

EVOLUTION DE L'HYDRAULICITE DU FLEUVE SENEGAL ET DES PRECIPITATIONS DANS SON COURS INFERIEUR DEPUIS LE MILIEU DU XIX^{ème} SIECLE

Observations hydropluviométriques et essai de valorisation quantitative de données historiques

**J.C. OLIVRY et M. CHASTANET
ORSTOM**

Parmi les séries chronologiques de paramètres climatiques les plus longues observées en Afrique de l'Ouest, celle des débits du Fleuve Sénégal à Bakel occupe une place de choix par l'intégration spatiale du régime des précipitations qu'elle suppose sur l'ensemble du bassin versant (218 000 km²). A la répétitivité de deux séquences sèches-humides s'ajoute pour la période actuelle une persistance de la sécheresse dont le caractère exceptionnel n'est plus à démontrer. Sans rentrer dans le détail d'une évolution bien connue depuis le début du XX^{ème} siècle, rappelons les épisodes déficitaires majeurs de 1913 et 1914, puis du début des années 1940 et le phénomène actuel qui par son amplitude et sa durée a eu les graves conséquences que l'on sait sur les régions soudano-sahéliennes et pose aux États et aux développeurs le problème d'un éventuel « changement global climatique » et leur adaptation à de nouvelles stratégies du développement socio-économique de ces pays.

L'aspect majeur de la sécheresse actuelle est particulièrement ressenti sur le Sénégal à Bakel. Pour un module interannuel de 715 m³s⁻¹ sur 82 ans (1903-1984), le module des années 1970 à 1984 tombe à 421 m³s⁻¹ et le phénomène n'a fait que s'accroître jusqu'à aujourd'hui (57 % de déficit pour un module de 314 m³s⁻¹ sur 5 ans et 70 % de déficit sur 1983 et 1984). L'évolution des maximums annuels de crue est comparable à celle des modules ($r=0,92$) avec un minimum minimum inférieur à 100 m³s⁻¹ en 1984 pour une crue moyenne de 4 500 m³s⁻¹ et un maximum en 1985 qui n'a pas dépassé 2 500 m³s⁻¹. Il est plus difficile de suivre l'évolution du régime des précipitations sur un seul poste d'observations, les tendances n'apparaissant pas toujours nettement, pour les 15 dernières années, le déficit a bien atteint 35 % aux stations de Matam, Podor et St-Louis, mais seulement 9 % à Bakel ; il y est cependant de 67 % en 1984, record absolu de la série observée qui remonte à 1920. (voir tableaux 1 et 2, et figure 1).

Année	Pmm								
1920	426	1935	461	1950	632	1965	751	1980	410
1921	233	1936	697	1951	497	1966	695	1981	533
1922	515	1937	439	1952	458	1967	870	1982	574
1923	514	1938	415	1953	427	1968	484	1983	400
1924	544	1939	333	1954	357	1969	575	1984	154
1925	495	1940	391	1955	514	1970	457		
1926	304	1941	410	1956	595	1971	541		
1927	532	1942	292	1957	484	1972	392		
1928	556	1943	317	1958	235	1973	396		
1929	452	1944	269	1959	689	1974	681		
1930	551	1945	458	1960	395	1975	667		
1931	447	1946	477	1961	366	1976	318		
1932	411	1947	431	1962	317	1977	384		
1933	536	1948	448	1963	528	1978	528		
1934	525	1949	473	1964	469	1979	409		

TABLEAU I : HAUTEURS ANNUELLES DE PRÉCIPITATIONS A BAKEL

Année hydro	Q1	Année hydro	Q1	Année hydro	Q1
1903-04	631	1931-32	739	1959-60	788
04-05	737	32-33	770	60-61	621
05-06	874	33-34	838	61-62	944
06-07	1233	34-35	700	62-61	969
07-08	521	35-36	1164	63-64	666
08-09	767	36-37	1234	64-65	970
09-10	902	37-38	644	65-66	1048
10-11	670	38-39	807	66-67	841
11-12	537	39-40	559	67-68	1037
12-13	564	40-41	430	68-69	397
13-14	270	41-42	417	69-70	764
14-15	444	42-43	437	70-71	542
15-16	592	43-44	666	71-72	598
16-17	691	44-45	330	72-73	263
17-18	647	45-46	945	73-74	361
18-19	1144	46-47	745	74-75	760
19-20	530	47-48	666	75-76	602

20-21	834	48-49	572	76-77	470
21-22	431	49-50	467	77-78	324
22-23	1219	50-51	1152	78-79	523
23-24	754	51-52	842	79-80	301
24-25	1247	52-53	718	80-81	402
25-26	841	53-54	631	81-82	423
26-27	521	54-55	1068	82-83	308
27-28	1075	55-56	1049	83-84	220
28-29	904	56-57	952	84-85	215
29-30	800	57-58	1029		
30-31	839	58-59	1037		

TABLEAU II
MODULES EN M³/s du SÉNÉGAL A BAKEL

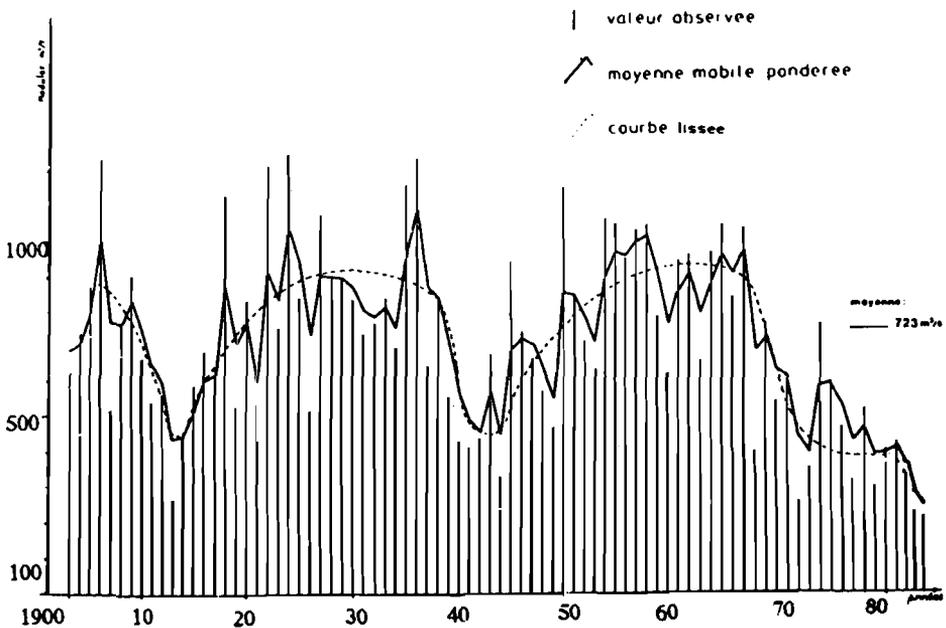
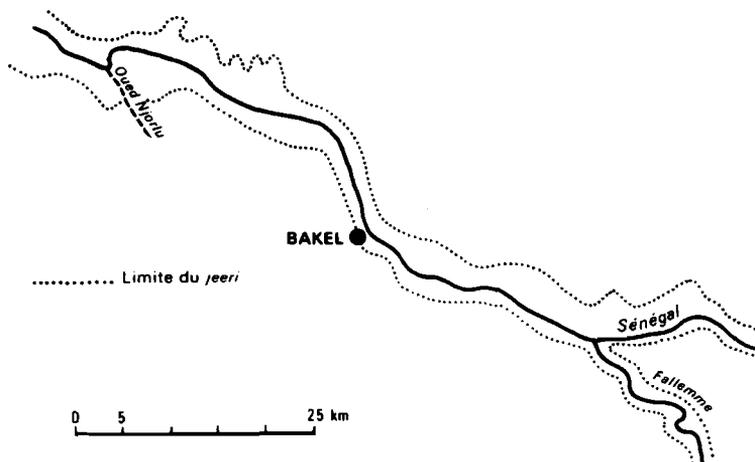


Fig. 1 - Modules observés du fleuve Sénégal à Bakel.

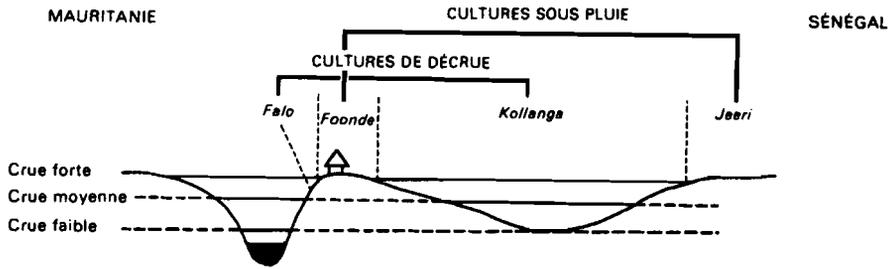
L'interprétation de phénomènes extrêmes aussi marqués, au niveau de leur récurrence ou dans le sens d'une tendance déterminée, supposerait que l'étude porte sur des séries d'observations quantitatives beaucoup plus longues que celles des échantillons dont on dispose. Les archives coloniales du cercle de Bakel contiennent des données qualitatives sur les pluies et la crue du fleuve. Leur analyse et leur corrélation avec les données chiffrées du XXème siècle permettent d'étendre l'information et d'appréhender l'évolution climatique jusqu'au milieu du XIXème siècle. L'histoire des crises de subsistance dans les villages soninke de la région de Bakel montre qu'il s'agit de processus complexes, résultant de l'interaction de facteurs socio-économiques et politiques ainsi que de contraintes écologiques multiples : sécheresse mais aussi inondation dévastatrice, invasions acridiennes, prédateurs et parasites, érosion des sols... Les régimes hydrologiques et pluviométriques constituent néanmoins deux paramètres climatiques importants pour l'analyse des variations de la production agricole.

La vallée du Sénégal et la région du Gooy en particulier, sur la rive gauche du haut fleuve, se caractérisent par l'association d'un double terroir. Les cultures de «jeeri» ou cultures pluviales sont liées à la hauteur et à la répartition des pluies pendant la saison humide, de juin à novembre. Celles de «waalo» dépendent de la crue du fleuve et son pratiquées en contre-saison, d'octobre à mars, après le retrait des eaux, leur importance variant selon la superficie inondée, la durée d'imbibition des terres et le rythme de la décrue. La carte et le schéma suivants situent le cadre de ces pratiques culturelles.

Carte et schéma



Terres de culture de «waalo»



Coupe schématique de la vallée

A travers les rapports administratifs du cercle de Bakel, on peut reconstituer le déroulement des années agricoles, l'état des récoltes et les conditions de production. Jusqu'en 1902 pour le régime fluvial et 1917 pour les précipitations, on ne dispose que d'évaluations qualitatives, à l'exception de six années pour lesquelles existent des relevés de hauteur de crue. On ne les a pas retenus comme tels, cependant, à cause de leur ponctualité ; ils donnent, néanmoins, un ordre de grandeur et permettent de traiter ces années comme points de référence privilégiés. Des lacunes ou des incohérences dans les sources se traduisent par une discontinuité des séries qualitatives. Pour certaines années, on a pu remédier à l'absence de données climatiques en déduisant une estimation des pluies ou de la crue à partir de l'état des récoltes d'hivernage ou de contre-saison. On a bien sûr tenu compte, dans ce cas, des facteurs écologiques ou socio-économiques qui avaient pu restreindre ou même annihiler les opportunités d'un bon hivernage. Précisons que cette méthode n'établit pas a priori de corrélation entre des paramètres climatiques, le niveau de la production agricole et le degré de couverture des besoins alimentaires, une récolte pouvant apparaître «bonne» sans être pour autant «suffisante».

Ces évaluations ont fait l'objet d'une représentation graphique après avoir été affectées d'un indice k variant de 1 à 5 et correspondant à des années «très déficitaires», «déficitaires», «moyennes», «excédentaires» et «très excédentaires» (voir fig. 2). Les années bien caractérisées dans les textes nous ont servi de repères et nous avons situé les autres par rapport aux premières, en nous fondant le plus possible sur les comparaisons établies par les sources elles-mêmes. Nous avons poursuivi cette démarche jusqu'en 1939 pour que la détermination à partir de données qualitatives chevauche la période d'observation réelle des débits et des précipitations. Cette période commune permet ainsi de faire la liaison entre les indices déterminés et les paramètres observés et de valider la méthode utilisée à des fins d'extension des séries climatiques.

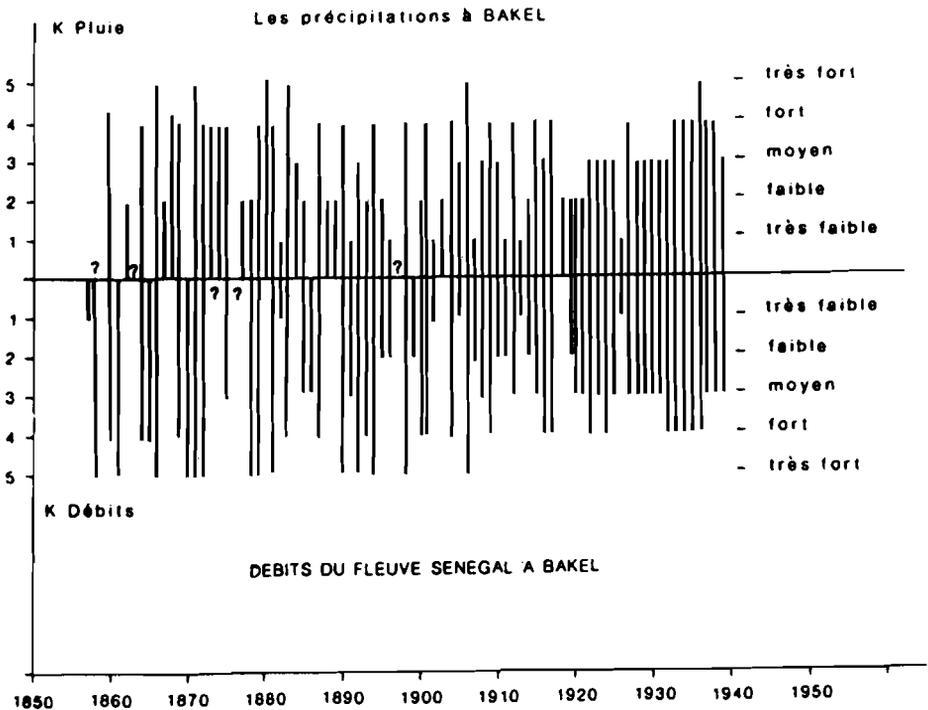


Fig. 2 - Interprétation climatique des crises de subsistance.

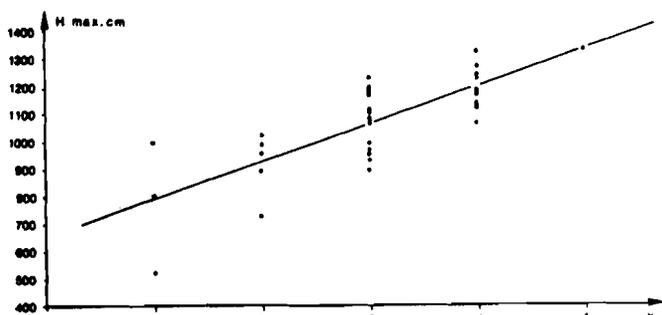


Fig. 3 - Relation entre l'estimation «historique» de l'évolution du climat et la hauteur maximale de la crue annuelle réellement observée.

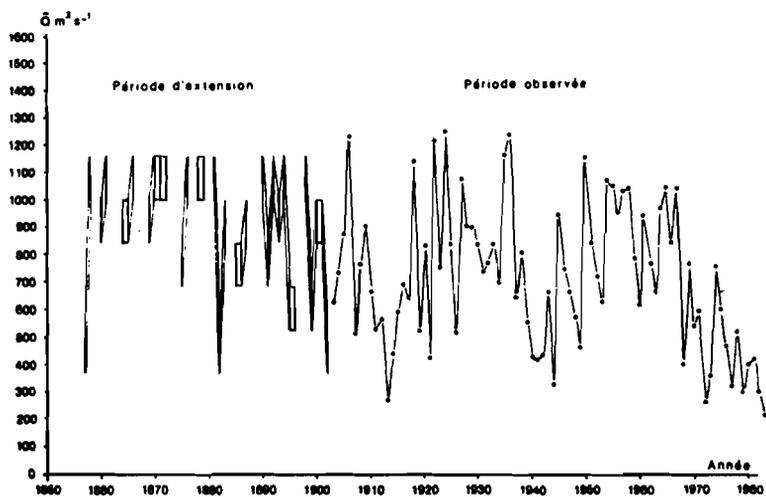


Fig. 4 - Évolution des modules du fleuve Sénégal à Bakel.

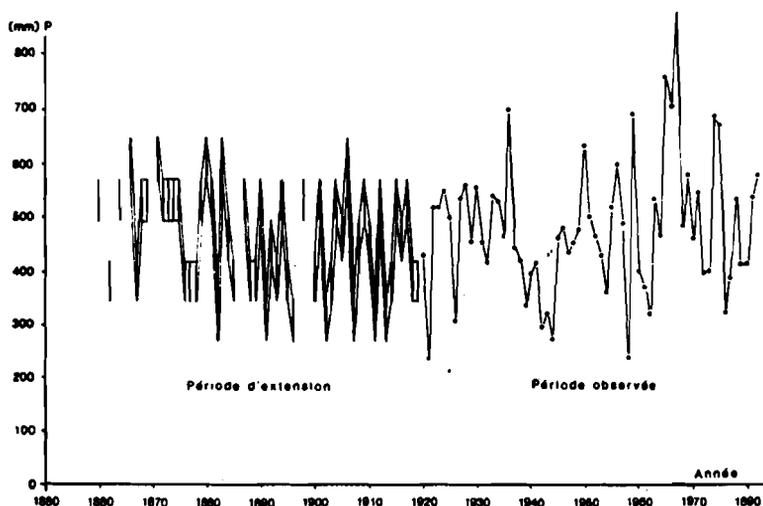


Fig. 5 - Évolution des hauteurs annuelles de précipitations à Bakel.

Pour ce qui est des débits, l'indice K (variable x) a été mis en régression successivement avec, pour variable y, le module (Qmoy), le débit maximum annuel (Qmax), la hauteur maximale annuelle (Hmax), le débit moyen d'août, de septembre (Qm8 et Qm9) et les hauteurs caractéristiques de crues (dépassées pendant 40, 50, 60 jours. Les coefficients de corrélation obtenus de la période commune de 1904 à 1939 (35 ans avec 1918 douteux) sont indiqués ci-après :

(K, Qmoy) : $r = 0,620$; (K, Hmax) : $r = 0,774$; (K, Qmax) : $r = 0,754$
 (K, Qm8) : $r = 0,649$; (K, Qm9) : $r = 0,641$; (K, H40j) : $r = 0,659$
 (K, H50j) : $r = 0,610$; (K, H60j) : $r = 0,513$

Les coefficients les plus représentatifs se rapportent aux relations obtenues avec Hmax, Qmas et H40j, hiérarchie qui traduit bien l'importance du niveau d'inondation et de sa durée dans la production vivrière du «waalo».

On a finalement retenu les variables Qmax, Hmax et également le module pour son intérêt hydrologique global ; les caractéristiques des relations sont données ci-après :

– Hauteurs maximales de crue (en cm, à l'échelle de Bakel)

$$y = 135 x + 652 ; x = 3,06 \quad s_x = 0,968 ; y = 1064 \quad s_y = 168 ;$$

Intervalle de confiance à 80 % : + ou – 152 pour K = 1, 143 pour K = 3, 151 pour K = 5.

– Débits maximums de crue (en $m^3 s^{-1}$)

$$y = 1400 x + 483 ; x = 3,05 \quad s_x = 0,955 ; y = 4755 \quad s_y = 1830 ;$$

Intervalle de confiance à 80 % : + ou – 1607 pour K = 1, 1538 pour K = 3, 1597 pour K = 5.

– Modules du fleuve Sénégal à Bakel ($m^3 s^{-1}$)

$$y = 158 x + 288 ; x = 3,06 \quad s_x = 0,97 ; y = 722 \quad s_y = 247 ;$$

Intervalle de confiance à 80 % : + ou – 300 pour K = 1, 273 pour K = 3, 276 pour K = 5.

La figure 3 illustre la relation de $H_{max} = f(K)$ et montre la dispersion à laquelle on doit s'attendre (faibles valeurs de r) lorsque la variable x est limitée à un petit nombre de classes.

Pour ce qui est des précipitations à Bakel, l'étude s'est faite à partir d'un échantillon relavorisé par rapport aux données publiées ; la méthode des doubles cumuls a en effet mis en évidence une anomalie entre 1936 et 1949 par rapport à la station de Matam dont l'échantillon a été validé par ailleurs. Après valorisation de la période incriminée, la hauteur interannuelle des précipitations calculée sur 65 ans (1920-1984) est de 470 mm et l'écart-type vaut 130 mm (normale 1951-1980 = 499 mm). La période commune, 1920-1939, permet d'établir une relation entre P (variable y) et K (variable x) indiquée ci-après :

– Hauteurs annuelles de précipitations à Bakel (mm)

$y = 76x + 226$; $r = 0,665$; $x = 3,2$ $s_x = 0,894$; $y = 469$ $s_y = 102$
 intervalle de confiance à 80 % : + ou – 119 pour $K = 1$, 104 pour
 $K = 3$, 114 pour $K = 5$.

L'étude de ces relations peut être résumée en donnant pour chaque classe d'indice K la valeur correspondante du « barycentre » de la variable considérée.

K	1	2	3	4	5
Hmax(cm)	787	922	1056	1191	1325
Qmoy(m ³ s ⁻¹)	446	605	763	921	1079
Qmax (m ³ s ⁻¹)	1797	3201	4604	6002	7411
Pann (mm)	302	378	454	530	606

La comparaison de l'échantillon reconstitué et de l'échantillon observé sur la période commune a permis le calcul des intervalles de confiance (par la variance des écarts) ; ces derniers montrent que la reconstitution obtenue ne peut être assimilée à une réelle extension de l'échantillon ; elle prend par contre toute sa signification dans l'approche globale du niveau et de la forme des fluctuations climatiques observées à Bakel durant la seconde moitié du XIX^{ème} siècle. Le nombre de classes K est nettement trop insuffisant pour permettre d'aboutir à une certaine précision dans la reconstitution des données. C'est sans doute ce qui explique un certain tassement de l'information et que les déterminations de K pour les pluies et les débits aboutissent à un coefficient de corrélation de 0,686, ce qui traduit une liaison certaine entre ces indices sur la période 1860-1939 alors que sur les valeurs observées de 1920 à 1984 (63 ans) on est en présence de 2 variables pratiquement indépendantes ($r = 0,370$).

L'extension de la série chronologique a été faite en portant pour chaque année les intervalles de variations correspondant aux différentes valeurs de K ; la période d'extension se raccorde naturellement à celle des observations. Les figures 4 et 5 illustrent l'évolution de ces séries rendant compte des fluctuations pluviométriques du poste de Bakel et hydrométriques du bassin supérieur du fleuve Sénégal.

Les variations du paramètre « pluies à Bakel » apparaissent comme essentiellement aléatoires ; seuls les phénomènes extrêmes, secs ou humides, sont nets et se rattachent à ce que l'on observe dans la région ; la période reconstituée semble montrer de 1860 à 1880 un niveau moyen de précipitations supérieur à la moyenne actuelle, puis une période moyenne se poursuivant jusqu'à la fin des années 1930. La période la plus récente montre des fluctuations plus grandes (maximum de la série en 1967 et minimum en 1984).

Les variations des débits (Q_{max} et modules) sont nettement plus significatives ; elles montrent globalement des conditions beaucoup plus humides entre 1857 et 1902 : la moyenne des débits maximums de crue pourrait se situer aux environs de $5\,500\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ et le module interannuel aurait pu être voisin de $900\text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Les périodes de fort déficit se situent en 1857, 1882, au milieu des années 1890 et en 1902. La période la plus humide se situe de 1860 à 1880. Une concordance assez nette apparaît avec les événements signalés pour cette période en Afrique soudano-sahélienne (Maley, Nicholson) et aux îles du Cap Vert (Olivry).

L'apport de la méthode utilisée ici pourrait être de montrer, grâce à une quantification relative des données, qu'à travers des fluctuations pseudo-cycliques, on assiste en fait, depuis la seconde moitié du XIX^{ème} siècle à une tendance persistante à la baisse des variables climatiques étudiées ici et à une diminution croissante de la ressource en eau dans les régions tropicales.

Références bibliographiques sommaires :

Chastanet, M., 1983, Les crises de subsistance dans les villages soninke du cercle de Bakel de 1858 à 1945, Cah. Et. Af 89-90XXIII : pp5/36. – Clarence-Smith, W.G. 1983, Climatic variations and natural disasters in Bulozoy, in African History Seminar Report, ICS London. – Maley, J., 1981, Études palynologiques dans le bassin du Tchad et paléoclimatologie, TD129 Orstom Paris. – Nicholson, S.E., Saharan climates in historic times, in The Sahara and the Nile, Rotterdam 1980 pp173-200. – Olivry, J.C. 1983, Évolution de la sécheresse en Sénégal et aux îles du Cap-Vert, cah. Orstom Hydr. vol XXI.