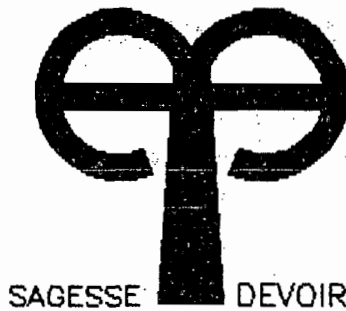


REPUBLIQUE DU SENEGAL



GC.0645

Ecole Polytechnique de Thiès

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION

EN GENIE CIVIL

TITRE: ANALYSE DE L'ETIAGE DU FLEUVE NIGER
ENTRE MOPTI ET NIAMEY

AUTEURS: Almoustapha GARBA
Laouali GARBA

DIRECTEUR : Gérard A. R. SOUMA

CO-DIRECTEUR : Jean ALBERGEL

JUIN 89

- A nos parents
- A nos frères et sœurs
- A nos amis
- A tous les peuples qui luttent pour la maîtrise de l'eau

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier très sincèrement tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la bonne réalisation de cette étude. Nos gratitudee vont en particulier à :

- M^r Gérard A.R. SOUMA professeur d'hydrogéologie à l'EPT, notre Directeur de projet pour son sens élevé du devoir et pour tout l'appui qu'il nous a apporté

- M^r Jean ALBERGEL, hydrologue chercheur à l'ORSTOM, qui a bien voulu co-diriger ce travail

- M^r Amadou SARR, professeur d'hydraulique à l'EPT, pour son soutien matériel et sa disponibilité envers nous.

- Enfin à tous nos camarades élèves-nigériens qui nous ont témoigné leur sympathie et leur soutien moral, nous disons Merci.

SOMMAIRE

L'un des défis majeurs auxquels sont confrontés de nos jours les pays du Sahel, est la maîtrise de l'eau. La sécheresse aidant, ce défi prend de plus en plus de l'ampleur, avec le phénomène d'étiage que connaissent les principaux cours d'eau. La lutte contre ce phénomène a déjà été déclenchée, et ce projet de fin d'études bien qu'académique, se veut une modeste contribution à ce noble combat.

Deux méthodes d'analyse sont utilisées dans cette étude :

- 1 - la méthode des courbes de tarissement
- 2 - la méthode des composantes principales

La première méthode nous a mené à des résultats jugés non utiles pour les besoins du projet, tandis que la deuxième nous a conduit à la création d'un modèle linéaire de prévision, aux résultats également discutables.

Dans tous les cas il apparaît nécessaire pour un pays comme le Niger, de définir avec urgence et en concert avec les autres pays du bassin du Niger, une politique de gestion des ressources en eau du fleuve.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	ii
Sommaire	iii

CHAPITRE I

	Introduction Générale	1
I-1	Introduction	1
I-2	But du projet	2

CHAPITRE II

Généralités

II-1	Le bassin du Niger	4
II-2	Le tronçon Mopti - Niamey	9
II-2-1	données géographiques	9
II-2-2	données climatiques	12
II-2-3	données hydrogéologiques	16
II-3	Analyse critique des données	17

CHAPITRE III

Méthodes d'analyse

III-1	Choix des méthodes d'analyse	19
III-2	Principes des méthodes d'analyse	20
III-2-1	L'approche par l'analyse du bournissement	20
III-2-2	L'analyse en composantes principales	24

III-2.2.1	Généralités	24
III-2.2.2	Rappel sur les espaces vectoriels	26
III-2.2.3	Espace des variables aléatoires réelles de carré intégrable $L^2(\Omega, \mathcal{A}, P)$.	28
III-2.2.4	Sous-espace engendré par p variables de $L^2(\Omega)$.	30
III-2.2.4.1	Etude de la matrice de covariance	32
III-2.2.5	Méthodologie de l'analyse en C.P.	34
III-2.2.5.1	Démarche de la méthode	34
III-2.2.5.2	Reconstitution des données	44
III-2.2.5.3	Quelques remarques importantes	44

CHAPITRE IV

Modélisation du tronçon

IV-1	Introduction	46
IV-2	Approche méthodologique	47
IV-3	Le problème de la multicollinéarité et ses conséquences	51
IV-3.1	Vérification de la multicollinéarité	53

CHAPITRE V

V-1	Introduction	54
V-1.1	Le laniement du Niger à Niamey	54

V-2	Graphiques de pléenne à Niamey	56
V-2-1	Données utilisées	56
V-2.2	Forme du lissage	57
V-3	Prévision des débits.	57
V-4	Analyse du lissage	62
V-5	Les influences externes	65
V-5-1	Les précipitations	65
V-5-2	L'influence des barrages	66
V-5-3	Les périmètres irrigués à l'amont de Niamey	67

CHAPITRE VI

Modélisation par les C.P.

VI-1	Analyse des données de Hopti	68
VI-2	Résultats de l'analyse	69
VI-3	Représentation graphique	70
VI-4	Analyse des données à Niamey	75
VI-5	Résultats de l'analyse	75
VI-6	Représentation graphique	77
VI-7	Reconstitution des débits à Niamey en fonction de ceux de Hopti	77
VI-8	Modèle linéaire	80
VI-8-1	Stabilité du modèle	81
VI-9	Vérifications et interprétations	91

vī-10	Remarques générales	94
vī-11	Amélioration de la reconstitution du débit d'étiage.	96

<u>CHAPITRE VII</u>		
	Recommandations - Conclusions	98

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 :	Données - Calcul des C.P	102
Annexe 2 :	Hydrogrammes et courbes de tarissement types (Niamey)	129
Annexe 3 :	Programme "ACP" (15) Tableau des tests statistiques.	145

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES FIGURES

- Figure I-1 Plan de localisation du bassin du Niger
- Figure II-2 Carte du bassin du Niger
- Figure II-3 Les quatre sous-bassins du Niger
- Figure II-4-a Représentation schématique du Niger et de ses principaux affluents
- Figure II-4-b Implantation schématique des stations hydrologiques du Niger
- Figure II-5 Précipitation moyenne annuelle
- Figure II-6 Évapotranspiration potentielle moyenne annuelle.
- Figure III-1 Vidange d'un réservoir à travers un bouchon poreux
- Figure IV-1 Bilan hydrologique du tronçon
- Figure IV-2 Schéma de fonctionnement du modèle linéaire.
- Figure V-1 Graphique de corrélation
- Figure VI-1 Cercles de corrélation à Niamey et Mopti
- Figure VI-2 Plan factoriel $CP_1 - CP_2$ à Mopti
- Figure VI-3 Plan factoriel $CP_1 - CP_2$ à Niamey.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau V-1 :	Coefficients de tarissement
Tableau VI-1-a	resultats test de student
Tableau VI-1-b	Analyse de variance
Tableau VI-1-c	Test F
Tableau VI-1-d	Regression simple CP1 - CP2
Tableau VI-2-a	Test de χ carré (résidus CP2)
Tableau VI-2-b	Test de la loi normale (CP2)
Tableau VI-2-c	Test de Kolmogorov Smirnov (CP2)
Tableau VI-2-d	Test de la loi normale (résidus CP1)
Tableau VI-2-e	Test de Kolmogorov Smirnov (CP1)
Tableau VI-3	Reconstitution des variables à Niamey
Tableau V-2	Débits reconstitués et observés à Niamey de l'année 1986 - 1987

CHAPITRE I

INTRODUCTION GENERALE

I-1 Introduction

Les pays du Sahel sont de plus en plus confrontés au grave phénomène de la sécheresse. Depuis plus d'une décennie, certains pays (comme le Niger et le Mali) connaissent des années à pluviométrie et à hydraulicité chroniquement déficitaires. Il a été observé des séries d'années sèches (notamment autour de 1913, 1943 et 1973), ce qui dénote d'un certain cycle de la sécheresse au Sahel. Ces années, de part les calamités qu'elles ont engendrées resteront longtemps dans la mémoire des hommes. Par ailleurs, ces 10 dernières années ont présenté une sécheresse encore plus catastrophique. Les totaux pluviométriques durant les premières années de la décennie 1980 ont été plus faibles que ceux observés dix ans plus tôt. Les débits de certains cours d'eau sont devenus faibles, en raison de l'effet cumulatif des déficits hydropluviométriques, générant ainsi de sévères étiages aux conséquences très nombreuses. Le fleuve Niger a cessé de couler à Niamey en Juin 1985, perturbant

de façon désastreuse l'alimentation en eau potable des populations de Niamey et de ses environnements. De même le Bani, un des affluents maliens les plus importants du fleuve s'est arrêté de couler à Douba pendant tout le mois d'Avril 1985.

Ce phénomène d'étiage, corollaire de la persistance de la sécheresse, en plus de compromettre l'alimentation en eau des hommes, perturbe sérieusement le fonctionnement des aménagements hydroagricoles. En raison de tous ces facteurs, la question de pouvoir agir sur la gestion du fleuve afin d'améliorer l'étiage à Niamey s'est posée. C'est sur cette question que nous avons voulu nous pencher dans ce projet de fin d'études.

I - 2 But du projet

Le but de ce projet est l'analyse hydrologique des débits du fleuve Niger entre Mopti (Mali) et Niamey (Niger) afin de :

- Saisir le mécanisme de formation et de propagation des débits d'étiage à Niamey, en mettant en évidence les facteurs prépondérants.
- Fournir un outil de prévision de ces débits

d'étiage à Niamey, connaissant ceux de Mopti.

- Fournir des recommandations, pour une rationalisation de l'utilisation des eaux du fleuve, en identifiant les influences des interventions humaines, et celles des phénomènes naturels.

CHAPITRE II

GENERALITÉS

II-1 Le Bassin du Niger (figures 1 et 2)

Le fleuve Niger prend naissance au Nord-Est du massif du Fouta-Djalou, à la frontière Guinée-Sierra-Léone. C'est le troisième plus grand fleuve de l'Afrique, dépassé en longueur et en superficie de drainage par le Nil et le fleuve Congo. Son bassin couvre une superficie de 2,05 millions de km², dont 0,72 millions de zones désertiques. La longueur du cours d'eau principal est de 4200 km. Le bassin est étendu sur 10 pays mais 5 seulement sont traversés par le fleuve à savoir la Guinée, le Mali, le Niger, le Bénin, et le Nigeria. Les affluents principaux rajoutent plus de 6000 km supplémentaires de cours d'eau.

Le cours du fleuve comprend quatre parties:

1. Le cours du Niger supérieur, qui s'étend de la source du fleuve, au barrage de Markala (Mali). Son bassin hydrographique est délimité par la région au sud-Ouest des eaux de tête du fleuve, et le delta intérieur. Les affluents majeurs dans cette zone sont le Mandou, le Nilo, le Tinkisso et le Soukarani.

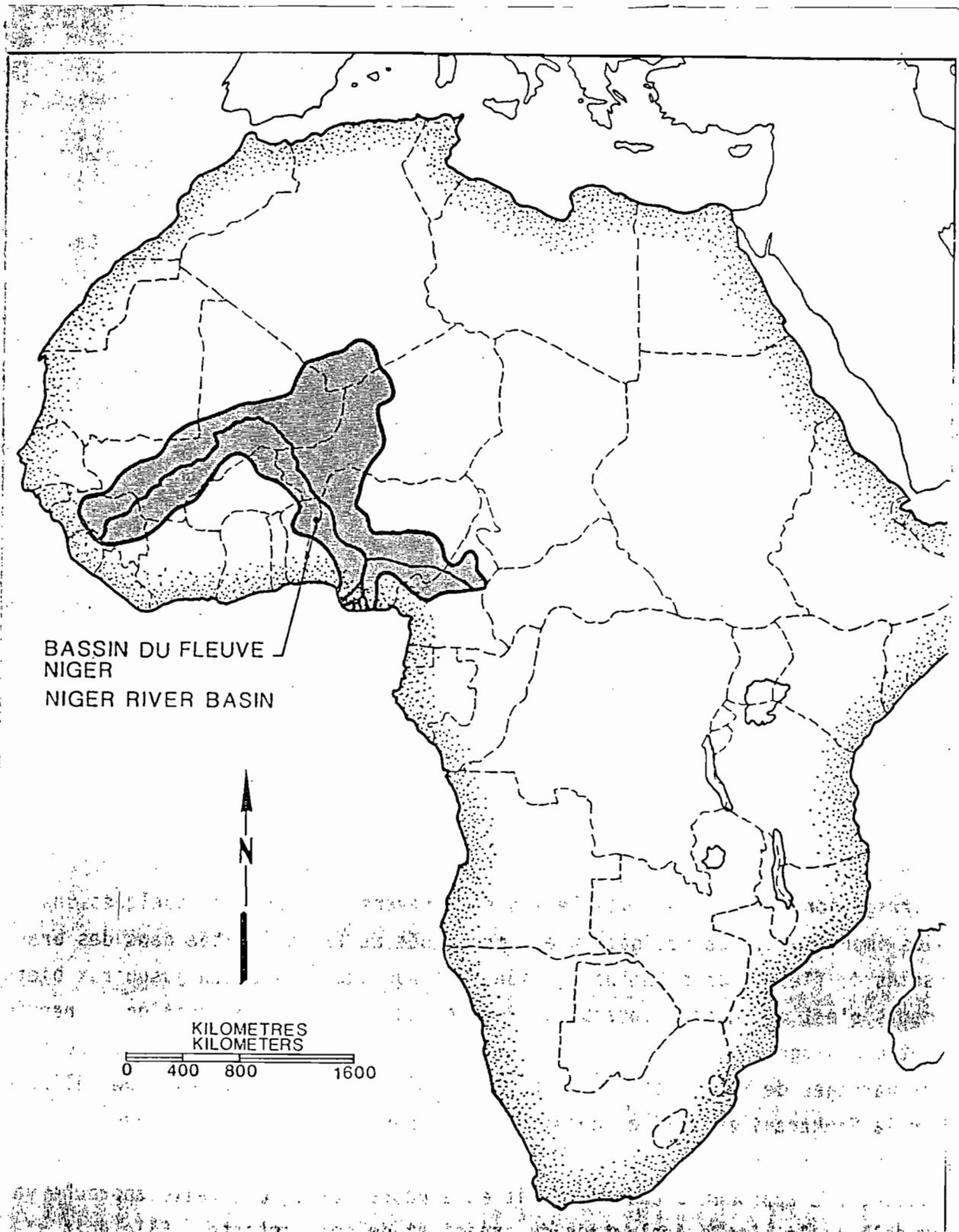


Figure II-1 : Plan de localisation du bassin
du Niger (12)

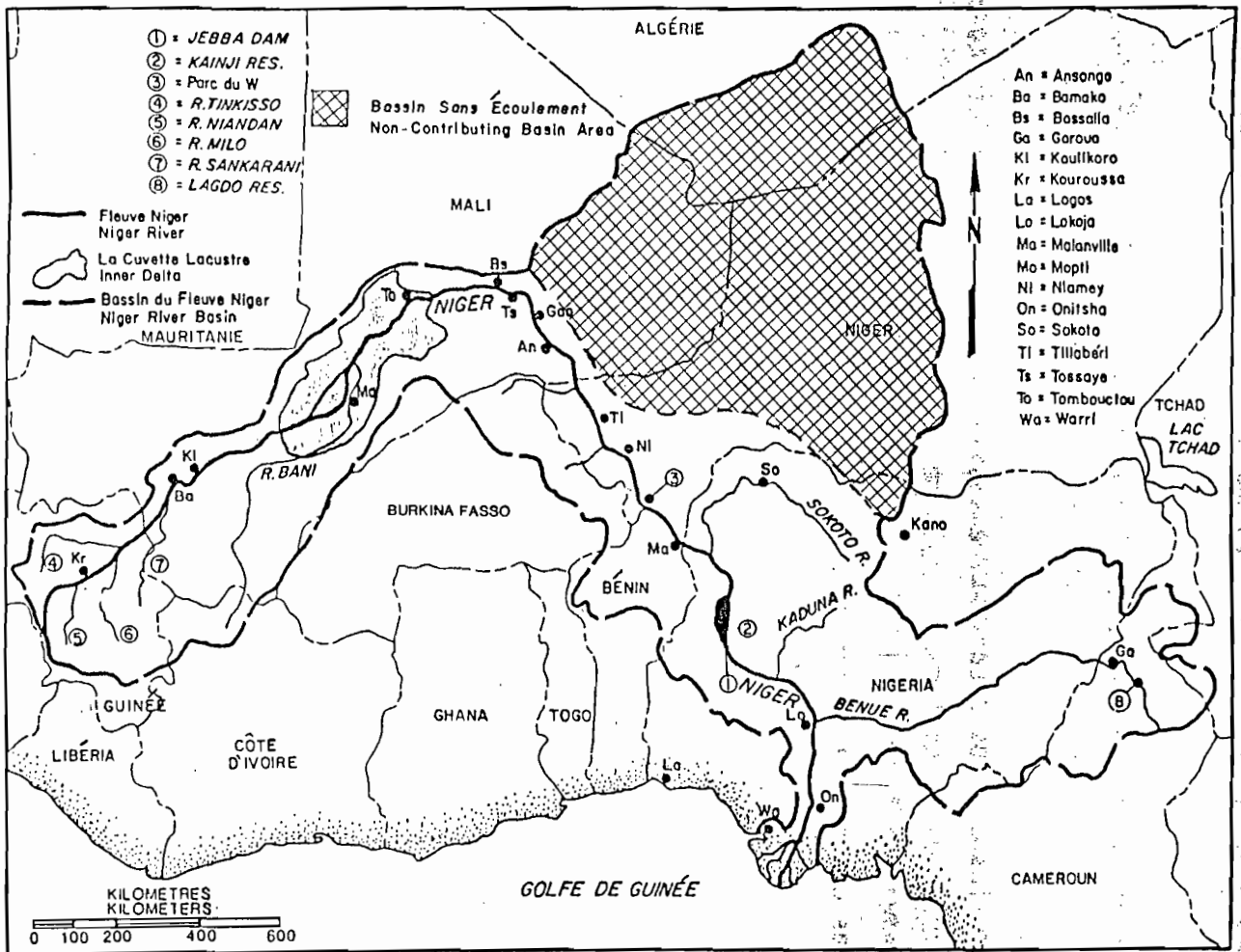


Figure II.2. Carte du Bassin du Niger. (19)

2 - La cuvette lacustre qui englobe le delta intérieur est une vaste région d'épandage, longue de 640 km et large de 160 km. Entre le tiers et la moitié des eaux entrant dans ce delta est perdu par évaporation, infiltration ou évapotranspiration. Le Bani qui est le plus grand affluent du Niger, le rejoint dans cette zone, et rapporte un quart à un tiers du volume d'eau à la confluence.

3 - Le Niger Moyen comprend la source du fleuve ainsi que les parties nigérienne, burkinabè et béninoise du bassin fluvial. Beaucoup d'affluents arrivent au fleuve dans cette zone, mais la plupart sont des cours d'eau éphémères.

4 - Le Bas-Niger ou le cours inférieur s'étend de la frontière du Nigeria, à l'embouchure dans le delta côtier. Le bassin hydrographique quant à lui va de Mallauville (Bénin) à l'embouchure.

À la source, le Niger résulte de quatre branchements majeurs : le Niger, le Niandou, le Hilo et le Tinkosso. Il est rejoint par l'affluent Sankarani un peu avant l'entrée dans la cuvette lacustre, à l'aval de Zéou. La cuvette lacustre est alimentée par le Bani, qui rejoint le fleuve Niger à Hopti, au centre de la cuvette. Après avoir quitté cette

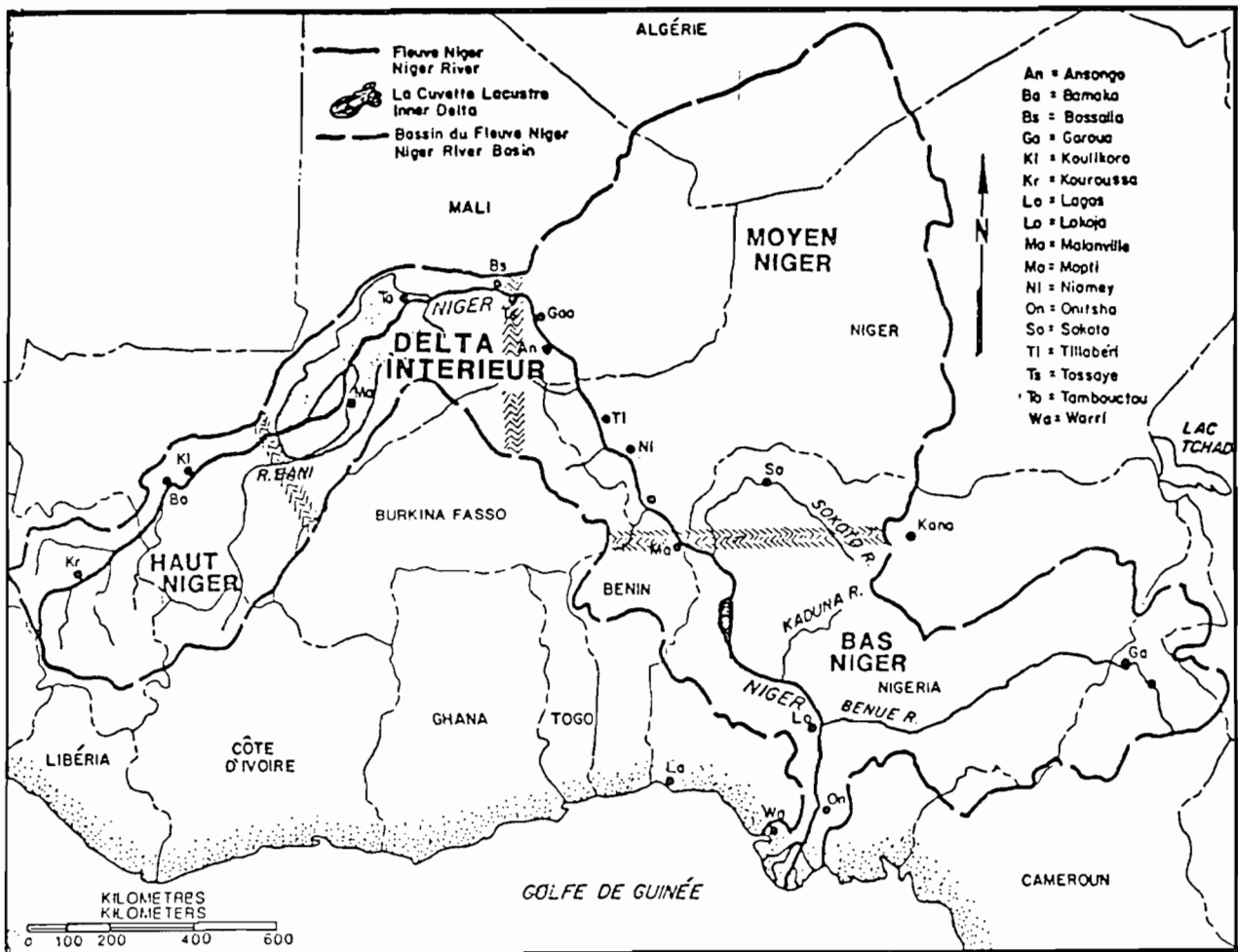


Figure I-3 Les Quatre sous-bassins du Niger.

zone, les eaux du fleuve parcourent le réseau hydrographique, sans grande modification jusqu'à Niamey. Les crues des affluents de la rive droite que reçoit le fleuve sur ce bief n'ont que peu d'influence sur la propagation des débits et n'interviennent pas dans la dérive du cours d'eau, en raison de leur caractère temporaire. Par contre les premières crues de ces affluents peuvent suivant les années soutenir l'étiage à Niamey. Le régime du cours d'eau entre Mopti et Niamey peut en définitif être en grande partie défini par l'état de la cuvette lacustre.

II.2 Le Tronçon Mopti - Niamey

II.2-1 Données géographiques

La superficie du bassin du Niger varie entre Mopti et Niamey de la façon suivante: (fig II-4)

- A Mopti (km 2914)	426 000 km ²
- A Dire' (km 2600)	304 000 km ²
- A Tossaye (km 2210)	310 000 km ²
- A Niamey (km 1648)	370.000 km ²

Coordonnées géographiques des stations de Niamey et Mopti:

Mopti: 14° 30' N ; 04° 12' W

Niamey: 13° 30',9 N ; 2° 05',2 E

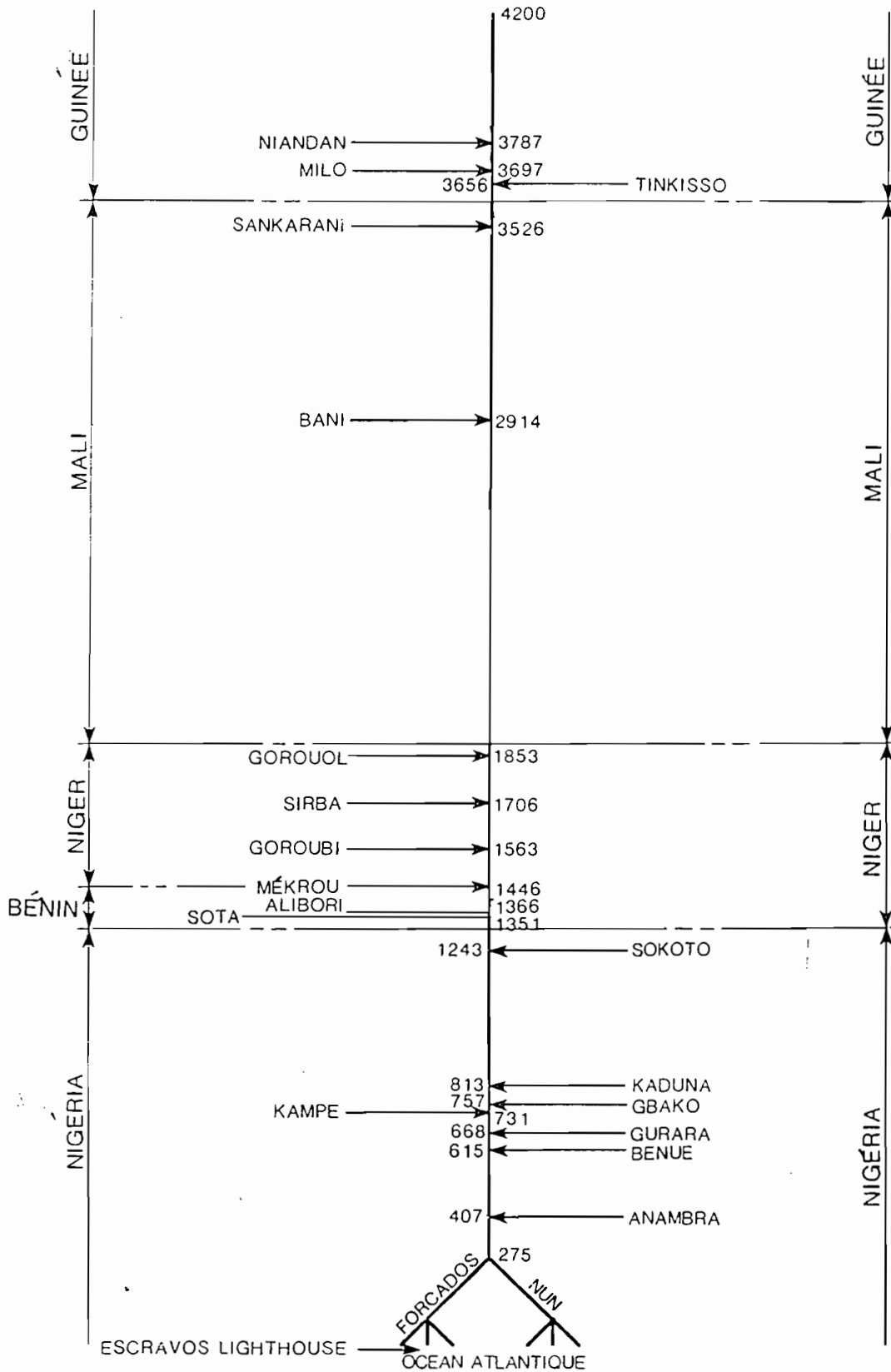


Figure 3-4a Représentation schématique du Niger (12) et de ses principaux tributaires.

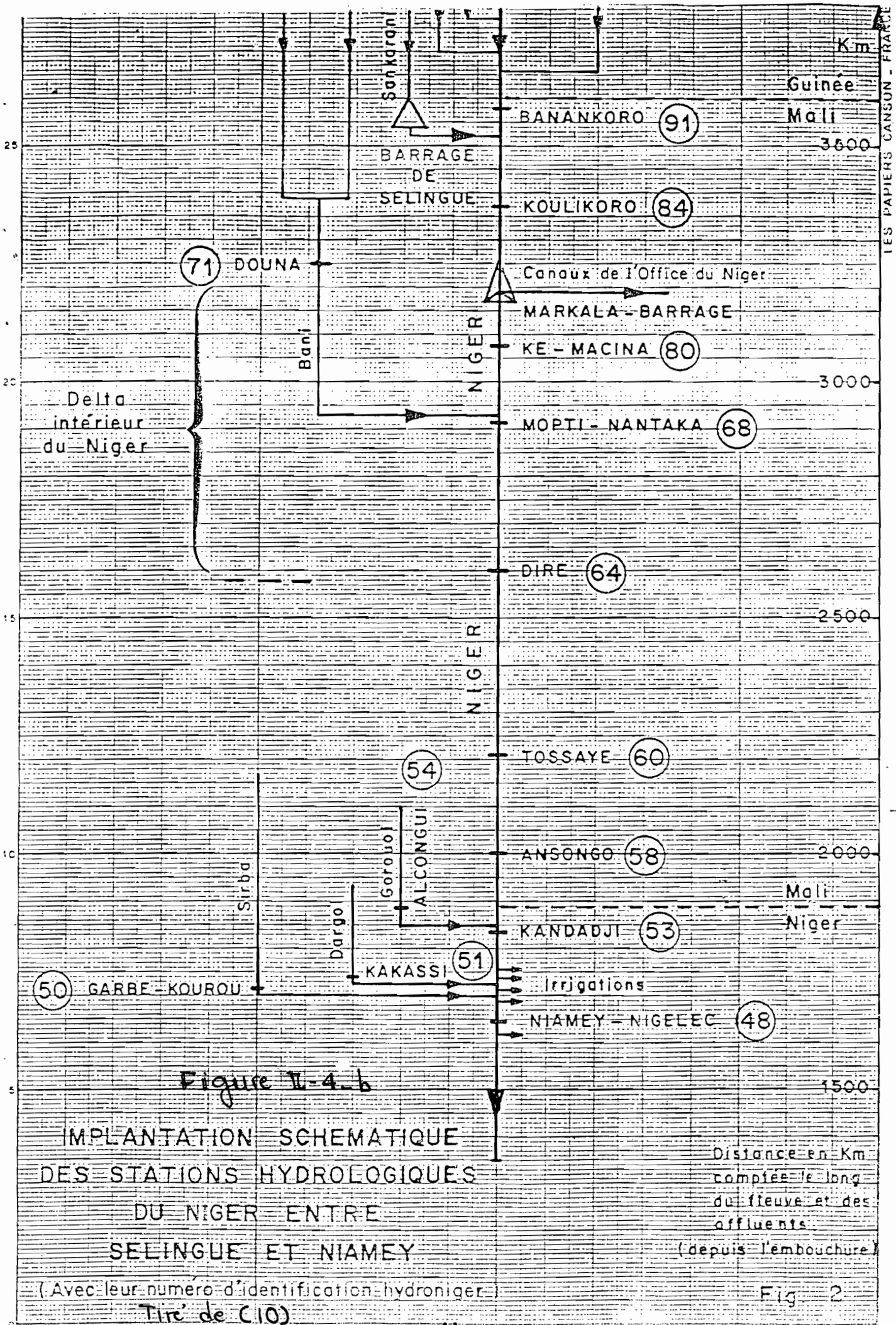


Figure II-4-b

IMPLANTATION SCHEMATIQUE
DES STATIONS HYDROLOGIQUES
DU NIGER ENTRE
SELINGUE ET NIAMEY

(Avec leur numéro d'identification hydroniger)
Tiré de (10)

Fig 2

II-2-2 données climatiques

Il y a une très grande variation des conditions climatiques à l'intérieur du bassin du Niger. Sur le tronçon Mopti - Niamey, s'exercent deux principaux climats :

- Le climat sahélien, entre les isohyètes 1200 mm et 750 mm
- Le climat sub-désertique, entre les isohyètes 300 mm et 100 mm.

Ces climats sont tous caractérisés par une saison sèche en hiver et une saison des pluies en été. Le passage d'une saison à une autre est régi par le déplacement de deux masses d'air :

1. L'harmattan, venant du Sahara, caractérisé par des vents chauds et secs.
2. La mousson, humide, provenant du golfe de Guinée.

Les stations de référence pour les deux types de climat qui s'exercent sur le tronçon sont Gao et Niamey. Ces deux villes sont pourvues de stations météorologiques qui fournissent des données sur les précipitations, la température, l'humidité, et l'évaporation.

Les températures moyennes pour les stations de référence sont : (1)

Station	Température moyenne	Période d'observation
Gao	29° 6	1928 - 1949
Niamey	28° 9	1944 - 1954
Mopti	27° 7	1935 - 1949

La moyenne interannuelle de l'humidité relative se présente comme suit :

Station	Moyenne des max (%)	Moyenne des min (%)
Gao	55,5	18,1
Niamey	62,0	26,7
Mopti	75,0	30,0

Les grandes températures qui prévalent dans la zone ont pour conséquence une très grande évaporation. Celle-ci est l'une des plus importantes du cours d'eau. Les valeurs suivantes sont caractéristiques :

- Gao : 3170 mm par an en moyenne
- Niamey : 2200 mm par an " "

La précipitation moyennes annuelles varie sur le tronçon. Les isohyètes interannuelles (fig II-5) sont parallèles entre elles et décroissent du Nord au Sud.

Le régime des vents est presque constant sur tout le bassin du Niger et dominé par l'harmattan en saison sèche, et la mousson en saison des pluies.

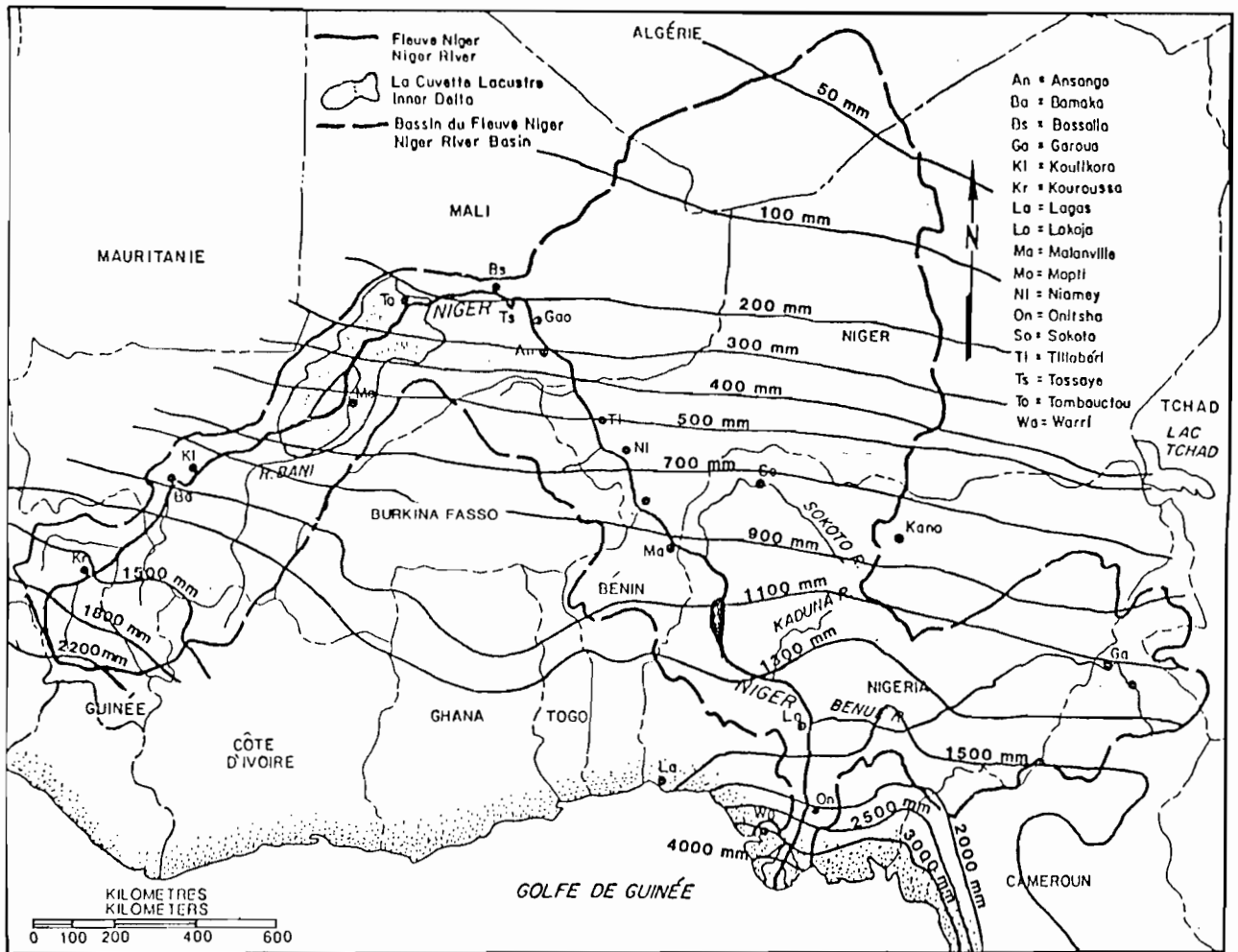


Figure 1-5 Précipitation moyenne annuelle (D'après Appalo, 1981).

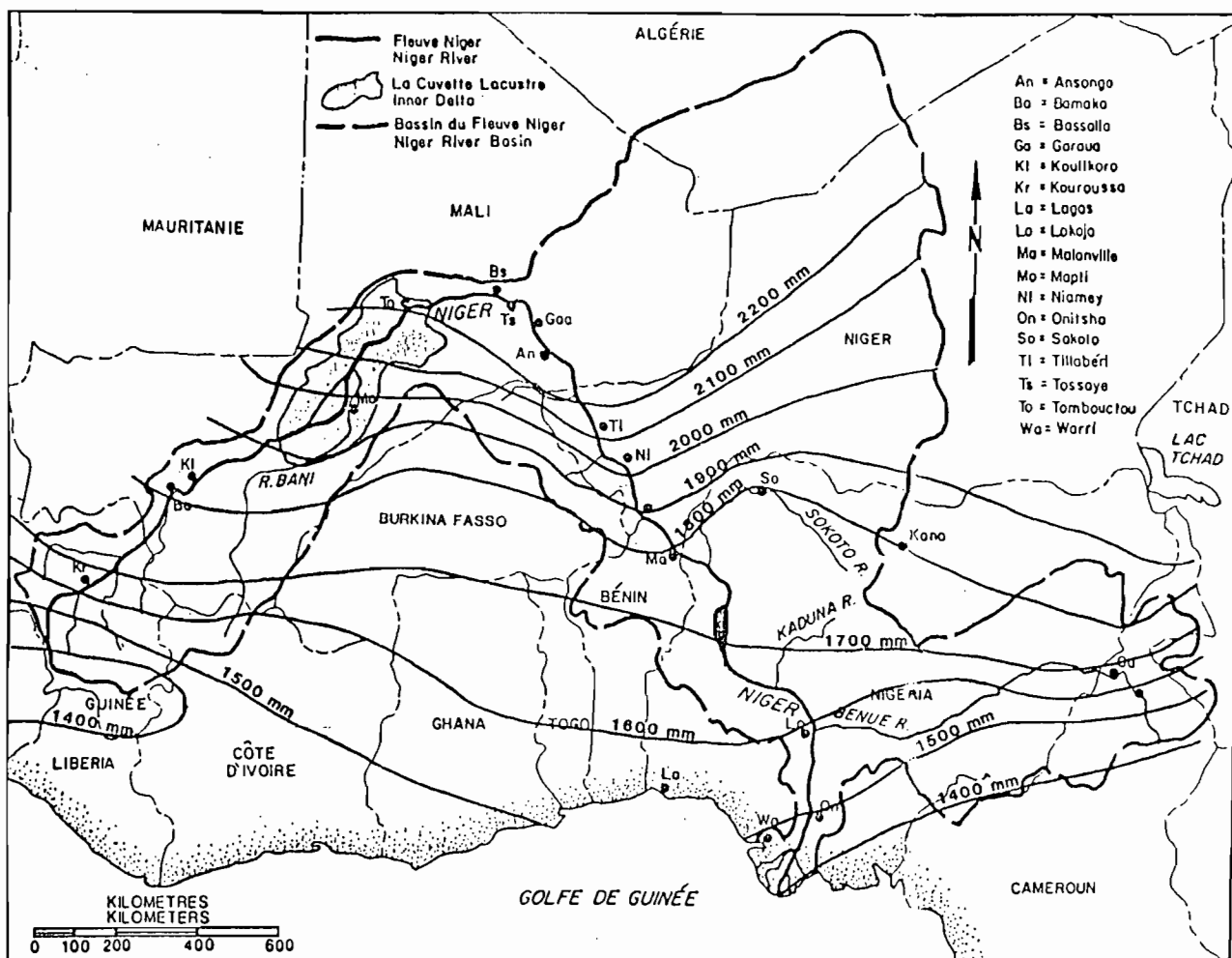


Figure D.6 Evapotranspiration potentielle moyenne annuelle (D'après Carter, 1954 et Cochemé et Franquin, 1967).

II.2.3 données hydrogéologiques

Sur le tronçon Mopti - Niamey, on distingue deux systèmes d'aquifères :

1- Aquifères réduits : petites nappes superficielles constituées de :

- nappes alluviales dans les alluvions récentes de faible puissance, elles sont non pérennes.
- nappes de fond des marais : souvent pérennes, rechargées par les pluies
- nappes de roc d'altération, ou nappes sous-labirintiques.

2- aquifères des bassins sédimentaires qui comprennent :

- La série du continental intercalaire, composé de sable, gravier et argile. Cette série forme une nappe aquifère continue.
- les nappes de l'éocène et du crétacé, peu aquifères et en général profondes.
- le continental terminal est une nappe libre continue située au dessus des formations de l'éocène et du crétacé. Elle est alimentée par les ruissellements.

II - 3 Analyse critique des données

Une étude basée sur la statistique requiert en général beaucoup de données, et la nôtre n'a pas échappé à cette règle. Les données dont nous avons pu nous disposer, proviennent de plusieurs sources :

1. - Les débits moyens journaliers des années 1970 à 1987 proviennent des annuaires hydrologiques obtenus auprès du Ministère nigérien de l'hydraulique à Niamey
2. - La Monographie hydrologique du fleuve Niger (1) dans ses deux dernières éditions nous a fourni les données ayant servi à l'analyse en composantes principales.
3. - Les données sur la station de Mopti qui ne proviennent pas de la 2^e source sont obtenues auprès du Ministère malien de l'hydraulique, dans les annuaires hydrologiques.

Les données qui proviennent de l'ORSTOM ont été l'objet de traitement, et présentent plus d'homogénéité et de fiabilité que celles provenant des annuaires, qui sont des données observées. Or les débits de bases eaux n'ont pas jusqu'ici bénéficié d'attention particulière, les gens se préoccupant plutôt des crues. De plus en raison des difficultés de tarage en période d'étiage, il convient de mani-

puler les données sur l'étiage avec beaucoup de soins.

L'étude se fait donc appel à des données qui n'ont pas les mêmes provenances, ce qui peut constituer une source d'hétérogénéité des données, ce qui n'est pas sans conséquences sur les résultats.

10

CHAPITRE III

METHODES D'ANALYSE

III-1 Choix des méthodes

La prévision des étiages d'un cours d'eau consiste à connaître d'avance les débits de basses eaux de ce cours d'eau en un endroit donné. L'analyse du phénomène d'étiage quant à elle, consiste à mettre en évidence les facteurs explicatifs, et en une description spatio-temporelle de la propagation des faibles débits. Plusieurs méthodes sont développées qui permettent d'arriver à une prévision des débits à une station donnée, tout en fournissant des éléments d'explication du phénomène. Nous avons opté pour deux types d'analyses :

- L'approche par les courbes de tarissement
- La modélisation par les composantes principales

La méthode des courbes de tarissement est en principe simple d'utilisation et ne nécessite pas beaucoup d'information pour des fins de prévision.

La modélisation des étiages par les composantes principales a pour but, de fournir pour les années à étiage sévère, le processus qui permet de déduire

les débits d'une station connaissent ceux d'une autre station judicieusement choisie. Il va falloir pour cette fin, en plus du calcul des Composantes principales, appliquer certains résultats des calculs de corrélation. C'est une méthode très appropriée à l'analyse de variables chronologiques telles les débits.

III-2 Principes des méthodes d'analyse.

III-2.1 L'approche par l'analyse du tarissement.

Le tarissement d'un cours d'eau est défini comme la décroissance des débits en fonction du temps correspondant à la vidange des nappes, en dehors de toute précipitation. Son étude va donc consister en la recherche des lois de décroissance des débits résultant de l'épuisement progressif des nappes. Il est d'usage de mettre ces lois sous forme analytique, ce qui est assez pratique dans la résolution de certains problèmes. En assimilant le tarissement à la vidange d'un réservoir à travers un bouchon poreux, on obtient les résultats suivants (figure III-1)

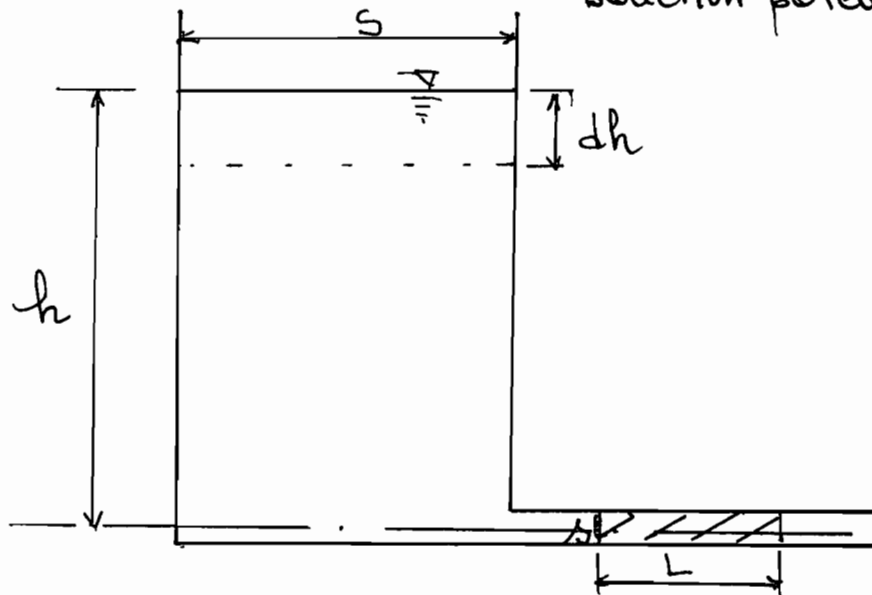
k = perméabilité spécifique du bouchon

P = porosité du bouchon

s, L = section et longueur (respectivement) du bouchon

S = section du réservoir

Figure III-1 Vidange d'un réservoir à travers un bouchon poreux.



L'écoulement d'un débit q pendant un temps dt à travers le bouchon, se traduit par une baisse de niveau dh dans le réservoir

L'équation de continuité pourra s'écrire :

$$S dh = - q dt \quad (1)$$

Or la loi de Darcy permet d'écrire :

$$q = k P \frac{s}{L} h \quad (2)$$

D'après l'équation (2) on déduit que:

$$dq = k P \frac{1}{L} dh$$
$$\Leftrightarrow dh = \frac{L}{k P \Delta} dq$$

En remplaçant dans (1) il vient:

$$S \frac{L}{k P \Delta} dq = -q dt$$

$$\Rightarrow \frac{dq}{q} = - \frac{dt}{S \frac{L}{k P \Delta}} = - \frac{k P \Delta}{S L} dt.$$

On pose $\alpha = \frac{k P \Delta}{S L}$, alors:

$$\frac{dq}{q} = -\alpha dt \quad (3)$$

En intégrant cette équation on obtient

$$\ln q = -\alpha t + K \quad (4)$$

Or si l'instant $t = t_0$, $\ln q_0 = -\alpha t_0 + K$

$$\Leftrightarrow K = \ln q_0 + \alpha t_0$$

L'équation (4) devient:

$$\ln q = -\alpha t + \ln q_0 + \alpha t_0$$

$$\ln q - \ln q_0 = -\alpha(t - t_0)$$

$$\Leftrightarrow q = q_0 e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (5)$$

L'équation(s) est connue sous le nom de formule de Maillet. Elle est très utilisée dans l'analyse du tarissement des fleuves, puisqu'elle donne des résultats qui sont en général, confirmés par les observations.

Cependant, un cours d'eau est en général alimenté par plusieurs rivières, et les propriétés physiques du milieu de propagation ne sont pas constantes. La formule de Maillet n'est donc qu'une approximation du phénomène, la réalité étant plus complexe. En effet si nous considérons que le cours d'eau est en relation avec n nappes échelonnées le long de son parcours, on peut démontrer ce qui suit: Le débit de tarissement à un instant t sera composé par la contribution individuelle de chacune des nappes situées à l'amont de ce lieu:

$$q = q_1 e^{-\alpha_1(t-t_0)} + \dots + q_n e^{-\alpha_n(t-t_0)} \quad (6)$$

les q_i et α_i correspondent aux différentes réserves considérées. Le développement en série de l'expression (6) s'écrit:

$$q = q_1 \left(1 - \alpha_1(t-t_0) + \frac{1}{2!} \alpha_1^2(t-t_0)^2 + \dots + \frac{(-1)^n}{n!} \alpha_1^n(t-t_0)^n \right) + \dots + q_n \left(1 + \alpha_n(t-t_0) + \frac{1}{2!} \alpha_n^2(t-t_0)^2 + \frac{(-1)^n}{n!} \alpha_n^n(t-t_0)^n \right)$$

$$q = \sum_{i=1}^n q_i - (t-t_0) \sum_{i=1}^n q_i \alpha_i + \frac{1}{2!} (t-t_0)^2 \sum_{i=1}^n q_i \alpha_i^2 + \dots + \frac{1}{n!} (t-t_0)^n \sum_{i=1}^n q_i \alpha_i^n \quad (7)$$

Si d'autre part on admet une loi de croissance exponentielle pour l'ensemble du bief, on aura:

$$q = \left(\sum_{i=1}^n q_i \right) e^{-\alpha(t-t_0)}$$

En développant:

$$q = \sum_{i=1}^n q_i - \alpha(t-t_0) \sum_{i=1}^n q_i + \frac{1}{2!} \alpha^2 (t-t_0)^2 \sum_{i=1}^n q_i + \dots + \frac{(-1)^n}{n!} \alpha^n (t-t_0)^n \sum_{i=1}^n q_i \quad (8)$$

En identifiant les équations (7) et (8) il vient:

$$\alpha = \frac{\sum q_i \alpha_i}{\sum q_i}; \quad \alpha^2 = \frac{\sum q_i \alpha_i^2}{\sum q_i}; \quad \dots; \quad \alpha^n = \frac{\sum q_i \alpha_i^n}{\sum q_i}$$

Ce qui n'est vrai que si $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n$.

Il est à remarquer que la loi de Maillet ne tient pas compte de pertes éventuelles d'eau pendant l'écoulement. Ces remarques vont nous amener à poser des hypothèses que nous discuterons plus loin.

III-2.2 L'analyse en composantes principales

III-2.2.1 Généralités

Parmi les applications des calculs de corrélation, l'analyse factorielle est l'une des plus utilisées. Son but est

de résoudre des problèmes du genre suivant :

On dispose d'un groupe de n variables X_1, X_2, \dots, X_n .

Si il existe une bonne corrélation entre ces variables, alors il est possible qu'il existe également entre elles des facteurs communs C_1, \dots, C_m tels que :

$$C_1 = k_{11} X_1 + k_{12} X_2 + \dots + k_{1n} X_n + a_1$$

\vdots

$$C_m = k_{m1} X_1 + k_{m2} X_2 + \dots + k_{mn} X_n + a_m$$

$m \leq n$; a_i et k_{ij} sont des constantes

Réciproquement on aurait :

$$t_1 = a_{11} c_1 + a_{12} c_2 + \dots + a_{1m} c_m + \varepsilon_1$$

\vdots

$$t_n = a_{n1} c_1 + a_{n2} c_2 + \dots + a_{nm} c_m + \varepsilon_n$$

avec $t_i = X_i - \bar{X}_i$; $c_i = C_i - \bar{C}_i$

$\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ sont des variables aléatoires à moyennes nulles.

L'analyse en composantes principales a justement pour but de dégager du groupe de variables aléatoires d'autres variables orthogonales et indépendantes qui n'auront plus une influence sur les corrélations du groupe. Cette méthode d'analyse se particularise fondamentalement des autres, du fait qu'elle utilise

les propriétés des espaces vectoriels euclidiens pour décrire les individus et les variables.

III.2.2.2 Rappel sur les espaces vectoriels euclidiens

a) Définition

On dit qu'un ensemble E a une structure d'espace métrique, si on définit une notion de distance entre deux éléments de E , c'est à dire une application d telle que:

$$d: E \times E \longrightarrow \mathbb{R}^+$$
$$x, y \longrightarrow d(x, y)$$

Cette application vérifie les propriétés suivantes:

1 - $d(x, y) = d(y, x)$ (symétrie)

2 - $d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y$

3 - $d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y)$ (inégalité triangulaire)

b) Espace de Hilbert

Soit H un espace vectoriel réel. Le produit scalaire a les propriétés suivantes dans H :

1. symétrie : $\langle x, y \rangle = \langle y, x \rangle$

2 - linéarité : $\langle x_1 + x_2, y \rangle = \langle x_1, y \rangle + \langle x_2, y \rangle$
 $\langle \lambda x, y \rangle = \lambda \langle x, y \rangle$.

3 - Positivité $\langle x, x \rangle \geq 0$

$$\langle x, x \rangle = 0 \Rightarrow x = 0$$

H muni du produit scalaire est appelé espace euclidien ou espace préhilbertien.

Conséquences:

a. Inégalité de Schwartz

$$\langle x, y \rangle^2 \leq \langle x, x \rangle \cdot \langle y, y \rangle$$

démonstration:

Développons le produit:

$$0 \leq \langle x + \lambda y, x + \lambda y \rangle = \langle x, x \rangle + 2\lambda \langle x, y \rangle + \lambda^2 \langle y, y \rangle$$

$$\Rightarrow \langle x, x \rangle + 2\lambda \langle x, y \rangle + \lambda^2 \langle y, y \rangle \geq 0$$

C'est une équation du 2nd degré, d'inconnue λ . Calculons le discriminant:

$$\Delta = 4\langle x, y \rangle^2 - 4\langle x, x \rangle \langle y, y \rangle \leq 0$$

$$\Delta \leq 0 \Rightarrow \langle x, y \rangle^2 \leq \langle x, x \rangle \langle y, y \rangle \quad \text{c.q.f.d.}$$

$$\text{Ou a } \langle x + \lambda y, x + \lambda y \rangle = 0 \Leftrightarrow x + \lambda y = 0$$

$$\Leftrightarrow x = -\lambda y$$

Il existe donc une proportionnalité entre x et y .

b) Inégalité triangulaire.

$$\sqrt{\langle x+y, x+y \rangle} \leq \sqrt{\langle x, x \rangle} + \sqrt{\langle y, y \rangle}$$

démonstration:

$$\langle x+y, x+y \rangle = \langle x, x \rangle + 2\langle x, y \rangle + \langle y, y \rangle$$

d'après la propriété précédente, on a:

$$\begin{aligned} \langle x+y, x+y \rangle &\leq \langle x, x \rangle + 2\sqrt{\langle x, x \rangle \langle y, y \rangle} + \langle y, y \rangle \\ &\leq \left(\sqrt{\langle x, x \rangle} + \sqrt{\langle y, y \rangle} \right)^2 \end{aligned}$$

d'où l'on tire:

$$\sqrt{\langle x+y, x+y \rangle} \leq (\sqrt{\langle x, x \rangle} + \sqrt{\langle y, y \rangle})$$

c. q. f. d.

Définition 1

L'application qui à un élément x de H fait correspondre le nombre positif ou nul $\sqrt{\langle x, x \rangle}$, noté $\|x\|$ définit une norme sur l'espace vectoriel H . On démontre facilement que H muni de la norme est complet, ce qui lui donne une structure d'espace de Hilbert.

Définition 2

On dit que l'espace vectoriel métrique E est complet, si toute suite de Cauchy d'éléments de E est convergente (dans E).

III.2.2.3 Espace des variables aléatoires réelles, de carré intégrable $L^2(\Omega, \mathcal{A}, P)$

Définition

On appelle espace des variables aléatoires réelles de carré intégrable, et on note $L^2(\Omega, \mathcal{A}, P)$, l'ensemble des variables aléatoires réelles centrées définies sur l'espace probabilisé (Ω, \mathcal{A}, P) , et de carré intégrable. On le note en général $L^2(\Omega)$.

Une variable aléatoire X définie sur l'espace probabilisé (Ω, \mathcal{A}, P) est dite :

1- centrée, si son espérance mathématique est nulle.

$$\text{i.e. } E(X) = \int_{\Omega} X(\omega) dP(\omega) = 0$$

2. de carré intégrable si l'espérance mathématique de son carré existe et est finie, i.e.:

$$E(X^2) = \int_{\Omega} X^2(\omega) dP(\omega) < +\infty$$

Théorème 1

$(\mathcal{L}^2(\Omega), +, \cdot)$ a une structure d'espace vectoriel.

En effet, soient X_1, X_2 2 éléments de $\mathcal{L}^2(\Omega)$ et λ_1, λ_2 deux réels. On définit la variable aléatoire $Y = \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2$

$$\forall \omega \in \Omega, Y(\omega) = \lambda_1 X_1(\omega) + \lambda_2 X_2(\omega)$$

La variable Y est centrée: $E(Y) = \lambda_1 E(X_1) + \lambda_2 E(X_2) = 0$

Elle est de carré intégrable:

$$E(Y^2) = \lambda_1^2 E(X_1^2) + \lambda_2^2 E(X_2^2) + 2\lambda_1\lambda_2 E(X_1 X_2)$$

$E(X_1^2)$ et $E(X_2^2)$ étant finies, $E(Y^2)$ ne sera finie que si

$E(X_1 X_2)$ l'est.

Or d'après l'inégalité de Schwartz:

$$|E(X_1 X_2)| \leq E(|X_1 X_2|) \leq |E(X_1^2)|^{1/2} |E(X_2^2)|^{1/2} < +\infty$$

donc $E(Y^2)$ est finie $\Rightarrow Y$ de carré intégrable.

Théorème 2

On définit sur $\mathcal{L}^2(\Omega)$ une structure d'espace de Hilbert.

En effet la covariance définit un produit scalaire sur

$\mathcal{L}^2(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$.

Soient X_1, X_2 deux v.a ; leur covariance est par définition égale à : $\text{Cov}(X_1, X_2) = E(X_1 X_2)$. On peut donc vérifier les relations suivantes :

1 - $\text{Cov}(X_1, X_2) = \text{Cov}(X_2, X_1)$

2 - $\text{Cov}(\lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2, X_3) = \lambda_1 \text{Cov}(X_1, X_3) + \lambda_2 \text{Cov}(X_2, X_3)$

3 - $\text{Cov}(X_1, X_1) = 0 \Leftrightarrow X_1 = 0$ presque partout

i.e $(\mathbb{P}(X_1 \neq 0)) = 0$

4 - $\text{Cov}(X_1, X_1) \geq 0$

5 - $\text{Cov}(X_1, X_2) = 0 \Leftrightarrow X_1$ et X_2 sont orthogonales

6 - $\|X_1\| = [E(X_1^2)]^{1/2}$.

III.2.2.4 Sous-espace engendré par n variables de $\mathcal{L}^2(\Omega)$.

Soient (X_1, \dots, X_n) un système de n v.a de $\mathcal{L}^2(\Omega)$. Ce système engendre un sous-espace vectoriel F de $\mathcal{L}^2(\Omega)$ de dimension $\leq n$.

On pose par définition $J = (1, \dots, j, \dots, n)$. Le sous-espace vectoriel F défini par les combinaisons linéaires du système $\{X_j\}_{j \in J}$ est muni d'un produit scalaire (défini par la covariance) et sa dimension est finie. F est par définition un espace euclidien.

Propriétés

a) Soit k la dimension de F ; posons $L = \{1, 2, \dots, k\}$
On sait qu'il existe une base $(B_\ell)_{\ell \in L}$ orthonormée
de F telle que $\forall \ell \in L, \forall r \in L,$

$$\ell \neq r \Rightarrow E(B_\ell B_r) = 0$$

$$\ell = r \Rightarrow E(B_\ell^2) = 1$$

$$\forall Y \in F, \exists (\alpha^\ell)_{\ell \in L}; Y = \sum_{\ell \in L} \alpha^\ell B_\ell.$$

b) Les coefficients α^ℓ sont uniques et égaux aux
produits scalaires entre la variable Y et les variables
 B_ℓ .

$$\forall r \in L, Y = \sum_{\ell \in L} \alpha^\ell B_\ell \Rightarrow E(Y \cdot B_r) = \sum_{\ell \in L} \alpha^\ell E(B_\ell B_r) = \alpha^r$$

c) On peut définir la projection orthogonale
 P_u d'une v.a. Y de $\mathcal{B}^2(\Omega)$ sur une droite vectorielle
 D_u engendrée par une v.a. unitaire u .

Décomposons F comme suit:

$$F = D_u \oplus D_u^\perp \text{ avec } D_u^\perp = D_u \text{ orthogonal}$$

On a donc $Y = \alpha u + \beta v$, $u \in D_u$ et $v \in D_u^\perp$.

Par définition αu est la projection de Y sur D_u . On

$$\alpha: E(Yu) = E(\alpha uu) + E(\beta v u) = \alpha E(u \cdot u) = \alpha$$

On peut donc écrire:

$$P_u(Y) = E(Yu)u.$$

d) Posons $e = \frac{u}{\|u\|}$ et $P_u(Y)$ projection

sur D_u ; le cosinus entre les variables Y et Z s'exprime comme le rapport de la coordonnée sur D_u de la projection $P_u(Y)$ à la norme de la v.a. Y .

$$\cos(Y, Z) = \frac{E(YU)}{\|Y\|} = \frac{E(YZ)}{\|Y\|\|Z\|} = \frac{\text{cov}(Y, Z)}{(\text{V}(Y))^{1/2}(\text{V}(Z))^{1/2}}$$

Le cosinus est tout simplement égal au coefficient de corrélation entre Y et Z .

III.2.2.4-1 Etude de la matrice des covariances

Définition:

On définit la matrice de covariance des v.a. X_1, X_2, \dots, X_p ou du vecteur aléatoire (X_1, X_2, \dots, X_p) , comme la matrice carrée V d'ordre p dont le terme général $v_{j,j'}$ est égal à la covariance entre les variables X_j et $X_{j'}$.

$$V = \begin{bmatrix} E(X_1^2) & \dots & \text{cov}(X_1, X_j) & \dots & \text{cov}(X_1, X_p) \\ \vdots & & & & \vdots \\ \text{cov}(X_j, X_1) & & E(X_j^2) & & \vdots \\ \vdots & & & & \vdots \\ \text{cov}(X_p, X_1) & & \text{cov}(X_p, X_j) & & E(X_p^2) \end{bmatrix}$$

Théorème 1: Soient $Y = \sum_{j \in J} y^j X_j$ et $Z = \sum_{j' \in J} z^{j'} X_{j'}$ deux v.a. appartenant à \mathcal{F} .

$$\text{cov}(Yz) = [y^1, \dots, y^j, \dots, y^p] V \begin{bmatrix} z^1 \\ \vdots \\ z^j \\ \vdots \\ z^p \end{bmatrix}$$

Poseons $[Y]' = [y^1 \dots y^j \dots y^p]$ et

$$[Z] = \begin{bmatrix} z^1 \\ \vdots \\ z^j \\ \vdots \\ z^p \end{bmatrix}; \text{ alors:}$$

$$\text{cov}(Yz) = E(Yz) = [Y]' V [Z].$$

On démontre ce théorème pour $p=2$, mais le résultat est valable pour n quelconque:

$$\begin{aligned} \text{cov}(Yz) &= E((y^1 x_1 + y^2 x_2)(z^1 x_1 + z^2 x_2)) \\ &= y^1 z^1 E(x_1^2) + y^1 z^2 E(x_1 x_2) + y^2 z^1 E(x_2 x_1) \\ &\quad + y^2 z^2 E(x_2^2). \\ &= E(x_1 x_2)(y^2 z^1 + z^2 y^1) + y^1 z^1 E(x_1^2) + y^2 z^2 E(x_2^2). \end{aligned}$$

Développons le produit matriciel:

$$\begin{aligned} [y^1, y^2] \begin{bmatrix} E(x_1^2) & E(x_1 x_2) \\ E(x_2 x_1) & E(x_2^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z^1 \\ \vdots \\ z^2 \end{bmatrix} &= \\ = y^1 z^1 E(x_1^2) + z^1 y^2 E(x_2 x_1) + z^2 y^1 E(x_1 x_2) + y^2 z^2 E(x_2^2) \\ = E(x_1 x_2)(z^1 y^2 + z^2 y^1) + y^1 z^1 E(x_1^2) + y^2 z^2 E(x_2^2). \end{aligned}$$

C.Q.F.D.

Théorème 2:

La matrice des covariances est symétrique, semi-

définie positive.

$$V_{ij} = V_{j,i}$$

$\forall Y \in F$, de coordonnées $[y]$ on a:

$$\begin{aligned} [Y]' V [Y] &= \text{cov}(Y, Y) = E(Y^2) \\ &= E\left(\sum_{j \in J} y_j^2 X_j^2\right) \geq 0 \end{aligned}$$

Conséquences:

La matrice V admet p valeurs propres u_1, \dots, u_p réelles, positives ou nulles, associées à des vecteurs propres v_1, \dots, v_p orthogonaux pour le produit scalaire canonique de \mathbb{R}^p .

III.2.2.5 Méthodologie de l'analyse en C.P

L'analyse en C.P peut être résumée comme une maximisation de la variance d'une combinaison linéaire d'un groupe de variables données. Mais puisqu'il suffit de multiplier une v.a par un réel positif, pour augmenter sa variance, la condition de maximisation n'est que nécessaire, et sera accompagnée d'autres contraintes.

III.2.2.5.1 Démarche de la méthode

Soit M une matrice symétrique à termes réels, définie positive, d'ordre p . On sait que M définit un produit scalaire sur l'espace \mathbb{R}^p , rapporté à sa base canonique. Soit une v.a C , combinaison linéaire

des variables X_1, \dots, X_p .

Alors $\forall u \in \mathbb{R}^p$ tel que $\forall \omega \in \Omega, C(\omega) = u X(\omega)$
avec $X(\omega) = (X_1(\omega), \dots, X_p(\omega))$, le produit
scalaire est défini par la métrique M .

On note $C = uX$.

Réciproquement, soit C une v.a tel que

$$C = uX, u \in \mathbb{R}^p.$$

Alors C est une combinaison linéaire de X_1, \dots, X_p .

$$C = \sum_{j \in J} c^j X_j \Leftrightarrow \forall \omega \in \Omega, C(\omega) = \sum_{j \in J} c^j X_j(\omega).$$

Soit u le vecteur défini dans la base canonique
par:

$$[u] = M^{-1} [C] \quad \text{ou} \quad [C] = \begin{bmatrix} c^1 \\ \vdots \\ c^p \end{bmatrix}$$

En notant $[C]'$ et $[u]'$ les matrices transposées
de $[C]$ et $[u]$ respectivement, on aura:

$$\begin{aligned} C = \sum_{j \in J} c^j X_j &\Leftrightarrow [C] = [C]' [X] \\ &\Leftrightarrow [C] = [u]' M [X] \\ &\Leftrightarrow C = uX \quad \text{C.Q.F.D.} \end{aligned}$$

Les recherches d'une v.a sous forme de combinaison
linéaire ~~et~~ de produit scalaire sont équivalentes.

Définition 1

On appelle première c.p du vecteur aléatoire
 (X_1, \dots, X_p) , la v.a C , solution du programme

linéaire suivant :

$$\begin{cases} \text{Max} (E(c_1^2)) \\ c_1 = u_1 X \\ u_1 \cdot u_1 = \|u_1\|_M^2 = 1 \end{cases}$$

Définition 2

On appelle deuxième C.P du vecteur aléatoire X_1, \dots, X_p , la v.a c_2 solution du programme linéaire suivant :

$$\begin{cases} \text{Max}(E(c_2^2)) \\ c_2 = u_2 X \\ \|u_2\|_M = 1 \\ E(c_1, c_2) = 0 \end{cases}$$

Plus généralement, on définit la $n^{\text{ième}}$ C.P comme la v.a solution du programme linéaire :

$$\begin{cases} \text{Max} (E(c_n^2)) \\ c_n = u_n X \\ \|u_n\| = 1 \\ E(c_n, c_{n'}) = 0, \forall n' < n \end{cases}$$

On impose donc à la $n^{\text{ème}}$ C.P d'être non corrélée à toutes les précédentes.

a) Recherche de la 1^{ère} C.P

On a vu qu'il existe un vecteur $u_1^* = (u_1^{*1}, \dots, u_1^{*p})$

tel que : $c_1 = u_1 X = \sum_{j \in J} u_1^{*j} X_j$

u_1^* est relié au vecteur u_1 par la relation :

$$[u_1^*] = M [u_1]$$

c_1 peut alors s'exprimer comme suit :

$$\begin{aligned} E(c_1^2) &= [u_1^*]' V [u_1^*] \\ &= [u_1]' M V M [u_1] \end{aligned}$$

La recherche de la 1^{re} C.P. consistera donc à trouver la solution du programme linéaire :

$$\begin{cases} \text{Max } ([u_1]' M V M [u_1]) \\ [u_1]' M [u_1] = 1 \end{cases}$$

La fonction à maximiser admettant une dérivée de premier ordre par rapport à u_1 , on peut utiliser les multiplicateurs de Lagrange et le Lagrangien :

$$L = [u_1]' M V M [u_1] - \lambda ([u_1]' M [u_1] - 1)$$

La dérivée par rapport à u_1 est nécessairement nulle (définition).

$$\frac{dL}{du_1} = 2 M V M [u_1] - 2 \lambda M [u_1] = 0 \quad (1)$$

En effet $\frac{d}{du_1} [[u]' M [u]] = 2 M(u)$ avec la condition que M soit symétrique (d'ordre n) et $u \in \mathbb{R}^n$.

Après simplification de (1), on obtient :

$$V M [u_1] = \lambda [u_1] \quad (2)$$

La condition nécessaire est que $[u_1]$ soit un vecteur propre de $V M$.

En multipliant (2) par $[U_1]'M$, il vient :

$$[U_1]'MVM[U_1] = \lambda [U_1]'M[U_1] = \lambda$$
$$E(C_1^2) = \lambda$$

La 1^{ère} C.P est donc égale à : $C_1 = U_1 X$, où U_1 est le vecteur propre unitaire au sens de M , de la matrice VM , associé à la plus grande valeur propre λ_1 . Sa variance est égale à λ_1 .

b. Recherche de la 2^e C.P

Soit $C_2 = U_2 X$; on cherche à déterminer le vecteur unitaire U_2 tel que la v.a C_2 soit de variance maximale et non corrélée à C_1 .

Le problème à résoudre est :

$$\begin{cases} E(C_2^2) = [U_2]'MVM[U_2] \\ [U_2]'M[U_2] = 1 \\ E(C_1, C_2) = 0 \end{cases}$$

Ponons $E(C_1, C_2) = f(U_1, U_2)$

$$C_2 = \sum_{j \in J} U_2^{*j} X_j \quad \text{où } [U_2^*] = M[U_2]$$

$$E(C_1, C_2) = [U_1^*]'V[U_2^*] = [U_1]'MVM[U_2]$$
$$= [U_2]'MVM[U_1] = E(C_2, C_1)$$

U_1 étant un vecteur propre de VM associé à λ_1 , on a

$$E(C_1, C_2) = \lambda_1 [U_2]'M[U_1] = \lambda_1 U_2 \cdot U_1$$

$$\lambda_1 \neq 0 \Rightarrow E(C_1, C_2) = 0 \Leftrightarrow U_2 \cdot U_1 = 0$$

Le problème devient :

$$\begin{cases} \text{Max } [U_2]' M V M [U_2] \\ [U_2]' M [U_2] = I \\ U_2 \cdot U_1 = 0 \end{cases}$$

La fonction à maximiser étant dérivable par rapport à U_2 et nécessairement de dérivée nulle, on peut appliquer la méthode de Lagrange.

$$L = [U_2]' M V M [U_2] - \lambda ([U_2]' M [U_2] - 1) - \mu [U_2]' M [U_1]$$

$$\frac{dL}{dU_2} = 2 M V M [U_2] - 2 \lambda M [U_2] - \mu M [U_1] = 0$$

En simplifiant par M on obtient :

$$2 V M [U_2] - 2 \lambda [U_2] - \mu [U_1] = 0$$

Le produit scalaire au sens de M par le vecteur U_1 est nul :

$$2 [U_1]' M V M [U_2] - 2 \lambda [U_1]' M [U_2] - \mu [U_1]' M [U_1] = 0$$

$$\text{or } 1. [U_1]' M [U_2] = 0 \quad (U_1 \perp U_2)$$

$$\text{et } 2. [U_1]' M V M [U_2] = [U_2]' M V M [U_1] = \lambda [U_2]' M [U_1] = 0$$

$$3. [U_1]' M [U_1] = 1 \quad U_1 \text{ unitaire}$$

$$\text{d'où } \mu = 0 \Rightarrow V M [U_2] = \lambda [U_2]$$

La 2^e C.P. C_2 est égale à : $C_2 = U_2 X$, où le vecteur U_2 est le vecteur propre (unitaire au sens de M)

de la matrice VM , orthogonal à u_1 et associé à la plus grande valeur propre λ_2 , inférieur ou égale à λ_1 . Sa variance est égale à λ_2 .

En répétant ce procédé, on déduit des autres valeurs propres, les vecteurs propres de VM . On peut énoncer le théorème suivant :

Théorème :

La l^e C.P., C_l du vecteur aléatoire X est égale à $C_l = U_l X$, où U_l est le vecteur propre (unitaire au sens de la métrique M) de la matrice VM . U_l est orthogonal à u_1, u_2, \dots, u_{l-1} et est associé à la l^e plus grande valeur propre λ_l . Sa variance est égale à λ_l .

Définition :

- a. - On appelle l^e vecteur propre, le vecteur unitaire u_l de la matrice VM , associé à la l^e valeur propre la plus grande, λ_l .
- b. - On appelle l^e axe principal, la droite vectorielle de \mathbb{R}^p engendrée par le l^e vecteur propre.
- c. - On appelle l^e facteur principal, le vecteur $U_l^* = (U_l^{*1}, \dots, U_l^{*j}, \dots, U_l^{*p})$ défini par :

$$[U_l^*] = M[U_l]$$

Le facteur U_l^* est donc tel que la CP C_l soit égale

a:
$$C_l = \sum_{j \in J} U_l^{*j} X_j$$

c. Choix de la métrique

c.1 Espace des individus:

Définition.

On appelle espace des individus, l'espace vectoriel \mathbb{R}^p muni du produit scalaire, défini dans la base canonique par la matrice M .

L'espace des individus est un espace euclidien. Outre la métrique canonique $M = I$ (matrice identité), on utilise fréquemment en analyse en C.P la métrique définie par la matrice diagonale $M = \frac{1}{\sigma^2} I_p$.

$$M = \begin{bmatrix} 1/\sigma_1^2 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1/\sigma_j^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \dots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 1/\sigma_p^2 \end{bmatrix}$$

Dans ce cas on dit que l'analyse en C.P est normée. On démontre que l'emploi de la métrique normée en analyse en C.P est équivalente à l'analyse canonique du vecteur Y défini par:

$$y_j = \frac{x_j}{\sigma_j}$$

où σ_j est l'écart-type de la v.a. X_j . La métrique normée est alors égale à la métrique canonique. Les vecteurs unitaires recherchés sont alors

(celle de la matrice de corrélation R , des v.a X_j),
car $MV = R$.

d. Réprésentation euclidienne

On peut définir deux bases orthonormées :

1. La première concerne le sous-espace F de $\mathcal{L}^2(\Omega)$, engendré par les v.a X_1, \dots, X_p .
2. La seconde concerne le sous-espace E de \mathbb{R}^p , engendré par l'ensemble $X(\omega) = \{X_1(\omega), \dots, X_p(\omega)\}$
 $\omega \in \Omega$.

i) Soit $Y = yX$, une combinaison linéaire de X , avec $y \in \mathbb{R}^p$ et $X = (X_1, \dots, X_p)$. On démontre que le système $(U^l)_{l \in J}$, composé de tous les vecteurs principaux forme une base orthonormée de \mathbb{R}^p .

$$y \in \mathbb{R}^p \Rightarrow Y = \sum_{l \in J} y^l U^l$$

$$\Rightarrow Y = \sum_{l \in J} y^l U^l \cdot X$$

$$\text{or } C^l = U^l \cdot X, \text{ donc } Y = \sum_{l \in J} y^l C^l$$

En éliminant les C.P de variance nulle, et en considérant k comme le nombre de C.P associés à des valeurs propres non nulles, on a :

$$Y = \sum_{l \in L} y^l C^l \quad L = \{1, \dots, k\}$$

Les composantes étant orthogonales et indépendantes, on déduit que :

Les C.P de variance non nulle forment une base orthogonale du sous-espace euclidien $\mathcal{L}^2(\Omega)$, engendré par les v.a X_1, \dots, X_p .

Les variables X_1, X_2, \dots, X_j peuvent être représentées sur un axe ; En effet :

$$C_e = \sum_{k=1}^j a_{ek} X_k$$

En exprimant les C.P en variables centrées et réduites, de moyennes nulles, et d'écart-types égaux à l'unité on aura :

$$C'_e = \frac{C_e}{\sqrt{\lambda_e}} = \sum_{k=1}^j \frac{a_{ek} X_k}{\sqrt{\lambda_e}}$$

La matrice $[a_{ji}]$ étant orthogonale, son inverse est égale à sa transposée.

$$\text{donc } X_j = \sum_{e \in L} \sqrt{\lambda_e} u_e^j C'_e$$

la coordonnée de X_j sur l'axe représenté par C'_e est $\sqrt{\lambda_e} u_e^j$.

ii) Considérons la C.P $C_e = u_e X$.

La réalisation de cette variable sur un individu ω de l'univers donne : $C_e(\omega) = u_e \cdot X(\omega)$

$$C_e(\omega) \cdot u_e = u_e \cdot u_e X(\omega) = X(\omega)$$

$$\text{donc } X(\omega) = C_e(\omega) \cdot u_e$$

Par conséquent la coordonnée de $X(\omega)$ sur l'axe

engendré par le vecteur principal U_e est $C_e(w)$. On peut donc, en variant w , représenter le nuage des individus.

III.2.2.5.2 Reconstitution des données

On avait exprimé X_j sous la forme $X_j = \sum_{e \in L} \sqrt{\lambda_e} u_e^j c_e'$

ou bien $X_j = \sum_{e \in L} u_e^j C_e$

avec $X_j = X_{0j} - M_j$

On peut donc reconstituer X_j , connaissant c_e' ou C_e .

Ceci est valable pour une métrique canonique

Dans une analyse avec métrique normale, on a:

$$Y_j = \frac{X_{0j} - M_j}{\sigma_j} = \sum_e u_e^j C_e = \sum_e \sqrt{\lambda_e} u_e^j c_e'$$

où X_{0j} est la variable initiale.

M est la moyenne de la v.a. X_{0j}

σ_j est l'écart-type de X_{0j}

III.2.2.5.3 Quelques remarques importantes

La plupart des ouvrages se rapportant à l'analyse en C.P. que nous avons consulté, affirment que la méthode peut être appliquée dans plusieurs domaines, sans inconvénients majeurs, moyennant seulement quelques hypothèses. Même si aucune condition n'est exigée sur les variables X_j , on ne doit pas perdre de vue le fait que l'élément essentiel de l'analyse

est la matrice des coefficients de corrélation totale entre tous les couples de v.a. (X_j, X_k) . C'est cette matrice qui permet, après diagonalisation, le calcul des vecteurs propres et des valeurs propres. Or la valeur du coefficient de corrélation r_{jk} dépend essentiellement des couples d'observations X_{ji}, \dots, X_{ki} . En particulier si l'on applique aux p variables de l'analyse une transformation monotone de type $\log_e X_j$ ou $(X_j)^{a/b}$, on modifie les coefficients de corrélation r_{jk} , et de ce fait la structure même des C.P.

Il y a une controverse au niveau de l'équivalence entre l'analyse en C.P. sur des variables centrées et réduites ou sur des variables simplement centrées, surtout si les variables présentent de grandes différences. Dans ce dernier cas, les premières C.P. risquent d'être définies uniquement par les variables à forte variance, et les dernières C.P. par les variables à faible variance, celles-ci étant alors éliminées dans la plupart des cas. Ceci peut constituer une perte d'information par rapport à la variance totale.

Il est donc indispensable d'être conscients de tous ces facteurs dans une analyse en C.P., car l'influence d'éventuelles erreurs de données sur les C.P. est mal connue.

CHAPITRE IV

MODELISATION DU TRONÇON

IV-1 Introduction

L'objectif de l'analyse en C.P est de fournir un outil de prévision des débits à Niamey, en fonction de ceux d'une station en amont. Une étude de la SOGREAH (10) montre que la station de Mopti est la plus appropriée. Les raisons sont les suivantes :

- Elle est suffisamment en l'amont de Niamey mais aussi en l'aval du barrage de Markala (Mali) et de la confluence de Bani.
- Relativement aux autres stations, ses données présentent une plus grande fiabilité.

La station de Mopti est située en peu près au milieu de la cuvette lacustre, juste en l'aval de la confluence de Bani (figure II-4-b)

L'interconnexion entre les deux fleuves se fait de manière fort complexe, la mise en charge du Niger dépendant de la crue des deux cours d'eau. Mopti présente donc un grand intérêt dans l'étude du régime hydrologique du fleuve, en l'aval de la cuvette lacustre.

IV-2 Approche méthodologique

Le bilan hydrologique du fleuve sur le tronçon peut être (schématisé) comme suit :

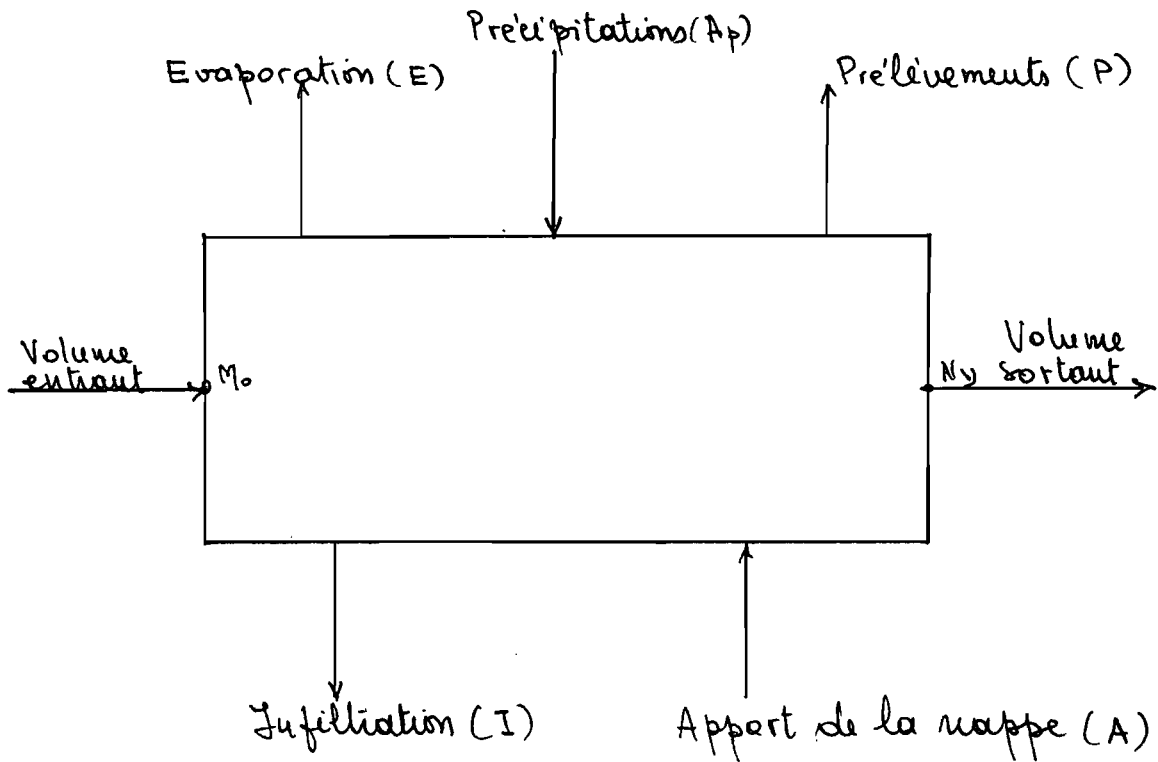


Figure IV-1 bilan hydrologique du tronçon.

Les facteurs qui interviennent dans ce bilan peuvent être classés en deux catégories :

- Les facteurs naturels (liés au climat, à l'hydrologie, etc...) et qui comprennent l'évaporation, les précipitations, et les échanges fleuve-aquifère.
- Les facteurs humains qui se traduisent par les prélèvements, notamment pour la consommation

et les fins d'irrigation. Faute de données précises sur tous ces facteurs, nous sommes obligés de poser des hypothèses, quant à leur contribution au bilan hydrologique sur le bief Mopti - Niamey.

- Les prélèvements annuels sont considérés comme une fonction du volume d'eau qui entre à Mopti, soit analytiquement exprimés $P = f_1(V_M)$ (V_M = volume d'eau entrant à Mopti).

- L'évaporation n'est fonction que du même volume d'eau écoulé, les conditions climatiques (ensoleillement, humidité etc...) étant supposés constantes d'une année à une autre. Ce qui nous permet d'écrire :

$$E = f_2(V_M)$$

- L'apport de la nappe à l'écoulement est fonction de l'état de recharge des réservoirs, qui est lui-même lié au débit maximal de la crue de l'année précédente, à Koulikoro (10) ; soit :

$$A = f_3(K_{max})$$

- L'infiltration est également fonction de l'état de la nappe, mais aussi des précipitations :

$$I = f_4(K_{max}, A_p)$$

- L'apport des précipitations est considéré comme une constante d'une année à une autre :

$$A_p = c_{te}$$

L'infiltation devient alors:

$$I = f_3(K_{max}) + c t_2$$

Le bilan de l'écoulement pourra s'écrire:

$$V_M - V_N = f_1(V_M) + f_2(V_M) + f_3(K_{max}) + c t_2$$

V_M = volume d'eau sorti à Niamey.

En présumant une relation linéaire entre les différentes variables, il vient:

$$V_M - V_N = a V_M + b K_{max} + c$$

d'où

$$V_N = V_M(1 - a) + b K_{max} + c$$

Le bilan d'eau à Niamey sera dès lors fonction de la répartition de l'hydrogramme annuel à Mopti, mais aussi du débit maximal à Koulikoro, au cas ou paravant. La répartition temporelle des débits sera décrite par les variables DE , $DC9$, $DC6$, $DC3$ et D_{max} , tandis que le volume d'eau annuel écoulé sera mis en évidence par D_{moy} . On se retrouve avec 6 variables à Mopti, qui expliquent les mêmes variables à Niamey à partir d'un modèle linéaire de propagation des débits. Le fonctionnement du modèle peut être schématisé comme suit:

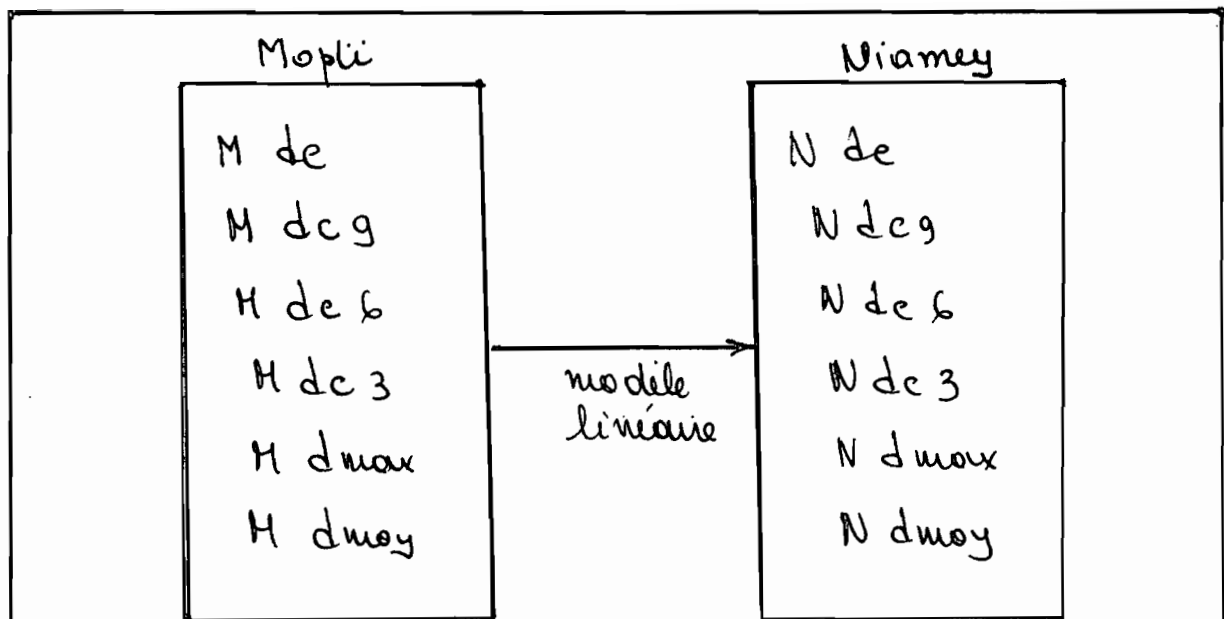


Figure IV-2 Schéma de fonctionnement du modèle linéaire

Il est évident qu'à une station donnée, toutes ces variables sont corrélées les unes aux autres. On peut trouver par conséquent des corrélations multiples qui puissent permettre d'exprimer les variables de Niamey à partir de celles de Mopti. Cette opération est possible quelque soit le degré de corrélation entre les variables. Cependant, lorsqu'on a affaire à un petit échantillon ($n < 50$), l'estimation de certains coefficients de régression peut être rendue non fiable par les coefficients de corrélation voisins de 1, entre plusieurs couples de variables (X_j, X_k). Les fluctuations d'échantillonnage peuvent être en effet très grandes. Cette situation est connue sous le nom de multicollinéarité.

IV-3 Le problème de la multicollinéarité et ses conséquences

Dans un modèle de régression multiple, on

$$a: \quad Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon$$

Chaque coefficient β_j représente un taux de changement de Y , lorsque X_j varie de 1, les autres variables demeurant constantes (effet marginal).

Cette interprétation ne peut être rigoureusement juste que si la variable X_j est indépendante des autres.

Les défauts caractéristiques sont donc d'être indépendants les uns des autres (voir matrice de corrélation). Les conséquences possibles de ce fait sur l'analyse sont les suivantes:

- Instabilité des coefficients β_j , causée par l'inversion de la matrice quasi singulière. Cela peut se manifester par des coefficients $\bar{\beta}_j$ estimés dont le signe est contraire à ce à quoi l'on pourrait s'attendre; d'autant plus que la variance de $\bar{\beta}_j$ est exprimée par

$$\text{VAR}(\bar{\beta}_j) = \frac{\text{VIF}_j}{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2} \sigma^2$$

où $\text{VIF}_j =$ facteur inflationnaire de variance de X_j
 $= \frac{1}{1 - R_j^2}$

Ce sont les éléments de la diagonale principale de la matrice des corrélations.

R_j est le coefficient de corrélation multiple entre X_j et les autres variables explicatives.

La variance de $\hat{\beta}_j$ peut devenir très grande si R_j^2 est proche de 1, avec pour conséquence le non rejet des tests de nullité des coefficients, bien que le test global de nullité conjointe soit rejeté. Le coefficient de régression de l'estimation de y est élevé, alors qu'aucune des variables explicatives ne possède un coefficient différent de 0, d'où l'acceptation également du test d'hypothèse de Student.

Il existe plusieurs méthodes de détection de la multicollinéarité, mais nous nous limiterons à exposer une seule dans la présente étude. Cette méthode est basée sur l'examen des valeurs propres de la matrice de corrélation.

Soient $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ les valeurs propres de cette matrice de corrélation, telles que :

$$\lambda_1 \gg \lambda_2 \gg \dots \gg \lambda_p > 0.$$

Le critère de quasi singularité de la matrice peut se manifester par la présence de petites valeurs propres. Ou effet pour des variables non corrélées, la matrice R est égale à la matrice identité $R = I_p$.

Dans ce cas on aura: $\lambda_i = 1$ ($i = 1, \dots, p$) et par conséquent $\sum_{i=1}^p \lambda_i = p$.

L'effet de multicollinéarité sera mise en évidence par une comparaison entre R et I_p . Le test sera positif si $\sum_{i=1}^p \frac{1}{\lambda_i} > 5p$

IV-3-1 Vérification de la multicollinéarité

A Niamey on a obtenu les valeurs suivantes:

$$\lambda_1 = 4,6616 ; \lambda_2 = 0,8767 ; \lambda_3 = 0,2854$$

$$\lambda_4 = 0,1199 ; \lambda_5 = 0,0356 ; \lambda_6 = 0,0207$$

$$\sum_{i=1}^6 (\lambda_i)^{-1} = 89,6 > 5 \times 6 = 30$$

Ceci confirme l'existence de la multicollinéarité, et les résultats sont identiques à Mopti aussi. Nous ne pouvons donc pas appliquer une corrélation directe entre les éléments des deux groupes de variables des deux stations d'étude. L'analyse en composante principale perfectionnera la régression multiple, tout en permettant de juger la validité du choix des variables explicatives. En effet les C.P de Mopti et Niamey pourront être reliés par des corrélations de type multiple, sans qu'on ne rencontre le problème de dépendance entre les variables.

CHAPITRE V

ANALYSE DES COURBES DE TARISSEMENT

V-1 Introduction

La décrue d'un cours d'eau se décompose en deux parties principales qui sont:

- La décroissance naturelle des débits appelée tarissement
- Les influences extérieures.

V-1-1 Le tarissement du Niger à Niamey

Le tarissement du fleuve Niger à Niamey peut être assimilé à la vidange d'un grand réservoir, constituée par la cuvette lacustre, et ayant Mopti, comme station centrale (2). La loi du tarissement peut être exprimée comme suit:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha(t-t_0)}$$

Q_t = débit du cours d'eau à un instant t

Q_0 = débit initial

α = coefficient de tarissement (paramètre caractérisant la pente de la droite de tarissement sur un graphique semi-logarithmique).

t_0 = instant initial, correspondant à Q_0 .

D'après M. ROCH (10) "La justification que l'on donne

à la forme de cette loi n'est pas une démonstration, et s'appuie sur des hypothèses physiques beaucoup trop simplistes. Elle est cependant dans le sens du phénomène".

En effet le phénomène de tarissement, comme nous l'avons vu précédemment est plus complexe que ce qu'exprime la formule de Maillet. Plusieurs facteurs ont été soit simplifiés, soit négligés, qui ont une importance dans la propagation des débits. Nous citerons :

- Les propriétés physiques du milieu : La loi proposée, suppose que le milieu d'écoulement est homogène et isotrope, ce qui n'est certainement pas le cas.

- L'évaporation, en raison de la largeur des plans d'eau et de l'ensoleillement énorme sur le bief, va fortement influencer les débits du cours d'eau. La formule de Maillet n'en tient pas compte.

- Au période d'étiage, les échanges fleuve-aquifère sont très complexes. Il n'est pas exclu qu'il y ait des pertes par infiltration, surtout si la nappe est interrompue par endroits.

Au regard de ces constatations, il apparaît nécessaire de poser des hypothèses, afin de contourner les insuffisances de la loi de tarissement adoptée. Nous allons

notamment, considérer que :

- L'évaporation est supposée constante d'une année à une autre sur le tronçon Mopti - Niamey, et n'influence donc pas la forme du tarissement.

- Le milieu de propagation de l'écoulement est homogène et isotrope. Ce qui nous permettra de caractériser le bief par un même coefficient de tarissement.

La théorie du tarissement étant basée sur la décroissance naturelle des débits, il est de coutume d'utiliser dans l'analyse des courbes de tarissement, des débits naturels non influencés. Or la prévision des débits d'étiage par cette façon ne nous est pas utile, du moment qu'elle ne tient pas compte de l'influence des facteurs extérieurs. Nous allons par conséquent utiliser des débits observés, en supposant que l'effet des facteurs extérieurs ne modifie pas la forme du tarissement.

II-2 Graphiques de dérive à Niamey

II-2-1 Données utilisées

Les données ayant servi à la génération des courbes de tarissement, sont les débits moyens journaliers des années 1970 à 1986, obtenues auprès du Service National des Ressources en eau du Niger.

Quelques unes de ces années ont été complétées par des données fournies par l'ORSTOM (2). La critique de ces données a été déjà fournie au début de l'étude.

V-2.2 Forme du tarissement

Afin de déterminer les coefficients de tarissement correspondant aux différentes années, nous avons procédé comme suit :

- Identification, par essais successifs de régression linéaire, de la meilleure période de tarissement (celle pour laquelle les données présentent une forte corrélation, à l'échelle logarithmique). Le logiciel LOTUS 123 a servi à cette fin.

- Détermination des coefficients de tarissement, qui n'est autre que la pente de la droite de tarissement. Le tableau V-1 récapitule les valeurs du coefficient, ainsi que le coefficient de corrélation lié à son estimation.

Un premier constat qui s'impose est que les coefficients sont loin d'être constants.

V-3 Précision des débits

Nous avons calculé un coefficient de tarissement moyen, sur les 16 années d'observations, que nous allons utiliser dans la reconstitution des débits.

Tableau V-1: Coefficients de tarissement et de
(correlation).

Année	$\alpha (j^{-1})$	R
70-71	0.041	0.999
71-72	0.042	0.999
72-73	0.040	0.995
73-74	0.048	0.998
74-75	0.044	0.999
75-76	0.044	0.999
76-77	0.037	0.996
77-78	0.036	0.999
78-79	0.041	0.999
79-80	0.041	0.998
80-81	0.038	0.999
81-82	0.042	0.998
82-83	0.041	0.998
83-84	0.041	0.996
84-85	0.036	0.995
85-86	0.039	0.999

$$\bar{\alpha} = 0.041 \pm 0.002 \quad (\text{seuil de } 95\%)$$

$$\sigma = 0,003.$$

Les données de l'année 1986-1987 n'ont pas fait partie de l'analyse ; elles vont servir de test de vérification de la fiabilité de la prévision.

Le débit initial Q_0 choisi, est, celui du 1^{er} Mars de l'année hydrologique. Les raisons de ce choix sont les suivantes :

- Il apparaît sur toutes les courbes de tarissement que le débit du 1^{er} Mars se trouve effectivement sur la branche de tarissement

- Cette date est suffisamment éloignée de la date où apparaît le débit maximal, avant l'amorce de la décrue, mais aussi assez éloignée de la période où les précipitations pourraient avoir une influence sur la décrue. Le tableau II-2 montre les débits des mois de Mars et Avril, tels qu'observés et reconstitués, et la figure I-1 montre le graphique de corrélation entre les deux groupes de variables.

Il apparaît, en observant la reconstitution, que les débits prévus sont faibles par rapport à ceux réellement observés. Les raisons de ces faibles peuvent être multiples, et nous citons les plus probables

- Le coefficient moyen de tarissement que nous avons considéré, peut ne pas refléter l'état de saturation réel du sol, pour l'année en question. Nous avons vu qu'il

ANNEE 1986 - 1987

DEBITS OBSERVES ET RECONSTITUES (NIAMEY)

JOURS	MARS(O)	MARS(R)	AVRIL(O)	AVRIL(R)	MAI(O)	MAI(R)	JUIN(O)	JUIN(R)
1	164	164.00	63.5	44.16	37.2	12.91	23	3.77
2	162	157.41	63.5	42.39	36	12.39	20	3.62
3	159	151.09	62	40.69	34.8	11.89	20	3.48
4	154	145.02	60.5	39.05	33.6	11.41	21	3.34
5	147	139.19	60.5	37.48	32.4	10.96	21	3.20
6	144	133.60	59	35.98	33.6	10.52	21	3.07
7	135	128.24	57.5	34.53	33.6	10.09	19.2	2.95
8	132	123.08	57.5	33.14	32.4	9.69	19.2	2.83
9	123	118.14	54.6	31.81	31.2	9.30	20	2.72
10	121	113.39	51.8	30.53	30	8.93	19.2	2.61
11	115	108.84	51.8	29.31	30	8.57	19.2	2.50
12	110	104.47	50.4	28.13	29	8.22	18.4	2.40
13	106	100.27	49	27.00	29	7.89	18.4	2.31
14	100	96.24	49	25.92	29	7.58	18.4	2.21
15	98	92.38	48	24.88	28	7.27	18.4	2.13
16	96	88.67	47.6	23.88	28	6.98	16.8	2.04
17	94	85.10	46.2	22.92	28	6.70	16.8	1.96
18	92	81.68	44.8	22.00	28	6.43	16	1.88
19	88	78.40	43.4	21.11	28	6.17	15.2	1.80
20	86.3	75.25	42	20.26	28	5.92	14.4	1.73
21	82.9	72.23	40	19.45	28	5.69	14.4	1.66
22	82.9	69.33	40	18.67	27	5.46	22	1.59
23	79.5	66.54	40	17.92	26	5.24	18.4	1.53
24	76.1	63.87	42	17.20	26	5.03	14.4	1.47
25	74.4	61.31	42	16.51	25	4.83	12.8	1.41
26	72.7	58.84	40	15.85	24	4.63	10.3	1.35
27	71	56.48	40	15.21	24	4.45	11.5	1.30
28	71	54.21	40	14.60	23	4.27	14.4	1.25
29	68	52.03	40	14.01	23	4.10	16.8	1.20
30	66.5	49.94	38.4	13.45	22	3.93	13.6	1.15
31	65	47.94			20	3.77		

Tableau v.2 . Debits observés (O) et reconstitués (R)
pour l'année 1986-1987 (Lombes de tarissement)

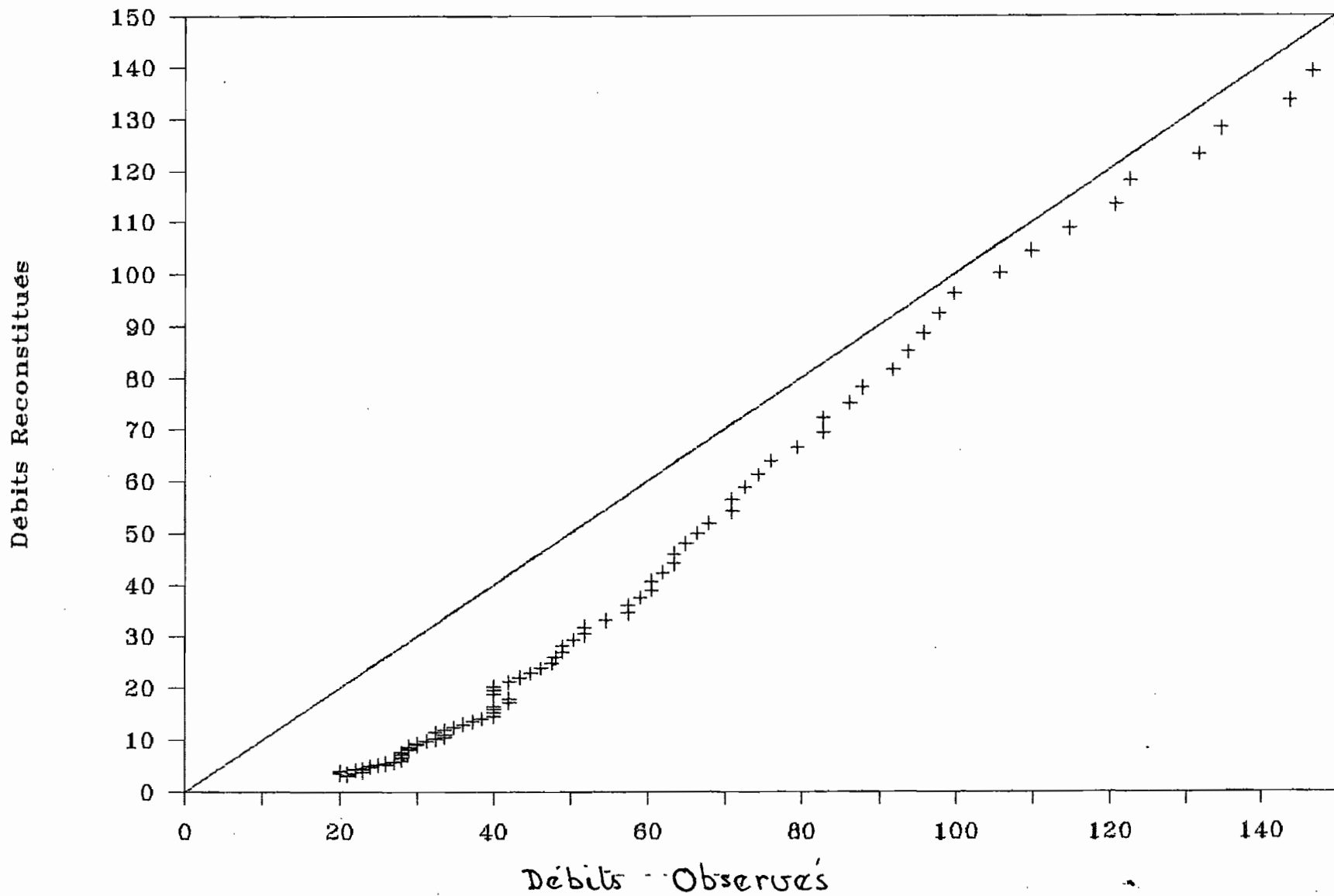


figure n° V-1 : graphique débits observés - débit reconstitués
(correlation).

présentait de grandes variations, ce qui réduit considérablement la fiabilité du choix d'un coefficient de tarissement moyen, surtout sur un échantillon de taille assez faible ($n = 16$).

- Les écarts entre débits observés et reconstitués sont plus marqués vers la fin de l'étiage (Mai, juin) qu'au début. Ce qui traduit probablement la non prise en compte du soutien de l'étiage par des facteurs comme les précipitations ou les lâchers des barrages au Mali. Or il est rare qu'avant la fin de l'étiage, les précipitations ne soient pas assez suffisantes sur le bassin pour soutenir la décroissance des débits. De même ces dernières années, les barrages de Selingué et Markala (Mali) effectuent de fréquentes lâchers afin de suppléer à la pénurie en eau du cours d'eau. La formule de Maillet ne peut tenir compte de ces facteurs.

II-4 Analyse du tarissement (Annexe II)

Les courbes de tarissement présentent quelques irrégularités, surtout marquées pour les années d'après 1981 (date de la mise en eau du barrage de Selingué au Mali). Elles sont néanmoins à peu près parallèles entre elles, mais légèrement décalées les unes par

rapport aux autres. La dérive est d'autant plus précoce que le débit maximal de la crue de l'année précédente à Mopti aura été faible (2).

Comme nous l'avons déjà dit, les 6 dernières années sont marquées par des droites de tarissement, s'écartant beaucoup des droites théoriques, surtout vers la fin de la période d'étiage. En 1986-1987, on observe un net changement de la tendance à la décroissance des débits, avec un changement de pente de la droite de recession vers la mi-Mars. Ce qui traduit l'intervention d'un élément inhabituel. Nous n'avons aucune preuve certaine mais nous pensons que ceci est l'effet des barrages. Ce changement de pente est en effet très net, et la concavité de la droite de tarissement est dirigée vers le haut.

On remarque pour toutes les années, une fin d'étiage perturbée, caractérisée par des pointes de crue tant sur les hydrogrammes que sur les droites de tarissement. Lorsque les débits augmentent brusquement, pour rejoindre quelques jours plus tard la droite de tarissement, on peut penser à l'effet des crues locales provoquées par les pluies sur le bassin. Ces dernières peuvent intervenir, avec une précoce variable suivant les années. Les années 77-78 et

83-84 ont eu une fin d'étiage très perturbée par les pluies, avec une intervention plus tardive en 84 qu'en 78. Il serait par contre très difficile de donner une explication aux baisses brusques des débits, qui surviennent sur certains hydrogrammes. La première idée qui vient à l'esprit est l'influence humaine, à travers les erreurs de mesure. Les débits à Niamey peuvent également être fortement influencés en basses eaux par les pompages dans les aménagements hydro-agricoles en amont de la station. Il ne faut pas ~~pour~~ perdre de vue le fait que la station hydrométrique de référence à Niamey (Nigeles) se trouve juste à l'aval de la zone de captage des eaux de consommation de la ville. Or en raison des faibles débits qui entrent en jeu en période d'étiage, un pompage important d'eau survenue dans un court délai peut influencer les mesures de débits.

L'hypothèse selon laquelle les facteurs extérieurs au tarissement n'influencent pas sa forme, ne semble donc pas se justifier. L'application de la méthode des courbes de tarissement à Niamey, sur des débits observés n'a donc pas un grand intérêt. Le caractère aléatoire de plusieurs facteurs, qui ont de plus en plus un grand impact sur la propagation

des débits n'est pas de nature à faciliter une prévision. Nous ne pouvons donc pas retenir l'analyse par la méthode des courbes de tarissement comme moyen de prévision des débits d'étiage à Niamey. Il faudrait penser à un moyen qui puisse prendre en compte l'impact des facteurs externes, dont nous analyserons quelques uns:

V-5 Les Influences externes

V-5-1 Les précipitations

Nous savons en fait qu'il était rare qu'avant la fin de la période d'étiage, des pluies ne surviennent sur le bassin, qui soutiennent l'étiage à Niamey, ne serait-ce que temporairement. Lorsque dans certains cas la crue est ponctuelle et de courte intensité, on peut assister à un retour à la droite d'étiage (courbe de tarissement 1985). Mais si plusieurs pluies surviennent à intervalles courts sur plusieurs sous-bassins différents, la forme du tarissement devient complexe et la séparation d'hydrogramme n'est plus possible. Ce qu'il faut noter ici, c'est surtout le caractère aléatoire des précipitations. Un modèle simple de prévision ne peut pas prendre en compte leurs interventions. Seule une étude statistique de la répartition pluviométrique sur plusieurs

année peut permettre l'établissement d'une relation pluies - débits du fleuve. C'est le but de la méthode de la charnière.

V-5-2 L'influence des barrages

Nous ne sommes malheureusement pas en possession de données sur le fonctionnement des barrages susceptibles d'avoir un effet sur l'éroulement à Niamey. Par contre d'après une étude réalisée par la SOGREAH (10) il ressort les constatations suivantes, faites à partir d'observations de deux années (1984 et 1985):

- En 1984, un lâcher important de 55 millions de m^3 élevait le débit à Mopti à plus de $100 m^3/s$ pendant 5 jours, avec une pointe de $150 m^3/s$ entre le 5 et le 9 Février. Le temps de propagation de la crue jusqu'à Niamey étant de l'ordre de 50 à 55 jours, il est visible que cette crue n'a provoqué aucune modification de la décrue à Niamey.

- En 1985, le débit à Mopti atteint $120 m^3/s$ en restant supérieur à $100 m^3/s$ pendant 4 jours, du 5 au 8 Mars. Bien que les débits mis en jeu soient moins importants, l'effet sur le tarissement à Niamey est notable, puisque celui-ci est arrêté vers la fin Avril. Les niveaux d'eau remontent pendant près

d'une semaine avant de redescendre. La décrue a été décalée d'une douzaine de jours sur la série non influencée.

L'étude montre que la crue survenue en 1985 avait bien le Mali pour origine, puisque aucune pluie n'a été enregistrée sur la région de Niamey au cours des jours précédents.

Nous pouvons donc affirmer que des lâchers judicieux d'eau par les barrages maliens peuvent influencer positivement les débits d'étiage à Niamey.

V-5-3 Les périmètres irrigués à l'amont de Niamey

D'après la SOGREAH (10), une estimation des consommations théoriques des périmètres irrigués à l'amont de Niamey a montré que les débits de pompage sont multipliés par 5 entre 1974 et 1984. Si on sait que le nombre des aménagements hydro-agricoles ne fait que croître ces dernières années, on comprend aisément que la demande en eau soit aussi croissante. Les débits d'étiage seront alors de plus en plus affectés par les pompages effectués en basses eaux.

CHAPITRE VI

MODELISATION PAR LES COMPOSANTES PRINCIPALES

Comme nous l'avons vu précédemment, l'analyse en composantes principales (C.P) est une méthode qui mène à la réduction du nombre de variables étudiées, et qui permet une représentation géométrique des individus et de ces variables. Les nouvelles variables définissent des axes principaux à l'intérieur du groupe de données, et les représentations des vecteurs sur les axes nous permettent de regrouper les individus selon les coordonnées. Nous chercherons ainsi à donner une signification physique aux premières composantes principales.

VI-1 Analyse des données à Mopti

Les données de Mopti proviennent de la Monographie hydrologique du fleuve Niger de l'ORSTOM, et s'étalent sur les années 1944 à 1979. Nous y avons sélectionné les débits caractéristiques (DE , $DC9$, $DC6$, $DC3$, D_{moy} , D_{max}) à partir des débits moyens journaliers. Nous avons constitué la matrice de données figurant à l'annexe I, qui est la base du traitement. Afin de réduire la variance relative des variables, nous avons opté

pour une analyse avec la métrique normée, qui consiste en l'utilisation de variables centrées et réduites. Elle équivaut aussi à l'analyse des variables initiales avec la métrique canonique, mais en utilisant la matrice de corrélation au lieu de la matrice de covariance. Ce choix a l'avantage de nous faciliter la reconstitution des débits, puisque les coefficients utilisés restent les mêmes que ceux utilisés pour le calcul des composantes principales.

D'autre part, afin de diminuer l'importance du rapport des poids des variables, nous avons fait recours à une transformation logarithmique des débits initiaux.

VI.2 Résultats de l'analyse.

Les résultats que nous présentons dans les pages suivantes ont été obtenus grâce au programme "dep" (14) qui figure en annexe III, et vérifiés grâce au logiciel de traitement statistique STATGRAF. Une première remarque est que les corrélations entre le débit d'étiage (DE) et les autres variables sont décroissantes, au fur et à mesure que ces variables s'éloignent de la période d'étiage, tendance qui est tout à fait logique. Bien que les coefficients de corrélation ne soient pas très grands, on peut

facilement vérifier qu'ils sont significatifs, à partir de l'abaque fournie à l'annexe III.

Les deux premières C.P expliquent à 91,6% de la variance le phénomène représenté par les 6 variables de base. La première C.P est fortement et négativement corrélée à toutes les variables initiales. On peut la considérer comme une variable qui caractérise le volume d'eau s'écoule annuellement, qui serait aussi grand que la C.P serait faible. La première C.P. est en effet fortement corrélée aux débits caractéristiques, ce que montre bien le cercle de corrélation (figure II-1).

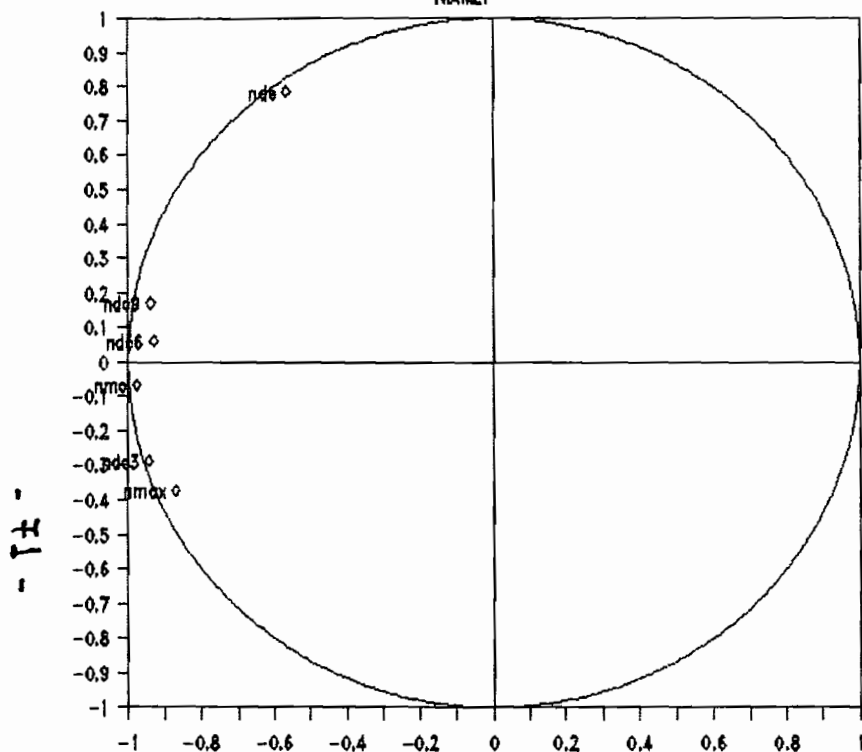
La deuxième C.P par contre est positivement corrélée avec le DE, le DC9 et le DC6, et négativement corrélée aux trois autres variables. Elle varie donc dans le même sens que les débits faibles, et dans le sens contraire aux forts débits. Elle peut donc caractériser la forme de l'étiage, ou sa sévérité. La corrélation avec le débit d'étiage étant plus significatif, on peut considérer cette C.P. comme la caractéristique de la sévérité de l'étiage.

VI-3 Représentation graphique

Les facteurs principaux ayant servi au calcul

CERCLE DE CORRELATIONS

NIAMEY



CERCLE DE CORRELATIONS

MOPTI

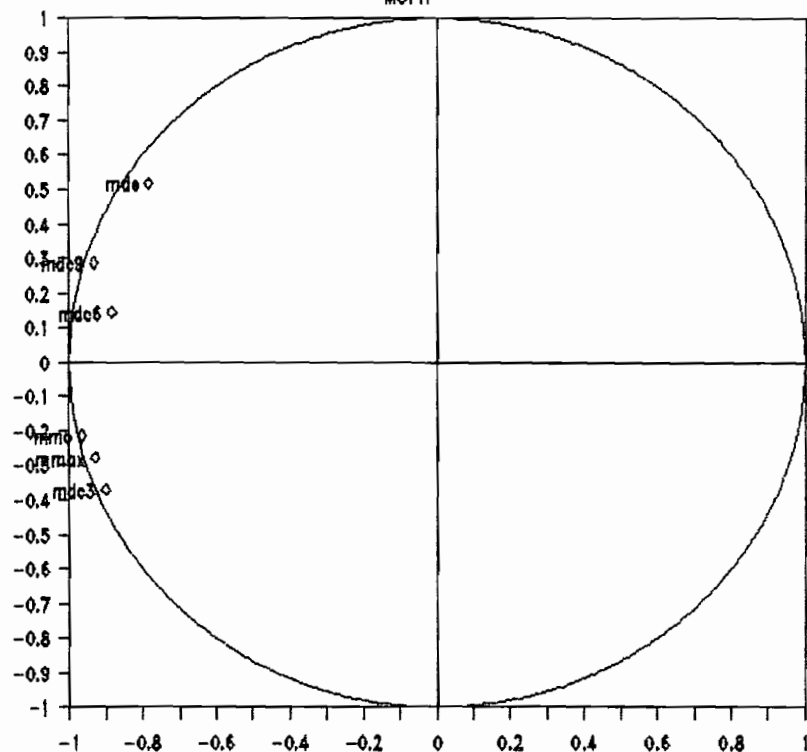


Figure VI-1. Cercles de correlations à Niamey et Mopti

des C.P et qui serviront à la reconstitution pour les fins de vérification, sont les coordonnées des vecteurs propres. La représentation des individus sur les deux premiers axes principaux est montrée à la figure 12. On peut distinguer deux zones, de ce plan factoriel.

- Une première zone, constituée par le demi-plan situé à droite de l'axe des CP2, qui englobe les années à étiage plus ou moins sévère.
- Une deuxième zone qui couvre le demi-plan à gauche de l'axe des CP2, qui regroupe les années à étiage moins sévère.

La première zone peut elle même être scindée en deux catégories d'individus, à savoir :

- les années caractérisées par l'écoulement d'un faible volume d'eau; ce sont par exemple les années 77-78; 74,75; 73,74; 75,76; etc...
- Elles sont toutes marquées par un volume d'eau inférieur à la moyenne, comme en témoignent les débits caractéristiques. Le déficit est d'autant plus grand que la CP1 est grande.
- les années caractérisées par un volume d'eau proche de la moyenne, mais mal réparti dans le temps. On peut citer dans cette catégorie

PLAN FACTORIEL

CPM1 - CPM2

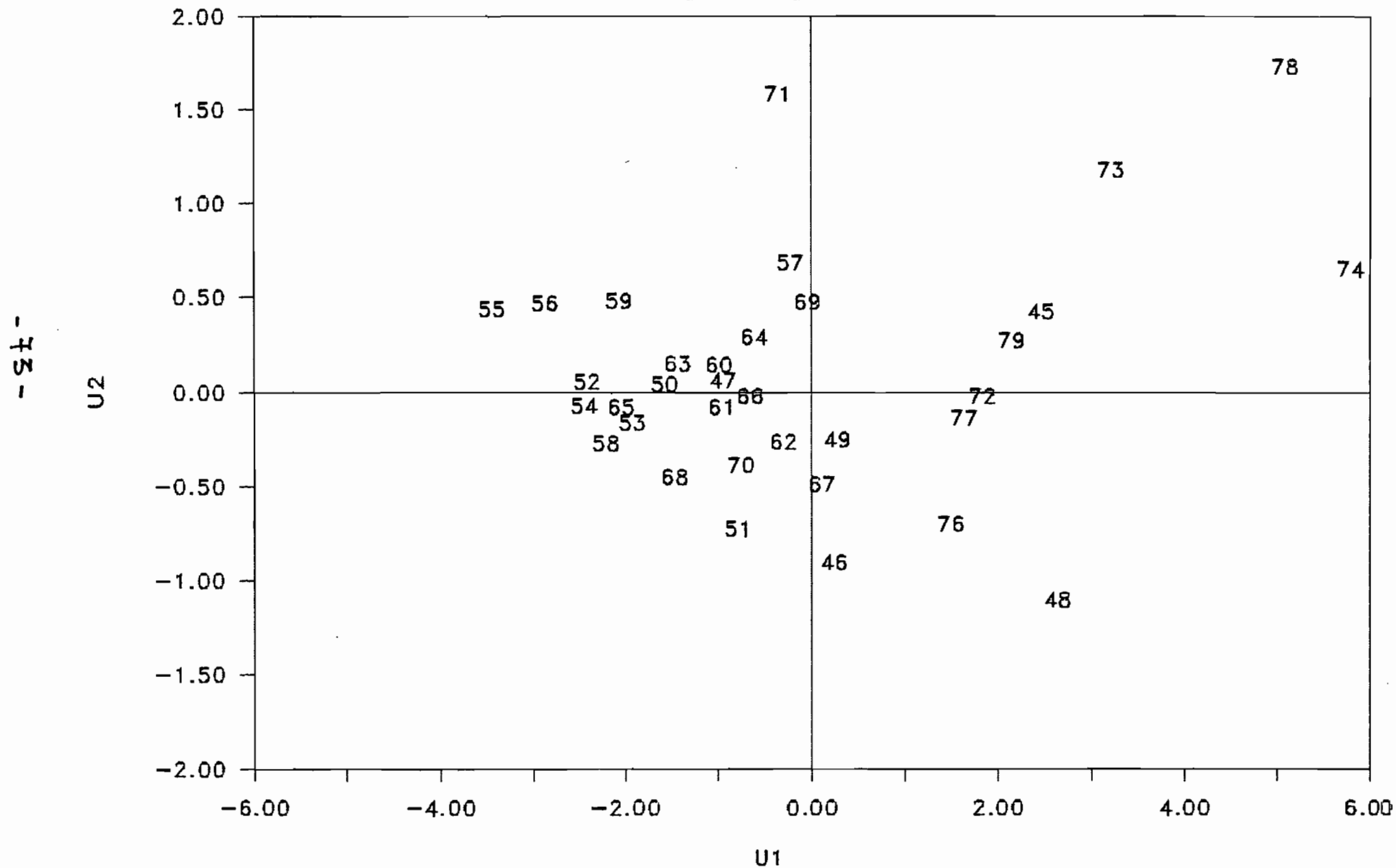


Figure VI-2 : Représentation graphique des C.P

les années, comme 45-46 ; 48-49 ; 66-67. La situation s'illustre bien par une analyse comparative des années 46 et 69. Le volume d'eau écoulé en 46 est légèrement supérieur à celui écoulé en 69, mais il est concentré dans les premiers mois de l'année hydrologique. Alors que le Dmax et le DC3 de l'année 46 sont supérieurs à ceux de 69, on a assisté à une chute brusque des débits en 46, qui inverse la tendance au niveau du DC6. La situation est maintenant telle, jusqu'à la fin de l'étiage. Finalement l'étiage a été plus sévère en 46 qu'en 69, à cause de la mauvaise répartition de l'hydrogramme dans le temps et à la décroissance rapide des débits au niveau de la dérive.

L'étiage sera dès lors considéré, comme une fonction du volume d'eau qui s'écoule à la station pour une année donnée, et de la répartition du volume d'eau dans le temps.

Nous n'avons pas jugé nécessaire de joindre la 3^e C.P à l'analyse, puisque elle n'améliore pas le modèle de régression linéaire qu'on cherche à établir.

II-4 Analyse des données à Niamey

Un traitement similaire à celui effectué à Mopti sur les variables de base a été exécuté avec les données de Niamey. Pour les mêmes raisons, que nous avons citées plus haut, les variables ont fait l'objet d'une transformation logarithmique, puis centrées et réduites. Les données proviennent des mêmes sources citées pour Mopti, sauf pour les années ayant servi de vérification.

Nous remarquons que les corrélations entre variables sont moins bonnes, particulièrement entre le DE et les autres. Pour le DCG, la moyenne calculée sur les 35 années est supérieure à celle de Mopti (47)

II-5 Résultats de l'analyse

Les 2 premières C.P sont explicatives à 92,3% du groupe des 6 variables, soit un pourcentage légèrement supérieur à celui de Mopti. Tout comme à cette dernière station, la 1^{ère} C.P de Niamey est fortement et négativement corréliée aux variables DE, DCG et DCS, et positivement à DCS, Dmoy et Dmax. Les tendances des C.P restent les mêmes, par conséquent les explications qu'on leur a donné demeurent les mêmes.

PLAN FACTORIEL

CPN1 -CPN2(Niamey)

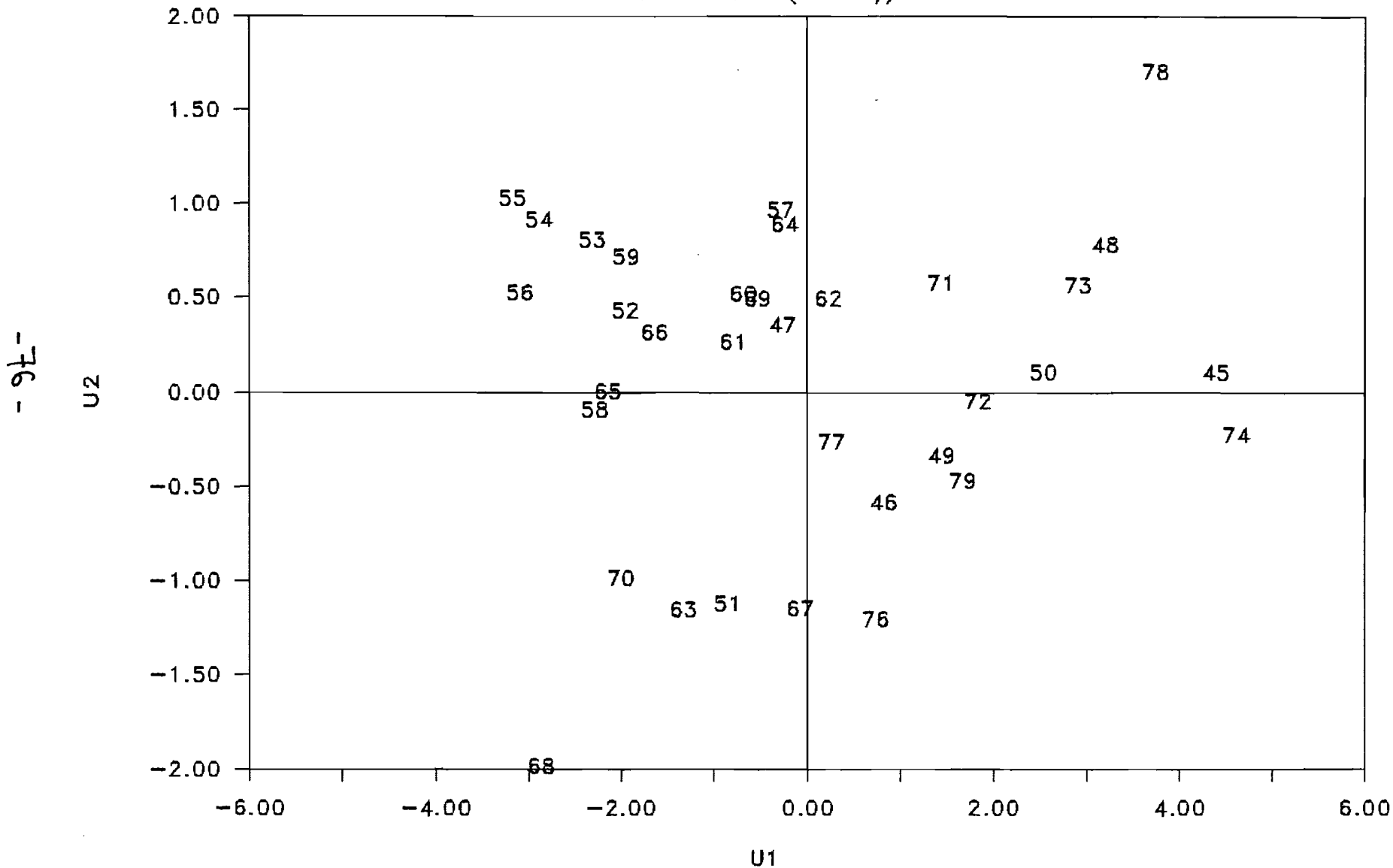


Figure VI - 3 : Représentation graphique des C.P

VI-6 Représentation graphique (figure VI-3)

La représentation euclidienne révèle les mêmes groupes d'années mis en évidence à Mopti. On peut par conséquent, conclure que les années d'étiage à Mopti se reproduisent presque exactement à Niamey avec des sévérités plus ou moins influencées par quelques facteurs extérieurs.

VI-7 Reconstitution des débits à Niamey en fonction de ceux de Mopti (VI-3)

L'objectif primordial de cette étude était d'aboutir à un modèle de régression linéaire, qui nous permettra de reconstituer le groupe de variables de l'étude (DE , $DC9$, $DC6$, $DC3$, D_{moy} , D_{max}) à Niamey connaissant ceux de Mopti. La 1^{ère} C.P. de Mopti explique la variance de celle de Niamey à 87,6%. Pour améliorer la reconstitution de CP1 à Niamey nous avons cherché une autre variable explicative. Avec le débit maximal de la crue de l'année précédente à Koulikoro, dénommé K_{max} , nous avons les résultats suivants:

Cette variable améliore l'estimation de CP1 à Niamey si :

$$R_{z.xy}^2 > \frac{1+(n-3)}{n-2} R_{xz}^2$$

avec $z =$ Première C.P à Niamey (CPN1)
 $X =$ " " " Mopti (CPM1)
 $Y =$ Débit max à Koulikoro (K_{max})
 $n =$ taille de l'échantillon
 $R_{I.J} =$ coefficient de corrélation entre variables I et J.

$$\text{Or } R_{z.xy}^2 = 0,7764 \text{ et } R_{xz} = 0,876 \quad n=35$$

$$\text{Donc } R_{z.xy}^2 > \frac{1+(n-3)}{n-2} R_{xz}^2 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 0,7764 > \frac{1+(35-3)}{35-2} \cdot (0,876)^2$$

$$\Leftrightarrow 0,7764 > 0,7744 \quad \text{vrai}$$

On peut donc retenir K_{max} comme variable explicative de la 1^{ère} CP à Niamey.

Le processus de la reconstitution est le suivant :

1 - A partir des variables de Mopti, on calcule les C.P. Les équations se présentent sous la forme :

$$a) \text{ CP1} = U_{11} DE' + U_{12} DC_9' + U_{13} DC_6' + U_{14} DC_3' + U_{14} D_{moy}' + U_{15} D_{max}'$$

$U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}, U_{15}$ et U_{16} sont les coordonnées du vecteur propre associé à la première V.P. (valeur propre). Ils sont appelés facteurs principaux. $D'E', DC'9, DC'6, DC'3, D'noy$ et $D'max$ sont les variables centrées, réduites provenant des variables de base. On a:

$$D'_i = \frac{D_i - MD_i}{\sigma_{D_i}}$$

avec $MD_i =$ moyenne de D_i

$\sigma_{D_i} =$ écart-type de D_i

Les calculs se faisant sur les transformées logarithmiques, on a $D_i = \log X_i$, X_i étant la variable initiale.

$$b) CP2 = U_{21} D'E' + U_{22} DC'9 + U_{23} DC'6 + U_{24} DC'3 + U_{25} D'noy + U_{26} D'max$$

avec

$U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{25}$ et U_{26} les coordonnées du vecteur propre associé à la 2^e valeur propre de la matrice de corrélation.

Les résultats détaillés de ces calculs figurent à l'annexe I.

2. Une fois les C.P. déterminées à Mopti, on calcule celles de Niamey en se servant des résultats des régressions linéaires :

$$CP_1(Ny) = a CP_1(M_0) + b K_{max} + c$$

$$CP_2(Ny) = d CP_2(M_0) + e$$

3 - On aboutit enfin aux variables initiales de Niamey (débits reconstruits) par les relations suivantes :

$$\bullet D_i = \frac{D_i - MD_i}{\sigma_{D_i}} \Rightarrow D_i = \sigma_{D_i} D_i' + MD_i$$

$$\bullet X_i = 10^{D_i}$$

VI. 8 Modèle linéaire

Nous avons déjà montré que les C.P à Niamey étaient expliqués par celles de Mopti, moyennant certaines hypothèses. Par ailleurs il a été mis en évidence que la propagation des débits entre Mopti et Niamey est liée au remplissage de la cuvette lacustre qui lui est fonction de la recharge de la nappe. La recharge de la nappe est caractérisé par le débit maximal de la crue précédente (pour une année hydrologique donnée), soit K_{max} (10).

En suivant la procédure décrite ci-haut, on aboutit aux résultats suivants, grâce au modèle de régression linéaire.

$$CP_1(Ny) = 0.779036 CP_1(Mo) - 0.000258 K_{max} + 1,6151$$

$$CP_2(Ny) = 0,838328 CP_2(Mo).$$

Ces résultats ne sont que des approximations des relations réelles existant entre les variables.

VI-8-1 Stabilité du Modèle

Les critères de stabilité d'un modèle linéaire peuvent être résumés comme suit :

- R^2 élevé
- Test F global significatif (test de la nullité conjointe rejeté).
- Tests individuels significatifs pour chacun des coefficients β_j (test d'hypothèse nulle rejeté)
- Résidus ne montrant pas d'anormalité (moyenne nulle, variance constante, normalité).
- Pas de multicolinéarité entre les variables explicatives.
- Stabilité assurée : pas de points ayant une influence prépondérante sur l'équation de prédiction.

Nous allons ci présent vérifier ces critères de stabilité générale.

Le modèle est basé sur la reconstitution de CP_1 et CP_2 à Niamey. Les carrés des coefficients de corrélation (entre C.P. de mêmes ordres) sont de 0.7864 et 0.7119 et peuvent effectivement être considérés comme élevés.

Les résultats d'analyse par le logiciel STATGRAF donnent les valeurs du coefficient f (tableau VI-1). Comparées ^{aux} valeurs théoriques de l'annexe III (6) on aboutit aux constatations suivantes :

Pour les couples de degrés de liberté (2, 32) pour $CP_1(Ny)$ et (1, 33) pour CP_2 , les valeurs respectives de f sont 5,20 et 7,5. Ces valeurs sont largement inférieures à celles du modèle, soient 53,5 et 33,9 respectivement. On peut donc conclure que la variance expliquée par le modèle est significativement supérieure à celle expliquée par les erreurs dans 99% des cas ; ce qui équivaut au rejet du test de nullité conjointe.

Le problème de la multicollinéarité ne se pose pas, puisque l'on travaille avec des variables non corrélées par définition (les C.P.).

Le test d'hypothèse nulle sur les coefficients de corrélation R_j consiste à évaluer le -

coefficient de Student $t = \frac{\beta_j}{S.E.}$ (SE = Standard Error) et à le comparer à la valeur de t de la fonction de distribution de Student, à un seuil de confiance donné. L'analyse par STATGRAF donne les valeurs de t (tableaux VI-1), et les probabilités pour que t , calculé soit supérieur à ces valeurs. Pour des raisons de sécurité nous considérons un seuil de confiance tel que le t calculé soit supérieur à la valeur théorique, sans se soucier de la probabilité. En optant pour un seuil de confiance de 75% on aura $t = \pm 1,102$, qui est supérieur à toutes les valeurs observées sur le tableau des résultats. La reconstitution se fera par conséquent à un seuil de confiance de 75%, ce qui nous permet d'évaluer l'incertitude sur toute variable y quelconque, reconstituée ($\pm \sigma_y = t_{75\%}$).

La normalité des résidus est mesurée par un ajustement à la loi normale, à partir du test de χ^2 (khi carré) et celui de Kolmogorov-Smirnov. Les résultats sont présentés aux tableaux VI-2.

Le test est positif pour les résidus liés à la reconstitution de CP_1 et CP_2 . On remarquera que les moyennes sont effectivement nulles.

MODEL FITTING RESULTS

VARIABLE	COEFFICIENT	STND. ERROR	T-VALUE	PROB(> T)
CONSTANT	1.615125	1.349553	1.1968	.2402
pcmi	0.779036	0.106911	7.2868	.0000
kolidomax	-0.000258	0.000215	-1.1981	.2397

Tableau VI-1-a
test t de student

ANALYSIS OF VARIANCE FOR THE FULL REGRESSION

SOURCE	SUM OF SQUARES	DF	MEAN SQUARE	F-RATIO	PROB(>F)
MODEL	127.84543	2	63.92272	55.55579	.00000
ERROR	36.819327	32	1.150604		
TOTAL (CORR.)	164.66476	34			

R-SQUARED = 0.776398

R-SQUARED (ADJ. FOR D.F.) = 0.762423

STND. ERROR OF EST. = 1.07266

Tableau VI-1-b : Analyse de la variance
de la regression totale

FURTHER ANOVA FOR VARIABLES IN THE ORDER FITTED

SOURCE	SUM OF SQUARES	DF	MEAN SQ.	F-RATIO	PROB(>F)
pcmi	126.19393	1	126.1939	109.6762	.0000
kolidomax	1.65150	1	1.6515	1.4353	.2397
MODEL	127.84543	2			

Tableau n° VI-1-a : Test F

Simple Regression of pcm2 on pcm2

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	-6.17621E-6	0.114446	-5.39663E-5	0.999957
Slope	0.838328	0.143965	5.82315	1.62399E-6

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio
Model	15.544670	1	15.544670	33.909058
Error	15.127937	33	.458422	
Total (Corr.)	30.672607	34		

Correlation Coefficient = 0.711894

Std. Error of Est. = 0.677069

Tableau VI-1-~~1~~

Regression simple $CP_1 - CP_2$ (Admission)

```

*****
*
* TEST DE CHI-DEUX
* -----
*
*****

```

LE NOMBRE DE CLASSES CHOISIES EST 6

```

*****
*
* INTERVALLES * EFFECTIFS OBSERVES * EFFECTIFS THEORIQUES *
*
*****
* -2.6014 * * *
* * 7 * 5.833334 *
* -.6418 * * *
* * 4 * 5.833334 *
* -.2872 * * *
* * 4 * 5.833334 *
* 0 * * *
* * 7 * 5.833334 *
* .2872 * * *
* * 7 * 5.833334 *
* .6418 * * *
* * 6 * 5.833334 *
* 2.6014 * * *
*****
* D= 1.857143 X 3 , .05 = 7.815
*
*****
* HYPOTHESE DE LA LOI NORMALE EST RETENUE
*
*****

```

Tableau VI-2-a
(Residus. $CP_2(Ny)$)

LOI LOGNORMALE

LOI NORMALE

=====

ANNEES	X	F(X)	1-F(X)
1945	-.250311	.3537	.6463
1946	.172442	.6020	.3980
1947	.307742	.6777	.3223
1948	1.70509	.9947	.0053
1949	-.1238	.4264	.5736
1950	.0741671	.5443	.4557
1951	-.515019	.2200	.7800
1952	.381827	.7165	.2835
1953	.939784	.9206	.0794
1954	.978979	.9289	.0711
1955	.669944	.8424	.1576
1956	.134654	.5800	.4200
1957	.393682	.7225	.2775
1958	.13547	.5805	.4195
1959	.318922	.6837	.3163
1960	.401664	.7265	.2735
1961	.331671	.6905	.3095
1962	.716232	.8585	.1415
1963	-1.2745	.0280	.9720
1964	.646932	.8339	.1661
1965	.0689239	.5412	.4588
1966	.336485	.6930	.3070
1967	-.73359	.1357	.8643
1968	-1.60586	.0080	.9920
1969	.0963742	.5574	.4426
1970	-.66118	.1608	.8392
1971	-.741532	.1331	.8669
1972	-.0255506	.4847	.5153
1973	-.423347	.2628	.7372
1974	-.777081	.1220	.8780
1975	-.471671	.2398	.7602
1976	-.619102	.1767	.8233
1977	-.145196	.4138	.5862
1978	.253154	.6478	.3522
1979	-.696407	.1482	.8518

MOYENNE = -2.299036E-07
 ECART-TYPE = .6670383
 COEFFICIENT DE VARIATION = -2901382
 COEFFICIENT D'ASSYMETRIE = -7.098483E-02

Tableau VI-2.b
 (Residus - CP2 (Ny))

 *
 * TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV *
 * ----- *

* VARIABLES	*FRE.THEORIQUES	* FRE.EXPER.	*[FTHEO-FEXP]
* -1.60586	* .0080	* .0278	* .0197
* -1.2745	* .0280	* .0556	* .0275
* -.777081	* .1220	* .0833	* .0387
* -.741532	* .1331	* .1111	* .0220
* -.73359	* .1357	* .1389	* .0032
* -.696407	* .1482	* .1667	* .0184
* -.66118	* .1608	* .1944	* .0337
* -.619102	* .1767	* .2222	* .0456
* -.515019	* .2200	* .2500	* .0300
* -.471671	* .2398	* .2778	* .0380
* -.423347	* .2628	* .3056	* .0427
* -.250311	* .3537	* .3333	* .0204
* -.145196	* .4138	* .3611	* .0527
* -.1238	* .4264	* .3889	* .0375
* -.0255506	* .4847	* .4167	* .0680
* .0689239	* .5412	* .4444	* .0967
* .0741671	* .5443	* .4722	* .0721
* .0963742	* .5574	* .5000	* .0574
* .134654	* .5800	* .5278	* .0522
* .13547	* .5805	* .5556	* .0249
* .172442	* .6020	* .5833	* .0187
* .253154	* .6478	* .6111	* .0367
* .307742	* .6777	* .6389	* .0388
* .318922	* .6837	* .6667	* .0170
* .331671	* .6905	* .6944	* .0040
* .336485	* .6930	* .7222	* .0292
* .381827	* .7165	* .7500	* .0335
* .393682	* .7225	* .7778	* .0553
* .401664	* .7265	* .8056	* .0791
* .646932	* .8339	* .8333	* .0006
* .669944	* .8424	* .8611	* .0187
* .716232	* .8585	* .8889	* .0303
* .939784	* .9206	* .9167	* .0039
* .978979	* .9289	* .9444	* .0155
* 1.70509	* .9947	* .9722	* .0225

 * MAX [FTHEO-FEXP]= 9.671506E-02 d 35 , .05 = .23 *

 * HYPOTHESE DE LA LOI NORMALE EST RETENUE *

Tableau vi-2-c
 (Résidus $\epsilon P_2(Ny)$)

LOI NORMALE

=====

ANNEES	X	F(X)	1-F(X)
1945	2.19539	.9825	.0175
1946	.346826	.6305	.3695
1947	.288237	.6091	.3909
1948	1.14649	.8647	.1353
1949	1.28895	.8923	.1077
1950	3.9252	.9999	.0001
1951	-.200603	.4236	.5764
1952	-.0404768	.4845	.5155
1953	-.805632	.2194	.7806
1954	-.817123	.2162	.7838
1955	-.432232	.3390	.6610
1956	-.595782	.2835	.7165
1957	-.124959	.4522	.5478
1958	-.273517	.3963	.6037
1959	-.5090691	.3124	.6876
1960	.301668	.6140	.3860
1961	6.585621E-02	.5252	.4748
1962	.46256	.6716	.3284
1963	.220495	.5839	.4161
1964	.521604	.6919	.3081
1965	-.419281	.3435	.6565
1966	-1.22639	.1193	.8807
1967	-.300724	.3863	.6137
1968	-.930358	.1857	.8143
1969	-.748049	.2361	.7639
1970	-.994588	.1696	.8304
1971	1.60755	.9388	.0612
1972	.258974	.5983	.4017
1973	-.22356	.4149	.5851
1974	-.390877	.3536	.6464
1975	-1.00496	.1671	.8329
1976	-.285733	.3918	.6082
1977	-1.33034	.1005	.8995
1978	-.768281	.2302	.7698
1979	-.207272	.4211	.5789

MOYENNE = -1.583781E-07
 ECART-TYPE = 1.040636
 COEFFICIENT DE VARIATION = -6570579
 COEFFICIENT D'ASSYMETRIE = 1.927146

Tableau VI-2-d
 (Résidus - CP1 (Uy))

 * TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV *
 * ----- *

VARIABLES	*FRE.THEORIQUES	FRE.EXPER.	[FTHEO-FEXP]
-1.33034	.1005	.0278	.0728
-1.22639	.1193	.0556	.0637
-1.00496	.1671	.0833	.0838
-.994588	.1696	.1111	.0585
-.930358	.1857	.1389	.0468
-.817123	.2162	.1667	.0495
-.805632	.2194	.1944	.0250
-.768281	.2302	.2222	.0080
-.748049	.2361	.2500	.0139
-.595782	.2835	.2778	.0057
-.5090691	.3124	.3056	.0068
-.432232	.3390	.3333	.0056
-.419281	.3435	.3611	.0176
-.390877	.3536	.3889	.0353
-.300724	.3863	.4167	.0304
-.285733	.3918	.4444	.0526
-.273517	.3963	.4722	.0759
-.22356	.4149	.5000	.0851
-.207272	.4211	.5278	.1067
-.200603	.4236	.5556	.1320
-.124959	.4522	.5833	.1311
-.0404768	.4845	.6111	.1266
6.585621E-02	.5252	.6389	.1136
.220495	.5839	.6667	.0828
.258974	.5983	.6944	.0962
.288237	.6091	.7222	.1131
.301668	.6140	.7500	.1360
.346826	.6305	.7778	.1472
.46256	.6716	.8056	.1339
.521604	.6919	.8333	.1414
1.14649	.8647	.8611	.0036
1.28895	.8923	.8889	.0034
1.60755	.9388	.9167	.0221
2.19539	.9825	.9444	.0381
3.9252	.9999	.9722	.0277

 * MAX [FTHEO-FEXP]= .1472427 d 35 , .05 = .23 *

* HYPOTHESE DE LA LOI NORMALE EST RETENUE *

Tableau VI-2-e.
 (Residus - CP₂(N_y))

Quant à la stabilité liée à l'influence des variables explicatives, le problème ne se pose pas, puisque nous n'avons que 2 variables explicatives, et que nous avons montré que K_{max} améliore la reconstitution de CP₁ à Niamey.

Nous sommes donc rassuré quant à la stabilité du modèle linéaire, car ce qui précède confirme l'existence d'une relation entre les données des deux stations de Mopti et Niamey, et qu'il y a une forte probabilité que cette relation soit décrite par le modèle.

2.9 Vérifications et Interprétations

Nous allons tester la précision du modèle de prévision, en comparant les débits calculés à ceux réellement observés. Les données des années 1980 à 1987 ont servi de vérification, car n'ayant pas fait partie de l'analyse. Les résultats, montrés au tableau VI.2 montrent que le modèle surestime légèrement les valeurs observées dans la plupart des cas. La reconstitution est par ailleurs plus fiable pour les débits élevés. On constate de grands écarts dans l'estimation des faibles débits, notamment le DE. Nous allons tester

-----*
 * TABLEAU VI-3 RECAPITULATIF VARIABLES DE NIAMEY OBS-RECONST *

*ANNEE	DEO	DER	DERD	DER(dc9)	DC9O	DC9R	DC9RD
*80-81	2,04	5,929883	-1,78	5,216882	102	44,99231	45,8
*81-82	7,05	8,008706	1,6	15,07672	72	83,32939	171
*82-83	3,08	28,01239	6,78	10,19002	66	64,32892	197
*83-84	4,22	38,69735	5,79	4,872377	46,5	43,65280	126
*85-86	3	15,10926	7,76	9,893357	60,7	63,17541	103
*86-87	10,3	65,37392	22,31	8,143846	59	56,37295	205

*	DC6O	DC6R	DC6RD	DC3O	DC3R	DC3RD	*
*	516	634,3105	793	1213	1224,592	1224	
*	656	785,2546	811	1432	1367,122	1384	
*	475	680,3137	855	1106	1178,380	1215	
*	348	583,0390	832	1000	1058,490	1128	
*	380	692,3189	822	1231	1228,862	1317	
*	349	627,1733	769	924	1075,573	1121	
*							
*							

*	DCMO	DCMR	DCMRD	DCMAO	DCMAR	DCMARD	*
*	659	684,3667	681	1507	1566,499	1661	
*	978	794,9211	785	1738	1700,162	1750	
*	617	690,8619	668	1395	1497,747	1566	
*	510	610,9143	593	1291	1374,539	1468	
*		711,7488	644	1515	1556,349	1611	
*		635,6459	599	1289	1384,454	1528	
*							

-----*
 * o=observees
 * R=reconstitues par la mcp
 * RD=reconstitues par correlation directe
 * R(dc9)=reconstitues par correlation directe avec dc9
 * EN utilisant dc9

quelques explications :

Les écarts observés ne peuvent pas s'expliquer par les seules erreurs probables de mesure. Ils peuvent résulter de l'insuffisance des hypothèses, dont certaines ne sont pas sécuritaires, pour des fins de prévision.

- Le fait de considérer les prélèvements comme une fonction du volume d'eau qui s'écoule annuellement suppose l'existence d'une politique de gestion des eaux, notamment dans les aménagements hydro-agricoles. Ce qui n'est pas ^{le cas}, puisque dans une étude réalisée par la SOGREAH (10), il a été montré que les superficies irriguées, le long du fleuve augmentaient, entraînant une demande en eau de plus en plus élevée. Par ailleurs il s'est développé à l'amont de Niamey, ces dernières années, de nombreux petits pompages, qui il est difficile de quantifier. La consommation en eau des populations de la vallée du fleuve augmentent d'autre part, avec la démographie. Tous ces facteurs font que l'hypothèse sur les prélèvements ne peut être juste.

- L'infiltration a été considérée comme une constante, alors qu'elle dépend en réalité pour

une année donnée, de l'état de saturation du sol, consécutif à la crue de l'année précédente, et de la recharge de la nappe. Cette dernière est fortement liée aux précipitations sur le bassin, qui sont aléatoires. La pluviométrie étant considérée elle-même comme constante, faute de données, le modèle ne peut que s'écarter de la réalité.

Si la vérification sur les 6 années ne nous permet pas de nous prononcer de manière précise sur l'utilisabilité du modèle, on peut cependant d'ores et déjà affirmer qu'il est peu probable qu'il puisse nous fournir une prévision assez fiable du débit d'étiage. Ceci n'entame en rien cependant la validité du modèle, qui est basé sur des hypothèses qu'on peut affiner et corriger.

VI-10 Remarques générales.

Il est important de souligner que l'analyse en C.P n'est basée sur des données ayant fait l'objet d'un traitement par l'ORSTOM, tandis que les données ayant servi à la vérification proviennent d'observations, donc non corrigées. Puisque les mesures sur le terrain comportent souvent quelques difficultés, surtout en basses eaux où

l'on assiste à un détarage des niveaux d'eau, les mesures peuvent donc comporter des erreurs notables, qui n'auraient donc pas été corrigées. Une autre source d'erreur, et non moins importante pourrait être l'analyse normale. Lors de la reconstitution en effet, on considère implicitement que l'échantillon constitué par les données des 35 années est représentatif de la population des données de toute l'histoire du cours d'eau. La moyenne et l'écart-type des variables sont considérés comme stables et représentatifs de la population. Pour ce qui est de la moyenne, le test de Student a montré qu'il y a 95% de chance qu'elle ne s'écarte pas de plus de 5% de cette valeur, pour toutes les variables. Par contre en raison de la taille faible de l'échantillon ($n = 35$) aucune assurance n'est fournie quant à la stabilité de l'écart-type.

Il ressort en définitive que même si le modèle ne nous mène pas à une prévision exacte du débit d'étiage à Niamey, il peut servir de moyen d'une appréciation qualitative de la dérive. Nous avons vu en effet que les années d'étiage se reproduisaient à Mopti et à Niamey, avec la même ampleur. La prévision ne peut se faire

théoriquement qu'après la fin de l'année hydrologique à Mopti (c'est à cette date seulement que toutes les variables sont connues). Mais on peut retourner ce problème en appliquant certaines méthodes pour la prévision des variables de base à Mopti. L'analyse des courbes de tarissement peut servir à cet effet. Le temps de propagation de l'écoulement entre Mopti et Niamey étant d'à peu près 2 mois, on peut faire une prévision à Niamey 4 mois avant la fin du tarissement, en prévoyant la fin de l'étiage à Mopti 2 mois d'avance. Ce qui est parfaitement possible.

VI-11 Amélioration de la reconstitution du débit d'étiage.

Le débit d'étiage constitue l'intérêt de cette étude; c'est pourquoi nous avons essayé d'améliorer sa reconstitution, en faisant recours à une corrélation avec DC3 (variable qui lui est plus proche dans l'échelle temporelle). Nous avons considéré que ce sont les observations liées à cette variable qui sont douteuses, en raison du peu d'intérêt qui lui est accordé par les hydrologues dans nos pays. Notre façon de

50.
procéder aura pour effet de réduire l'effet des erreurs systématiques, au cas où nos hypothèses seraient vraies. La procédure est simple et se résume comme ceci:

- Reconstitution de SE et DC3 à partir des C.P.
- Amélioration de SE par corrélation avec DC3.

Les résultats de cette opération figurent au tableau VI-3 de l'annexe, pour les années tests.

Il en ressort que le débit d'étiage est nettement amélioré par rapport à la reconstitution par les C.P. Il convient néanmoins d'afficher une certaine prudence dans l'utilisation de ce modèle de prévision.

CHAPITRE VII

RECOMMANDATIONS - CONCLUSIONS

Nous avons fait ressortir dans les pages précédentes, les faiblesses de la présente étude, qui il s'agisse de l'analyse des courbes de tarissement ou du modèle linéaire basé sur l'analyse en composantes principales.

Dans le premier cas nous avons conclu que la prévision des débits d'étiage à partir des courbes de tarissement n'était ni utile, ni convaincante, dans la mesure où elle ne permettait pas une prise en compte de certains facteurs. Or il est nécessaire pour une fiabilité de la prévision des débits d'étiage, de tenir compte de l'influence de ces facteurs, dont certains deviennent de plus en plus complexes (lâches des barrages) et d'autres aléatoires (précipitations). Afin d'améliorer la méthode des courbes de tarissement, nous faisons des recommandations suivantes:

- L'utilisation de la méthode de la charnière qui inclut une étude statistique de certains paramètres tels les précipitations pourrait conduire à de bons

résultats, surtout si on l'améliore par une étude de l'influence des autres facteurs. Il serait souhaitable que'une telle étude se porte sur des données d'une période plus longue que ce qu'on a considéré dans notre étude.

Quant à la modélisation par les composantes principales nous l'avons basé sur des hypothèses simplificatrices, faute de connaissances précises sur certains phénomènes. Comme nous l'avons déjà précisé une étude détaillée de ces phénomènes permettront d'améliorer les hypothèses. A long terme, ceci favorisera une meilleure formulation du modèle de propagation.

A court terme nous pouvons formuler les recommandations suivantes :

- Dans l'hypothèse où les écarts que nous avons constaté entre variables observées et reconstituées proviennent de l'inadéquation de nos hypothèses de base, les erreurs seraient alors systématiques. On pourra remédier aux insuffisances en faisant recours à une corrélation entre variables observées et reconstituées. Les résultats d'une telle régression linéaire seront utilisés pour ajuster les premières valeurs reconstituées.

- Si d'une autre part nous supposons que les écarts sont les conséquences d'une hétérogénéité des données utilisées, on pourra sélectionner une gamme de données traitées, si possible sur une plus longue période et reprendre l'analyse depuis le début. Sous le même ordre d'idée, il apparaît de plus en plus nécessaire que des soins particuliers soient apportés à la mesure des débits de basses eaux. Les gens ont de tout temps privilégié les débits de crue, en raison des dangers que représentaient d'éventuels inondations dues à de fortes crues. A l'heure actuelle la pénurie de l'eau est plus catastrophique que son excès.

- Afin de prendre en compte de manière efficace l'influence des lâches d'eau à partir des barrages maliens, sur le soutien de l'étiage à Niamey, on pourra faire une analyse uniquement sur la période du tarissement. On peut néanmoins affirmer qu'un fonctionnement adéquat de ces ouvrages peut avoir des effets positifs sur l'étiage à Niamey. Les autorités nigériennes et maliennes peuvent dans le cadre d'une entente bilatérale, définir une politique de gestion de ces ouvrages qui, tout en permettant aux

barrages de remplir leurs fonctions, assurera un écoulement régulier du fleuve en période de tarissement, sur tout le tronçon Mopti - Niamey.

- Enfin les pompages d'eau dans les aménagements hydro-agricoles doivent être contrôlés, de manière à tenir compte des niveaux d'eau du fleuve, et des risques éventuels de pénurie.

En définitive tout repose sur une gestion efficace et rationnelle des ressources en eau du fleuve Niger, car la survie des populations en dépend grandement. En effet sans eau, il n'y aurait point de vie et les hommes se doivent d'attacher un grand prix à la conservation de cette ressource si chère.

ANNEXE I

DONNEES - CALCUL DES C.P

DEBITS MOYENS JONALIERS 1970 *** 1971												

JOURS	JUILLET	AOUT	SEPTEMB	OCTOBRE	NOVEMB.	DECEMB.	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN

1	44	113	529	1075	1313	1585	1795	1705	1017	304	84	32
2	42	101	547	1094	1313	1593	1803	1690	988	294	81	28
3	46	95	585	1100	1320	1593	1810	1675	953	288	77	26
4	45	82	625	1113	1326	1600	1818	1660	915	278	75	25
5	40	67	655	1119	1333	1608	1818	1638	887	259	73	24
6	36	81	665	1131	1340	1615	1818	1623	849	252	72	24
7	36	81	675	1138	1347	1623	1825	1615	823	240	70	23
8	34	101	700	1144	1353	1623	1825	1593	792	232	68	22
9	32	148	720	1150	1360	1638	1825	1570	765	226	67	21
10	32	170	740	1156	1375	1645	1825	1548	740	218	63	20
11	37	182	750	1169	1383	1653	1825	1533	715	210	61	20
12	32	198	765	1169	1390	1653	1825	1525	690	201	60	19
13	31	207	948	1169	1405	1660	1825	1488	660	193	58	19
14	39	212	807	1175	1413	1668	1818	1473	635	184	56	18
15	55	229	834	1181	1420	1668	1810	1443	610	176	54	19
16	64	259	855	1188	1428	1675	1803	1420	590	170	50	16
17	51	278	876	1194	1443	1683	1803	1398	570	159	48	15
18	54	300	898	1200	1450	1683	1803	1390	547	151	48	14
19	46	304	915	1213	1465	1690	1803	1383	529	142	45	14
20	51	316	975	1219	1473	1698	1795	1326	506	134	44	15
21	55	307	981	1231	1495	1698	1795	1299	488	129	43	14
22	58	313	994	1239	1503	1713	1795	1272	466	120	42	14
23	62	334	988	1252	1510	1720	1795	1239	443	118	40	14
24	66	352	994	1259	1525	1728	1788	1206	425	113	39	15
25	63	366	988	1272	1533	1735	1780	1175	403	108	38	17
26	90	385	1013	1279	1548	1743	1765	1131	385	104	36	16
27	73	398	1019	1286	1559	1758	1758	1094	373	99	36	16
28	66	416	1031	1293	1555	1765	1750	1056	359	95	32	16
29	66	434	1044	1293	1555	1773	1735	1285	345	90	32	15
30	61	461	1063	1299	1570	1780	1728		331	88	30	16
31	64	525		1306		1788	1713		317		31	

DEBITS MOYENS JOMALIERIS 1971 ***1972													

JOURS	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.	JANV.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	*****
1	16	42	675	1112	1324	1553	1810	1660	859	238	64	24	*****
2	20	68	695	1118	1336	1667	1810	1634	828	229	62	21	*****
3	23	54	705	1130	1336	1674	1810	1613	795	224	60	18	*****
4	32	44	750	1136	1348	1681	1817	1627	765	212	59	23	*****
5	39	42	765	1136	1348	1688	1817	1566	735	204	57	18	*****
6	44	46	755	1154	1354	1702	1717	1524	705	198	55	18	*****
7	32	52	760	1169	1360	1709	1824	1524	685	190	55	22	*****
8	33	79	770	1175	1374	1716	1824	1548	650	184	54	22	*****
9	31	104	795	1181	1381	1723	1824	1527	615	175	55	19	*****
10	51	88	818	1187	1395	1735	1824	1449	585	170	52	18	*****
11	68	104	833	1199	1402	1749	1824	1416	565	162	50	15	*****
12	73	99	843	1199	1416	1756	1824	1388	539	156	48	14	*****
13	63	95	858	1205	1485	1763	1817	1360	523	154	45	15	*****
14	62	90	876	1211	1506	1763	1817	1335	498	149	43	15	*****
15	57	101	906	1211	1513	1770	1817	1312	482	137	40	15	*****
16	57	148	930	1217	1527	1770	1817	1288	470	129	39	14	*****
17	56	137	930	1225	1534	1770	1817	1260	445	124	38	14	*****
18	57	140	960	1232	1548	1770	1810	1225	430	118	37	14	*****
19	57	124	960	1232	1510	1777	1810	1193	408	112	36	14	*****
20	56	190	975	1239	1524	1777	1810	1169	392	106	34	14	*****
21	55	345	993	1246	1531	1777	1791	1136	373	104	33	14	*****
22	54	400	1011	1246	1545	1777	1784	1106	355	99	32	14	*****
23	49	470	1029	1246	1552	1777	1777	1080	338	95	30	16	*****
24	46	523	1038	1253	1559	1784	1770	1050	330	88	29	20	*****
25	49	615	1050	1260	1563	1784	1756	1023	307	84	28	29	*****
26	51	615	1056	1281	1592	1791	1749	987	294	81	27	33	*****
27	49	604	1068	1288	1599	1791	1735	950	284	79	32	36	*****
28	44	615	1074	1293	1613	1798	1723	920	272	72	38	30	*****
29	42	625	1086	1300	1627	1798	1702	886	265	67	34	27	*****
30	39	656	1100	1306	1641	1810	1688	1285	256	66	29	25	*****
31	79	685	1063	1312	1570	1810	1681		246	88	27	16	*****
*****													*****

- 404 -

DEBITS MOYENS JONALIER 1972 ***1973													

JOURS	JUILL.	AOUT	SEPT.	OCTOBRE	NOVEMB.	DECEMB.	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	*****
1	21	445	886	1160	1314	1534	1680	1122	535	120	26	10	*****
2	19	493	881	1165	1320	1534	1700	1070	506	116	25	10	*****
3	18	506	881	1180	1326	1545	1700	1075	484	104	25	9	*****
4	17	530	886	1185	1332	1545	1680	1055	465	91	24	8	*****
5	17	540	903	1190	1344	1556	1640	1040	450	85	25	8	*****
6	14	555	925	1195	1350	1578	1600	1020	425	79	23	8	*****
7	22	560	947	1195	1350	1578	1589	1000	398	73	23	7	*****
8	18	565	958	1200	1360	1589	1567	980	381	68	22	7	*****
9	17	581	969	1210	1360	1589	1556	958	365	65	21	6	*****
10	16	603	995	1215	1370	1600	1523	936	345	63	21	6	*****
11	30	635	1015	1220	1370	1640	1490	919	330	60	20	6	*****
12	34	711	1040	1230	1375	1660	1472	909	315	55	19	6	*****
13	62	707	1098	1235	1375	1660	1454	865	305	50	18	6	*****
14	63	699	1092	1240	1375	1660	1427	845	295	49	18	6	*****
15	55	695	1086	1245	1380	1660	1400	825	285	40	17	6	*****
16	42	695	1075	1250	1395	1660	1390	810	275	43	17	5	*****
17	36	691	1080	1255	1396	1620	1370	785	270	42	16	5	*****
18	35	711	1086	1255	1395	1600	1355	764	265	42	16	5	*****
19	41	840	1075	1265	1400	1600	1344	753	261	40	15	5	*****
20	50	785	1110	1270	1409	1589	1326	731	247	39	15	4	*****
21	42	805	1110	1275	1427	1600	1302	711	229	37	14	4	*****
22	108	795	1122	1275	1427	1600	1255	695	220	36	14	3	*****
23	194	775	1122	1280	1436	1589	1265	679	207	35	13	3	*****
24	261	770	1122	1285	1445	1600	1255	650	198	33	13	3	*****
25	310	759	1128	1290	1454	1600	1235	625	184	31	12	4	*****
26	320	764	1128	1296	1463	1640	1215	603	176	30	12	3	*****
27	345	790	1140	1302	1481	1660	1205	575	172	29	11	4	*****
28	367	820	1150	1302	1501	1660	1185	555	156	29	11	18	*****
29	387	830	1145	1308	1512	1680	1170	886	144	28	11	40	*****
30	403	845	1145	1308	1534	1680	1150	1285	132	27	10	38	*****
31	415	903	1063	1314	1570	1700	1140		128	88	10	16	*****

***** DEBITS MOYENS JOURNALIERS 1973 ** 1974 *****												
JOURS	JUILLET	AOUT	SEPTEMB.	OCTOBRE	NOVEMB.	DECEMB.	JANVI.	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN
1	25.6	63	511	1080	1314	1481	1320	835	300	62	20	5.4
2	22	53.6	520	1086	1320	1481	1314	810	290	60	19	5.1
3	28	79	520	1098	1320	1481	1308	790	270	58.4	18.5	4.8
4	37.6	70	550	1104	1326	1490	1302	759	256.5	55.2	18	4.2
5	25.6	97	545	1116	1338	1490	1344	737	247.5	52	17.5	3.6
6	21	220.5	565	1122	1344	1501	1332	719	238.5	48.8	17	3.3
7	17.5	270	576	1128	1350	1501	1326	695	225	45.6	16.5	3.9
8	22.8	225	640	1140	1350	1501	1314	679	211.5	44	15.5	4.5
9	21	198	675	1150	1355	1501	1302	660	202.5	43.2	15	4.5
10	17	256.5	707	1155	1360	1501	1285	640	1989	42.4	14.5	4.5
11	18.5	265.5	737	1165	1360	1512	1269	614	189	40.8	14	5.4
12	16	270	759	1165	1370	1501	1260	591	180	40	13.5	4.2
13	16	320	790	1175	1375	1501	1230	570	176	39.2	13	3.9
14	16.5	335	800	1180	1380	1501	1210	550	168	37.6	12.5	3.6
15	15.5	345	805	1185	1390	1490	1285	525	160	36	12	3.3
16	15	345	850	1190	1395	1481	1165	506.5	152	35	11.4	7.2
17	14.5	350	887	1200	1400	1472	1150	493	144	33	11.4	6
18	13	335	914	1200	1418	1472	1128	479.5	140	32	10.8	10.8
19	18.5	325	925	1210	1418	1463	1104	460	128	31	10.8	8.4
20	23.2	370	942	1220	1436	1463	1080	445	120	29	10.2	5.7
21	47.2	414	958	1230	1445	1463	1065	425	112	26	10.2	4.5
22	40	435	980	1235	1445	1463	1050	408	104	25.6	9.6	4.2
23	37.6	475	1005	1250	1454	1445	1030	392	97	25.2	9.6	4.2
24	36	497.5	1005	1260	1454	1436	1010	370	91	24.4	9	3.9
25	41.6	560	1000	12160	1463	1427	990	360	88	24	9	3.9
26	68	535	1015	1265	1472	1400	969	345	85	23.6	8.4	3.3
27	62	520	1020	1275	1481	1400	947	330	79	23.2	7.8	2.8
28	63	565	1049	1280	1490	1395	925	315	70	22.4	7.2	2.2
29	140	545	1055	1290	1490	1390	903	886	68	22	6	2.2
30	256.5	530	1070	1290	1490	1385	881	1285	66	21	5.7	1.8
31	112	515.5	1063	1308	1570	1380	860		64	88	5.4	16

- 107 -

DEBITS MOYENS JONALIER 1974 ** 1975													

JOURS	JUILLET	AOUT	SEPTEMB.	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	JANVIER	FEBVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	*****
1	1.38	344	917	1237	1462	1717	1911	1703	796	201	54	14.4	*****
2	1.16	344	955	1249	1477	1724	1911	1696	755	183	52.5	14.4	*****
3	0.72	348	975	1243	1492	1731	1911	1659	715	176	52.5	13.6	*****
4	0.5	352	995	1237	1507	1738	1911	1619	710	170	52.5	11.4	*****
5	0.5	281	1021	1237	1515	1745	1917	1603	651	164	52.5	10.9	*****
6	0.72	281	1063	1243	1522	1752	1917	1581	633	162	52.5	10.9	*****
7	4.6	281	1094	1255	1525	1759	1917	1560	610	160	46.5	12	*****
8	7.05	250	1106	1261	1532	1766	1917	1532	585	145	46.5	10.3	*****
9	8.7	250	1143	1279	1532	1773	1911	1522	570	137	43.5	9.25	*****
10	67.5	250	1169	1279	1546	1773	1911	1500	543	132	42	8.7	*****
11	48	246	1182	1292	1560	1780	1911	1477	520	127	40.5	8.15	*****
12	46.5	243	1182	1303	1567	1787	1911	1447	498	122	39	10.9	*****
13	27	250	1195	1309	1581	1794	1904	1417	484	115	37.5	9.8	*****
14	27	243	1195	1315	1588	1801	1904	1380	466	108	45	9.8	*****
15	27	274	1213	1328	1595	1801	1904	1354	439	102	46.5	9.25	*****
16	20	278	1231	1334	1603	1808	1904	1321	417	98	49.5	10.3	*****
17	17.6	267	1237	1341	1611	1808	1904	1291	400	94	51	9.8	*****
18	15.2	250	1255	1354	1617	1815	1898	1255	388	90	54	11.4	*****
19	87	215	1219	1367	1619	1829	1891	1219	368	90	52.5	10.9	*****
20	176	215	1219	1373	1635	1836	1885	1182	356	87	51	13.6	*****
21	208	215	1207	1380	1643	1850	1871	1136	336	84	45	8.15	*****
22	250	208	1201	1395	1651	1857	1864	1094	328	81	37.5	5.74	*****
23	281	229	1195	1410	1651	1871	1850	1049	13	78.5	30	6.12	*****
24	360	243	1195	1417	1659	1878	1836	1000	299	75.5	26	5.74	*****
25	498	400	1195	1425	1667	1891	1824	965	285	72	24	5.64	*****
26	421	638	1207	1432	1675	1898	1822	924	271	69.5	22	6.12	*****
27	356	710	1207	1440	1682	1898	1815	878	257	66.3	20	9.8	*****
28	344	760	1207	1455	1689	1904	1794	839	243	63	18.4	8.7	*****
29	336	784	1213	1462	1686	1904	1773	886	229	60	18.4	12	*****
30	328	826	1219	1470	1703	1911	1752	1285	215	57.5	17.6	17.6	*****
31	328	898	1063	1477	1570	1911	1731	208	88	16.8	16	*****	
1			916		1462	1717	1911	1703	796	201	54	14.4	*****

**** DEBITS MOYENS JOURNALIERS 1975 **** 1976 ****													

****JOURS	JUILLET	AOUT	SEPTEMB.	OCTOBRE	NOVEMB.	DECEMB.	JANVI.	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	****
**** 1	12	96	1021	1315	1522	1794	1980	1917	1255	348		52	****
**** 2	15.2	110	1042	1315	1525	1801	1987	1924	1175	332	84	45	****
**** 3	9.25	130	1070	1315	1532	1808	1995	1924	1175	316	84	46	****
**** 4	7.05	137	1098	1315	1539	1815	1995	1930	1130	302	81	42	****
**** 5	7.6	176	1100	1315	1546	1822	2002	1911	1106	288	76	39	****
**** 6	30	215	1112	1321	1553	1822	2010	1891	1063	278	75	37	****
**** 7	35	215	1136	1328	1553	1829	2010	1878	1014	250	72	36	****
**** 8	49.5	225	1156	1334	1567	1829	2017	1864	980	243	72	31	****
**** 9	40.5	309	1156	1341	1581	1829	2017	1857	943	239	69	26	****
**** 10	45	368	1156	1347	1595	1829	2025	1843	917	229	66	21	****
**** 11	72	475	1162	1360	1611	1836	2025	1822	878	218	63	22	****
**** 12	85.5	547	1273	1360	1611	1836	2025	1801	820	201	63	20	****
**** 13	108	600	1255	1367	1617	1843	2025	1780	808	197	61	19	****
**** 14	117	642	1303	1373	1619	1850	2025	1752	790	187	61	18	****
**** 15	79.5	665	1261	1373	1643	1850	2033	1731	760	178	60	22	****
**** 16	72	633	1279	1380	1651	1857	2033	1696	724	174	58	26	****
**** 17	75	620	1297	1395	1659	1857	2042	1682	705	168	55	26	****
**** 18	75	600	1297	1395	1667	1864	2042	1652	690	160	54	22	****
**** 19	84	656	1297	1402	1675	1871	2042	1617	638	155	52	18	****
**** 20	84	656	1273	1410	1689	1885	2042	1595	615	150	49	30	****
**** 21	87	680	1279	1410	1696	1891	2042	1574	595	145	46	45	****
**** 22	90	656	1279	1425	1720	1898	2033	1525	565	135	45	57	****
**** 23	110	656	1303	1432	1724	1921	2033	1500	538	122	45	51	****
**** 24	104	695	1328	1440	1731	1924	2017	1470	516	117	42	37	****
**** 25	106	742	1321	1455	1738	1930	2017	1417	489	115	40	26	****
**** 26	96	760	1315	1462	1745	1943	2017	1395	466	110	52	22	****
**** 27	116	846	1309	1470	1759	1950	2002	1354	448	106	69	20	****
**** 28	132	808	1309	1477	1766	1957	1987	1325	428	102	84	16	****
**** 29	110	898	1315	1485	1773	1957	1965	1285	400	100	87	17	****
**** 30	92	995	1315	1500	1773	1972	1930	1285	384	96	75	19	****
**** 31	87	1000	1063	1515	1570	1980	1917		360	88	63	16	****
****													****

```

*****
**** DEBITS MOYENS JONALIER 1976 *** 1977 ****
**** ***** ****
****
**** JOURS DEBITS AOUT SEPTEMB. OCTOBRE NOVEMB. DECEMB. JANVI. FEVRIER MARS AVRIL MAI JUIN ****
**** 1 17.6 88.5 746 1169 1425 1754 1808 1950 1675 742 187 64.5 ****
**** 2 18.4 87 751 1175 1440 1581 1815 1950 1643 724 180 60 ****
**** 3 18.4 90 755 1182 1440 1581 1822 1950 1603 695 176 54 ****
**** 4 20 110 778 1188 1455 1588 1829 1950 1581 665 170 52.5 ****
**** 5 23 104 802 1195 1462 1595 1829 1950 1553 638 164 51 ****
**** 6 26 106 826 1207 1462 1603 1836 1950 1525 615 157 49.5 ****
**** 7 43.5 82.5 872 1219 1462 1611 1843 1950 1500 580 150 48 ****
**** 8 130 147 878 1237 1462 1611 1857 1937 1470 543 145 46.5 ****
**** 9 90 250 885 1237 1470 1611 1857 1937 1440 525 140 43.5 ****
**** 10 78 302 891 1237 1470 1617 1857 1930 1410 502 135 43.5 ****
**** 11 75 410 917 1237 1470 1619 1857 1917 1380 480 127 42 ****
**** 12 72 360 950 1237 1477 1635 1864 1904 1354 457 122 42 ****
**** 13 67.5 435 965 1243 1486 1643 1871 1898 1328 435 117 42 ****
**** 14 64.5 435 985 1303 1485 1651 1878 1878 1303 421 110 43.5 ****
**** 15 84 417 990 1243 1485 1659 1885 1864 1285 396 106 43.5 ****
**** 16 90 403 1007 1243 1492 1667 1891 1850 1255 380 100 39 ****
**** 17 117 403 1014 1278 1500 1675 1898 1836 1225 356 98 36 ****
**** 18 104 424 1014 1321 1507 1682 1904 1822 1175 344 94 31.5 ****
**** 19 94 462 1021 1321 1515 1689 1911 1815 1136 324 88.5 29 ****
**** 20 79.5 493 1021 1341 1525 1703 1924 1815 1106 320 84 27 ****
**** 21 76.5 498 1088 1367 1525 1710 1930 1801 1070 299 81 26 ****
**** 22 73.5 520 1076 1347 1532 1724 1937 1794 1035 281 78 26 ****
**** 23 73.5 543 1076 1367 1539 1731 1943 1794 1000 267 76.5 25 ****
**** 24 73.5 570 1070 1380 1546 1738 1950 1794 975 264 73.5 27 ****
**** 25 73.5 590 1082 1395 1546 1745 1957 1794 943 250 66 24 ****
**** 26 72 610 1100 1425 1553 1759 1950 1717 917 246 66 26 ****
**** 27 67.5 620 1130 1417 1560 1773 1950 1703 885 229 66 27 ****
**** 28 64.5 633 1136 1395 1560 1780 1950 1675 852 218 66 26 ****
**** 29 69 642 1156 1402 1567 1787 1950 1285 820 211 63 25 ****
**** 30 88.5 656 1149 1410 1567 1794 1950 1285 790 197 60 22 ****
**** 31 88.5 715 1063 1417 1570 1801 1950 755 88 67.5 16 ****
****
*****

```

-110-

DEBITS MOYENS JOURNALIERS 1977 *** 1978 *****													

JOURS	JUILL.	AOUT	SEPTEN.	OCTOBRE	NOVEMB.	DECEMB.	JANV.	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	*****
1	25	250	570	985	1169	1380	1367	790	292	98	46.5	33	*****
2	37.5	250	633	985	1175	1387	1354	772	278	94	51	16.8	*****
3	49.5	267	595	975	1182	1395	1347	737	271	90	60	10.9	*****
4	66	267	600	975	1188	1402	1334	705	260	85.5	58.5	8.7	*****
5	85.5	285	600	975	1195	1410	1321	685	250	78	51	8.15	*****
6	108	232	624	975	1201	1417	1303	665	243	79.5	43.5	7.6	*****
7	69	218	642	990	1213	1425	1297	647	236	90	36	7.6	*****
8	52.5	204	665	985	1219	1425	1255	624	229	81	28	18.4	*****
9	45	174	685	985	1225	1432	1261	595	232	75	26	64.5	*****
10	36	174	705	985	1231	1440	1249	575	250	72	24	100	*****
11	27	204	724	995	1237	1440	1237	552	222	69	28	69	*****
12	26	211	737	1000	1243	1447	1219	538	208	67.5	100	48	*****
13	29	204	737	1000	1255	1455	1207	516	190	64.5	72	30	*****
14	46.5	183	808	1014	1261	1447	1182	507	176	61.5	49.5	23	*****
15	63	172	852	1021	1273	1447	1162	489	170	58.5	28	19.2	*****
16	75	170	808	1035	1273	1462	1156	475	166	57	27	19.2	*****
17	87	164	802	1035	1279	1462	1143	457	160	55.5	28	16.9	*****
18	104	176	820	1048	1291	1462	1130	444	155	54	34.5	16	*****
19	110	285	839	1063	1297	1462	1118	421	150	51	28	13.6	*****
20	125	336	859	1070	1303	1462	1094	407	145	48	24	16	*****
21	157	360	885	1082	1315	1455	1076	396	140	45	19.2	15.2	*****
22	145	380	917	1088	1321	1447	1056	384	135	42	17.6	24	*****
23	130	400	975	1094	1328	1447	1028	364	130	39	16	37.5	*****
24	160	431	950	1100	1334	1447	1000	348	127	37.5	14.4	24	*****
25	208	439	950	1106	1341	1447	975	328	122	36	11.4	23	*****
26	190	462	960	1118	1347	1447	955	320	120	45	10.9	19.2	*****
27	187	462	965	1124	1354	1425	937	309	117	57	10.3	15.2	*****
28	197	471	980	1130	1360	1417	917	299	115	122	9.25	13.6	*****
29	232	475	985	1143	1367	1402	865	1285	108	79.5	8.7	13.6	*****
30	267	498	990	1156	1373	1387	820	1285	104	66	9.25	18.4	*****
31	267	543	1063	1162	1570	1373	802		102	88	8.7	16	*****

**** DEBITS MOYENS JOURNALIERS 1978 **** 1979 ****														

****	JOURS	JUILLET	AOUT	SEPTEMB.	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	JANVIER	FEBVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	****
****	1	20	176	950	1162	1373	1574	1787	1659	911	260	75	26	****
****	2	26	520	917	1162	1373	1588	1794	1651	859	244	72	24	****
****	3	25	624	924	1175	1387	1588	1794	1635	833	236	70.5	22	****
****	4	19.2	590	937	1182	1395	1595	1794	1611	790	222	69.5	20	****
****	5	17.6	642	943	1188	1402	1603	1794	1588	755	211	66	24	****
****	6	17.6	660	950	1195	1410	1611	1794	1574	724	204	63	23	****
****	7	18.4	651	950	1201	1417	1617	1794	1560	703	194	61.5	24	****
****	8	16.8	700	955	1207	1425	1635	1801	1525	665	180	60	25	****
****	9	16.8	733	965	1225	1432	1643	1801	1507	642	174	58.5	24	****
****	10	16	760	995	1225	1440	1651	1801	1477	629	168	55.5	22	****
****	11	15.2	796	1035	1231	1440	1659	1801	1462	605	164	55.5	20	****
****	12	17.6	865	1000	1237	1447	1667	1794	1447	575	157	55.5	17.6	****
****	13	23	878	1000	1249	1455	1675	1794	1417	552	152	52.5	15.2	****
****	14	40.6	917	995	1255	1462	1675	1794	1395	534	145	49.5	14.4	****
****	15	37.5	965	1007	1261	1462	1682	1794	1373	516	140	49.5	24	****
****	16	36	943	1028	1261	1470	1682	1794	1341	502	135	48	45	****
****	17	29	930	1063	1273	1477	1689	1794	1315	484	127	46.5	49.5	****
****	18	34.5	965	1082	1279	1485	1689	1787	1285	475	125	45	54	****
****	19	34.5	980	1070	1279	1492	1690	1787	1261	457	120	43.5	45	****
****	20	37.5	965	1070	1291	1500	1703	1773	1231	444	115	45	37	****
****	21	49.5	950	1088	1303	1507	1710	1773	1201	424	112	46.5	30	****
****	22	46.5	980	1106	1309	1515	1724	1766	1162	414	106	40.5	30	****
****	23	48	995	1124	1315	1522	1731	1759	1124	403	102	37.5	30	****
****	24	42	960	1136	1315	1525	1738	1759	1094	396	98	36	30	****
****	25	45	943	1143	1321	1539	1745	1745	1063	376	94	34.5	30.5	****
****	26	55.5	930	1149	1328	1539	1752	1738	1021	356	88.5	34.5	27	****
****	27	64.5	911	1150	1334	1546	1759	1724	980	332	84	33	25	****
****	28	90	950	1150	1347	1553	1766	1717	950	313	84	30	24	****
****	29	147	1021	1162	1347	1553	1780	1710	1285	295	82.5	28	22	****
****	30	306	955	990	1354	1567	1780	1689	1285	278	78	26	24	****
****	31	150	937	1063	1367	1570	1373	802	271	88	26	16	16	****
****														****
****														****

- 111 -

```

*****
**** DEBITS MOYENS JOURNALIERS 1979 ***** 1980 ****
**** ***** ****
**** JOURS JUIL. AOÛT SEPTEMB. OCTOB. NOVEMB. DECEMB. JANVI. FEVRIER MARS AVRIL MAI JUIN ****
**** 1 18.4 78 1000 1440 1373 1829 1937 1717 833 229 14.4 ****
**** 2 - 76.5 1056 1447 1373 1829 1937 1686 802 215 67.5 13.6 ****
**** 3 - 75 1195 1462 1643 1829 1937 1659 772 181 64.5 12.8 ****
**** 4 - 75 1124 1477 1659 1836 1937 1655 737 180 60 12.8 ****
**** 5 - 155 1149 1477 1667 1836 1937 1611 705 180 57 12 ****
**** 6 - 320 1195 1485 1675 1836 1937 1588 675 174 54 11.4 ****
**** 7 - 352 1255 1485 1689 1836 1937 1560 656 170 51 15.2 ****
**** 8 - 410 1285 1492 1694 1836 1937 1559 610 164 48 16.8 ****
**** 9 70.5 424 1291 1492 1703 1836 1937 1515 585 160 45 16 ****
**** 10 79.5 439 1321 1500 1710 1836 1930 1492 561 152 43.5 12.8 ****
**** 11 78 444 1367 1500 1717 1836 1924 1462 530 147 42 11.4 ****
**** 12 75 453 1380 1500 1724 1843 1924 1452 511 142 40.5 14.4 ****
**** 13 88.5 462 1387 1502 1731 1843 1917 1402 484 135 37.5 13.6 ****
**** 14 87 475 1380 1507 1731 1850 1911 1367 475 130 34.5 16 ****
**** 15 84 471 1380 1507 1731 1857 1911 1341 475 125 33 12.8 ****
**** 16 82.5 484 1395 1515 1728 1857 1911 1309 431 117 30 10.9 ****
**** 17 81 502 1416 1525 1745 1857 1911 1285 407 112 28 16.8 ****
**** 18 81 547 1425 1525 1752 1864 1911 1261 403 108 26 15.2 ****
**** 19 78 570 1440 1532 1759 1871 1911 1231 396 104 25 10.9 ****
**** 20 72 595 1462 1532 1759 1871 1904 1195 388 100 22 8.7 ****
**** 21 70.5 633 1477 1539 1766 1871 1898 1162 372 96 19.2 10.5 ****
**** 22 70.5 665 1477 1539 1778 1878 1878 1130 356 92 16.8 9.25 ****
**** 23 69 670 1477 1546 1780 1885 1871 1100 344 88.5 20 13.6 ****
**** 24 64.5 705 1470 1560 1787 1891 1857 1042 328 87 18.4 12 ****
**** 25 55.5 751 1462 1567 1787 1898 1843 995 313 85 17.6 12.8 ****
**** 26 55.5 796 1455 1574 1794 1904 1829 970 299 82.5 16.8 13.3 ****
**** 27 54 865 1455 1588 1801 1911 1724 943 285 81 16 9.25 ****
**** 28 - 930 1440 1595 1808 1917 1717 904 271 78 15.2 6.5 ****
**** 29 - 1112 1432 1603 1808 1924 1710 859 260 75 14.4 22 ****
**** 30 - 1070 1432 1617 1822 1924 1745 1285 253 60 15.2 8.15 ****
**** 31 98 1007 1063 1619 1570 1930 802 243 88 15 16 ****
**** ***** ****

```

-115-

```
*****
**** DEBITS MOYENS JOURNALIERS 1980 **** 1981 ****
**** ***** ****
**** JOURS JUIL. AOÛT SEPT. OCTOB. NOVEMB. DECEMB. JANVIER FEVRIER MARS AVRIL MAI JUIN ****
**** 1 11.4 178 471 1028 1285 1485 1432 1021 392 120 30 7.05 ****
**** 2 13.6 356 475 1049 1291 1492 1425 1000 376 115 28 6.5 ****
**** 3 26 313 520 1049 1297 1492 1410 955 356 108 28 6.12 ****
**** 4 70.5 285 520 1056 1303 1500 1402 898 340 104 27 5.74 ****
**** 5 243 278 552 1056 1309 1500 1395 865 332 102 26 4.98 ****
**** 6 384 428 565 1063 1315 1500 1387 826 316 100 25 4.6 ****
**** 7 543 471 610 1073 1321 1500 1373 802 306 96 24 3.46 ****
**** 8 516 516 656 1094 1328 1507 1367 778 299 90 23 2.7 ****
**** 9 507 525 660 1100 1334 1507 1354 755 292 87 21 9.25 ****
**** 10 590 534 705 1106 1341 1507 1347 733 285 84 20 11.4 ****
**** 11 665 529 742 1118 1354 1507 1334 715 274 82.5 19.2 12 ****
**** 12 751 543 755 1118 1354 1507 1328 665 264 81 17.6 14.4 ****
**** 13 796 507 790 1124 1360 1507 1315 647 257 78 17.6 12 ****
**** 14 846 498 796 1130 1367 1507 1303 632 250 75 16.8 10.3 ****
**** 15 820 457 808 1136 1373 1507 1297 615 243 70.5 16 8.7 ****
**** 16 660 424 826 1146 1387 1507 1285 300 236 67.5 15.2 7.05 ****
**** 17 543 394 852 1156 1402 1507 1273 570 218 66 14.4 6.12 ****
**** 18 457 376 865 1163 1410 1507 1261 556 208 64.5 12.8 5.74 ****
**** 19 384 356 878 1175 1417 1500 1249 547 197 63 12.8 4.98 ****
**** 20 348 435 891 1182 1432 1500 1237 534 187 57 12 4.6 ****
**** 21 316 561 904 1188 1440 1500 1225 516 178 54 11.4 8.7 ****
**** 22 376 561 957 1201 1447 1492 1213 507 172 51 11.4 6.12 ****
**** 23 316 660 937 1207 1447 1492 1195 493 164 48 10.3 5.74 ****
**** 24 285 585 955 1213 1455 1492 1857 475 162 46.5 9.8 4.22 ****
**** 25 264 507 975 1219 1462 1486 1175 457 157 45 9.25 3.46 ****
**** 26 208 435 980 1231 1462 1485 1130 435 150 42 8.7 3.08 ****
**** 27 201 431 985 1231 1462 1477 1106 424 145 40.5 15.2 2.48 ****
**** 28 194 453 990 1249 1470 1470 1094 404 140 39 10.45 2.04 ****
**** 29 193 462 1000 1255 1477 1462 1070 859 135 36 9.25 2.26 ****
**** 30 204 453 1028 1267 1455 1455 1049 1285 130 33 8.15 7.05 ****
**** 31 183 1007 1063 1267 1570 1440 1035 125 88 15 16 ****
**** ***** ****
```

 DEBITS MOYENS JOURNALIERS 1981 **** 1982

JOURS	JUILL.	AOUT	SEPTEMB.	OCTOBRE	NOVEMB.	DECEMB.	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN
1	10.4	122	820	1285	1470	1635	1738	1255	444	115	51	10.3
2	9.8	147	826	1291	1477	1651	1738	1219	424	110	49.5	9.8
3	9.8	180	852	1297	1485	1659	1738	1175	410	106	46.5	10.4
4	7.05	246	885	1303	1492	1659	1731	1130	388	100	43.5	11.4
5	5.36	257	975	1309	1500	1659	1724	1094	368	96	40.5	12
6	4.22	257	970	1315	1507	1659	1717	1063	348	92	37.5	13.6
7	14.4	281	970	1321	1515	1667	1710	1021	328	87	36	14.4
8	29	344	975	1328	1525	1667	1696	980	309	85.5	33	12.8
9	34.5	525	995	1328	1532	1675	1689	944	309	85.5	30	12
10	34.5	403	1130	1334	1539	1682	1675	911	281	85.5	28	10.4
11	36	410	1118	1334	1546	1689	1667	865	264	85.5	25	12.8
12	751	421	1106	1334	1553	1696	1659	820	252	84	25	10.4
13	70.5	453	1094	1341	1553	1696	1643	790	246	82.5	24	9.25
14	67.5	493	1100	1341	1560	1703	1635	760	236	81	24	7.6
15	63	525	1100	1347	1567	1703	1617	751	229	79.5	24	7.05
16	64.5	511	1112	1354	1567	1710	1611	724	218	78	22	7.05
17	72	525	1124	1360	1567	1710	1595	700	208	76.5	21	12
18	84	538	1136	1367	1567	1507	1581	680	201	75	20	23
19	75	570	1149	1373	1574	1500	1567	656	194	75	19.2	76.5
20	69	620	1156	1373	1574	1500	1553	638	183	72	19.2	67.5
21	58.5	651	1169	1380	1574	1724	1532	620	176	72	18.4	49.5
22	54	715	1156	1380	1574	1724	1522	600	170	70.5	18.4	49.5
23	60	695	1182	1387	1574	1731	1500	575	164	67.5	17.6	40.5
24	70.5	680	1219	1402	1574	1731	1477	556	160	64.5	18.4	36
25	69	719	1209	1417	1574	1738	1455	534	155	63	16	29
26	69	760	1255	1425	1574	1738	1425	512	147	61.5	13.6	27
27	69	778	1255	1432	1617	1738	1395	489	140	60	12	19.2
28	88.5	772	1261	1440	1619	1738	1367	470	135	58.5	12	16
29	106	772	1267	1447	1635	1738	1341	859	130	54	11.4	15.2
30	92	778	1273	1455	1635	1738	1309	1285	122	52.5	10.9	29
31	94	814	1063	1462	1570	1738	1279		117	88	10.3	16

- 114 -

- 91R -

***** DEBITS MOYENS JONALIERS 1982 ***** 1983 *****														

*****	JOURS	JUILL.	AOUT	SEPTEMB.	OCTOBRE	NOVEMB.	DECEMB.	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	*****
*****	1	45	264	937	1088	1273	1373	1309	665	243	76.5	25	6.12	*****
*****	2	37.5	332	943	1088	1279	1373	1297	643	226	75	24	4.6	*****
*****	3	43.5	332	955	1088	1285	1373	1285	620	208	73.5	23	4.22	*****
*****	4	43.5	453	960	1094	1291	1373	1273	595	194	72	22	3.84	*****
*****	5	69	556	950	1100	1291	1373	1255	570	180	70.5	21	3.84	*****
*****	6	69	498	975	1106	1291	1380	1225	547	348	67.5	19.2	3.84	*****
*****	7	66	471	965	1112	1297	1380	1207	525	176	66	18.4	3.84	*****
*****	8	78	538	965	1118	1303	1380	1195	503	170	64.5	17.6	3.84	*****
*****	9	94	543	965	1130	1303	1380	1162	498	164	63	16.8	3.46	*****
*****	10	69	556	965	1130	1309	1380	1143	475	160	61.5	16	3.46	*****
*****	11	52.5	665	960	1136	1315	1387	1130	462	152	60	15.2	3.08	*****
*****	12	63	620	960	1149	1321	1395	1082	444	148	58.5	15.2	10.4	*****
*****	13	43.5	647	950	1156	1321	1395	1035	435	142	57	13.6	6.12	*****
*****	14	55.5	705	955	1169	1328	1395	1000	428	140	54	12.8	22	*****
*****	15	76.5	772	950	1169	1334	1395	1000	421	135	52.5	12	19.2	*****
*****	16	73.5	820	955	1169	1341	1395	1000	414	130	52.5	12	16	*****
*****	17	72	846	980	1182	1347	1395	995	396	125	51	12	9.25	*****
*****	18	81	878	985	1195	1354	1387	975	376	123	51	12	6.12	*****
*****	19	90	846	990	1201	1360	1387	950	360	118	49.5	12	30	*****
*****	20	106	960	1000	1207	1360	1380	930	344	113	49.5	10.4	33	*****
*****	21	108	995	1007	1213	1367	1373	911	328	110	48	9.25	22	*****
*****	22	104	1007	1014	1219	1367	1373	872	317	104	45	8.7	22	*****
*****	23	112	1000	1021	1225	1367	1373	859	302	100	42	8.7	153	*****
*****	24	135	960	1021	1231	1367	1367	846	292	96	39	8.7	160	*****
*****	25	137	930	1035	1237	1367	1367	820	282	92	36	8.15	115	*****
*****	26	164	960	1042	1243	1367	1360	808	271	88.5	31.5	7.05	82.5	*****
*****	27	180	985	1056	1243	1367	1354	790	260	85.5	29	7.05	72	*****
*****	28	180	970	1070	1249	1373	1347	772	250	84	28	6.12	66	*****
*****	29	199	970	1070	1255	1373	1341	742	239	84	28	6.12	72	*****
*****	30	215	937	1076	1267	1373	1334	728	228	81	27	6.12	73.5	*****
*****	31	250	930	1063	1267	1570	1328	700	217	78	27	6.12	16	*****
*****								717						*****

- JRG -

```

*****
****          DEBITS MOYENS JOURNALIERS 1983 **** 1984          ****
****          *****
****
**** JOURS  JUILLET  AOUT  SEPTEMB. OCTOBRE  NOVEMB.  DECEMB. JANVIER  FEVRIER  MARS  AVRIL  MAI  JUIN ****
****  1      69     102   756    1007    1150    1285    990    418   150  61.5  15.2  4.6 ****
****  2      63     108   760    1007    1156    1285    975    407   148   60  15.2  4.2 ****
****  3      57     104   760    1007    1163    1285    965    388   143  58.5  13.6  5.36 ****
****  4      51     100   760    1021    1169    1285    950    384   137  58.5  12.8  6.5 ****
****  5      90     102   742    1028    1182    1291    924    380   135   57   12   7.6 ****
****  6      40     178   733    1035    1189    1291    898    368   130  55.5   12   7.6 ****
****  7     37.5    292   733    1035    1195    1291    866    348   128   54   12   26 ****
****  8      33     432   738    1035    1201    1291    853    328   123   51  11.45  60 ****
****  9     58.5    458   747    1042    1207    1291    833    317   120  49.5  15.2  51 ****
**** 10      51     444   756    1042    1213    1291    814    303   118  46.5   23  46.5 ****
**** 11      57     470   772    1042    1219    1285    790    285   115  43.5  14.4  39 ****
**** 12      72     507   782    1042    1225    1279    772    275   113   42   27   30 ****
**** 13      90     566   796    1049    1231    1273    751    264   110  40.5   23   26 ****
**** 14      78     629   820    1056    1237    1267    738    254   106  37.5  16.8  21 ****
**** 15      60     690   820    1070    1243    1255    724    250   102   33  11.5  19.2 ****
**** 16     52.5    700   833    1076    1249    1279    710    243   100   30   9.8  17.6 ****
**** 17     46.5    715   833    1082    1255    1237    665    233   98   30  8.15  19.2 ****
**** 18      42     705   885    1082    1261    1231    647    222   94   29   7.6  13.6 ****
**** 19      42     695   911    1082    1261    1219    620    208   90   28   6.5  12.8 ****
**** 20     40.5    729   911    1082    1267    1207    600    208  85.5  26  5.74  12.8 ****
**** 21      36     760   924    1088    1273    1195    590    205   84   25   9.8  12.8 ****
**** 22      42     766   990    1094    1273    1182    552    201  82.5  24  12.8  12 ****
**** 23      63     833  1028    1100    1273    1163    530    194  79.5  22  10.9  16 ****
**** 24     58.5    782  1000    1106    1279    1143    516    184   78   21  10.4  16.8 ****
**** 25     52.5    790   975    1112    1279    1124    498    176   75   20   9.25  16.8 ****
**** 26      45     760   975    1112    1285    1106    485    172   72  19.2   8.7  40.5 ****
**** 27     37.5    760   980    1118    1285    1082    476    168   69  18.4  8.15  30 ****
**** 28      29     760   990    1124    1285    1070    462    162  67.5  16.8  6.5  23 ****
**** 29      30     760   990    1130    1285    1049    453    155  64.5  16  5.74  16.8 ****
**** 30      51     760  1000    1137    1285    1028    440    1285  63  15.2  4.98  12.8 ****
**** 31      75     760  1063    1143    1570    1000    428          63   88   4.6  16 ****
****
*****

```

DEBITS MOYENS JONALIER 1984 ***** 1985 *****													

JOURS	JUILL.	AOUT	SEPTEMB.	OCTOBRE	NOVEMB.	DECEMB.	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	*****
1	11.5	8.7	512	1307	1007	1070	695	278	104	33	11.1	3.2	*****
2	10.4	13.6	521	1335	1007	1070	675	268	100	30	11.6	2.9	*****
3	9.8	13.2	530	1243	1014	1063	661	250	96	28	11	2.7	*****
4	8.15	17.6	548	1189	1028	1063	643	243	94	26	10.4	2.5	*****
5	7.05	85.5	561	1169	1035	1056	625	233	92	25	10	2.2	*****
6	6.12	120	570	1156	1042	1049	605	226	90	24	9.6	1.9	*****
7	6.12	150	590	1156	1049	1042	580	215	87	22	9.4	1.8	*****
8	6.5	164	605	1149	1049	1035	561	208	85.5	20	9.2	1.5	*****
9	11.5	172	620	1143	1049	1028	543	201	82.5	19.2	9	1.3	*****
10	28	180	738	1124	1056	1021	530	191	81	18.4	8.8	1.1	*****
11	24	191	892	1130	1056	1014	521	184	78	18.4	8.5	0.8	*****
12	10.8	236	802	1163	1056	1000	507	179	76.5	18.4	8.3	0.8	*****
13	13.2	243	833	1195	1056	985	494	172	73.5	17.6	8	0.5	*****
14	18.4	240	840	1213	1063	970	480	166	72	17.6	8	0.6	*****
15	26	282	808	1225	1070	950	470	160	72	17.6	7.8	0	*****
16	16.8	453	820	1219	1070	937	458	155	69	16.8	7.5	0	*****
17	10.9	313	840	1201	1070	917	449	148	66	16	7.3	0	*****
18	9.25	303	853	1182	1070	892	432	148	64.5	14.4	7	0	*****
19	12	352	840	1169	1070	872	421	143	61.5	13.6	6.5	1.6	*****
20	9.25	356	833	1150	1076	859	414	140	60	12.8	6.3	0.8	*****
21	7.6	356	846	1118	1076	846	400	135	58.5	12	6	0.5	*****
22	6.5	411	892	1094	1076	820	384	130	57	11.4	5.8	0.3	*****
23	5.74	425	911	1063	1076	808	372	125	54	11.4	5.6	0	*****
24	4.98	418	937	1042	1076	808	356	123	51	11.4	5.4	0	*****
25	3.84	419	931	1021	1070	795	344	118	48	10.9	5.1	0	*****
26	3.08	435	931	1014	1070	790	332	115	46.5	10.9	6	0	*****
27	4.6	458	937	1000	1070	772	320	110	43.5	10.9	5.6	9.3	*****
28	6.5	449	937	1000	1070	756	306	110	42	10.9	4.7	13.9	*****
29	8.15	467	950	1000	1070	742	299	155	40.5	11.4	4	15.8	*****
30	8.15	480	950	1000	1070	724	292	1285	37.5	12	3.6	19.9	*****
31	8.7	489	1063	1000	1570	715	285		34.5	88	3.4	16	*****
*****													*****

- 117 -

- 118 -

```

*****
****          DEBITS MOYENS JOURNALIERS 1985 **** 1986          ****
****          *****
****
**** JOURS  JUILLET  AOUT  SEPTEMB. OCTOBRE  NOVEMB.  DECEMB. JANVIER  FEVRIER  MARS  AVRIL  MAI  JUIN ****
****  1      -      215    985    1207    1249    1508    1321    580    208    57.2  22.2  9.14 ****
****  2      -      233    1056   1255    1255    1508    1315    561    199    55.6  23.2  8.48 ****
****  3      -      233    1094   1243    1255    1508    1303    539    187    53.9  23.2  7.82 ****
****  4      -      306    1082   1182    1255    1508    1291    512    182    50.6  23.2  7.16 ****
****  5      -      303    1088   1163    1261    1508    1285    512    173    49    24.3  7.16 ****
****  6      -      242    1088   1156    1267    1508    1273    489    171    47.5  24.3  6.5 ****
****  7      -      268    1130   1162    1273    1500    1255    470    163    44.5  24.3  6.1 ****
****  8      -      289    1189   1162    1285    1500    1243    453    153    41.5  24.3  5.7 ****
****  9      -      317    1195   1163    1291    1500    1225    439    153    41.5  24.3  5.7 ****
**** 10      -      289    1213   1182    1303    1492    1207    412    150    40.2  23.2  5.7 ****
**** 11      -      376    1182   1176    1315    1500    1182    411    148    38.9  23.2  5.3 ****
**** 12      -      380    1182   1182    1328    1507    1162    396    140    37.6  22.2  5.3 ****
**** 13      -      376    1213   1182    1341    1508    1137    380    135    36.3  22.2  4.5 ****
**** 14      -      388    1231   1182    1348    1515    1106    364    130    35    21.2  4.5 ****
**** 15      -      364    1231   1182    1360    1508    1076    348    125    33.8  20.2  4.2 ****
**** 16      -      368    1231   1182    1367    1507    1042    332    117    32.5  21.2  3.9 ****
**** 17      -      352    1243   1182    1374    1500    1000    320    113    31.3  20.2  4.2 ****
**** 18      -      440    1243   1189    1380    1492    965    306    108    31.3  19.2  4.2 ****
**** 19      -      615    1315   1195    1387    1485    930    296    104    30    17.3  3.9 ****
**** 20      -      590    1285   1195    1395    1485    898    285    99.3  28.8  16.4  3.6 ****
**** 21      -      570    1243   1195    1410    1477    866    271    95    27.7  16.4  3 ****
**** 22      -      580    1255   1201    1418    1470    826    264    89    26.6  20.2  3 ****
**** 23      -      589    1249   1201    1432    1455    802    258    85    25.4  15.5  5.7 ****
**** 24      -      615    1273   1207    1446    1447    772    252    81.1  24.3  13.7  6.5 ****
**** 25      -      710    1291   1207    1462    1433    742    242    77.2  24.3  12.9  3.3 ****
**** 26      -      733    1273   1219    1470    1410    715    232    75.2  24.3  12.1  34.3 ****
**** 27      118    790    1273   1225    1478    1395    690    223    73.4  23.2  11.4  66 ****
**** 28      215    802    1255   1225    1492    1390    656    217    69.7  23.2  11.4  60.7 ****
**** 29      205    885    1237   1243    1500    1367    629    155    64.2  22.2  11.4  41.5 ****
**** 30      215    931    1219   1243    1500    1354    605    1285    62.5  22.2  10.6  31.3 ****
**** 31      208    944    1063   1249    1570    1341    585    60.7    88    9.8  16 ****
****          1761    1757    1756    1757    1756    1757    1756    1757    1756    1757    1756    1757 ****
*****

```

DEBITS MOYENS JOURNALIERS 1986 **** 1987													

JOURS	JUILLET	AOUT	SEPTEMB.	OCTOBRE	NOVEMB.	DECEMB.	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	*****
1	20	88	558	825	1136	1289	1080	510	164	63.5	37.2	23	*****
2	18.4	142	563	845	1142	1289	1062	490	162	63.5	36	20	*****
3	30	167	563	855	1156	1289	1044	472	159	62	34.8	20	*****
4	34.8	167	567	865	1162	1289	1026	459	154	60.5	33.6	21	*****
5	40	177	612	880	1168	1282	1008	441	147	60.5	32.4	21	*****
6	65	233	662	897	1175	1275	990	423	144	59	33.6	21	*****
7	94	195	705	908	1175	1268	960	405	135	57.5	33.6	19.2	*****
8	137	240	785	908	1188	1254	942	393	132	57.5	32.4	19.2	*****
9	100	226	747	924	1195	1254	919	373	123	54.6	31.2	20	*****
10	86.3	240	739	930	1195	1254	904	357	121	51.8	30	19.2	*****
11	88	317	730	936	1201	1254	886	349	115	51.8	30	19.2	*****
12	88	369	790	948	1208	1254	865	337	110	50.4	29	18.4	*****
13	92	427	748	954	1214	1254	855	321	106	49	29	18.4	*****
14	102	401	725	960	1214	1254	830	305	100	49	29	18.4	*****
15	117	389	760	972	1214	1254	815	293	98	48	28	18.4	*****
16	117	405	715	984	1214	1254	795	283	96	47.6	28	16.8	*****
17	94	423	710	990	1214	1254	780	273	94	46.2	28	16.8	*****
18	90	414	710	996	1220	1247	766	261	92	44.8	28	16	*****
19	71	432	725	1008	1220	1240	752	249	88	43.4	28	15.2	*****
20	65	418	730	1020	1234	1234	739	236	86.3	42	28	14.4	*****
21	57.5	427	739	1032	1240	1222	715	229	82.9	40	28	14.4	*****
22	66.5	454	730	1038	1247	1208	700	223	82.9	40	27	22	*****
23	71	525	761	1050	1261	1188	673	209	79.5	40	26	18.4	*****
24	57.5	500	785	1062	1261	1182	648	203	76.1	42	26	14.4	*****
25	46.3	621	785	1068	1261	1175	623	197	74.4	42	25	12.8	*****
26	43.4	585	775	1080	1268	1175	617	189	72.7	40	24	10.3	*****
27	40	612	770	1092	1275	1162	594	180	71	40	24	11.5	*****
28	47.6	599	795	1098	1282	1149	576	172	71	40	23	14.4	*****
29	65	608	810	1123	1282	1123	563	155	68	40	23	16.8	*****
30	56	599	820	1110	1282	1110	549	1285	66.5	38.4	22	13.6	*****
31	66.5	576	1063	1123	1570	1098	535		65	88	20	16	*****

I-----VARIABLES--DE-NIAMEY-----

 ANNEE DE DC9 DC6 DC3 DCMOY DCMAX

ANNEE	DE	DC9	DC6	DC3	DCMOY	DCMAX
*44-45	2,88	50	630	1181	529	1490
*45-46	6,06	74	889	1540	1100	1820
*46-47	18,7	263	975	1540	1163	1820
*47-48	8,82	66	697	1225	745	1510
*48-49	3,81	130	848	1420	975	1685
*49-50	5,9	70	749	1333	786	1615
*50-51	3,18	298	1085	1683	1353	1915
*51-52	32,3	700	1176	1713	1306	1925
*52-53	73,4	502	1199	1735	1540	1970
*53-54	96,6	995	1249	1773	1465	2040
*54-55	158	844	1308	1825	1443	2090
*55-56	88	740	1296	1835	1450	2150
*56-57	44	263	960	1540	1125	1785
*57-58	24,8	625	1206	1795	1353	2055
*58-59	45	660	1185	1690	1383	1895
*59-60	32	235	1010	1608	1239	1855
*60-61	22,5	305	1024	1623	1200	1880
*61-62	23	118	930	1510	1245	1775
*62-63	4,31	380	1128	1683	1320	2055
*63-64	54	212	942	1555	1038	1855
*64-65	29,5	468	1188	1750	1398	2070
*65-66	31	435	1085	1713	1405	1945
*66-67	4,42	121	1069	1610	1030	1970
*67-68	5,32	362	1216	2130	1510	2340
*68-69	37,3	249	1001	1590	1010	1920
*69-70	21,4	212	1090	1890	1180	2360
*70-71	31,2	81	820	1420	715	1825
*71-72	13	57	817	1416	705	1824
*72-73	15	42	644	1275	759	1700
*73-74	2,53	29	703	1190	435	1512
*74-75	0,185	84	873	1522	760	1917
*75-76	5,95	108	867	1675	656	2042
*76-77	14	127	857	1582	1014	1957
*77-78	20,2	70,5	674	1076	665	1462
*78-79	5,54	84	887	1447	980	1801

ANNEXE III

- PROGRAMME "ACP" (15)
- TABLEAUX DES TESTS
STATISTIQUES

ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES DES DONNEES DE MOPTI

UTILISATEUR GARBA LAOUALI*****GARBA ALMOUSTAPHA DATE *****LE-1-6-89

METRIQUE NORMEE

NOMBRE DE VARIABLES PRINCIPALES 6
 NOMBRE DE VARIABLES SUPPLEMENTAIRES 0
 INDIVIDUS SUPPLEMENTAIRES OUI:1 NON:2 2
 NOMBRE D'AXES DESIRES 2
 0

ETUDE UNIVARIEE

MOYENNES	ECARTS-TYPES
1.468	0.444
2.020	0.324
2.743	0.314
3.340	0.147
3.058	0.122
3.502	0.066

correlations

1.0000					
0.8238	1.0000				
0.6272	0.8938	1.0000			
0.5581	0.7196	0.6915	1.0000		
0.6397	0.8314	0.8252	0.9352	1.0000	
0.6218	0.7762	0.7221	0.9270	0.9449	1.0000

diagonalisation

1e ligne :valeurs propres

2e ligne:contribution a l' inertie totale

4.8647 0.6319
81.1 10.5

VECTEURS PROPRES (EN COLONNES)

-0.3542 0.6520
-0.4228 0.3601
-0.4004 0.1810
-0.4084 -0.4663
-0.4369 -0.2695
-0.4216 -0.3499

ETUDES DES VARIABLES

1e colonne:coordonnees 2e colonne:correlation(carres)

VARIABLES	COMPOSANTES PRINCIPALES			
	1	2	3	4
nde **	-0.7813	0.6104*	0.5183	0.2686*
dc9 **	-0.9326	0.8697*	0.2863	0.0819*
dc6 **	-0.8831	0.7800*	0.1439	0.0207*
dc3 **	-0.9007	0.8112*	-0.3706	0.1374*
nmo **	-0.9637	0.9287*	-0.2142	0.0459*
max **	-0.9299	0.8647*	-0.2782	0.0774*

plan 1 2 axe 1 horizontal axe 2 vertical

tude des individus

1e colonne:coordonns 2e colonne:cosinus carrs

individus	1	2
A45 **	2.4659	0.8723 * 0.4277 0.0262 *
A46 **	0.2372	0.0630 * -0.9015 0.9103 *
A47 **	-0.9563	0.9687 * 0.0595 0.0038 *
A48 **	2.6328	0.4489 * -1.0972 0.0780 *
A49 **	0.2685	0.0760 * -0.2525 0.0672 *
A50 **	-1.5841	0.9985 * 0.0410 0.0007 *
A51 **	-0.7940	0.4933 * -0.7258 0.4121 *
A52 **	-2.4179	0.9185 * 0.0554 0.0005 *
A53 **	-1.9263	0.9859 * -0.1592 0.0067 *
A54 **	-2.4530	0.9804 * -0.0715 0.0008 *
A55 **	-3.4458	0.9826 * 0.4360 0.0157 *
A56 **	-2.8777	0.9642 * 0.4709 0.0258 *
A57 **	-0.2300	0.0520 * 0.6892 0.4667 *
A58 **	-2.2064	0.9618 * -0.2732 0.0147 *
A59 **	-2.0746	0.9228 * 0.4805 0.0495 *
A60 **	-0.9930	0.9318 * 0.1420 0.0191 *
A61 **	-0.9655	0.9443 * -0.0763 0.0059 *
A62 **	-0.3003	0.2727 * -0.2621 0.2077 *
A63 **	-1.4358	0.9759 * 0.1471 0.0102 *
A64 **	-0.6204	0.6203 * 0.2952 0.1405 *
A65 **	-2.0490	0.9648 * -0.0806 0.0015 *
A66 **	-0.6582	0.8744 * -0.0225 0.0010 *
A67 **	0.1145	0.0344 * -0.4879 0.6238 *
A68 **	-1.4705	0.8590 * -0.4483 0.0798 *
A69 **	-0.0357	0.0022 * 0.4735 0.3888 *
A70 **	-0.7623	0.5181 * -0.3866 0.1333 *
A71 **	-0.3511	0.0388 * 1.5795 0.7858 *
A72 **	1.8358	0.9529 * -0.0218 0.0001 *
A73 **	3.2275	0.7892 * 1.1787 0.1053 *
A74 **	5.7885	0.9777 * 0.6588 0.0127 *
A75 **	3.6576	0.5514 * -3.0315 0.3788 *
A76 **	1.5021	0.7946 * -0.6958 0.1705 *
A77 **	1.6383	0.7971 * -0.1399 0.0058 *
A78 **	5.0927	0.8866 * 1.7297 0.1023 *
A79 **	2.1463	0.9428 * 0.2697 0.0149 *

ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES DES DONNEES DE NIAMEY

UTILISATEUR GARBA LAOUALI-----GARBA ALMOUSTAPHA DATE LE-1-6-89

METRIQUE NORMEE

NOMBRE DE VARIABLES PRINCIPALES 6
 NOMBRE DE VARIABLES SUPPLEMENTAIRES 0
 INDIVIDUS SUPPLEMENTAIRES OUI:1 NON:2 2
 NOMBRE D'AXES DESIRES 2

0

ETUDE UNIVARIEE

MOYENNES	ECARTS-TYPES
1.164	0.571
3.193	0.063
3.015	0.139
2.277	0.414
2.982	0.089
3.272	0.049

correlations

1.0000
 0.3388 1.0000
 0.5187 0.8317 1.0000
 0.6075 0.8093 0.8838 1.0000
 0.4744 0.9216 0.8975 0.9287 1.0000
 0.2746 0.9557 0.7152 0.6890 0.8371 1.0000

diagonalisation

1e ligne :valeurs propres

2e ligne:contribution a l' inertie totale

4.6616	0.8767
77.7	14.6

VECTEURS PROPRES (EN COLONNES)

-0.2622	0.8393
-0.4369	-0.3059
-0.4306	0.0644
-0.4344	0.1827
-0.4517	-0.0725
-0.4028	-0.3991

ETUDES DES VARIABLES

1e colonne:coordonnees 2e colonne:correlation(carres)

VARIABLES	COMPOSANTES PRINCIPALES			
	1	2	3	4
nde **	-0.5662	0.3206*	0.7858	0.6175*
dc3 **	-0.9433	0.8898*	-0.2865	0.0821*
dc6 **	-0.9297	0.8643*	0.0603	0.0036*
dc9 **	-0.9378	0.8795*	0.1711	0.0293*
nmo **	-0.9753	0.9511*	-0.0679	0.0046*
max **	-0.8696	0.7563*	-0.3737	0.1396*

plan 1 2

axe 1 horizontal

axe 2 vertical

tude des individus

1e colonne:coordonns 2e colonne:cosinus carrs

individus

1

2

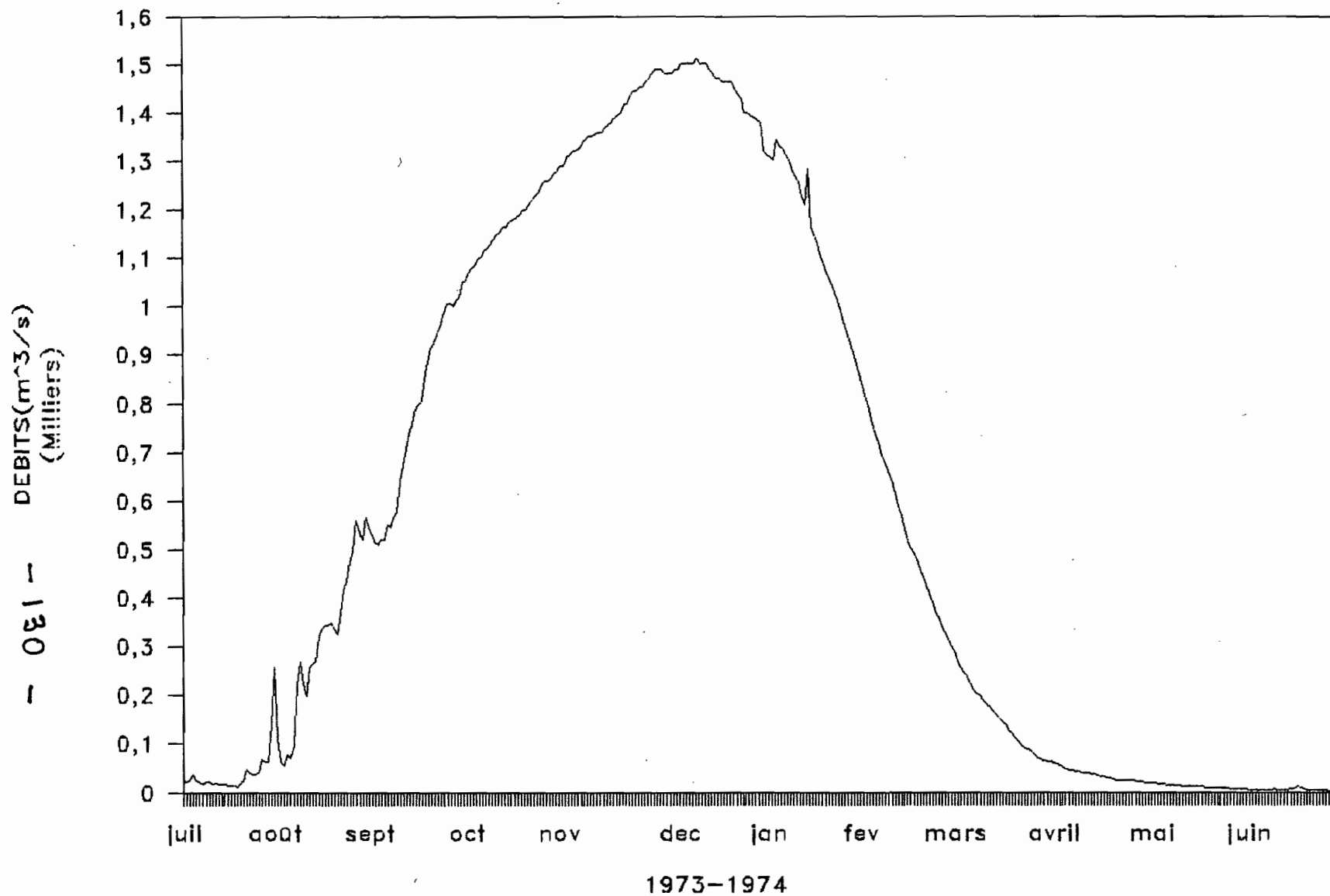
A45 **	4.4063	0.9809 *	0.1083	0.0006 *
A46 **	0.8205	0.4074 *	-0.5833	0.2059 *
A47 **	-0.2604	0.1914 *	0.3576	0.3609 *
A48 **	3.2147	0.9238 *	0.7850	0.0551 *
A49 **	1.4424	0.7294 *	-0.3355	0.0395 *
A50 **	2.5430	0.9794 *	0.1090	0.0018 *
A51 **	-0.8524	0.2457 *	-1.1241	0.4272 *
A52 **	-1.9054	0.8538 *	0.4282	0.0431 *
A53 **	-2.3034	0.8779 *	0.8063	0.1076 *
A54 **	-2.8824	0.8914 *	0.9190	0.0906 *
A55 **	-3.1604	0.8864 *	1.0356	0.0952 *
A56 **	-3.0875	0.9550 *	0.5293	0.0281 *
A57 **	-0.2828	0.0752 *	0.9713	0.8873 *
A58 **	-2.2783	0.9734 *	-0.0937	0.0016 *
A59 **	-1.9419	0.8099 *	0.7216	0.1118 *
A60 **	-0.6774	0.5487 *	0.5208	0.3243 *
A61 **	-0.7889	0.8262 *	0.2676	0.0951 *
A62 **	0.2243	0.0516 *	0.4967	0.2529 *
A63 **	-1.3281	0.4922 *	-1.1518	0.3702 *
A64 **	-0.2418	0.0575 *	0.8947	0.7871 *
A65 **	-2.1417	0.9942 *	0.0013	0.0000 *
A66 **	-1.6384	0.9222 *	0.3175	0.0346 *
A67 **	-0.0748	0.0035 *	-1.1429	0.8207 *
A68 **	-2.8676	0.6637 *	-1.9822	0.3171 *
A69 **	-0.5283	0.3892 *	0.4936	0.3397 *
A70 **	-1.9987	0.5965 *	-0.9852	0.1449 *
A71 **	1.4454	0.5948 *	0.5833	0.0968 *
A72 **	1.8339	0.7945 *	-0.0435	0.0004 *
A73 **	2.9201	0.8668 *	0.5655	0.0325 *
A74 **	4.6272	0.9599 *	-0.2248	0.0023 *
A75 **	1.8470	0.2625 *	-3.0135	0.6988 *
A76 **	0.7399	0.1380 *	-1.2022	0.3645 *
A77 **	0.2577	0.1004 *	-0.2622	0.1040 *
A78 **	3.7522	0.8150 *	1.7033	0.1679 *
A79 **	1.1662	0.7501 *	-0.4703	0.1220 *

o 13-11-1

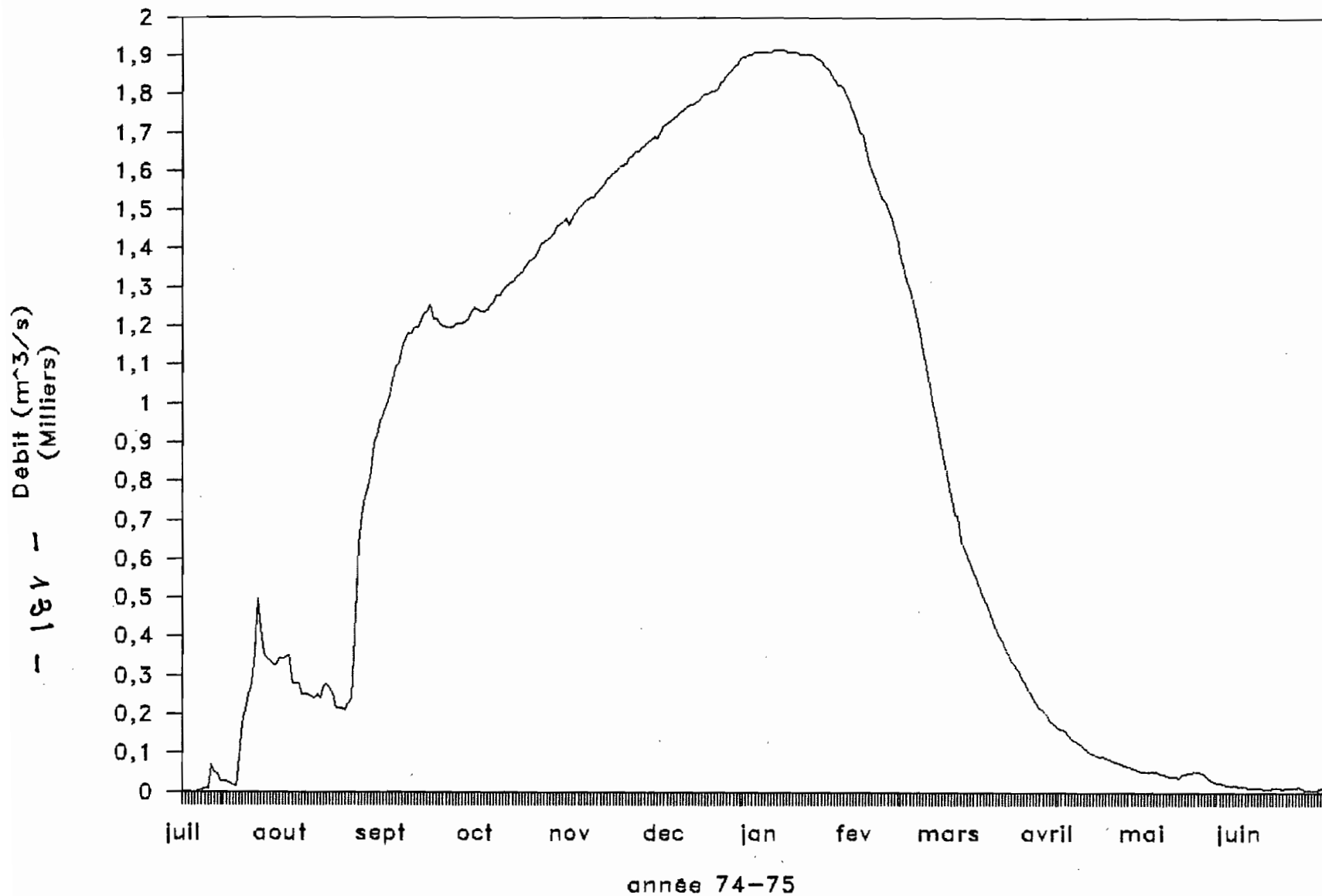
ANNEXE II

HYDROGRAMMES
ET
COURBES DE TARISSEMENT
TYPES
(Niamey)

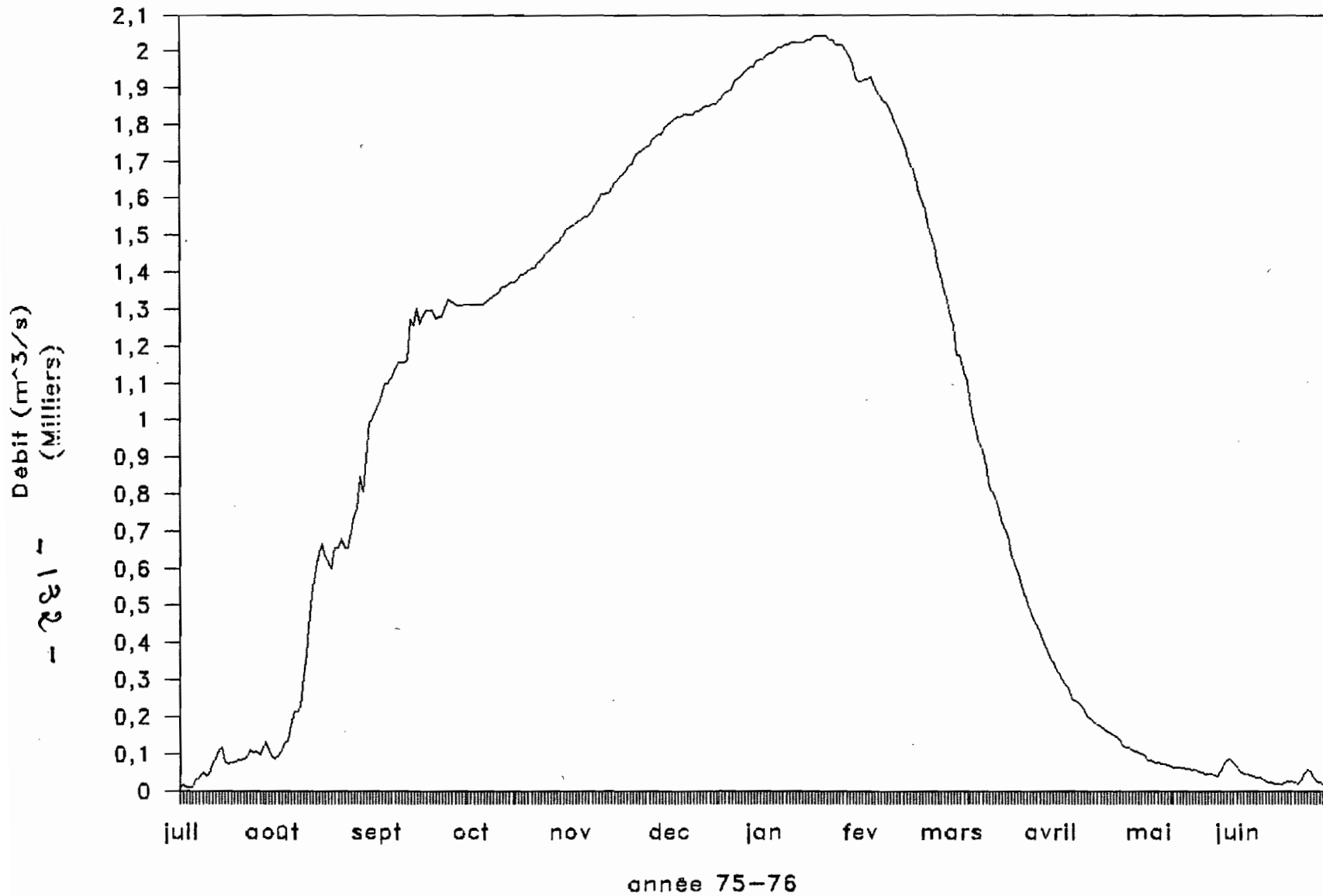
HYDROGRAMME ANNUEL



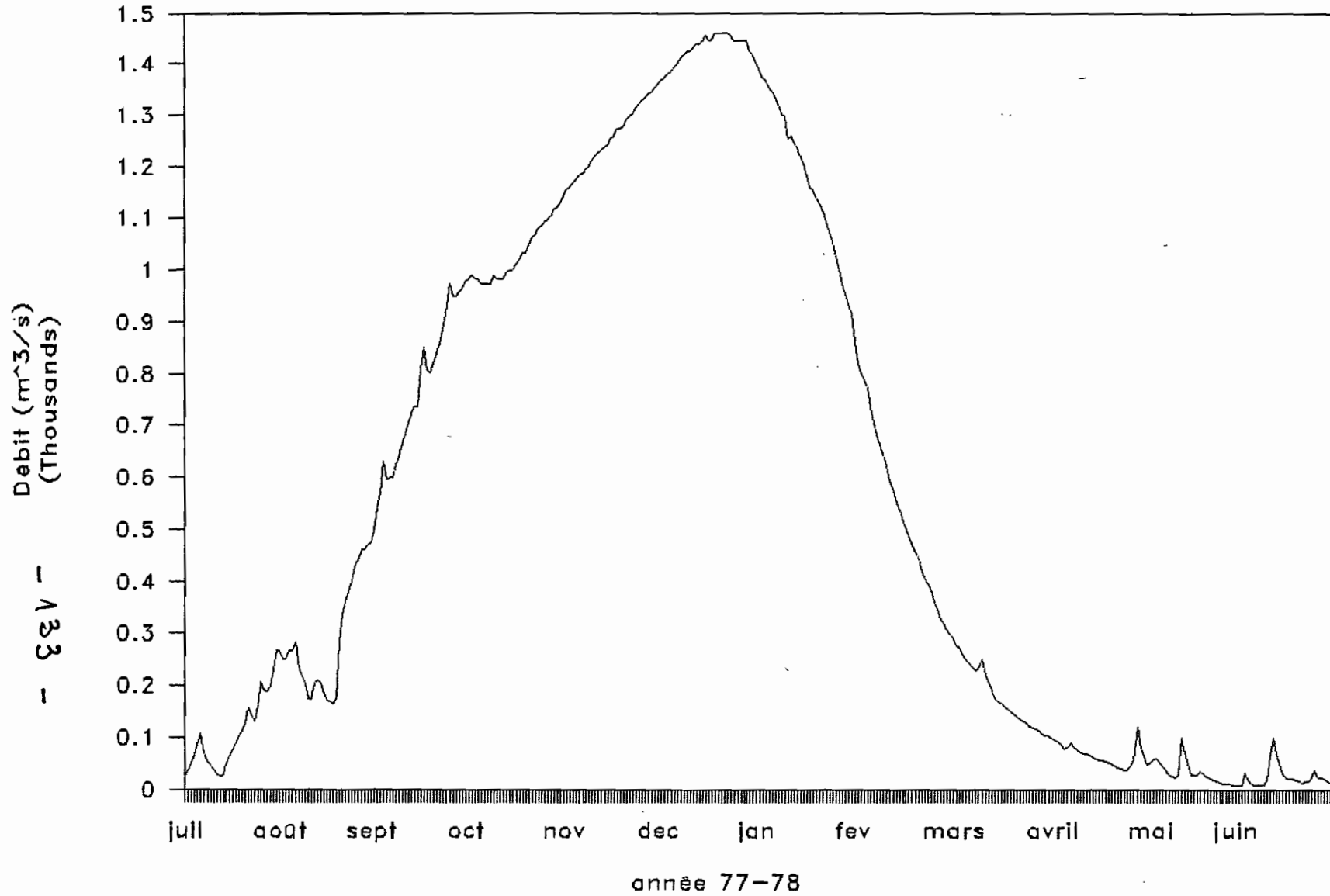
HYDROGRAMME ANNUELLE



HYDOGRAMME ANNUEL

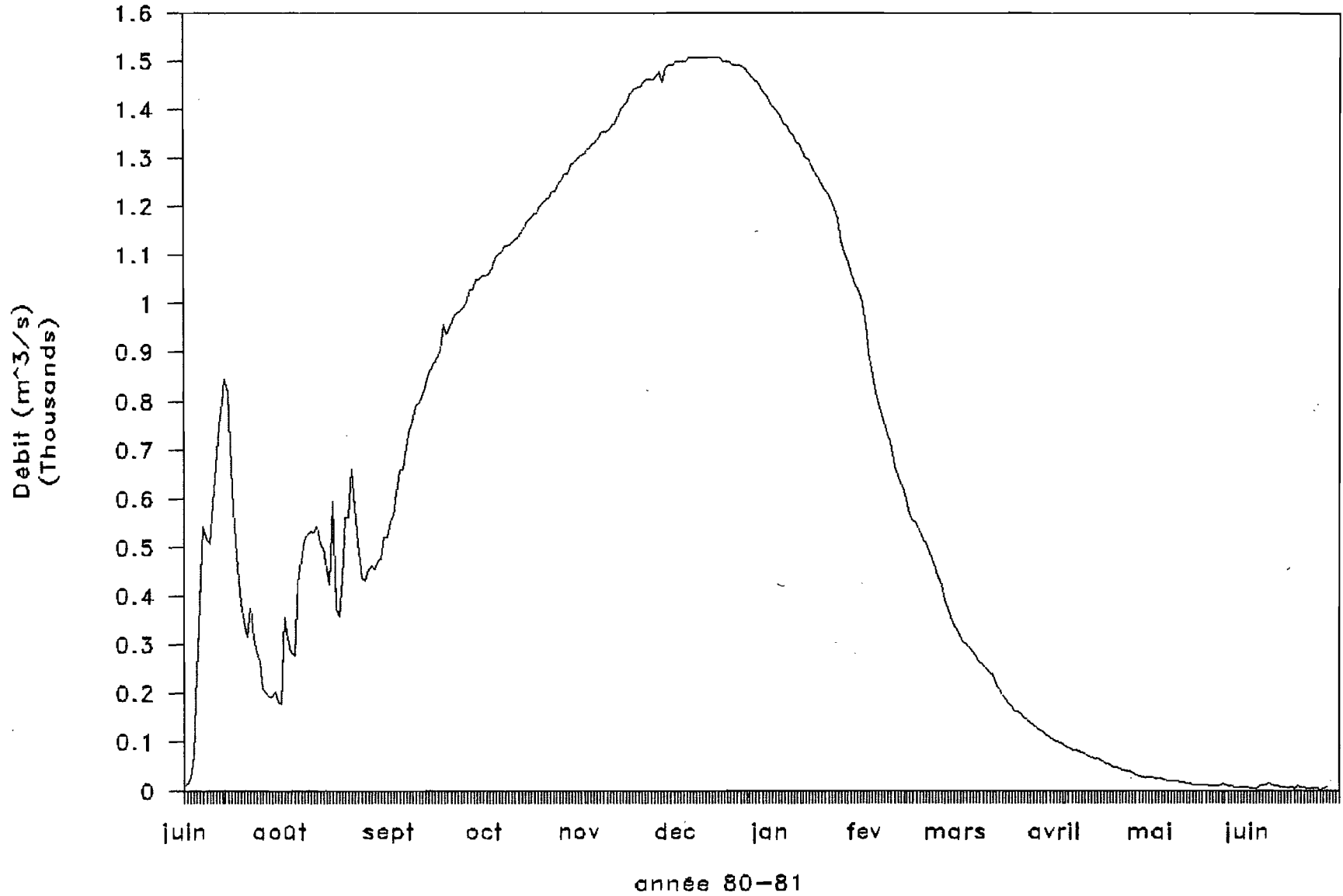


HYDROGRAMME ANNUELLE



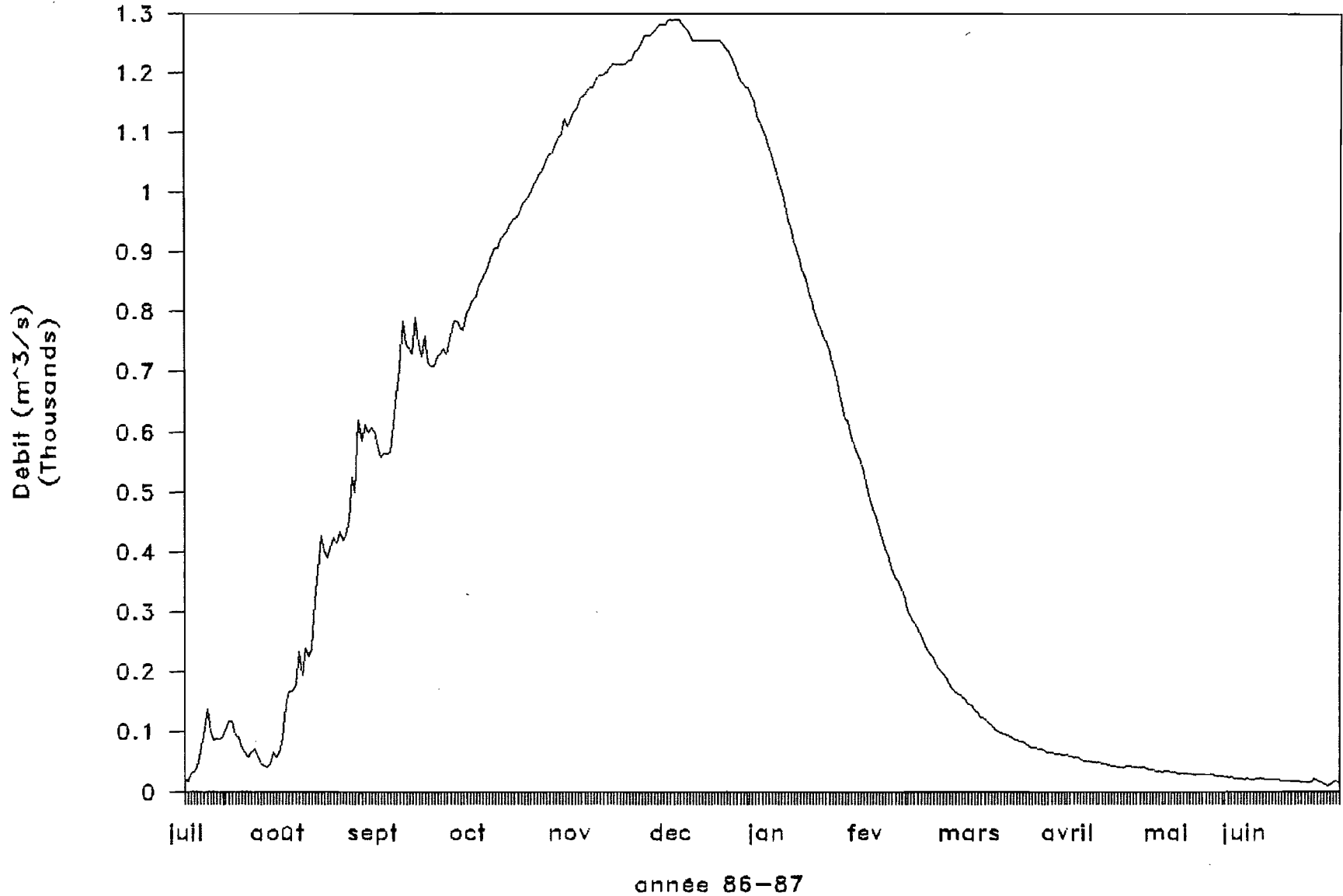
HYDROGRAMME ANNUELLE

- 134 -



HYDROGRAMME ANNUEL

- 58 V -

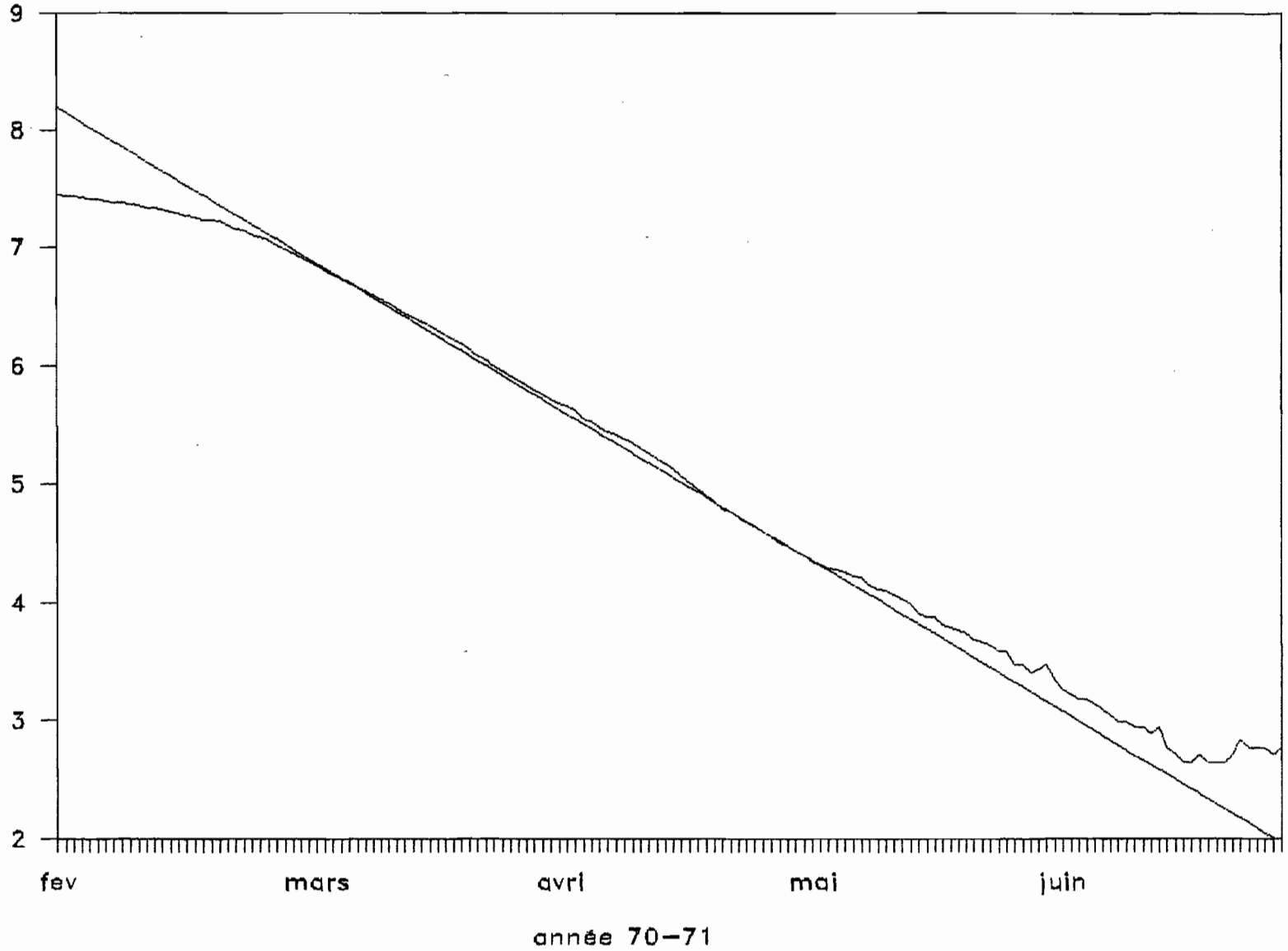


-----VARIABLES DE MOPTI*MALI-----

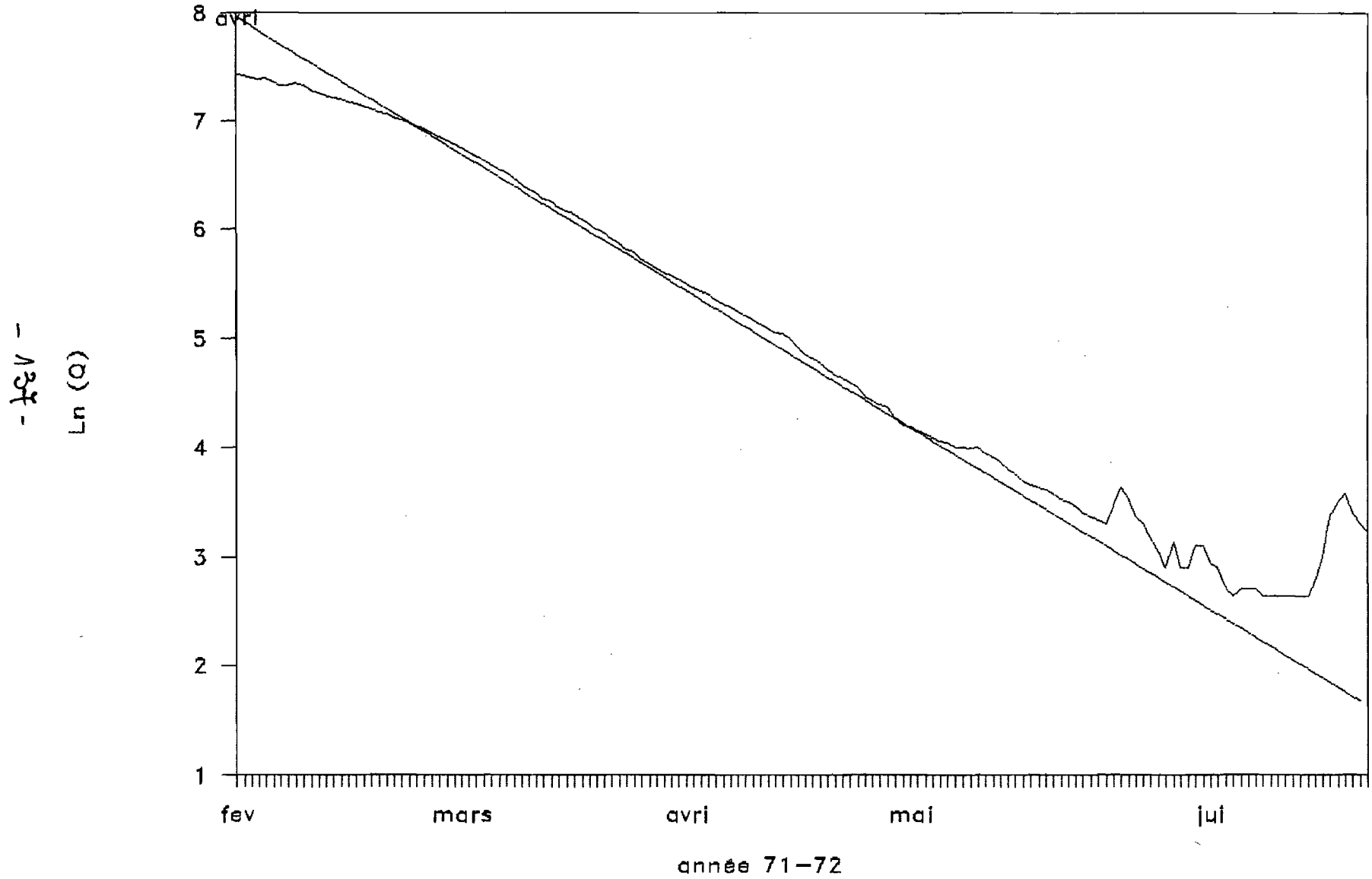
DE	DC9	DC6	DC3	DCMOY	DCMAX	ANNEE
23.6	55.8	174	1590	805	2690	44-45
14.9	78.1	440	2410	1168	3340	45-46
42.7	154	680	2450	1273	3400	46-47
25.4	25.4	51.5	2380	895	2970	47-48
19.6	84.1	570	2040	1367	2940	48-49
52.5	177	883	2680	1382	3520	49-50
24.8	97.3	746	2760	1268	3520	50-51
46.2	321	1250	2930	1581	3560	51-52
53	172	1020	2850	1481	3640	52-53
57.6	236	1230	2880	1562	3800	53-54
127	370	1590	3190	1702	3890	54-55
129	281	1190	2920	1619	3790	55-56
71.6	116	482	1910	1160	3270	56-57
53.5	174	1160	2900	1545	3790	57-58
69.9	279	1080	2720	1429	3460	58-59
50.1	145	731	2550	1221	3390	59-60
44.9	122	739	2570	1296	3390	60-61
33.5	101	497	2380	1169	3410	61-62
54.2	183	782	2570	1350	3490	62-63
57.6	119	627	2400	1182	3270	63-64
47	246	977	2950	1457	3600	64-65
36.2	117	768	2420	1249	3270	65-66
25.7	78.8	448	2430	1144	3270	66-67
45.1	125	746	2750	1457	3670	67-68
38.9	116	707	2280	1098	2910	68-69
30.2	94.4	899	2670	1324	3260	69-70
76	263	649	1850	948	3070	70-71
17.9	50.2	321	1720	866	2930	71-72
14.5	47.7	464	1310	689	2190	72-73
4.69	22.1	113	767	562	2200	73-74
0.435	21.8	221	1890	894	2910	74-75
10.6	48.6	378	1910	982	3060	75-76
10	75	431	1910	954	2660	76-77
13	32.1	180	716	551	2190	77-78
12.7	61.6	384	1580	858	2640	78-79

DROITE DE TARISSEMENT

- 92 V -
Ln (Q)



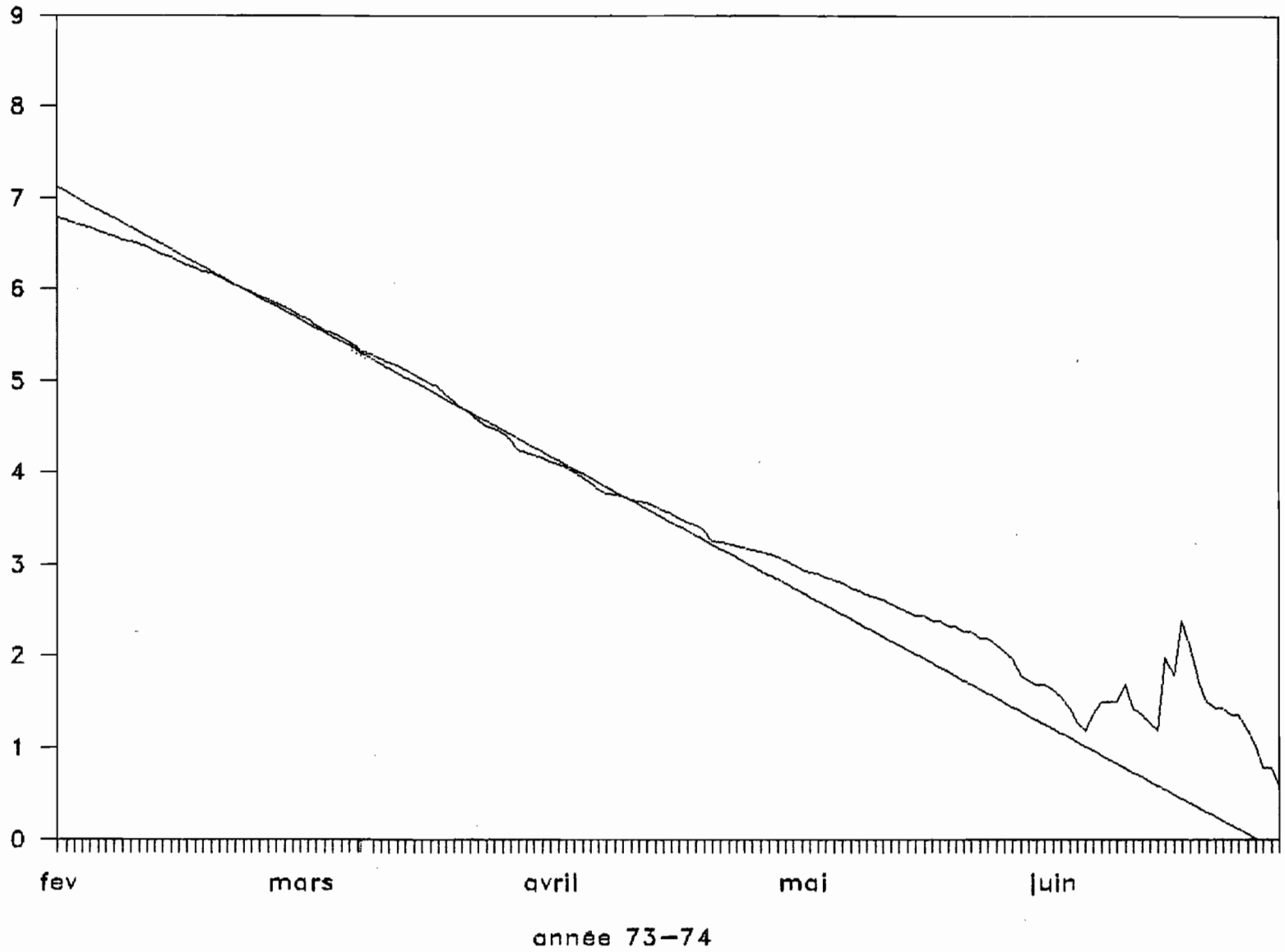
COURBE DE TARISSEMENT



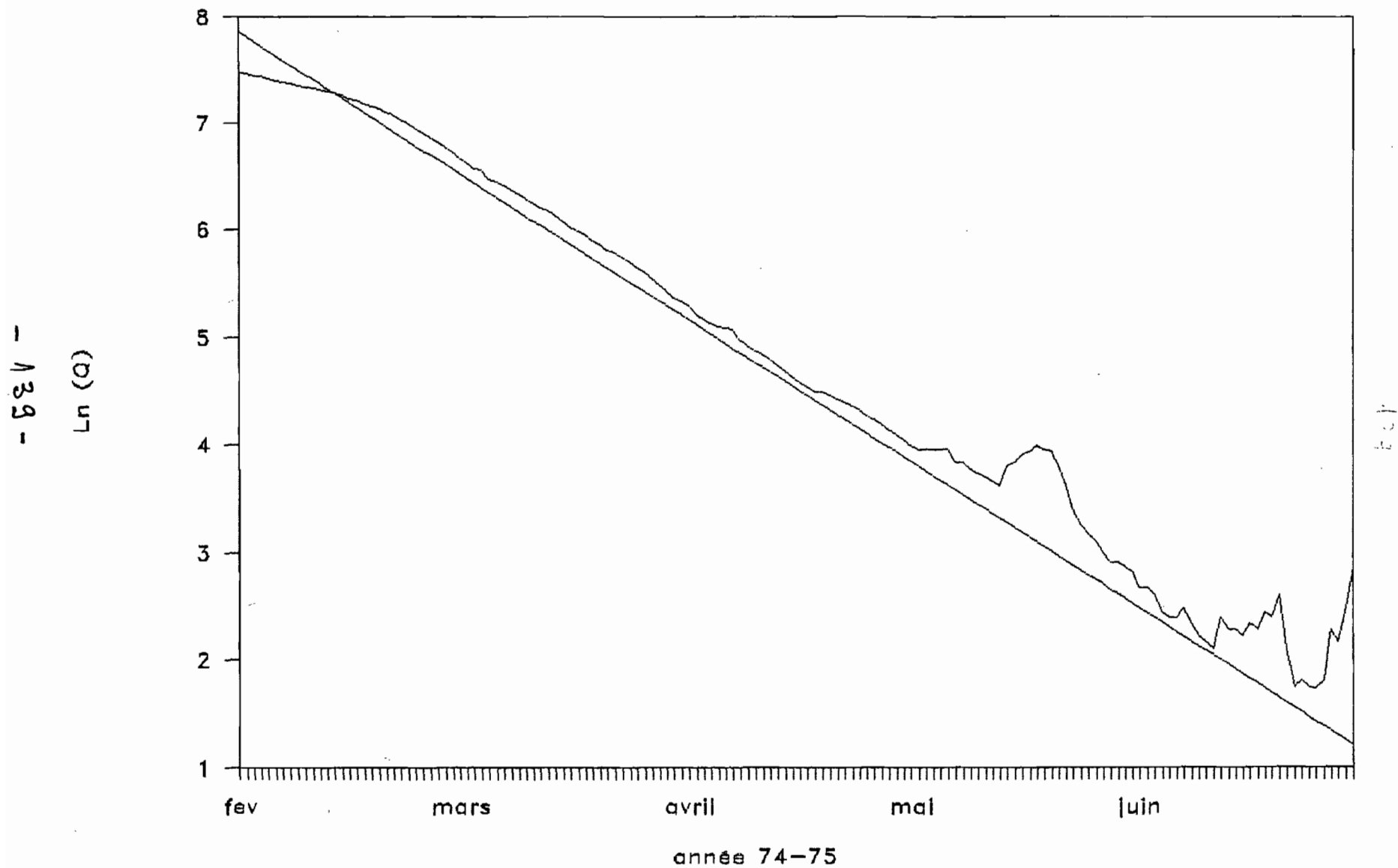
COURBE DE TARISSEMENT

- 138 -

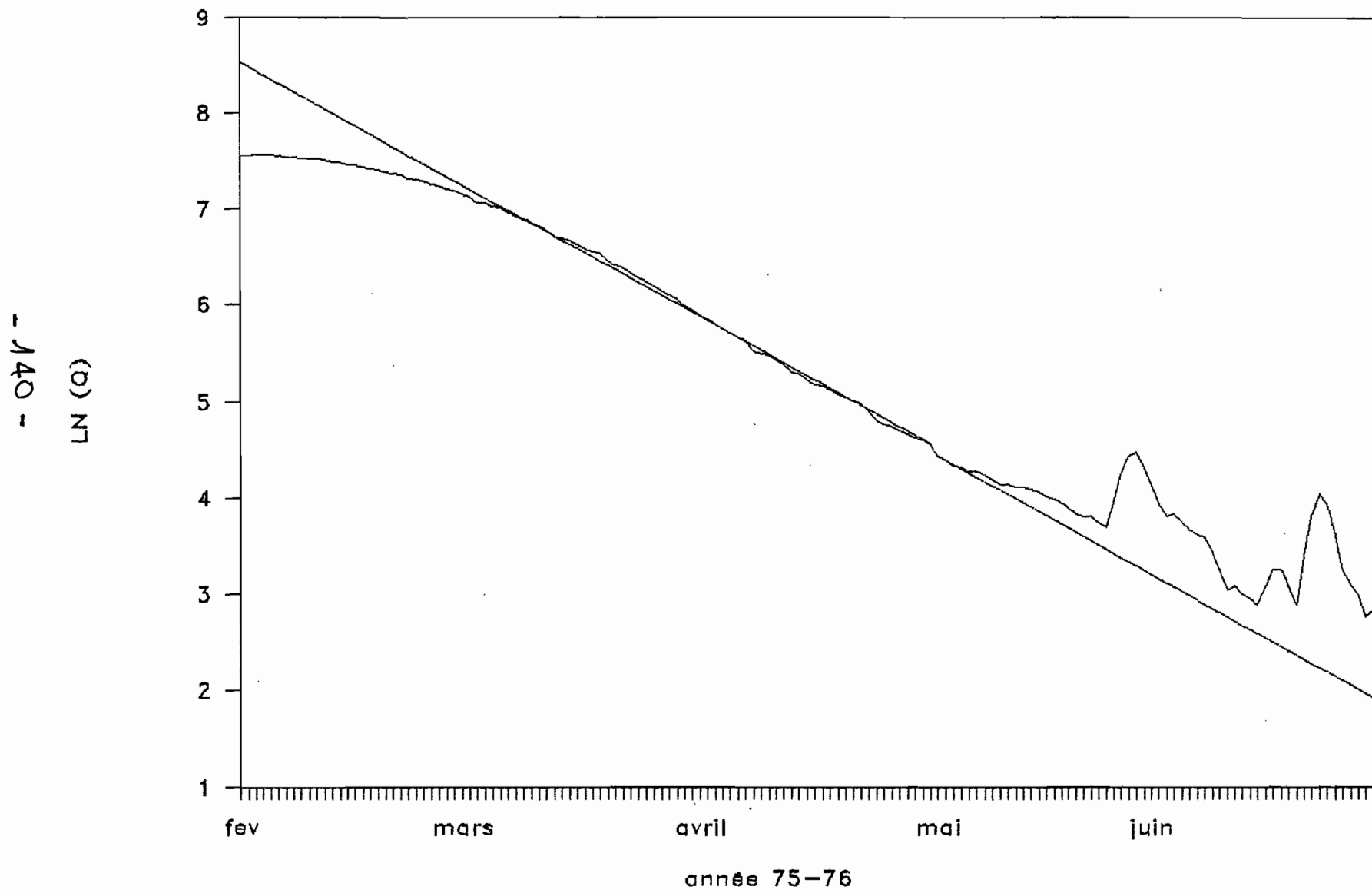
$\ln(Q)$



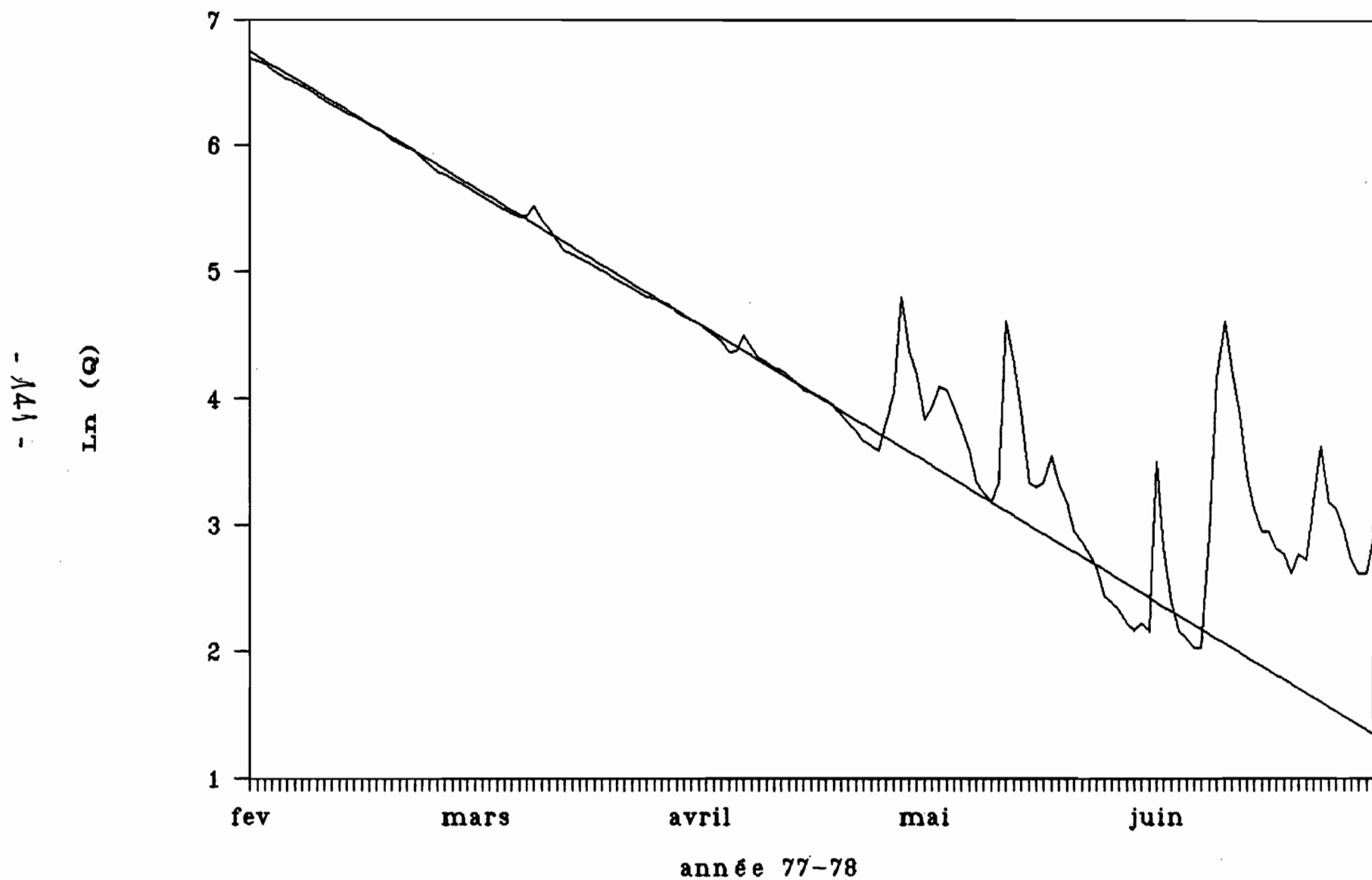
COURBE DE TARISSEMENT



COURBE DE TARISSSEMENT

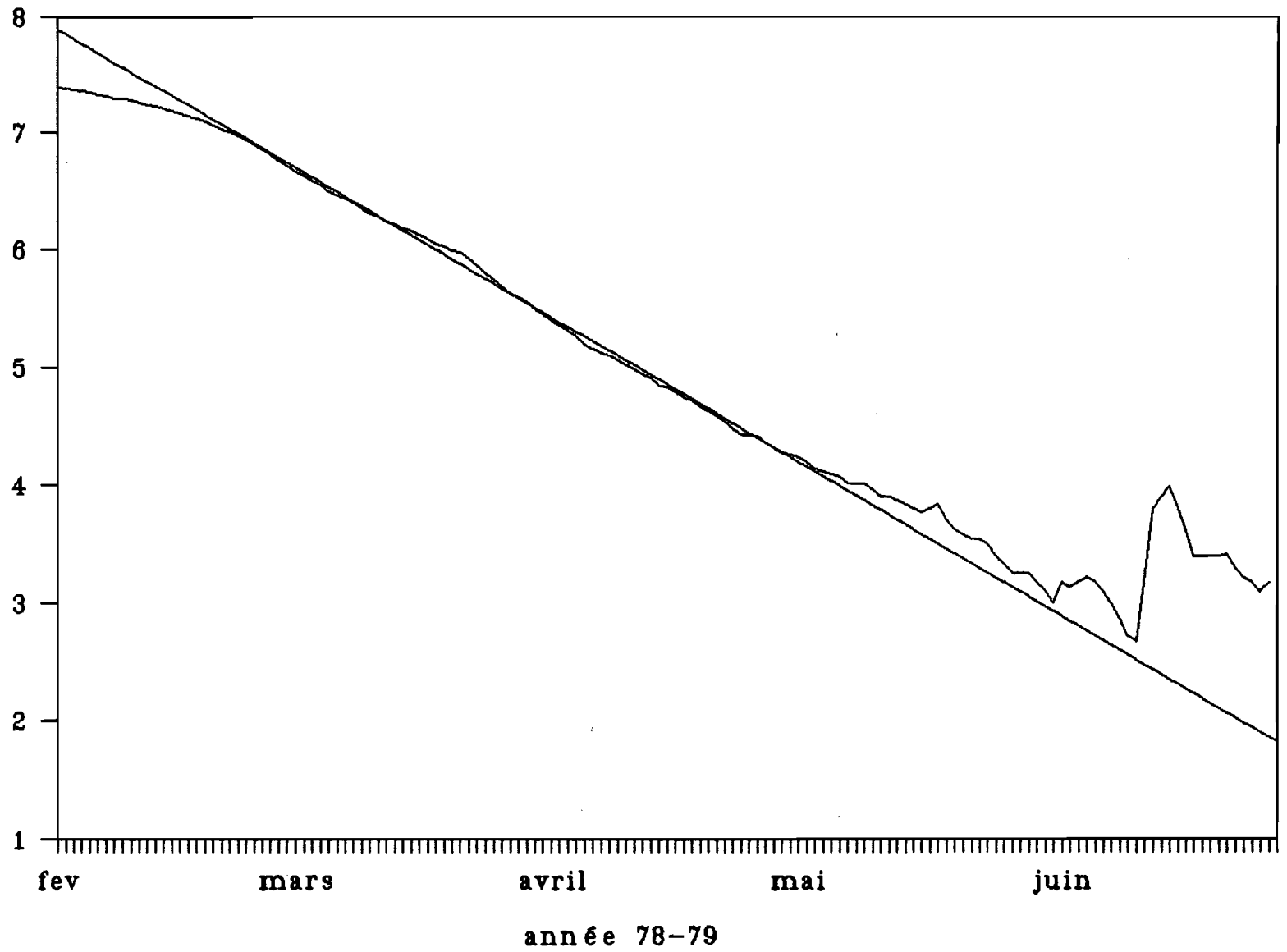


COURBE DE TARISSEMENT

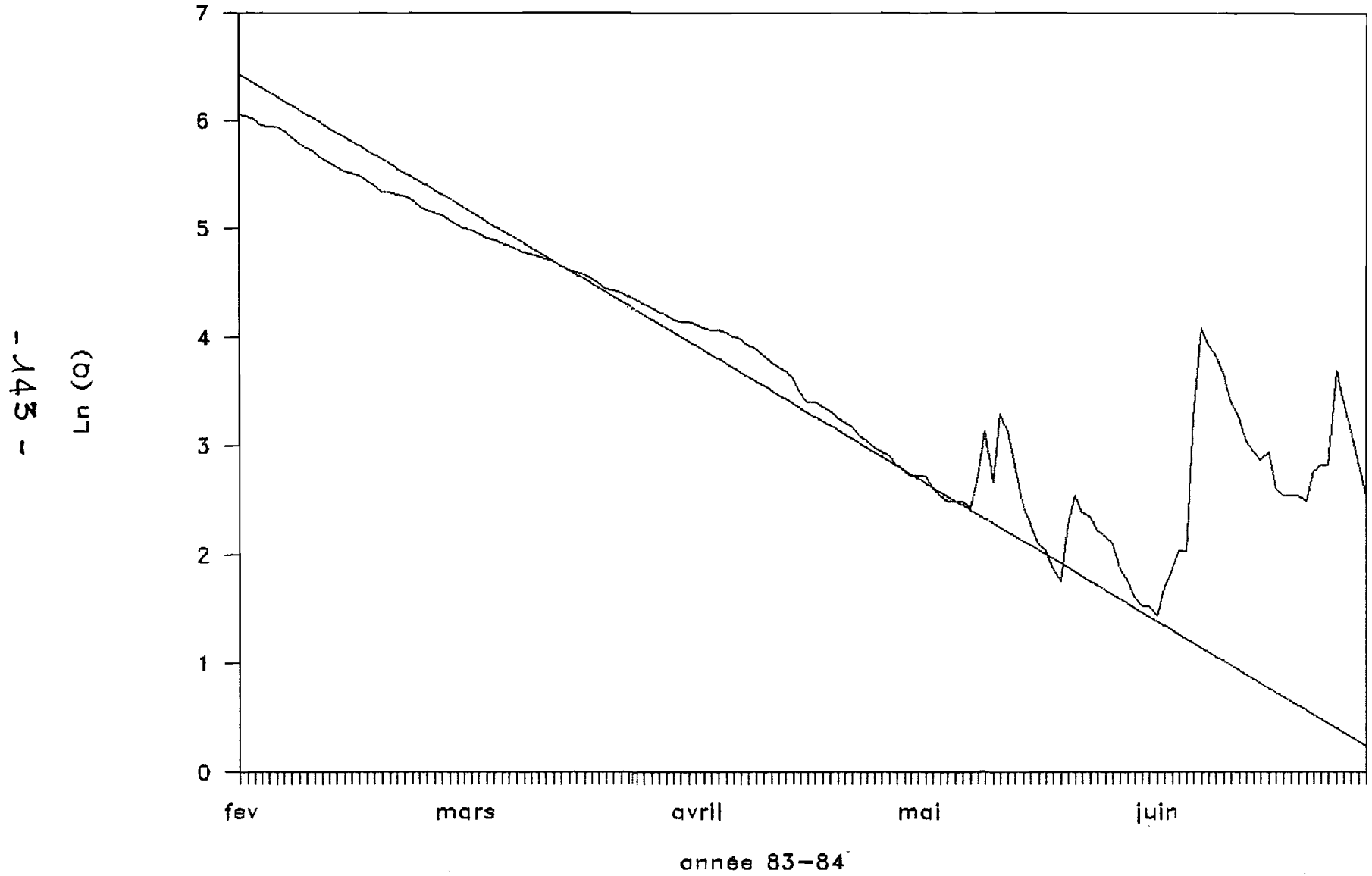


COURBE DE TARISSEMENT

(b) UT
- 142 -



COURBE DE TARISSEMENT



COURBE DE TARISSEMENT

- 144 -

(9) NT

