

IMPACT OF CLIMATIC CHANGES ON SURFACE WATER
RESOURCES IN WEST AND CENTRAL AFRICA

Jacques Sircoulon, Institut Français de Recherche Scientifique

Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération,
213 rue La Fayette, 75480 Paris, Cedex 10

ABSTRACT

Water surface resources in West Africa experience great interannual fluctuations due to the climatic variations occurring in this area. The assessment of the resource encounters numerous problems in relation to the difficult conditions of operating the networks, accessibility of measurements stations, and financial means.

Some comments are given in this paper on the historical growth of these networks.

The ORSTOM's commitment in the sahelian countries, sustained in this task by the Inter-African Committee for Hydrologic Studies, has made it possible to establish a basic understanding of hydrometeorological phenomena and useful syntheses. The major results, concerning the links between water resources and climatic conditions, are discussed in this paper. The drought of the last twenty years is the most severe of the century. The water yields to the sahelian zone has fallen 40 percent; the large rivers, such as the Senegal and Niger, are being dramatically affected by the rainfall deficit with very weak floods and severe low flows. On the other hand, the runoff distribution on the small sahelian watersheds seems to be unchanged, with the dry period being favorable to an increase of surface runoff conditions.

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

N° : 39709

Cote : B

13 JUIN 1994

Impact des changements climatiques sur les ressources
en eau de surface en Afrique de l'Ouest et Centrale.
- L'expérience de l'ORSTOM -

Dr. SIRCOULON Jacques, Institut Français de Recherche
Scientifique pour le développement en Coopération.
213 rue La Fayette 75480 PARIS Cedex 10.

ABSTRACT

Water surface resources in West Africa experience great interannual fluctuations due to the climatic variations occurring in this area. The assessment of the resource encounters numerous problems in relation with the difficult conditions of operating the networks, accessibility of measurements stations and financial means.

Some comments are given in this paper on the historical growth of these networks.

The ORSTOM's commitment in the sahelian countries, sustained in this task by the Inter-African Committee for Hydrologic studies has made possible to establish a basic understanding of hydrometeorological phenomena and useful syntheses. The major results, concerning the links between water resources and climatic conditions are shortly discussed by the author. The drought of the last twenty years is the most severe of the century. The water yields to the sahelian zone has fallen 40 per cent, the large rivers such as the Senegal and Niger rivers being dramatically affected by the rainfall deficit with very weak floods and severe low flows on the other hand, the runoff distribution on the small sahelian watersheds seems to be unchanged, the dry period being favorable to an increase of surface runoff conditions.

I. Introduction

La notion de précarité de la ressource en zone aride et semi-aride d'Afrique de l'Ouest n'est pas nouvelle. Les exploiters européens du siècle dernier qui parviennent au lac Tchad ou au fleuve Niger sont frappés par la variabilité des écoulements ; Barth en 1855, Rohlfes en 1886 parlent de villages inondés par la montée du lac Tchad. D'autres beaucoup plus tard évoquent au contraire les villages abandonnés car placés trop loin du rivage qui a reculé. Beaucoup sont impressionnés par l'existence des réseaux hydrographiques fossiles, vestiges d'une période plus humide, il y a plusieurs milliers d'années. Les militaires qui recherchent

des voies de pénétration sont étonnés par les aléas de la navigation sur les fleuves ou les lacs. Le capitaine FOURNEAU (1906) après sa remontée du fleuve Niger en 1903-1904 écrit : "Le niveau du fleuve baisse de plus en plus, certaines îles recouvertes à certaines époques entièrement par les eaux, il y a moins de 40 ans n'ont plus à redouter des inondations aujourd'hui...". Le commandant LENFANT (1905) parle du retrait progressif du lac Tchad et dans les documents scientifiques de la mission TILHO (1910) on peut lire page 104 ce titre accrocheur : "Le (lac) Tchad n'est-il pas en voie de disparition ?" HUBERT (1920), CHUDEAU (1921) parlent quant à eux du dessèchement progressif en Afrique occidentale.. nous clorons ici une liste de citations qui pourrait être longue.

En fait ces remarques pessimistes doivent être remises dans leur contexte car ces observateurs ont souvent une appréciation subjective des phénomènes hydroclimatiques par manque de points de repères sérieux et de données chiffrées. Bien plus la période de hautes eaux des années 1890-95 est à l'époque considérée comme une situation habituelle alors qu'elle correspond certainement à une période très humide. Seules les données fournies par les stations pluviométriques ou hydrométriques peuvent fournir les éléments d'appréciation sur la variabilité annuelle et interannuelle de la ressource. cette information ne sera acquise que de façon progressive, avec beaucoup de difficultés liées à l'hétérogénéité spatio-temporelle des pluies et de l'écoulement et aux conditions délicates et onéreuses de la mesure. A l'heure actuelle ces données restent encore insuffisantes... Dans ce qui suit nous privilégierons les travaux entrepris par l'ORSTOM, travaux qui n'auraient pu être menés à bien sans l'appui des services locaux ou d'organisations comme le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH)

2. Information pluviométrique disponible.

Comme pour les autres parties du monde, il est classique de constater que les observations pluviométriques précèdent toujours très largement les observations sur les cours d'eau. L'implantation des postes en zone sahélienne commence par la côte du Sénégal ; Saint-Louis est équipé dès 1851, Dakar-Gorée en 1855, d'autres postes suivront (SIRCOULON, 1976) mais les mesures ne seront faites que de façon épisodique jusqu'à la fin du siècle sauf à Saint-Louis (Présentant la plus longue série d'Afrique de l'Ouest cette station est souvent citée bien que peu représentative car soumise aux influences côtières). Avec la fin du siècle apparaît une nouvelle série d'implantations : Kayes et Tombouctou en 1896, Ouagadougou mission en 1902, Niamey ville et Zinder en 1905 etc...

Ces stations sont connues de tous les climatologues, car leurs résultats sont très souvent exploités.

Les étapes importantes des réseaux pluviométriques sahéliens seront :

- les années 1921-22 qui voient la création d'un service météorologique fédéral pour l'Afrique Occidentale et le

lancement véritable des réseaux de base.

- les années 1958-1960 qui voient la dissolution des services fédéraux et la création de l'ASECNA à Dakar.

En définitive, si la plupart des stations synoptiques ont maintenant une soixantaine d'années d'existence, il n'existe qu'une vingtaine de stations pour tout le Sahel pour apprécier la pluviométrie du début du siècle et en particulier la sécheresse des années "13", considérée jusqu'au début des années 80 comme l'épisode le plus déficitaire du siècle.

3. Acquisition des données hydrologiques

Sur les grands fleuves tropicaux parvenant au Sahel, il existe quelques stations installées au début du siècle pour les besoins de la navigation telles celle du Sénégal à Bakel au début de la basse vallée, avec des relevés utilisables dès 1903 et celle du Niger à Koulikoro, point ultime de la navigation vers l'amont, avec des relevés utilisables à partir de 1907.

Ces stations sont aussi bien connues des hydrologues : bonne qualité des mesures, longues séries de relevés donnant les variations des débits sur plus de 80 ans.

Il n'existe toutefois pas de réseaux structurés en zone sahélienne avant le début des années 50.

L'insertion de l'ORSTOM dans les structures hydrologiques de l'Afrique de l'Ouest, à cette époque, allait prendre des formes variées allant de la mise à disposition d'hydrologues (missions d'aménagement des grands fleuves), à la gestion directe de réseaux (comme celui du Tchad).

les missions dévolues étaient :

- la mise au point de méthodes d'observation et de mesures,
- l'organisation de la gestion des stations permanentes,
- la détermination des éléments des régimes hydrologiques, l'assistance devant intervenir dans les nombreux domaines concernés par les ressources en eau.

L'acquisition de la connaissance sur les ressources en eau allait se faire par trois sortes d'opérations :

- les études extensives, en particulier dans les grands massifs désertiques et subdésertiques (tels l'ENNEDI, l'AIR, le Tibesti) principalement entre 1957 à 1964,
- les bassins représentatifs, soit environ 45 bassins en zone sahélienne, la grande période de mesures étant celle des années 60, avec deux ensembles importants celui du lac de BAM (1966-74) et celui de la Mare d'OURSI (1976-81)
- les réseaux sahéliens eux-mêmes, mais qui existent seulement en dessous de l'isohyète 400 mm. Les premières stations seront ouvertes en 1953-54 au Tchad puis au Niger.

La gestion de ces stations assurée depuis longtemps par les Services hydrologiques nationaux s'avère très délicate et onéreuse et il n'existe que 20 à 25 stations de durées d'observation inégales pour toute la zone sahélienne francophone, suivies avec des fortunes diverses en Mauritanie et au Tchad notamment.

4. Principales études entreprises et résultats obtenus.

4.1. Domaine pluviométrique

La variable pluviométrique est une composante majeure du cycle hydrologique ; utilisée pour caractériser les divers climats de la zone sahélienne, ses variations significatives seront le signe d'un changement climatique et auront des répercussions sérieuses sur l'abondance des cours d'eau.

Une évaluation de changements climatiques éventuels à partir des précipitations suppose bien évidemment que l'on dispose de notions de base solides sur celles-ci. De nombreuses études ont été entreprises par l'ORSTOM (SIRCOULON, 1987) au cours de ces trente dernières années suivant trois lignes de force :

- l'inventaire des données disponibles et leur mise en forme (pour l'évaluation de la ressource pluie).
- la répartition spatio-temporelle des pluies (pour son action sur l'écoulement et la formation des crues notamment)
- la caractérisation des régimes pluviométriques, du climat et de son évolution
- les ouvrages de synthèse les plus importants ont été suscités par le CIEH. Ils portent sur la publication de fichiers pluviométriques, les études méthodologiques sur le traitement des données et les études sur les averses exceptionnelles.

La répartition temporelle des pluies a été l'occasion d'améliorer progressivement l'outil statistique (emploi des lois usuelles et tests d'adéquation).

La structure des précipitations a été étudiée en priorité pour l'action des averses sur le ruissellement, la forme et l'importance des crues et l'hydrologie analytique n'a pu se développer que par les progrès apportés dans l'étude de la pluviographie.

La répartition spatiale des pluies a été abordée très tôt (abattement) et reprise pour les études de ruissellement urbain.

En ce qui concerne les régimes pluviométriques, ainsi que le climat et son évolution, la caractérisation des régimes et des conditions climatiques a été entreprise de façon quasi systématique dans les rapports d'études sur les bassins versants et les études régionales (monographie des grands bassins). La sévère sécheresse affectant le Sahel depuis près de 20 ans a suscité de nombreux travaux de la part de l'ORSTOM, on peut distinguer :

- Les études effectuées à l'échelle mensuelle et surtout annuelle sur les séries pluviométriques des stations de longue durée. Il existe de nombreuses publications et communications à congrès sur ce thème et fournissant un suivi descriptif de la sécheresse actuelle et des autres sécheresses historiques. Le déficit global annuel caractérise l'importance de cette sécheresse (Roche, Rodier, Sircoulon, Olivry, Chouret).
- Les études portant sur la distribution annuelle des hauteurs de pluie journalière. Il s'agit essentiellement des études menées par ALBERGEL au Burkina-Faso qui montrent

qu'au cours de la sécheresse actuelle, les pluies supérieures à 40 mm sont plus rares mais que les pluies journalières extrêmes semblent elles indépendantes à la fois de la pluviosité annuelle et du type de pluie. Ceci mériterait d'être confirmé par des recherches portant sur l'ensemble de la zone sahélienne.

- Les études portant sur la distribution des fortes pluies au cours de la saison pluvieuse au Sahel (BADER, SIRCOULON 1984). Sur un échantillon de stations de longue durée allant de la Mauritanie au Tchad et comprise entre 300 et 900 mm de hauteur annuelle il n'a pas été trouvé d'évolution significative sur la période avant ou depuis la sécheresse actuelle pour ce qui concerne : la précocité ou le retard des fortes pluies, la concentration des averses au cours de la saison pluvieuse, l'intervalle de temps entre fortes pluies etc... Ce secteur devrait être développé en apportant une attention particulière aux pluies du mois d'août.
- Les études portant sur les relations entre abondance des pluies et forme des averses (forme des hyétogrammes, relations intensités-durées, position de la tranche à plus forte intensité au sein de l'averse).

Les travaux restent encore fragmentaires, limités par le peu de stations pluviographiques à longue durée dépouillées, la distinction entre les divers types de pluie devrait également être faite.

4.2. Domaine des eaux de surface.

On récapitulera rapidement les études faites sur l'évaluation de la ressource et ses caractéristiques avant de traiter son évolution en fonction du climat.

4.2.1. De nombreuses études allaient être progressivement réalisées au fur et à mesure de l'acquisition de base indispensable.

- les caractéristiques générales des régimes arides et subaride (abondance annuelle, variations saisonnières, crues, coefficients d'écoulement, irrégularité interannuelle) étaient formulée dès 1964 dans un ouvrage fondamental de RODIER consacré d'ailleurs à l'ensemble de l'Afrique Noire à l'ouest du Congo.
- l'estimation des crues décennales sur petits bassins était l'un des premiers objectifs assigné aux hydrologues. La note de RODIER, AUVRAY (1965) représente une contribution fondamentale en fournissant une méthode de calcul des crues. Cette note établie à partir des données de 60 bassins représentatifs allait être très longtemps l'ouvrage de référence des bureaux d'études. Elle allait pouvoir être considérablement améliorée grâce aux nouvelles observations acquises. Ainsi en 1972, DUBREUIL (et al.) présentent le recueil des données de bases des BRE 1951-69 qui synthétise les mesures faites sur 250 bassins de l'ORSTOM. une nouvelle méthode basée sur l'utilisation systématique du simulateur de pluie par CASENAVE en 1981 et testée sur des bassins forestiers allait être étendue aux pays sahéliens. Les éléments de calculs de 1965 étaient ainsi affinés (RODIER, 1984) et améliorés pour les bassins sahéliens de moins de 10 km² (RODIER, 1985). Une synthèse générale (RO-

DIER, RIBSTEIN) est en voie d'achèvement.

- Une synthèse sur l'évaluation de l'écoulement annuel dans le Sahel (volumes écoulés annuels) a été réalisé en 1975 (RODIER). La synthèse en cours précédemment citée apportera là aussi des améliorations.

- Nous citerons également les grandes synthèses régionales qui apportent pour les grands bassins tropicaux intégrant le Sahel des informations très précieuses sur les ressources et les facteurs conditionnels des régimes hydrologiques en particulier la monographie du Sénégal (ROCHETTE, 1974) en voie de réactualisation, la monographie du Niger qui a fait l'objet de trois parutions (en 1959 puis avec mise à jour en 1970 et 1986, enfin la monographie du lac Tchad (1957, puis 1969, actualisation en voie d'achèvement).

4.2.2. Les études faisant intervenir la notion d'impact du climat sur la ressource sont particulièrement nombreuses depuis le premier paroxysme en 1972-73 de la sécheresse actuelle.

Néanmoins dès la période 1950-1965 qui correspond au stade d'installation des réseaux et des bassins représentatifs ainsi que des premiers inventaires de la ressource et alors que l'on se trouve dans une période humide les hydrologues sont obligés de se poser des questions : signification des valeurs de crues exceptionnelles données pour les grands aménagements, variabilité de l'hydraulicité des grands cours d'eau etc...

Une note de RODIER (1960) au sujet de l'extension de la sécheresse 1958 dans les régions subéquatoriales évoque les sécheresses "soudanaises" de 1913 et 1941 à 45.

Dans son ouvrage sur les régimes hydrologiques (1965) le même auteur parle de la zonalité apparente des sécheresses en zone sahélienne, du regroupement des années sèches ou humides par paquets et fournit un aperçu de la succession des périodes sèches et humides en notant qu'à l'époque de rédaction de son ouvrage prédominant de fortes hydraulicités...

BOUCHARDEAU dans ses études sur le lac Tchad qui aboutiront à la rédaction de la première Monographie s'intéresse aux variations du lac Tchad telles qu'indiquées par les récits des voyageurs ou militaires qui ont atteint le lac (depuis sa découverte européenne par DENHAM en 1823). Il publie même une note intitulée "le Bahr el Ghazal s'est remis à couler". En 1967, BILLON fait un essai de reconstitution des niveaux du lac depuis 1870 en se basant sur la similitude du comportement des hydraulicités du Chari à Ndjamena et du Nil à Assouan.

L'actuelle période de sécheresse qui commence en 1968 va faire très vite l'objet d'études et de notes dès que le caractère de sévérité de celle-ci s'affirme.

Sur le lac Tchad lui-même, CHOURET et DURAND publient dès 1972 une note sur la crue exceptionnellement faible du Chari à Ndjamena et ses incidences sur le niveau du lac Tchad. Jusqu'en 1979, CHOURET et ses collègues effectueront un suivi minutieux des variations annuelles de remplissage puis d'assèchement du lac.

Sur les grands cours d'eau parvenant au Sahel et les cours

sahéliens les travaux sont nombreux pour alerter la communauté scientifique et l'opinion internationale sur la diminution annuelle de la ressource, l'affaiblissement des crues annuelles et la sévérité des étiages.

Une courte récapitulation chronologique s'impose :

ROCHE et RODIER (1973) font le premier point sur l'état de la sécheresse en Afrique tropicale, Les années 74 à 76 suite au premier paroxysme 72-73 voient la publication de nombreux travaux effectués pour le compte des organismes des Nations Unies et les organisations gouvernementales inquiètes de la diminution de la ressource, on citera en particulier les travaux de RODIER (1974,75) et SIRCOULON (1974, 76). Etant donné l'extension de la sécheresse vers les zones équatoriales, les publications ne se limitent donc pas au Sahel, citons OLIVRY (1974) sur les cours d'eau du Cameroun.

Le second paroxysme de sécheresse en 1983-84 va entraîner une réactualisation des études déjà réalisées et l'on parviendra très vite à la constatation que le phénomène déficitaire qui persiste depuis 1968 est le plus sévère jamais observé tant par sa persistance, que son acuité et son extension.

Relevons parmi les travaux de l'ORSTOM :

- OLIVRY (1983) qui traite de la situation en Sénégal et aux Iles du Cap Vert.

- SIRCOULON (1983, 84,86) qui traite de l'impact sur les ressources de cette sécheresse persistante, des caractéristiques de celle-ci et qui donne une comparaison entre les épisodes 1972-73 et 1983-84 montrant sans conteste que le dernier épisode est le plus catastrophique de la période historique.

- CHOURET (1986) qui établit un bilan assez complet pour le Mali et les modules et les crues du Niger.

Certains événements exceptionnels font l'objet d'un examen particulier, comme l'assèchement total du Niger à Niamey en mai 84 (Billon, 1985) ; de même COLOMBANI et POUYAUD (1987) essaient de répondre à la question à nouveau posée et cette fois par la Commission du Bassin du lac Tchad : le lac Tchad est-il condamné à disparaître ? En effet alors que sa surface en eau était de 24000 km² en 1963, celle-ci n'est plus que de 3000 km² aux basses eaux 1985. Mais un assèchement total supposerait une transformation complète des conditions d'écoulement sur le bassin Logone-Chari qui alimente le lac à 80%.

Des essais de reconstitution des hydraulicités des grands fleuves avant la période des mesures sont également entrepris, citons la publication d'OLIVRY et CHASTANET (1986) pour le fleuve Sénégal. Ce dernier travail confirme la période de hautes-eaux de la fin du siècle dernier et montre une diminution progressive de l'hydraulicité de ce fleuve jusqu'à nos jours.

Les colloques du CIEH à Ouagadougou (1986) sur les normes hydrologiques et de l'AISH à Vancouver sur l'impact des variations climatiques sur les ressources en eau vont être l'occasion de faire le point sur certains résultats acquis ces dernières années en particulier grâce à l'emploi combiné

du simulateur de pluie, des modèles mathématiques et de l'imagerie satellitaire. La constatation la plus importante est relative aux comportements différents des petits et grands bassins sahéliens vis à vis de l'écoulement. Les études d'ALBERGEL (86-87) et de POUYAUD (87) montrent ainsi que sur les bassins de moins de quelques milliers de km² la distribution de l'écoulement n'a pas radicalement changé, le déficit pluviométrique étant compensé par une augmentation des coefficients de ruissellement (phénomène d'imperméabilisation des sols en surface, diminution de la végétation; par contre pour les plus grandes superficies les phénomènes d'évaporation et de dégradation hydrographique l'emportent et l'on rejoint le comportement des grands bassins fluviaux où les déficits d'écoulement sont énormes. Quelques données chiffrées à ce sujet sont fournies au point suivant.

5. Quelques données chiffrées sur l'écoulement.

Tableau 1. Apports annuels des fleuves tropicaux au Sahel
(10⁹m³)

Période	Sénégal à Bakel	Niger à Koulikoro	Bani à Douna	Chari à Ndjamena	Total
Début obs. à 1967	24,7	48,7	22,1	40,4	135,9
Début obs. à 1985	22,3	46,2	17,3	35,1	120,9
Période 1968-85	13,7	37,7	8,3	24,6	84,3
Année 1984	6,9	20,1	2,2	6,3	35,5

Tableau 2. Variation des modules des fleuves tropicaux
(m³/s)

Station	Nbre années observ.	Module interan.	Module Maxi	Module Mini	5ans humide	5ans sec
Sénégal à Bakel (→ 86)	84	702	1247	215	1027	285
Niger à Koulikoro (→ 87)	81	1428	2300	636	2024	773
Chari à Ndjamena (→ 85)	54	1115	1720	213	1500	533
			(en 24)	(en 84)	(54-58)(82-86)	
			(en 25)	(en 84)	(24-28)(83-87)	
			(en 55)	(en 84)	(60-64)(81-85)	

Tableau 3. Crue des fleuves tropicaux (m³/s)

Station	Période	Médiane	Ecart type	Années		
				1913	1972	1984
Sénégal à Bakel	1903-86	4200	1815	1040	1430	917
Niger à Koulikoro	1907-87	5880	1410	3580	3830	2400
Chari à Ndjamena	1932-85	3520	924	-	1430	785

Tableau 4. Evolution des pluies moyennes et des coefficients d'écoulement sur quelques bassins sahéliens (en mm et %)
suivant POUYAUD (1987)

Bassin et station	Superficie	P moy.1	P moy.2	Ke 1	Ke 2
Dargol à Tera	2750	584	416	6,7	8,0
Gorouol à Dolbel	7500	558	407	6,6	8,4
Sirba à Garbe-Kourou	38750	719	596	2,62	2,38
Volta Noire à Dapola	94000	966	805	4,5	3,2

1 - période d'observation jusqu'en 1969 inclus
2 - période d'observation après 1970

6. Conclusions

Les nombreuses études entreprises par l'ORSTOM apportent une contribution importante à la connaissance de la ressource en eau de surface en zones arides et semi-arides d'Afrique de l'Ouest, à la compréhension des mécanismes hydrologiques, à l'évaluation des effets de la diminution des pluies depuis 20 ans sur les cours d'eau tropicaux et sahéliens ainsi que les grands lacs comme le lac Tchad. Ces travaux s'inscrivent dans les efforts des services nationaux, des organisations internationales et de la communauté scientifique pour continuer les mesures, améliorer le suivi de la ressource et mieux apprécier les effets de la variation dans ces zones fragiles au point de vue hydrologique. Malgré les progrès acquis au niveau phénoménologique, méthodologique et technologique beaucoup reste à faire au niveau de la compréhension qui permettra seule d'effectuer des prévisions sur les saisons des pluies à venir. En attendant la plus grande rigueur s'impose dans la gestion des ressources en eau existantes et dans les normes hydrologiques à adopter pour les aménagements hydrauliques qui se multiplient pour lutter contre la pénurie.

7. Références bibliographiques

- ALBERGEL (J.) et al. 1984 - Pluies, eaux de surface - Production végétales. Haute-Volta 1920-1983 - ORSTOM, DGRST, Ouagadougou.
- ALBERGEL (J.) 1987 - Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface. Application aux petits bassins du Burkina-Faso in Symposium AISH n°168, Vancouver, pp. 355-365.
- BADER (J.C.), SIRCOULON (J.) 1984 - Changements possibles dans la distribution des pluies au Sahel. ORSTOM, OMM, UNSO.
- BILLON (B.) 1985 - Le Niger à Niamey - Décrue et étiage 1985 in Cah. ORSTOM ser; Hydrol. vol. XXI, n°4, 1984-85.
- CHOURET (A.), DURAND (J.R.) 1972 - Note sur la crue exceptionnellement faible du Chari à Fort-Lamy en 1972.. ORSTOM, Ndjamena.
- CHOURET (A.) et al. 1986 - Persistance de la sécheresse au Sahel, DNHE, ORSTOM Bamako.

- ... CHAUDEAU (R.) 1921 - Le problème du dessèchement en Afrique Occidentale. Bull. Comm. Et. Gist. et Sc. AOF, vol.4, pp. 353-369.
- COLOMBANI (J.), POUYAUD (B.) 1987 - Le lac Tchad est-il condamné à disparaître ? In Séminaire sur les ressources en eau, ORSTOM, CBLT, Ndjamena.
- DUBREUIL (P.) et al. 1972. Recueil des données de base des bassins versants représentatifs et expérimentaux de l'ORSTOM - Années 1951-à 1969 - ORSTOM.
- FOURNEAU (Cap.) 1906 - Navigation sur le Niger entre Forcados et Tombouctou Henri Charles Lavaurelle, Ed. militaire Paris.
- HUBERT (H.) 1920 - Le dessèchement progressif en Afrique Occidentale, Bull. Comm. Et. Hist et Sc. AOF, vol. 3, pp. 401-467.
- LENFANT (Com.) 1905 - La grande route du Tchad, Paris Hachette.
- OLIVRY (J.C.) 1983 - Le point en 1982 en sénégalie et aux îles du Cap Vert in Cah. ORSTOM, sér. Hydrol. vol. XX, n°1, pp. 47-69.
- OLIVRY (J.C.), CHASTANET (M.) 1986 - Evolution du climat dans le bassin du fleuve Sénégal (Bakel) depuis le milieu du 19ème siècle. In colloque INQUA, ASEQUA, Dakar.
- POUYAUD (B.) 1987 - Variabilité spatiale et temporelle des bilans hydriques de quelques bassins versants d'Afrique de l'Ouest en liaison avec les changements climatiques. In Symposium AISH, n°168, Vancouver.
- ROCHE (M.), RODIER (J.A.) 1973 - La sécheresse actuelle en Afrique tropicale. In Bull. AISH, vol.18, n°4, pp.411-418.
- ROCHETTE (C.) 1974 - Le bassin du fleuve Sénégal in Coll. Monog. ORSTOM, n°1, Paris.
- RODIER (J.A.) 1960 - Extension de la sécheresse exceptionnelle observée en 1958 dans les régions équatoriales. In Symposium AISH, n°51, Helsinki.
- RODIER (J.A.) 1964 - Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'Ouest du Congo. Coll. ORSTOM, Mémoire n°6, Paris.
- RODIER (J.A.), AUVRAY (C.) 1965 - Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique occidentale. ORSTOM, CIEH, Paris.
- RODIER (J.A.) 1974 - Les caractères de la sécheresse dans les régions tropicales et subtropicales. Rapport AISH-OMM, Point 6-4, UNESCO, 2-14 septembre.
- RODIER (J.A.) 1975 - Evaluation de l'écoulement annuel dans le Sahel tropical africain. In Trav. Doc. ORSTOM n°46, 121p. Paris.
- RODIER (J.A.) 1984 - Evaluation hydrométéorologique des critères de conception des ouvrages de drainage routier et des évacuateurs de crues des petits barrages dans la région du Sahel. Projet UNSO/RAF/83/504, Genève.
- RODIER (J.A.) 1985 - Caractéristiques des crues des petits bassins versants représentatifs au Sahel. In Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol. vol. XXI, n°2, 1984-85.

- SIRCOULON (J.) 1974 - Les données climatiques et hydrologiques de la sécheresse en Afrique de l'Ouest sahélienne - Secretariat for international Ecology, Sweden, report 2.
- SIRCOULON (J.) 1976 - Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique Intertropicale. Comparaison avec les sécheresses "1913" et "1940" - In Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol. vol. XIII, pp.75-174.
- SIRCOULON (J.) 1986 - La sécheresse en Afrique de l'Ouest Comparaison des années 1982-84 avec les années 1972-73. In Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol. vol. XXI, n°4 1984-85, pp.75-86.
- SIRCOULON (J.) 1987 - Contributions de l'ORSTOM à la connaissance des précipitations en Afrique de l'Ouest et Centrale. In revue Hydrol. Continent., Vol.1 N°2, 1986, pp.153-160.
- SIRCOULON (J.) 1987 b - Variation des débits des cours d'eau et des niveaux des lacs en Afrique de l'Ouest depuis le début du 20ème siècle. In Symposium AISH, n°168, Vancouver.
- TILHO (Gal) 1910 - Documents scientifiques de la mission Tilho 1906-1909. Imprimerie Nationale, Paris.