

ORGANISATION POUR LA MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

ORSTOM

MARCHE FAC N° 9/87/OMVS DU 15.12.87

**HOMOGENEISATION ET COMPLETEMENT DE
LA BANQUE DE DONNEES HYDROMETRI-
QUES DU BASSIN DU SENEGAL EN AMONT
DE BAKEL**

J.C. BADER

DAKAR, DECEMBRE 1990

SOMMAIRE

page

3	INTRODUCTION
3	1-HOMOGENEISATION DES COTES
3	1-Renseignements tirés de la Monographie du Sénégal
5	2-Elimination des données aberrantes, et correction des données hétérogènes
5	1-Elimination de données manifestement fausses
5	2-Hétérogénéités mises en évidence par la méthode du cumul des résidus.
5	1-Principe de la méthode [3]
6	2-Données corrigées
8	2-RECONSTITUTION DES DONNEES MANQUANTES
8	1-Equations de régression liant les cotes moyennes journalières des différentes stations
12	2-Equations de tarissement
13	3-Calculs de reconstitution de cotes
16	4-Conclusion
16	3-CALCUL DES DEBITS MOYENS JOURNALIERS
17	Bibliographie
18	Annexe A : Description de la chaîne de traitements informatique.
22	Annexe B : Inventaire des données supprimées dans les fichiers originaux de cotes moyennes journalières
24	Annexe C : Tracés des cumuls de résidus à la base des corrections de cotes
25	Annexe D : Graphiques des régressions inter-stations

INTRODUCTION

Dans le présent rapport, figurent les résultats des travaux relatifs au point 4.1.a de l'ordre de service n° 262 du 29 Mars 1990.

Ces travaux concernent la reconstitution des données manquantes dans la banque de données hydrométriques du bassin du Sénégal en amont de Bakel.

Cette banque de données doit être utilisée par la suite pour simuler, au pas de temps journalier, différents modes de gestion de la retenue de Manantali. Ceci requiert des chroniques de données complètes et homogènes, aussi longues que possible.

Le travail a donc consisté dans un premier temps, à vérifier l'homogénéité des données disponibles. Ne disposant pour chaque station (sauf Gourbassy sur la Falémé) que de 1 étalonnage au plus, il s'agissait de s'assurer que les cotes correspondantes étaient bien relatives à un unique plan d'eau et un unique zéro d'échelle. Dans certains cas, il s'est avéré nécessaire de corriger les cotes de certaines périodes, pour que cette condition puisse être vérifiée.

Parallèlement certaines cotes manifestement fausses ont été éliminées de la banque.

Dans un deuxième temps, les chroniques ont été complétées par régression linéaire simple ou double, ou par équation de tarissement.

1- HOMOGENEISATION DES COTES

1-1-Renseignements tirés de la Monographie du Sénégal

La Monographie du bassin du Sénégal [1] nous donne une description très détaillée des modifications de zéros d'échelle ayant affecté chaque station, de sa création à 1965. L'auteur en déduit les translations à effectuer sur les cotes, afin de rapporter celles-ci aux zéros d'échelles relatifs à la période 1958-1965, pendant laquelle, a priori, aucune station n'a vu son zéro décalé.

Se pose alors la question de savoir si les cotes figurant dans la banque [2] pour les années antérieures à 1965, correspondent aux lectures d'échelles originales, ou au contraire intègrent les translations sus-mentionnées.

Pour répondre à cette question, on peut se reporter à la quatrième partie de la monographie, donnant pour une grande partie des stations, les tableaux de débits moyens journaliers antérieurs à 1965, calculés à partir des cotes homogénéisées. Pour une station donnée, il suffit de repérer dans ces tableaux, deux débits journaliers égaux situés de part et d'autre d'une date de changement de zéro, et de noter les cotes correspondantes dans la banque. Il suffit de relever ainsi quelques couples pour pouvoir conclure très simplement, de la façon suivante, pour les stations à étalonnage bi-univoque:

- Si pour chaque couple de débits égaux, les cotes dans la banque sont égales, alors on déduit que celles-ci sont également homogènes, puisque la chaîne de traitements automatiques utilisée à l'ORSTOM lors de la réalisation de la monographie, calculait les débits journaliers non pas par la méthode des trapèzes utilisée actuellement, mais par traduction simple des cotes dans le cas d'une lecture par jour.
- Si au contraire les cotes sont inégales (et donc en principe décalées d'une valeur égale au changement de zéro signalé), on déduit que celles-ci correspondent aux cotes originales et n'ont pas été homogénéisées.

Ces investigations ont donné les résultats suivants:

Les cotes sont homogènes aux stations suivantes:

- La Falémé à Fadougou (1952-1965)
- La Falémé à Gourbassi (1954-1965)
- La Falémé à Kidira (1951-1965)
- Le Bafing à Daka-Saïdou (1952-1965)
- Le Bafing à Dibia (1956-1965)
- Le Bafing à Deguerre (1951-1957)
- Le Bakoye à Oualia (1954-1965)
- Le Sénégal à Galougo (1951-1965)
- Le Sénégal à Gouina (1956-1965)
- Le Sénégal à Kayes (1903-1965)

Les cotes ne sont pas homogènes à la station suivante:

- Le Bakoye à Kale (1951-1965)
A cette station, les cotes antérieures à 1955 doivent être augmentées de 16cm.

On ne peut pas conclure pour les stations suivantes:

- Le Bakoye à Toukoto (1952-1965)
A cette station, une incertitude subsiste dans la monographie quant au calage du zéro de l'échelle antérieure à 1954 (5cm ou 62cm plus bas que le zéro de l'échelle implantée en 1954 ?). L'examen de différents couples de débits égaux situés de part et d'autre de 1954, donne des cotes décalées de façon variable (49cm, 14cm, 10cm) dans la banque. Ces décalages ne correspondent pas au décalage de zéro signalé et ne permettent donc pas de conclure.
- Le Sénégal à Bakel (1903-1965)
Cette station a un étalonnage non bi-univoque.
- Le Sénégal à Matam (1903-1965)
Même remarque que pour Bakel.
- Les stations du haut bassin du Sénégal figurant dans la banque de données, et pour lesquelles ne figurent pas de tableau de débits moyens journaliers dans la monographie. Ces stations étaient soit non prises en compte, soit non étalonnées au moment de la réalisation de la monographie.

Conclusion

Les cotes antérieures à 1965 figurant dans la banque de données, semblent avoir été homogénéisées conformément aux prescriptions de la monographie pour une majeure partie des stations. Pour une station (Le Bakoye à Kale), l'homogénéisation n'a pas été faite, et pour quelques stations, on ne peut pas conclure.

Il faut signaler par ailleurs que certaines données reconstituées pour les besoins de la monographie (signalées entre parenthèses dans les tableaux de débits moyens journaliers), ne figurent pas dans la banque de données. C'est le cas en particulier de certaines reconstitutions de décrues.

Inversement, les périodes 1904-1951 pour le Bakoye à Toukoto, et 1930-1950 pour la Falémé à Kidira, figurent dans la banque et sont absentes des tableaux de débits moyens journaliers de la monographie. Pour Toukoto, les données sont jugées inutilisables par l'auteur. Pour Kidira, la période comporte non seulement des changements de zéro, mais aussi un changement du plan d'eau contrôlé, rendant problématique la recherche des correspondances.

1-2-Elimination des données aberrantes, et correction des données hétérogènes

Une recherche systématique des correspondances entre stations a été effectuée sur une grande partie des stations du haut bassin, dans le double but de vérifier l'homogénéité des données et de déterminer des relations permettant de reconstituer les données manquantes.

Afin de pouvoir, dans ces objectifs, utiliser un maximum de données disponibles, il a été décidé de travailler sur les cotes et non sur les débits, car certaines stations ne sont pas étalonnées.

Le but final étant d'utiliser la banque pour faire de la modélisation au pas de temps journalier, les calculs ont été faits sur les cotes moyennes journalières.

L'avantage de travailler sur des cotes moyennes journalières plutôt que sur des chroniques de cotes instantanées au pas de temps journalier, est de donner de meilleures correspondances entre les stations, ce qui permet des reconstitutions par régression plus fiables.

L'inconvénient réside dans le fait de calculer ensuite les débits moyens journaliers par :

cotes moyennes journalières -> débits moyens journaliers

Ce calcul est moins rigoureux que celui fait à partir des cotes instantanées :

cotes instantanées -> débits instantanés -> débits moyens journaliers

Toutefois, les résultats diffèrent suffisamment peu entre les deux méthodes pour nous permettre de procéder ainsi.

La chaîne de traitements informatique utilisée pour les différents calculs est présentée en détails dans l'annexe A.

1-2-1-Elimination de données manifestement fausses

Parallèlement à la recherche des erreurs systématiques pouvant correspondre à des décalages d'échelles, on a tenté de débarrasser la banque de données des erreurs aléatoires flagrantes, dues à des fautes de frappe ou à la saisie de relevés purement inventés par les lecteurs.

Les données à éliminer ont été repérées dans un premier temps, par une visualisation systématique des hydrogrammes, année par année, à l'aide du logiciel HYDROM.

Par la suite, les points anormalement écartés des courbes de régression inter-stations (repérés également par visualisation graphique) ont fait l'objet d'un contrôle fin avec HYDROM avant d'être, en cas d'erreur flagrante, également éliminés.

Il va de soit que ces contrôles n'ont permis d'éliminer que des valeurs manifestement fausses, et que la justesse des données conservées n'en est pas, pour autant, garantie.

La liste des cotes moyennes éliminées figure en annexe B

1-2-2-Hétérogénéités mises en évidence par la méthode du cumul des résidus.

1-2-2-1-Principe de la méthode [3]

Soient X et Y deux variables aléatoires normales, liées sur une chronique de taille N par la régression linéaire suivante:

$$Y(j) = a \cdot X(j) + b + r(j)$$

r, résidu de la régression, suit aussi une loi de répartition normale, et vérifie en outre:

$$\begin{aligned} r(1) + r(2) + r(3) + \dots + r(N) &= 0 \\ r(1) \cdot X(1) + r(2) \cdot X(2) + \dots + r(N) \cdot X(N) &= 0 \end{aligned}$$

Le cumul des résidus, C, de rang j, vaut quant à lui:

$$C(j) = C(j-1) + r(j) \quad (\text{sachant que } C(0) = 0)$$

Si l'on note S_r l'écart type résiduel, on montre que $C(j)$ est également distribué suivant une loi normale, de moyenne nulle et d'écart type S_c vérifiant:

$$S_c(j) = S_r \cdot ((j \cdot (n-j)) / (n-1))^{0,5} .$$

Supposons maintenant qu'à partir du rang $p+1$, Y soit affecté d'une erreur systématique additive D . On montre dans ce cas que l'espérance mathématique E de $C(j)$ n'est plus nulle, mais dépend du rang j et dessine deux segments de droite dans le plan j, C :

$$\begin{aligned} E(C(j)) &= -j*(N-p)*D/N && \text{pour } j < p+1 \\ E(C(j)) &= -(N-j)*p*D/N && \text{pour } j > p \end{aligned}$$

Autrement dit, l'espérance mathématique de E n'est plus nulle, mais est donnée par :

$$\begin{aligned} E(r(j)) &= E1 = -(N-p)*D/N && \text{pour } j < p+1 \\ E(r(j)) &= E2 = p*D/N && \text{pour } j > p \end{aligned}$$

On constate donc que l'erreur systématique D vaut $E2-E1$. Or $E2$ et $E1$ peuvent être facilement évalués à partir du tracé $C(j)$, puisqu'ils représentent la pente moyenne de $C(j)$ avant et après le rang p respectivement.

Le raisonnement peut être généralisé au cas où se présentent dans l'échantillon, plusieurs périodes entachées d'erreurs systématiques additives différentes.

En pratique, on peut suspecter des décalages de zéro quand la courbe $C(j)$ présente des portions importantes de variation quasi-linéaire. Toutefois, la méthode sera appliquée de préférence sur des régressions bien linéaires, sachant que dans les autres cas, l'observation de plages de cotes différentes selon les périodes (absence de données anciennes de basses eaux, ou périodes relativement sèches), peuvent également provoquer des variations non aléatoires de $C(j)$.

1-2-2-2-Données corrigées

Un tracé du cumul des résidus a été fait systématiquement pour chaque calcul de régression. Parmi les anomalies détectées sur ces tracés, seules ont entraîné des corrections, celles qui étaient flagrantes et de préférence confirmées par plusieurs indices. Les graphiques en question sont présentés dans l'annexe C.

Les stations dont les données ont été corrigées sont les suivantes:

--LE BAKOYE A DIANGOLA

La corrélation -certes lâche- avec Toukoto montre une hétérogénéité manifeste, correspondant à des cotes trop faibles de 104 cm de 1973 à 1982.

Une confirmation qualitative est apportée par comparaison des hydrogrammes de 1982 et 1983 des deux stations.

Correction effectuée: +100 cm du 1.1.73 au 31.12.82

--LE BAKOYE A TOUKOTO

Une hétérogénéité nette est mise en évidence, à la fois à partir de Dualia sur le Bakoye, et de Galougo sur le Sénégal (station pour laquelle l'excellente corrélation avec Kayes -station de référence dont le zéro n'a pas du changer depuis l'origine [1]- indique que les données sont fiables et homogènes).

Les cotes de Toukoto sont trop fortes du 1.1.63 au 31.5.72, de 13 cm par rapport à Galougo, et de 9 cm par rapport à Dualia.

L'hydrogramme de décrue de Toukoto montre par ailleurs un décalage brusque de 10cm entre le 31.12.62 et le 1.1.63.

Correction effectuée: -10 cm du 1.1.63 au 31.5.72

En ce qui concerne les données anciennes, antérieures à 1954, plusieurs décalages peuvent être décelés à partir de Kayes et Bafoulabé (cette station ayant été au préalable homogénéisée) sur le Sénégal.

Les cotes de Toukoto sont trop:

fortes de 1904 à 1911 de 146 cm (Kayes) ou 141 cm (Bafoulabé)
faibles de 1912 à 1914 de 65 cm (Kayes) ou 60 cm (Bafoulabé)
fortes de 1915 à 1920 de 69 cm (Kayes) ou 66 cm (Bafoulabé)
faibles de 1921 à 1936 de 27 cm (Kayes) ou 19 cm (Bafoulabé)
fortes de 1937 à 1954 de 30 cm (Kayes) ou 31 cm (Bafoulabé)

Ces décalages ne correspondent pas à celui qui était indiqué, avec beaucoup de réserves, dans la monographie (cotes antérieures à 1954 trop fortes de 5cm ou 62 cm).

Nous avons cependant pris le parti d'effectuer les corrections correspondantes, qui entraînent une diminution très importante de l'écart type résiduel, qui passe respectivement de 42 cm à 25 cm pour la régression à partir de Kayes, et de 54 cm à 31 cm pour la régression à partir de Bafoulabé.

Corrections effectuées: -143 cm de 1904 à 1911
 + 62 cm de 1912 à 1914
 - 68 cm de 1915 à 1920
 + 23 cm de 1921 à 1936
 - 30 cm de 1937 à 1954

--LE SENEGAL A BAFOLABE

On détecte une hétérogénéité évidente à partir des données de Kayes. Toutefois, la régression n'étant pas linéaire entre les deux stations, la méthode du cumul des résidus doit être appliquée sur une plage restreinte de cotes (Kayes > 300 cm), pour laquelle la régression est linéaire. On trouve alors que les cotes de Bafoulabé sont trop faibles de 13 cm de 1904 à 1919, et trop faibles de 65 cm de 1920 à 1951.

Le nuage de points (cote observée, cote calculée par régression) indique que le décalage de 65 cm concerne probablement la plage de cotes entière de Bafoulabé.

Par ailleurs, la monographie indique les décalages de zéro suivants, par rapport au calage postérieur à 1952:

+ 10 cm de 1904 à 1919
 + 61 cm de 1920 à 1950
 + 50 cm de 1951 à 1952

La concordance est très bonne avec les résultats obtenus par cumul des résidus.

Corrections effectuées: + 10 cm de 1904 à 1919
 + 61 cm de 1920 à 1951

--LE BAFING A DIBIA

L'hétérogénéité peut être mise en évidence, de façon concordante, à partir de quatre stations. On trouve que les cotes de Dibia sont trop faibles du 1.4.67 au 18.7.68 et du 1.5.69 au 28.2.73, de:

100 cm par rapport à Makana sur le Bafing
 100 cm par rapport à Daka-Saïdou sur le Bafing
 107 cm par rapport à Soukoutali sur le Bafing
 96 cm par rapport à Galougo sur le Sénégal

L'examen des limnigrammes montre en outre l'existence d'un décalage brusque de 100 cm entre le 28.2.73 et le 1.3.73, ainsi qu'une variation brutale (et anormale comparée aux limnigrammes de Makana et Mahina) le 18.7.68. Les dates du 1.5.69 et du 1.4.67 sont en périodes de lacune d'observation.

Corrections effectuées: + 100 cm du 1.4.67 au 18.7.68
 + 100 cm du 1.5.69 au 28.2.73

--LA FALEME A GOURBASSI

L'échantillon, hétérogène, montre une anomalie consistant en des cotes trop fortes du 1.6.73 au 31.12.79, de:

101 cm par rapport à Fadougou sur la Falémé
 96 cm par rapport à Mousala sur la Falémé

Les dates limites du décalage apparaissent de façon évidente sur les hydrogrammes (Saut de 100 cm entre le 31.12.79 et le 1.1.80, et tracé anormalement élevé par rapport à celui de Fadougou à partir du 1.6.73, date succédant à une période en lacune d'observation).

Correction effectuée: - 100 cm du 1.6.73 au 31.12.79

--LA FALEME A KIDIRA

La correspondance avec la station de Bakel sur le Sénégal fait apparaître deux décalages dans les cotes anciennes, qui seraient:

trop faibles de 100 cm de 1930 à 1932
 trop faibles de 26 cm de 1933 à 1946

La monographie indique par ailleurs, avec réserves, des décalages de zéro de 90 cm et 20 cm respectivement, pour les mêmes périodes. Il y est également mentionné une dénivellée non négligeable entre les plans d'eau contrôlés, rendant en principe variable avec la cote, les correspondances entre échelles.

Nous ne pouvons ici tenir compte de ce second détail, et nous contenterons de remarquer la relative concordance entre les décalages obtenus et ceux indiqués pour les zéros d'échelle dans la monographie.

Corrections effectuées: + 100 cm de 1930 à 1932
 + 26 cm de 1933 à 1946

2-RECONSTITUTION DES DONNEES MANQUANTES

Les calculs ont consisté à déterminer les équations de régression inter-stations et les équations de tarissement sur les données homogénéisées, avant d'utiliser ces résultats pour reconstituer les données manquantes sur la période 1903-1990.

La chaîne de traitements informatiques est décrite dans l'annexe A.

2-1-Equations de régression liant les cotes moyennes journalières des différentes stations

Le tableau n° 1 donne les résultats des calculs de corrélation effectués sur les fichiers, débarrassés des cotes aberrantes et éventuellement corrigés comme indiqué ci-dessus. Dans ce tableau, les stations sont représentées par leur numéro d'ordre, conformément à la liste suivante:

- 1 Le Bakoye à Diangola
- 2 Le Bakoye à Toukoto
- 3 le Baoulé à Missira
- 4 Le Baoulé à Siramakana
- 5 Le Bakoye à Oualia
- 6 Le Sénégal à Bafoulabé
- 7 Le Bafing à Daka-Saïdou
- 8 Le Bafing à Makana
- 9 Le Bafing à Soukoutali
- 10 Le Bafing à Dibia
- 11 Le Sénégal à Galougo
- 12 Le Sénégal à Gouina
- 13 Le Sénégal à Kayes
- 14 La Falémé à Moussala
- 15 La Falémé à Fadougou
- 16 La Falémé à Gourbassi
- 17 La Falémé à Kidira
- 18 Le Sénégal à Bakel
- 19 Le Sénégal à Matam

Pour une régression donnant la station S à partir des stations P1 et P2, l'équation est notée de la façon suivante:

$$S(j) = C1 * P1(j-D1) + C2 * P2(j-D2) + C \quad \text{avec:}$$

- j : jour
- D1 : décalage en jours sur le prévisseur 1
- D2 : décalage en jours sur le prévisseur 2
- C1,C2,C : coefficients de régression

On note également:

- Inf1 : cote minimale prise en compte à P1 pour le calcul
- Sup1 : cote maximale prise en compte à P2 pour le calcul
- R : coefficient de corrélation totale
- Sig : écart type résiduel de la corrélation
- Debu : première année prise en compte pour le calcul
- Fin : dernière année prise en compte pour le calcul
- N : taille de l'échantillon utilisé pour le calcul
- n° : numéro du graphique correspondant dans l'annexe D

Tableau n°1

S	P1	P2	D1	D2	C1	C2	C	Inf1	Sup1	Debu	Fin	R	Sig	N	n°
1	2		-1		2.558		98.2			1973	1988	0.871	58	1672	1
2	5	4	0	0	0.500	0.099	-7.5		110	1972	1987	0.937	6	843	2
2	5	4	0	0	0.258	-0.11	45.1	110		1972	1987	0.814	16	669	3
2	5	4	0	0	0.150	0.227	7.33			1972	1987	0.916	14	1512	4
2	4		1		0.487		-2.0			1972	1987	0.910	17	1649	5
2	5		0		0.472		-0.5		175	1954	1988	0.904	9	4751	6
2	5		0		0.260		28.3	175		1954	1988	0.864	26	2329	7
2	5		0		0.289		16.4			1954	1988	0.941	18	7079	8
2	6		-1		0.526		-29.			1904	1967	0.859	31	5503	9
2	11		-1		0.267		9.04			1951	1988	0.930	20	9273	10
2	13		-2		0.217		14.4			1904	1988	0.904	25	11849	11
3	4		-3		1.132		47.8			1978	1988	0.920	35	923	12
4	5	2	0	0	0.896	0.646	-3.6		100	1972	1987	0.926	12	779	13
4	5	2	0	0	0.521	-0.20	76.6	100		1972	1987	0.925	22	733	14
4	5	2	0	0	0.429	0.580	29.3			1972	1987	0.947	22	1512	15
4	2		-1		1.703		25.0			1972	1987	0.910	31	1649	16
4	5		0		1.316		-9.2		100	1972	1987	0.911	14	1124	17
4	5		0		0.484		68.6	100		1972	1987	0.926	21	863	18
4	5		0		0.613		34.8			1972	1987	0.939	24	1987	19
5	2	4	0	0	0.215	0.742	4.92		60	1972	1987	0.909	14	894	20
5	2	4	0	0	1.413	1.303	-128	60		1972	1987	0.947	36	624	21
5	2	4	0	0	0.943	1.060	-43.			1972	1987	0.948	35	1512	22
5	2		0		1.888		14.4		60	1954	1988	0.757	26	3762	23
5	2		0		3.308		-60.	60		1954	1988	0.908	76	3345	24
5	2		0		3.060		-29.			1954	1988	0.941	58	7079	25
5	4		0		0.775		8.98		120	1972	1987	0.911	12	1237	26
5	4		0		1.829		-105	120		1972	1987	0.911	45	750	27
5	4		0		1.437		-35.			1972	1987	0.939	37	1987	28
5	6		-1		0.808		-9.7		250	1954	1967	0.812	31	1929	29
5	6		-1		2.571		-437	250		1954	1967	0.863	85	1035	30
5	6		-1		1.676		-138			1954	1967	0.923	74	2964	31
5	11	9	-1	0	1.279	-0.55	20.0			1972	1982	0.945	37	1868	32
5	11	10	-1	-1	1.145	-0.37	16.3		340	1956	1988	0.908	29	5051	33
5	11	10	-1	-1	1.557	-0.62	-25.	340		1956	1988	0.905	62	1498	34
5	11	10	-1	-1	1.382	-0.53	11.1			1956	1988	0.970	40	6549	35
5	11		-1		0.730		5.52		300	1954	1988	0.879	28	6408	36
5	11		-1		0.976		-74.	300		1954	1988	0.893	72	2222	37
5	11		-1		0.855		-11.			1954	1988	0.963	45	8630	38
6	2		1		1.402		106.			1904	1967	0.859	51	5503	39
6	5		1		1.038		39.6		190	1954	1967	0.829	29	1782	40
6	5		1		0.339		186.	190		1954	1967	0.869	34	1182	41
6	5		1		0.508		103.			1954	1967	0.923	41	2964	42
6	13		-1		0.942		19.2		110	1904	1967	0.695	22	777	43
6	13		-1		0.532		75.5	110	300	1904	1967	0.785	21	2616	44
6	13		-1		0.285		158.	300		1904	1967	0.913	24	4341	45
6	13		-1		0.371		103.			1904	1967	0.949	31	7730	46

Tableau n°1 (suite)

S	P1	P2	D1	D2	C1	C2	C	Inf1	Sup1	Debu	Fin	R	Sig	N	n°
7	8		-1		0.431		23.0		380	1961	1989	0.942	15	4612	47
7	8		-1		0.581		-49.	380	700	1961	1989	0.877	29	1343	48
7	8		-1		1.247		-514	700		1961	1989	0.776	41	663	49
7	8		-1		0.507		13.5			1961	1989	0.977	29	6618	50
7	9		-1		0.619		-16.		200	1972	1984	0.892	13	1870	51
7	9		-1		0.983		-77.	200		1972	1984	0.959	28	1348	52
7	9		-1		0.898		-48.			1972	1984	0.981	23	3218	53
7	10		-2		0.752		-31.			1956	1982	0.978	30	6986	54
8	7		1		2.282		-47.		250	1961	1989	0.965	36	5038	55
8	7		1		1.142		263.	250	490	1961	1989	0.833	47	1460	56
8	7		1		0.497		548.	490		1961	1989	0.659	21	121	57
8	7		1		1.883		-13.			1961	1989	0.977	56	6618	58
8	9		0		1.461		-98.		210	1972	1984	0.893	30	1492	59
8	9		0		2.098		-199	210	375	1972	1984	0.873	60	566	60
8	9		0		0.850		295.	375		1972	1984	0.720	57	320	61
8	9		0		1.783		-130			1972	1984	0.975	52	2377	62
8	10		-1		1.939		-155		370	1961	1982	0.954	46	2926	63
8	10		-1		0.622		356.	370		1961	1982	0.813	52	1082	64
8	10		-1		1.370		-54.			1961	1982	0.959	76	4008	65
9	7		1		1.389		39.2		130	1972	1984	0.926	18	2021	66
9	7		1		0.952		93.7	130		1972	1984	0.950	29	1197	67
9	7		1		1.071		59.4			1972	1984	0.981	25	3218	68
9	8		0		0.607		75.4		190	1972	1984	0.871	18	1365	69
9	8		0		0.464		102.	190	600	1972	1984	0.893	29	715	70
9	8		0		1.051		-281	600		1972	1984	0.807	43	297	71
9	8		0		0.533		79.5			1972	1984	0.975	29	2377	72
9	10		-1		1.040		-5.5		275	1972	1982	0.973	14	1852	73
9	10		-1		0.642		108.	275		1972	1982	0.923	33	622	74
9	10		-1		0.821		25.6			1972	1982	0.980	26	2474	75
9	11		-1		0.876		60.6			1972	1982	0.980	26	3239	76
9	11	5	-1	0	1.067	-0.23	56.9			1972	1982	0.980	24	1868	77
10	7		2		1.272		51.9			1956	1982	0.978	40	6986	78
10	8		1		0.490		86.3		500	1961	1982	0.938	24	2779	79
10	8		1		1.209		-302	500		1961	1982	0.869	64	1229	80
10	8		1		0.671		58.6			1961	1982	0.959	53	4008	81
10	9		1		0.927		10.4		250	1972	1982	0.968	13	1757	82
10	9		1		1.375		-99.	250		1972	1982	0.940	46	718	83
10	9		1		1.169		-21.			1972	1982	0.980	31	2474	84
10	11		0		0.994		46.1			1956	1988	0.980	36	8905	85
10	11	5	0	1	1.322	-0.38	37.8			1956	1988	0.984	34	6549	86
11	9		1		1.095		-60.			1972	1982	0.980	29	3239	87
11	9	5	1	1	0.760	0.388	-37.			1972	1982	0.988	20	1868	88
11	5	10	1	0	0.451	0.600	-17.			1956	1988	0.992	23	6549	89
11	10		0		0.966		-36.			1956	1988	0.980	36	8905	90
11	12		0		1.112		13.1		10	1955	1988	0.877	10	583	91
11	12		0		0.660		22.5	10	250	1955	1988	0.985	8	5941	92
11	12		0		1.305		-153	250		1955	1988	0.990	24	3607	93
11	12		0		0.999		-16.			1955	1988	0.983	34	10130	94
11	13		-1		1.503		-29.		60	1951	1988	0.561	22	2719	95
11	13		-1		0.877		11.2	60	550	1951	1988	0.995	11	8372	96
11	13		-1		0.729		88.0	550		1951	1988	0.966	26	1358	97
11	13		-1		0.848		11.3			1951	1988	0.995	19	12444	98

Tableau n°1 (fin)

S	P1	P2	D1	D2	C1	C2	C	Inf1	Sup1	Debu	Fin	R	Sig	N	n°
13	2		2		3.775		3.16			1904	1988	0.904	105	11849	99
13	6		1		0.855		6.53		130	1904	1967	0.659	29	900	100
13	6		1		1.778		-117	130	250	1904	1967	0.838	37	2899	101
13	6		1		3.101		-429	250		1904	1967	0.899	82	3932	102
13	6		1		2.429		-212			1904	1967	0.949	79	7730	103
13	11		1		0.604		26.7		100	1951	1988	0.852	12	4575	104
13	11		1		1.154		-17.	100	470	1951	1988	0.992	15	6413	105
13	11		1		1.325		-95.	470		1951	1988	0.972	32	1457	106
13	11		1		1.166		-11.			1951	1988	0.995	23	12444	107
13	18		-2		0.762		-0.9		1100	1904	1990	0.992	28	18047	108
13	18		-2		1.412		-706	1100		1904	1990	0.692	66	555	109
13	18		-2		0.775		-4.5			1904	1990	0.992	31	18602	110
14	16		-2		0.785		69.0		100	1972	1988	0.834	22	2365	111
14	16		-2		0.564		88.8	100		1972	1988	0.895	30	1692	112
14	16		-2		0.623		74.0			1972	1988	0.948	26	4057	113
15	16		-2		0.890		0.92			1954	1987	0.976	32	6170	114
16	13		-1		0.699		-27.			1954	1990	0.960	45	10367	115
16	14		2		0.944		-56.		140	1972	1988	0.789	27	2243	116
16	14		2		1.549		-116	140		1972	1988	0.907	47	1816	117
16	14		2		1.440		-95.			1972	1988	0.947	40	4057	118
16	15		2		1.070		6.23			1954	1987	0.976	35	6170	119
16	17		-2		0.978		-26.		320	1954	1990	0.951	24	6338	120
16	17		-2		0.613		85.4	320		1954	1990	0.927	47	1834	121
16	17		-2		0.758		3.05			1954	1990	0.975	36	8172	122
16	18		-3		1.503		-89.		75	1954	1990	0.670	24	1746	123
16	18		-3		0.547		-28.	75	850	1954	1990	0.953	34	8460	124
16	18		-3		0.757		-248	850		1954	1990	0.739	77	799	125
16	18		-3		0.552		-32.			1954	1990	0.970	39	11000	126
16	18	13	-3	-1	1.571	-0.11	-87.		75	1954	1990	0.667	24	1704	127
16	18	13	-3	-1	0.845	-0.39	-30.	75	850	1954	1990	0.955	34	7859	128
16	18	13	-3	-1	0.873	-0.12	-266	850		1954	1990	0.741	77	799	129
16	18	13	-3	-1	0.732	-0.23	-33.			1954	1990	0.970	39	10357	130
17	16		2		0.935		36.5		230	1954	1990	0.921	25	5873	131
17	16		2		1.486		-85.	230		1954	1990	0.951	63	2300	132
17	16		2		1.254		7.31			1954	1990	0.975	46	8172	133
17	18		-1		0.699		-31.			1930	1990	0.961	61	11769	134
18	13	17	2	1	1.077	0.257	12.3		875	1930	1990	0.995	29	10868	135
18	13	17	2	1	0.401	0.208	597.	875		1930	1990	0.817	32	280	136
18	13	17	2	1	1.058	0.236	20.4			1930	1990	0.994	34	11148	137
18	13		2		1.300		5.39		875	1904	1990	0.993	36	18103	138
18	13		2		0.481		698.	875		1904	1990	0.620	48	499	139
18	13		2		1.269		12.1			1904	1990	0.992	40	18602	140
18	19		-3		0.823		76.9		650	1904	1989	0.983	32	14951	141
18	19		-3		1.683		-465	650		1904	1989	0.897	75	4514	142
18	19		-3		1.003		44.2			1904	1989	0.977	67	19455	143

2-2-Equations de tarissement

La formule généralement adoptée pour le tarissement d'une rivière, correspondant à un débit provenant uniquement de la vidange des nappes, est la suivante:

$$Q(t_2) = Q(t_1) * \exp(-k*(t_2-t_1)) \quad \text{avec:}$$

Q : débit
t1,t2 : temps
k : coefficient de tarissement

Si on adopte par ailleurs pour la relation hauteur-débit une formule générale du type:

$$Q = (H-H_0)^n \quad \text{avec:}$$

H : cote à l'échelle correspondant au débit Q
H0 : cote correspondant à un débit nul
n : constante

alors la formule de tarissement devient pour les cotes:

$$(H_2 - H_0)^n = (H_1 - H_0)^n * \exp(-k*(t_2-t_1))$$

$$\Rightarrow (H_2 - H_0) = (H_1 - H_0) * \exp(-(k/n)*(t_2-t_1)) \quad \text{avec:}$$

H1 : cote à l'instant t1
H2 : cote à l'instant t2;

La forme de l'hydrogramme de tarissement, en cotes, est donc définie par les paramètres H0 et k/n.

Ces deux paramètres peuvent être déterminés très simplement par autocorrélation de la façon suivante:

Soient $H_{(j)}$ et $H_{(j+m)}$ les cotes correspondant respectivement aux jours j et j+m. On a alors, k étant exprimé en jour⁻¹:

$$(H_{(j+m)} - H_0) = (H_{(j)} - H_0) * \exp(-(k/n)*m)$$

$$\Rightarrow H_{(j+m)} = A * H_{(j)} + B \quad \text{avec:}$$

$$A = \exp(-(k/n)*m) \quad \text{donc:} \quad k/n = -\text{Log}(A) / m$$

$$B = H_0 * (1 - A) \quad \text{donc:} \quad H_0 = B / (1-A)$$

Les paramètres H0 et k/n ont ainsi été déterminés pour chaque station, pour des intervalles de temps m de 1, 5 et 10 jours, sur la période allant du 1^{er} décembre au 15 mai. Dans tous les cas, les valeurs trouvées varient peu avec m, et on en a donc retenu les moyennes.

Les résultats sont présentés dans le tableau n° 2.

Tableau n° 2

station	H0	k/n
Le Bakoye à Diangola	65	0.00990
Le Bakoye à Toukoto	-218	0.00171
Le Baoulé à Missira	-175	0.00479
Le Baoulé à Siramakana	266	-0.00383
Le Bakoye à Dualia	-34	0.00614
Le Sénégal à Bafoulabé	-169	0.00309
Le Bafing à Daka-Saïdou	5	0.01070
Le Bafing à Makana	-17	0.01360
Le Bafing à Soukoutali	33	0.01000
Le Bafing à Dibia	-4	0.00631
Le Sénégal à Galougo	-44	0.00673
Le Sénégal à Gouina	-104	0.00613
Le Sénégal à Kayes	12	0.01070
La Falémé à Moussala	-219	0.00221
La Falémé à Fadougou	-29	0.00923
La Falémé à Gourbassi	-139	0.00429
La Falémé à Kidira	-265	0.00305
Le Sénégal à Bakel	-3	0.00977

2-3-Calculs de reconstitution de cotes

La reconstitution a été effectuée en utilisant en priorité les équations de régression du tableau n°1, suivies des équations de tarissement du tableau n°2, et enfin, en dernier recours, d'interpolations linéaires.

Les équations de régression ont été appliquées moyennant certaines corrections, destinées à tenir compte des différences constatées entre valeurs observées et calculées par régression, de part et d'autre des valeurs à reconstituer.

Les équations de tarissement ont été appliquées sur la période allant de Novembre à Mai inclus.

Les interpolations linéaires n'ont été employées que pour reconstituer une cinquantaine de jours, situés hors période de tarissement, pour lesquels aucune donnée n'était disponible sur l'ensemble des stations. La période interpolée la plus longue est de 20 jours.

Les cotes reconstituées ont fait l'objet de vérifications graphiques au fur et à mesure des calculs. Aussi, certaines valeurs jugées mal reconstituées (essentiellement rencontrées en période de basses eaux) ont pu être éliminées, avant d'être à nouveau calculées par une autre méthode.

Pour plus de détails sur les modalités des calculs, se reporter à l'annexe A.

La liste des calculs effectués, avec le nombre de cotes reconstituées à chaque étape, est représentée dans le tableau n°3, dans lequel on note:

Reconstit : Nom du fichier avec cotes originales + cotes reconstituées
 Equations : Numéros des équations utilisées (tableau 1), avec T pour tarissement, I pour interpolation et E pour élimination de cotes
 Original : Nom du fichier de cotes originales
 Prev1 : Nom du fichier de cotes prévisseur n°1
 Prev2 : Nom du fichier de cotes prévisseur n°2
 Période : période d'application du calcul, ou durée maximale d'interpolation
 N : Nombre de cotes reconstituées

La figure n°1 montre une sortie du programme GRAFREC utilisé pour la vérification graphique des reconstitutions de cotes. Y figurent pour l'année 1978, les données originales de Makana (Makana.jou), les données complétées (Makana.3) et les données originales de Daka-Saïdou ayant servi à faire les reconstitutions sur Makana pendant cette période.

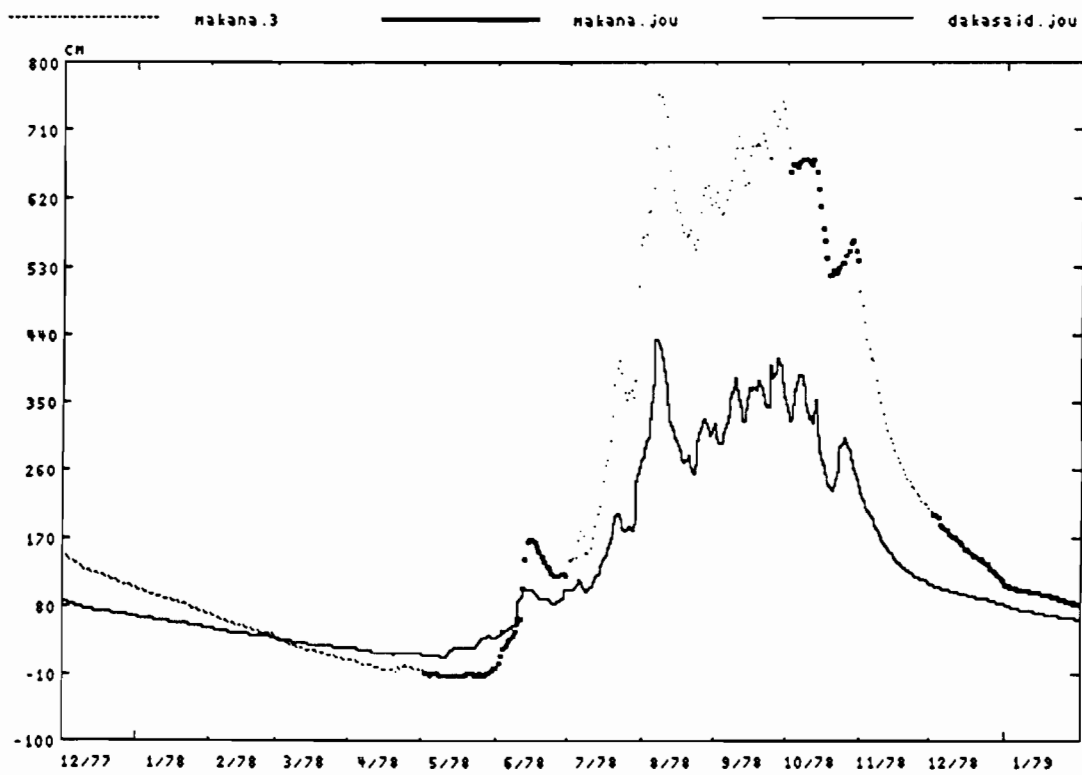
Tableau n°3

Reconstit	Equations	Original	Prev1	Prev2	Période	N
Kayes1	104, 105, 106	Kayes	Galougo		1951 - 1988	1021
Bakel1	135, 136	Bakel	Kayes1	Kidira	1930 - 1990	126
Bakel2	138, 139	Bakel1	Kayes1		1903 - 1990	871
Bakel3	141, 142	Bakel2	Matam		1903 - 1989	1101
Kayes2	108, 109	Kayes1	Bakel3		1903 - 1990	3467
Kayes3	100, 101, 102	Kayes2	Bafoulabe		1904 - 1967	104
Kayes4	T	Kayes3			01.11-30.06	7624
Kayes5	99	Kayes4	Toukoto3		1904 - 1947	2
<u>Kayes6</u>	1	Kayes5			20 jours	47
Bakel4	138, 139	Bakel3	Kayes3		1903 - 1990	104
Bakel5	T	Bakel4			01.11-30.06	7611
<u>Bakel6</u>	138, 139	Bakel5	Kayes6		1903 - 1990	62
Galougo1	91, 92, 93	Galougo	Gouina		1955 - 1988	70
Galougo2	95, 96, 97	Galougo1	Kayes3		1903 - 1990	10564
Galougo3	T	Galougo2			01.11-30.06	7630
<u>Galougo4</u>	95, 96, 97	Galougo3	Kayes6		1903 - 1990	44
Gourbas1	119	Gourbas	Fadougou		1952 - 1987	1293
Gourbas2	120, 121	Gourbas1	Kidira		1930 - 1990	2902
Gourbas3	116, 117	Gourbas2	Moussala		1972 - 1988	127
Gourbas4	T	Gourbas3			15.11-30.06	2874
<u>Gourbas5</u>	127, 128, 129	Gourbas4	Bakel6	Kayes6	1903 - 1990	13241
Kidira1	131, 132	Kidira	Gourbas5		1903 - 1990	19100
<u>Kidira2</u>	T	Kidira1			15.11-02.07	308
Fadougou1	114	Fadougou	Gourbas5		1903 - 1990	23847
<u>Fadougou2</u>	T	Fadougou1			15.11-30.06	347
Oualia1	20, 21	Oualia	Toukoto	Siramaka	1972 - 1987	138
Oualia2	23, 24	Oualia1	Toukoto		1954 - 1988	1896
Dibia1	82, 83	Dibia	Soukouta		1972 - 1982	805
Dibia2	78	Dibia1	Dakasaid		1952 - 1982	2178
Dibia3	79, 80	Dibia2	Makana		1961 - 1982	123
Oualia3	26, 27	Oualia2	Siramaka		1972 - 1987	41
Oualia4	33, 34	Oualia3	Galougo4	Dibia3	1952 - 1988	1611
Toukoto1	2, 3	Toukoto	Oualia4	Siramaka	1972 - 1987	386
Toukoto2	6, 7	Toukoto1	Oualia4		1952 - 1990	2024
Oualia5	T	Oualia4			15.11-25.06	498
Dibia4	86	Dibia3	Galougo4	Oualia5	1952 - 1990	1466
Dibia5	85	Dibia4	Galougo4		1903 - 1990	18179
Oualia6	36, 37	Oualia5	Galougo4		1903 - 1990	18105
Soukouta1	66, 67	Soukouta	Dakasaid		1952 - 1989	8991
Soukouta2	73, 74	Soukouta1	Dibia		1956 - 1982	337
Soukouta3	69, 70, 71	Soukouta2	Makana		1961 - 1990	461
<u>Soukouta4</u>	73, 74	Soukouta3	Dibia5		1903 - 1982	18442
Toukoto3	6, 7	Toukoto2	Oualia6		1903 - 1990	14269
Dibia5	E	Dibia5				-61
<u>Dibia6</u>	T	Dibia5			01.02-31.05	61
Oualia6	E	Oualia6				-21
Oualia7	23, 24	Oualia6	Toukoto3		1966 - 1970	21
Toukoto3	E	Toukoto3				-3326
Toukoto4	T	Toukoto3			01.11-10.06	3184
<u>Toukoto5</u>	6, 7	Toukoto4	Oualia7		1903 - 1990	142
Oualia7	E	Oualia7				-545
Oualia8	T	Oualia7			01.12-30.06	545
Diangol1	1	Diangol	Toukoto5		1903 - 1990	28172
Diangol2	T	Diangol1			01.11-30.06	1106
<u>Diangol3</u>	1	Diangol2	Toukoto5		1989 - 1990	184
Siramaka1	13, 14	Siramaka	Oualia8	Toukoto5	1903 - 1990	27879

Tableau n°3 (fin)

Reconstit	Equations	Original	Prev1	Prev2	Période	N
Siramaka2	T	Siramaka1			01.11-30.06	988
Siramaka3	17, 18	Siramaka2	Oualia8		1983 - 1983	6
Oualia8	E	Oualia8				-174
Oualia9	T	Oualia8			01.11-30.06	174
Siramaka3	E	Siramaka3				-2280
Siramaka4	T	Siramaka3			01.11-30.06	2280
Missira1	12	Missira	Siramaka4		1903 - 1990	29283
Missira2	T	Missira1			01.11-03.07	1059
Missira2	E	Missira2				-243
Missira3	T	Missira2			28.09-03.07	243
Makana1	55, 56, 57	Makana	Dakasaïd		1952 - 1989	5591
Makana2	59, 60, 61	Makana1	Soukouta4		1903 - 1990	18827
Makana2	E	Makana2				-33
Makana3	T	Makana2			01.04-30.06	108
Dakasaïd1	47, 48, 49	Dakasaïd	Makana		1983 - 1990	338
Dakasaïd2	51, 52	Dakasaïd1	Soukouta4		1903 - 1990	19171

Figure n°1



2-4-Conclusion

Les fichiers dont les noms sont soulignés dans le tableau n°3, constituent la banque de données homogénéisée, complète de 1904 à 1989.

Malgré les critiques formulées dans la monographie sur les données anciennes de Toukoto et Kidira, celles-ci ont été conservées. On a estimé en effet, que même imparfaites, elles contenaient une information qui ne pouvait être avantageusement remplacée par reconstitution à partir de Kayes et Bakel.

Les données des stations situées à l'aval de la retenue de Manantali, peuvent être considérées comme influencées par celle ci à partir de 1987.

Les données des autres stations, y compris Soukoutali dont les cotes sont entièrement reconstituées à partir du 1^{er} janvier 1984, correspondent au régime naturel sur toute la période.

Le tableau n° 4 indique la part des données reconstituées pour chaque station.

Tableau n° 4

station	pourcentage de données reconstituées	
	de 1951 à 1989	de 1904 à 1989
Diangola	81	91
Toukoto	21	52
Missira	90	95
Siramakana	79	91
Oualia	34	70
Daka-Saïdou	14	61
Makana	49	77
Soukoutali	75	89
Dibia	36	71
Galougo	5	57
Kayes	8	39
Fadougou	47	76
Gourbassi	21	64
Kidira	27	61
Bakel	1	31

3-CALCUL DES DEBITS MOYENS JOURNALIERS

Comme il est expliqué plus haut, les débits journaliers ont été calculés par traduction directe des cotes moyennes journalières.

Au préalable, afin de permettre la traduction de toutes les cotes sans exception, il a été nécessaire d'extrapoler les étalonnages des stations suivantes:

--Galougo	: de 1000 cm ($5850 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	à 1150 cm ($7160 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	
--Kayes	: de 1150 cm ($5000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	à 1400 cm ($6400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	
--Daka-Saïdou	: de 600 cm ($1630 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	à 760 cm ($2600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	
--Makana	: de 900 cm ($2680 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	à 950 cm ($3340 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	
--Soukoutali	: de 800 cm ($2600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	à 850 cm ($2890 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	
--Oualia	: de 1000 cm ($2150 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	à 1100 cm ($2470 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	
--Fadougou	: de 1000 cm ($1820 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	à 1100 cm ($2130 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	
--Gourbassy	: de 900 cm ($1890 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	à 950 cm ($2040 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	(pour le tarage postérieur au 1.5.66)
--Siramakana	: de 500 cm ($752 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	à 600 cm ($1070 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	

Signalons que, faute de données, les extrapolations ont été faites de façon purement graphique, en prolongeant les tracés des courbes d'étalonnage.

La série complète des débits moyens journaliers, sous forme de fichiers HYDROM, est remise à l'OMVS, accompagnée du présent rapport et des programmes décrits dans l'annexe A.

Dans ces fichiers, les valeurs correspondant à des cotes reconstituées sont affectées du code origine "D".

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Rochette (C) - 1974 - Le Bassin du fleuve Sénégal. Monographies Hydrologiques. ORSTOM. Paris.
- [2] Anonyme - 1990 - Banque de données hydrologiques du fleuve Sénégal. Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal. ORSTOM. Dakar
- [3] Bois (P) - 1979- Hydrologie générale. Cours de l'école Nationale Supérieure d'Hydraulique de Grenoble. INPG. Grenoble

ANNEXE ADESCRIPTION DE LA CHAÎNE DE TRAITEMENTS INFORMATIQUE.

Les différentes opérations ont été menées dans l'ordre indiqué ci-dessous, à l'aide du logiciel HYDROM ou de programmes en Turbo-Pascal écrits pour la circonstance.

1-Extraction des cotes instantanées

Le logiciel HYDROM utilisant un format de fichiers très particulier, il est nécessaire d'extraire les données sous forme de fichiers ASCII pour pouvoir les traiter avec d'autres logiciels. Une procédure est prévue à cet effet dans les utilitaires de HYDROM: "extraction de données pour un transfert vers une autre configuration". Cette procédure a été utilisée pour élaborer les fichiers ASCII MALICOT.ins et SENECOT.ins contenant les cotes instantanées des stations du haut bassin, pour le Mali et le Sénégal respectivement.

2-Elaboration de fichiers de cotes moyennes journalières

A partir des fichiers MALICOT.ins et SENECOT.ins, on a élaboré un fichier de cotes moyennes journalières pour chaque station, à l'aide du programme COTPAFIX.

Ce programme permet d'une façon générale, de créer des fichiers de cotes moyennes sur N (valeur entière) heures, de pas de temps N heures, en choisissant l'année de début et l'année de fin des fichiers. Il effectue le calcul des valeurs moyennes par la méthode des trapèzes.

Chaque fichier créé est affecté d'un nom au choix (nom de station), suivi d'une extension égale au pas de temps N. Toutefois, dans le cas particulier des cotes moyennes journalières, l'extension n'est pas "24" mais "jou".

Ces fichiers sont de type "file of double" (Turbo pascal) et contiennent dans l'ordre:

- Le numéro ORSTOM (avec capteur) de la station, codé sur 11 chiffres
- L'année de début du fichier
- L'année de fin du fichier
- La série des cotes moyennes à pas de temps fixe, exprimées en cm, la première correspondant au 1^{er} Janvier de l'année de début à 0 heure plus N/2 heures. Les lacunes et les "à sec" sont codés 9999 et -999 respectivement.

3-Calcul des corrélations inter-stations

Les programmes HREG1 et HREG2 permettent de faire des calculs de corrélation simple et double respectivement, entre des fichiers du type "STATION.jou" décrit ci-dessus, placés dans un répertoire C:\OPTIM..

Ces programmes permettent:

- le choix d'un calcul sur des fichiers de cotes moyennes journalières (extension "jou"), mensuelles (extension "men") ou annuelles (extension "an"). Le nom des fichiers à traiter est ensuite saisi sans l'extension.
- le choix de la période (année de début - année de fin) sur laquelle doit être fait le calcul
- l'introduction d'un décalage d'un nombre entier de jours (dans le cas des valeurs journalières) sur chaque prévisionneur. Ce décalage peut être positif ou négatif.
- l'introduction de seuils limites sur le premier prévisionneur. Seuls sont alors pris en compte pour le calcul, les points pour les lesquels la cote du premier prévisionneur est comprise entre ces seuils.
- le choix d'un calcul sur les valeurs naturelles ou sur leurs logarithmes.
- l'élimination de certains points de l'échantillon pour le calcul. Ces points peuvent être saisis soit de façon discrète, date par date ou par plage de dates, soit de façon générique de façon à éliminer certaines dates ou plages de dates sur l'ensemble des années (calculs sur saison sèche ou saison des pluies).

- la sortie des résultats, éventuellement imprimés, comportant les coefficients de régression, coefficients de corrélation (simple, partielle, totale), moyennes, extremums et écart-types des échantillons, écart-type résiduel.
- la visualisation graphique de la régression, en coordonnées cotes observées - cotes calculées par régression. L'échelle du graphique peut être modifiée, et les points éloignés de la première bissectrice, de plus de n (fixé au choix) fois l'écart-type résiduel, sont accompagnés des dates correspondantes, marquées à proximité.
- le tracé du cumul des résidus en fonction du temps.

4-Elimination ou correction de cotes moyennes journalières

Les points à éliminer ou à corriger dans les fichiers "station.jou", déterminés à l'aide de HYDROM, HREG1, HREG2 ou GRAFREC (décrit plus loin), sont traités avec le programme CORREC. Ce programme effectue les éliminations ou corrections par plages de dates, dont on saisit les dates de début et de fin. Les fichiers de cotes moyennes à un pas de temps différent de 24 heures peuvent également être traités.

5-Reconstitution de cotes moyennes journalières

On utilise le programme RECONSTI, qui crée à partir d'un fichier de cotes moyennes journalières, un fichier complété.

L'intégralité des données existant dans le premier fichier se retrouve dans le fichier complété. Celui-ci contient par ailleurs des données reconstituées correspondant soit à des lacunes, soit à des dates n'existant pas dans le premier fichier.

Le calcul de reconstitution peut être fait par l'une des trois méthodes suivantes, au choix:

5-1-Régression linéaire, simple ou double

On saisit:

- le(s) nom(s) du (ou des) fichier(s) prévisseur(s)
- la période (année début - année fin) sur laquelle doit être fait le calcul des cotes reconstituées. Cette période n'est limitée que par les données disponibles pour le(s) prévisseur(s), et peut dépasser les années existant dans le fichier à compléter.
- le nombre de jours de décalage de chaque prévisseur
- le nombre d'équations de régression à utiliser (au plus: 3)
- Pour chaque équation:
 - les coefficients de régression
 - les seuils limites d'application, sur le premier prévisseur

Pour chaque jour j en lacune d'observation dans le premier fichier, pour lequel une cote H(j) a ainsi pu être reconstituée, le programme cherche les trois jours précédents les plus proches, j₋₁, j₋₂ et j₋₃, pour lesquels sont disponibles à la fois une cote reconstituée H et une cote h dans le premier fichier. On cherche de même les trois jours suivants, j₁, j₂ et j₃, remplissant les mêmes conditions. La cote reconstituée H(j) subit alors une correction C calculée de la façon suivante:

$$C_{-1} = (h(j_{-1}) - H(j_{-1})) / (j - j_{-1})$$

$$C_{-2} = (h(j_{-2}) - H(j_{-2})) / (j - j_{-2})$$

$$C_{-3} = (h(j_{-3}) - H(j_{-3})) / (j - j_{-3})$$

$$C_1 = (h(j_1) - H(j_1)) / (j_1 - j)$$

$$C_2 = (h(j_2) - H(j_2)) / (j_2 - j)$$

$$C_3 = (h(j_3) - H(j_3)) / (j_3 - j)$$

$$D = 1/(j - j_{-1}) + 1/(j - j_{-2}) + 1/(j - j_{-3}) + 1/(j_1 - j) + 1/(j_2 - j) + 1/(j_3 - j)$$

$$E = (C_{-1} + C_{-2} + C_{-3} + C_1 + C_2 + C_3) / D$$

$$K = \min((j_1 - j), (j - j_{-1}))$$

Si $K < 8$ jours, alors: $C = E$

Sinon: $C = E * 8 / K$

La cote reconstituée définitive pour le jour j est: $H(j) + C$

La correction C apportée au calcul de régression permet donc de prendre en compte les écarts constatés entre valeurs observées et valeurs reconstituées par régression, à proximité du jour en lacune à reconstituer.

Cette prise en compte est indispensable pour éviter d'éventuelles anomalies de jonction entre parties observées et reconstituées des hydrogrammes. Une équation de régression ne rend compte en effet que d'une relation moyenne, à laquelle se superpose en réalité un écart aléatoire. Cet écart est du, dans le cas de deux stations situées l'une en aval de l'autre, à la variabilité des apports intermédiaires, qu'on peut supposer suffisamment autocorrélés pour permettre le type de correction adopté.

5-2-Equation de tarissement

On saisit:

--les paramètres H_0 et K de l'équation du type:

$$H(t) = H_0 + (H(t_1) - H_0) * \exp(-K*(t - t_1))$$

--Les dates de début et de fin de la période sur laquelle peut être effectué le calcul. En pratique, on a retenu dans la plupart des cas, la période du 1^{er} novembre au 30 juin.

Pour chaque jour en lacune situé dans la période retenue, le calcul est fait à partir de la cote observée antérieure la plus proche, à condition que celle-ci soit située, elle aussi, dans la période.

5-3-Interpolation linéaire

On saisit:

--La durée maximale des périodes en lacunes sur lesquelles peut être fait le calcul.

6-Visualisation graphique des fichiers de cotes moyennes journalières

On utilise le programme GRAFREC, qui permet de tracer de 1 à trois hydrogrammes superposés, correspondant soit à des fichiers de cotes moyennes journalières, soit à des fichiers de débits moyens journaliers (dont le type est décrit plus loin).

On saisit:

--le choix d'un tracé avec points reliés entre eux, ou non.

--le nom des fichiers de cotes ou de débits

--l'année souhaitée pour le début du tracé

--le nombre de mois souhaité par fenêtre de tracé.

Les fenêtres successives de tracé se recouvrent toujours de 1 mois, et sont appelées par frappe d'une touche.

Ce programme est très utile pour la vérification des cotes reconstituées, en permettant par exemple la superposition des hydrogrammes correspondant au fichiers complété, original et prévisseur.

7-Extraction des étalonnages

Les étalonnages sont extraits de HYDROM à l'aide de l'utilitaire "extraction de données vers une autre configuration", qui les place dans un fichier ASCII.

8-Traduction des cotes en débits

A partir du fichier ASCII des étalonnages, le programme TRADU_HQ permet de traduire chaque fichier de cotes moyennes journalières en fichier de débits moyens journaliers de même structure ("file of double" Turbo-Pascal), où les débits sont exprimés en $m^3 s^{-1}$, et les lacunes et les "hors barème" sont codés respectivement: 999000 et 998000.

9-Elaboration d'un fichier ASCII de débits moyens journaliers

Le programme QJASCII permet de créer un fichier ASCII de débits moyens journaliers dans un format reconnu par HYDROM, à partir de plusieurs fichiers de débits moyens journaliers du type décrit ci-dessus.

La possibilité est offerte d'affecter aux débits correspondant à des cotes reconstituées, un code origine "D" dans le fichier ASCII.

Pour ce faire, il faut préciser pour chaque fichier de débits journaliers, le nom du fichier de cotes moyennes journalières originales, et le nom du fichier de cotes complété à partir duquel a été calculé le fichier de débits.

10-Importation des débits journaliers dans HYDROM

La procédure utilitaire d'HYDROM intitulée "transformation de fichiers provenant d'une autre configuration", permet d'importer les données du précédent fichier ASCII dans la banque de données HYDROM, sous forme des deux fichiers suivants:

FDEBJOU1.DAT
FDEBJOU1.IDX

ANNEXE BINVENTAIRE DES DONNEES SUPPRIMEES DANS LES FICHIERS ORIGINAUX DE COTES MOYENNES JOURNALIERES

-Le Bakoye à Diangola		
26.11.75->28.11.75	15.07.77->21.06.81	01.01.82->31.01.82
-Le Bakoye à Toukoto		
01.06.04->30.06.04	01.06.05->30.06.05	07.10.07->09.10.07
22.11.07->24.11.07	01.06.08->03.07.08	12.08.08->14.08.08
03.12.09->05.12.09	22.07.10->23.07.10	23.08.11->25.08.11
01.06.12->23.06.12	29.09.14->01.10.14	29.08.16->31.08.16
30.09.16->03.10.16	31.10.16->03.11.16	01.06.17->30.06.17
01.12.18->31.12.18	01.01.33->04.06.33	30.09.33->01.12.33
14.06.44->21.06.44	07.06.57->30.06.57	27.10.57->17.11.57
20.10.58->04.11.58	07.10.59->27.10.59	20.10.61->30.10.61
13.10.62->31.10.62	05.10.63->11.11.63	17.10.64->05.11.64
21.10.65->08.11.65	27.10.66->08.11.66	20.06.88->22.06.88
-Le Baoulé à Siramakana		
08.06.72->10.06.72	27.06.78	20.08.78
19.06.87		
-Le Bakoye à Oualia		
15.10.58->16.11.58	01.05.61->15.07.61	31.07.71->03.08.71
31.08.72->01.10.72	22.03.90->20.04.90	
-Le Sénégal à Bafoulabé		
28.11.08->30.11.08	17.11.10->19.11.10	07.12.10->10.12.10
15.11.14->31.12.14	28.10.15->04.11.15	10.10.26->12.10.26
10.07.47->12.07.47	31.01.60->01.06.60	01.01.61->10.06.62
01.01.64->30.04.64	20.06.64->01.07.64	01.10.64->30.04.65
01.10.65->31.10.65	01.01.66->30.04.66	
-Le Bafing à Daka-Saïdou		
01.02.61->31.03.61	01.05.62->30.06.62	01.06.65->30.06.65
01.05.73->31.05.73	01.03.79->30.04.79	01.07.89->31.08.89
-Le Bafing à Makana		
26.11.62->28.11.62	20.07.63->31.07.63	01.07.65->31.12.65
01.11.66->31.12.66	01.08.81->31.12.81	01.07.82->30.11.82
01.07.83->31.08.83	01.10.83->31.10.83	
-Le Bafing à Soukoutali		
01.01.84->31.12.84		
-Le Bafing à Dibia		
01.08.61->28.02.62	01.03.63->10.04.63	22.07.63->25.07.63
15.08.63->16.08.63	31.10.63->02.11.63	28.02.65->30.09.65
28.02.73->01.03.73	15.11.76->31.01.77	24.10.77->26.10.77
30.11.78->01.01.79	01.07.81->31.12.81	01.08.86->30.09.86
-Le Sénégal à Gouina		
24.10.65->26.10.65	01.05.76->31.12.77	06.10.81->08.10.81
01.09.83->31.10.83	01.07.85->15.07.85	01.06.87->30.06.87
01.07.86->31.07.86	01.08.68->30.09.68	

-Le Sénégal à Kayes 26.09.08->28.09.08	16.06.73->18.06.73	01.07.76->11.07.76
-La Falémé à Moussala 15.06.74->30.06.74 06.12.75->07.12.75	01.04.75->30.04.75	01.06.75->30.06.75
-La Falémé à Fadougou 10.11.53->28.02.54		
-La Falémé à Gourbassi 21.07.66->23.07.66	01.05.71->24.06.71	

ANNEXE C

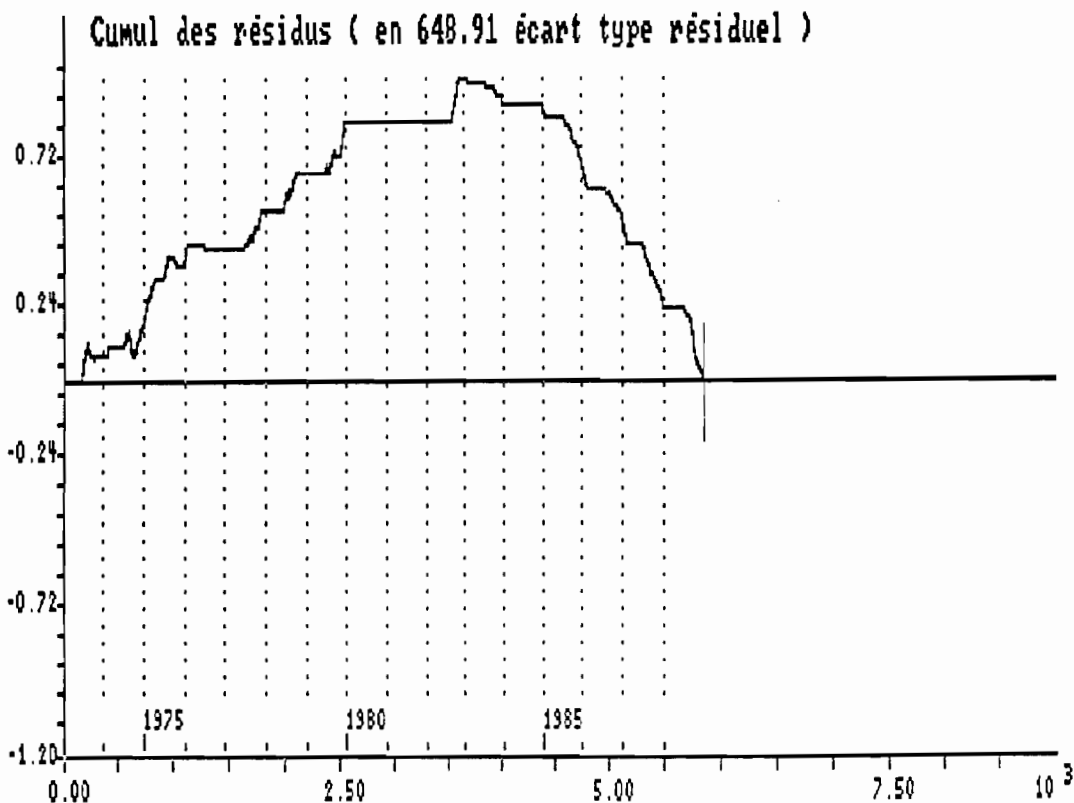
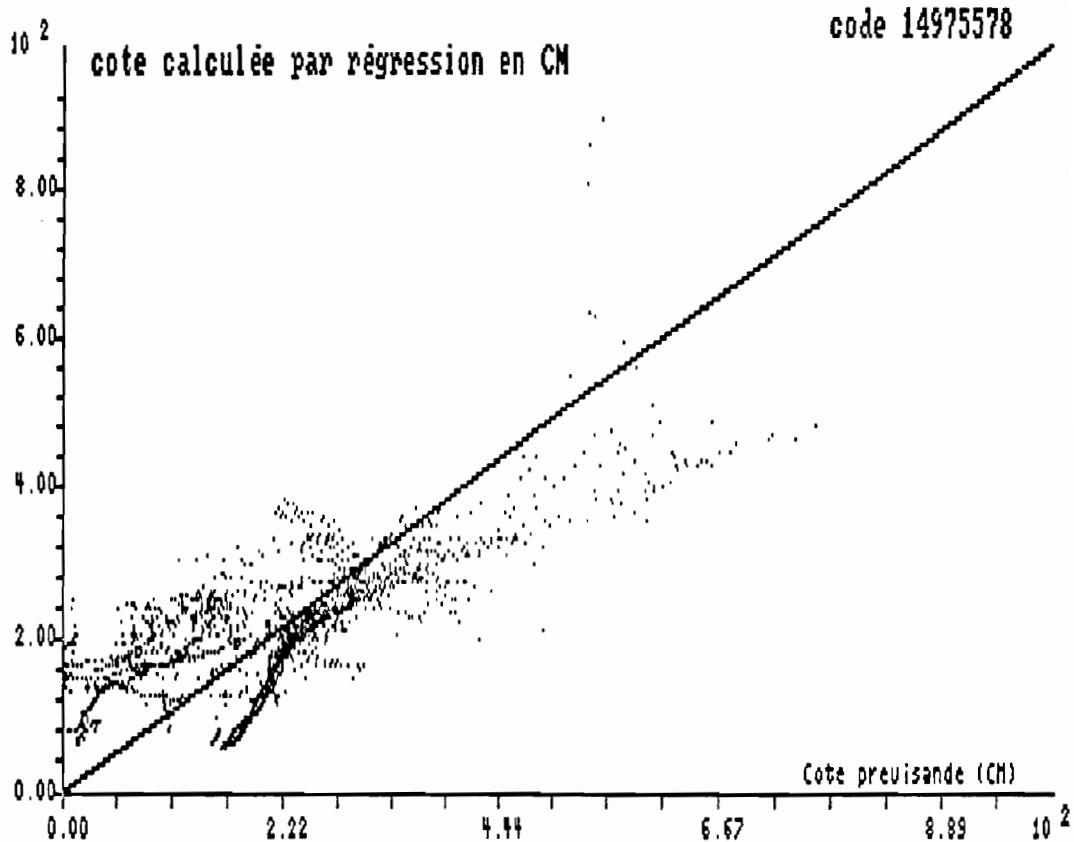
TRACES DES CUMULS DE RESIDUS A LA BASE DES CORRECTIONS DE COTES

CALCUL DE CORRELATION SIMPLE ENTRE :

X , station prévisieur 12726014151 lue dans toukoto.jou
 Y , station prévisande 12726014181 lue dans diangola.jou
 Calcul relatif aux cotes moyennes journalieres de 1973 à 1988
 Décalage artificiel du prévisieur : -1 unités de temps
 Seuils sur le prévisieur: inf : -998 Sup : 9998

RESULTATS en CM (code 14975578) obtenus sur 2043 couples :

variable	moyenne	minimum	maximum	écart type
x = X	66	0	369	38
y = Y	209	0	759	121
y = 2.265 x + 61.105				
Coefficient de corrélation : R = 0.7192				
écart type résiduel : 84				



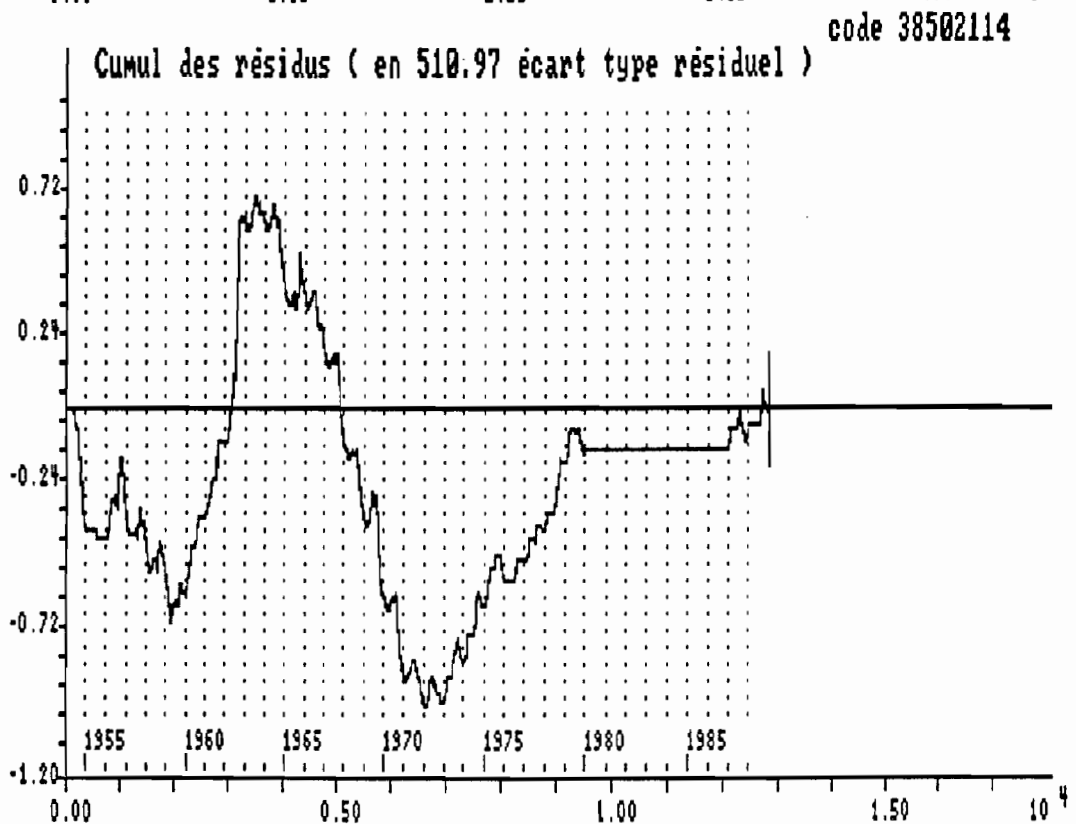
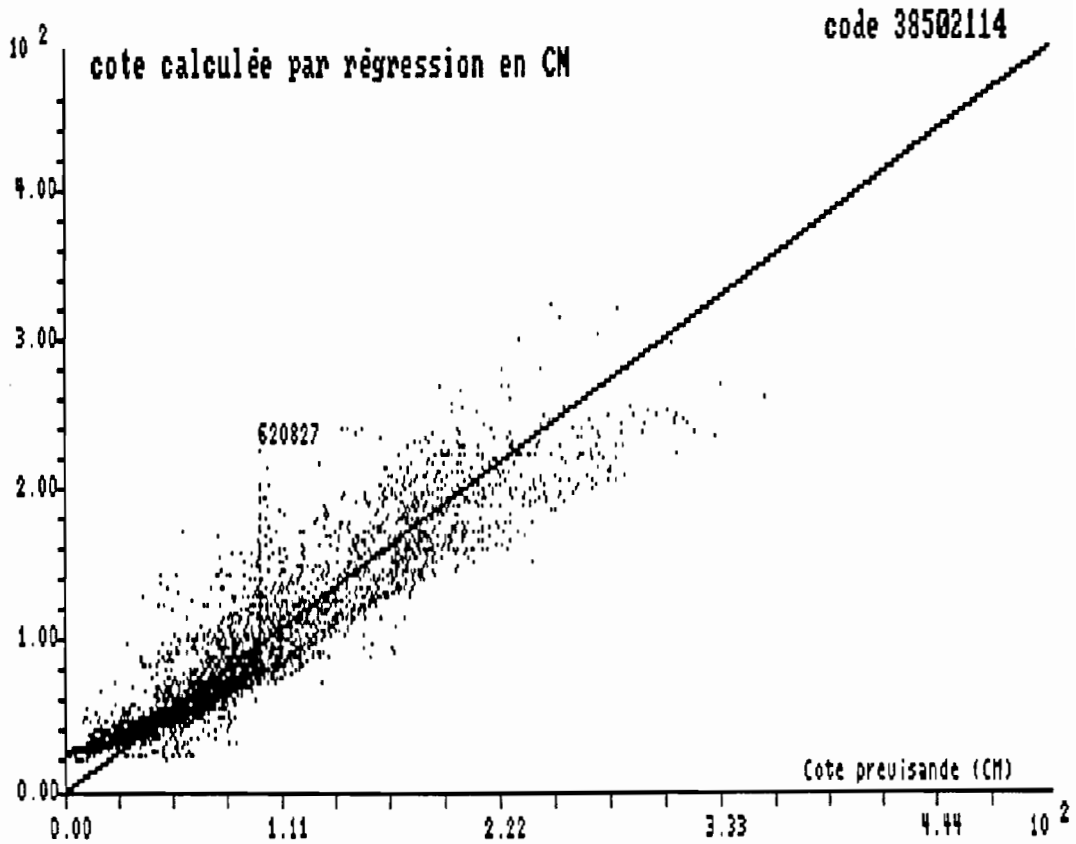
CALCUL DE CORRELATION SIMPLE ENTRE :

X , station prévisseur 12726014121 lue dans oualia.jou
 Y , station prévisande 12726014151 lue dans toukoto.jou
 Calcul relatif aux cotes moyennes journalieres de 1954 à 1988
 Décalage naturel du prévisseur : 0 unités de temps
 Seuils sur le prévisseur: inf : -998 Sup : 9998

RESULTATS en CM (code 38502114) obtenus sur 7079 couples :

variable	moyenne	minimum	maximum	écart type
x = X	185	1	1058	170
y = Y	74	1	355	52

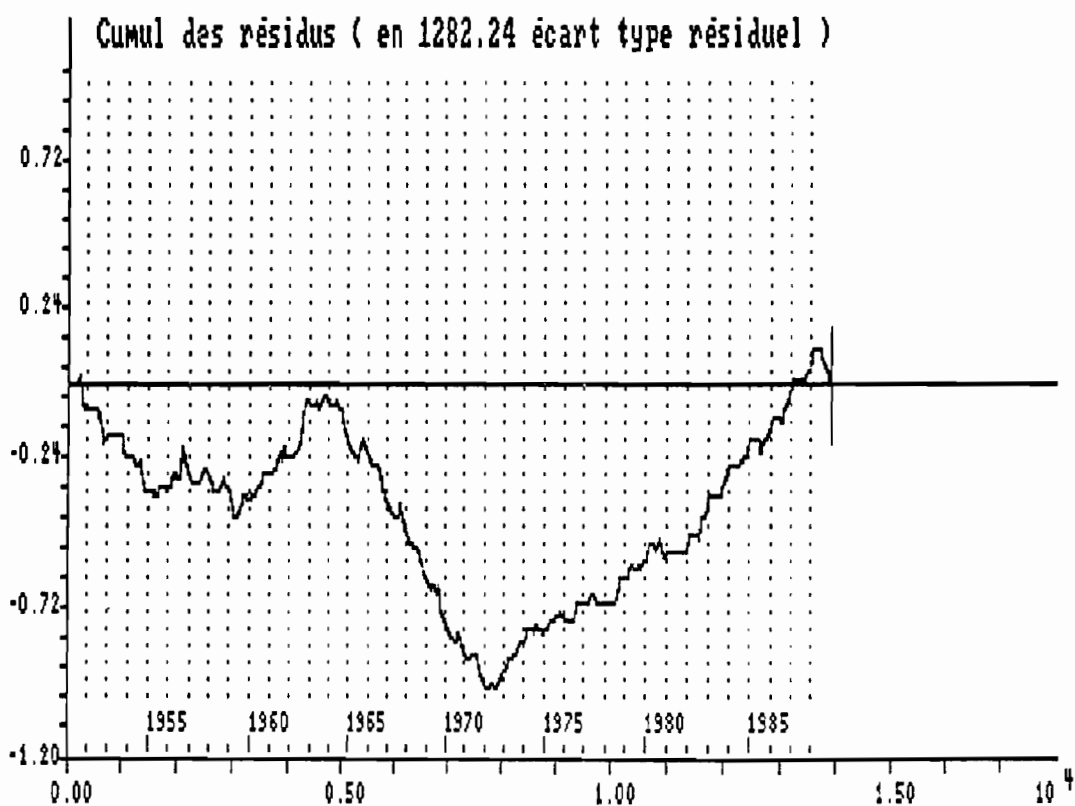
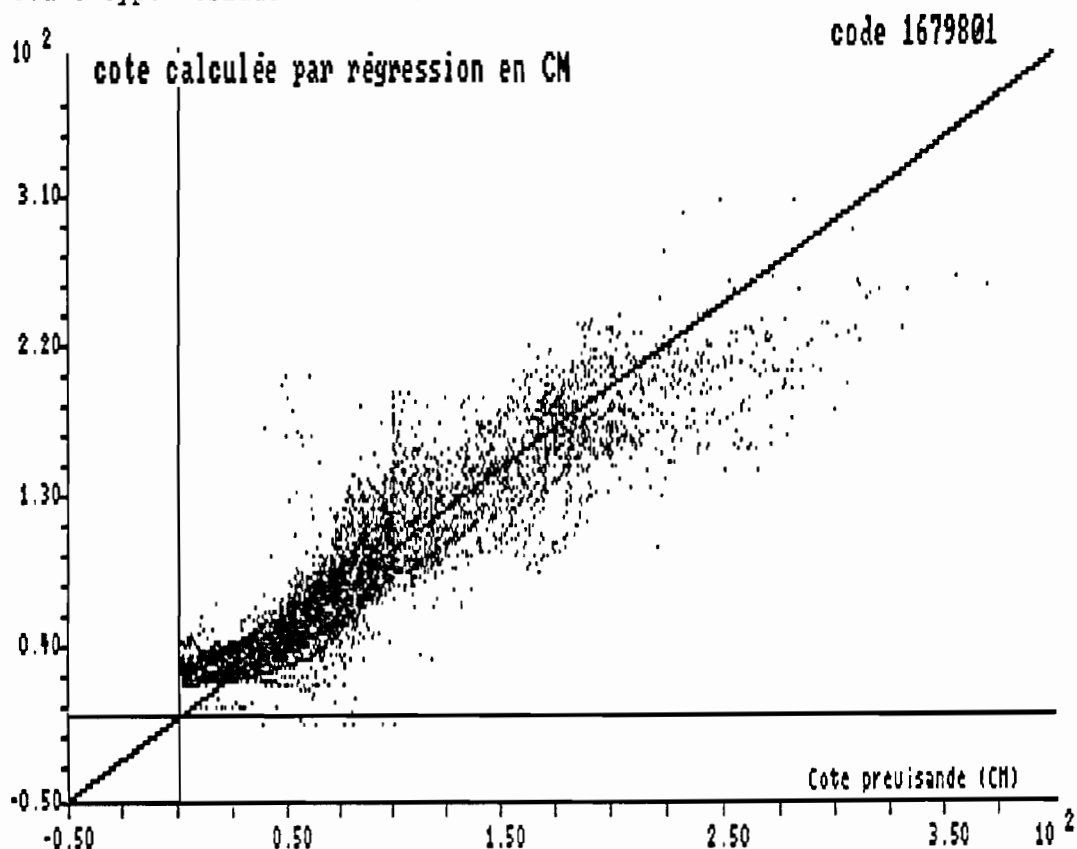
$y = 0.289 x + 20.786$
 Coefficient de corrélation : $R = 0.9379$
 écart type résiduel : 18



CALCUL DE CORRELATION SIMPLE ENTRE :
 X , station prévisseur 12726001121 lue dans galougo.jou
 Y , station prévisande 12726014151 lue dans toukoto.jou
 Calcul relatif aux cotes moyennes journalieres de 1951 à 1988
 Décalage artificiel du prévisseur : -1 unités de temps
 Seuils sur le prévisseur: inf : -998 Sup : 9998

RESULTATS en CM (code 1679801) obtenus sur 9273 couples :

variable	moyenne	minimum	maximum	écart type
x = X	229	-67	1118	186
y = Y	74	0	369	53
y = 0.266 x + 12.642				
Coefficient de corrélation : R = 0.9250				
écart type résiduel : 20				

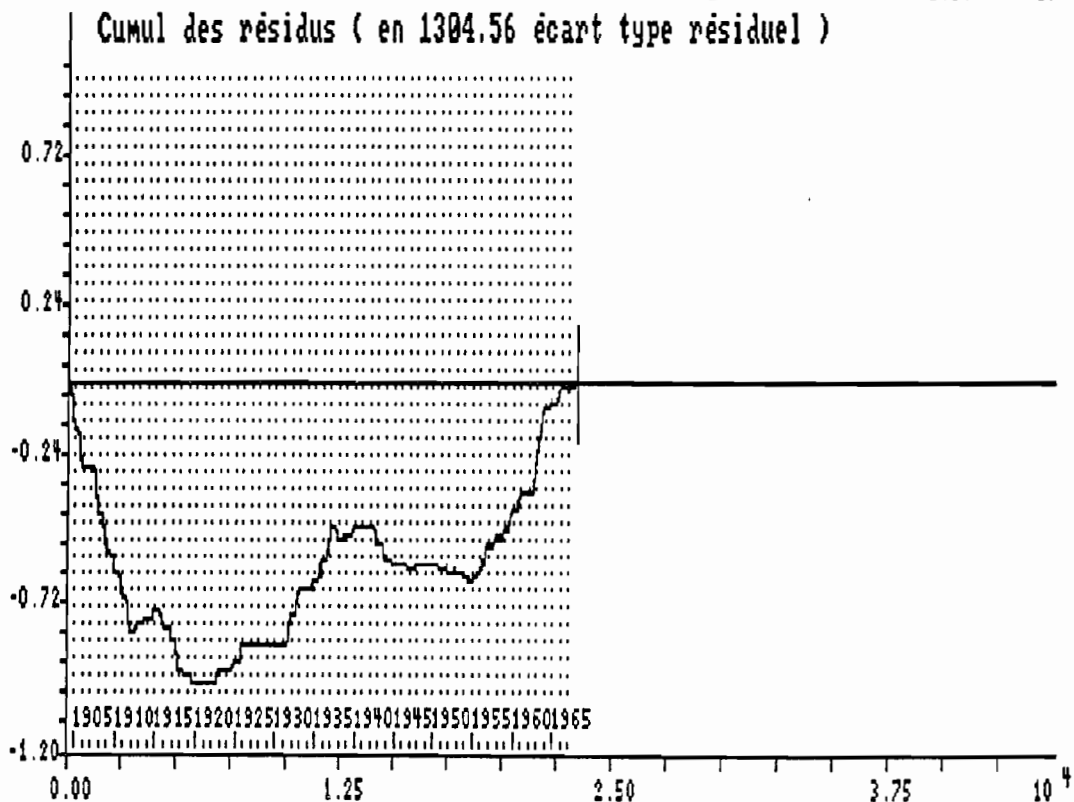
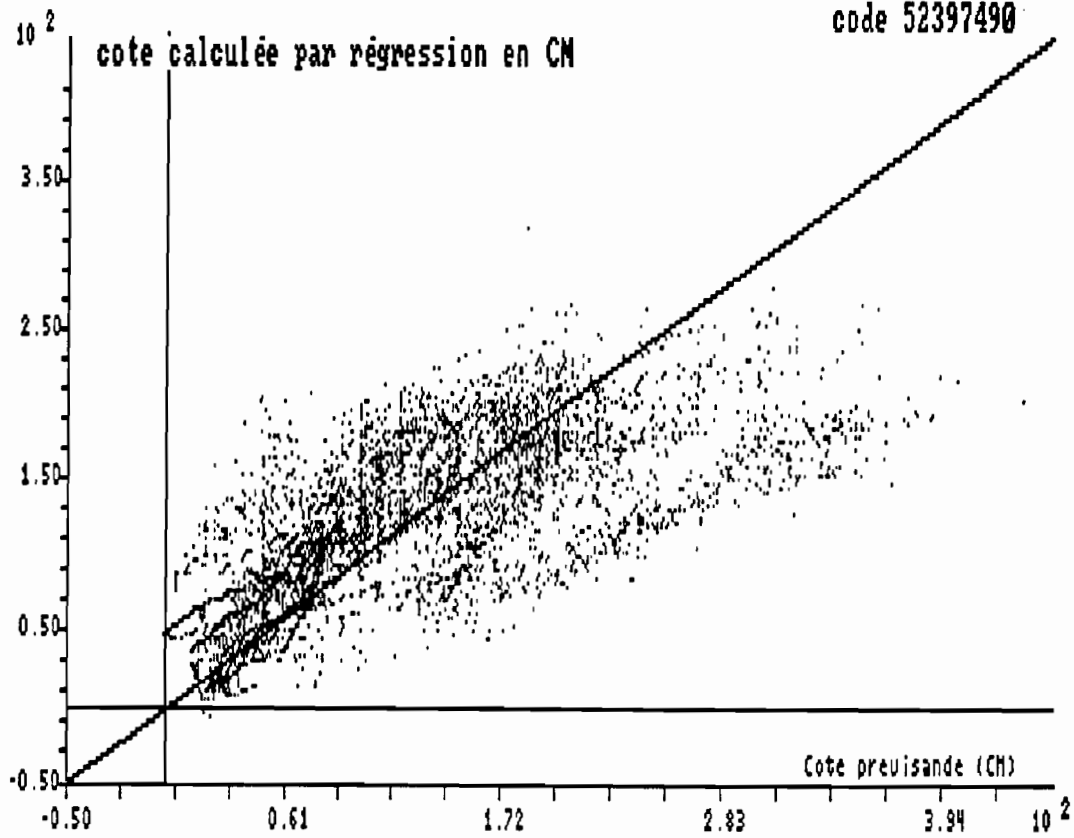


CALCUL DE CORRELATION SIMPLE ENTRE :

X , station prévisseur 12726001061 lue dans bafoula1.jou
 Y , station prévisande 12726014151 lue dans toukoto1.jou (corrigé de 1963 à 1972)
 Calcul relatif aux cotes moyennes journalières de 1904 à 1967
 Décalage artificiel du prévisseur : -1 unités de temps
 Seuils sur le prévisseur: inf : -998 Sup : 9998

RESULTATS en CM (code 52397490) obtenus sur 5503 couples :

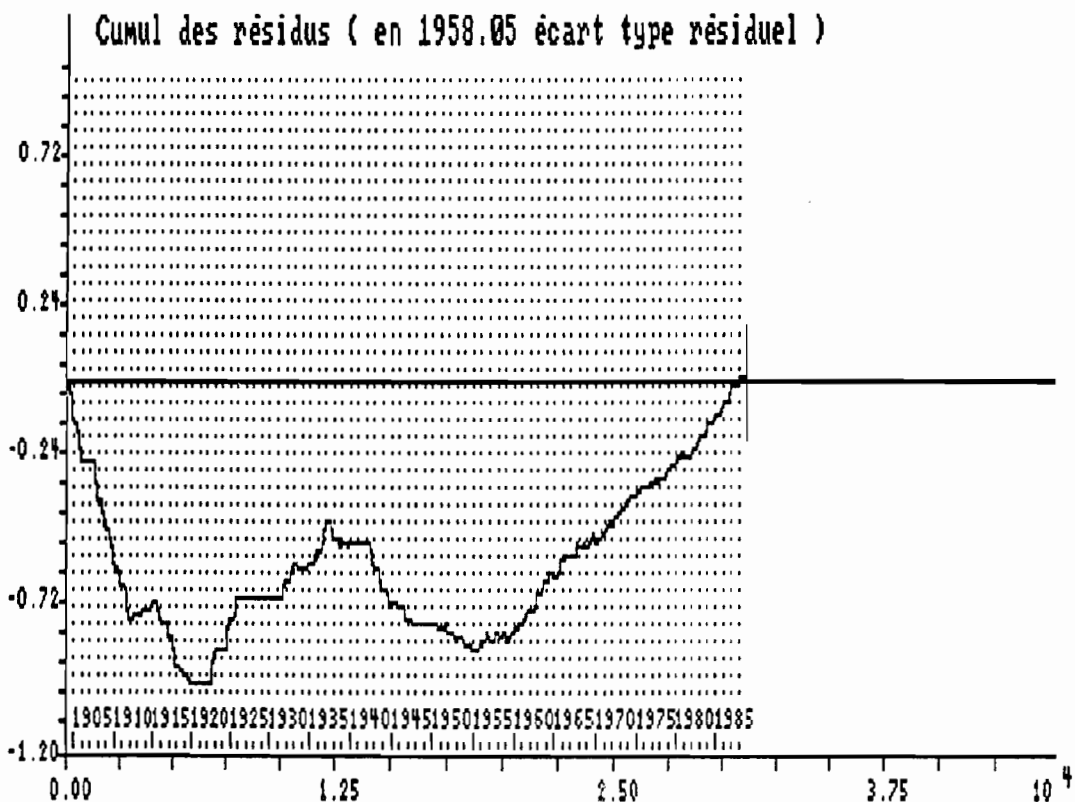
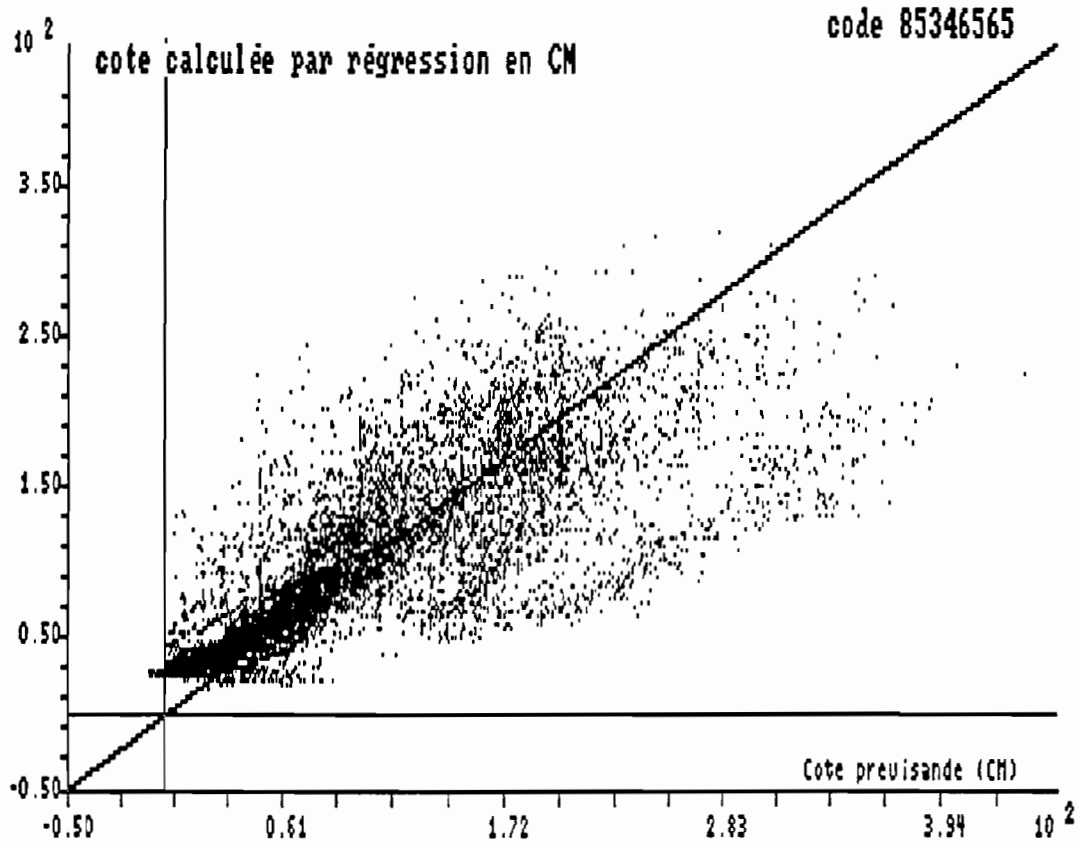
variable	moyenne	minimum	maximum	écart type
x = X	247	20	612	100
y = Y	120	-1	434	77
y = 0.550 x + -15.280				
Coefficient de corrélation : R = 0.7138				
écart type résiduel : 54				



CALCUL DE CORRELATION SIMPLE ENTRE :
 X , station prévisseur 12726001181 lue dans kayes.jou
 Y , station prévisande 12726014151 lue dans toukoto1.jou (cote de 1963 à 1972)
 Calcul relatif aux cotes moyennes journalieres de 1904 à 1988
 Décalage artificiel du prévisseur : -2 unités de temps
 Seuils sur le prévisseur: inf : -998 Sup : 9998

RESULTATS en CM (code 85346565) obtenus sur 11849 couples :

variable	moyenne	minimum	maximum	écart type
x = X	315	-12	1322	246
y = Y	92	-8	434	70
y = 0.230 x + 19.262				
Coefficient de corrélation : R = 0.8051				
écart type résiduel : 42				

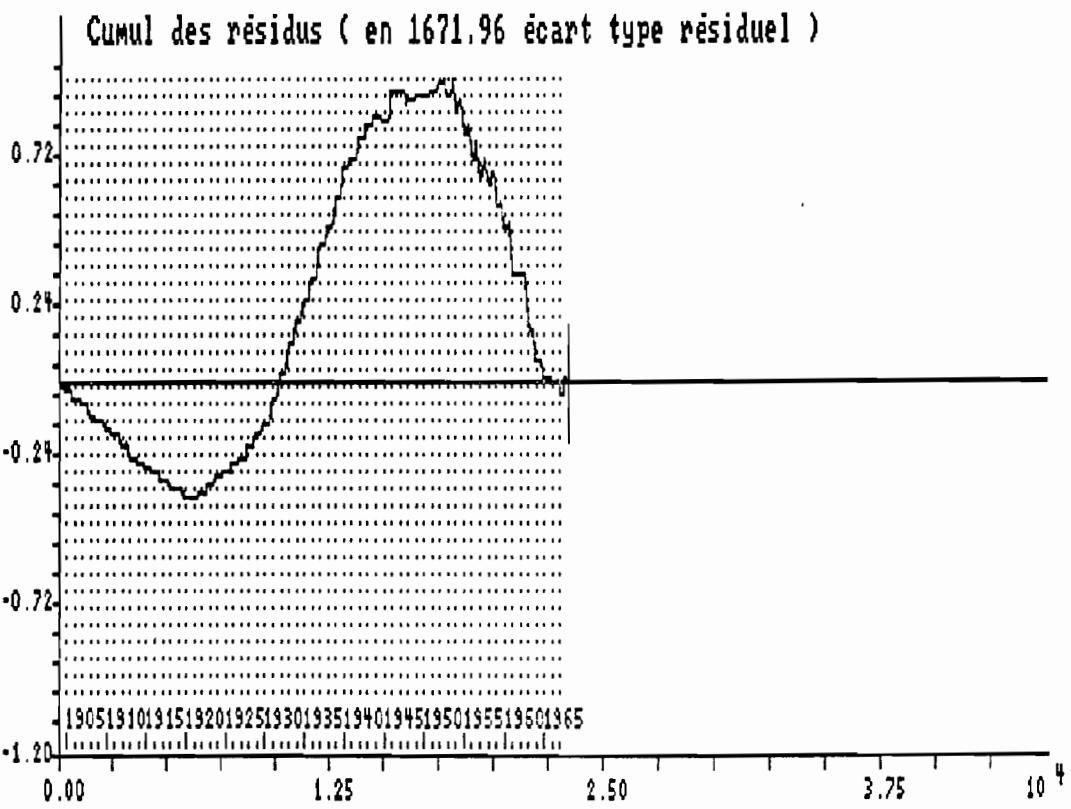
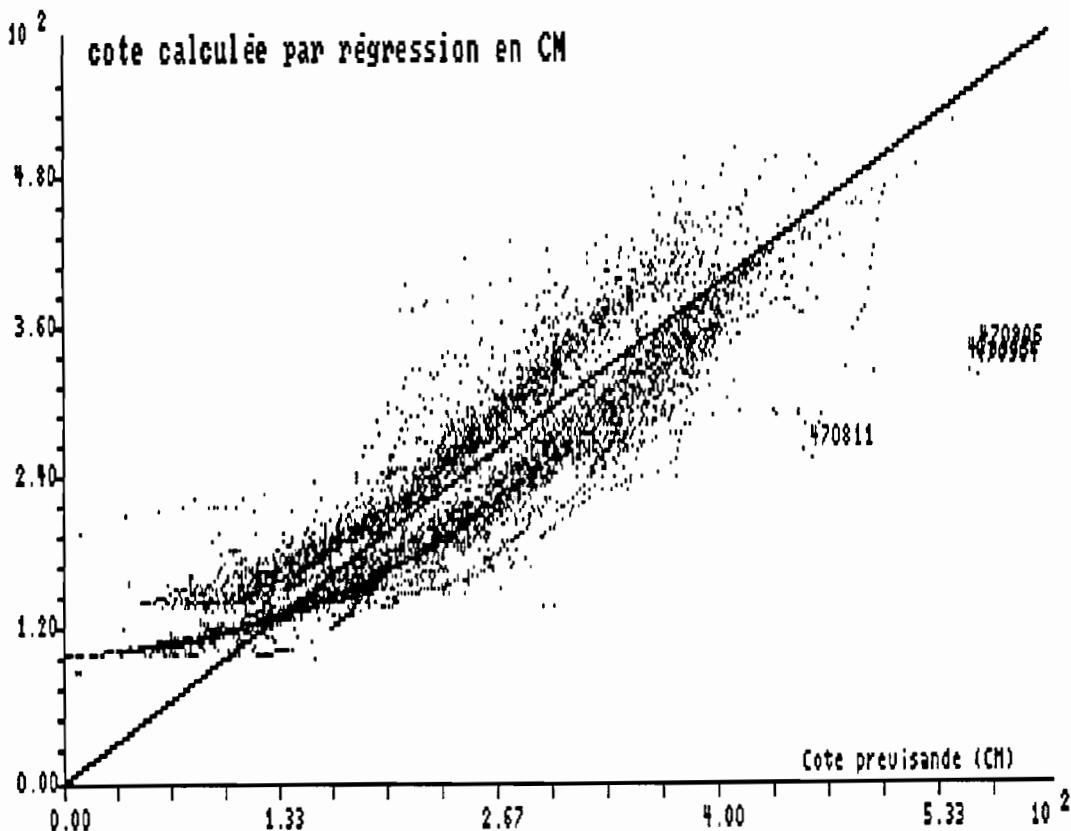


CALCUL DE CORRELATION SIMPLE ENTRE :

X , station prévisieur 12726001181 lue dans kayes.jou
 Y , station prévisande 12726001061 lue dans bafoulab.jou
 Calcul relatif aux cotes moyennes journalieres de 1904 à 1967
 Décalage artificiel du prévisieur : -1 unités de temps
 Seuils sur le prévisieur: inf : -998 Sup : 9998

RESULTATS en CM (code 51132545) obtenus sur 7730 couples :

variable	moyenne	minimum	maximum	écart type
x = X	399	-7	1278	251
y = Y	226	3	558	94
y = 0.341 x + 90.210				
Coefficient de corrélation : R = 0.9096				
écart type résiduel : 39				

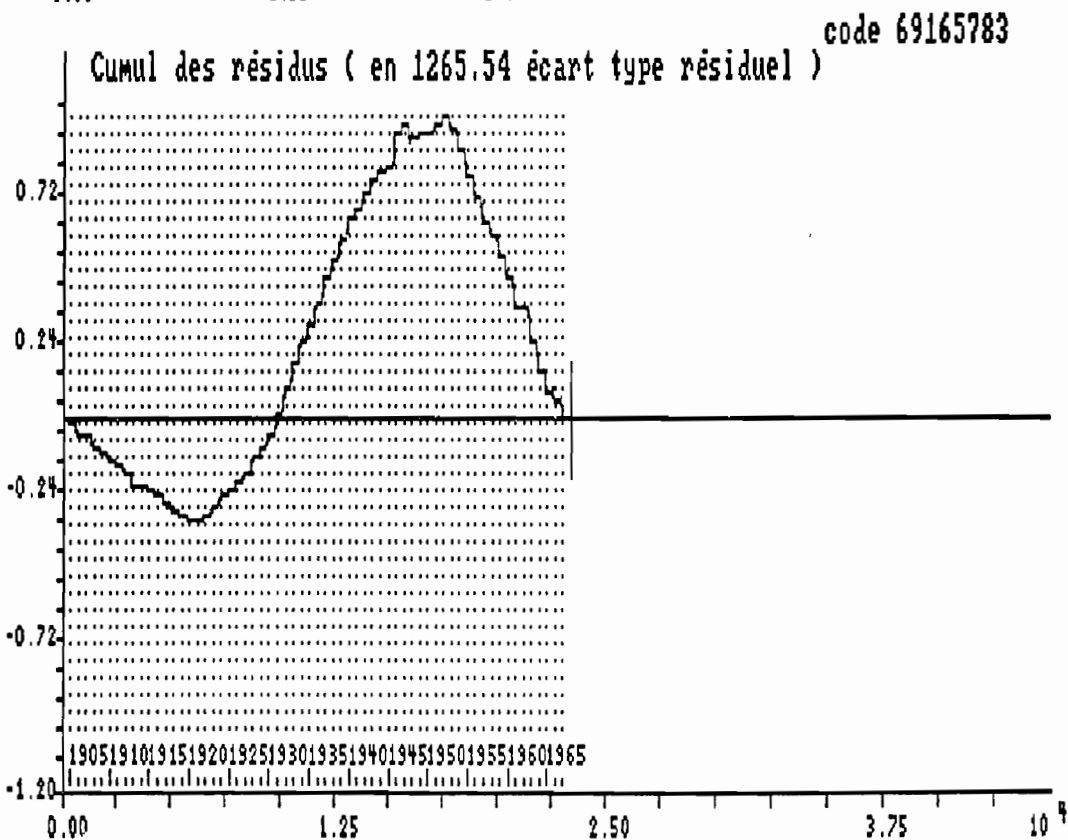
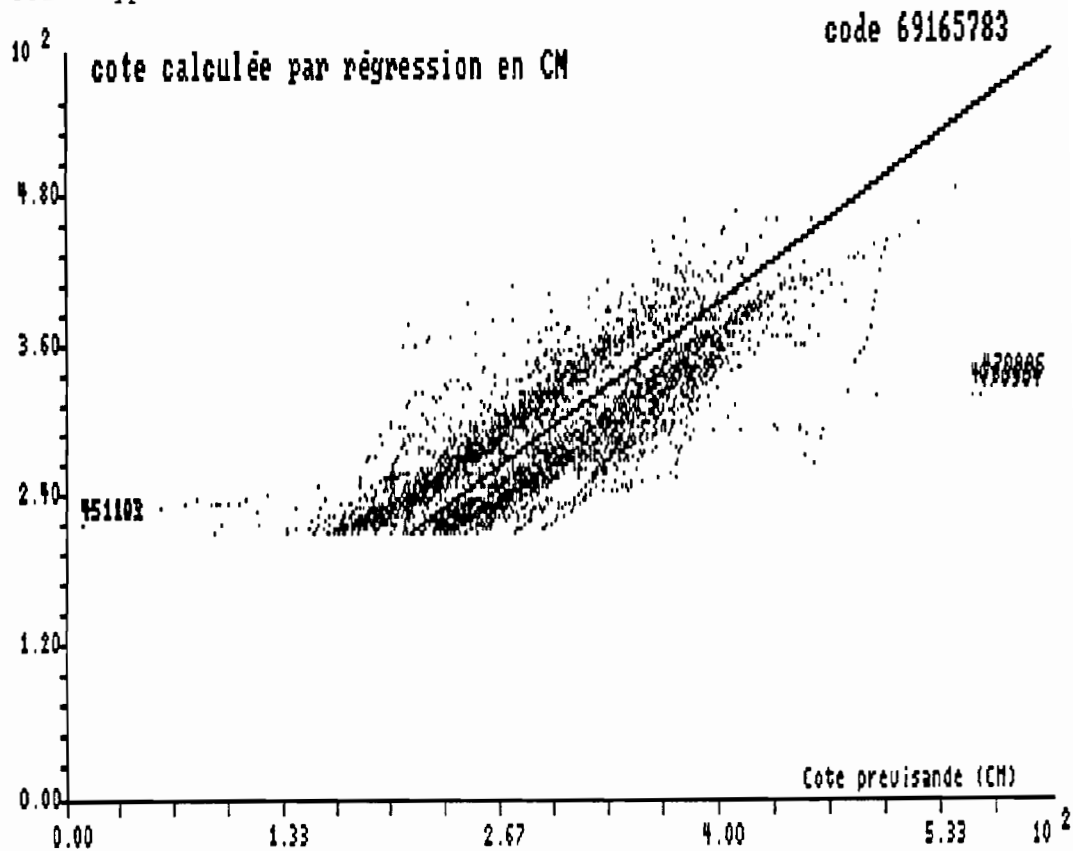


CALCUL DE CORRELATION SIMPLE ENTRE :

X , station prévisieur 12726001181 lue dans kayes.jou
 Y , station prévisande 12726001061 lue dans bafoulab.jou
 Calcul relatif aux cotes moyennes journalieres de 1904 à 1967
 Décalage artificiel du prévisieur : -1 unités de temps
 Seuils sur le prévisieur: inf : 300 Sup : 9998

RESULTATS en CM (code 69165783) obtenus sur 4341 couples :

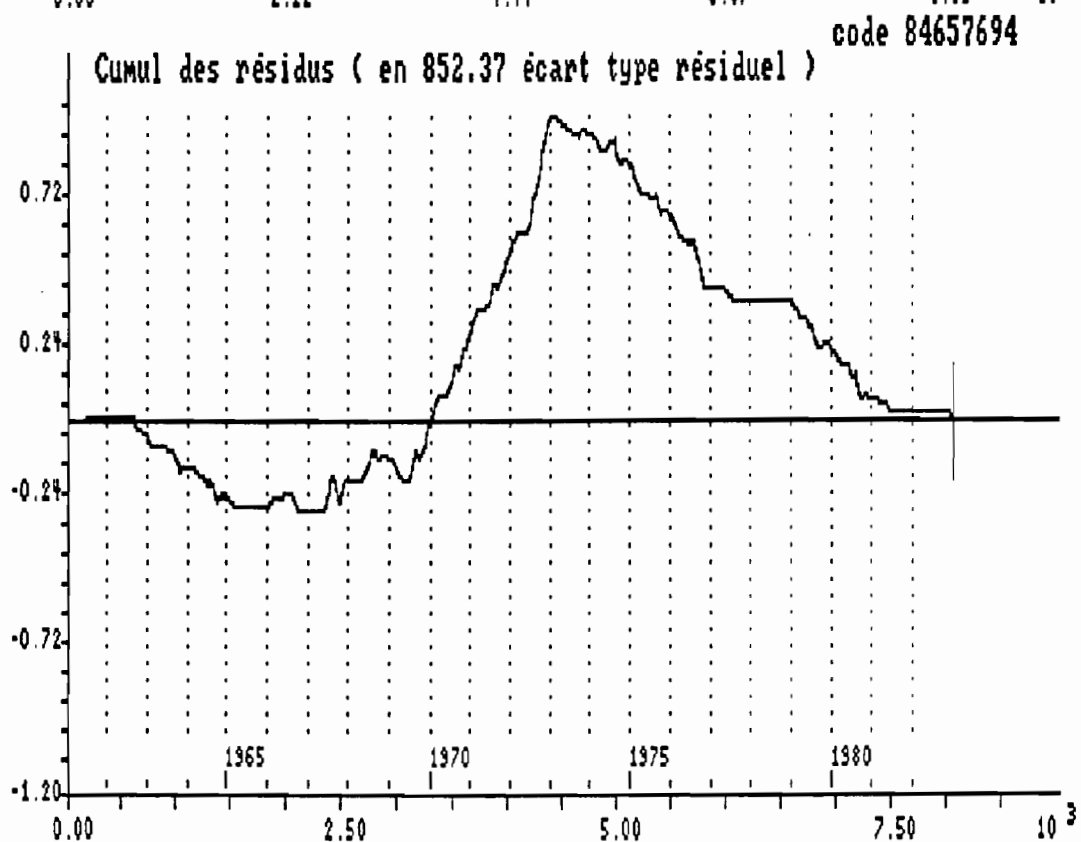
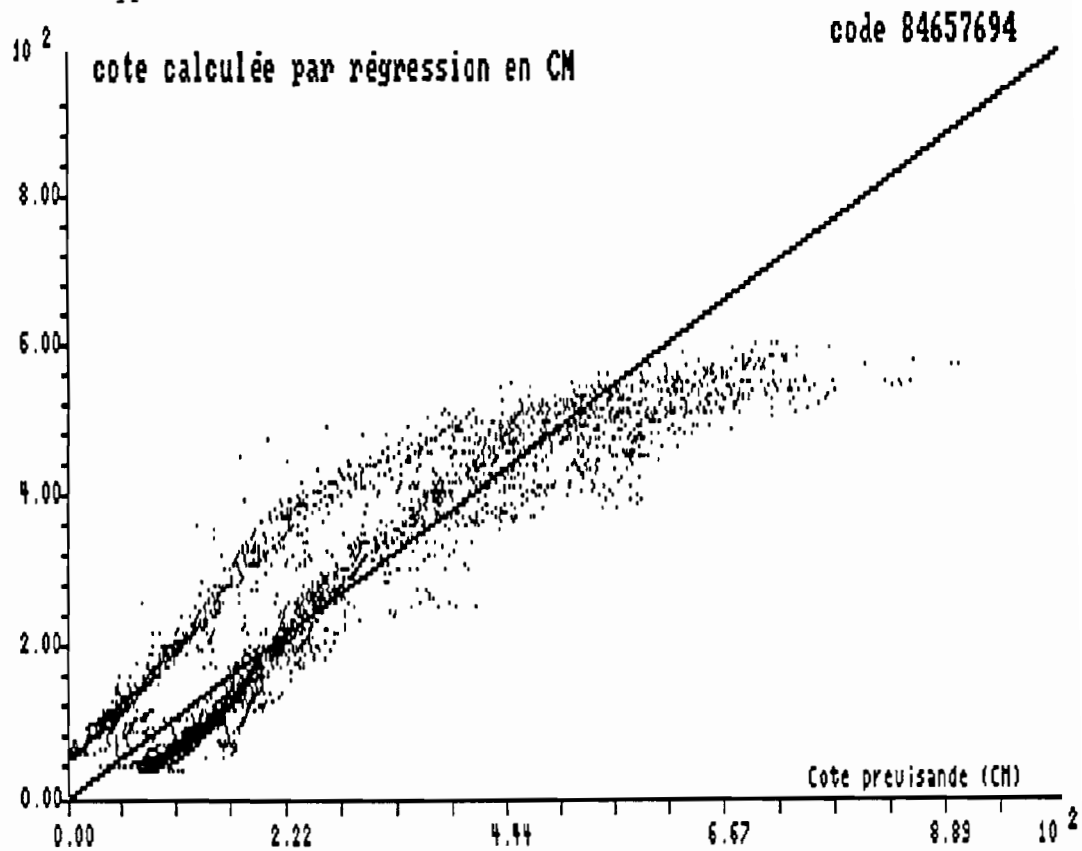
variable	moyenne	minimum	maximum	écart type
x = X	576	300	1278	192
y = Y	291	10	558	67
y = 0.281 x + 128.473				
Coefficient de corrélation : R = 0.8069				
écart type résiduel : 40				



CALCUL DE CORRELATION SIMPLE ENTRE :
 X , station prévisseur 12726012151 lue dans makana.jou
 Y , station prévisande 12726012091 lue dans dibia.jou
 Calcul relatif aux cotes moyennes journalieres de 1961 à 1982
 Décalage naturel du prévisseur : 1 unités de temps
 Seuils sur le prévisseur: inf : -998 Sup : 9998

RESULTATS en CM (code 84657694) obtenus sur 4008 couples :

variable	moyenne	minimum	maximum	écart type
x = X	322	0	886	266
y = Y	246	0	898	185
y = 0.644 x + 37.872				
Coefficient de corrélation : R = 0.9266				
écart type résiduel : 70				

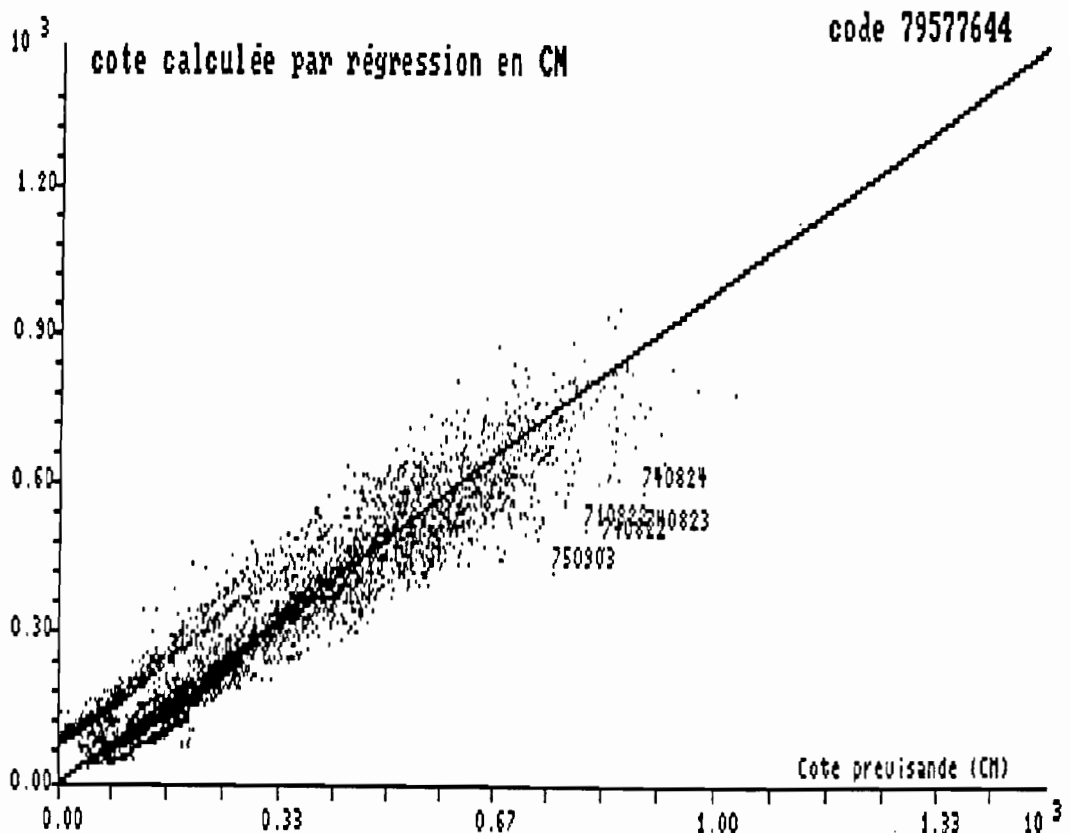
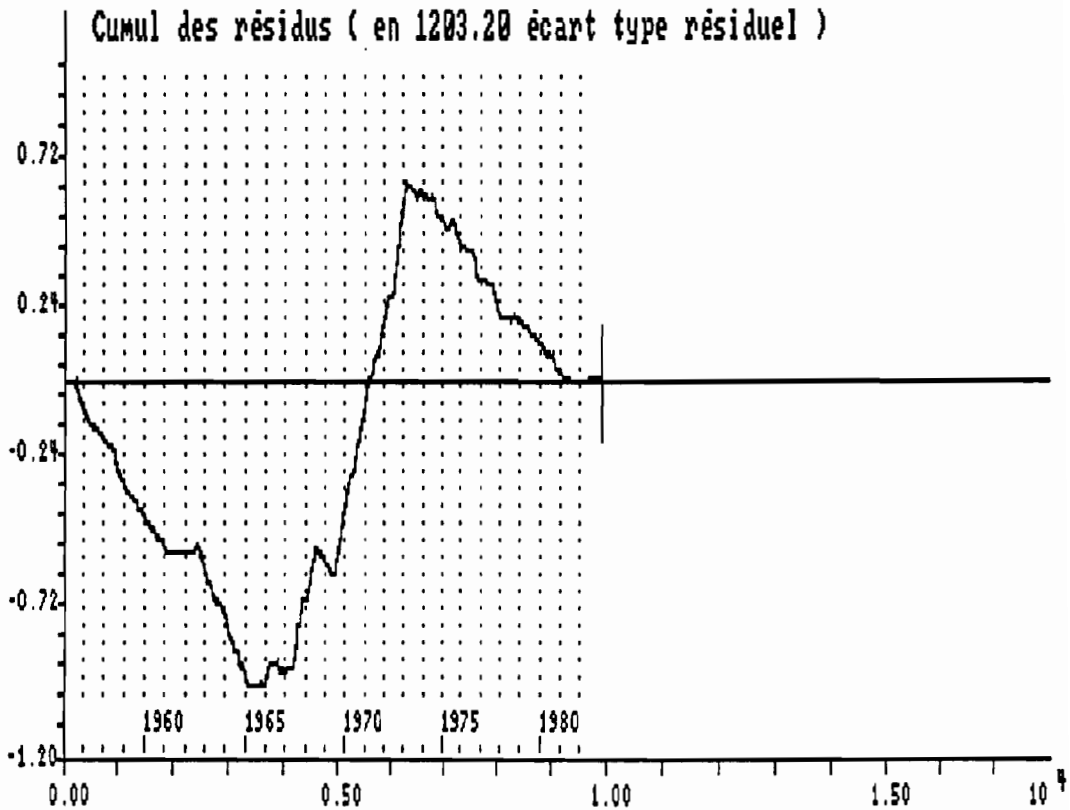


CALCUL DE CORRELATION SIMPLE ENTRE :

X , station prévisieur 12726012031 lue dans dakasaid.jou
 Y , station prévisande 12726012091 lue dans dibia.jou
 Calcul relatif aux cotes moyennes journalieres de 1956 à 1982
 Décalage naturel du prévisieur : 2 unités de temps
 Seuils sur le prévisieur: inf : -998 Sup : 9998

RESULTATS en CM (code 79577644) obtenus sur 6986 couples :

variable	moyenne	minimum	maximum	écart type
x = X	175	0	737	146
y = Y	254	0	1026	192
y = 1.258 x + 33.787				
Coefficient de corrélation : R = 0.9553				
écart type résiduel : 57				

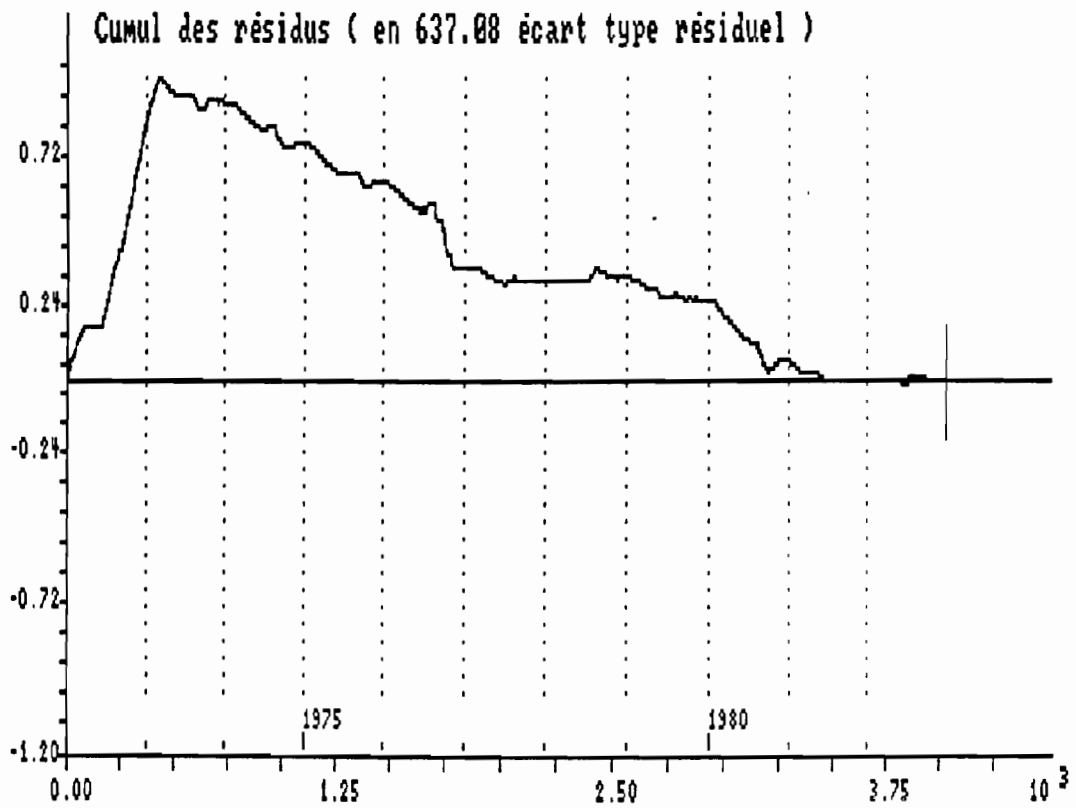
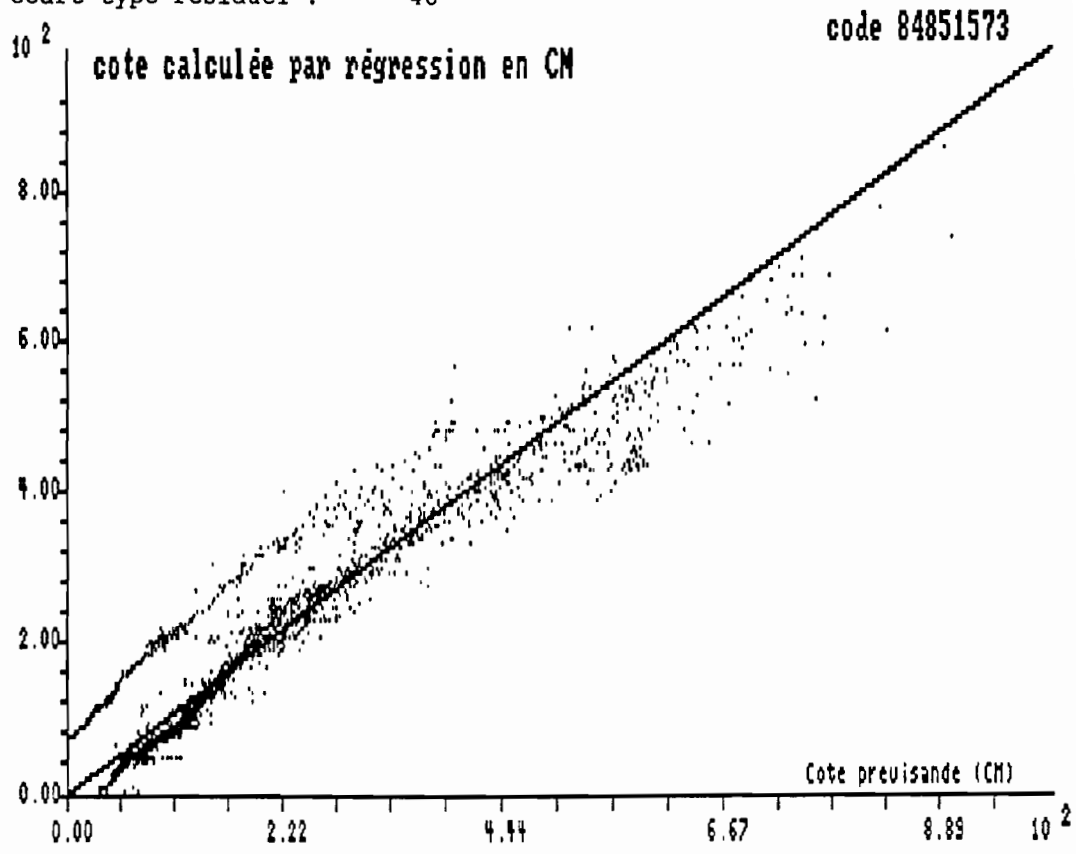


CALCUL DE CORRELATION SIMPLE ENTRE :

X , station prévisseur 12726012181 lue dans soukouta.jou
 Y , station prévisande 12726012091 lue dans dibia.jou
 Calcul relatif aux cotes moyennes journalieres de 1972 à 1982
 Décalage naturel du prévisseur : 1 unités de temps
 Seuils sur le prévisseur: inf : -998 Sup : 9998

RESULTATS en CM (code 84851573) obtenus sur 2474 couples :

variable	moyenne	minimum	maximum	écart type
x = X	202	27	775	129
y = Y	202	0	898	157
y = 1.154 x + -31.327				
Coefficient de corrélation : R = 0.9523				
écart type résiduel : 48				

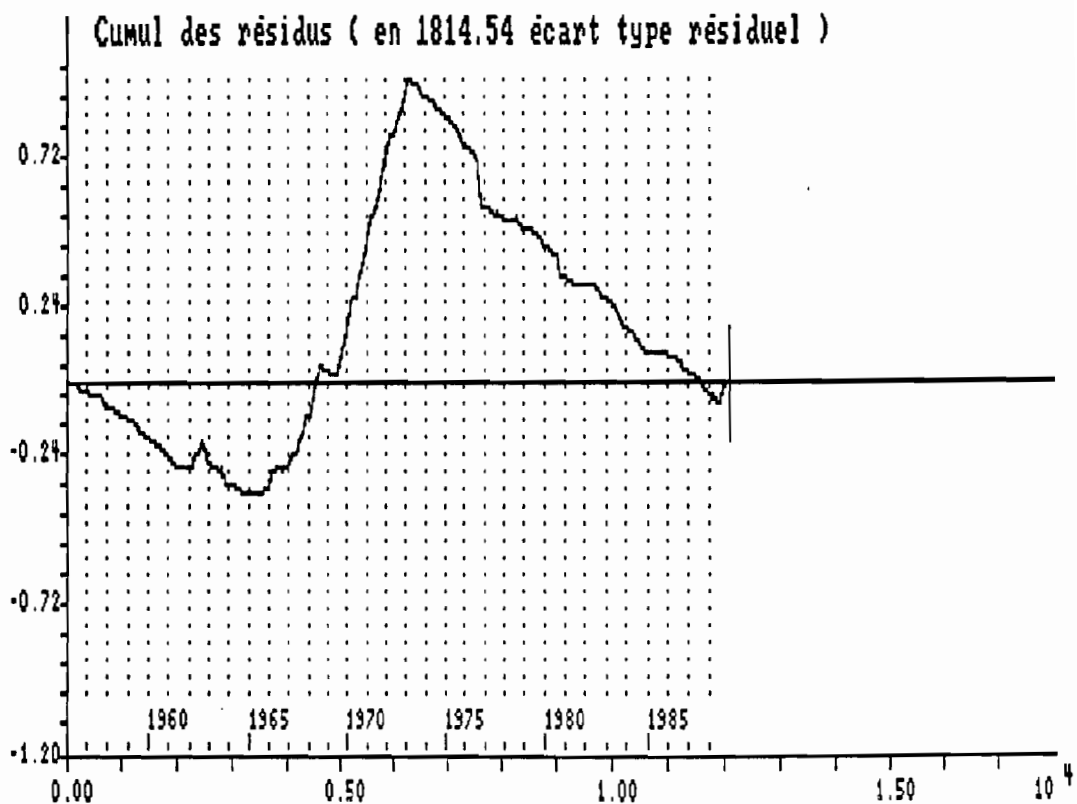
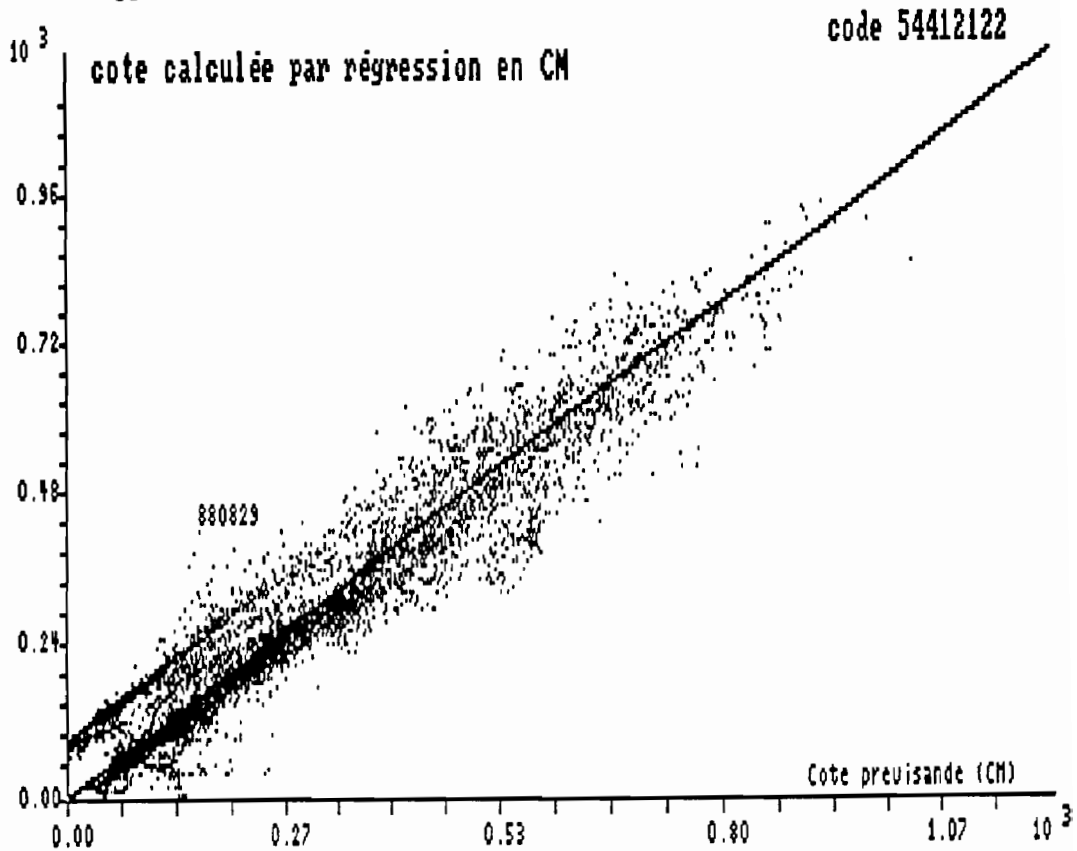


CALCUL DE CORRELATION SIMPLE ENTRE :

X , station prévisieur 12726001121 lue dans galougo.jou
 Y , station prévisande 12726012091 lue dans dibia.jou
 Calcul relatif aux cotes moyennes journalieres de 1956 à 1988
 Décalage naturel du prévisieur : 0 unités de temps
 Seuils sur le prévisieur: inf : -998 Sup : 9998

RESULTATS en CM (code 54412122) obtenus sur 8905 couples :

variable	moyenne	minimum	maximum	écart type
x = X	204	-30	948	179
y = Y	233	0	1026	181
y = 0.972 x + 34.177				
Coefficient de corrélation : R = 0.9602				
écart type résiduel : 51				

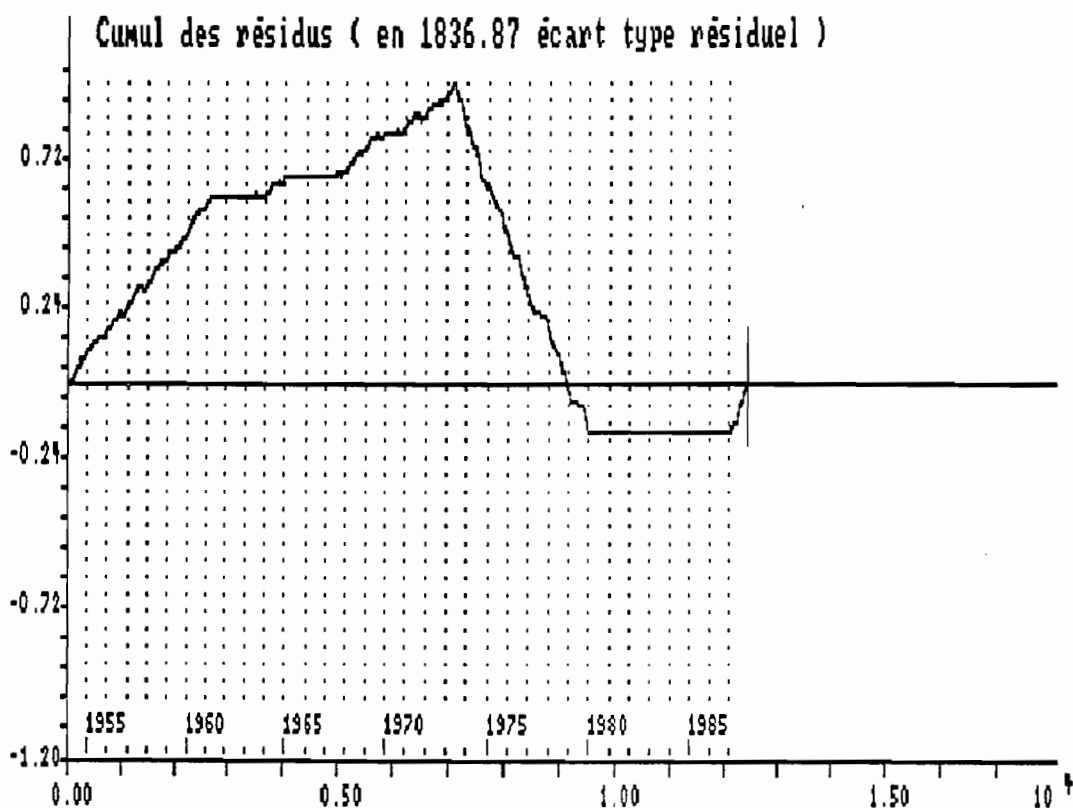
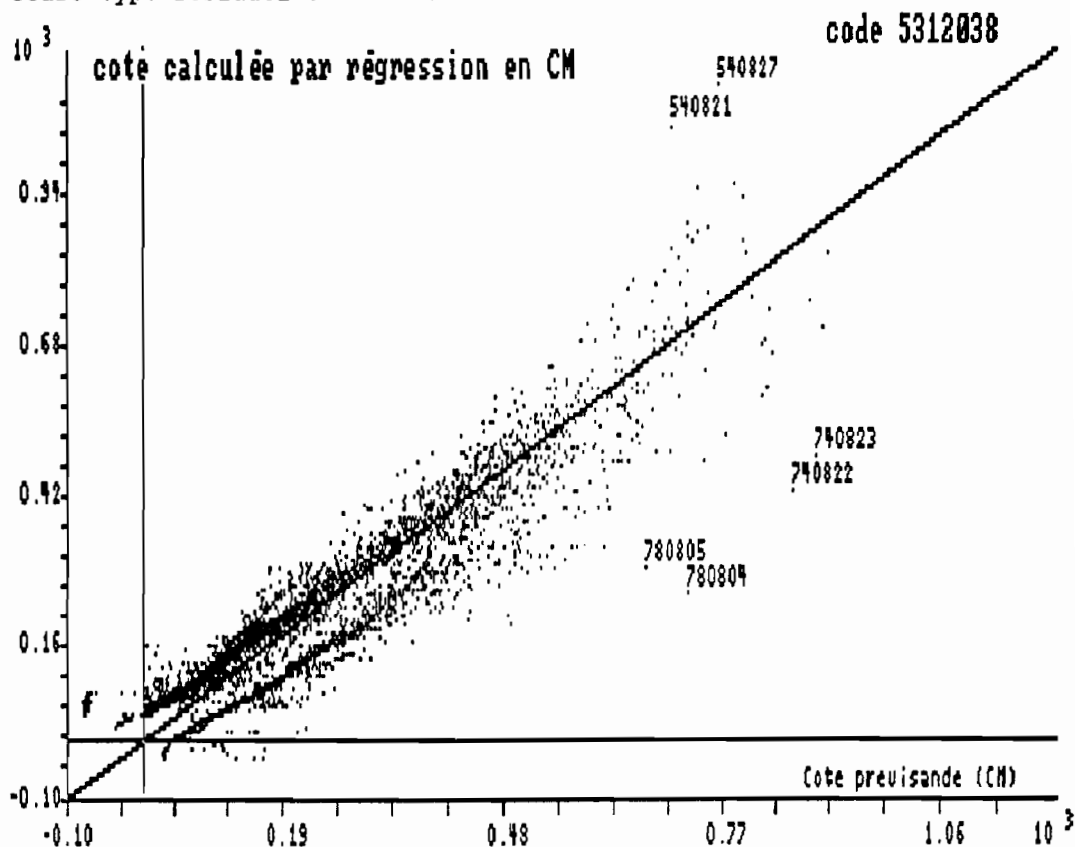


CALCUL DE CORRELATION SIMPLE ENTRE :

X , station prévisieur 12726016031 lue dans fadougou.jou
 Y , station prévisande 12726016061 lue dans gourbass.jou
 Calcul relatif aux cotes moyennes journalieres de 1954 à 1987
 Décalage naturel du prévisieur : 2 unités de temps
 Seuils sur le prévisieur: inf : -998 Sup : 9998

RESULTATS en CM (code 5312038) obtenus sur 6170 couples :

variable	moyenne	minimum	maximum	écart type
x = X	134	-72	1088	144
y = Y	176	-79	905	156
y = 1.006 x + 41.141				
Coefficient de corrélation : R = 0.9293				
écart type résiduel : 57				

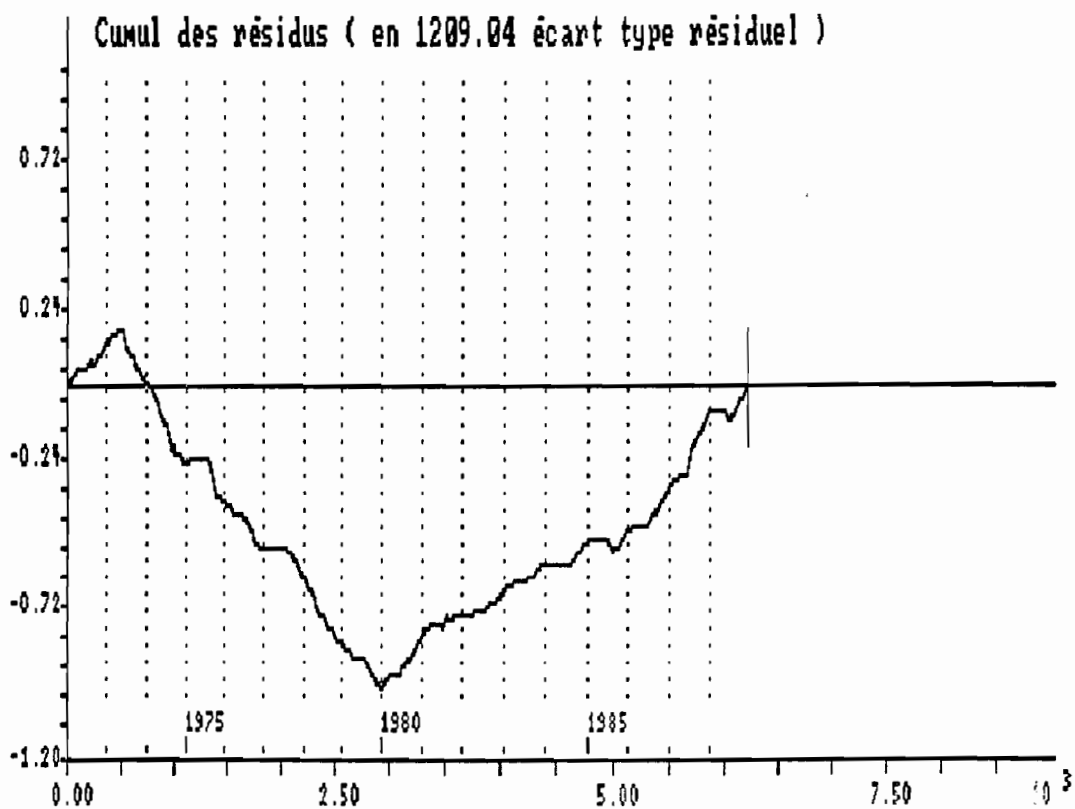
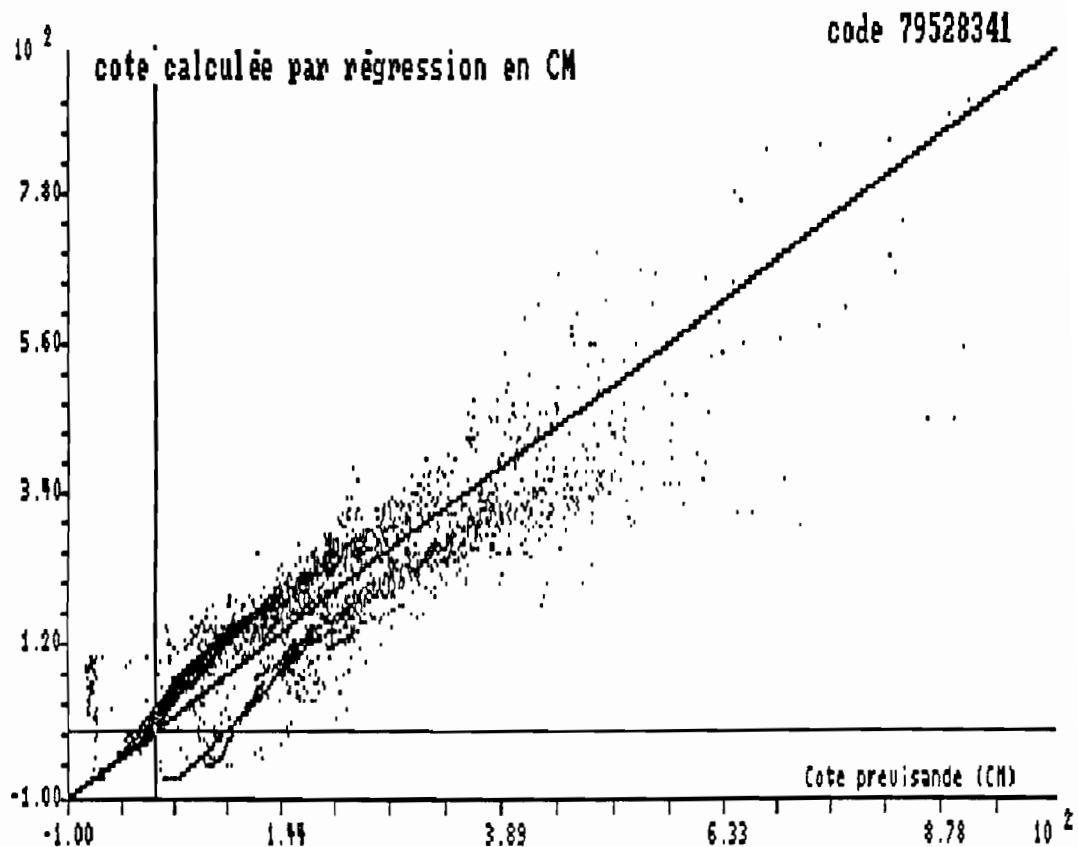


CALCUL DE CORRELATION SIMPLE ENTRE :

X , station prévisseur 12726016101 lue dans moussala.jou
 Y , station prévisande 12726016061 lue dans gourbass.jou
 Calcul relatif aux cotes moyennes journalieres de 1972 à 1988
 Décalage naturel du prévisseur : 2 unités de temps
 Seuils sur le prévisseur: inf : -998 Sup : 9998

RESULTATS en CM (code 79528341) obtenus sur 4057 couples :

variable	moyenne	minimum	maximum	écart type
x = X	142	1	652	83
y = Y	141	-79	905	141
y = 1.526 x + -75.451				
Coefficient de corrélation : R = 0.8968				
écart type résiduel : 62				

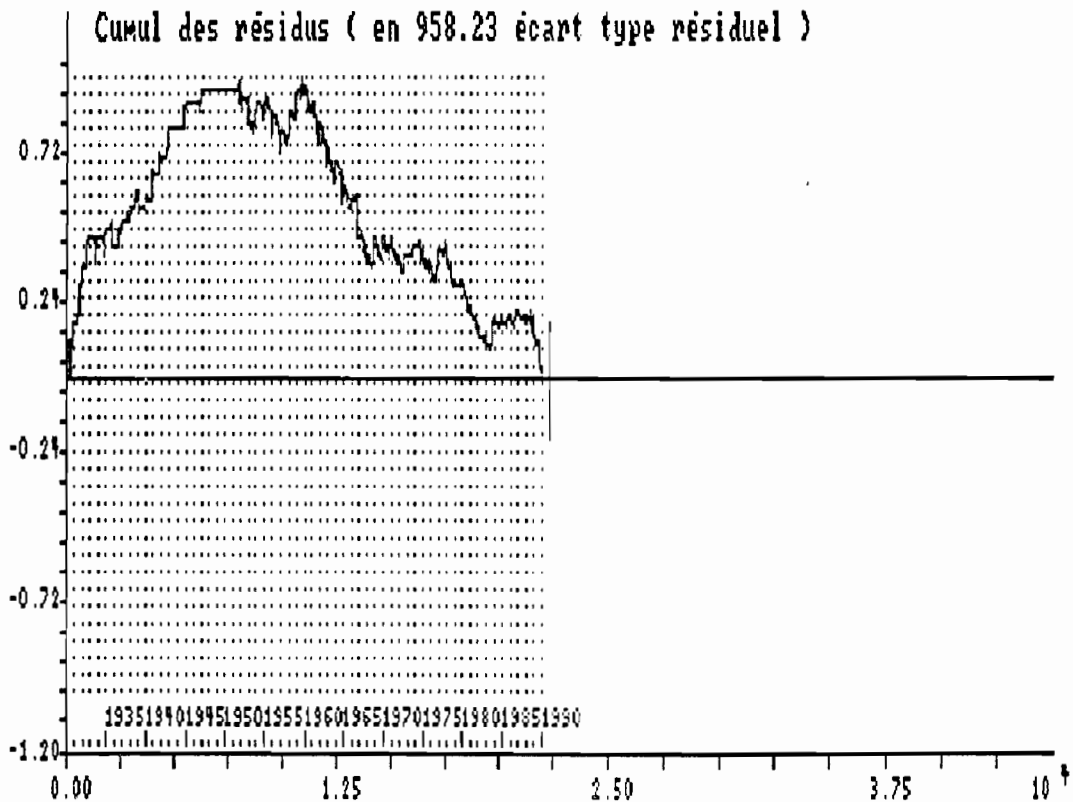
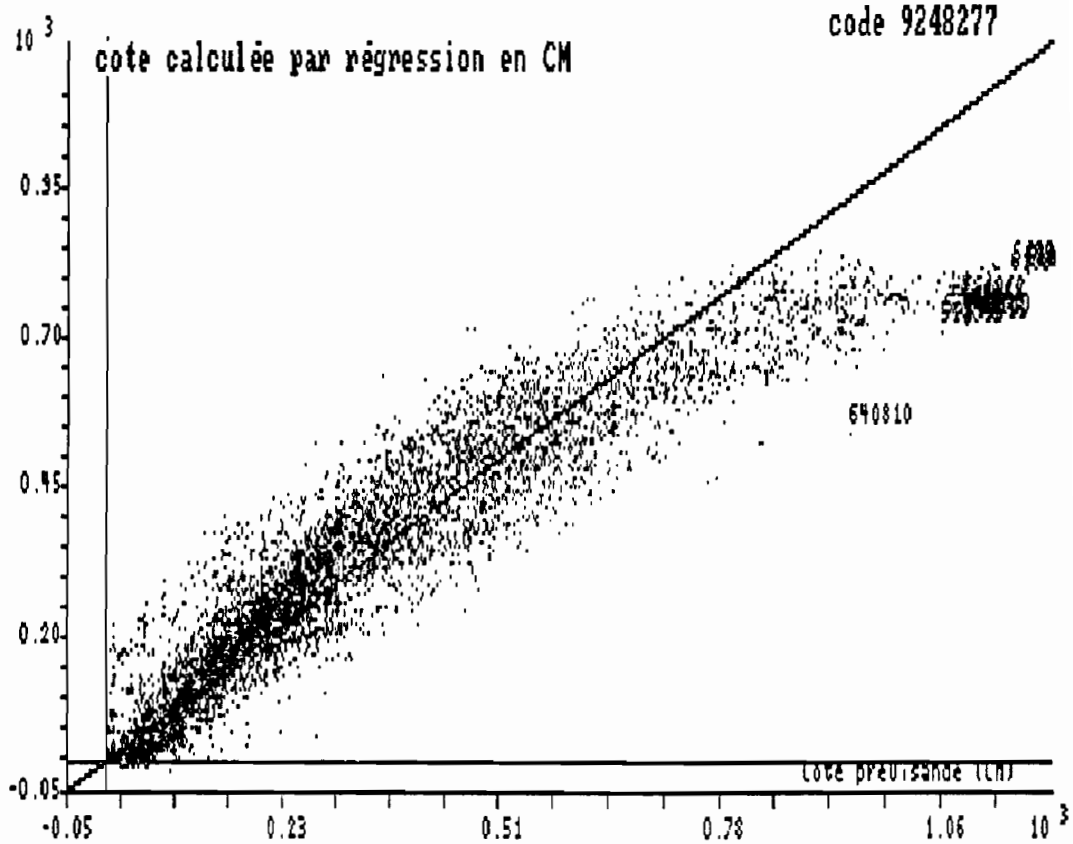


CALCUL DE CORRELATION SIMPLE ENTRE :

X , station prévisseur 13826001031 lue dans bakel.jou
 Y , station prévisande 13826016091 lue dans kidira.jou
 Calcul relatif aux cotes moyennes journalieres de 1930 à 1990
 Décalage artificiel du prévisseur : -1 unités de temps
 Seuils sur le prévisseur: inf : -998 Sup : 9998

RESULTATS en CM (code 9248277) obtenus sur 11769 couples :

variable	moyenne	minimum	maximum	écart type
x = X	398	20	1288	302
y = Y	241	0	1167	216
y = 0.683 x + -30.334				
Coefficient de corrélation : R = 0.9556				
écart type résiduel : 64				



ANNEXE DGRAPHIQUES DES REGRESSIONS INTER-STATIONS

Les graphiques sont numérotés conformément au tableau n°1 inséré dans le texte.

Ils correspondent à des calculs faits sur les fichiers originaux contrôlés et homogénéisés, sans donnée reconstituée (mis à part le n°12, où le fichier de Siramakana est complété).

Ils représentent les corrélations, simples ou doubles, dans un repère d'abscisse: cote observée (prévisande), et d'ordonnée: cote reconstituée par équation de régression.

