

SECHERESSE AU SAHEL

INCIDENCES SUR LES RESSOURCES EN EAU
ET LES PRODUCTIONS VEGETALES

CAS DU BURKINA FASO

ALBERGEL J. ET GROUZIS M.

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHES SCIENTIFIQUES
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

O.R.S.T.O.M.

B.P. 182 - OUAGADOUGOU

BURKINA FASO

COMMUNICATION PRESENTEE AU SEMINAIRE

TELEDETECTION SPATIALE

CENTRE AGRHYMET

NIAMEY, NIGER

13 - 15 MARS 1985

16 AVRIL 1985

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 17335

Cote : B

INTRODUCTION

L'année 1983 particulièrement éprouvée sur le plan climatique, a conduit une équipe pluridisciplinaire (D.G.S.R.T. BURKINA - O.R.S.T.O.M.) à réaliser une étude sur les précipitations et l'évolution des ressources en eaux et des productions végétales au Burkina Faso (ALBERGEL et al., 1985).

Ce pays, encadré en latitude par les isohyètes inter-annuelles 400 mm et 1300 mm, est représentatif de la zone soudano-sahélienne. De plus, son caractère continental, permet de cerner la pluviométrie sous l'unique effet du déplacement de la zone de convergence intertropicale.

Ce travail met en évidence la tendance climatique observée sur le pays, sur la base de l'analyse de la pluviométrie annuelle et des fractions pluviométriques.

Il tente ensuite de montrer l'incidence de l'évolution de la situation pluviométrique sur l'évolution des ressources en eaux (cours d'eau, retenue) et des productions végétales (céréales, cultures industrielles (coton) et pâturages herbacés sahéliens).

I. - EVOLUTION DE LA PLUVIOMETRIE.

1.1. - ISOHYETES MOYENNES DECENNALES.

Le calcul des moyennes pluviométriques interannuelles par décennie permet d'observer des variations spatiales des isohyètes. Malgré l'arbitraire de ce découpage, on note (fig. 1) une remontée générale vers le nord des isohyètes entre 1920 et 1960, puis une descente sensible pour 1960-1970 et un record vers le sud pour la décennie 1970-1980.

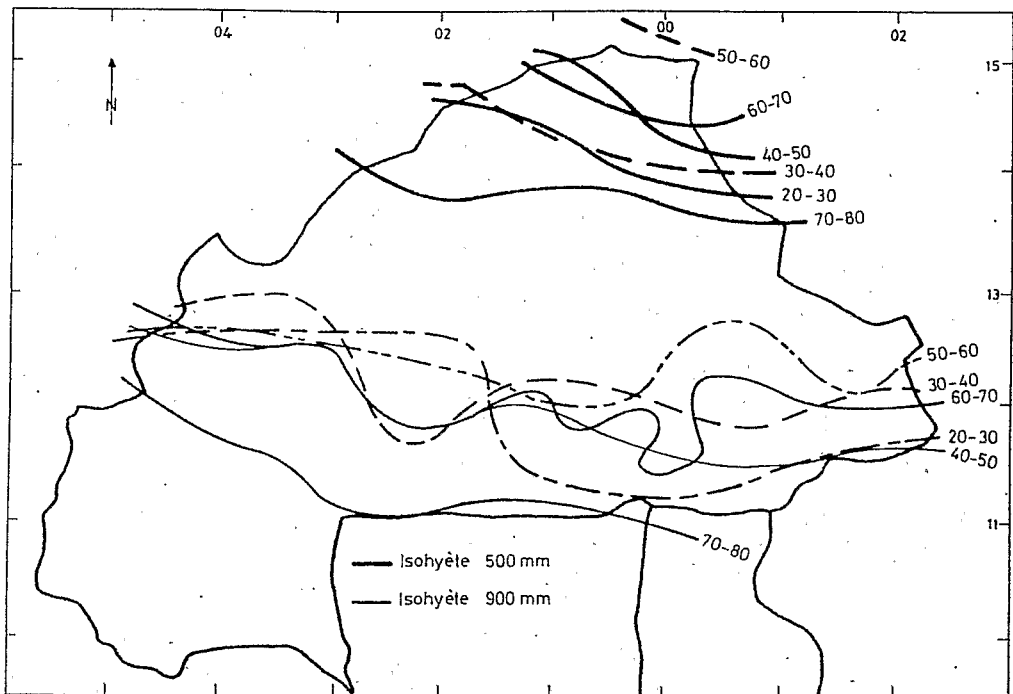


FIGURE 1 - FLUCTUATIONS DE LA SITUATION DES ISOHYETES 500 ET 900 MM AU COURS DES SIX DERNIERES DECENNIES

L'isohyète 500 mm au nord de la frontière malo-burkinabé pour 1950-1960, se situe pour 1970-1980 à la latitude de Ouahigouya, soit une descente de plus de 200 kilomètres !

1.2. - PLUVIOMETRIE ANNUELLE.

Cette analyse porte sur les données de sept stations réparties dans les différentes zones écologiques du pays (GUINKO, 1984) et observées depuis au moins 60 années.

121 - Analyse statistique.

Les sept stations étudiées dont trois figurent sur le graphique 2, présentent pratiquement la même déviation de la courbe de fréquence vers les basses valeurs des séries, corroborant ainsi les résultats d'OLIVRY (1983) pour les stations côtières du Sénégal.

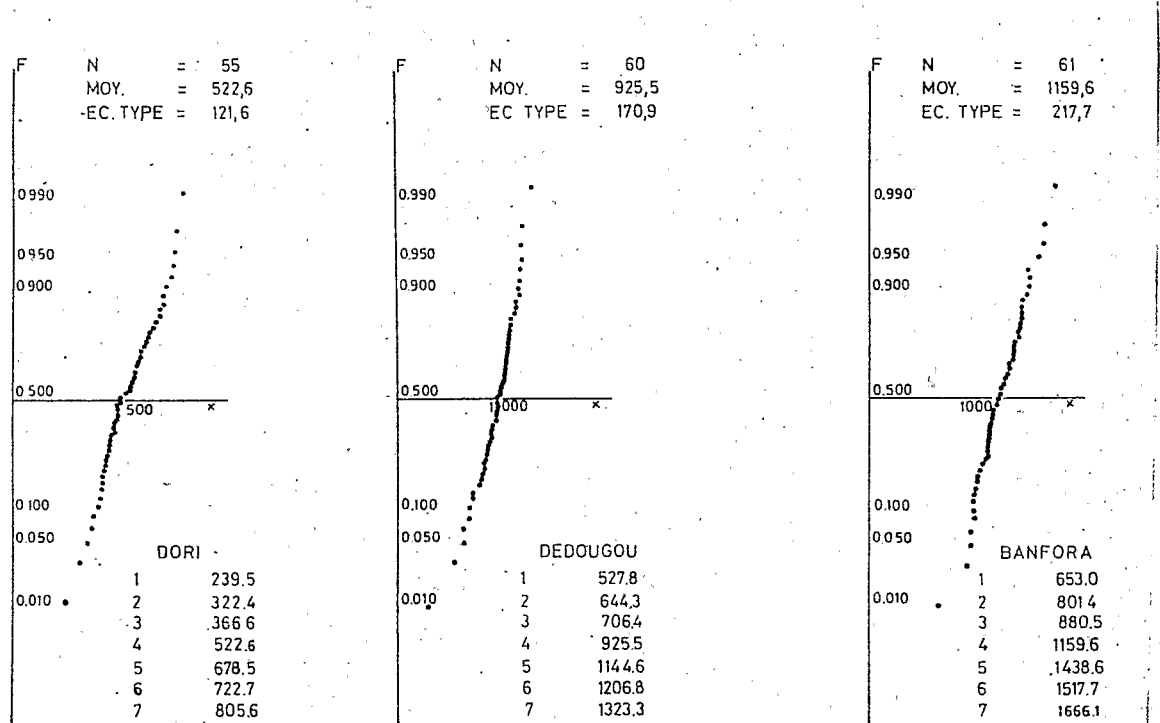


FIGURE 2 - AJUSTEMENT A UNE LOI NORMALE DES PLUVIOMETRIES ANNUELLES.

N = nombre d'années, moy. - moyenne : les chiffres indiquent les récurrences théoriques. 1, 2, 3 : sèches ; 4 : annuelle ; 5, 6, 7 : humides.

Les données du tableau 1 montrant une concentration des années de la période 1970-1983 dans les dix plus basses fréquences, soulèvent le problème de l'adéquation d'un ajustement statistique de la série complète.

DORI	Panaï (OUAHIGOUYA)		DEDOUGOU	FADA N'GOURMA		BOBO DIULASSO	BANFORA		GAOUA				
Moy.	523	674	926	868	1122	1160	1133						
1946	244	1983	358	1975	512	1944	569	1983	778	1983	544	1983	712
1977	304	1982	360	1977	594	1921	663	1969	803	1979	813	1981	766
1975	335	1947	413	1982	596	1983	668	1942	805	1926	836	1979	814
1983	356	1977	425	1983	648	1940	670	1912	815	1982	847	1947	823
1968	368	1973	477	1973	649	1942	706	1977	835	1946	883	1967	840
1971	394	1971	481	1977	670	1949	708	1980	841	1947	885	1961	852
1948	402	1972	502	1980	673	1980	710	1950	845	1981	886	1972	874
1970	407	1975	520	1947	748	1941	729	1941	854	1944	890	1944	884
1980	409	1970	522	1926	756	1973	730	1926	886	1942	913	1975	951
1961	409	1932	523	1976	764	1922	731	1975	888	1976	928	1927	954
Nombre d'années de la période 1970-1983	8	8	8	3	4	5	4						4
Rang de 1983	4ème	1er	4ème	3ème	1er	1er	1er						1er

TABLEAU 1 - RECAPITULATIF DES DIX RECURRENCES LES PLUS SECHES.

phase sèche.

Cette distribution des années sèches nous a conduit à considérer qu'à l'échelle d'un pas de temps annuel, la pluviométrie est liée aux pluviométries précédentes par un processus markovien d'ordre 1, et à appliquer à la pluviométrie la méthode des moyennes mobiles pondérées (OLIVRY, loc. cit.).

Ainsi la décomposition de la pluviométrie en une variable aléatoire et en une fonction dépendante de toutes les observations antérieures, permet de mettre en évidence (fig. 3) un phénomène de persistance de la période de déficitaire.

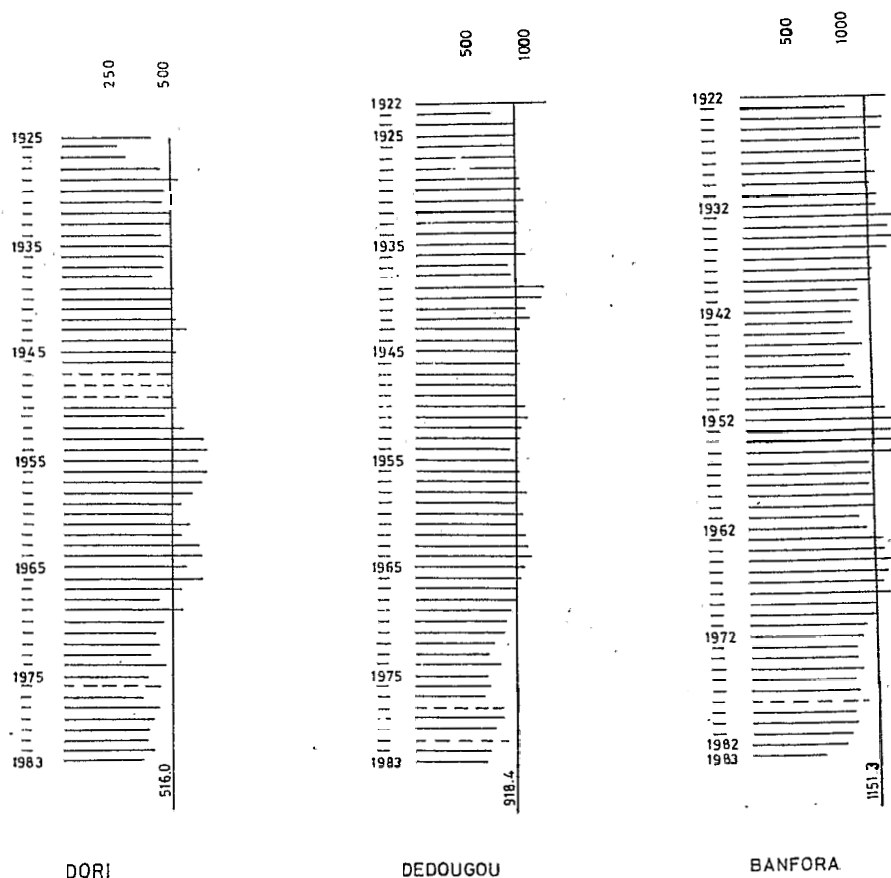


FIGURE 3 - MOYENNES MOBILES PONDEREES DES PLUVIOMETRIES ANNUELLES POUR TROIS STATIONS CLIMATOLOGIQUES.

Les résultats consignés dans le tableau 2 et qui comparent pour les sept stations les moyennes mobiles pondérées à la moyenne interannuelle donnent une image de l'évolution climatique pour l'ensemble du Burkina Faso.

Station années	DOKI	OUAH1 GOUYA	DEDJI GOU	FADA	BOBO	BAIPO RA	GAOUA	+	0	-		-6 -4 -2 0 2 4 6				
1930	-	+	+	+	+	+	0	5	1	1	4					
31	-	-	+	0	+	+	+	3	1	2	1					
32	0	-	+	0	+	+	0	3	3	1	1					
33	0	0	+	+	+	+	+	5	2	0	5					
34	-	-	+	0	0	+	+	3	2	2	1					
35	0	+	0	0	+	+	+	4	3	0	1					
36	-	+	+	-	+	+	+	5	0	2	3					
37	-	+	0	-	0	0	+	2	3	2	0					
38	-	+	0	0	0	0	+	2	4	1	1					
39	0	+	+	-	0	0	+	3	3	1	2					
1940	0	+	+	-	-	-	+	3	1	3	0					
41	0	+	+	-	-	-	+	3	3	1	2					
42	+	0	+	-	-	-	+	3	1	3	0					
43	+	+	+	0	-	-	+	4	1	2	2					
44	0	0	0	-	-	-	0	0	4	3	-3					
45	+	+	+	-	0	-	0	3	2	2	1					
46	0	+	+	-	+	-	0	3	2	2	1					
47	0	-	0	-	+	-	-	1	2	4	-3					
48	0	-	0	0	0	-	-	0	4	3	-3					
49	0	0	0	-	+	-	-	1	3	3	-2					
1950	+	+	+	-	-	-	-	3	1	3	0					
51	0	+	+	+	+	+	0	5	2	0	5					
52	+	+	+	+	+	+	0	6	1	0	6					
53	+	+	+	+	+	+	-	6	0	1	5					
54	+	+	-	+	+	+	-	5	2	0	5					
55	+	+	0	+	+	+	+	6	1	0	6					
56	+	+	+	+	+	-	+	6	0	1	5					
57	+	+	+	+	+	+	+	6	1	0	6					
58	+	+	+	+	+	0	0	5	2	0	5					
59	+	0	0	+	-	0	-	2	3	2	0					
1960	0	0	+	+	0	0	-	2	4	1	1					
61	+	+	-	+	0	-	-	3	1	3	0					
62	+	+	+	+	-	0	-	4	1	2	2					
63	+	+	+	+	0	+	0	5	2	0	3					
64	+	0	+	+	+	+	0	5	2	0	5					
65	+	+	+	+	0	+	0	5	2	0	5					
66	+	0	+	+	0	+	0	4	3	0	4					
67	+	+	-	+	0	+	-	4	1	2	4					
68	-	+	0	+	+	+	+	5	1	1	4					
69	+	0	-	+	+	0	+	4	2	1	3					
1970	-	-	-	-	+	0	+	2	1	4	-2					
71	-	-	-	-	0	-	0	0	2	5	-3					
72	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					
73	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					
74	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					
75	-	-	-	0	-	-	-	0	1	6	-6					
76	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					
77	-	-	-	0	-	-	-	0	1	6	-6					
78	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					
79	-	-	-	0	-	-	-	0	1	6	-6					
1980	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					
81	-	+	-	-	-	-	-	1	0	6	-5					
82	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					
83	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					

TABLEAU 2 - COMPARAISON ENTRE LA MOYENNE MOBILE ET
LA MOYENNE INTERANNUELLE POUR LES
DIFFERENTES STATIONS CLIMATOLOGIQUES

(+ excédentaire - déficitaire 0 normale)

On observe :

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

1.3. - EVOLUTION DES FRACTIONS PLUVIOMETRIQUES.

Si l'étude des pluviométries annuelles met bien en évidence la tendance générale de l'évolution climatique récente, il est nécessaire de rechercher des paramètres supplémentaires dont les variations permettraient de mieux caractériser le phénomène.

La méthode des moyennes mobiles pondérées a été appliquée aux fractions pluviométriques annuelles définies par CARBONNEL (1983) à savoir

- 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.

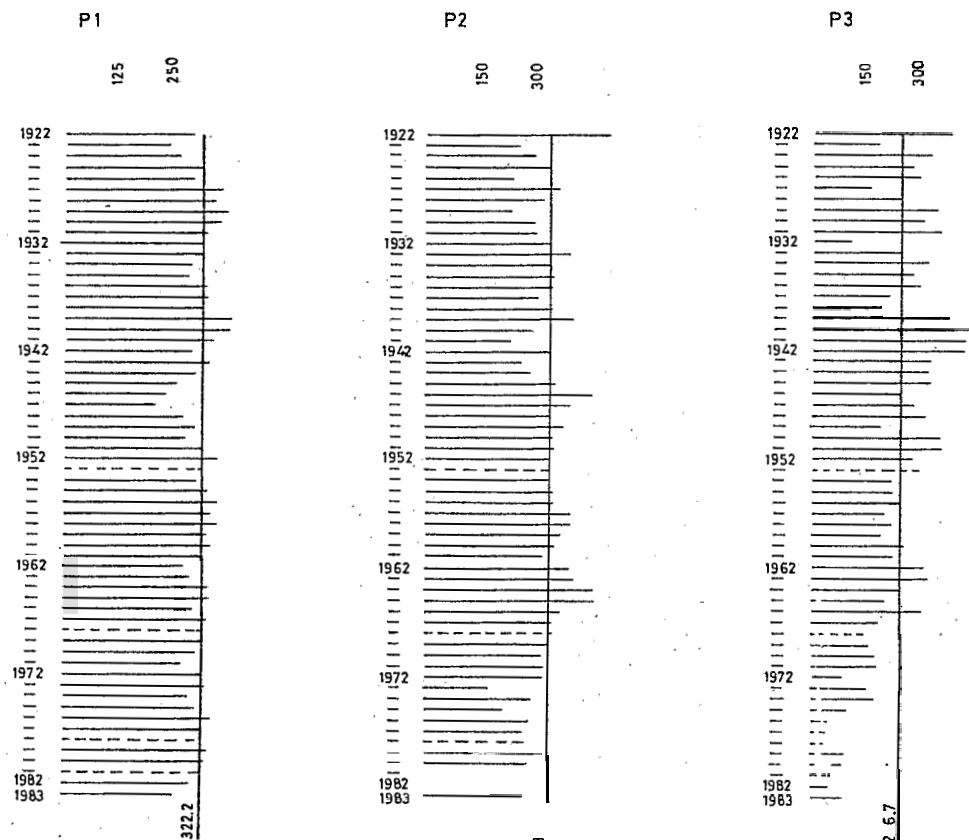
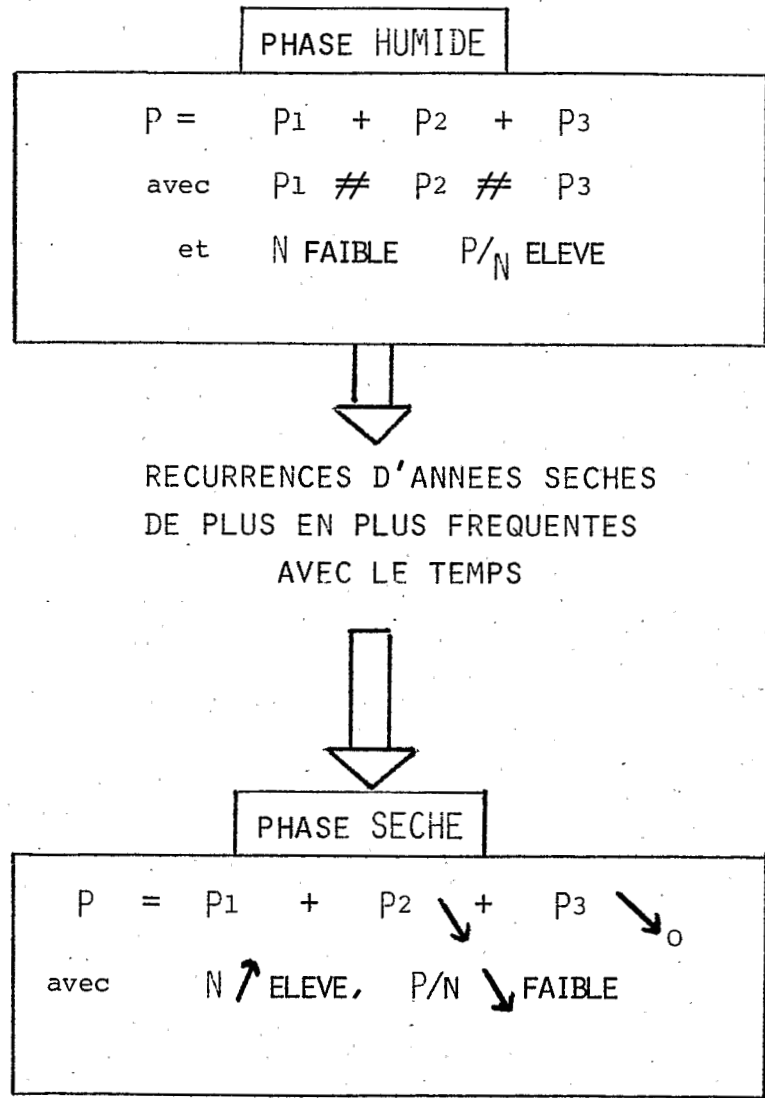


FIGURE 4 - MOYENNES MOBILES PONDEREES DES FRACTIONS PLUVIOMETRIQUES A LA STATION DE DEDOUGOU

A titre d'exemple, la figure 4 montre pour la station de DEDOUGOU la régularité des moyennes mobiles de la fraction P1, la décroissance continue pour les deux autres, surtout pour P3 qui à elle seule explique 55 % de la variation de la pluviométrie annuelle. Pour les autres stations étudiées, les coefficients de détermination de la corrélation $P = f(P3)$ sont proches de 50 %.

Le modèle des variations des principaux paramètres pluviométriques lors du passage d'une phase humide à une phase sèche est donné ci-après.



avec P : pluviométrie annuelle ; P1, P2, P3 : fractions pluviométriques ; N : nombre de jours de pluies.

II. - INCIDENCES SUR LES RESSOURCES EN EAU.

2.1. - HYDRAULICITE DES MOYENS ET GRANDS BASSINS VERSANTS.

Parallèlement à la pluviométrie annuelle, les modules des cours d'eau pour lesquels les séries d'observations hydrométriques d'assez longue durée sont disponibles (MONIOD et al., 1977), ont été analysés.

L'ajustement des modules de la VOLTA NOIRE et de la LERABA à une loi log-normale permet de remarquer (fig. 5) que les plus basses fréquences s'éloignent significativement de la droite d'ajustement en s'incurvant vers les plus bas modules et que, la quasi-totalité des dix plus basses fréquences appartient à la période 1971-72 à 1983-1984.

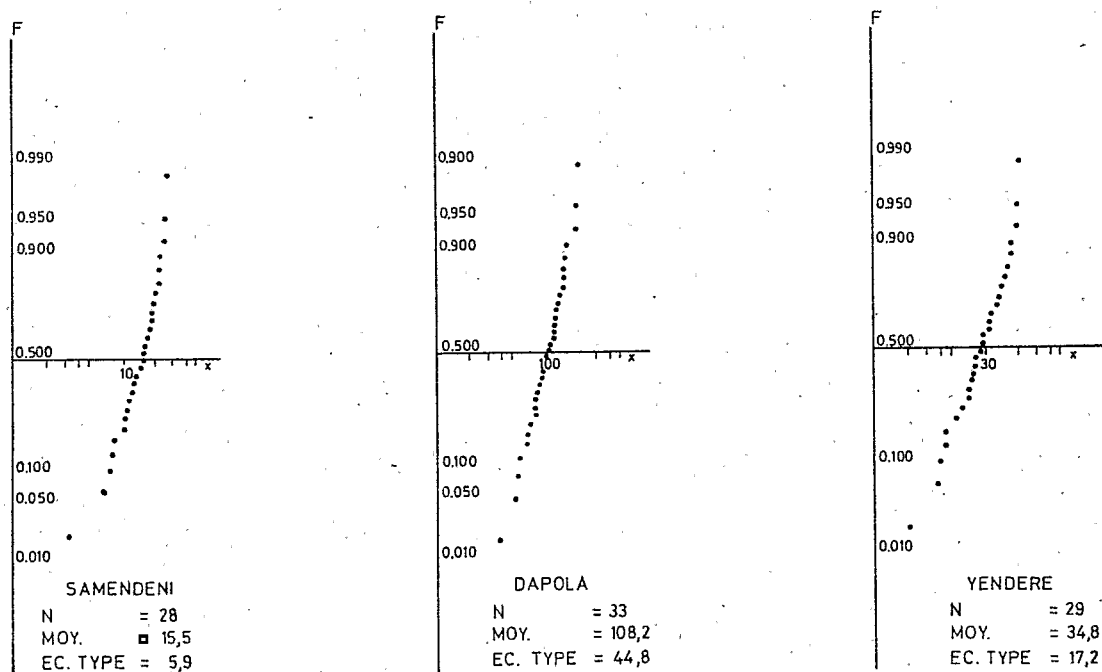


FIGURE 5 - AJUSTEMENT A UNE LOI LOG-NORMALE DES MODULES INTERANNUELS DE TROIS STATIONS HYDROMETRIQUES.

Par ailleurs, l'année 1983-1984 affiche à toutes les stations observées sur ces deux cours d'eau, le minimum minimorum de la série et des récurrences exceptionnellement sèches.

La concentration des années à faible hydraulicité dans la période 1971 à 1984 nous a conduit à appliquer de nouveau la méthode des moyennes mobiles pondérées pour dégager les tendances.

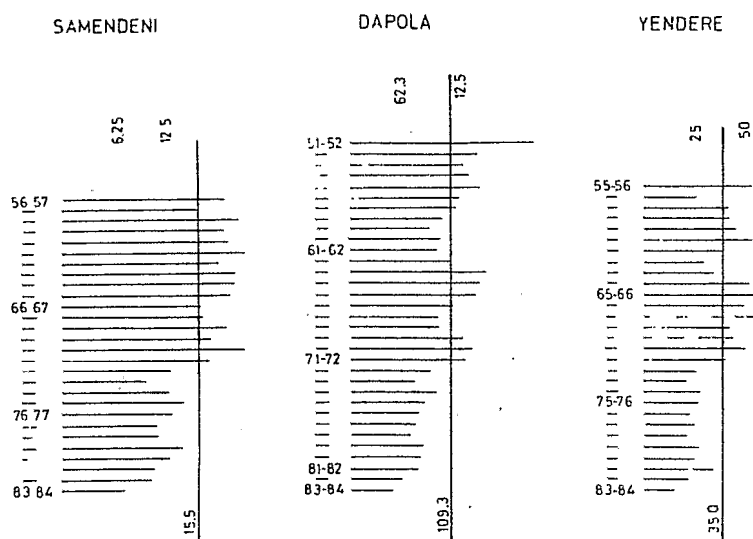


FIGURE 6 - MOYENNES MOBILES PONDEREES DES MODULES ANNUELS.

La figure 6 permet de distinguer deux périodes, l'une antérieure à 1971, globalement excédentaire, l'autre, systématiquement déficitaire depuis cette date.

Un décalage existe entre la "sècheresse pluviométrique" et l'affaiblissement de l'hydraulicité annuelle.

L'analyse des débits moyens mensuels montre des étiages plus rapides pendant la période déficitaire (tableau 3).

Années	YENDERE		Années	DAPOLA	
	Module SEPTEMBRE	Module FEVRIER		Module SEPTEMBRE	Module FEVRIER
1955-56	171	4,2	1958-59	308	34,80
1968-69	128	2,4	1966-67	297	9,84
1979-80	230	0,9	1979-80	384	6,50
1981-82	198	0,6	1980-81	435	3,05

TABLEAU 3 - DECROISSANCE DU MODULE MOYEN MENSUEL.

Ces faibles débits s'expliquent par une baisse des nappes phréatiques qui soutiennent moins la décrue. Dans ce contexte, il est à prévoir que, même si la pluviométrie devenait plus favorable, il y aurait un décalage dans le temps avant le retour de modules normaux.

2.2. - RETENUES.

Le remplissage des retenues n'est pas nécessairement représentatif de la pluviométrie de l'année, car une ou deux pluies importantes suffisent à les remplir en raison de la taille réduite de leur bassin versant. Cependant, il est intéressant de voir à titre d'exemple, comment ces réserves d'eau, vitales pour le pays, se sont comportées dans le contexte des années sèches.

En 1983, les taux de remplissage ont été très médiocres dans le nord du pays, tandis que des côtes presque maximales ont été atteintes pour les barrages du centre. En 1984, la pluie exceptionnelle du 29 septembre dans le nord, a contribué à une bonne alimentation des mares sahéennes, tandis qu'au centre la médiocrité de la pluviométrie pendant toute la saison n'a pas permis le remplissage des principaux barrages.

III. - INCIDENCES SUR LES PRODUCTIONS VEGETALES.

3.1. - LA PRODUCTION CERÉALIÈRE.

Malgré la forte variabilité, l'évolution de la production céréalière au Burkina Faso (figure 7), fait apparaître une progression lente de la production.

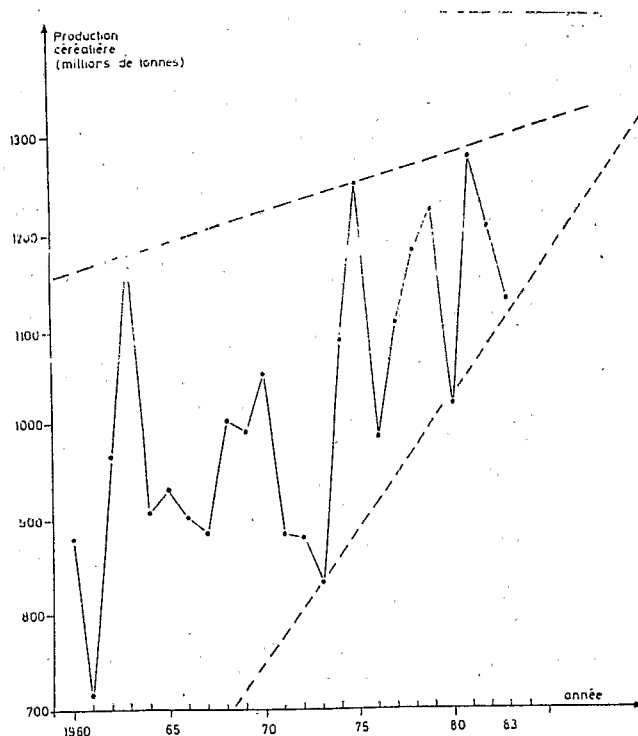


FIGURE 7 - EVOLUTION DE LA PRODUCTION CERÉALIÈRE AU BURKINA FASO (1960-1983).

L'ajustement de cette progression à une loi statistique est impossible en raison de la très forte variabilité des valeurs due notamment à la nature même des données dont l'estimation comporte une marge d'erreur appréciable, et à la relative dépendance de la production aux aléas climatiques. Ainsi, la comparaison des variations de la production (figure 7) aux caractéristiques climatiques (tableau 2), permet de localiser la majorité des années de déficit céréalier dans les années sèches (1971-73, 76, 80, 83).

Cependant la coïncidence d'années de déficit céréalier (1964 - 65 - 66) avec des périodes pluviométriques favorables, montre que toute la variation de la production n'est pas imputable au seul facteur pluviométrique. Pour le Burkina, LECAILLON et MORRISSON (1984), montrent que les variations du volume total des productions des cultures, sont liées aux variations annuelles de la pluviométrie, par une relation linéaire dans laquelle la pluviométrie expliquerait près de la moitié des variations d'ensemble. Pour les cultures (mil, sorgho) ces auteurs soulignent que les variations de la pluviométrie expliquent près de 60 % de la variance des rendements.

3.2. - LA PRODUCTION COTONNIERE.

L'évolution de la production annuelle du coton en fonction du temps (figure 8), montre une progression spectaculaire de la production. Celle-ci est davantage due au progrès des rendements (x 6 en 20 ans), qu'à l'extension des surfaces cultivées (x 1,2).

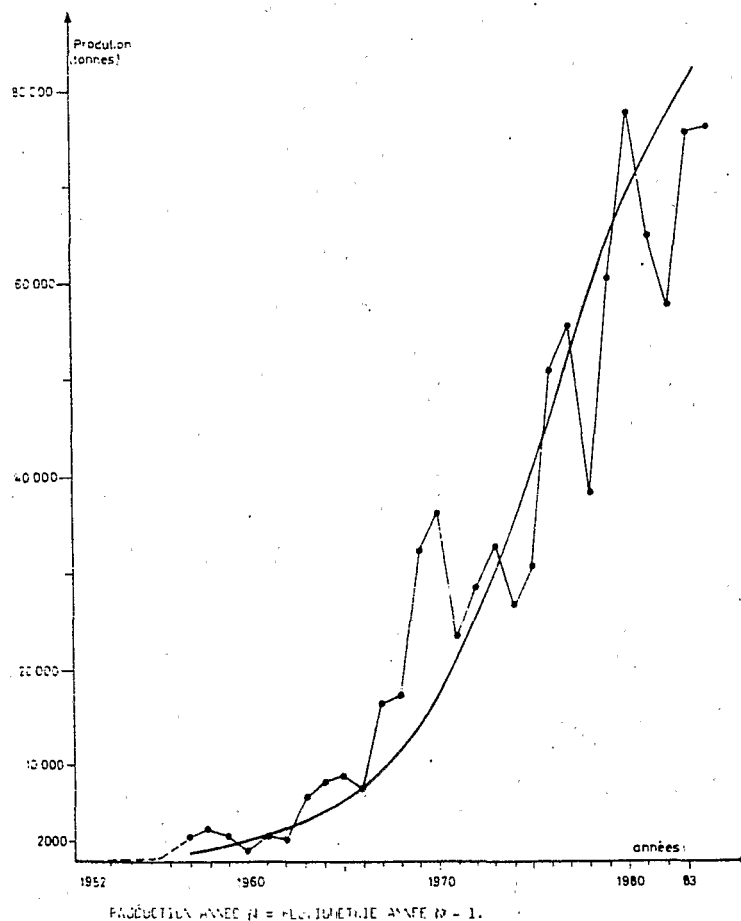


FIGURE 8 - EVOLUTION DE LA PRODUCTION COTONNIERE AU BURKINA FASO (1957-1983), ET AJUSTEMENT A UNE COURBE LOGISTIQUE.

La production annuelle et les rendements de coton ne peuvent être corrélés à la pluie annuelle, aussi bien à l'échelle nationale que régionale (ALBERGEL et al., 1984 ; LECAILLON et MORRISSON loc. cit.). Par contre, les variations de la production annuelle peuvent être ajustées à une courbe logistique de la forme :

$$Y = \frac{K}{1 + me^{-at}}$$

Selon notre hypothèse, cette courbe représenterait l'effet des seuls paramètres maîtrisables (engrais, attelage, insecticides...), tandis que les écarts reflèteraient l'influence du facteur pluie.

Les fluctuations de la production observée autour de la courbe de progression théorique peuvent être importantes. Les écarts sont plutôt positifs ou faiblement négatifs pendant la période de pluviométrie fortement excédentaire (1954-1969) ; ils sont plutôt négatifs ou faiblement positifs depuis 1969, période de sécheresse mise en évidence précédemment.

3.3. - LA PRODUCTION DES PATURAGES SAHELIENS DU BASSIN VERSANT DE LA MARE D'OURSI.

A défaut de statistiques sur la production des pâturages, les données relatives aux herbages du bassin versant de la Mare d'Oursi (nord du Burkina Faso) ont été retenues (GROUZIS 1979, GROUZIS et SICOT 1980, GROUZIS et SICOT 1983, GROUZIS 1984).

Les mesures effectuées depuis 1976 sur la pluviométrie, le ruissellement (CLAUDE et al., 1976-1981) et la biomasse de la strate herbacée du bassin versant (GROUZIS et al. loc. cit.) ont permis de formuler pour le bassin versant de la Mare d'Oursi, la biomasse herbacée en fonction des précipitations moyennes du bassin par la relation linéaire :

$$Y_{\text{gms.m}^{-2}} = 0,22 P_m + 13,5$$

(SICOT et GROUZIS 1981).

L'application de cette relation à la pluviométrie moyenne du bassin donne (tableau 4) les variations interannuelles de la production de la strate herbacée et de la charge en bétail en considérant les normes couramment utilisées en matière de pastoralisme : (UBT = 250 kg ; besoin d'entretien : 6,25 kg de matière sèche. j^{-1} ; taux d'utilisation du fourrage sur pied : 40 %, BOUDET 1975).

ANNEE	Pluviométrie DJALAFANKA (mm)	Phytomasse $g_{MS} \cdot m^{-2}$	U.B.T. 60 000 ha
1976	455,6	107,9	11 353
1977	480,5	104,9	11 037
1978	379,7	90,8	9 554
1979	372,3	82,0	8 628
1980	372,3	80,3	8 449
1981	379,4	96,9*	10 194*
1982	382	97,5*	10 257*
1983	204,2	58,4*	6 144*
1984	252	68,9*	≈ 7 250

TABLEAU 4 - VARIATIONS INTERANNUELLES DE LA PRODUCTION HERBACEE
DU BASSIN VERSANT DE LA MARE D'OURS ET DE LA CHARGE
EN BETAIL.

* Phytomasse estimée à l'aide de la pluviosité de la station météorologique de DJALAFANKA et charge en bétail correspondante.

Né disposant pas encore de coefficient d'abattement permettant d'obtenir la pluie moyenne à partir de la pluie de la station météorologique de Djalafanka, les biomasses sont estimées à compter de l'année 1981 à l'aide de ce dernier paramètre.

L'analyse des valeurs portées dans le tableau 4 permet de noter la forte variabilité de la production annuelle puisque celle-ci varie pratiquement du simple au double en fonction des années.

Les années 1983 et 1984 fortement déficitaires sur le plan pluviométriques ont enregistré les productions les plus faibles.

La comparaison de l'année 1983, année exceptionnellement sèche à la production fréquentielle permet de situer la production des herbages de cette année à des valeurs inférieures à la centennale défavorable ($P = 60,6 g_{MS} \cdot m^{-2}$; UBT : 6375).

Soulignons enfin que si l'on se réfère à l'effectif du cheptel présent au niveau de la Mare d'Oursi estimé par LHOSTE (1977), il y aurait en 1983 une surcharge d'au moins 9000 UBT.

Ces résultats montrant l'influence des aléas climatiques sur la production des pâturages sont compréhensibles puisque les formations herbues sahéliennes sont essentiellement constituées de thérophytes, c'est-à-dire de plantes annuelles dont le cycle végétatif est étroitement lié au cycle pluviométrique.

CONCLUSION

L'analyse de la pluviométrie annuelle et des fractions pluviométriques permet de définir pour le Burkina Faso une période de sécheresse persistante depuis 1968. Cette phase sèche se caractérise par une forte diminution des pluies journalières supérieures à 40 mm.

Les conséquences de cette évolution sur les ressources en eau sont importantes. La persistance de la faiblesse de l'hydraulicité annuelle accompagne celle de la pluviosité et semble beaucoup plus accentuée.

Sur le plan des productions végétales, les résultats montrent que la très grande majorité des périodes de déficit céréalier coïncide avec des années à pluviométrie défavorable. La pluviométrie expliquerait près de la moitié des variations d'ensemble du volume de la production. Pour le coton, les fluctuations de la production observée autour de la courbe de progression théorique correspondent avec les différentes périodes climatiques définies. Bien que basées sur des données plus ponctuelles, les résultats recueillis au niveau du bassin versant d'Oursi sur les herbages, montrent que la production est fortement influencée par les déficits pluviométriques et qu'elle a atteint en 1983 un niveau inférieur à la centennale défavorable.

La dégradation des conditions climatiques et la persistance de la sécheresse depuis 1968, contribuent donc à expliquer les performances médiocres des productions agricoles burkinabé. Evitons toutefois d'incriminer les facteurs climatiques comme seuls responsables de cette situation, en raison de l'interdépendance des facteurs déterminant une production agricole, d'autant plus que ces facteurs sont non seulement d'ordre physiques tels que : répartition des pluies, nature du sol, mais encore liés aux stratégies individuelles des paysans définies par des contraintes socio-économiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., GROUZIS M., 1984. - Pluies, eaux de surface et productions végétales en Haute-Volta (1920-1983). ORSTOM-DGRST, Ouagadougou, rapp. multigr., 64 p., tab. et fig. h.t.
- BOUDET G., 1975. - Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. IEMVT, Ministère de la Coopération, 254 p.
- CARBONNEL J.P., 1983. - Evolution climatique récente en Haute-Volta. I. - Un paramètre pluviométrique peu utilisé : la pluie moyenne journalière annuelle. Notes et doc. voltaïques, XV, n° 3-4, 1983.
- CLAUDE J., BERNARD A., BARDIN E., LOINTIER M., SAADOUN N., 1976 à 1981. - Etude hydrologique des sept bassins versants alimentant la Mare d'Oursi. A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta). ORSTOM, rapport multigr.
- GROUZIS M., 1979. - Structure, composition floristique et dynamique de la production de matière sèche de formations végétales sahéliennes. (Mare d'Oursi, Haute-Volta). A.C.C. Lutte contre l'aridité en Oudalan, DGRST-ORSTOM, rapp. multigr., Ouagadougou, 56 p.
- GROUZIS M., SICOT M., 1980. - A method for the phenological study of browse populations in the sahel : the influence of some ecological factors, in "Browse in Africa, the Current state of knowledge". Symposium International sur les fourrages ligneux en Afrique, Addis-Abeba, 8-12 avril 1980, LE HOUEROU Ed., p. 233-240.
- GROUZIS M., SICOT M., 1983. - Production fréquentielle du bassin versant de la Mare d'Oursi - Application à l'estimation des potentialités pastorales in "Méthodes d'inventaire et de surveillance continue des écosystèmes - pastoraux sahéliens - application au développement". Atelier FAO-ISRA, Dakar, 11 p.
- GROUZIS M., 1984. - Pâturages sahéliens du Nord du Burkina Faso. Capacité de charge, production fréquentielle et dynamique de la qualité fourragère. ORD Sahel. FED, ORSTOM, Ouagadougou, rapport multigr., 25 p.
- GUINKU S., 1984. - Végétation de la Haute-Volta. Thèse Doctorat es Sciences, Université de Bordeaux III, tome 1 et 2, 394 p.

LECAILLON J., MURRISSON Ch., 1984. - Politiques macroéconomiques et performances agricoles. Le cas de la Haute-Volta. UCDE, Centre de Développement, Paris, 146 p.

LHUSTE P., 1977. - Etude zootechnique. Inventaire du cheptel. A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta). DGRST-IEMVT, rapp. multigr., 49 p.

MONIUD F., POUYAUD B., SECHET S., 1977. - Le bassin du fleuve Volta. Monographies hydrol. ORSTOM n° 5, 1 vol., 513 p.

OLIVRY J.C., 1983. - Le point en 1982 sur la sécheresse en Sénégal et aux Iles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). Cah. ORSTOM, sér. hydrol., XX, 1, 47-69.