

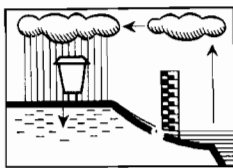
J.C. OLIVRY

LE POINT EN 1982

SUR

L'ÉVOLUTION DE LA SÉCHERESSE
EN SÉNÉGAMBIE
ET AUX ILES DU CAP-VERT

Examen de quelques séries de longue durée
(débits et précipitations)



DÉCEMBRE 1982

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE DAKAR - HANN



LE POINT EN 1982
S U R
L'EVOLUTION DE LA SECHERESSE
EN SENEGAMBIE ET AUX ILES DU CAP-VERT
Examen de quelques séries de longue durée
(débits et précipitations)

J.C. OLIVRY

Décembre 1982.

Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégambie et aux Iles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). J.C. OLIVRY*. Décembre 1982.

R E S U M E

Les variations de quelques séries chronologiques de paramètres climatiques observés en Sénégambie et aux Iles du Cap-Vert, comptant parmi les plus longues de l'Afrique de l'Ouest, ont été suivies sur près d'un siècle. Les débits du fleuve Sénégal à Bakel, les hauteurs de précipitations annuelles à Saint-Louis du Sénégal, à Banjul en Gambie, à Praia aux Iles du Cap-Vert constituent, en effet, un échantillon précieux pour essayer de définir l'évolution du climat en région sahélo-soudanienne, et, en particulier, l'évolution de la sécheresse actuelle dans la sous-région, sur la base des informations les plus récentes.

Afin de permettre un lissage minimal des observations, mais sans produire d'artefact de périodicité et en respectant le calage dans le temps des événements climatiques, on a introduit la notion de "moyennes mobiles pondérées" dont le calcul est obtenu chaque année en donnant un poids dégressif aux paramètres des années antérieures. Les courbes lissées des variations de ces moyennes, outre qu'elles montrent la succession de séquences sèches et humides ou une certaine évolution, pourraient par leur forme suggérer une explication physique possible à d'éventuels phénomènes de persistance. Mais l'examen des séries disponibles est négatif sur ce point et il ne permet pas d'attribuer une périodicité déterminée aux variations cycliques du climat.

La répétitivité de deux séquences sèches-humides sur les débits du fleuve Sénégal a pu faire illusion ; elle ne saurait suffire pour servir de base à une quelconque prévision, laquelle serait d'ailleurs démentie par la longueur de l'actuelle période déficitaire. Pour les séries de précipitations annuelles de Saint-Louis, de Praia et de Banjul, on ne peut même plus parler de variations cycliques, mais seulement d'une concordance, entre stations, dans l'apparition des valeurs extrêmes d'années sèches ou humides.

Mais le point le plus important est le constat qui est fait sur la persistance de la période sèche actuelle. Celle-ci dure maintenant depuis 15 ans et on montre que le déficit des dernières années a été globalement nettement plus marqué en Sénégambie que celui des années 1972-1973.

Malheureusement donc, la sécheresse reste d'actualité et la maîtrise des maigres ressources en eau doit rester une priorité dans les pays du Sahel.

* : *Maître de Recherches, Chef du Service Hydrologique de l'ORSTOM au Sénégal.*

INTRODUCTION

Sur la base des informations connues en cette fin d'année 1982, il a paru intéressant de faire le point sur l'évolution générale et récente de séries chronologiques de paramètres climatiques observés en Sénégal et aux Iles du Cap-Vert.

Ces séries comptent parmi les plus longues observées en Afrique de l'Ouest. Elles se rapportent aux débits du fleuve Sénégal et aux hauteurs de précipitations annuelles de stations comme Saint-Louis du Sénégal, Banjul en Gambie et Praia à Santiago.

Elles ont été étudiées avec le souci de mettre en évidence la succession de séquences sèches et humides, l'éventuelle coïncidence des évolutions d'une série à une autre et d'en interpréter la forme. A ces fins, les variations des paramètres ont été suivies par le biais de moyennes mobiles pondérées ; celles-ci ont l'intérêt de ne pas introduire d'artefact de périodicité tout en permettant un lissage minimal des observations.

Il paraissait important en outre de souligner la durée exceptionnelle de la séquence sèche actuelle. Les observations de ces dernières années démentent les conclusions des travaux de certains auteurs prévoyant un retour rapide à une séquence humide, et les pays du Sahel doivent craindre l'effet démobilisateur de telles prévisions, reprises par les médias. La conduite des projets de "maîtrise des eaux" doit rester une priorité et l'effort des gouvernements et de l'aide internationale ne doit pas se relâcher.

1. ANALYSE DE L'EVOLUTION DE QUELQUES SERIES CHRONOLOGIQUES DE LONGUE DUREE

1.1 GENERALITES

Sans souscrire aux tentations des prévisionnistes il peut être intéressant de rechercher dans les longues séries de paramètres climatiques dont on dispose les similitudes dans l'évolution susceptibles de traduire des variations climatiques communes dans l'histoire récente de ces régions.

Rechercher à interpréter l'évolution chronologique d'une série de variables x liées au climat, tels la hauteur de précipitations annuelles, le module mesuré à l'exutoire d'un bassin fluvial, dans le sens d'une détermination de variations cycliques ou pseudo cycliques, c'est admettre pour des données annuelles que la valeur de la variable d'une année donnée est pour partie fonction de ce qui s'est passé les années précédentes et pour partie fonction d'une variable aléatoire z propre à l'année considérée.

A l'échelle d'un pas de temps annuel et en supposant que les variables x_i sont liées aux variables z_i par un processus markovien d'ordre 1, on peut alors écrire pour une année n :

$$x_n = z_n + Ax_{n-1}$$

z_n traduisant la variable aléatoire de l'année n ,
 Ax_{n-1} représentant l'incidence de l'année antérieure,
où A est appelé coefficient de persistance et détermine le poids de la variable de l'année précédente. A intègre la notion de tendance d'une évolution générale du climat négligeable à notre échelle et celle de variation périodique ou cycle. Les valeurs successives de x_i ne sont donc pas indépendantes.

Afin de mieux voir le sens, la forme ou la tendance d'une évolution dans une suite chronologique de variables, on utilise couramment la méthode de la moyenne mobile arithmétique par laquelle on espère "lisser" la composante aléatoire et passer d'une courbe en dents de scies à une courbe plus significative pour l'analyse. En fait ces courbes de moyennes mobiles sont dépendantes du temps de base choisi pour le calcul de ces moyennes (généralement compris entre 5 et 10 ans) ; elles présentent l'inconvénient de centrer des phénomènes qui ne sont pas forcément en coïncidence avec l'observation réelle et d'induire en elles-mêmes des variations périodiques de période voisines du temps de base choisi pour le calcul (effet SLUTSKY). Le calcul des moyennes mobiles arithmétiques n'en constitue pas moins un outil pratique pour visualiser des variations lissées de l'échantillon originel. C'est d'ailleurs dans ces limites qu'il est généralement utilisé. Envisager d'aller au delà dans l'interprétation des variations suppose la recherche d'une autre variable.

Cette recherche a abouti ici à l'utilisation de "moyennes mobiles pondérées"⁽¹⁾ qui présente l'avantage de rester calé dans le temps avec la réalité des observations et de traduire l'approche d'une réalité physique susceptible d'être interprétée.

On considère toujours que la variable d'une année donnée comprend une composante aléatoire et une composante prédéterminée par l'éventuelle variation cyclique, autrement dit, dépendant des valeurs des années antérieures (effet de persistance) ; cette incidence des valeurs antérieures a un poids d'autant plus faible que l'on remonte dans le temps. Ceci conduit pour chaque année à déterminer une valeur de même échelle que la variable initiale pour laquelle on espère avoir atténué le poids de la partie aléatoire, valeur qui correspond pour une année donnée à ce que l'on pourrait appeler une moyenne pondérée. La pondération la plus satisfaisante, quant au respect

(1) : Comme on le verra par la suite, il aurait peut-être été plus correct d'appeler cette variable : "moyenne actualisée pondérée" ; nous avons gardé l'appellation de moyenne mobile pour l'utilisation que le terme suggère.

des hypothèses exposées précédemment, est obtenue en utilisant une forme exponentielle décroissante.

On écrit alors :

$$\ddot{x}_0 = \frac{1}{a} \sum_0^n x_i e^{-b(t_0 - t_i)}$$

expression dans laquelle :

\ddot{x}_0 est la moyenne pondérée pour une année donnée t_0 ,

$$a = \sum_{i=0}^{i=n} e^{-b(t_0 - t_i)}$$

b le paramètre de pondération des variables antérieures,

$(t_0 - t_i)$ le temps en années séparant l'observation de la variable x_i de celle de x_0 .

Quand b tend vers 0, a tend vers n , le nombre d'années d'observations à l'instant t_0 , et \ddot{x}_0 tend à représenter une moyenne arithmétique ;

plus b est grand, plus l'incidence des années antérieures diminue.

Dans ce qui suivra, on a pose comme hypothèse que l'incidence d'une variable antérieure diminuait chaque année de moitié, ce qui entraîne :

$$b = 0,7$$

$$\text{et } a = 2$$

$$\text{d'où } \ddot{x}_0 = \frac{1}{2} \sum_{t=0}^n x_i e^{-0,7(t_0 - t_i)}$$

Autrement dit \ddot{x}_0 dépend pour moitié de la valeur x_0 et pour moitié des valeurs antérieures de poids dégressif en remontant dans le temps. Au delà de 5, 6 ans, le poids des valeurs antérieures est le plus souvent négligeable.

Cette variable est calculée pour toute la période d'observation ; on peut en étudier les variations dans le temps et en particulier esquisser une courbe moyenne traduisant d'éventuelles variations cycliques ou pseudo-cycliques de période plus ou moins longue.

Bien entendu le choix d'une valeur de b reste arbitraire ; par essais successifs, il doit être possible de déterminer la meilleure adéquation de l'échantillon de valeurs à une courbe moyenne ; si b est plus petit que 0,7, la période intervenant dans le calcul est plus longue ; le calcul ne donne de poids qu'aux valeurs de quelques années lorsque b est supérieur à 0,7.

De fait, ce choix de b -dans des limites raisonnables- n'est pas très important, la série des \ddot{x} ne constituant qu'un outil intermédiaire servant à tracer la courbe moyenne de variation. Ce sont les valeurs x_c lues sur cette courbe lissée qui constituent l'ensemble de variables susceptibles de traduire une réalité physique dans l'interprétation d'une évolution chronologique donnée. Ces variables x_c pourront être comparées aux variables x_i qui ont été observées. L'étude de leurs écarts, $x_i - x_c$, pourra constituer un test de la qualité de l'ajustement de la courbe c dont la forme peut éventuellement suggérer un certain déterminisme de l'évolution des conditions climatiques des régions étudiées.

Ceci dit, et qu'il y ait effet de persistance ou non, périodicité cyclique des conditions climatiques ou suite de variables aléatoires, l'utilisation de ces moyennes mobiles pondérées consiste, chaque année, à procéder à l'actualisation d'une moyenne en donnant un poids prépondérant à l'évènement qui vient d'être observé. Les variables \ddot{x} peuvent être utilisées au même titre que les moyennes mobiles arithmétiques, mais si on a calage dans le temps on a aussi un lissage moins important des variations des données d'observation, toujours suffisant cependant pour permettre l'interprétation. De plus en choisissant un coefficient $b = 0,7$, le calcul des \ddot{x} est encore plus aisé que celui des moyennes mobiles arithmétiques.

Deux types de paramètres susceptibles de traduire l'évolution climatique d'une région ont été retenus ici : ce sont les débits d'un grand bassin fluvial et les hauteurs annuelles de précipitations relevées en différents postes.

La longueur des séries limite évidemment les échantillons disponibles. L'étude qui suit concernera les débits du Fleuve Sénégal à Bakel, les hauteurs annuelles de précipitations à Saint Louis du Sénégal, à Banjul en Gambie et à Praia, capitale de l'archipel des Iles du Cap-Vert. L'utilisation des moyennes mobiles pondérées sera décrite dans l'étude de la série des modules du Sénégal à titre d'exemple.

1.2 LES DEBITS DU SENEGAL A BAKEL : 80 années d'observation

La station de Bakel sur le fleuve Sénégal contrôle l'écoulement d'un bassin versant de 218 000 km². Suivie depuis le début du siècle, cette station-clé mesure les ressources en eaux, fournies par le Haut-bassin et en particulier par les régions d'altitude bien arrosées du Fouta Djalon en Guinée, et disponibles dans ce qu'on a appelé la Vallée entre Bakel et Saint Louis où les apports complémentaires sont négligeables.

On dispose d'une série de valeurs complètes tant pour les modules annuels que pour les débits maximums de crue de 1903 à nos jours. Le module est calculé sur l'année hydrologique de mai à avril ; les maximums annuels sont observés en août ou septembre avec une fréquence plus marquée pour la première quinzaine de septembre.

L'échantillon comprend 80 valeurs pour les modules et les maximums de crue. Dans le cas des modules, pour tenir compte de l'année en cours, il a été nécessaire de prévoir les débits des prochains mois de l'année hydrologique 1982-83, prévision basée sur des équations de tarissement.

Celles-ci montrent en effet une relative constance d'une année à l'autre. En phase de décrue, de 325 m³/s à 40 m³/s on observe le tarissement proprement dit. En dessous de 40 m³/s, la décroissance des débits s'accélère mais correspond aussi à une loi exponentielle ; cette partie de l'hydrogramme est appelée "phase d'épuisement".

Ceci étant, l'année hydrologique 1982-83 a été complétée ; les débits moyens mensuels sont les suivants :

	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avr	Année
m ³ /s	0.47	0.34	250	1165	1322	540	218	95	46	27	10	2.5	308

Modules du

SENEGAL A BAKEL

Année hydro	Q _i	Q̄	Q _c	Q _i - Q _c	Année hydro	Q _i	Q̄	Q _c	Q _i - Q _c
1903-04	631	680			1943-44	666	565	460	+ 206
04-05	737	709			44-45	330	447	460	- 130
05-06	874	791			45-46	945	696	550	+ 395
06-07	1 233	1 012	880	+ 353	46-47	745	721	605	+ 140
07-08	521	767	850	- 329	47-48	666	693	650	+ 16
08-09	767	767	810	- 43	48-49	572	633	690	- 118
09-10	902	834	760	+ 142	49-50	467	550	725	- 258
10-11	670	752	710	- 40	50-51	1 152	851	760	+ 392
11-12	537	645	650	- 113	51-52	842	846	790	+ 52
12-13	564	604	550	+ 14	52-53	718	782	815	- 97
13-14	270	437	450	- 180	53-54	631	707	840	- 209
14-15	444	441	450	- 6	54-55	1 068	887	865	+ 203
15-16	592	516	530	+ 62	55-56	1 049	968	850	+ 169
16-17	691	604	600	+ 91	56-57	952	960	892	+ 60
17-18	647	625	650	- 3	57-58	1 029	995	902	+ 127
18-19	1 144	885	695	+ 449	58-59	1 037	1 016	912	+ 115
19-20	530	707	735	- 205	59-60	788	902	920	- 132
20-21	834	771	770	+ 64	60-61	621	761	925	- 204
21-22	431	601	805	- 374	61-62	944	853	928	+ 16
22-23	1 219	910	835	+ 384	62-63	969	911	930	+ 39
23-24	754	832	855	- 101	63-64	666	788	928	- 262
24-25	1 247	1 039	875	+ 372	64-65	970	879	925	+ 45
25-26	841	940	890	- 49	65-66	1 048	964	920	+ 128
26-27	521	731	900	- 379	66-67	841	902	910	- 69
27-28	1 075	903	910	+ 165	67-68	1 037	970	880	+ 157
28-29	904	903	912	- 8	68-69	397	683	820	- 423
29-30	899	901	915	- 16	69-70	764	724	720	+ 44
30-31	839	870	915	- 76	70-71	542	633	630	- 88
31-32	739	805	912	- 173	71-72	598	615	550	+ 48
32-33	770	787	912	- 142	72-73	263	439	470	- 207
33-34	838	813	907	- 69	73-74	361	400	420	- 59
34-35	700	756	900	- 200	74-75	760	580	410	+ 350
35-36	1 164	960	892	+ 272	75-76	602	591	402	+ 200
36-37	1 234	1 097	880	+ 354	76-77	470	531	398	+ 72
37-38	644	871	862	- 218	77-78	324	427	392	- 68
38-39	807	839	820	- 13	78-79	523	475	390	+ 133
39-40	559	699	700	- 140	79-80	301	388	390	- 89
40-41	430	564	570	- 140	80-81	402	395	390	- 12
41-42	417	491	500	- 83	81-82	423	409	380	- 43
42-43	437	464	470	- 33	82-83	308	359	380	- 72

N.B. : Q_i : module observé ; Q̄ : moyenne mobile pondérée ; Q_c : valeur lue sur la courbe lissée - en m³/s.

$$\bar{Q}_i = 723 \text{ m}^3/\text{s} \quad s = 259 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\bar{Q} = 727 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\bar{Q}_c = 721 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Il n'est pas superflu de parler en quelques mots de l'étalonnage de la station de Bakel. L'échantillon des débits du fleuve Sénégal a été largement emprunté ; parfois, la transformation de données de base récentes a été effectuée à partir d'étalonnages caducs, sans tenir compte des récents travaux des hydrologues ; cela conduit à quelques différences dans les résultats publiés.

Parmi les travaux des hydrologues de l'ORSTOM, il convient de citer ceux de C. ROCHETTE qui ont permis la valorisation des relevés anciens ; c'est à lui (1968) que l'on doit de tenir pour acquis l'échantillon de valeurs de 1903 à 1965 à la station de Bakel, mais aussi la formulation de la remontée saline en saison sèche dans le bief aval en fonction des apports du fleuve. A partir de 1974, avec la mise en oeuvre du réseau hydrométrique national, les travaux de l'ORSTOM, et en particulier une soixantaine de mesures de débits, conduisaient N. GUIGUEN et J. LERIQUE à faire une mise au point sur l'étalonnage du fleuve à Bakel (1977) ; la non-univocité de la courbe de tarage tient à la pente du fleuve et l'étalonnage proposé portait sur une courbe unique de crue et un faisceau de courbes de décrue suivant le maximum annuel atteint. Dès 1980, la poursuite par l'ORSTOM de campagnes de jaugeages et l'étude des pentes du fleuve entre Koungani et Bakel nous ont conduit à prendre en compte chaque pointe de crue de l'hydrogramme annuel pour lesquelles on doit considérer une relation hauteurs-débits à la montée et à la descente, ce qui conduit à affiner considérablement l'étalonnage (OLIVRY, 1983).

1.2.1 LES MODULES DU FLEUVE SENEGAL

On a reproduit dans le tableau l'échantillon de valeurs des modules du fleuve Sénégal à Bakel Q_i puis calculé les moyennes mobiles pondérées \bar{Q} suivant la méthode proposée plus haut (tableau 1 et figure 1).

La figure 1 montre les variations dans le temps des modules Q_i et de la variable \ddot{Q} .

La coïncidence des maximums et minimums avec les observations est évidente alors que pour les moyennes mobiles arithmétiques, elle aurait dépendu du temps de base choisi. Bien que le lissage des variations soit moins prononcé que celui obtenu par la méthode des moyennes mobiles arithmétiques -ce que l'on savait du fait du mode de calcul- des séquences d'années humides ou sèches apparaissent nettement.

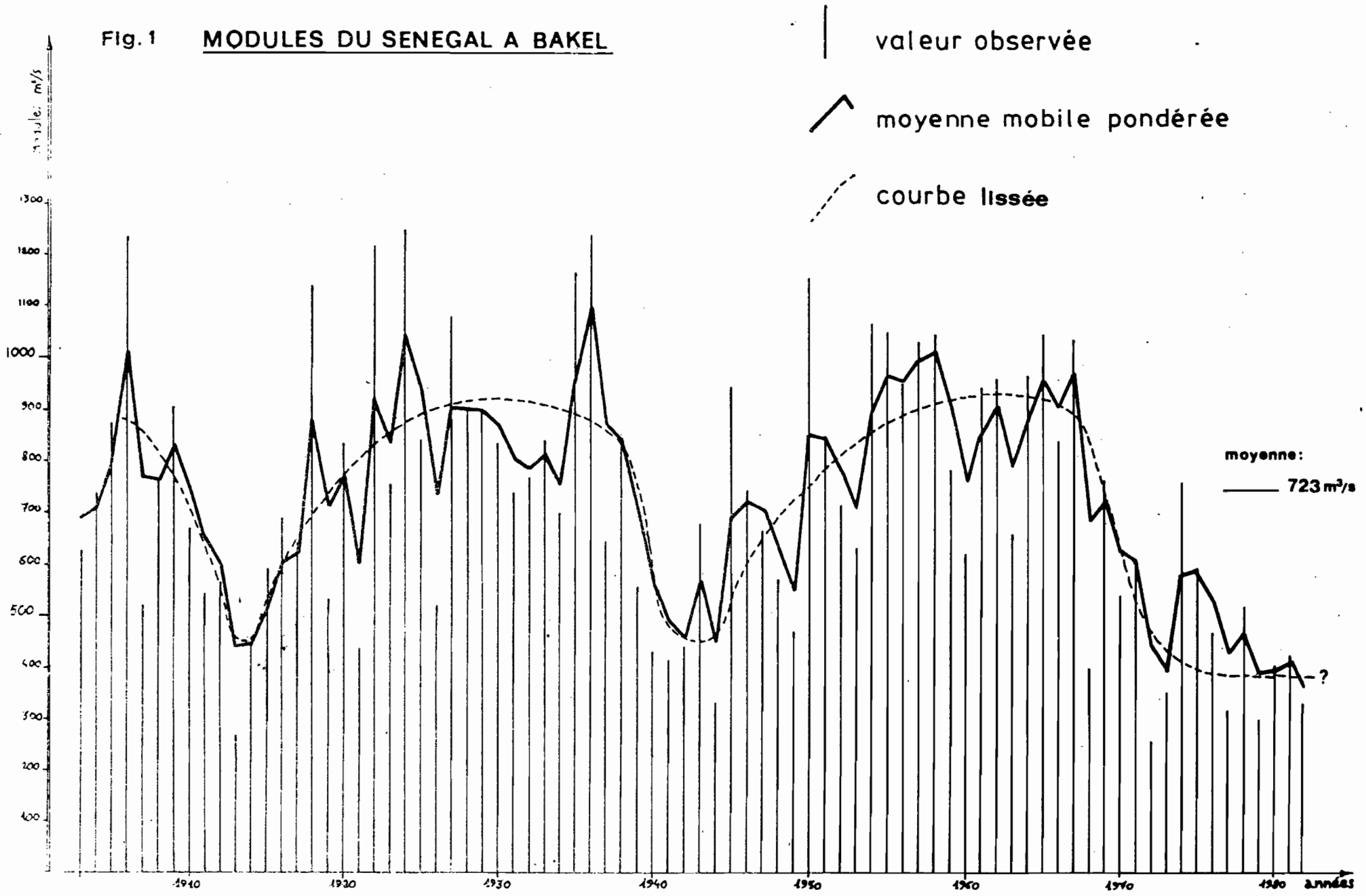
On a ajusté à main levée une courbe moyenne aux variations de \ddot{Q} . Le planimétrage de l'aire comprise entre l'axe des temps et la courbe aboutit à déterminer un débit moyen interannuel sur la période de $721 \text{ m}^3/\text{s}$, pour $723 \text{ m}^3/\text{s}$ de moyenne sur l'échantillon de modules -donc à $-0,3 \%$ près- et pour une moyenne des variables pondérées \ddot{Q} de $727 \text{ m}^3/\text{s}$ à $+ 0,6 \%$ près.

Les valeurs Q_c lues chaque année sur la courbe reproduite dans la figure ont été reproduites dans le tableau de même que les écarts entre ces valeurs et les modules observés.

Si les valeurs de débits lues sur cette courbe pouvaient correspondre à des valeurs prédéterminées par des variations pseudo cycliques des conditions climatiques générales, les écarts entre ces valeurs et les modules observés correspondraient à une variable aléatoire pouvant se rattacher en grande partie ici à des hétérogénéités dans la répartition spatiale et temporelle des précipitations.

On a étudié la distribution des écarts positifs ou négatifs entre la courbe lissée et les valeurs observées ($\Delta Q = Q_i - Q_c$). Cette distribution suit une loi de GAUSS de moyenne $m = 1,06 \text{ m}^3/\text{s}$ (donc très proche de 0) et d'écart-type $s = 195 \text{ m}^3/\text{s}$. L'ajustement se révèle assez satisfaisant (cf. figure 2). Ce résultat et le fait que le débit moyen interannuel calculé à partir de la courbe lissée ($721 \text{ m}^3/\text{s}$)

Fig. 1 MODULES DU SENEGAL A BAKEL



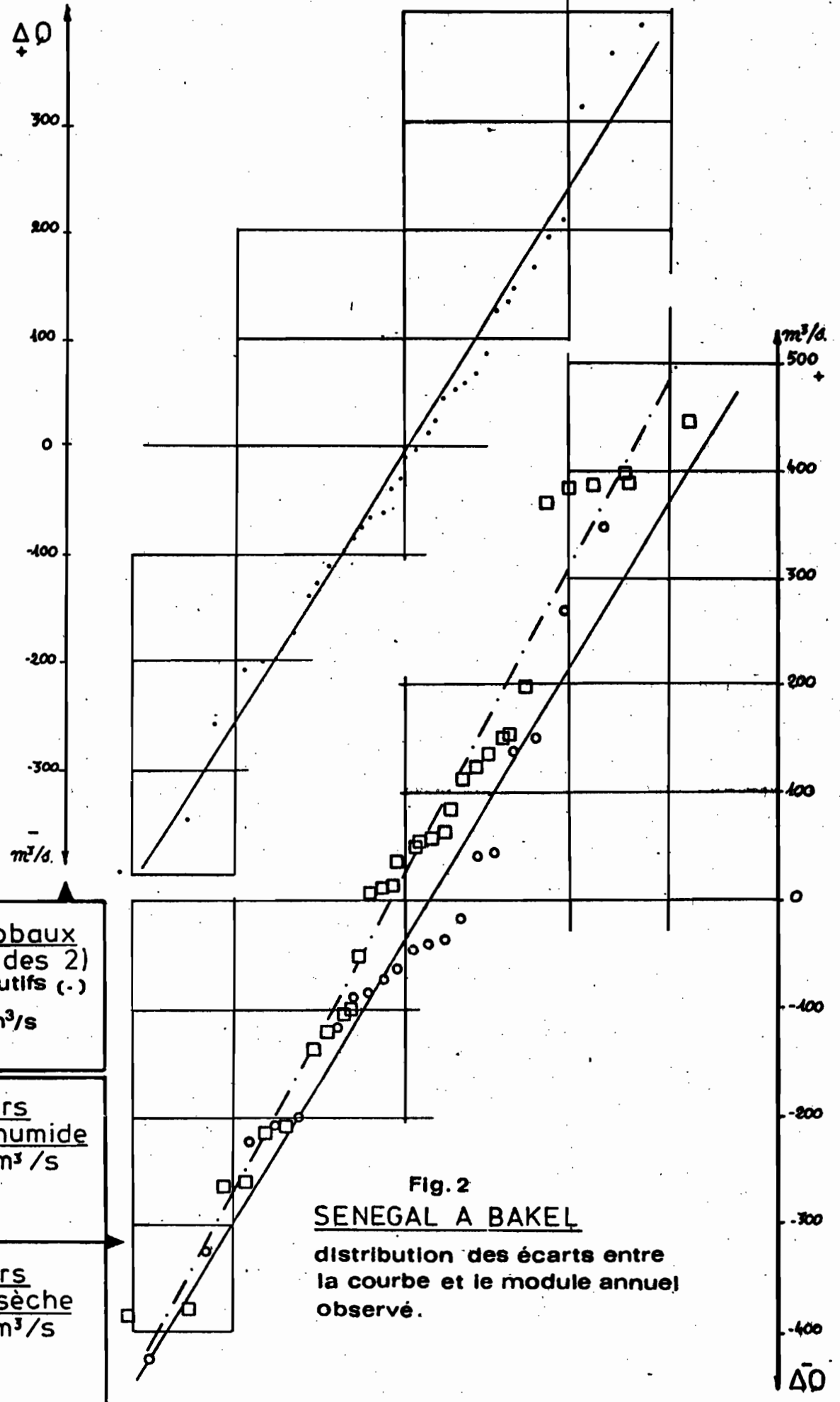
soit très voisin de la moyenne des modules annuels ($723 \text{ m}^3/\text{s}$) pourraient justifier, en partie, le tracé de la courbe Q_c . Mais le test serait plus probant si l'on s'intéressait à la distribution des écarts en phase ascendante (vers une période humide) ou descendante (vers une période sèche).

C'est ce que l'on a fait en supposant dans les deux cas une distribution gaussienne des écarts. A ce niveau, l'analyse -plus fine- est moins satisfaisante. En phase ascendante, sur 32 valeurs la droite de Henry a pour paramètres $m = 29,3 \text{ m}^3/\text{s}$ et $s = 223 \text{ m}^3/\text{s}$, et l'ajustement est assez bon. En phase descendante par contre, l'ajustement est beaucoup moins satisfaisant ; pour 22 valeurs la droite de Henry a pour paramètre : $m = 31,4 \text{ m}^3/\text{s}$ et $s = 198 \text{ m}^3/\text{s}$.

Cette analyse plus fine montre que le tracé de la courbe Q_c pourrait être amélioré afin de ramener les moyennes des écarts en phases ascendante et descendante vers des valeurs plus proches de 0, cette amélioration devant fournir une justification à posteriori au tracé de la courbe lissée. Cependant, cela n'ajouterait rien à la forme des variations qui constitue le seul indice éventuel d'une périodicité cyclique des variations climatiques.

L'examen de la courbe lissée des moyennes mobiles pondérées du fleuve Sénégal montre d'emblée l'existence de deux périodes semblant calquées l'une sur l'autre, d'une durée de trente ans. Cette observation n'est pas nouvelle, elle a été faite dès le début des années soixante dix et il aurait été inquiétant de ne pas retrouver ici des variations comparables. Mais on a observé "la même chose" sur le Niger à Koulikoro ⁽¹⁾ -ce qui est bien normal puisque Sénégal et Haut-Niger se partagent en partie les apports météoriques communs reçus par les reliefs de la Moyenne et Haute-Guinée-, des variations voisines ailleurs (lac Tchad) ; ceci et la généralisation à toute l'Afrique Soudano-Sahélienne du phénomène de sécheresse

(1) : La durée des "cycles" serait toutefois légèrement différente.



écarts globaux
(moyenne des 2)
 ΔQ consécutifs (.)
 $m = 1,1$ m^3/s
 $s = 195$

écarts vers
période humide
(\square) m^3/s
 $m = 29,3$
 $s = 223$

écarts vers
période sèche
(\circ) m^3/s
 $m = -31,4$
 $s = 198$

Fig. 2
SENEGAL A BAKEL
distribution des écarts entre
la courbe et le module annuel
observé.

survenant pour la 3ème fois au cours du siècle dans des conditions, semblait-il, analogues, permettaient à certains chercheurs de poser pour acquis le phénomène des variations cycliques du climat. De fait, l'observation de deux cycles complets seulement ne permet pas de se prononcer pour ou contre l'existence de cycles (ROCHE (M) - 1973 ; PALUTIKOF (J.P.) et al. - 1981). Ce dont on est sûr, par contre, c'est de la vaste expansion géographique du phénomène sécheresse-humidité qui implique des modifications globales des mécanismes régissant les climats.

La courbe lissée des modules du Sénégal montre des phases ascendantes au cours desquelles l'augmentation de débit d'une année à l'autre décroît de manière exponentielle et des phases descendantes paraissant suivre une loi à décroissance exponentielle.

Si de telles formes avaient pu être mises en évidence d'une manière générale, on aurait pu imaginer qu'elles traduisaient des phases de stockage et de restitution d'énergie au niveau des grandes masses océaniques de l'hémisphère austral, les mécanismes de la thermodynamique entraînant une remontée plus ou moins septentrionale et durable de l'anticyclone de Ste Hélène et une abondance plus ou moins grande de la mousson.

En 1974, en l'état des données d'observation, CHAPERON P. (1975) et SIRCOULON J. (1976) estimaient que si la sécheresse observée alors semblait devoir se rattacher en forme et en ampleur à celle de 1913, celle du début des années 40 ne leur était pas comparable. NICHOLSON S.E. (1980) estime aussi les deux dernières sécheresses tout à fait différentes.

Aujourd'hui, la courbe des modules du Sénégal montre la persistance de forts déficits hydropluviométriques sur plus d'une décennie ; autrement dit, les trois épisodes de sécheresse observés depuis le début du siècle présentent des physionomies tout à fait différentes.

1.2.2 Les maximums de la crue annuelle du Fleuve Sénégal

Il n'y a pas de paramètre idéal pour traduire une évolution des conditions climatiques ; les modules semblent bien intégrer ce qui se passe au point de vue bilan "précipitations-écoulement" sur un vaste ensemble géographique, mais les études hydrologiques montrent que l'on a rarement de très bonnes corrélations hydropluviométriques au niveau d'un grand bassin fluvial. La répartition des précipitations est importante ; elle peut être bénéfique pour l'agriculture sans se traduire par de forts écoulements au niveau du fleuve. Il est fréquent que l'évolution réelle d'un phénomène naturel soit occultée dans l'esprit des gens par les résultats de campagnes agricoles. Dans la vallée du fleuve Sénégal, la production agricole est directement en rapport avec la superficie des terres qui pourront être mises en cultures de décrue, superficie d'autant plus grande que le maximum de crue sera élevé. Ce paramètre serait donc de nature à traduire les séquences sèches ou humides ressenties dans la vallée.

L'étude des débits maximums annuels du fleuve Sénégal à Bakel a été effectuée suivant les mêmes méthodes que celles des modules. Le tableau 2 donne la série des débits maximums. La figure 3 indique ces mêmes valeurs, les moyennes mobiles pondérées et la courbe lissée.

L'allure de la courbe est assez voisine de celle de la courbe que l'on a tracée pour les modules, à l'exception d'une légère dépression dans la séquence humide vers 1930. La forme même de la courbe lissée est tout à fait comparable pour les quarante dernières années, encore assez voisine entre les faibles crues de 1913 et 1940.

Ce résultat n'a rien de surprenant puisque le coefficient de corrélation obtenu entre la distribution des pointes de crues annuelles et celle des modules est de 0,92.

Tableau 2

DEBIT MAXIMUM ANNUEL DU FLEUVE SENEGAL

A BAKEL

Année	Q max. (m ³ /s)	Année	Q max. (m ³ /s)	Année	Q max. (m ³ /s)
1903	3 560	1930	4 610	1957	5 660
1904	4 790	1931	4 300	1958	8 170
1905	3 840	1932	4 850	1959	5 460
1906	9 340	1933	5 490	1960	3 550
1907	2 850	1934	5 340	1961	7 030
1908	4 200	1935	6 680	1962	4 410
1909	5 490	1936	7 600	1963	3 760
1910	3 840	1937	3 590	1964	7 180
1911	3 330	1938	5 630	1965	7 000
1912	3 290	1939	3 400	1966	5 450
1913	1 040	1940	2 760	1967	5 820
1914	1 885	1941	2 890	1968	2 880
1915	3 140	1942	3 590	1969	3 770
1916	4 200	1943	3 480	1970	3 440
1917	4 960	1944	1 740	1971	4 320
1918	7 300	1945	6 480	1972	1 430
1919	3 560	1946	4 460	1973	2 550
1920	5 630	1947	4 360	1974	5 780
1921	2 850	1948	3 590	1975	5 000
1922	9 070	1949	3 760	1976	2 500
1923	4 670	1950	7 630	1977	2 700
1924	6 350	1951	5 340	1978	3 250
1925	4 610	1952	5 060	1979	1 760
1926	2 290	1953	4 180	1980	3 640
1927	6 460	1954	6 610	1981	2 840
1928	5 490	1955	5 260	1982	2 280
1929	5 490	1956	6 050		

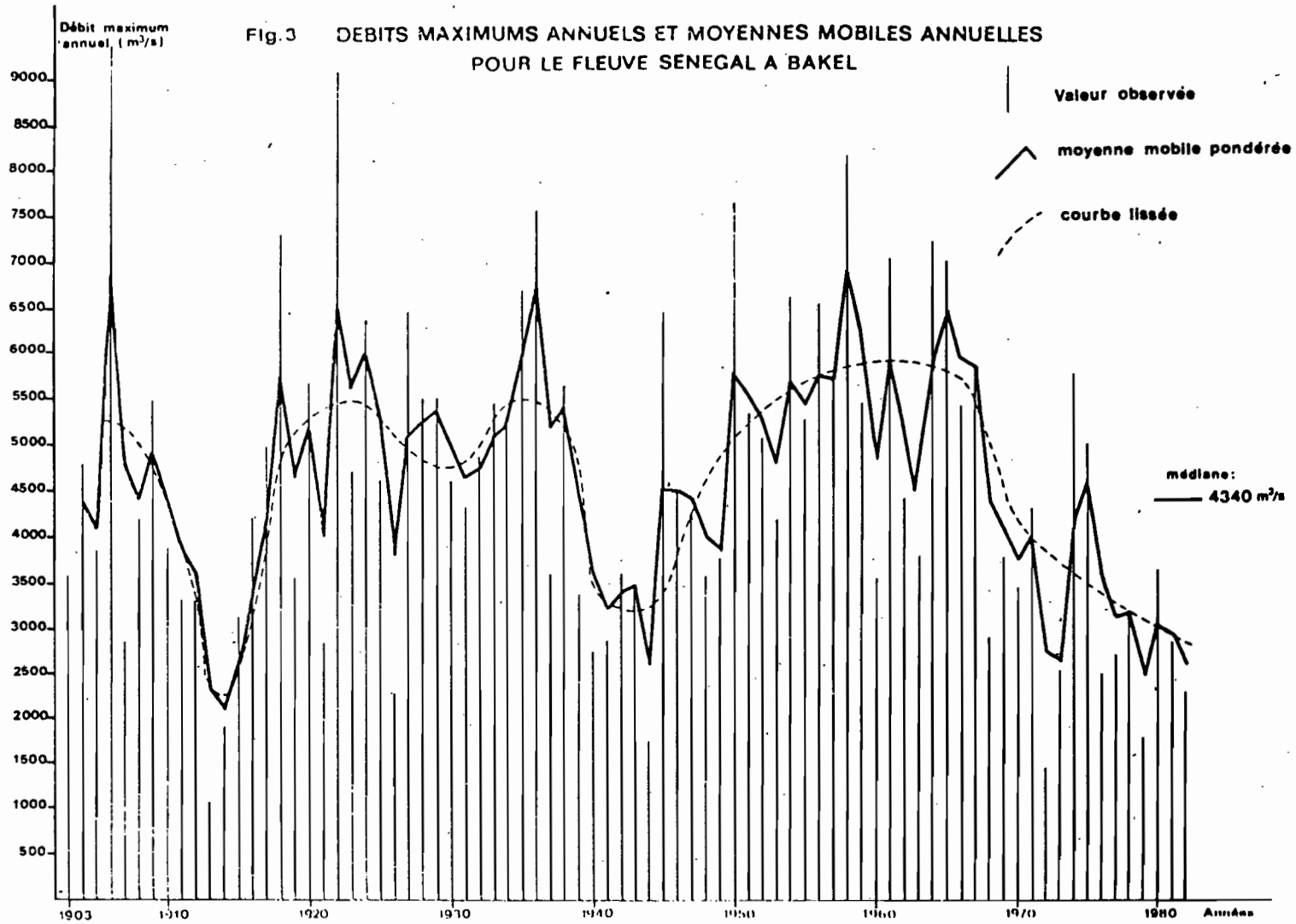


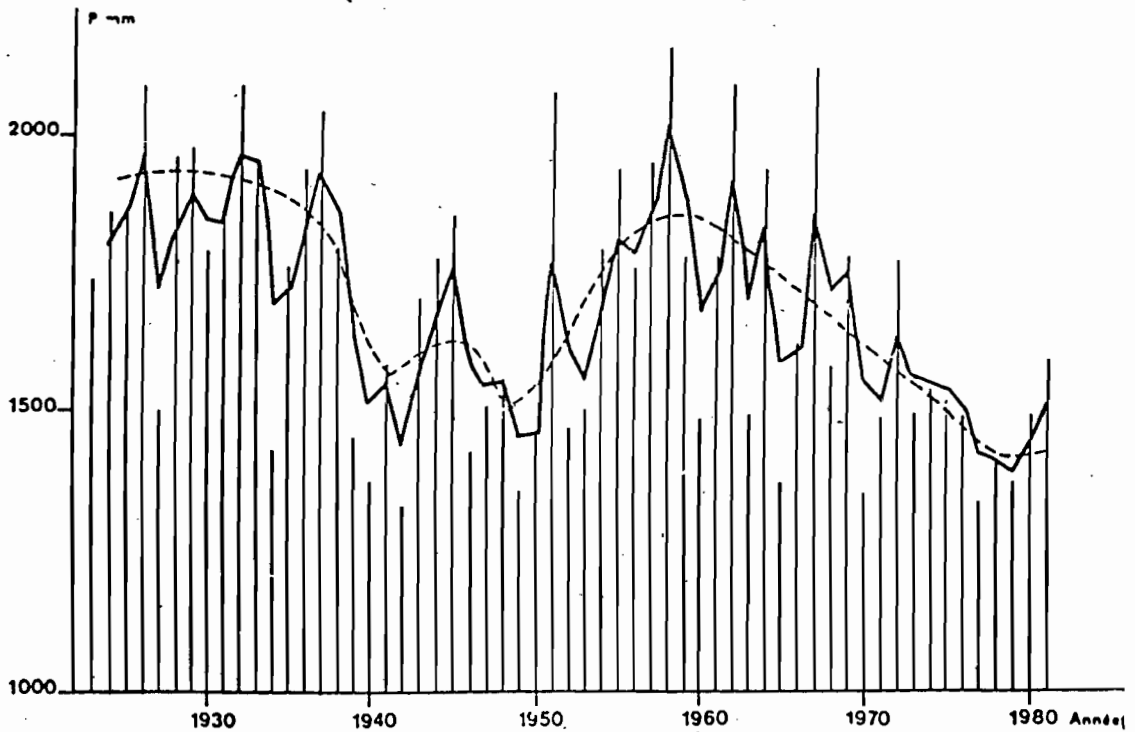
Tableau 3

Station LABE

Année	P annuelle	Année	P annuelle	Année	P annuelle	Année	P annuelle
1923	1 741	1938	1 797	1953	1 500	1968	1 579
1924	1 853	1939	1 445	1954	1 785	1969	1 777
1925	1 867	1940	1 365	1955	1 934	1970	1 346
1926	2 083	1941	1 581	1956	1 755	1971	1 476
1927	1 492	1942	1 322	1957	1 943	1972	1 770
1928	1 956	1943	1 703	1958	2 159	1973	1 488
1929	1 975	1944	1 773	1959	1 774	1974	1 537
1930	1 791	1945	1 851	1960	1 484	1975	1 512
1931	1 839	1946	1 422	1961	1 775	1976	1 487
1932	2 087	1947	1 507	1962	2 091	1977	1 332
1933	1 938	1948	1 556	1963	1 490	1978	1 404
1934	1 424	1949	1 354	1964	1 938	1979	1 365
1935	1 756	1950	1 462	1965	1 361	1980	1 487
1936	1 939	1951	2 077	1966	1 617	1981	1 592
1937	2 039	1952	1 463	1967	2 118		

Fig. 4 LABE (Guinée Conakry)
Hauteurs des précipitations annuelles et moyennes mobiles
ponderées (59 ans)

($\bar{P} = 1684 \text{ mm}$ $s = 244 \text{ mm}$)



Cela suppose une relation assez étroite entre les deux variables. Le débit moyen annuel du Fleuve Sénégal serait donc directement dépendant de l'importance de la pointe de crue. Or celle-ci est avant tout fonction des précipitations reçues pendant le laps de temps relativement réduit qui la précède plus que de la pluviosité annuelle ; le maximum de crue dépend du ou des mois les plus arrosés pendant la saison des pluies mais évidemment pas des précipitations reçues après l'observation de la crue...

Ainsi si les deux variables relatives aux débits du Sénégal montrent une évolution grosso modo concomitante de leurs variations, rien n'indique qu'il soit aisé de trouver une variable "précipitations" qui suivrait une évolution identique à celles des débits. Il est seulement probable que l'on retrouverait pour les précipitations du Haut-Bassin les mêmes séquences humides et sèches. Ceci est en tous cas vérifié pour la station pluviométrique de Labé en Guinée de 1923 à nos jours (cf. tableau 3 et figure 4)⁽¹⁾.

(1) : Précisons que les relevés de la station de Labé ont été confrontés positivement par la méthode du double cumul à la moyenne des relevés des autres stations de la région.

1.3 PRECIPITATIONS EN SENEGAMBIE

Les séries d'observations pluviométriques les plus longues concernent Saint Louis du Sénégal, Banjul -anciennement Bathurst- capitale de la Gambie et Dakar. Pour Dakar, la succession de postes pluviométriques différents, éloignés les uns des autres ou d'expositions très variées dans la presqu'île du Cap-Vert, comme ceux du Cap Manuel, de Hann plage ou de Yoff ne permet pas d'espérer une homogénéisation satisfaisante des observations. Les précipitations de Dakar n'ont donc pas été étudiées ici... mais signalons que les relevés de Gorée comptent aussi parmi les plus anciennes observations effectuées en Afrique de l'Ouest.

Il n'y a rien d'étonnant à ce que les premières mesures des précipitations aient été faites dans des villes côtières. Avant que de devenir capitales d'états ou régionales, ces villes ont été les premières touchées par les techniques de la météorologie et les premières observations sont pratiquement contemporaines de la mise en place d'un réseau synoptique international préconisé par LE VERRIER.

Malheureusement sur le plan des précipitations, les statisticiens s'accordent pour limiter la représentativité spatiale d'observations faites dans des stations côtières. Cette prévention à l'endroit de ces observations devient d'ailleurs règle lorsqu'il s'agit d'étudier la variation spatiale de paramètres des lois de distribution des précipitations annuelles, mensuelles ou journalières.

Quoi qu'il en soit, pour ce qui concerne le sujet étudié ici, la longueur des séries justifie largement la prise en compte de ces observations, et il n'y a aucune raison pour que celles-ci ne traduisent pas globalement le sens des variations climatiques subies par la région.

1.3.1 LES PRECIPITATIONS A SAINT-LOUIS DU SENEGAL

La variable retenue est la hauteur de précipitations annuelles. C'est pour la station de Saint-Louis que l'on dispose de la plus longue série chronologique d'observations des précipitations au Sénégal et en Afrique de l'Ouest. Cette série commence en 1854, comprend quelques lacunes et est malheureusement interrompue dans les années 1880 (épidémie de fièvre jaune). Elle reprend de manière continue de 1892 à nos jours avec cependant quelques années pour lesquelles on ne dispose que de totaux annuels partiels (1915, 1920, 1921, 1930 et 1932). Les hauteurs de précipitations annuelles ont été reportées dans le tableau 4⁽¹⁾.

La figure 5 donne le report des hauteurs de précipitations pour la série continue depuis 1892 ainsi que les courbes qui ont été obtenues par la méthode de calcul déjà utilisée ; les totaux partiels influent assez peu sur les moyennes mobiles pondérées et ne modifient pas l'allure générale de la courbe lissée.

La courbe semble montrer une tendance à la baisse depuis la séquence humide 1916-1930. Avant cette séquence humide, on a observé une séquence assez peu fluctuante sur les 20 précédentes années d'observation de 330-350 mm de précipitation annuelle moyenne avec cependant une chute en 1913 et 1914 où la pluviométrie tombe au niveau des 150 mm par an. Pour le tracé de la courbe de la séquence humide, on a choisi de nuancer le poids des années 1921 et 1928 (1928, en particulier, avec plus de 1 200 mm paraît éminemment douteuse). Depuis donc cette séquence humide, on assiste à une relative diminution des précipitations annuelles avec cependant alternance des phases ascendantes et descendantes. Ainsi après une phase décroissante assez nette jusqu'en 1942, on observe une phase ascendante de 1943 à 1955 mais d'amplitude plus faible que celle qui a abouti à la

(1) : *La série qui est donnée pour St-Louis correspond en fait à 3 postes (St-Louis Ecole, St-Louis Ville, St-Louis aéro) ; l'homogénéité de l'échantillon n'est pas démontrée.*

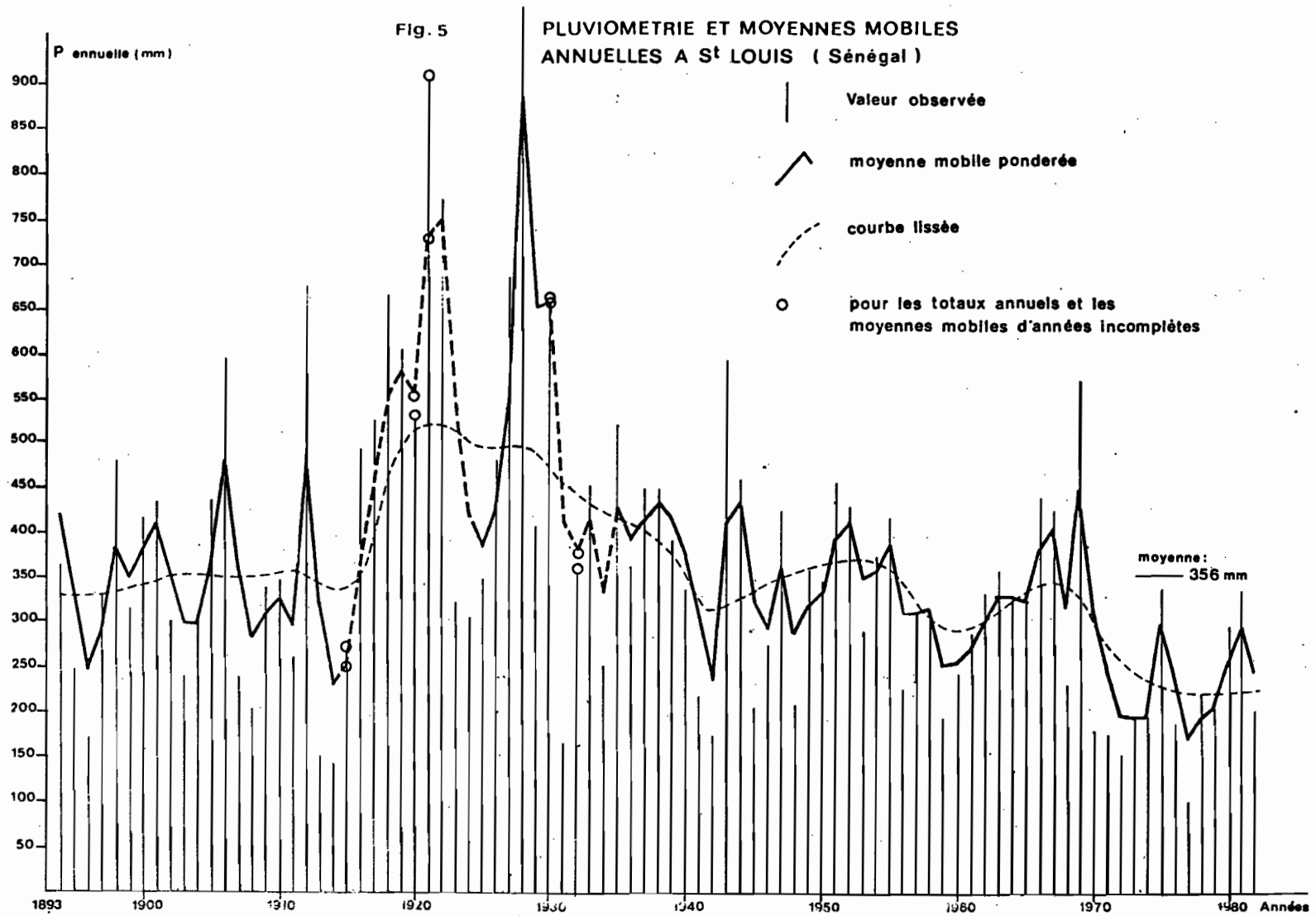
Tableau 4

PLUVIOMETRIE ANNUELLE A SAINT-LOUIS

République du Sénégal

Année	P (mm)	Année	P (mm)	Année	P (mm)	Année	P (mm)	Année	P (mm)
1854	575	1880	572	1906	595.5	1932	351.7	1958	317.1
1855	298	1881	667	1907	237.7	1933	450.2	1959	192.5
1856	335	1882	392	1908	203.2	1934	251.0	1960	259.6
1857	268	1883		1909	338.6	1935	521.6	1961	283.9
1858	459	1884		1910	343.5	1936	361.8	1962	331.8
1859	816	1885		1911	261.0	1937	449.4	1963	358.7
1860		1886		1912	674.9	1938	449.5	1964	328.0
1861	293	1887	554	1913	150.1	1939	390.2	1965	323.4
1862	558	1888	250	1914	143.7	1940	334.2	1966	438.6
1863	141	1889		1915	278	1941	218.7	1967	415.6
1864	403	1890	254	1916	493.0	1942	173.5	1968	233.4
1865	343	1891	336	1917	524.0	1943	592.7	1969	531.0
1866	331	1892	385.1	1918	663.5	1944	459.2	1970	179.9
1867	390	1893	553.0	1919	604.6	1945	206.4	1971	177.0
1868	304	1894	363.3	1920	532.2	1946	274.8	1972	152.1
1869	649	1895	248.4	1921	(905.4)	1947	424.5	1973	190.1
1870	511	1896	169.3	1922	769.5	1948	209.1	1974	196.2
1871		1897	330.1	1923	320.1	1949	357.2	1975	389.4
1872	188	1898	478.1	1924	304.9	1950	345.0	1976	186.6
1873	330	1899	315.5	1925	347.9	1951	455.5	1977	102.3
1874	605	1900	415.4	1926	477.0	1952	427.3	1978	220.9
1875	450	1901	434.7	1927	685.8	1953	288.7	1979	220.5
1876	608	1902	301.3	1928	(1239.4)	1954	373.5	1980	294.3
1877	314	1903	238.0	1929	406.1	1955	416.2	1981	335.2
1878	286	1904	298.1	1930	662.9	1956	225.0	1982	200
1879	424	1905	437.6	1931	164.3	1957	310.9		

N.B. : - en script, relevés anciens en millimètres entiers ;
 - en italiques, relevés d'années incomplètes ;
 - entre parenthèses, valeurs douteuses.



précédente séquence humide. Après une brève série décroissante vers 1960, on a une nouvelle phase ascendante au cours de la fin des années 1960 qui précède la dernière décennie au déficit pluviométrique majeur et persistant. Même les phases ascendantes qui ont été signalées s'inscrivent dans une tendance générale à la baisse qui n'est pas démentie à ce jour.

Pour ce qui concerne la période plus ancienne, de 1854 à 1891, son caractère discontinu n'en permet pas une analyse de détail. Il semble cependant que la période ait été globalement plus humide, en moyenne autour de 400 mm ; 1863 avec 141 mm et 1872 avec 188 mm constituent les deux minimums de la période. A noter que le minimum de 1863 est le deuxième minimum observé après celui de 1977.

On doit bien constater que les variations de la série chronologique des précipitations de Saint-Louis diffèrent sensiblement de celles des débits du fleuve Sénégal à Bakel. Il y a cependant quelques analogies :

- l'existence commune d'une forte séquence humide dans les années 20-30 ; mais celle des années 50-60 ne se retrouve pas dans les pluies de Saint-Louis ;
- la simultanéité d'apparition des événements les plus déficitaires environ à trente ans d'intervalle : 1913-1914 ; 1942-1944 ; 1972-1973 ; mais d'autres déficits pluviométriques aussi importants sont observés à Saint-Louis : 1863, 1872, 1896, 1931, 1977 (les 3 premiers ont-ils été observés sur le fleuve Sénégal ?) ;
- la persistance du phénomène actuel de sécheresse.

Il ressort de cette comparaison que, même si on ne peut attribuer à un seul poste pluviométrique le même poids que celui que l'on donnera à l'exutoire d'un grand bassin fluvial qui intègre les variables de son bilan hydrologique, les variations climatiques ne prennent de réelle signification régionale -au sens large- qu'au niveau des variations extrêmes.

Autrement dit, c'est l'amplitude du phénomène qui implique son extension géographique. Il paraît alors difficile de parler de variations cycliques des conditions climatiques en connaissant les phénomènes extrêmes mais non la forme des variations intermédiaires.

1.3.2 LES PRECIPITATIONS A BANJUL (GAMBIE)

Celles-ci sont observées depuis 1886 à Banjul-Marina. Cette station a été doublée en 1943 par celle de Banjul Halfdie située à moins de cinq cents mètres de distance. En 1956, cette dernière station remplaçait définitivement celle de Banjul-Marina. Les observations communes de ces 2 stations sont homogènes⁽¹⁾ et il est donc possible de considérer l'ensemble de l'échantillon de 97 ans.

Les valeurs des hauteurs de précipitations annuelles sont données dans le tableau 5.

La figure 6 indique l'évolution des hauteurs annuelles de précipitations depuis 1886, les moyennes mobiles pondérées et la courbe lissée de ces variations.

Il semble que pour Banjul on assiste à une tendance à la baisse depuis la fin du siècle dernier, alors que pour Saint-Louis cette tendance n'apparaissait qu'à partir de la séquence humide 1916-1930. Les périodes sèches "1913", "1941" et celle d'aujourd'hui s'identifient facilement ; mais, comme pour Saint-Louis, la séquence sèche des années 1940 est peu marquée et on note au début des années 60 une séquence sèche d'importance comparable.

En fait il semble que les variations des précipitations annuelles de Banjul se caractérisent par un régime de forte pluviosité jusqu'à la sécheresse bien marquée "1911-1920",

(1) : Sur 12 années communes, on obtient une bonne régression linéaire avec pour équation de la droite $P_{\text{Banjul Halfdie}} = 1,04 P_{\text{Banjul-Marina}} - 58$. Le coefficient de corrélation est $r = 0,97$. Dans la gamme des précipitations les plus courantes, les résultats des 2 stations sont très voisins.

une séquence plus ou moins humide, avec quelques périodes déficitaires (années 40, début des années 60), de près d'un demi-siècle et l'actuelle période sèche qui début en 1968 et paraît de plus en plus sévère à l'heure actuelle.

Il n'est pas possible d'identifier dans l'évolution des observations de Banjul une quelconque périodicité des phénomènes.

Les analogies avec Saint-Louis ou le régime du fleuve Sénégal sont celles notées précédemment. On relevera cependant qu'à la très faible valeur des précipitations de 1896 à Saint-Louis correspond à Banjul une hauteur de pluies nettement excédentaire, divergence sans grande signification pour des stations côtières.

Tableau 5

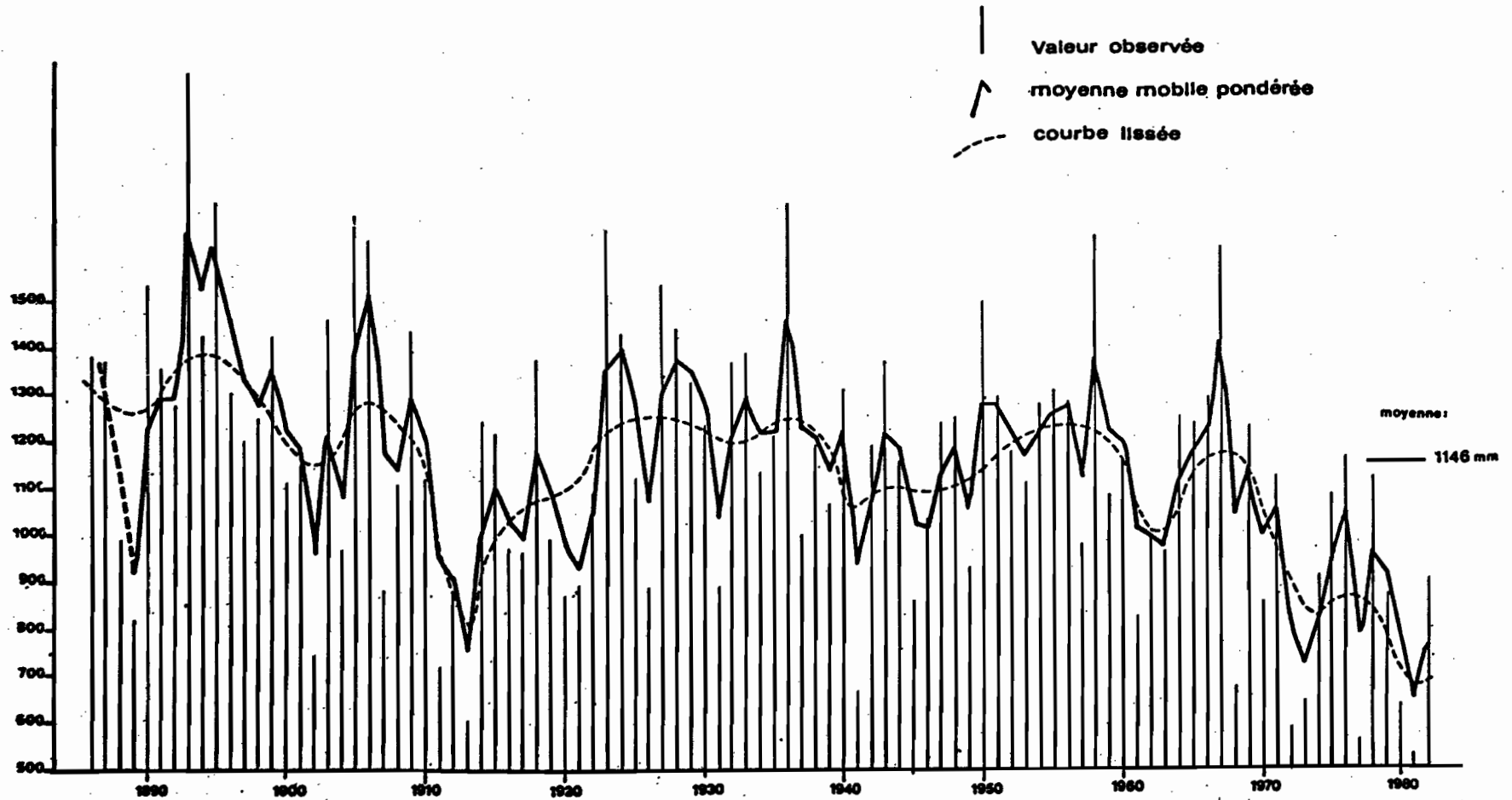
PLUVIOMETRIE ANNUELLE A BANJUL

République de Gambie

Année	P (mm)	Année	P (mm)	Année	P (mm)	Année	P (mm)
1886	1375.4	1911	714.6	1935	1223.0	1959	1076.2
1887	1370.3	1912	863.3	1936	1699.1	1960	1166.0
1888	992.8	1913	601.4	1937	999.4	1961	827.2
1889	814.3	1914	1242.2	1938	1192.4	1962	982.3
1890	1531.8	1915	1210.0	1939	1071.0	1963	946.2
1891	1356.6	1916	965.6	1940	1300.9	1964	1242.0
1892	1298.7	1917	957.0	1941	655.7	1965	1240.6
1893	1978.6	1918	1372.3	1942	1195.9	1966	1280.4
1894	1419.0	1919	996.2	1943	1375.6	1967	1601.7
1895	1698.1	1920	870.9	1944	1157.5	1968	667.7
1896	1299.8	1921	892.0	1945	857.4	1969	1232.5
1897	1194.4	1922	1161.0	1946	1015.2	1970	847.0
1898	1235.5	1923	1664.3	1947	1236.8	1971	1118.4
1899	1425.9	1924	1434.0	1948	1248.6	1972	561.8
1900	1101.9	1925	1119.9	1949	921.8	1973	639.9
1901	1150.9	1926	890.3	1950	1497.0	1974	906.8
1902	747.3	1927	1538.5	1951	1276.8	1975	1068.9
1903	1451.1	1928	1447.5	1952	1180.9	1976	1148.9
1904	965.6	1929	1328.4	1953	1105.2	1977	542.7
1905	1678.1	1930	1215.5	1954	1268.5	1978	1121.2
1906	1634.0	1931	786.1	1955	1299.4	1979	868.1
1907	863.6	1932	1373.5	1956	1289.3	1980	626.7
1908	1105.8	1933	1389.3	1957	965.7	1981	524.0
1909	1437.4	1934	1140.7	1958	1628.8	1982	879.3
1910	1117.5						

Fig. 6

PRECIPITATIONS ANNUELLES A BANJUL (Gambie)



1.4 LES PRECIPITATIONS AUX ILES DU CAP-VERT

L'archipel des Iles du Cap-Vert, à cinq cent kilomètres des côtes du Sénégal, est une région peu arrosée particulièrement vulnérable aux périodes de sécheresse que connaissent les régions sahéliennes. Les conséquences dramatiques qu'entraîne le retour de ces calamités naturelles sur les populations émaillent l'histoire du peuple cap-verdien.

C'est à Praia, capitale de l'archipel et de l'île de Sao Tiago, que nous connaissons les relevés pluviométriques les plus anciens du Cap-Vert. On a recueilli une centaine d'années d'observations depuis 1875. Malheureusement certaines années sont incomplètes et on doit se contenter de totaux partiels, et il y a une lacune des données en 1882, 1883 et 1884.

Les totaux pluviométriques annuels ont été indiqués dans le tableau 6. La figure 7 montre l'évolution de la série chronologique de valeurs, les moyennes mobiles pondérées et la courbe lissée.

Cette dernière, malgré son aspect assez irrégulier, montre que depuis un siècle la tendance générale s'inscrit nettement à la baisse. Grosso modo, la hauteur annuelle de précipitation paraît avoir diminué de moitié.

Cette tendance décroissante générale est affectée, tous les dix à quinze ans, de brefs "sursauts pluviométriques". On note seulement deux séquences humides un peu plus longues : 1887-1900 et 1949-1957.

Sur la période observée, les années complètes les plus sèches sont : 1885, 1903, 1920, 1947-48, 1972-73 et 1977. La coïncidence chronologique avec les observations faites sur le continent africain n'apparaît vraiment que pour l'actuelle sécheresse. Les relevés de Praia et de Saint-Louis n'ont en

Tableau 6

PRECIPITATIONS AUX ILES DU CAP-VERT

PRAIA (Sao Tiago) ET VILA DA RIBEIRA BRAVA (Sao Nicolau)

Année	PRAIA	Année	PRAIA	Année	PRAIA	VILA (S.N.)
	P (mm)		P (mm)		P (mm)	P (mm)
		1905	177.2	1944	245.6	162.6
		1906	984.9	1945	346.5	214.5
		1907	199.4	1946	106.6	138.3
		1908	147.5	1947	45.8	96.9
		1909	222.1	1948	64.9	121.5
		1910	194.6	1949	466.2	238.9
		1911	142.4	1950	442.3	726.3
		1912	188.1	1951	363.4	248.2
		1913	176.5	1952	595.8	753.8
1875	130.5	1914	237.9	1953	336.7	454.6
1876	410.6	1915	147.8	1954	265.6	246.4
1877	367.8	1916	472.8	1955	304.2	297.3
1878	335.7	1917	186.5	1956	197.5	683.7
1879	354.5	1918	566.0	1957	314.3	411.6
1880	438.3	1919	175.8	1958	146.0	477.7
1881	149.4	1920	36.6	1959	85.0	86.4
1882	-	1921	65.3	1960	96.5	243.9
1883	-	1922	173.3	1961	159.6	410.2
1884	-	1923	152.4	1962	319.2	202.9
1885	42.7	1924	153.0	1963	202.2	202.8
1886	201.8	1925	215.2	1964	182.7	261.5
1887	399.6	1926	95.5	1965	162.1	176.0
1888	347.5	1927	520.7	1966	258.7	165.0
1889	153.4	1928	728.1	1967	439.3	217.5
1890	510.8	1929	168.0	1968	103.9	75.0
1891	243.5	1930	150.6	1969	271.2	149.0
1892	209.9	1931	190	1970	20.6	108.1
1893	576.0	1932	100.7	1971	13.2	76.2
1894	442.4	1933	100.8	1972	13.2	2.0
1895	174.1	1934	14.2	1973	41.5	107.0
1896	232.1	1935	197	1974	104	12
1897	374.1	1936	4	1975	409.2	338.4
1898	220.4	1937	302.0	1976	130.0	20.2
1899	280.5	1938	174.6	1977	21.6	61.2
1900	248.0	1939	164.5	1978	88.2	144.9
1901	187.8	1940	222.6	1979	271.4	126.2
1902	284.4	1941	178.7	1980	229.3	164.5
1903	67.9	1942	182.2	1981	79.0	197.3
1904	254.9	1943	428.7	1982	84.0	40.5

Figure 7

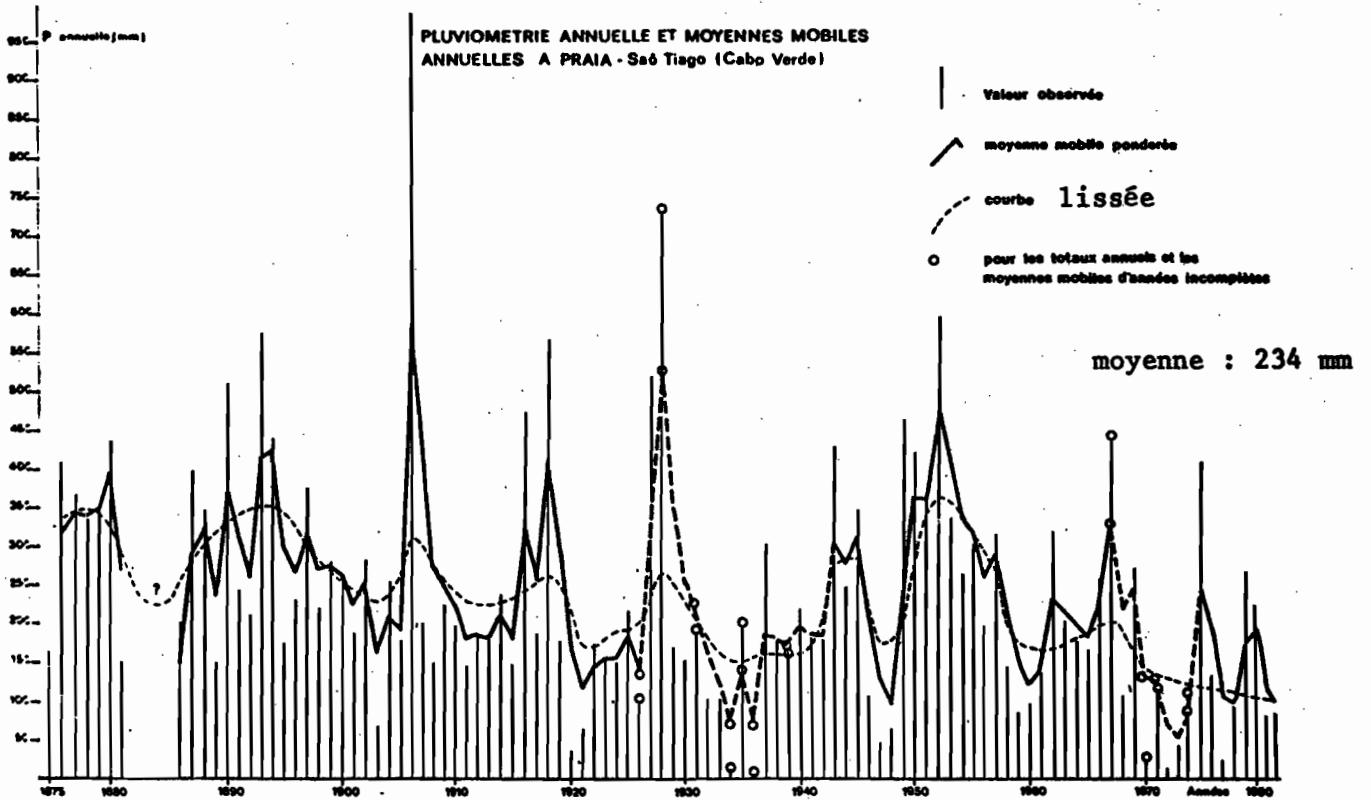
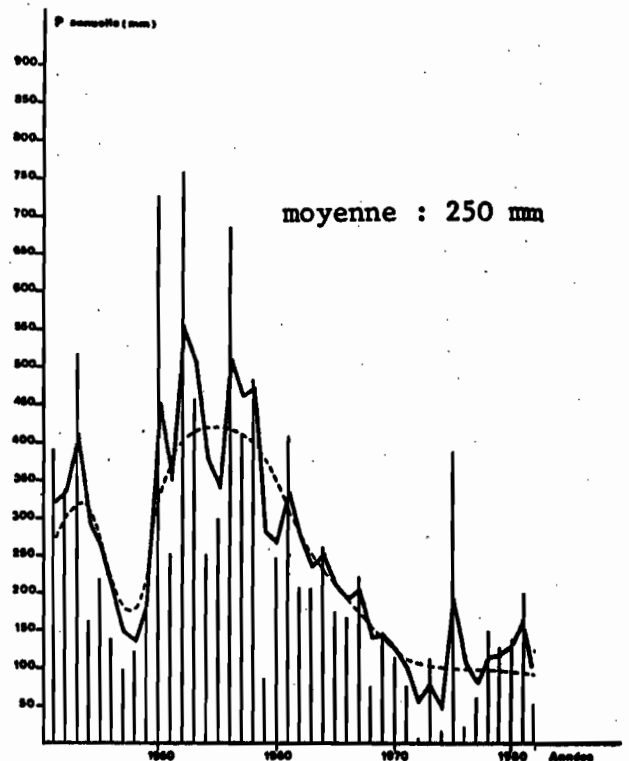


Figure 8 PLUVIOMETRIE ET MOYENNES MOBILES ANNUELLES A VILA DE RIBEIRA BRAVA Saô Nicolau (Cabo Verde)



commun qu'une tendance générale à la diminution des précipitations ; ainsi la séquence pluvieuse des années 50 à Praïa est à peine sensible à Saint-Louis et si la tendance humide est mieux ressentie à cette époque sur le fleuve Sénégal, elle s'y poursuit tout de même 10 ans de plus qu'à Praïa.

Afin de s'assurer que l'échantillon de valeurs de Praïa ne traduisait pas une distribution des pluies ponctuellement aléatoire mais seulement des variations des conditions climatiques, aléatoires ou non, subies par l'archipel, il a paru intéressant de comparer ces valeurs à l'échantillon de hauteurs pluviométriques annuelles recueillies depuis 1941 à Vila da Ribeira Brava sur l'île de Sao Nicolau, deux cent kilomètres au nord-ouest de l'île de Santiago (OLIVRY - 1981).

La comparaison des figures 7 et 8 sur la période commune d'observation montre des variations très semblables avec en particulier un premier pic dans les années 1943-45 suivi d'un bref épisode déficitaire en 1947, 1948 et d'une large séquence humide dans les années 50 ; suit une longue phase descendante depuis 1960 qui aboutit à la période actuelle ; seule anomalie dans le schéma : un regain de pluviosité en 1967, 68 à Praïa non perçu à Vila. Enfin la persistance de la sécheresse se confirme pour ces dernières années.

Sur la base de cette comparaison, il paraît raisonnable de penser que les relevés de Praïa sont représentatifs de l'évolution des conditions climatiques de l'archipel qui se traduit donc par une tendance générale à la baisse sur les cent dernières années et qui ne présente aucun indice d'éventuelles variations cycliques.

Par contre, si l'on s'en rapporte aux chroniques des famines subies par l'archipel, aux conséquences démographiques dramatiques, une certaine périodicité apparaît ; leurs dates sont en partie en coïncidence avec celles des plus forts déficits pluviométriques : c'est le cas en 1885, 1903, au début des années 20 et en 1947-49 ; 1972 a été moins durement ressentie

grâce à l'aide internationale. Mais la famine de 1941-43 ne correspond pas à un déficit pluviométrique à Praia ; de même la décennie des années 20 qui a posé problèmes n'est pas particulièrement déficitaire en précipitations dans sa seconde moitié. Dans l'autre sens, les déficits de 1959-60 n'ont pas laissé le souvenir d'évènements aussi dramatiques que les précédentes famines. La répartition des pluies, dans l'année, au cours de la saison des pluies, pendant le cycle végétatif des espèces végétales les plus cultivées telles le maïs, constituent autant de facteurs pouvant conduire ou non à des déficits de production agricole et par suite à des famines sans que cela implique nécessairement de très faibles totaux annuels. La coïncidence des déficits pluviométriques et des famines a toutefois une grande occurrence ; c'est pourquoi il a paru intéressant de rappeler ici les dates des grandes famines qui ont endeuillé l'archipel avant les observations pluviométriques : 1748-1750 ; 1773-1775 ; 1831-1833 ; de 1850 à 1866 avec en particulier les années 1864 à 1866. Là encore, il est difficile de voir dans cette suite une périodicité déterminée.

Les évènements historiques peuvent constituer l'indice d'évènements climatiques, ils ne remplacent pas les variables mesurées. L'interprétation quantitative de tels évènements est alors très subjective ; mais l'histoire et d'autres observations ont permis depuis longtemps aux climatologues de définir les grands traits de l'évolution historique des climats en Afrique ; rien n'indique de détérioration "définitive" des conditions climatiques, rien n'appuie l'hypothèse de variations cycliques. Dans l'état actuel de nos connaissances, les sécheresses apparaissent davantage comme des phénomènes aléatoires, dont seule la probabilité statistique peut être estimée et dont la récurrence n'implique aucune idée de périodicité, phénomènes aléatoires qui n'excluent pas la répétition observée de "séries noires".

1.5 CONCLUSIONS

L'analyse de quelques séries chronologiques qui comptent parmi les plus longues connues en Afrique de l'Ouest était volontairement limitée. Il n'était pas question ici de faire une synthèse des données connues sur les séquences humides et sèches de l'ensemble du Sahel. Les quelques résultats présentés montrent seulement que le matériau est insuffisant dans le temps, encore trop hétérogène dans la forme, et trop limité dans l'espace pour que l'on puisse déterminer une variation climatique significative que ce soit dans le sens d'une tendance générale à la baisse ou celui de cycles à périodes bien définies. D'ailleurs la dépendance d'un paramètre climatique d'une année donnée par rapport à ceux d'années antérieures, si elle existe, n'est que très secondaire ; ainsi par exemple le coefficient de corrélation entre les modules observés sur le fleuve Sénégal à Bakel et les moyennes mobiles pondérées des années antérieures n'est que de 0,409... rien de bien significatif.

Cependant on doit bien constater aujourd'hui en 1982 la persistance du phénomène sécheresse dont l'ampleur et l'extension ne sont pas démenties. C'est ce que se propose de montrer le chapitre suivant pour le Sénégal, la Gambie et le Cap-Vert.

2. PERSISTANCE DE LA SECHERESSE ACTUELLE

Les auteurs s'accordent généralement pour situer le commencement de l'actuelle sécheresse en 1968 et ont indiqué -peut-être un peu vite- l'année 1972 comme le coeur de la période sèche. Ceci tient pour beaucoup aussi à la pesanteur des médias dont on sait que l'intérêt pour un sujet nouveau -ici en 1973, 1974- s'émousse très vite.

De fait, si la biennale 1972-1973 constitue généralement la période déficitaire la plus marquée de la sécheresse au Sahel, les années plus récentes ont souvent des déficits comparables. Cette observation est générale au Sahel et en particulier au Sénégal. Ceci étant précisé, l'examen des données récentes se limitera ici aux débits du fleuve Sénégal et aux précipitations annuelles de quelques stations de la Vallée.

2.1 LES DEBITS DU FLEUVE SENEGAL

Les modules du Sénégal à Bakel des 15 dernières années hydrologiques ont été reportés dans le tableau ci-après. On a indiqué pour chaque année l'écart à la normale.

Année	Module m ³ /s	Ecart %	Année	Module m ³ /s	Ecart %	Année	Module m ³ /s	Ecart %
1968-69	397	- 45.1	1973-74	361	- 50.1	1978-79	523	- 23.7
1969-70	764	+ 5.7	1974-75	760	+ 5.1	1979-80	301	- 58.4
1970-71	542	- 25	1975-76	602	- 16.7	1980-81	402	- 44.4
1971-72	598	- 17.3	1976-77	470	- 35	1981-82	423	- 41.5
1972-73	263	- 63.6	1977-78	324	- 55.2	1982-83	308	- 57.4

La moyenne sur 80 ans étant de $723,1 \text{ m}^3/\text{s}$ et l'écart-type de $259,1 \text{ m}^3/\text{s}$, il est intéressant de noter la moyenne obtenue sur ces quinze dernières années. Avec $469,2 \text{ m}^3/\text{s}$, c'est 35,1 % de moins que la normale ; l'écart-type tombe à $159,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le fait mérite d'être souligné pour la prudence qu'il convient de montrer vis-à-vis de séries hydrologiques courtes, ce qui est par exemple le cas des données du fleuve Gambie. Il ne suffit pas de savoir que l'on est en période sèche pour savoir appliquer la correction appropriée aux moyennes obtenues.

Toujours est-il, en ce qui concerne le Sénégal, qu'un tel déficit, de plus de 1/3 de la normale, est considérable lorsqu'il correspond à la moyenne de 15 années consécutives.

Sur la série, seules 2 années, 1969 et 1974, ont été légèrement excédentaires (de l'ordre de 5 %) ; par contre 5 années ont eu un déficit de plus de 50 % (1972, 1973, 1977, 1979 et 1982).

En comparant ces observations récentes à l'ensemble de l'échantillon de modules, le caractère exceptionnel de la sécheresse actuelle apparaît encore plus nettement. Ainsi le classement des modules dans l'ordre croissant montre la succession suivante :

1972, 1913, 1979, 1982, 1977, 1944, 1973, 1968, 1980 (soit 7 années récentes sur 9), 1941, 1981, 1940, 1921, 1942, 1914, 1949, 1976, 1907, 1926, 1978... soit les 2/3 des observations des 15 dernières années pour les 20 modules les plus faibles connus (1/4 de l'échantillon).

Il est remarquable aussi de noter que parmi les 5 années les plus faibles, on a 1979, 1982 et 1977 ; 1982 occupe le 4e rang. Sur le plan de l'hydraulicité du Sénégal il semblerait que l'on vive actuellement, par le cumul d'années fortement déficitaires très rapprochées, une sécheresse d'amplitude au moins comparable à celle de 1972-1973. Sur le plan du niveau des nappes souterraines, l'effet de cumul des années déficitaires se traduit réellement dans l'assèchement actuel de nombreux points d'eau.

Afin de mieux illustrer l'importance de la sécheresse actuelle, la figure 9 donne la distribution statistique des modules du Sénégal à Bakel. L'ajustement de lois de GAUSS ou de GALTON ne correspond pas à la distribution des valeurs extrêmes d'années sèches dont le caractère hypergaussique semble assez prononcé.

En soulignant la densité des modules récents dans la partie basse de la courbe (années sèches), on notera que le module de fréquence décennale sèche est de $400 \text{ m}^3/\text{s}$ environ ; sept années parmi les 15 dernières observées ont une récurrence plus que décennale. 1972 a une période de retour probablement supérieure à 100 ans ; 1968 et 1980 sont des années décennales sèches ; la récurrence de 1975 est à peine plus faible ; en 1977, la période de retour du module est d'environ 20 ans ; elle est de 30 ans environ pour 1979 et de 25 ans pour 1982.

La persistance du déficit hydrologique du fleuve Sénégal est encore plus manifeste lorsque l'on cumule les écoulements de ces dernières années. Ainsi à Bakel :

- l'écoulement total des 2 dernières années (1981 et 1982 est à peine celui d'une année moyenne (1972 + 1973 est inférieur) ;
- l'écoulement des 3 dernières années (1980 + 1981 + 1982) reste inférieur à celui de 7 années hydrologiques observées ;
- l'écoulement des 4 dernières années (1979 à 1982) correspond seulement à l'écoulement de 2 années moyennes ;
- enfin l'écoulement des 6 dernières années (de 1977 à 1982) reste inférieur à celui qui a été observé pour les deux années consécutives les plus humides (1935 + 1936).

L'écoulement a été grosso modo réduit de moitié pour les six dernières années. Aucune autre suite (par ex. avec 1972-1973) d'années n'aboutit à de si faibles écoulements sur les chroniques connues.

Pour les débits maximum annuels du Sénégal à Bakel, on aboutit sensiblement au même type de constat.

La moyenne des maximum annuels des 15 dernières années est de $3\,210\text{ m}^3/\text{s}$ pour une moyenne sur 80 ans de $4\,550\text{ m}^3/\text{s}$, soit 29,5 % de moins.

L'échantillon classé des 20 plus faibles maximum annuels correspond à la succession d'années suivantes :

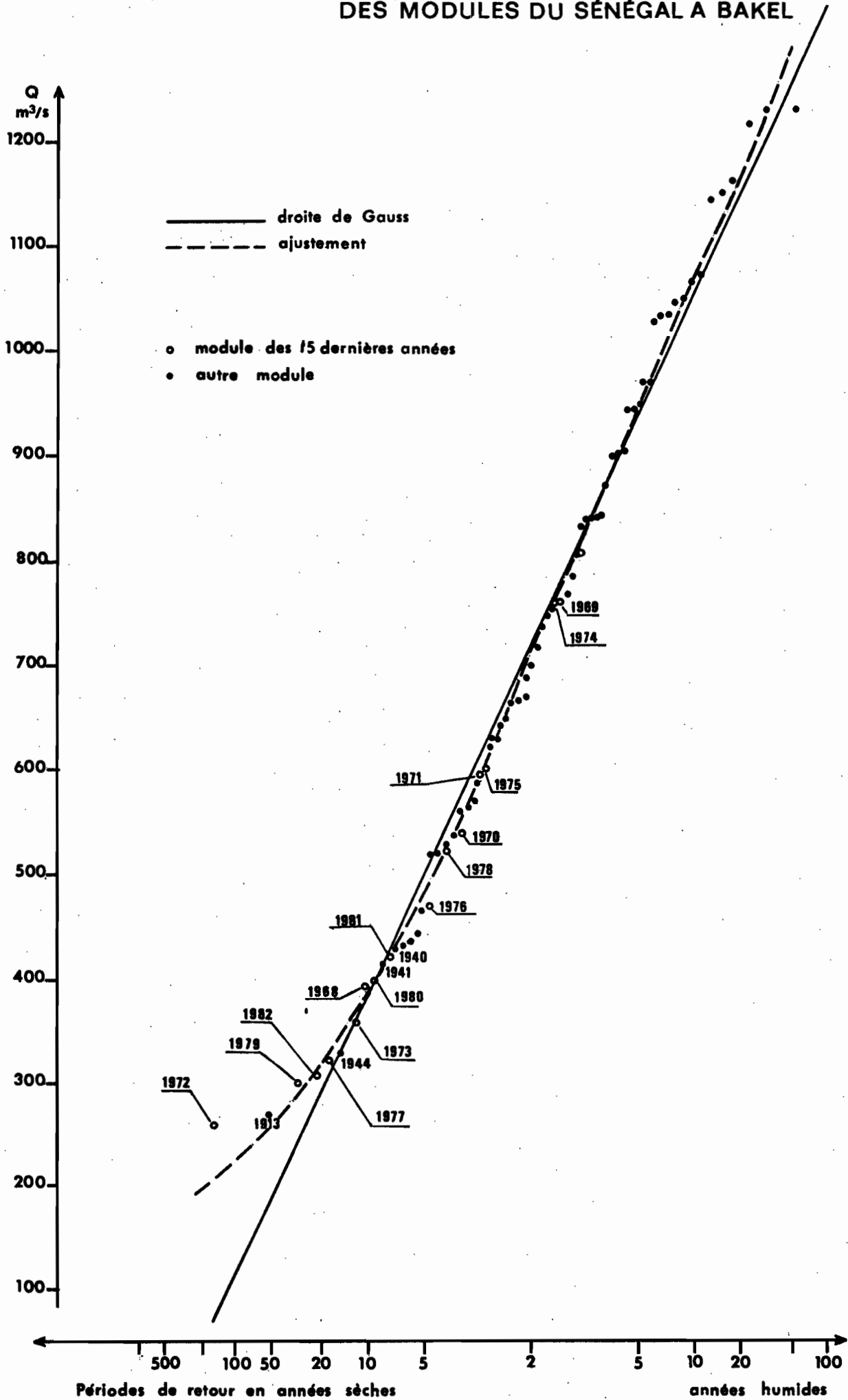
1913, 1972, 1944, 1979, 1914, 1982, 1926, 1976, 1973, 1977, 1940, 1981, 1907, 1921, 1968, 1941, 1915, 1978, 1912, 1911.

1913 constitue le minimum absolu, mais 6 des 10 débits les plus faibles appartiennent à la période déficitaire actuelle dont 1979 et 1982 en 4^{ème} et 6^{ème} places, 1972 occupant la seconde place. Sur les 20 débits maximums les plus faibles, on relève neuf maximum de crue récents.

Mais comme le montrait la figure 3, la faiblesse des crues semble avoir été plus marquée lors de la "sécheresse 1913". C'est du moins ce que l'on constate pour la série continue de 5 années 1911-1915 pour laquelle la moyenne est de $2\,537\text{ m}^3/\text{s}$, alors que sur la période 1978-82 la moyenne est de $2\,753\text{ m}^3/\text{s}$. Ceci n'est cependant plus vrai si l'on considère des périodes de 6 ou 7 années consécutives. La période 1976-1982 n'a pas son équivalent dans les chroniques de crues connues. Et, sans qu'il soit besoin de remonter aux années 1972 et 1973, la période vécue actuellement correspond à une défaillance sans précédent connu de la puissance des crues.

Figure 9

DISTRIBUTION STATISTIQUE DES MODULES DU SÉNÉGAL A BAKEL



2.2 LES PRECIPITATIONS DE QUELQUES STATIONS DE LA VALLEE DU FLEUVE SENEGAL

Pour quatre stations, situées sur le cours du fleuve Sénégal dans la Vallée (Saint-Louis, Podor, Matam et Bakel), on a reporté dans le tableau 6, pour les hauteurs de précipitations annuelles, les moyennes calculées sur la période 1931-1960 choisies par l'ASECNA en son temps comme "normales représentatives", les moyennes précédemment publiées par l'ORSTOM sur l'échantillon disponible alors, les moyennes actualisées en 1982, puis les valeurs relevées au cours des quinze dernières années avec indication des écarts à la normale actualisée en % ; en bas du tableau sont indiquées les moyennes calculées sur les 15 dernières années et celles calculées sur la décennie 1972-1981.

Pour Saint-Louis, on note que seules 2 années (1969 et 1975) sur les 15 dernières ont reçu des précipitations excédentaires et que le minimum minimorum de toute la période d'observation a été relevé en 1977. Les précipitations de l'année 1977 sont de fréquence centennale et si la période de retour de l'année 1972 est de 20 ans, celles de 1970, 1971, 1973, 1974, 1976 et aujourd'hui 1982, sont de l'ordre de 8 à 12 ans. La période la plus déficitaire est centrée sur 1972 ; la moyenne sur 5 ans est de 179 mm, soit moitié moins que la normale. La moyenne calculée sur les 15 dernières années est grosso modo d'un tiers inférieure à cette même normale.

Pour Podor, les observations sont assez voisines. La période la plus déficitaire est encore centrée sur 1972 (de fréquence plus que centennale). Mais 1977 et 1981 ont une période de retour de l'ordre de 20 ans ; 1982 a une fréquence décennale sèche. La moyenne des quinze dernières années est de 27 % inférieure à la normale ; sur la décennie 1972-81, le déficit porte sur 1/3 de la normale. C'est aussi le déficit de ces 4 dernières années.

Tableau 7

EVOLUTION RECENTE DES HAUTEURS DE PRECIPITATIONS
ANNUELLES SUR QUATRE STATIONS
DE LA VALLEE DU FLEUVE SENEGAL

	SAINT-LOUIS	PODOR	MATAM	BAKEL
Latitude Nord Longitude Ouest	16° 03 16° 27	16° 39 14° 58	15° 39 13° 15	14° 54 12° 28
1) Moyenne sur la période 1931-1960	346.9	335.7	536.7	712.0
2) Moyennes ORSTOM précédemment publiées	394 (52 ans 1902-58)	304 (47 ans 1923-72)	508 (46 ans 1922-72)	683 (43 ans 1922-65)
3) Moyenne actualisée jusqu'à 1982 compris	356 (76 ans)	285 (57 ans)	468 (56 ans)	638 (60 ans)
4) Valeurs des 15 dernières années et écarts (%) à la normale (3)				
1968	233.4 - 35	209.8 - 27	308.0 - 34	483.7 - 25
1969	531.0 + 40	431.4 + 51	534.0 + 14	575.0 - 10
1970	179.9 - 50	255.1 - 11	281.0 - 40	456.7 - 29
1971	177.0 - 51	136.7 - 53	431.0 - 8	540.6 - 16
1972	152.1 - 58	104.9 - 64	173.5 - 63	391.7 - 39
1973	190.1 - 47	153.0 - 47	219.5 - 53	395.6 - 38
1974	196.2 - 45	150.9 - 48	327.5 - 30	681.5 + 6
1975	389.4 + 9	225.5 - 21	407.5 - 13	667.1 + 4
1976	186.6 - 48	264.0 - 18	326.0 - 30	318.2 - 51
1977	102.3 - 72	133.4 - 54	194.0 - 59	384.0 - 40
1978	220.9 - 38	303.9 + 6	272.1 - 42	528.3 - 18
1979	220.5 - 39	226.6 - 22	259.0 - 45	409.3 - 36
1980	294.3 - 18	219.6 - 24	217.5 - 54	410.0 - 36
1981	335.2 - 6	139.5 - 52	370.8 - 21	533.0 - 17
1982	200 - 44	169.2 - 41	275.5 - 41	573.6 - 10
5) Moyenne 1968-82 (15 ans) et écarts (%) à la normale (3)	240.6 - 32	208.2 - 27	306.5 - 35	489.0 - 23
6) Moyenne 1972-81 (10 ans) et écarts (%) à la normale (3)	228.8 - 36	192.1 - 33	276.7 - 41	471.9 - 26

A Matam, le déficit pluviométrique est plus marqué pour les dernières années que pour la série centrée sur 1972, 1972 qui constitue cependant la plus faible valeur observée. Pour les 4 années 1977-1980, les précipitations ont été inférieures de moitié à la normale ; le déficit n'atteint que 42 % sur la période 70-73, soit sensiblement celui de la décennie 1972-81. L'année 1977 et l'année 1980 comptent parmi les points les plus bas de l'actuelle séquence sèche. La période de retour de 1977 est comprise entre 50 et 100 ans. Celle de 1982 serait de 20 ans.

Pour Bakel, la série des 15 dernières années a une moyenne de précipitations de 489 mm, soit un déficit de 23 % par rapport à la normale calculée sur 60 ans. C'est 1976 qui présente le déficit le plus important pour la série. De 1976 à 1980, les cinq années présentent le déficit moyen le plus marqué de la sécheresse actuelle : 36 % . En 1981 et 1982, les déficits pluviométriques diminuent.

En remontant le cours du fleuve, il semble que le régime des précipitations se calque plus étroitement au régime des écoulements mesurés à Bakel pour lesquels la sécheresse est globalement plus marquée ces dernières années qu'au début des années 70. Ceci dit l'observation inverse à l'aval (Saint-Louis et Podor) ne doit pas masquer l'essentiel qui est la poursuite d'un régime de précipitations très déficitaires.

2.3 LES PRECIPITATIONS A BANJUL ET PRAIA

A Banjul, la moyenne interannuelle (97 ans) est de 1 146 mm ; sur les quinze dernières années (1968-1982) la moyenne n'est que de 850 mm, soit 26 % de déficit. De 1979 à 1982 cette moyenne tombe à 724 mm, soit un déficit de 37 %, supérieur à celui de la période 1972-1975 qui avec 795 mm de moyenne n'est que de 31 % . Le classement des plus faibles hauteurs de préci-

pitations annuelles montre que la valeur la plus faible a été observée en 1981 ; 1977 occupe le 2ème rang et 1972 le 3e rang ; si 1913 est en 4e position, les 5 et 6ème places sont occupées par 1980 et 1973. C'est dire l'importance de la séquence sèche actuelle et de ces dernières années pour la station de Banjul.

Pour Praia, aux Iles du Cap-Vert, l'analyse est plus délicate du fait de la très faible hauteur de précipitation interannuelle qui y a été mesurée. L'occurrence de pluies nulles existe, et dans ces conditions fixer des pourcentages de déficits pluviométriques n'a plus grande signification. La moyenne interannuelle est de l'ordre de 234 mm. Au cours de ces quinze dernières années, seules 1969, 1975 et 1979 ont reçu une hauteur annuelle de précipitations supérieure. A Praia, la sécheresse a été bien marquée en 1977-1978 et en 1981-1982 avec, pour ces 4 années, moins de 100 mm/an, mais elle n'a jamais été aussi dure qu'au début des années 70. Centrée sur 1972, la période de 5 ans 1970-1974 a reçu en moyenne moins de 40 mm par an.

3. CONCLUSIONS

Le propos de cette note n'était pas de faire une analyse exhaustive de l'évolution des déficits hydropluviométriques au Sénégal ou dans les pays voisins, mais de montrer, à travers quelques exemples représentatifs, que la sécheresse actuelle a continué d'être ressentie avec une forte intensité jusqu'à aujourd'hui.

Si les exemples choisis concernent les séries les plus longues connues en Afrique de l'Ouest relatives à des paramètres climatiques du type débits ou précipitations, c'était bien entendu pour disposer du maximum d'informations sur la succession de périodes humides et sèches mais aussi pour rapporter à des échantillons aussi grands que possible les observations de ces dernières années tant sur les plans de l'analyse quantitative que de l'analyse statistique.

La succession de périodes humides et sèches constitue un fait d'observations ; de même il est probable que la distribution des variables climatiques n'est pas seulement un phénomène aléatoire ; aux valeurs extrêmes correspondent sans doute des modifications des mécanismes régissant les conditions climatiques générales des régions intertropicales et induisant par elles-mêmes l'extension géographique des manifestations sèches ou humides et un certain effet de persistance. Mais on a vu que les observations et nos connaissances actuelles ne permettent pas d'accepter le déterminisme d'une périodicité définie dans l'apparition des phénomènes.

Quant à la situation actuelle, le moins que l'on puisse dire c'est que la sécheresse sévit toujours et se manifeste encore dans toute son ampleur. Rien n'indique vraiment dans les observations l'amorce d'une quelconque amélioration.

On peut seulement espérer que la probabilité d'un renversement de tendance augmente au fil des années et il n'est pas exclu alors qu'on retrouve très rapidement un régime de précipitations favorable aux régions du Sahel. En tous cas, de moins mauvaises récoltes dues à une meilleure répartition des pluies ne doivent pas faire illusion, lorsque cela s'est présenté, sur l'amorce effective à ce jour d'un retour à des conditions humides.

Le constat qui a été fait pour le bassin du fleuve Sénégal et les Iles du Cap-Vert ne constitue évidemment pas un cas particulier. La sécheresse se manifeste aussi avec la même sévérité dans les autres régions du Sénégal et dans les pays voisins.

En Basse-Casamance, la salinité des marigots influencés par la marée n'a cessé d'augmenter en saison sèche par suite de l'évaporation et de l'insuffisance des apports en eau douce. A plus de 150 km de l'Océan, les concentrations maximales relevées ces dernières années atteignaient 150 g/l alors qu'en années normales elles restent inférieures à celle de l'eau de mer (marigot de Baïla).

Au Mali, la crue 1982 du Niger à Koulikoro a une récurrence cinquantennale sèche ; c'est la crue la plus faible observée depuis 1913. Les affluents du Niger, tel le Bani, ont un comportement comparable. Les précipitations reçues ces dernières années à Kayes, Tombouctou, Ségou comptent parmi les plus faibles observées depuis plus de soixante dix ans.

Ce panorama peu réjouissant de l'actuelle situation climatique montre qu'aucun effort ne doit être relâché dans ce qui doit concourir à la maîtrise des maigres ressources en eau dont disposent les populations des pays du Sahel.

BIBLIOGRAPHIE

- Académie des Sciences d'Outre-Mer - La sécheresse en zone sahélienne -
Causes - Conséquences - Etude des mesures
à prendre.
in n° 4216-4217 Notes et études documentaires -
La Documentation Française, Paris, Septembre
1975.
- BRUNET-MORET (Y.), ROCHE (M.) - Persistance dans les suites chronologiques de
précipitations annuelles.
Cahiers ORSTOM, série Hydrologie,
Vol. XII n° 3, Paris 1975.
- CHAPERON - Quatre années de sécheresses dans le Sahel.
ORSTOM DAKAR - Colloque de Nouakchott.
- FAURE (H.), GAC (J.Y.) - Sahelian drought to end in 1985 ?
Nature 291, pp. 475-478, Juin 1981.
- GUIGUEN (N.), LERIQUE (J.) - Note sur l'étalonnage du Sénégal à Bakel à la
suite des campagnes de mesures de 1974 et 1975.
ORSTOM DAKAR, 1977.
- MINISTRY OF WATER RESSOURCES
AND ENVIRONMENT Monthly rainfall data for the Gambia to 1980.
Technical Report n° 8, Banjul, 1982.
- NICHOLSON (S.E.) - in Mon. Weath. Rev. 108, pp. 473-487, 1980.
- OLIVRY (J.C.) - Les déficits hydropluviométriques au Cameroun
pendant les années sèches 1972 et 1973.
ORSTOM Yaoundé, 1974.
- OLIVRY (J.C.) - Etude des précipitations à Sao Nicolau,
Iles du Cap-Vert.
ORSTOM DAKAR, 1981.
- OLIVRY (J.C.) - Mesures hydrologiques sur le bassin du fleuve
Sénégal - Campagnes 1980, 1981, 1982.
ORSTOM DAKAR, à paraître.
- PALUTIKOF (J.P.), LOUGH (J.M.), Senegal River runoff.
FARMER (G.) - Nature 293, p. 414, Octobre 1981.

ROCHE (M.) -

Dossier sécheresse : Analyse du phénomène climatique.

in Techniques et Développement,
Nov.-Décembre 1973.

ROCHETTE (C.) -

Le Bassin du Fleuve Sénégal.

ORSTOM DAKAR, 1968 ; dans la collection
Monographies Hydrologiques ORSTOM.
ORSTOM PARIS, vol. 1, 1974.

RODIER (J.A.), ROCHE (M.) -

La sécheresse actuelle en Afrique tropicale.

in Bulletin des Sciences Hydrologiques,
Vol. 18, n° IV, 1978 pp. 411-418.

SIRCOULON (J.) -

Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale - Comparaison avec les sécheresses "1913" et "1940".

Cahiers ORSTOM, série Hydrologie,
Vol. XIII n° 2, Paris 1976.

Communications inédites -

1°/ A. CHOURET, ORSTOM - Bamako, Mali
2°/ M.D.R. - Praia, Cabo Verde
3°/ Service National de la Météorologie
Conakry, Guinée - 4°/ Direction de la Météo-
rologie Nationale - Dakar, Sénégal.
5°/ Department of Water Ressources -
Banjul, The Gambia.