supposons que la totalité des apports sédimentent, ce qui en admettant une densité des sédiments de l'ordre de 1,3 conduit à un volume annuel de $2,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Si nous comparons ce chiffre à celui de la capacité maximale de la retenue pour la cote 245 m (capacité de $18\,400 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) on voit que, malgré l'imprécision actuelle de son estimation, la sédimentation dans KANDADJI ne constitue pas un problème bien grave.

En 50 années d'exploitation l'envasement n'entraînera qu'une diminution de la capacité de l'ordre de 0,6 %.

A N N E X E I

TABLEAUX DES DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS OBSERVES

TATION : MALI

NIGER

NIGER

TOSSAYE

UMERO : 27150181

DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)

	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	MODULE
-55							2280	2280	1990	1370	666.	287.	
5-56	383.	993.	1460	1740	1950	2130	2270	2230	1820	1160	465.	189.	1400.
6-57	173.	526.	1070	1480	1700	1850	1920	1740	1150	441.	165.	107.	1020.
7-58	199.	672.	1260	1580	1780	1970	2130	2150	1940	1330	528.	260.	1310.
8-59	450.	923.	1320	1590	1780	1930	2040	1990	1560	855.	293.	126.	1230.
9-60	190.	603.	1220	1560	1770	1920	2000	1800	1150	418.	135.	58.8	1070.
0-61	181.	692.	1260	1560	1760	1920	2010	1860	1300	562.	195.	93.2	1110.
1-62	112.	516.	1180	1520	1740	1870	1900	1510	801.	270.	150.	122.	971.
2-63	152.	581.	1240	1570	1800	1970	2120	2040	1560	819.	279.	137.	1180.
3-64	112.	388.	1010	1430	1660	1850	1970	1830	1220	446.	165.	99.1	1010.
4-65	196.	672.	1290	1620	1850	2040	2150	2070	1590	794.	267.	135.	1220.
5-66	209.	810.	1390	1680	1840	2020	2080	1770	1060	382.	162.	99.6	1130.
6-67	121.	332.	863.	1480	1780	1980	2060	1820	1070	375.	159.	57.2	1000.
7-68	58.1	482.	1230	1700	1920	2150	2310	2210	1610	774.	265.	106.	1230.
8-69	363.	771.	1310	1650	1840	1970	1940	1450	700.	262.	183.	112.	1040.
9-70	156.	782.	1490	1740	1910	2130	2290	2070	1420	595.	211.	91.3	1240.
0-71	69.6	394.	1100	1590	1830	1970	1830	1050	458.	188.	69.0	25.6	881.
1-72	53.8	463.	1190	1640	1850	1980	1780	1100	380.	136.	43.6	41.0	888.
2-73	320.	717.	1210	1540	170.	1690	1200	562.	223.	68.2	17.8	5.07	647.
3-74	9.95	201.	985.	1490	1660	1510	1030	431.	129.	40.6	15.2	5.07	627.
4-75	3.57	425.	1350	1760	1960	2070	1830	1060	297.	78.6	28.7	6.75	905.
5-76	66.0	619.	1400	1790	2010	2150	2060	1400	517.	138.	50.8	17.9	1020.
6-77	23.6	493.	1200	1640	1840	1980	2080	1880					
7-78													
5-77	166.	593.	1230	1610	1750	1960	1970	1670	1090	523.	205.	99.2	1070.

STATION : MALI

NIGER

NIGER

ANSONGO

NUMERO : 27150106

DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)

	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	MODULI
-50													
50-51					1490	1660	1750	1750	1680	918.			
51-52	183.	523.	957.	1250	1460	1620	1730	1870	1810	1450	723.	162.	1150.
52-53							1860	1880	1720	1180	380.	77.0	
53-54	145.	738.	1150	1380	1590	1740	1350	1850	1730	1190	406.	152.	1160.
54-55	235.	703.	1140	1380	1590	1780	1940	2000	1890	1520	774.	222.	1260.
55-56	229.	747.	1150	1410	1520	1790	1930	1950	1760	1310	497.	151.	1210.
56-57	116.	480.	801.	1180	1430	1600	1720	1650	1300	475.	131.	64.9	909.
57-58	92.9	470.	1030	1290	1500	1660	1840	1910	1790	1430	673.	214.	1150.
58-59		803.	1140	1360	1560	1710	1780	1780	1640				
59-60		427.	995.	1280	1510	1670	1780	1720	1340	529.	119.	61.9	
60-61	105.						1760	1710	1410	679.	172.		
61-62		125.	843.	1280	1430	1610	1700	1610	1340	658.			
62-63		103.	961.	1260			1810	1810	1490	971.	259.		
63-64		228.	798.	1150	1330	1530	1690	1690	1350	486.			
64-65		488.	1010	1290	1530	1730	1890	1890	1660	904.	207.		
65-66	171.	626.	1200	1420	1580			1780	1260	375.			
66-67		260.	631.	1130	1390	1610	1730	1720	1100	407.			
67-68		293.		1330	1570	1770	1940	1900	1630	908.	204.		
68-69		566.	1040	1270	1490	1650		1460	841.	204.			
69-70		513.	1100	1390	1650	1810	2370		1580	817.	131.		
70-71		285.	947.	1540	1730	2060		2650					
71-72			1100	1390	1490				1110	411.	96.5	64.7	
72-73	113.	178.	296.	802.	1430		1370	782.	101.			82.0	
73-74	121.	214.	753.	1300	1350	1140		257.					
74-75	92.1	239.	957.	1250	1440	1560	1510	1040	260.	85.0	30.3	14.5	705.
75-76	27.7	370.	977.	1270	1470	1640							
60-75	136.	426.	953.	1290	1510	1670	1800	1680	1380	805.	320.	115.	1010.

TATION : NIGER

NIGER

NIGER

NIAMEY

UMERO : 32150127

DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)

	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	MODULE
-29							1750	1980	1940	1630	865.	332.	
9-30	295.	861.	1180	1360	1520	1660	1830	2000	1920	1530	810.		
0-31		780.	1190	1330	1440	1670	1860	1930		1290	560.	269.	
1-32	345.	685.	1050	1290	1490	1640	1710	1730	1480	796.	315.		
2-33													
3-34							1760	1800	1590	1020	417.	145.	
4-35	99.9	279.	879.	1200	1360	1570	1720	1710	1300	536.	208.	71.0	911.
5-36	50.1	332.	920.	1260	1420	1590	1730	1780	1490	785.	279.	109.	976.
6-37	317.	754.	1430	1330									
7-38													
8-39													
9-40													
0-41							1440	1300	884.		99.6	33.0	
1-42	31.6	341.	730.	979.	1200	1400	1480	1350	816.	278.	77.5	33.5	723.
2-43	76.2	400.	853.	1030	1210	1390	1400	1200	573.	158.	45.2	27.3	694.
3-44	32.8	382.	1120	1220	1270	1480	1500	1450	859.	264.	60.2	24.2	813.
4-45	19.5	119.	589.	946.	1170	1380	1450	1150	522.	146.	41.2	28.2	627.
5-46	26.1	51.0	908.	1270	1430	1620	1770	1650	1290	506.	111.	33.4	884.
6-47	47.6	450.	1020	1200	1350	1530	1670	1780	1540	833.	80.0	65.0	960.
7-48	28.5	249.	806.	1040	1190	1390	1480	1270	617.	201.	51.1	24.0	694.
8-49	19.9	493.	956.	1160	1350	1510	1650	1550	999.	361.	97.8	47.3	846.
9-50	39.1	141.	819.	1100	1290	1460	1570	1390	820.	270.	73.7	24.7	746.
0-51	22.7	491.	1300	1360	1500	1660	1830	1890	1690	961.	273.	75.4	1080.
1-52	183.	585.	964.	1200	1390	1550	1740	1880	1880	1590	804.	263.	1170.
2-53	109.	450.	1390	1540	1570	1680	1850	1950	1420	1300	542.	202.	1200.
3-54	186.	822.	1340	1440	1570	1710	1940	2020	1850	1340	579.	219.	1250.
4-55	282.	812.	1160	1360	1550	1720	1940	2070	1980	1610	893.	342.	1310.
5-56	273.	795.	1230	1440	1620	1780	2000	2140	1960	1460	669.	222.	1300.
6-57	123.	458.	1060	1260	1390	1550	1680	1680	1390	653.	195.	77.9	956.
7-58	72.1	525.	1000	1260	1480	1650	1870	2030	1970	1610	771.	281.	1200.
8-59	344.	886.	1500	1340	1450	1630	1790	1470	1710	1160	422.	107.	1180.
9-60	77.9	545.	1240	1280	1440	1650	1790	1810	1430	637.	161.	47.0	1010.
0-61	52.8	516.	1020	1270	1450	1650	1820	1820	1520	827.	251.	77.1	1020.
1-62	71.9	460.	1300	1290	1420	1600	1740	1640	1130	376.	120.	39.3	928.
2-63	52.0	514.	1230	1310	1480	1660	1850	2040	1740	1120	406.	136.	1120.
3-64	108.	301.	840.	1130	1320	1550	1750	1820	1530	637.	202.	47.3	942.
4-65	97.8	697.	1390	1400	1520	1730	1980	2060	1780	1120	387.	127.	1190.
5-66	85.5	679.	1510	1490	1540	1730	1900	1980	1400	570.	165.	65.8	1080.
6-67	48.4	168.	732.	1170	1430	1700	1910	1930	1430	559.	164.	58.0	936.
7-68	54.0	430.	1390	1410	1600	1870	2170	2300	1970	1140	358.	115.	1230.
8-69	185.	653.	1010	1290	1540	1760	1890	1700	1020	323.	90.3	33.6	954.
9-70	55.9	610.	1270	1510	1670	1890	2230	2280	1640	883.	243.	88.4	1210.
0-71	55.4	273.	868.	1250	1480	1690	1800	1470	646.	198.	60.4	18.7	814.
1-72	50.2	275.	939.	1270	1510	1750	1800	1340	518.	162.	51.3	22.0	807.
2-73	134.	609.	977.	1220	1390	1530	1370	761.	252.	59.9	18.1	8.04	694.
3-74	43.0	286.	732.	1150	1380	1440	1110	481.	170.	57.0	14.5	4.71	573.
4-75	140.	371.	1170	1360	1600	1820	1850	1340	455.	111.	33.0	11.1	856.
5-76	71.0	554.	1250	1410	1650	1880	2040	1690	772.	192.	62.0	30.5	965.
6-77	67.2	403.	988.	1310	1510	1650	1900	1870					
9-77	109.	488.	1080	1270	1440	1630	1760	1700	1300	747.	284.	98.6	992.

TATION : DAHOMEY NIGER NIGER MALANVILLE

UMERO : 11150104

	DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)												
	JULIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	MODULE
-52													
2-53	160.	446.	1480	1960	1580	1670	1940	2170	2130	1550	672.	332.	1340.
3-54	293.	1030	1930	1830	1640	1760	2040	2290	2190	1560	674.	314.	1460.
4-55	308.	1020	1790	1550	1500	1680	2010	2320	2330	1970	1100	460.	1500.
5-56	411.	1360	1920	2190	1690	1780	2110	2420	2330	1760	789.	312.	1590.
6-57	199.	685.	1430	1530	1410	1570	1770	1860	1510	735.	268.	142.	1090.
7-58	105.	933.	1840	1600	1460	1580	1870	2140	2200	1770	880.	346.	1390.
8-59	345.	902.	1480	1430	1380	1550	1870	2010	1950	1330	540.	159.	1240.
9-60	115.	791.	2260	1710	1390	1590	1810	1980	1630	766.	246.	72.0	1190.
0-61							1860	2030	1750	964.	351.		
1-62		594.	1640	1460	1330	1530	1730	1770	1240	476.	154.	73.0	
2-63	206.	618.	2420	1750	1450	1590	1820	2110	1970	1250	507.	145.	1340.
3-64	144.	536.	1250	1340	1280	1410	1680	1870	1680	784.	329.	258.	1040.
4-65	280.	920.	1950	1630	1310	1590	1900	2170	2000				
5-66			1590	1540	1490	1540	1770	1900	1540	840.			
6-67		280.	1050	1370	1340	1540	1900	2090	1610	665.	205.	65.0	
7-68		600.	1950	1750	1550	1830	2300	2620	2480	1380	550.	220.	
8-69	300.	920.	1380	1430	1400	1690	1930	1880	1150	450.	203.	106.	1070.
9-70	184.	835.	1930	1750	1660	1850	2420	2780	2400	970.	338.	138.	1430.
0-71	120.	585.	1470	1520	1400	1610	1850	1620	738.	252.	90.0	53.0	938.
1-72	207.	421.	1250	1250	1350	1660	1850	1500	610.	191.	65.0	55.0	866.
2-73													
3-74	204.	321.	920.	1110	1210	1300	1090	523.	186.	60.0	26.0	20.0	582.
4-75	174.	527.	1280	1320	1380	1610	1780	1450	546.	138.	35.8	15.0	851.
5-76	166.	504.	1300	1270	1460	1650	1910	1780	883.	251.	70.0	57.0	944.
6-77													
12-76	218.	723.	1610	1560	1440	1620	1880	1970	1610	914.	386.	170.	1170.

TATION : NIGER

NIGER

GOROUGU

ALCONGUI

UMERO : 32151803

DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)

	MAL	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MODUL
-57									.000	.000	.000	.000	
7-58	.050	4.81	5.13	27.8	31.7	2.69	.240	.000	.000	.000	.000	.000	6.05
8-59	.000	5.50	10.9	47.2	73.7	23.8	7.08	.550	.160	.030	.000	.000	14.2
9-60	.000	.001	4.30	39.3	60.7	10.1	.620	.150	.000	.000	.000	.000	9.59
0-61									.000	.000	.000	.000	
1-62	.000	.290	21.6	29.3	71.0	14.0	.710	.300	.060	.000	.000	.000	11.5
2-63	.000	.140	2.50	29.0	31.8	3.60	.360	.110	.010	.000	.000	.000	5.70
3-64	.000	3.04	17.7	44.2	20.7	5.27	.280	.070	.000	.000	.000	.000	7.73
4-65													
5-66									.350	.110	.000	.000	
6-67	.750	1.94	8.47	15.1	68.9	28.0	1.63	.190	.000	.000	.000	.000	10.4
7-68	.000	.000	2.34	26.2	62.4	7.98	.750	.210	.080	.000	.000	.000	8.29
8-69	.200	2.80	19.8	21.7	18.0	1.90	.310	.100	.000	.000	.000	.000	5.45
9-70	.000	3.90	21.3	75.0	44.3	16.3			.000	.000	.000	.000	
0-71													
1-72									.000	.000	.000	.000	
2-73	.000	3.21	16.3	11.5	22.3	1.44	.230	.020	.000	.000	.000	.000	4.60
3-74	.000	.020	5.38	78.7	23.1	7.49	.400	.080	.000	.000	.000	.000	9.72
4-75	.000	.570	17.0	61.9	35.8	7.49	.250	.030	.000	.000	.000	.000	10.4
5-76	.270	.730	8.41	36.7	52.1	5.90	.540	.120	.000	.000	.000	.000	8.73
6-77	.000	.480	9.51	30.9	16.8	15.9	3.93	.200	.000	.000	.000	.000	6.54
7-78													
7-77	.085	1.88	11.4	38.3	42.2	10.2	1.28	.152	.035	.007	.000	.000	6.80

STATION : NIGER

NIGER

GURUOL

DOLBEL

NUMERO : 32151806

DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)

	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MODUL
-61									.000	.000	.000	.000	
01-62	.000	6.78	24.9	49.8	73.8	2.19	.000	.000	.000	.000	.000	.000	13.2
02-63	.000	.507	4.23	45.0	24.1	.358	.000	.000	.000	.000	.000	.000	6.23
03-64	.015	15.9	22.6	50.1	9.87	1.95	.000	.000	.000	.000	.000	.000	8.44
04-65	.000	3.77	20.9	31.3	47.6	.800	.000	.000	.000	.000	.000	.000	8.73
05-66	.000	4.25	6.58	36.3	30.3	1.11	.000	.000	.000	.000	.000	.000	6.58
06-67	1.41	2.68	15.8	21.5	76.1	9.42	.320	.000	.000	.000	.000	.000	10.6
07-68	.000	.832	9.31	43.6	48.8	1.18	.000	.000	.000	.000	.000	.000	8.65
08-69	.000	4.09	27.8	9.45	13.8	.237	.000	.000	.000	.000	.000	.000	4.65
09-70	.000	13.5	18.8	65.9	19.2	10.5	.003	.000	.000	.000	.000	.000	10.8
10-71	.000	.039	11.8	49.7	23.3	2.82	.000	.000	.000	.000	.000	.000	7.38
11-72	.000	6.58	13.6	44.4	9.22	.030	.000	.000	.000	.000	.000	.000	6.21
12-73	.410	9.68	25.1	17.1	18.7	.060	.000	.000	.000	.000	.000	.000	5.96
13-74	.000	1.55	16.7	63.4	12.3	4.95	.000	.000	.000	.000	.000	.000	8.36
14-75	.000	2.60	27.1	39.4	25.3	.530	.000	.000	.000	.000	.000	.000	7.99
15-76	.030	8.76	18.2	44.8	38.1	1.02	.000	.000	.000	.000	.000	.000	9.27
16-77	.000	2.48	18.2	29.5	17.6	20.0	1.53	.000	.000	.000	.000	.000	7.53
17-78													
01-77	.117	5.25	17.6	40.1	30.5	3.58	.116	.000	.000	.000	.000	.000	8.10

STATION : NIGER

NIGER

DARGOL

KAKASSI

NUMERO : 32151203

DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)

	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MODUL
-57									.000	.000	.000	.000	
57-58	.000	.130	1.50	8.99	16.1	.360	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.26
58-59	.000	.000	.000	36.0	30.7	1.30	.300	.000	.000	.000	.000	.000	5.72
59-60	.000	.000	4.60	42.2	35.2	.100	.200	.000	.000	.000	.000	.000	6.87
60-61	.000	.010	2.20	3.40	12.9	2.20	.010	.000	.000	.000	.000	.000	1.72
61-62								.000	.000	.000	.000	.000	
62-63	.000	.000	7.20	20.8	28.1	1.09	.000	.000	.000	.000	.000	.000	4.78
63-64	.000	1.40	8.66	30.5	15.1	.800	.010	.000	.000	.000	.000	.000	4.74
64-65								.000	.000	.000	.000	.000	
65-66								.000	.000	.000	.000	.000	
66-67	.000	2.90	1.56	5.02	14.8	4.50	.070	.000	.000	.000	.000	.000	2.40
67-68	.000	.170	2.62	13.2	53.4	22.0	.220	.000	.000	.000	.000	.000	7.61
68-69	.000	.000	1.60	5.50	4.50	.050	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.977
69-70	.000	.090	1.50	28.6	13.0	4.72	.000	.000	.000	.000	.000	.000	4.03
70-71	.000	.590	2.97	30.6	9.75	6.37	.040	.000	.000	.000	.000	.000	4.25
71-72	.000	.440	18.0	26.0	9.63	.700	.000	.000	.000	.000	.000	.000	4.61
72-73	.000	3.14	12.9	9.69	14.9	.240	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.43
73-74	.000	.000	10.6	38.0	2.73	.130	.000	.000	.000	.000	.000	.000	4.36
74-75	.000	.150	24.4	35.5	14.0	2.55	.000	.000	.000	.000	.000	.000	6.47
75-76	.000	1.12	13.5	18.9	23.7	5.06	.000	.000	.000	.000	.000	.000	5.21
76-77													
57-76	.005	.634	7.11	22.1	18.7	3.26	.053	.000	.000	.000	.000	.000	4.31

TATION : NIGER

NIGER

LA SIRBA

GARBE-KOIROU

UMERO : 32152403

DERITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)

	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MODUL
-56									.000	.000	.000	.000	
6-57	.000	.570	16.7	52.8	158.	135.	35.6	5.25	.700	.000	.000	.000	33.8
7-58	.040	4.83	4.62	12.8	18.3	16.2	3.54	.040	.000	.000	.000	.000	5.05
8-59	.000	2.38	14.6	54.3	341.	110.	28.2	11.0	.000	.000	.000	.000	46.7
9-60													
0-61													
1-62									.000	.000	.000	.000	
2-63	.000	.000	25.2	78.0	240.	94.2	12.8	2.50	.110	.000	.000	.000	37.8
3-64	.000	.420	6.24	14.3	34.0	17.9	1.64	.000	.000	.000	.000	.000	6.21
4-65	.000	.150	10.6	62.8	225.	124.	11.0	.550	.000	.000	.000	.000	36.2
5-66	.000	.000	17.4	55.3	295.	141.	10.6	1.02	.000	.000	.000	.000	43.4
6-67	.000	7.76	10.1	12.5	23.2	28.8	6.20	.100	.000	.000	.000	.000	7.43
7-68	.000	1.61	22.5	129.	304.	91.7	8.96	1.07	.000	.000	.000	.000	46.5
8-69									.060	.000	.000	.000	
9-70	.000	.340	7.35	37.3	110.	55.7	6.50	.210	.000	.000	.000	.000	18.1
0-71	.050	.930	13.6	28.6	54.7	27.1	4.91	.010	.000	.000	.000	.000	10.9
1-72	.000	2.86	13.2	47.0	63.9	37.0	3.72	.340	.000	.000	.000	.000	14.0
2-73	.000	.000	10.1	23.1	28.0	17.3	.980	.000	.000	.000	.000	.000	6.67
3-74	.000	5.99	37.5	140.	78.3	17.0	1.28	.000	.000	.000	.000	.000	23.6
4-75	.000	.000	104.	135.	134.	21.6	2.33	.170	.000	.000	.000	.000	33.4
5-76	.130	1.64	42.9	158.	109.	23.2	2.10	.100	.000	.000	.000	.000	28.7
6-77													
6-76	.014	1.84	22.3	65.0	139.	60.2	8.77	1.40	.046	.000	.000	.000	24.8

STATION : NIGER

NIGER

GOROUBI

DIONGORE

NUMERO : 32151603

DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)

	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MODULE
-62									.000	.000	.000	.000	
2-63	.000			12.9	99.0	32.1	5.43	.110	.000	.000	.000	.000	
3-64	.000	6.00	11.0	5.26	11.5	13.0	1.00	.000	.000	.000	.000	.000	3.99
4-65	.000	2.01	3.30	20.4	81.0	51.0	9.05	.120	.000	.000	.000	.000	13.9
5-66	.000	1.98	6.55	3.81	18.8	21.9	1.18	.000	.000	.000	.000	.000	4.54
6-67	.000	5.62	10.8	6.34	10.1	14.9	4.95	.030	.000	.000	.000	.000	4.42
7-68	.000	.170	5.57	23.4	65.9	28.2	3.43	.010	.000	.000	.000	.000	10.6
8-69	.000	.220	2.57	2.71	4.58	2.92	.350	.000	.000	.000	.000	.000	1.12
9-70	.000	7.08	9.17	15.7	26.7	17.9	1.53	.000	.000	.000	.000	.000	6.54
0-71	.000	.000	17.1	24.2	42.8	8.15	1.17	.000	.000	.000	.000	.000	7.81
1-72	.000	1.64	5.80	11.1	42.6	14.0	.160	.000	.000	.000	.000	.000	6.26
2-73	.000	.010	2.48	5.79			.140	.000	.000	.000	.000	.000	
3-74	.000	.000	15.2	53.6	32.5	2.38	.000	.000	.000	.000	.000	.000	8.72
4-75	.000	.000	4.31	37.0	20.0	2.67	.000	.000	.000	.000	.000	.000	5.38
5-76	.000												
2-75	.000	2.06	7.82	17.1	38.0	17.4	2.19	.021	.000	.000	.000	.000	7.05

STATION : NIGER

NIGER

DIAMANGOU

TAMOU

NUMERO : 32151403

DERIVS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)

	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MODUL
-62									.000	.000	.000	.000	
62-63	.000				47.0	2.94	.000	.000	.000	.000	.000	.000	
63-64	.000	.030	1.47	9.91	10.1	.440	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.83
64-65													
65-66									.000	.000	.000	.000	
66-67	.000	2.77	1.29	10.1	13.6	6.59	.300	.000	.000	.000	.000	.000	2.91
67-68	.000	.230	1.55	5.03	22.0	3.28	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.66
68-69	.010	3.14	1.55	.220	.330	.160	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.450
69-70	.010	.160	5.39	12.0	8.72	1.68	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.35
70-71	.010	.030	3.97	41.5	7.70	.020	.000	.000	.000	.000	.000	.000	4.50
71-72	.000	.040	41.1	27.1	14.4	.680	.000	.000	.000	.000	.000	.000	7.02
72-73	.000	.000	3.02	1.26	1.65	.110	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.508
73-74	.000	2.98	20.7	22.4	3.80	.440	.000	.000	.000	.000	.000	.000	4.26
74-75	.000	.000	4.73	25.9	7.00	.770	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.24
75-76	1.24	.150	3.73	5.43	12.4	2.59	.050	.000	.000	.000	.000	.000	2.13
76-77													
62-76	.106	.866	8.05	14.6	12.4	1.04	.029	.000	.000	.000	.000	.000	3.14

STATION : NIGER

NIGER

TAPOA

W

NUMERO : 32152703

DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)

	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MODUL
-63									.000	.000	.000	.000	
63-64	.090	.180	.510	1.33	.950	.240	.110	.050	.000	.000	.000	.000	.290
64-65	.210	.270	1.69	5.81	13.2	11.1	.600	.170	.000	.000	.000	.000	2.77
65-66	.000	.090	.840	2.15	2.45	.890	.300	.130	.000	.000	.000	.000	.574
66-67	.000	.000	.410	1.62	1.25	.610	.470	.240	.000	.000	.000	.000	.386
67-68	.000	.000	1.28	3.04	3.51	3.72	.810	.250	.050	.000	.000	.000	1.06
68-69	.230	1.51	1.09	.330	.290	.100	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.297
69-70	.000	.290	1.43	2.91	2.74	.480	.920	.000	.000	.000	.000	.000	.739
70-71	.000	.670	1.18	13.3	8.32	2.68	.120	.000	.000	.000	.000	.000	2.21
71-72	.000	6.99	3.69	3.91	1.13	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.33
72-73	.000	.400	1.30	3.31	2.30	2.02	.040	.000	.000	.000	.000	.000	.788
73-74	.650	.870	5.22	12.5	3.98	1.72	.050	.000	.000	.000	.000	.000	2.11
74-75	.000	.000	.740	3.09	4.05	1.39	.450	.000	.000	.000	.000	.000	.813
75-76	.002	.630	.860	1.54	3.88	3.62	2.31	.240	.000	.000	.000	.000	1.09
76-77													
63-76	.091	.915	1.57	4.22	3.70	2.20	.481	.083	.004	.000	.000	.000	1.10

STATION : DAHOMEY

NIGER

MEKROU

BAROU

NUMERO : 11151303

DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)

	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MODUL
-61												.000	
1-62	.000	1.69	21.7	57.5	124.	57.7	8.32	.890	.011	.000	.000	.000	22.7
2-63	.000	5.66	29.0	86.9	316.	142.	31.3	10.3	2.27	.807	.284	.000	52.1
3-64	.000				180.	130.	35.6	9.40				.000	
4-65	.000	5.01	29.2	85.8	235.	76.4	17.2	3.05				.000	
5-66	.000	2.52	6.66	36.5	147.							.000	
6-67	.000				110.	104.	28.6	3.85			.000	.000	
7-68	.000	.749	5.88	67.0	233.	173.	27.0	6.91	1.29	.379	.000	.000	42.9
8-69	.000	15.3	29.7	111.	198.	116.	26.6	7.42	2.33	.604	.025	.000	42.4
9-70	.000	5.77	28.3	93.8	355.	188.	71.7	20.5	5.85	2.16	.482	.000	64.4
0-71	.000	.030	10.1	97.4	168.	199.	24.1	4.63	1.36	.227	.001	.000	42.3
1-72	.130	1.03	17.9	71.7	115.	41.8	7.03	1.06	.000	.000	.000	.000	21.3
2-73	.000		7.63	37.1	84.9	53.2	9.22	2.72	.000	.000	.000	.000	
3-74	.000	.749	9.50	46.8	58.6	42.2	5.52	1.20	.270	.270	.000	.000	13.8
4-75	.950	1.26	14.2	58.1	112.	96.8	31.0		.500	.280	.000	.000	.
5-76	3.24	.720	16.2	52.2	117.	69.0	11.6	1.77	.000	.000	.000	.000	22.7
6-77	.000	3.00	3.01	41.1	41.3	53.6	24.2	4.14					
1-76	.270	3.35	16.4	67.3	162.	103.	23.9	5.56	1.26	.430	.066	.000	32.0

STATION : DAHOMEY

NIGER

MEKROU

KOMPONGOU

NUMERO : 11151306

DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)

	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MODUL
-58									.640	.280	.030	.040	
58-59	.140	1.82	6.11	10.7	22.4	11.2	.624	.022	.000	.000	.000	.000	4.43
59-60	.159	.284	8.68	25.5	119.	54.8	10.5	.188	.001	.000	.000	.000	18.2
60-61	.063	.959	3.64	19.8	125.	95.7	14.7	23.8	.340	.009	.000	.000	23.7
61-62	.049	3.16	22.7	42.9	116.	41.1	4.96	.540	.020	.000	.000	.000	19.3
62-63	.089	.219	19.2	97.2	190.	105.	23.2	6.61	1.35	.525	.052	.000	37.1
63-64	.037	1.12	18.2	103.	152.	85.7	26.4	8.00	1.65	.548	.030	.000	33.1
64-65	.034	.203	12.1	58.1	142.	46.6	8.56	1.98	.431	.027	.000	.000	22.5
65-66	.143	1.13	5.69	33.9	119.	35.9	61.9	.986	.137	.002	.000	.049	21.5
66-67	.029	1.42	9.12	20.4	62.6	88.3	20.1	4.21	.978	.221	.015	.042	17.4
67-68	.482	.510	3.04	78.8	174.	122.	19.7	6.61	1.78	.233	.000	.173	34.0
68-69	.305	3.54	53.2	127.	171.	94.8	18.3	2.31	.686	.231	.030	.233	39.5
69-70	.174	2.35	6.21	112.	239.	135.	56.2	13.0	4.42	1.54	.285	.011	47.6
70-71	.145	.846	4.43	48.3	119.	120.	16.2	3.84	.900	.210	.010	.000	26.3
71-72	.140	.190	3.78	57.6	102.	30.2	5.92	.980	.200	.000	.000	.000	16.7
72-73	.000	1.59	2.77	26.5	87.0	38.7	7.85	1.46	1.29	.190	.000	.000	13.9
73-74	.010	.370	2.25	36.9	54.5	34.3	5.71	.690	.070	.000	.000	.000	11.3
74-75	.000	.200	7.56	54.6	152.	84.1	12.4	2.16	.340	.040	.000	.000	26.2
75-76	.370	.150	10.9	34.3	87.5	49.6	8.00	1.35					
58-75	.132	1.12	11.1	54.9	124.	70.7	17.8	4.37	.846	.225	.025	.030	23.8

STATION : DAHOMEY

NIGER

ALIBORI

ROUTE K-B

NUMERO : 11151103

DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)

	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MODULI
-52									1.83	3.44	5.05	6.69	
52-53	8.32	9.96	3.00	22.2	107.	86.8	4.95	1.03	.761	.253	.273	.755	20.5
53-54	16.3	21.1	86.4	125.	282.	73.7	6.25	1.09	.652	.221	.030	.020	51.2
54-55	34.4	7.27	11.0	91.6	216.	60.8	4.94	.661	.227	.321	.020	.020	35.7
55-56	.929	1.74	68.8	317.	267.	175.	11.0	1.07	.527	.227	.020	.020	70.7
56-57	.020	6.48	29.9	129.	187.	99.4	4.71	.475	.404	.111	.020	.020	38.3
57-58	8.52	25.2	31.6	276.	407.	112.	7.31	2.95	1.10	.395	.182	.555	72.9
58-59	2.24	2.16	2.57	4.83	36.5	11.3	1.27	.242	.020	.020	.020	.020	5.09
59-60	2.66	5.44	15.1	50.9	320.	70.0	3.22	1.33	.706	1.07	1.44	1.81	39.2
60-61	2.01	5.70	23.7	99.0	296.	126.	7.89	1.28	.109	.284	.459	.639	47.0
61-62	.820	2.36	24.4	49.0	201.	24.9	3.12	.649	.020	.020	.020	.020	25.5
62-63	2.16	8.56	67.4	285.	405.	90.6	5.72	2.22	.691	.148	.020	.020	72.5
63-64	.020	3.43	21.7	157.	181.	67.0	7.30	2.49	.700	.023	.020	.020	36.8
64-65	.020	1.65	7.27	126.	166.	18.1	3.30	1.22	.478	.000	.000	.000	27.1
65-66	2.40	2.89	18.6	93.4	166.	24.3	2.74	1.20	.478	.000	.000	.000	26.0
66-67	.000	2.19	8.31	29.9	165.	76.1	6.19	.938	.000	.000	.000	.000	24.0
67-68	2.81	1.74	13.7	105.	291.	104.	6.55	1.62	1.22	.271	.000	.450	43.9
68-69	4.07	10.3	88.0	139.	138.	62.2	9.28	1.73	.478	.000	.000	.000	38.0
69-70	.000	1.16	14.5	187.	216.	72.8	28.0	3.52	.929	.000	.000	.000	43.8
70-71	.395	2.51	5.95	69.7	332.	68.1	5.15	1.21	.277	.789	1.30	1.83	40.6
71-72	2.82	3.61	17.7	46.6	101.	19.8			.353	1.01	1.68	2.35	
72-73	2.95	2.38	9.44	66.9	211.	71.0	2.40		.000	.000	.000	.000	
73-74	.000	1.38	5.57	74.2	59.9	19.1	1.52	.180	.000	.000	.000	.000	14.4
74-75	.000	9.53	45.4	53.6	228.	65.3	3.41	.730	.090	.000	.000	.000	33.8
75-76	1.19	1.38	11.0	38.6	107.	25.3	1.50	.330					
52-75	3.96	5.84	26.3	110.	212.	67.6	5.99	1.28	.502	.358	.440	.635	36.3

TATION : DAHOMEY

NIGER

SOTA

COUBERI

UMERO : 11151503

DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS (EN M3/S)

	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MODULE
-53									4.88	4.36	3.84	3.30	
3-54	7.62	27.5	39.1	110.	203.	115.	25.0	6.98	4.78	4.51	4.05	3.31	46.0
4-55	4.97	14.2	10.2	94.1	274.	107.	21.6	6.83	4.59	4.35	4.30	3.88	45.8
5-56	6.70	9.79	71.0	254.	300.	236.	50.5	16.2	9.47	9.20	8.17	5.52	81.7
6-57	4.86	8.05	16.4	67.7	137.	97.3	17.5	6.04	4.57	3.98	3.63	3.99	31.0
7-58	8.00	16.4	24.0	195.	331.	155.	44.8	13.9	7.55	6.18	5.65	6.23	68.0
8-59	5.09	8.04	7.75	11.9	20.1	22.8	5.18	3.48	3.29	3.28	3.14	3.04	8.12
9-60	6.63	4.18	16.3	72.6	325.	168.	25.7	8.85	6.21	5.37	4.86	4.68	53.9
0-61	5.43	17.9	40.1	62.6	227.	191.	39.4	13.5	10.9	8.15	6.18	6.55	52.5
1-62	6.08	8.35	11.3	35.1	92.7	30.3	6.37	4.87	4.38	3.79	3.60	4.73	17.6
2-63	5.33	12.3	58.9	214.	369.	145.	35.7	11.4	7.19	5.94	5.39	4.84	73.1
3-64	7.53	9.95	9.76	86.2	180.	113.	31.1	7.01	4.34	3.77	3.59	3.58	38.3
4-65	3.89	12.0	15.7	26.2	226.	71.6	13.8	5.95	4.86	4.67	4.16	4.98	37.8
5-66	6.36	8.23	14.2	42.6	89.0	25.6	5.00	3.28	3.10	3.08	2.82	2.67	17.2
6-67	3.61	5.88	7.56	26.1	138.	96.1	13.6	4.87	3.72	3.45	3.11	2.96	25.8
7-68	3.04	5.71	10.9	93.3	302.	133.	24.5	9.05	6.55	6.12	5.89	5.24	50.3
8-69	6.99	13.2	44.5	106.	192.	97.8	15.7	6.05	4.23	3.85	3.18	4.26	41.7
9-70	4.10	4.24	21.5	104.	205.	79.7	55.4	13.0	5.64	5.44	4.48	3.67	42.2
0-71	4.18	3.83	11.5	75.7	246.	118.	17.5	7.06	5.12	4.07	3.63	3.38	41.7
1-72	4.04	9.22	50.1	70.3	147.	33.9	8.78	5.93	5.11	4.55	3.97	4.10	28.9
2-73	6.58	11.7	29.5	38.9	79.8	30.2	8.03	4.91	4.15	3.57	3.11	2.89	18.7
3-74	2.80	8.84	10.2	60.4	117.	46.2	8.50	4.90	3.88	3.43	3.06	2.76	22.7
4-75	3.40	5.38	29.0	29.7	115.	61.5	9.50	5.32	4.37	3.85	3.31	3.82	22.9
5-76	3.86	5.65	36.0	40.0	105.	58.7	10.8	5.48					
3-75	5.26	10.0	25.5	85.9	192.	97.1	21.5	7.60	5.34	4.74	4.22	4.10	38.6

A N N E X E II

BIBLIOGRAPHIE HYDROLOGIQUE

I - DONNEES HYDROLOGIQUES ET CLIMATOLOGIQUES

- Observations et mesures hydrologiques sur le NIGER MOYEN et ses affluents.
ORSTOM - Service Hydrologique, PARIS.
Campagnes : 1961, 1962, 1963, 1964, 1965.
- Annuaire hydrologiques du NIGER. Mission hydrologique de l'ORSTOM au NIGER.
Années : 1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972.
- Rapports NIGER MOYEN. Ministère de l'Economie Rurale. Service du Génie Rural.
Section Hydrologique.
Années : 1972-1973, 1973-1974, 1974-1975, 1975-1976.
- Annuaire hydrologiques du DAHOMEY. Ministère des Travaux publics.
Service de l'Hydraulique-ORSTOM - Centre de COTONOU
Années : 1961, 1962, 1963, 1964, 1965.
- La MEKROU à KOMPONGOU - observations hydrométriques réalisées avant 1971.
ORSTOM - Section Hydrologie - COTONOU - 1972.
- Précipitations journalières de l'origine des stations à 1965.
République du NIGER-CIEH - Ministère de la Coopération -
ORSTOM - Service Hydrologique - PARIS, 1976.
- Relevés pluviométriques journaliers. République du NIGER.
Ministère des Travaux Publics, des Transports et de l'Urbanisme - Service Météorologique.
Années : 1961 à 1974.
- Résumés mensuels des observations climatologiques. République du NIGER - Ministère des Travaux Publics, des Mines et de l'Urbanisme. ASECNA - Service Météorologique.
Années : 1953 à 1960.
- Résumés mensuels d'observations météorologiques au sol. ASECNA.
Direction de l'exploitation météorologique DAKAR.
Années : 1966 à 1975.

II - NOTES ET RAPPORTS DIVERS

- Le régime du NIGER L. REFFAY 1948.
- River studies and recommendations on improvment of NIGER and BENUE - NEDECO - Amsterdam. 1959.
- Proposals for dams on the NIGER and KADUNA rivers. Federal Gouv't Printer - LAGOS 1959 (NIGERIA).
- Le NIGER, fleuve international B. BAZABAS - Travaux Publics du NIGER 1962
- Etude sur les effets que la mise en exécution des principaux projets envisagés par les états riverains peut avoir sur le régime du NIGER. ITALCONSULT - ROME 1962.
- Etude des possibilités pour la République du NIGER, d'aménager le fleuve NIGER et d'utiliser la voie fluviale pour résoudre une partie de ses problèmes de transferts. O. GAUTIER Thèse - Ecole supérieure des Géomètres et Topographes. PARIS 1967.
- Note hydrologique provisoire sur la MEKROU, la TAPOA et le GOROUBI. PARIS. EDF - IGECO - Service Hydrologique, février 1967
- Note sur les crues de la DIAMANGOU à TAMOU. P. CHAPERON ORSTOM - Mission hydrologique (NIAMEY) septembre 1968.
- Etude sur la navigabilité du fleuve NIGER entre TOSSAYE et YELWA. Commission du fleuve NIGER et NEDECO. LA HAYE. 1970.
- Modification du régime hydrologique du NIGER à NIAMEY depuis 1961. ORSTOM - J. RODIER et P. CHAPERON. Avril 1970.
- Monographie hydrologique du Bassin du NIGER. NIGER MOYEN. ORSTOM - mai 1970.
- Prévision et annonce des crues dans le bassin du NIGER. Cahier des charges techniques pour la fourniture d'équipements automatiques de transmission de données météorologiques et hydrographiques - G. DOYON. O.M.M. Genève 1970.
- Prévision des débits du NIGER entre le défilé de TOSSAYE et la frontière du NIGERIA. ORSTOM - PARIS. Service Hydrologique - juillet 1971.
- La MEKROU à BAROU extension des débits mensuels et annuels EDF - DAFECO - PARIS, mars 1972.
- Cartes d'évapotranspiration potentielle . L. LEMOINE et J.C. PRAT - CIEH, 1972.

- Le réseau hydrologique nigérien. Exploitation d'octobre 1971 à septembre 1972. P. CARRE - Mission Hydrologique - NIAMEY ORSTOM janvier 1973.
- La sécheresse dans le SAHEL de l'Ouest africain et ses conséquences sur les zones inondées des bassins du NIGER, du SENEGAL et du lac TCHAD. J.P. LAMAGAT - ORSTOM - Hydrologie PARIS, octobre 1974.
- La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'Afrique Centrale Ch. RIOU. Mémoire ORSTOM n° 80 PARIS 1975
- Détermination des causes des anomalies des crues du NIGER (MALI) rapport de la première année d'études sur les anomalies. J. CRUETTE, G. DUBEE, J.P. LAMAGAT. ORSTOM - Service Hydrologique BDPA - PARIS juin 1976.
- Etude Hydrologique du NIGER à KANDADJI rapport interimaire. M. HOEPFFNER - ORSTOM Mission au NIGER, mai 1977.