

EVOLUTION DE LA PLUVIOMETRIE EN AFRIQUE SOUDANO-SAHELIENNE

EXEMPLE DU BURKINA-FASO

Jean ALBERGEL *

CIEH

Ouagadougou

RESUME

Depuis le début de la décennie 1970, l'ensemble des pays d'Afrique soudano-sahélienne connaît une sécheresse chronique dont les années les plus catastrophiques ont été 1972-1974 et 1983-1984. Pour mieux comprendre le phénomène "sécheresse" et ses répercussions sur les aménagements hydrauliques une étude approfondie des séries pluviométriques de longue durée a été entreprise pour un pays géographiquement situé au coeur de cette région et très affectée par cette péjoration climatique.

Ce travail montre tout d'abord la réalité de la notion de persistance de la sécheresse depuis 1969-70 et définit une "phase climatique" caractérisée par:

- une descente en latitude des isohyètes interannuelles pour la décennie 1970-1980 de presque deux degrés.
- une concentration d'années exceptionnellement sèches depuis 1970.
- une très forte diminution des quantités d'eau apportées par les précipitations journalières supérieures à 40 mm.

Pour les réserves en eau : barrages, lacs naturels, mares un risque de défaillance calculé sur la période 1920-1969 devient une contrainte dans la période actuelle 1970-1984.

Parallèlement à l'étude de la pluviosité a été menée celle des événements pluvieux exceptionnels qui sont à l'origine des crues les plus fortes dont les effets dévastateurs doivent être pris en compte pour la protection des ouvrages.

- Sur l'ensemble du pays, il est possible d'affirmer que le nombre de précipitations journalières supérieures au seuil de récurrence annuel a diminué pendant la période 1969-1983. A l'échelle de chaque station cette affirmation n'est pas statistiquement acceptable.

- En considérant les valeurs de pluviométries journalières extrêmes, la période 1969-1983 ne se singularise plus du reste des séries. Ces précipitations extrêmes sont indépendantes à la fois de la pluviosité annuelle et du type de pluie (grain isolé, ligne de grains, pluie de mousson).

- L'estimation de la pluie journalière de récurrence décennale n'est pas modifiée par les observations faites dans la période actuelle affectée par la sécheresse.

MOTS - CLES

Burkina-Faso, sécheresse, pluviométrie annuelle, fractions pluviométriques, pluviométrie journalière, pluviométrie journalière extrême, pluviométrie journalière décennale, aménagements hydrauliques.

* Jean ALBERGEL, Hydrologue, UR. B12 à l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération
ORSTOM - Laboratoire d'hydrologie.
MINIPARC - Bât. 2 - Rue de la Croix Verte.
34100 MONTPELLIER

ORSTOM
HYDROLOGIE
DOCUMENTATION

81194

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° 39667
Cote B

1986
79 3 JUIN 1994

INTRODUCTION

La détermination du régime hydrologique d'un cours d'eau s'appuie sur deux ensembles de données d'égale importance : les caractéristiques du bassin de réception et les apports en eau de l'atmosphère. Il est décrit par un grand nombre de paramètres dont les plus utiles aux aménagements hydrauliques sont ceux relatifs à l'écoulement annuel et ceux liés aux crues exceptionnelles. La connaissance des volumes annuels écoulés les plus forts et les plus faibles permettent de dimensionner les barrages et de définir leur risque de défaillance. La protection des ouvrages nécessite de pouvoir estimer le volume des plus fortes crues, leur forme et leur probabilité d'occurrence.

En AFRIQUE Soudano-Sahélienne, un grand nombre de données, tant sur la nature des bassins versants (DUBREUIL *et al*, 1972) que sur les précipitations (ORSTOM, CIEH, 1977), (ORSTOM, CIEH, ASECNA à paraître), ou leur régime (BRUNET-MORET, 1963), (LAHAYE, 1980) ont été recueillies. Ces données ont permis la mise au point de méthodes sur la prédétermination des crues exceptionnelles (RODIER *et* AUVRAY, 1965), (PUECH *et* CHABI-GONNI, 1984) et sur les caractéristiques des apports annuels (RODIER, 1975). Les premières de ces méthodes sont basées sur l'étude des précipitations journalières tandis que l'étude statistique de la pluviométrie annuelle constitue le fondement des secondes.

Or cette région connaît depuis 1969 une sécheresse persistante (SIRCOULON, 1976), (ALBERGEL *et al*, 1984 a, b) ; et les aménageurs se posent la question de la validité pour la période actuelle des références statistiques construites sur des données climatiques de la période où la pluviosité était plus abondante.

En prenant l'exemple du BURKINA-FASO, pays continental du Bouclier Ouest Africain entre le dixième et le quinzième parallèle Nord, ce travail tente de mettre en évidence l'évolution récente des différents paramètres relatifs à la pluviométrie et utilisés dans les méthodes évoquées précédemment.

I - DONNEES DISPONIBLES ET METHODES D' ETUDE

1.1. Les données pluviométriques

Elles proviennent du recueil des pluviométries journalières ORSTOM-CIEH * pour la période couvrant l'origine des stations à 1965, des bandes magnétiques ASECNA ** pour la période 1965-1979, et des originaux disponibles au bureau de l'ASECNA ** à OUAGADOUGOU pour la période 1980-1983. Pour quelques stations, des totaux annuels ont été utilisés pour l'année 1984 ; il proviennent des bulletins Agro-météorologiques publiés par les Services de la Météorologie et des Travaux Publics à OUAGADOUGOU.

Sur l'ensemble des stations observées depuis au moins vingt cinq ans, la validité des données a été vérifiée sur la période 1930-1979 en utilisant le vecteur indice pluviométrique régional (BRUNET-MORET, 1979). Plutôt que d'essayer de corriger des données, (ce qui ne peut être fait qu'à l'échelle annuelle) nous avons supprimé, de notre échantillon, les stations qui présentent les plus grandes déviations avec le vecteur indice (erreur d'appareillage, modification de l'environnement du pluviomètre, etc.). Vingt stations de longue durée ont été ainsi sélectionnées pour former un échantillon de postes pluviométriques répartis dans l'ensemble du spectre écologique rencontré dans le pays (GUINKO, 1984), Fig. n° 1.

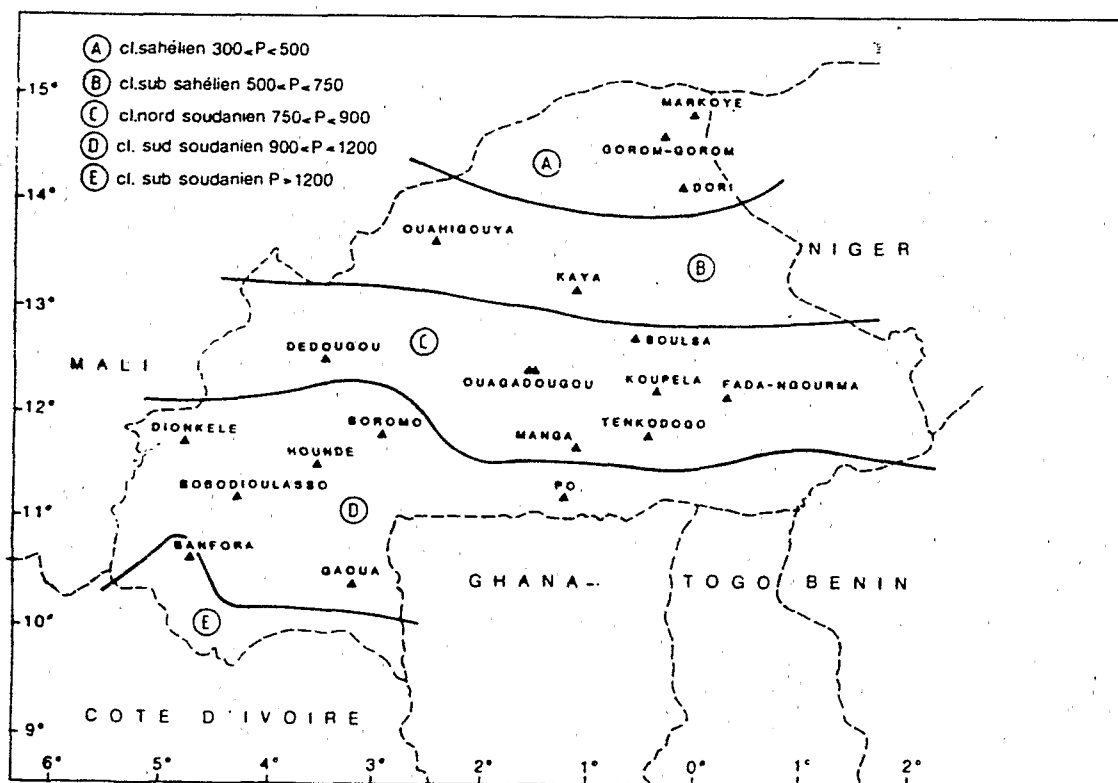


Fig. n° 1 Situation des stations pluviométriques retenues

* Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

** Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne

1.2. Isohyètes moyennes décennales

Le calcul des moyennes pluviométriques interannuelles par décennie, de 1920, (date des premières observations pluviométriques) à nos jours, a permis de tracer des isohyètes moyennes par décennie, sur l'ensemble du pays. Toutes les stations disponibles ont été utilisées pour ce travail.

1.3. Lissage des variations inter-annuelles

Pour mettre en évidence les grandes tendances climatiques, les variations inter-annuelles de la pluviométrie ont été lissées par la méthode des moyennes mobiles pondérées (OLIVRY, 1983). Inspirée des chaînes de Markov d'ordre 1, la moyenne mobile pondérée considère chaque pluviométrie comme la somme d'une variable aléatoire et d'un polynôme fonction de l'ensemble des observations antérieures.

$$P_n = \frac{1}{a} P_n + \frac{1}{a} \sum_{i=1}^{n-1} P_i e^{-b(n-i)}$$

P_n = pluviométrie de l'année n
 a, b = constantes

Ce lissage a été réalisé pour les sept stations dont les durées d'observations sont les plus longues.

1.4. Probabilité d'occurrence des années les plus sèches

RODIER (1975) a établi, pour les stations sahéliennes, un abaque donnant la distribution des précipitations annuelles en fonction des hauteurs pluviométriques annuelles moyennes. Nous avons compté, pour les stations sahéliennes de notre échantillon, le nombre d'années (n) de la période 1969-1984 pour lesquelles le total pluviométrique est inférieur ou égal à la décennale sèche donnée par cet abaque. Le calcul de la probabilité d'observer n années inférieures ou égales à la décennale sèche, dans une période de seize ans, permet de donner une appréciation sur la validité d'une statistique établie avant la sécheresse.

1.5. Fractions pluviométriques

Pour mieux caractériser la tendance générale de l'évolution climatique, des fractions pluviométriques annuelles ont été définies en fonction de l'importance des averses (CARBONNEL, 1983), (ALBERGEL et al, 1985)

- P1 : somme des précipitations journalières inférieures à 20 mm
- P2 : somme des précipitations journalières comprises entre 20 et 40 mm
- P3 : somme des précipitations journalières supérieures à 40 mm

1.6. Probabilité d'occurrence des pluies les plus fortes

Pour chaque station ont été étudiées les distributions temporelles des précipitations journalières les plus fortes :

- répartition, dans le temps, des n plus fortes précipitations journalières, n étant le nombre d'années où la station a été observée,

- comparaison de la fréquence d'apparition de l'une des trois précipitations journalières les plus fortes pendant la période 1969-1983 et la période précédente.

En considérant les stations entièrement indépendantes quant à l'apparition d'une valeur maximale une année donnée, il est possible de construire un échantillon de 945 stations-années dont 260 observées dans la période 1969-1983.

On pose alors l'hypothèse suivante :

La répartition temporelle des pluies journalières les plus fortes est totalement aléatoire sur toute la période d'observation. En comparant leurs probabilités théoriques et expérimentales d'apparition dans la période 1969-1983, il est possible d'accepter ou de rejeter cette hypothèse.

1.7. Estimation de la pluie journalière de récurrence décennale

Pour chaque station, nous considérons deux échantillons de même nombre d'années, l'un dans la période sèche (1969-1983), l'autre dans la période humide (1955-1969). Sur chacun d'eux, il est possible d'ajuster une des trois lois statistiques couramment utilisées pour l'étude des précipitations journalières de fréquence rare :

- Loi de GALTON tronquée (in BRUNET-MORET, 1975)
- Loi de GOODRICH tronquée (in BRUNET-MORET, 1974)
- Loi des Fuites (in RIBSTEIN, 1983)

Les comparaisons des valeurs de la décennale humide estimée sur les deux échantillons donnent une idée sur la distribution des valeurs maximales dans les deux périodes.

II - RESULTATS

2.1. La pluviométrie annuelle

La figure n° 2 montre les fluctuations de la situation des isohyètes 500 et 900 mm au cours des six dernières décennies. Malgré l'arbitraire du découpage par tranche de dix ans, on note une remontée générale vers le Nord des isohyètes entre 1920 et 1960, puis une descente sensible pour 1960 et 1970, et un record vers le Sud pour la décennie 1970-1980.

L'isohyète 500 mm, au Nord de la frontière Malo-Burkinabé, pour 1950-1960, se situe à la latitude de OUAHIGOUYA pour 1970-1980, soit une descente de plus de 200 km ! L'isohyète 500 mm, relatif aux années 1983 et 1984, atteint pratiquement la latitude de OUAGADOUGOU.

Ces résultats corroborent ceux présentés pour l'ensemble de la zone sahélienne par PUECH (1983).

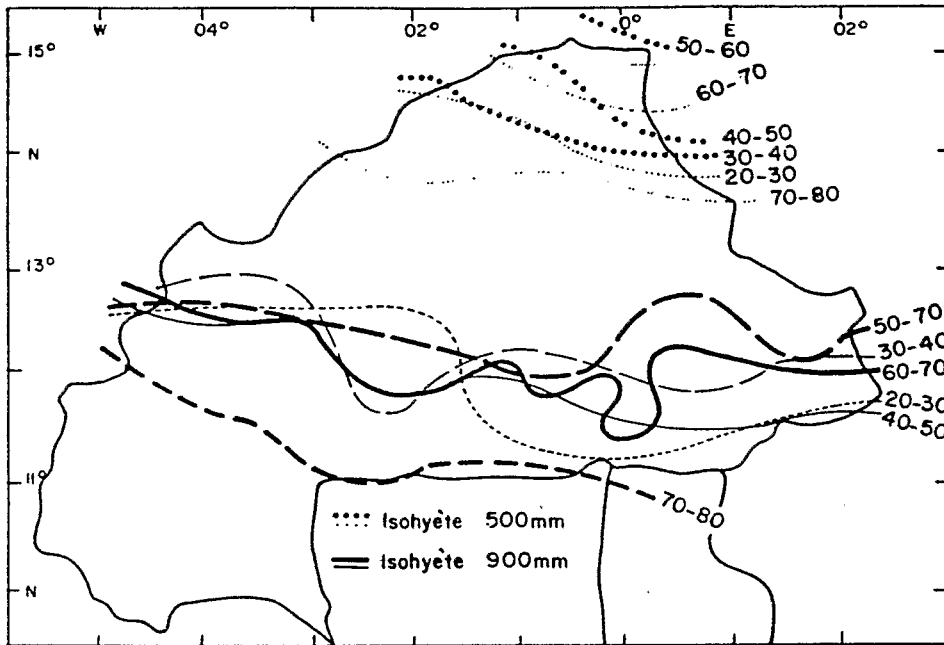


Fig. n° 2 Fluctuations de la situation des isohyètes 500 et 900 mm au cours des six dernières décennies

Pour mettre en évidence les grandes tendances climatiques, la méthode des moyennes mobiles pondérées a été appliquée à sept stations observées depuis au moins soixante ans, lissant ainsi les variations inter-annuelles. La figure n° 3 montre, pour trois d'entre elles, une phase déficitaire persistante depuis 1969.

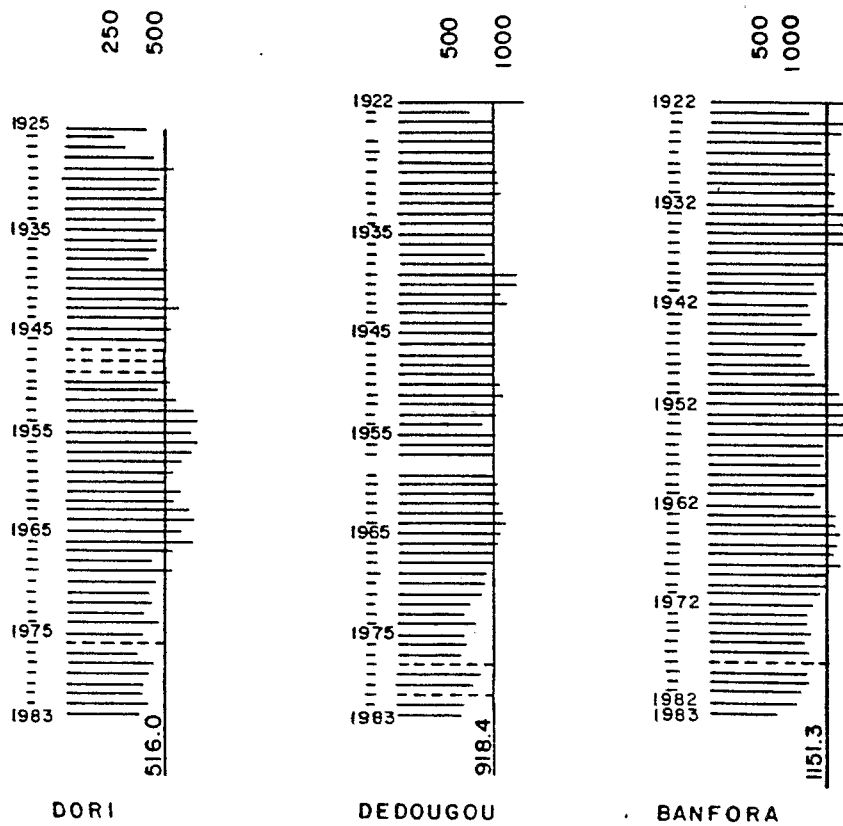


Fig. n° 3 Moyennes mobiles pondérées des pluviométries annuelles, pour trois stations

Les résultats consignés dans le tableau n° 1 et qui comparent, pour les sept stations, les moyennes mobiles pondérées à la moyenne inter-annuelle, donnent une image de l'évolution climatique pour l'ensemble du BURKINA-FASO.

Année	Moyennes mobiles pondérées							Moyenne inter-annuelle	T	Écart					
	1	2	3	4	5	6	7			-6	-4	2	0	2	4
1930	-	+	+	+	+	+	0	5	1	1	4				
31	-	+	+	+	+	+	0	3	1	2	1				
32	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	1				
33	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	5				
34	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2	1				
35	0	0	0	0	0	0	0	4	3	0	1				
36	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	3				
37	0	0	0	0	0	0	0	2	3	2	0				
38	0	0	0	0	0	0	0	2	4	1	1				
39	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	2				
40	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3	0				
41	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	2				
42	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3	0				
43	0	0	0	0	0	0	0	4	1	2	2				
44	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	-3				
45	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2	1				
46	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2	1				
47	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	-3				
48	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	-3				
49	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	-2				
1950	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3	0				
51	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	5				
52	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	6				
53	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	5				
54	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	6				
55	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	6				
56	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	6				
57	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6	5				
58	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	5				
59	0	0	0	0	0	0	0	2	3	2	0				
1960	0	0	0	0	0	0	0	2	4	1	1				
61	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3	0				
62	0	0	0	0	0	0	0	4	1	2	2				
63	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	3				
64	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	5				
65	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	5				
66	0	0	0	0	0	0	0	4	3	0	4				
67	0	0	0	0	0	0	0	4	1	2	4				
68	0	0	0	0	0	0	0	5	1	1	1				
69	0	0	0	0	0	0	0	4	2	1	1				
1970	0	0	0	0	0	0	0	2	1	4	2				
71	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	3				
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	-7				
73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	-7				
74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	-7				
75	0	0	0	0	0	0	0	1	6	-6					
76	0	0	0	0	0	0	0	0	7	-7					
77	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	-6				
78	0	0	0	0	0	0	0	0	7	-7					
79	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	-6				
1980	0	0	0	0	0	0	0	0	7	-7					
81	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6	-5				
82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	-7				
83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	-7				

(+ excédentaire
- déficitaire
0 normale
T somme de + et de -)

Tableau n° 1. Comparaison entre la moyenne mobile et la moyenne inter-annuelle, pour sept stations.

On observe :

- de 1930 à 1949, une période à pluviométrie proche de la moyenne,
- de 1950 à 1968, des années successives largement excédentaires,
- depuis 1969, une tendance générale vers un régime déficitaire.

En appliquant le test de LEE et HEGHINIAN (1977), aux séries pluviométriques annuelles de quelques stations du BURKINA-FASO, CARBONNEL et HUBERT (1985) mettent en évidence une rupture dans la distribution statistique de ces séries autour de l'année 1970.

Il est intéressant de constater que la probabilité de rupture est pratiquement nulle entre les deux premières périodes précédemment décrites, alors qu'elle est maximum entre la seconde et la troisième. Ce résultat confère un caractère de singularité à la sécheresse actuelle.

L'analyse fréquentielle des totaux pluviométriques annuels de ces sept stations a mis en évidence les faits suivants :

- une concentration des années de la période 1970-1983, dans les dix plus basses fréquences (tableau n° 2)

Station Moy. (en mm)	DORI 535	OUAHIGOUYA 674	DEDOUGOU 926	FADA N'GOURMA 868	BOBO DIULASSO 1122	BANFORA 1160	GAOUA 1133
Années des réurrences les plus sèches	1926 244 1977 304 1979 335 1983 356 1968 368 1973 394 1938 402 1970 407 1980 409 1981 409	1983 358 1982 360 1947 413 1977 429 1973 477 1971 481 1972 502 1976 520 1970 522 1932 523	1976 512 1977 594 1982 596 1983 648 1973 649 1972 670 1980 673 1937 748 1926 756 1976 764	1944 569 1921 663 1983 668 1940 670 1942 706 1949 708 1980 710 1941 729 1973 730 1922 731	1983 778 1969 803 1942 805 1912 815 1977 835 1980 841 1950 845 1941 854 1926 886 1975 888	1983 544 1979 813 1926 836 1982 847 1946 883 1947 885 1981 886 1944 890 1942 913 1976 928	1983 712 1981 766 1979 814 1947 823 1967 840 1961 852 1972 874 1944 884 1975 951 1927 954
Année de de la période 1970-1983	8	8	8	3	4	5	4
Rang de 1983	4 ^e	1 ^{er}	4 ^e	3 ^e	1 ^{er}	1 ^{er}	1 ^{er}

Tableau n° 2 Récapitulatif des dix réurrences les plus sèches

- les courbes de fréquences, en fonction des hauteurs pluviométriques, présentent une forte déviation vers les valeurs les plus basses des séries (fig.4). Ce résultat attendu pour les stations sahéniennes (distribution dissymétrique des pluviométries annuelles) est plus singulier pour les stations soudaniennes pour lesquelles la prise en compte des années récentes accroît la dissymétrie des distributions statistiques.

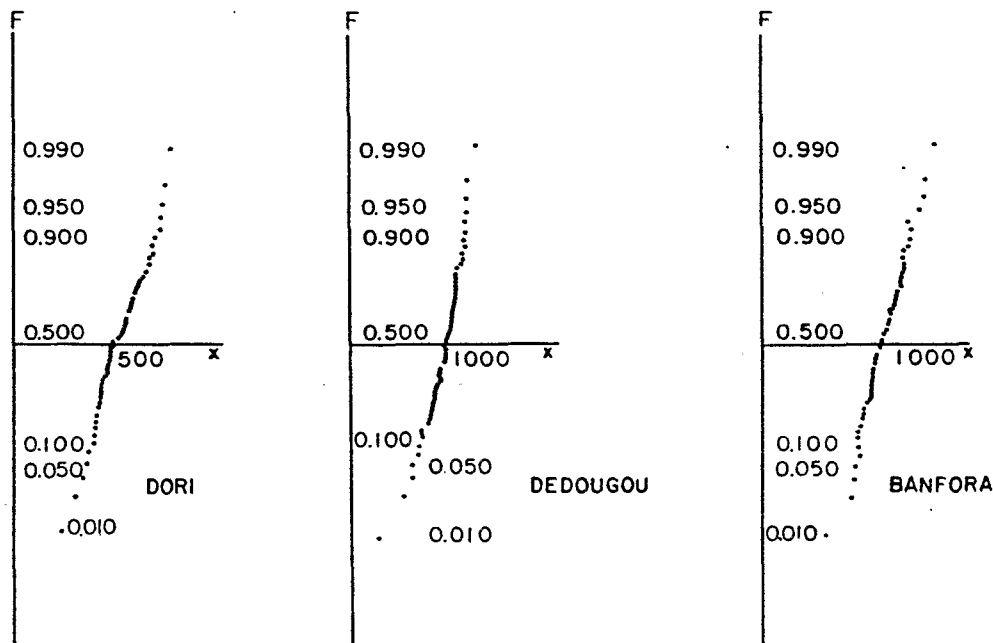


Fig. n° 4 Ajustement à une loi normale des pluviométries annuelles

La concentration d'années déficitaires, dans une série, soulève le problème de l'adéquation des ajustements statistiques pour lesquels on considère comme aléatoire la variable "Pluie annuelle".

Pour mieux caractériser cette concentration d'années déficitaires dans la période 1969-1984, nous avons comptabilisé, sur les stations sahéliennes (pluviométrie interannuelle ≤ 750 mm), le nombre d'années de la période 1969-1984 pour lesquelles le total pluviométrique est inférieur ou égal à la décennale sèche établie par RODIER (1975, op. cit) sur la base des données de la période antérieure à la sécheresse.

Stations	GOROM GOROM	MARKOYE	DORI	OUAHIGOUYA	KAYA
Moyenne annuelle mm	462	402	535	674	707
Année décennale sèche : D (RODIER, 1975) mm	320	259	361	522	542
Nombre d'années de 1969 à 1984 ou $P \leq D$	6	1	4	8	5

Tableau n° 3 Comparaison des pluviométries de la période 1969-1984 à la décennale sèche établie par RODIER (1975)

Les résultats consignés dans le tableau n° 3 montrent qu'un risque de sécheresse, qui avait une occurrence décennale dans la période antérieure à 1969, apparaît en moyenne cinq fois en seize ans pour la période 1969-1984. La probabilité pour observer cinq fois la décennale sèche en seize ans, est égale :

$$P = \binom{11}{0,9} \times \binom{5}{0,1} = 3,14 \cdot 10^{-6}$$

La valeur très faible de cette probabilité est un argument de plus pour affirmer la singularité de la période sèche. Elle montre comment un risque, correctement estimé pour un aménagement avant 1969, est devenu, depuis, une contrainte.

2.2. Les fractions pluviométriques

L'évolution des fractions pluviométriques, définies ci-dessus dans le chapitre méthodologique, a été étudiée à chaque station ; une tendance générale en ressort :

- stabilité dans le temps de la fraction P1 (somme des précipitations journalières inférieures à 20 mm)
- décroissance continue pour les deux autres fractions depuis 1969, surtout P3 (somme des précipitations journalières supérieures à 40 mm)

La méthode des moyennes mobiles pondérées a été utilisée pour lisser les variations de chacune des fractions P1, P2, P3 (Fig. n° 5).

La fraction P3, a elle seule, explique en moyenne 50 % de la variation de la pluviométrie annuelle. Le coefficient de détermination de la corrélation $P = f(P3)$ est le plus fort pour la station de DORI (56 %) et le plus faible pour la station de OUAHIGOUYA (38 %).

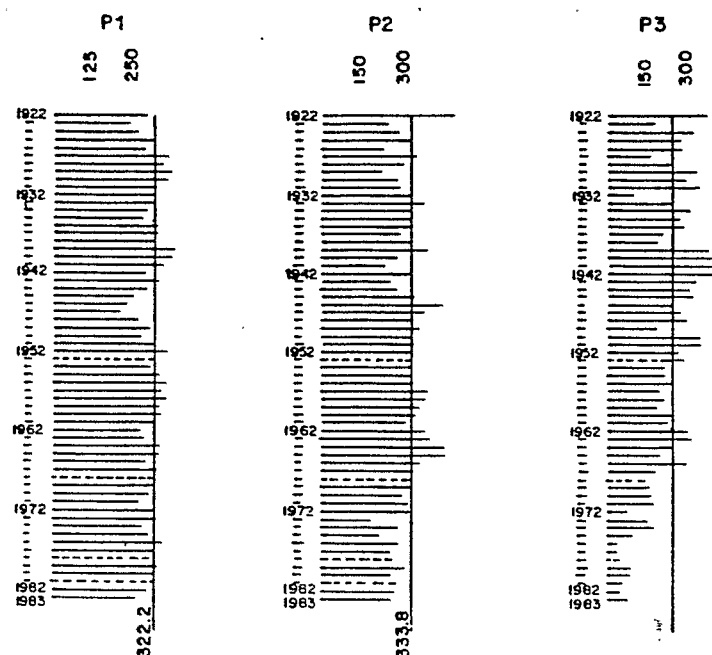


Fig. n° 5 Moyennes mobiles pondérées des fractions pluviométriques à la Station de DEDOUGOU

2.3. Pluviométrie journalière

Si l'étude des fractions pluviométriques met bien en évidence la diminution notable de l'ensemble des pluies supérieures à 40 mm, elle n'est pas suffisante pour apprécier l'évolution des pluies maximales durant la période de sécheresse. En effet, la pluie journalière de récurrence décennale humide est comprise, pour le BURKINA, entre 110 mm et 70 mm (LAHAYE, 1980, op. cit).

Sur chaque série pluviométrique, nous avons considéré les n valeurs les plus fortes observées, n étant le nombre d'années d'observations.

Nous avons noté le nombre (v) d'apparitions d'une de ces valeurs dans la période 1969-1983 pour le comparer au nombre d'années (ns) observées durant cette période. Nous avons également consigné le rang (r) de la première valeur observée entre 1969 et 1983 (tableau n° 4).

On constate pour 20 stations observées :

- quatre pour lesquelles $v \geq ns$
- deux pour lesquelles $v \leq ns/2$
- pour douze stations la plus forte pluie arrive à un rang inférieur ou égal à 5.

Sur l'ensemble des vingt stations, 945 années ont été observées dont 260 dans la période sèche. 198 valeurs, parmi 945 considérées, ont été observées durant la période 1969-1983.

Station	n	ns	v	r	Khi carré
OUAGADOUGOU-AERO	32	14	15	3	0,127
BANFORA	56	13	10	5	0,901
BOBO DIOULASSO	65	13	8	10	2,404
BOROMO	52	13	11	10	0,410
BOULSA	23	14	10	2	2,921
DEDOUGOU	61	12	6	13	3,735
DIONKELE	27	13	11	3	0,593
DORI	50	12	10	5	0,438
FADA NGOURMA	54	11	14	12	1,027
GAOUA	66	12	8	9	1,629
GOROM GOROM	24	12	8	2	2,666
HOUNDE	54	14	9	11	2,410
KAYA	57	11	11	2	0,000
KOUPELA	58	14	8	12	3,390
MANGA	32	14	15	1	0,127
MARKOYE	25	14	10	2	2,597
OUAGADOUGOU ville	59	15	16	3	0,093
OUAHIGOUYA	55	12	11	4	0,106
PO	39	14	6	4	7,131
TENKODOGO	56	13	11	19	0,401

Tableau n° 4 Occurrence des pluies maximales dans la période sèche

n = nombre d'années observées

ns = nombre de données observées dans la période 1969-1983

v = nombre de valeurs parmi les n plus fortes apparues dans la période 1969-1983

r = rang de la plus forte pluie apparue dans la période 1969-1983

Pour savoir si la probabilité d'occurrence des précipitations maximales, dans la période sèche 1969-1983, est la même que celle dans la période antérieure, nous avons appliqué le test du "khi carré" à chaque série.

Evènement	Apparition des valeurs maximales dans la période 1969-1983	Non apparition de valeurs maximales dans la période 1969-1983
Fréquence observée	X1 = v	X2 = n - v
Fréquence théorique	np1 = ns	np2 = n - ns

Tableau n° 5. Fréquence observée et fréquence espérée

$$\text{khi carré} = \sum_{i=1}^z \frac{(x_i - np_i)^2}{np_i}$$

Le nombre de degré de liberté de cette distribution en "khi carré" est égale à un (deux classes - une relation). La table des valeurs des centiles, pour la distribution en "khi carré" à un degré de liberté, donne la valeur 3,84 pour khi carré (0,95). Exceptée donc la station de PO, on peut conclure que la probabilité d'occurrence des précipitations maximales, à chaque station prise individuellement, est équivalente dans la période sèche et la période humide avec un seuil de signification de 0,05. Ce seuil de signification est d'autant plus élevé que la valeur du khi carré est voisine de zéro.

Il est possible d'utiliser ce test sur l'ensemble des stations années en faisant l'hypothèse de l'indépendance des stations vis-à-vis du phénomène étudié.

La valeur du khi carré est alors 14,3, et le test rejette l'hypothèse d'égalité des probabilités d'occurrence dans les deux périodes.

Sur l'ensemble du pays, il est possible d'affirmer que le nombre de précipitations maximales journalières a significativement diminué pendant la période 1969-1983. A l'échelle de chaque station, cette même affirmation n'est pas statistiquement acceptable vu la fréquence de ces événements dans la période 1969-1983 par rapport à la longueur d'observation totale.

Pour maximiser cette information sur les pluies journalières les plus fortes, nous avons consigné, dans le tableau n° 6, les années d'apparition des trois événements pluvieux les plus forts observés.

On constate :

- neuf de ces événements apparaissent dans la période 1969-1983
- leur occurrence reste indépendante de la longueur d'observation,
- dans cette période sèche, une station voit sa plus forte pluie observée, quatre la seconde et quatre la troisième.

Station	Date d'occurrence des trois pluies les plus fortes
OUAGADOUGOU-AERO	63 - 57 - 69
BANFORA	62 - 63 - 23
BOBODIOULASSO	11 - 08 - 52
BOROMO	33 - 33 - 80
BOULSA	59 - 73 - 65
DEDOUGOU	40 - 39 - 40
DIONKELE	60 - 68 - 75
DORI	32 - 63 - 39
FADA NGOURMA	58 - 53 - 59
GAOUA	19 - 10 - 08
GOROM GOROM	65 - 69 - 61
HOUNDE	36 - 51 - 26
KAYA	58 - 75 - 58
KOUELA	66 - 40 - 63
MANGA	70 - 51 - 50
MARKOYE	58 - 80 - 57
OUAGADOUGOU VILLE	53 - 30 - 77
OUAHIGOUYA	57 - 53 - 54
PO	50 - 65 - 50
TENKODOGO	55 - 35 - 67

Tableau n° 6 Occurrence des trois pluviométries journalières les plus fortes

En raisonnant sur l'ensemble des 945 stations années, il est possible d'utiliser le test du khi carré pour savoir si la probabilité d'occurrence de l'une des trois pluviométries les plus fortes est la même dans la période 1969-1983 que dans la période antérieure.

Evènement	Occurrence dans la période 1969-1983	Occurrence dans la période antérieure à 69
Fréquence observée	9	51
Fréquence théorique	16,5	43,5

$$khi \text{ carré} = 4,702$$

L'hypothèse précédemment formulée est donc acceptable au seuil de signification de 0,25.

La période 1969-1983 apparaît moins singulière pour les pluviométries journalières extrêmes que pour l'ensemble des pluies supérieures au seuil de récurrence annuel. Les évènements pluvieux les plus forts semblent être ~~des phénomènes erratiques indépendants de la pluviosité annuelle~~. Deux exemples illustrent bien cette affirmation :

- la pluie du 18 août 1962 enregistrée à BOULSA (186 mm) ; remarquable autant par sa hauteur que par son extension spatiale ; de récurrence centenaire (KLEIN, 1967), elle survient une année très humide (983,6 mm, plus forte valeur annuelle enregistrée) ;
- la pluie du 30 septembre 1984 enregistrée à TILLABERI au NIGER (206 mm), de récurrence plus que millénaire (Anonyme, 1984) ; elle survient une année très sèche (381 mm). Elle a une répartition spatiale très limitée.

Les méthodes de prédétermination des crues exceptionnelles utilisant l'estimation de la pluie journalière de récurrence décennale, il est important de savoir si la période de sécheresse a produit ou non une "altération" dans cette estimation.

L'ajustement des vingt séries pluviométriques journalières aux lois de GALTON, GOODRICH, et des Fuites amène les remarques suivantes :

- différents seuils de troncature entre 30 mm et 60 mm ont été testés. La modification du seuil de troncature modifie peu l'estimation des valeurs de récurrence décennale, mais a une influence importante pour les récurrences plus rares.
- pour chaque série, les estimations données par les trois lois de la pluie de récurrence décennale sont dans une fourchette de 10 %. A l'examen des ajustements graphiques, la loi des fuites avec un seuil de troncature de 30 mm apparaît comme la plus appropriée pour le plus grand nombre de stations.

Le tableau n° 8 consigne les valeurs de la pluviométrie journalière de récurrence décennale estimée par un ajustement de la loi des fuites avec un seuil de troncature de 30 mm :

- sur l'ensemble des données de la série,
- sur n années antérieures à 1969 (69 exclu), soit 1954-1968 en général,
- sur n années postérieures à 1969 (69 inclus), soit 1969-1983 en général, (n = nombre d'années observées pendant la période 1969-1983).

On remarque que les différences d'estimations entre l'ajustement sur les périodes antérieures et postérieures à 1969 ne sont pas systématiquement dans le même sens. Les différences d'estimations entre l'ajustement sur la série complète et sur les deux échantillons respectifs sont du même ordre.

L'examen des paramètres de formes des ajustements sur la période humide et sur la période sèche montre que la distribution est systématiquement plus asymétrique et plus aplatie sur la seconde que sur la première. En effet, le nombre de valeurs, proches du seuil de troncature, est moins élevé dans la période sèche que dans la période humide, tandis que celui de valeurs extrêmes est sensiblement le même.

Station	1 mm	2 mm	3 mm
OUAGADOUGOU-AERO	94,6	95,2	92,1
BANFORA	110,0	115,7	104,6
BOBODIOULASSO	108,0	103,7	93,7
BOROMO	95,9	88,3	95,3
BOULSA	95,4	102,7	89,6
DEDOUNGOU	101,3	96,3	83,0
DIONKELE	98,0	107,2	90,1
DORI	80,8	81,1	81,7
FADA NGOURMA	94,4	84,8	98,6
GAOUA	113,6	96,7	101,8
GOROM GOROM	83,6	92,0	71,8
HOUNDE	92,9	108,4	91,5
KAYA	89,0	104,5	87,1
KOUPELA	97,7	92,4	89,0
MANGA	101,7	97,2	101,4
MARKOYE	70,1	74,4	66,6
OUAGADOUGOU-VILLE	95,3	93,3	100,8
OUAHIGOUYA	92,1	94,6	95,7
PO	97,6	93,0	86,8
TENKODOGO	109,4	103,9	101,4

Tableau n° 8 Valeur de la pluie journalière de récurrence décennale estimée par un ajustement de la loi des fuites

- 1 sur l'ensemble des données
- 2 sur n années antérieures à 1969 (69 exclu)
- 3 sur n années postérieures à 1969 (69 inclus)

n = nombre d'années observées à la station considérée pendant la période 1969-1983

Pour apprécier les variations de l'estimation de la valeur décennale et celles de la forme de la distribution en fonction de la chronologie, nous avons calculé ces paramètres pour une station sur des échantillons de quinze années se recoupant sur des périodes de dix ans.

Le tableau n° 9 consigne ces valeurs pour la station de OUAGADOUGOU VILLE, choisie parce qu'observée sans lacune depuis 1933. (La loi statistique retenue est celle des fuites).

Echantillon	Coefficient d'asymétrie	Coefficient d'aplatissement	Valeur décennale mm
1934 - 1948	5,06	34,09	95,2
1939 - 1953	4,92	32,23	92,8
1944 - 1958	5,32	37,74	94,2
1949 - 1963	5,42	39,22	97,6
1954 - 1968	5,01	33,52	93,3
1959 - 1973	5,91	46,51	100,3
1964 - 1978	5,46	39,74	97,5
1969 - 1983	6,07	49,18	100,8

Tableau n° 9 Paramètres d'une distribution "Loi des fuites" sur des échantillons glissants de quinze ans avec un pas de cinq ans à la station de OUAGADOUGOU VILLE

On remarque :

- quelle que soit la période utilisée, l'estimation de la valeur décennale varie au maximum de 8 %. Dans ce cas particulier, la valeur estimée de la décennale est la plus forte pour la période la plus sèche (1969-1983).
- les coefficients d'asymétrie et d'aplatissement sont d'autant plus élevés que l'échantillon contient un nombre important d'années sèches.

Dans cette région, on distingue généralement trois types de pluies :

- les grains isolés remontant du Sud vers le Nord du début de saison des pluies,
- les lignes de grains se déplaçant d'Est en Ouest,
- les pluies de moussons qui correspondent sensiblement au milieu de la saison des pluies.

Bien que la caractérisation de chacun de ces phénomènes météorologiques soit difficile au vue des seules données pluviométriques, il est possible, en étudiant la répartition spatiale et les dates d'apparition de certaines des plus fortes pluies, d'avancer la conclusion suivante.

Les valeurs extrêmes de pluviométrie journalière ne se rangent pas préférentiellement dans l'une de ces trois catégories. Elles semblent plutôt provenir de "l'aberration" de l'un ou l'autre de ces systèmes pluvieux.

CONCLUSIONS

L'analyse de la pluviométrie annuelle et des fractions pluviométriques permet de définir, pour le BURKINA-FASO, une période de sécheresse persistante depuis 1969. Cette phase sèche se singularise des autres sécheresses connues dans cette région du monde (1913, 1939) par sa durée et par son ampleur (succession d'un nombre important d'années extrêmement déficitaires).

Cette singularité soulève le problème de l'adéquation des ajustements statistiques des pluviométries annuelles sur l'ensemble des séries, quelque soit leur longueur.

Les conséquences de cette évolution, sur la ressource globale en eau, sont importantes et se traduisent aussi bien sur l'hydraulicité des grands bassins que sur l'alimentation des nappes ou de la recharge du stock hydrique des sols.

Cette dégradation de la pluviosité annuelle, se caractérise par la diminution du total des pluies supérieures à 40 mm, ~~mais sans affecter les valeurs extrêmes de pluviométrie journalière.~~

L'estimation de la pluie journalière de récurrence décennale (ou de fréquence plus rare) n'est pas modifiée par l'introduction des observations faites dans la période récente affectée par la sécheresse (1969-1983).

Que peut-on conclure sur l'évolution du ruissellement au vu de ces résultats ?

La nette diminution de la pluviométrie annuelle et surtout du total annuel des pluies supérieures à 40 mm, a deux effets opposés :

- la diminution du stock hydrique du sol au cours de la saison des pluies qui donne une probabilité plus faible à une forte pluie de survenir dans des conditions d'humidité des sols très favorables au ruissellement,
- la dégradation de la végétation qui favorise la formation d'organisations pelliculaires imperméables à la surface du sol.

Pour apprécier le risque couru par les aménagements durant la période sèche, il faudrait quantifier les conséquences de ces deux phénomènes sur la genèse des crues les plus fortes.

Le premier critère se manifeste plutôt sur les écoulements des grands bassins où les débits de base sont très liés à l'état de recharge des nappes. La formation d'organisations imperméables à la surface des sols est plus importante sur les petits bassins où la dégradation de la végétation et des sols est aggravée par l'extension des cultures et du (sur)pâturage.

Il est à souligner que l'étude des données pluviométriques n'est pas suffisante pour caractériser entièrement cette sécheresse et surtout pour pouvoir faire des prévisions quant à son avenir. Elle doit être couplée à celle des phénomènes météorologiques à plus grande échelle dont elle n'est que l'une des manifestations.

- ALBERGEL J., CARBONNEL J.P. & CROUZIS M. (1984), a
Pluies, eaux de surface, productions végétales. HAUTE-VOLTA
(1920-1983) - ORSTOM_OUAGADOUGOU 58 p.
- ALBERGEL J., CARBONNEL J.P. & GROUZIS M. (1984), b
Péjoration climatique au Burkina Faso. Incidences sur les ressources
en eau et sur les productions végétales. - Cah. ORSTOM
Serie Hydrol Vol XXI, n°1 pp 3-19
- ALBERGEL J., CARBONNEL J.P. & CROUZIS M. (1985)
Sècheresse au SAHEL, incidences sur les ressources en eau et les
productions végétales. Cas du BURKINA-FASO - Veille climatique
satellitaire n° 7 - ORSTOM, Météorologie Nationale LANNION pp. 18-30.
- Anonyme (1984)
Enquête sur les crues des koris traversant la route Tillabéri. Ayorou
à la suite de la pluie du 30 septembre 1984 - ORSTOM, D.R.E. NIAMEY
10 p.
- BRUNET-MORET Y. (1963)
Etude générale des averses exceptionnelles en AFRIQUE OCCIDENTALE,
REPUBLIQUE DE HAUTE-VOLTA - ORSTOM_Paris 23 p.
- BRUNET-MORET Y. (1974)
Distribution exponentielle généralisée - Cahier ORSTOM, série Hydrol.
Vol XI n° 4 pp. 245-236.
- BRUNET-MORET Y. (1975)
Distribution gaussio-logarithmique - Cahier ORSTOM, série Hydrol.
Vol. XII n° 2 pp. 63-140
- BRUNET-MORET Y. (1979)
Homogénéisation des précipitations - Cahier ORSTOM, série Hydrol.
vol. XVI n° 3, 4 pp. 147-170.
- CARBONNEL J.P. (1983)
Evolution climatique récente en HAUTE-VOLTA ; un paramètre
pluviométrique peu utilisé : la pluie moyenne journalière annuelle.
Notes et documents voltaïques, série Hydrol. Vol. XIV n° 3, 4.
- CARBONNEL J.P. & HUBERT P. (1985)
Sur la sécheresse au SAHEL d'AFRIQUE de l'OUEST. Une rupture
climatique dans les séries pluviométriques du BURKINA-FASO (ex HAUTE-
VOLTA) - C.R. Acad. Sc. série Hydrol. Vol. II, tome 301 n° 13
pp. 941-944.
- DUBREUIL P., CHAPERON P., GUISCAFRE J. & HERBAUD J. (1972)
Recueil des données de base des bassins représentatifs et
expérimentaux, années 1951-1969 - ORSTOM_Paris 916 p.
- GUINKO S. (1984)
Végétation de la HAUTE-VOLTA. Thèse de Doctorat es sciences,
Université de BORDEAUX_III, Tome 1 et 2 394 p.

- KLEIN J. C. (1967)
Etude hydrologique de bassins représentatifs dans le Sud-Est de la HAUTE-VOLTA (Région de MANGA), (1963-1965) - ORSTOM_PARIS, 138 p.
- LAHAYE J. P. (1980)
Etude des pluies journalières de fréquence rare en HAUTE-VOLTA CIEH_OUAGADOUGOU 89 p.
- LEE A. F. S. & HEGHINIAN S. M. (1977)
A shift of the mean level in a sequence of independant normal random variables. A bayesian approach. Technometries Vol. 19 n° 4 pp. 503-506.
- OLIVRY J. C. (1983)
Le point en 1982 sur la sécheresse en SENEGAMBIE et aux Iles du CAP VERT. Examen de quelques séries de longues durées (débits et précipitations) - Cahier_ORSTOM, série Hydrol. Vol. XX, 1, pp. 47-69.
- ORSTOM, CIEH (1977)
République de HAUTE-VOLTA. Précipitations journalières de l'origine des stations à 1965 - 685 p.
- ORSTOM, CIEH, ASECNA (à paraître)
BURKINA-FASO. Précipitations journalières de 1965 à 1980.
- PUECH C. (1983)
Persistance de la sécheresse au Sahel. Conséquences sur les normes hydrologiques et pluviométriques. CIEH_OUAGADOUGOU
- PUECH C. & CHABI-GONNI D. (1984)
Méthode de calcul des débits de crue décennale pour les petits et moyens bassins versants en AFRIQUE DE L'OUEST et CENTRALE - Deuxième_édition_ CIEH_OUAGADOUGOU 87 p.
- RIBSTEIN P. (1983)
Loi des fuites - Cahier_ORSTOM, série Hydrol. Vol. XX n° 2 pp. 117-144.
- RODIER J. P. & AUVRAY C. (1965)
Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en AFRIQUE OCCIDENTALE - ORSTOM_PARIS 37 p.
- RODIER J. P. (1975)
Evaluation de l'écoulement annuel dans le SAHEL Tropical Africain - Travaux_et_documents_de_l'ORSTOM_PARIS 121 p.
- SIRCOULON J. (1976)
Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en AFRIQUE Inter-Tropicale. Comparaison avec les sécheresses "1913" et "1940" - Cahier_ORSTOM, série Hydrol. Vol. XIII, 2, pp. 75-174.