MODULATION ANNUELLE ET FLUCTUATIONS INTERANNUELLES DES PRECIPITATIONS SUR LE BASSIN VERSANT DU CONGO

G. MAHE

RESUME :

Avec 160 postes, soit 1 station pour 22 000 km^2, la densité du réseau pluviométrique utilisable pour la période 1951-1989 sur le bassin-versant du Congo à Brazzaville (3,5 millions de km^2) est une des plus faible d'Afrique. Les postes sont inégalement répartis. Sur les 2/3 de la surface du bassin, à l'intérieur des frontières du Zaïre, on ne dénombre qu'environ 60 postes, soit une densité de 1 poste pour 39 000 km^2, alors qu'au nord-ouest, dans les républiques du Congo, du Gabon, du Cameroun et de Centrafrique, la couverture plus dense est d'environ 1 poste pour 11 000 km^2. D'autre part, le manque d'information sur les frontières est et sud du bassin, les plus sujettes à l'influence des masses d'air indienne et d'Afrique australe, est une source d'incertitude quand à la précision des résultats. Les données de pluies manquantes sont calculées par interpolations entre postes voisins, à partir de la méthode du vecteur régional (MVR), à l'intérieur de 11 unités climatiques couvrant l'ensemble de la surface du bassin, et contenant des postes soumis à des conditions climatiques proches. On passe ainsi à 84% de valeurs de pluies annuelles sur la surface de l'Etat zaïrois (45% de valeurs observées et 39% de valeurs étendues), et à 94% d'information sur le bassin-versant du Congo (60% de valeurs observées et 34% de valeurs étendues). On peut distinguer sur le bassin du Congo 4 grandes zones d'influences climatiques différentes : le nord (Oubangui) où s'exerce une influence continentale nord-africaine ; le sud (Kasaï) soumis aux masses d'air continentales de l'Afrique australe ; l'est et le sud-est (Lualaba) sous influence de l'Océan Indien ; et le Centre-Ouest dont le climat se rattache fortement à l'Océan Atlantique. Les variations décennales diffèrent suivant les régions, et leur combinaison se traduit pour l'ensemble du bassin par une variabilité interdécennale faible, avec une période plus humide au début des années soixante à laquelle sont associés les modules les plus forts du siècle sur le Congo à Brazzaville, tandis que la période 1981-1989 est la plus "sèche". La comparaison des régimes mensuels moyens de pluie pour les périodes 1930-1959 et 1951-1989 indiquerait une légère augmentation des pluies aux postes comparés durant la période récente, et une modification sensible du régime mensuel. On observe une augmentation des pluies au cours des deux principales saisons pluvieuses en mars et septembre-novembre principalement, tandis que les pluies d'août et de juillet diminuent au nord de l'équateur et augmentent au sud, et que les pluies de décembre diminuent au sud et augmentent au nord-est. Les totaux de février et mai ne varient par ailleurs que très peu.

ABSTRACT :

With 160 stations, about 1 station for 22.000 km^2, the density of the rainfall station's net usable for the period 1951-1989 over the Congo river basin at the station of Brazzaville (3.5 millions km^2), is one of the poorest in Africa. Rainfall stations are unequally spreaded over the basin. Inside the limits of the State of Zaïre, 2/3 of the Congo river basin surface, there are only 60 stations, i.e. 1 station for 39.000 km^2. In the other Countries of Congo, Gabon, Cameroon and Centrafrica, North and East of Zaïre, the rainfall station density is higher (1 station for 11.000 km^2. Moreover there are missing informations for Countries at the eastern and southern boundaries of the basin, influenced by Indian Ocean and South African air masses variations. This being a potential source of uncertainty for the results. Rainfall missing values were computed by interpolation between close stations, with the Orstom method of the regional vector (MVR), inside 11 climatic units covering the whole Congo river basin and including stations under similar climatic conditions. Over the surface of Zaïre, and over the surface of the Congo river basin, the available stations-years are respectively 84% and 94% of the maximum (45% of measured values and 39% of interpolated values for the Zaïre ; 60% and 34% for the Congo river basin). There are 4 great climatic zones over the Congo river basin : the North (Oubangui river basin) where the influence of the North African continental air mass is prominent ; the South (Kasaï river basin) influenced by South African air masses ; the eastern and south-eastern parts of the basin (Lualaba-Zaïre river upper basin), under the influence of the humid Indian Ocean air masses ; and the Center-West,

where the climate is under the control of the Atlantic Ocean. Decadal variations differ in each region and altogether produce for the whole basin a weak interdecadal variability, with a wettest period in the early 1960's, associated with the highest runoffs of the Congo river since 1902 at Brazzaville, while the period 1971-1989 is the driest. The comparison of mean monthly rainfall between the two periods 1930-1959 and 1951-1989 may indicate a slight increase of rainfall during the recent period, due to the high annual amounts of precipitations observed in the 1960's, and a gentle modification of monthly rainfall regimes. Rainfall increase during the two main rainfall seasons in March and in September-November, while August and July rainfall decrease North of the Equator and increase South of it. December rainfall decrease in the South and increase in the North-East. February and May rainfall do not change.

I. INTRODUCTION

L'étude du fonctionnement hydrogéochimique du bassin-versant du fleuve Congo est une des composantes majeures du programme PEGI. Le bassin du Congo s'étend sur 8 pays (figure 1) et occupe une superficie de 3,5 millions de km² à la station de Brazzaville, dont la majeure partie des 2,3 millions de km² de l'état du Zaïre. Les données de précipitations sont différemment accessibles suivant les pays. Celles du Congo, du Gabon, du Cameroun et de la Centrafrique sont archivées jusqu'aux années récentes, mais il n'en est pas de même pour d'autres pays tels l'Angola et le Zaïre. L'Académie Royale des Sciences d'Outre Mer de Belgique a édité un certain nombre d'ouvrages d'hydrologie et de climatologie concernant le territoire zaïrois, mais la seule étude de synthèse réalisée (Bultot, 1971) ne concerne que la période 1930-1959. La recherche des données disponibles sur le territoire zaïrois (les deux-tiers de la surface du bassin du Congo), à partir de 1960 et jusqu'aux années récentes, était donc un objectif essentiel du programme. Les données concernant les pluies ainsi collectées ont été traitées en même temps que celles recueillies sur les autres états d'Afrique de l'Ouest et Centrale (Mahé, 1993). Dans une première partie, après une description des variations de la modulation annuelle des pluies entre deux périodes de temps (1930-59 et 1951-89), on effectue un traitement automatique des données de précipitations par unités climatiques regroupant des postes soumis à des conditions climatiques proches. Cette étape permet de valoriser le jeu de données initial par interpolation des valeurs manquantes à l'aide de la méthode du vecteur régional (MVR). Pour la majorité des stations pluviométriques zaïroises, les enregistrements n'ont pu être collectés que jusqu'en 1984. Mais grâce à MVR on a pu étendre les séries de ces postes par interpolation avec des séries plus complètes de quelques postes pluviométriques zaïrois et avec celles des postes des pays voisins. A l'issue de cette partie on dégage les grandes lignes régionales des variations pluviométriques sur le bassin du Congo au cours des quatre dernières décennies. Dans une deuxième partie on calcule les lames d'eau précipitée annuelles sur le bassin du Congo, à partir des lames d'eau déterminées sur 7 sous-bassins, en utilisant une méthode de calcul automatique des lames d'eau par interpolation spline.

II. LE BASSIN-VERSANT DU CONGO

1. Les grands traits du relief : une cuvette aux bords relevés

La majeure partie du bassin du Congo est formée par une vaste cuvette au relief très peu accentué globalement centrée sur l'équateur où les précipitations annuelles vont de 1500 mm à la périphérie jusqu'à plus de 2000 mm au centre (figure 2). Les reliefs les plus importants se trouvent en bordure est et sud du bassin. A l'est ces reliefs sont liés au rift est-africain dans les régions des grands lacs, chaîne des Mitumba en particulier, et au sud la ligne de partage des eaux entre le Zaïre et le Zambèze est constituée de hauts plateaux tabulaires qui se rattachent à l'ouest au grand escarpement angolo-namibien et à l'est à la chaîne des Mitumba. En général les précipitations diminuent vers la périphérie du bassin, à l'exception de quelques zones telles les monts Mitumba à la frontière avec le Ruanda et le Burundi (plus de 2400 mm), le Haut-Uele dans le nord-est ou les plateaux batékés à la frontière avec le Gabon.

2. Quatre grandes zones climatiques

L'humidité sur le bassin du Congo a pour principale origine le flux de mousson atlantique. L'influence d'autres masses d'air croît vers les frontières nord, est et sud du bassin. Le rôle

climatique des masses d'air sèches liées à l'anticyclone continental de Lybie prend de l'importance dans la partie nord du bassin (bassin de l'Oubangui). Symétriquement les masses d'air sèches du Kalahari étendent leur influence dans le sud du bassin (bassin du Kasaï). Vers l'est, le climat qui règne sur la Lualaba, ou Haut-Zaïre, est également en relation avec les masses d'air humide de l'océan Indien. Enfin le centre-ouest du bassin, c'est à dire la majeure partie de la cuvette congolaise, peut-être considérée d'après Wauthy (1983) comme une "mer continentale", prolongation du golfe de Guinée et de l'influence océanique à l'intérieur du continent.

3. Origine et qualité des données de précipitation

Les données proviennent de 6 états sur lesquels se situe la presque totalité de la surface du bassin du Congo (figure 1) : le Cameroun, la Centrafrique, le Gabon, et le Congo, pour lesquels toute l'information journalière des postes répertoriés par l'ORSTOM est utilisée ; l'Angola et le Zaïre, pour lesquels on utilise dans la mesure du possible les informations mensuelles. Dans les quatre premiers pays, à forte densité de réseau pluviométrique de plus de 30 ans continus (1 poste pour 8 000 km^2 environ), nous avons pu opérer une sélection des postes dont les séries sont les plus longues et les plus fiables, à partir des annuaires de précipitations journalières publiés en deux parties, des origines à 1965 et de 1966 à 1980 : Congo (1981 et 1989), Cameroun (1978 et 1990), Centrafrique (1990a et 1990b) et Gabon (1979 et 1989). L'actualisation des séries a pu être réalisée en grande partie grâce au concours des Services Hydrologiques Nationaux. Pour l'Angola la période archivée, disponible sous forme de bulletins ou dans des publications internationales s'arrête en 1974 le plus souvent (Anonyme, 1967 ; NOAA, 1949-1985 et 1975 ; Angola, 1969 à 1975), et l'actualisation d'un certain nombre de postes est due au précieux soutien de l'Institut National d'Hydrométéorologie et Géophysique d'Angola. Au Zaïre les données sont archivées jusqu'en 1961, INEAC (1952 à 1960), Pini et Berruex (1961) et Pini (1970). L'actualisation mensuelle a été effectuée avec la participation de la Météorologie zaïroise ; elle ne dépasse malheureusement que rarement l'année 1984.

Nous avons utilisé les données de 160 postes pluviométriques situés à l'intérieur ou aux frontières proches du bassin du Congo (figure 3), ce qui représente une densité de 1 poste pour 22 000 km^2 sur la période 1951-1989, densité très faible par rapport à celles que l'on peut obtenir sur les autres fleuves d'Afrique de l'Ouest et Centrale. Cette faible couverture pluviométrique est due au manque d'information sur le territoire du Zaïre : nous n'avons pu y constituer des séries actualisées que pour 60 postes, soit une densité de 1 poste pour 39 000 km^2. Au nord-ouest, dans les républiques de Centrafrique, du Cameroun, du Gabon et du Congo, on a pu utiliser 100 postes, soit une densité de 1 pour 11 000 km^2.

4. Modulation annuelle des pluies

A. Les régimes mensuels moyens : équatorial à tropical

On présente sur la figure 4 les diagrammes des pluies mensuelles moyennes en plusieurs postes répartis sur le bassin et pour deux périodes : 1930-1959 (30 ans), d'après Bultot (1971), et 1951-1989 (39 ans). Les postes utilisés durant la première période n'ont pas tous fonctionné durant la seconde, on a alors choisi pour comparaison des postes voisins.

L'utilisation des valeurs fournies dans l'Atlas de Bultot (1971) d'une part pour la première période, et de celles de fichiers déjà mis en forme par Mahé (1993) pour la seconde période aboutit à un recouvrement de 9 ans entre les deux séries. L'élimination de ce recouvrement aurait nécessité un gros travail de reconstruction de fichier et de calcul pour un résultat en partie prévisible. On préférera donner plus loin dans le texte quelques éléments d'information concernant les effets de ce recouvrement sur l'interprétation des variations de pluie observées entre les deux périodes.

Les régimes sont de type tropical dans les parties nord et sud-est du bassin où les maximums se situent respectivement en été boréal et en été austral. La tendance équatoriale s'affirme vers l'équateur et est nette entre 2° nord et 6° sud. La grande saison sèche est très marquée près de l'Atlantique et dans le sud-est du bassin avec deux à trois mois sans pluie ; elle est moins marquée vers le nord et l'est, en particulier entre 0 et 2° nord. En régime équatorial les deux saisons des pluies culminent en avril-mai et septembre-novembre au nord de l'équateur, et en mars-avril et octobre-novembre au sud.

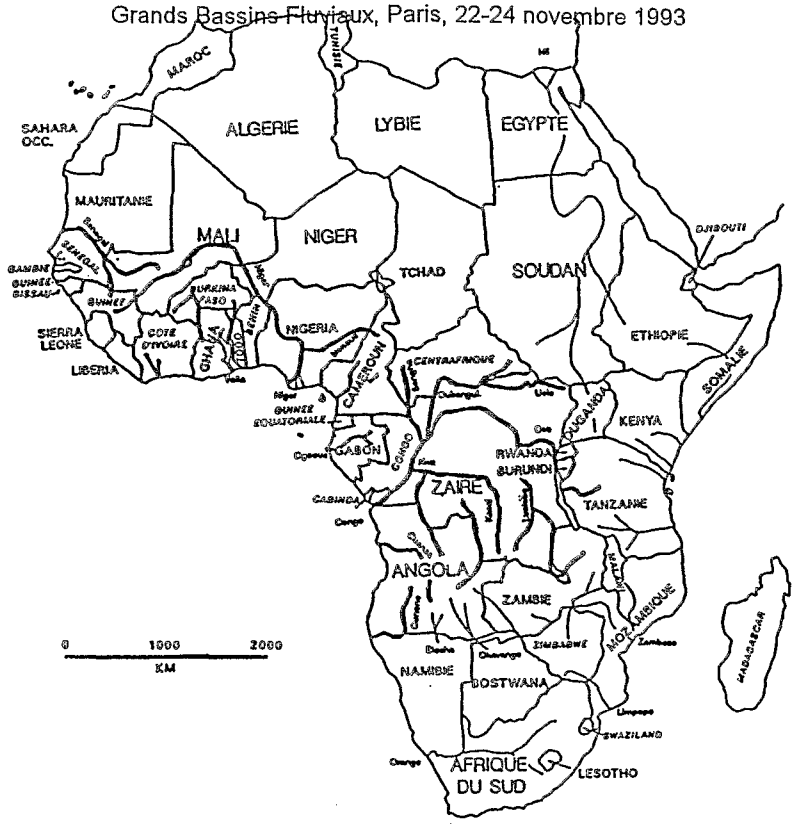

Figure 1

Carte de situation des grands fleuves d'Afrique de l'Ouest et Centrale. Les principaux cours d'eau tributaires de l'Atlantique et soumis au flux de mousson sont représentés en traits gras. Les autres grands fleuves sont en trait fin.

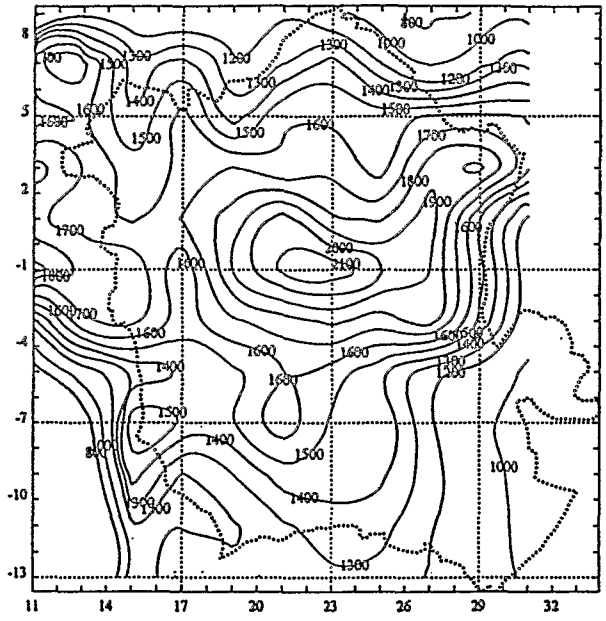

Figure 2

Isohyètes moyennes interannuelles sur le bassin-versant du Congo, période 1951-1989. Les contours du bassin-versant du Congo sont en trait pointillé épais. Interpolation spline au pas de 1,5 degrés.

B. Evolution des régimes mensuels entre les deux périodes 1930-1959 et 1951-1989

Les valeurs relatives aux deux périodes sont indiquées sur la figure 4 (valeurs récentes représentées par un cercle). On remarque tout d'abord que 7 des 9 postes, tous situés au sud de 2° nord, font apparaître une légère augmentation des totaux annuels. Seuls les postes de Bongabo, au nord, et de Nioka, au nord-est, ne suivent pas cette tendance. Cette augmentation des pluies annuelles à plusieurs postes disséminés sur une grande partie du bassin, au cours de la seconde période par rapport à la première, est cohérente avec la très forte augmentation des écoulements du Congo à Brazzaville observée au cours des années soixante. Cette augmentation des totaux annuels s'accompagne de modifications sensibles dans les régimes mensuels : une pluviosité un peu plus forte durant les mois principaux de chaque saison humide, en particulier en mars, de septembre à novembre, et en janvier (dans le centre-sud et le nord-est) ; une pluviosité plus faible en décembre (dans le sud) et en août (dans le nord), tandis que la petite saison sèche de juin à août est plus humide dans le sud ; des variations très faibles en février et mai. Bien qu'il ne s'agisse là que d'une comparaison entre postes isolés, limitée au territoire zaïrois, on verra plus loin que le calcul des lames d'eau précipitée sur le bassin du Congo à partir des isohyètes moyennes sur les deux périodes 1930-1959 et 1951-1989, met également en évidence une légère augmentation. En ce qui concerne l'influence du recouvrement de 9 ans entre les deux séries sur la comparaison des variations de pluies mensuelles, on peut faire les remarques suivantes, à partir de la chronique des écoulements du Congo à Brazzaville. La série des débits annuels du Congo présentée par Olivry et al.(1993) et couvrant la période 1902-1989 a fait l'objet d'un test statistique de segmentation automatique, en quatre sous-séries significativement différentes et stationnaires, par Hubert et Carbonnel (1993). La première série va de 1902 à 1960 avec une valeur normalisée du module de 0,98. La seconde couvre la période 1961-1969 (1,19), la troisième 1970-1980 (1,02) et la quatrième 1981-1989 (0,92). Durant la période commune 1951-1959 entre les deux séries de pluie précédentes, les variations de débit sont proches de la normale de la série complète, avec toutefois la présence d'un minimum très prononcé en 1958. Par rapport à la période 1960-1989, les valeurs de débit sont en moyenne plus faibles. On peut donc penser que les modifications de régime pluviométrique mensuel qui apparaissent sur le bassin du Congo entre les deux périodes 1930-1959 et 1951-1989 ne se mettent en place qu'à partir de 1958-1961, et qu'ainsi la tendance générale à l'augmentation des pluies mise en évidence durant la seconde période serait plus prononcée sans la prise en compte des années 1951-1959.

III. EVOLUTION INTERANNUELLE DES PRECIPITATIONS REGIONALES SUR LE BASSIN DU CONGO, PERIODE 1951-1989

1. Reconstitution des valeurs annuelles manquantes par la méthode du vecteur régional

De nombreux postes présentent des lacunes, soit parceque l'actualisation n'a pas pu être réalisée jusqu'en 1989, soit du fait d'interruptions plus ou moins longues dans les séries. La méthode du vecteur régional (MVR), développée à l'ORSTOM par Cochonneau et al. (1993), permet de tirer parti de l'ensemble de l'information existante pour reconstituer des valeurs manquantes, par interpolation entre postes voisins d'une même unité, et génération d'une série de valeurs de référence, basée sur l'ensemble des postes, et vecteur de l'information régionale moyenne "la plus probable". On ne crée pas d'information nouvelle mais on utilise un artifice de calcul, l'interpolation, pour générer des séries pseudo-complètes, qui permettent de présenter des chroniques homogènes pour les différentes phases de calculs qui suivent. Cette méthode nécessite la délimitation de régions, ou unités, morpho-climatiques homogènes, regroupant des postes soumis à des conditions climatiques proches. De la pertinence du choix des unités climatiques dépend en grande partie la qualité de la reconstitution des valeurs manquantes. C'est pourquoi nous avons défini les limites des unités climatiques en nous appuyant sur de précédentes régionalisations de Dubreuil et al. (1972), Janicot (1990) et Nicholson (1988), basées sur des critères liés au relief et à la climatologie des pluies. Nous avons également puisé des renseignements régionaux très précieux dans diverses études

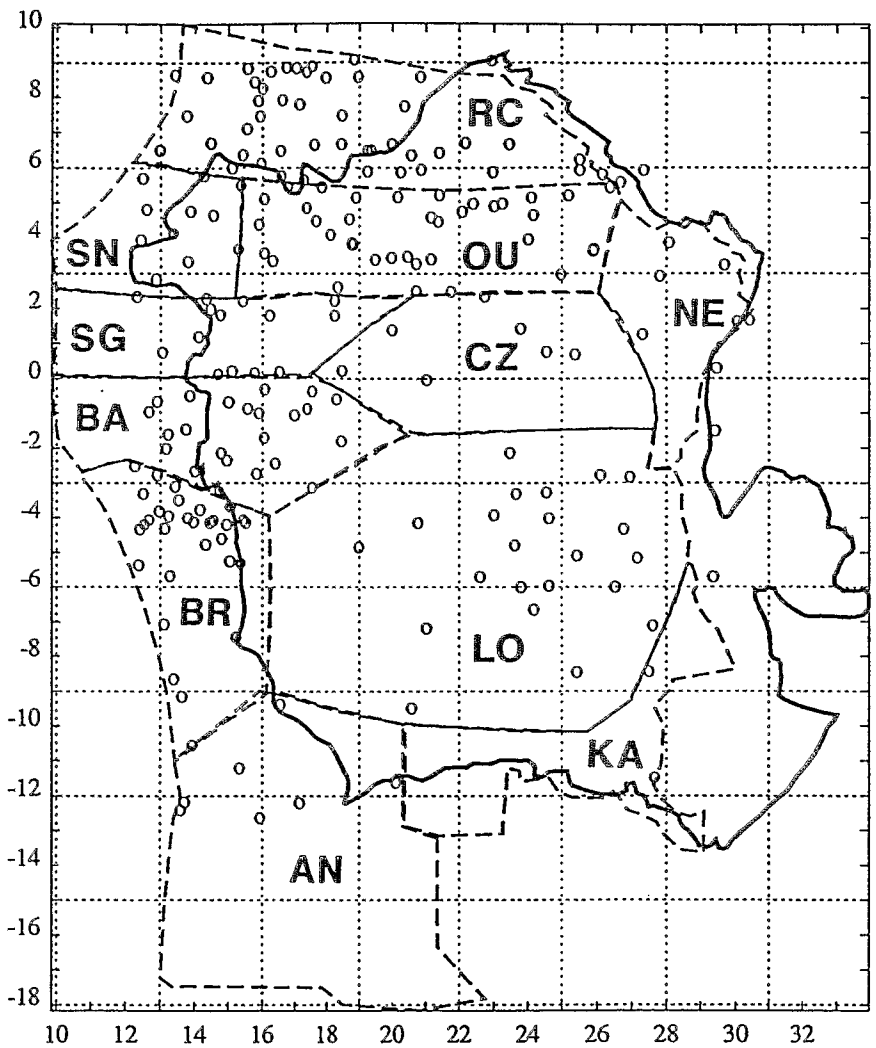

Figure 3

Situation du bassin-versant du Congo (trait continu), et des 11 unités climatiques dans lesquelles se répartissent les 160 postes pluviométriques du bassin (traits pointillés). AN : Angola ; BA : Batéké ; BR : Brazza ; CZ : Czaire ; KA : Katanga ; LO : Lomani ; NE : Nezaire ; OU : Oubangui ; RC : RCA ; SG : Sangha ; SN : Sanaga.

monographiques de l'ORSTOM (on citera par exemple Olivry (1986), Callède (à paraître) et Lerique (à paraître)).

Tableau 1

Nombre de stations par unités climatiques et nombre d'années-stations avant et après reconstitution de valeurs manquantes par interpolation MVR.

Unités Climatiques	Nombre stations	Années-stations observées	Années-stations obs+interpolées
RCA	43	1087	1636
Oubangui	38	885	1444
Sanaga	33	866	1223
Sangha	17	412	663
Batéké	43	924	1677
Brazza	28	678	1092
Angola	10	231	333
Katanga	5	67	71
Lomani	18	345	583
Czaire	9	211	284
Nezaire	7	153	225
Total	251	5859 / 60 %	9231 / 94 %

Suivant notre découpage, le bassin du Congo est couvert par 11 unités climatiques, contenant de 5 à 43 postes pluviométriques (tableau 1). L'information "pluie annuelle" sur la surface de l'état zaïrois est de 45% avant reconstitution, les années récentes postérieures à 1984 étant les plus lacunaires ; et de 60 % sur l'ensemble du bassin du Congo. Après interpolation par MVR on aboutit à des totaux respectifs de 84% et 94%. Ce sont ces séries composées de valeurs observées et interpolées qui servent de base à la description des variations régionales des précipitations, et au calcul des lames d'eau précipitée annuelles sur le bassin du Congo et les sous-bassins.

2. Variations régionales interannuelles des précipitations

A. Par unités climatiques

Sur la figure 5 sont représentées les courbes lissées sur onze années des pluies annuelles moyennes régionales dans les 11 unités climatiques définies précédemment, centrées et réduites pour permettre leur comparaison directe. L'amplitude des variations interannuelles est plus faible sur le bassin du Zaïre que dans la majeure partie de l'Afrique de l'Ouest (Mahé et al., 1993). La période de maximum pluviométrique est centrée sur le début des années soixante, mais pour les cinq unités les plus septentrionales (RCA, Oubangui, Sanaga, Sangha et Nezaïre) ainsi que pour l'unité Katanga, la décennie 50 reste la plus humide. Dans les parties centrales du bassin du Zaïre la décennie 70 est en général plus déficitaire que la décennie 80, alors que les années 80 sont plus sèches dans les unités du nord-ouest (RCA, Sanaga, Sangha et Batéké) ainsi que dans le reste de l'Afrique de l'Ouest. Dans l'est et le sud du Zaïre l'allure des variations interannuelles des pluies s'éloigne de celle plus généralement observée près de l'Atlantique. Les années les plus remarquables sont 1983, année de déficits très importants voire maximum dans la plupart des unités ; 1958, année de déficits records pour les unités équatoriales et sud-équatoriales ; et 1961, année d'excédents records dans de nombreuses unités équatoriales ou sud-équatoriales.

B. Lames d'eau précipitée sur le bassin du Zaïre et sur des sous-bassins

a. méthode de calcul des lames d'eau précipitée annuelles

Les lames d'eau précipitée annuelles sont calculées automatiquement par sélection et moyenne

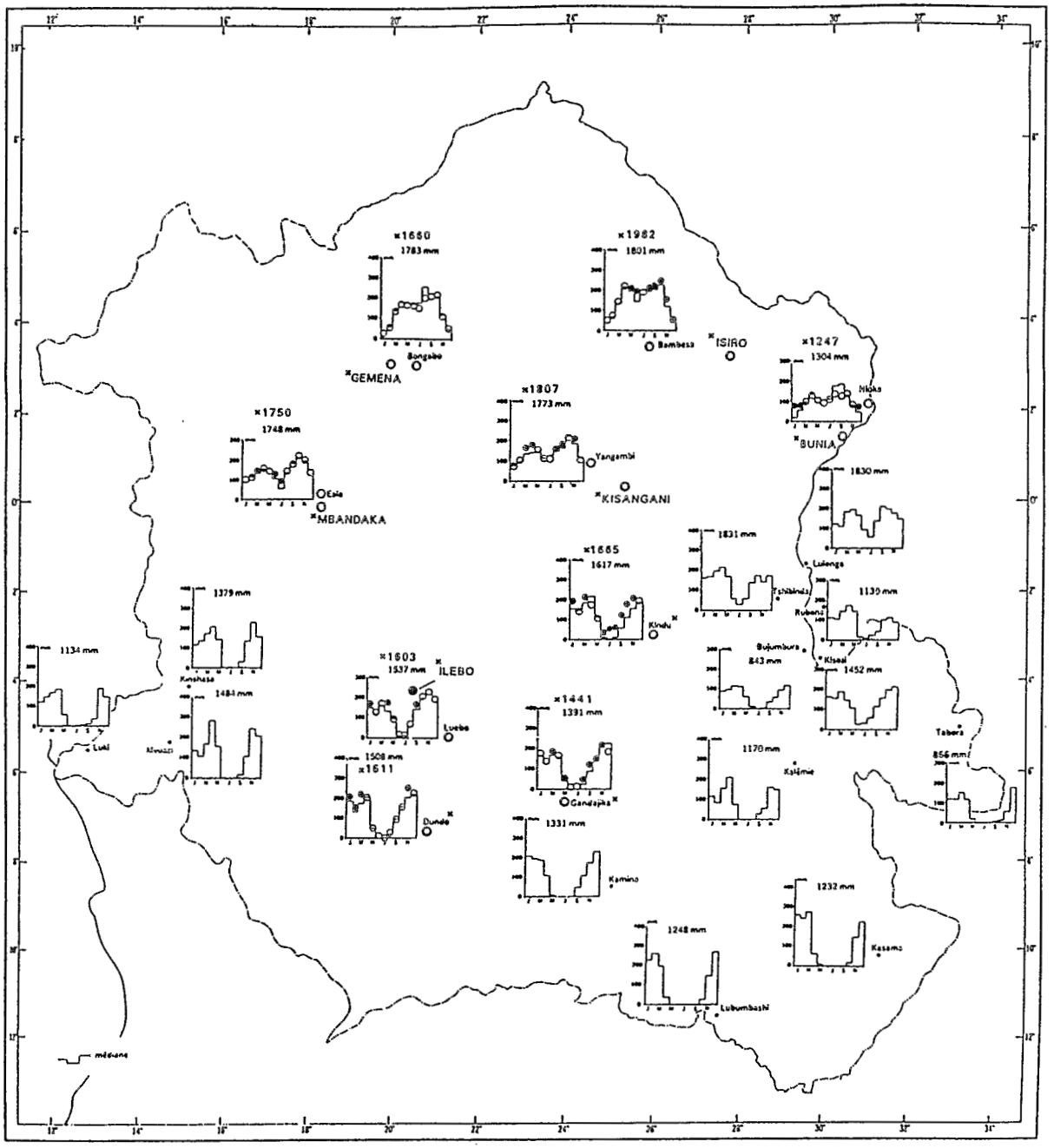

Figure 4

Modulation annuelle des pluies pour plusieurs postes situés sur le bassin-versant du Congo en territoire zaïrois. Comparaison des valeurs mensuelles et des totaux annuels fournis dans l'atlas de Bultot (1971) qui concernent la période 1930-1959, avec celles calculées au cours de cette étude sur la période 1951-1989, représentées par des petits cercles. Les cercles noircis correspondent à un excès de plus de 30 mm en faveur de la période récente. Les totaux annuels sont indiqués au-dessus de chaque diagramme, ceux relatifs à la période récente sont précédés d'une petite croix, qui marque également les noms des villes utilisées pour la période récente.

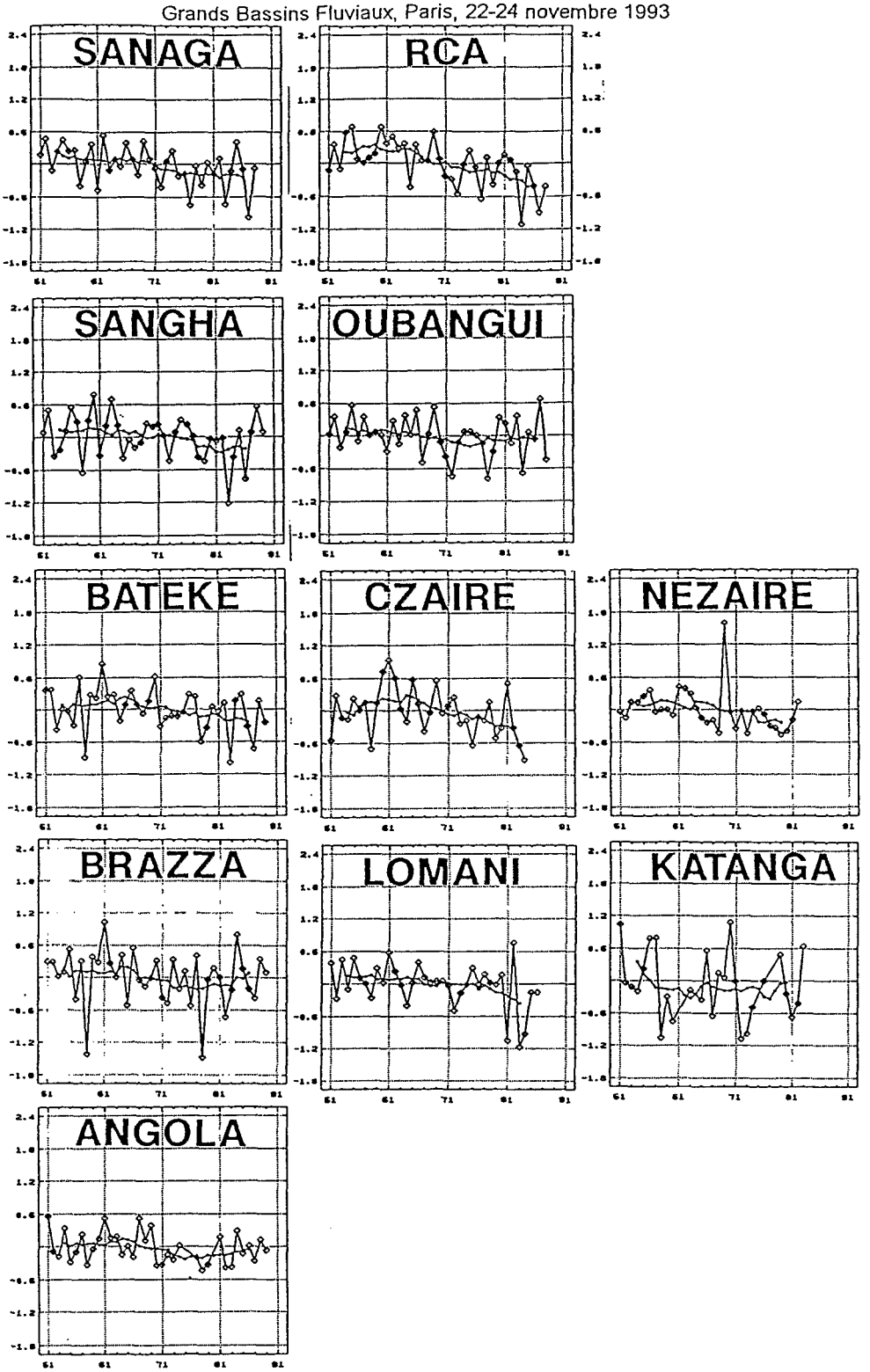

Figure 5

Pluies annuelles moyennes centrées et réduites pour chacune des 11 unités climatiques de 1951 à 1989 et lissage sur 11 valeurs (du fait du lissage les 3 premières et les 3 dernières valeurs lissées ont été ôtées) (d'après Mahé et al., 1993).

des points situés à l'intersection entre les contours des surfaces des bassins considérés et les fichiers de pluies annuelles maillés, obtenus par application d'une fonction d'interpolation spline de pas ajustable, aux fichiers annuels de données brutes (Mahé et al., 1994). L'interpolation spline présente l'inconvénient de tendre vers des valeurs extrêmes quand l'information manque pour supporter le calcul, ce défaut est particulièrement visible sur les marges des contours et pour les zones de faible densité d'observation par rapport au pas de maillage. Il est alors indispensable de définir le pas de maillage (d'interpolation) en fonction de la densité des points de mesure dans la zone à étudier pour minimiser les erreurs d'interpolation dans les zones de faible densité d'information ; de même les fichiers de données utilisés pour les calculs doivent être plus larges que les contours des bassins étudiés afin de minimiser les incertitudes aux marges. L'hétérogénéité spatiale des données et le manque d'information aux frontières est et sud-est du bassin du Congo, rendent le calcul de la lame précipitée sur le bassin moins fiable s'il est effectué en considérant la surface totale du bassin que s'il est effectué à partir des surfaces de sous-bassins-versants. On peut de cette façon en même temps minimiser le poids des stations de moins bonne qualité sur les autres parties du bassin et augmenter ou réduire la taille de la maille élémentaire suivant la densité du réseau d'observation dans chaque sous bassin.

Nous avons subdivisé le bassin du Zaïre est 7 sous-bassins (figure 6) en relation étroite avec des unités hydrologiques. Les sous-bassins situés en territoire zaïrois contiennent moins de postes et sont plus grands que les sous-bassins du nord et du nord-ouest.

b. Lames d'eau précipitée sur le bassin du Congo de 1951 à 1989

Les lames d'eau précipitée sont présentées par sous-bassins sous forme de valeurs moyennes par décennies (tableau 2). Les maximums sont observés durant la décennie soixante, sauf pour le Bas Oubangui ; les minimums sont partagés entre les deux dernières décennies, années soixante-dix pour Oubangui, Sangha, Kasaï et Batéké, mais pour les bassins Kasaï et Batéké la prise en compte des médianes plutôt que des moyennes placerait le minimum durant les années soixante-dix. La dernière décennie ne verrait alors plus que le minimum d'Oubangui et de Sangha, soit des bassins les plus influencés par les masses d'air d'Afrique du Nord.

Les lames d'eau précipitée annuelles sur le bassin du Congo sont obtenues à partir des valeurs précédentes et présentées sur la figure 7. Le minimum apparaît en 1958, puis vient l'année 1987, mais les années soixante-dix sont en moyenne les plus déficitaires. Deux années très fortes se suivent en 1961 et 1962 (maximum), et constituent le point culminant d'une série d'années très excédentaires qui débute en 1955 et se termine en 1969, qui font de la décennie soixante la plus humide.

Sur le tableau 3 on donne les lames d'eau précipitée moyennées sur deux périodes : 1930-1959 (d'après la carte de Bultot, 1971), et 1951-1989 (d'après les valeurs calculées dans cette étude). On observe une légère augmentation des totaux annuels au cours de la seconde

Tableau 2

Lames d'eau précipitée décennales par sous-bassins du Zaïre, de 1951-60 à 1981-89 (9 ans), et pour le Zaïre à Brazzaville (3 500 000 km^2), avec les écarts à la moyenne 1951-1989 (en %).

Bassin	% surface	1951-60	1961-70	1971-80	1981-89
Oubangui	13.7	1555 / 0.0	1634 / +5.0	1502 / -3.5	1529 / -1.5
Bas Oubangui	12.5	1705 / +2.0	1687 / +1.0	1603 / -4.0	1687 / +1.0
Sangha	6.3	1634 / +3.1	1640 / +3.5	1536 / -3.0	1523 / -3.9
Batéké	5.7	1612 / +1.1	1654 / +3.7	1557 / -2.3	1551 / -2.7
Centre	11.3	1864 / +0.5	1917 / +3.3	1790 / -3.6	1853 / -0.2
Kasaï	20.6	1485 / +0.8	1515 / +2.8	1456 / -1.1	1431 / -2.8
Lualaba	30.3	1447 / +1.1	1458 / +2.0	1370 / -4.1	1443 / +1.0
Congo/Zaïre		1580 / +1.0	1610 / +3.0	1515 / -3.1	1550 / -0.9

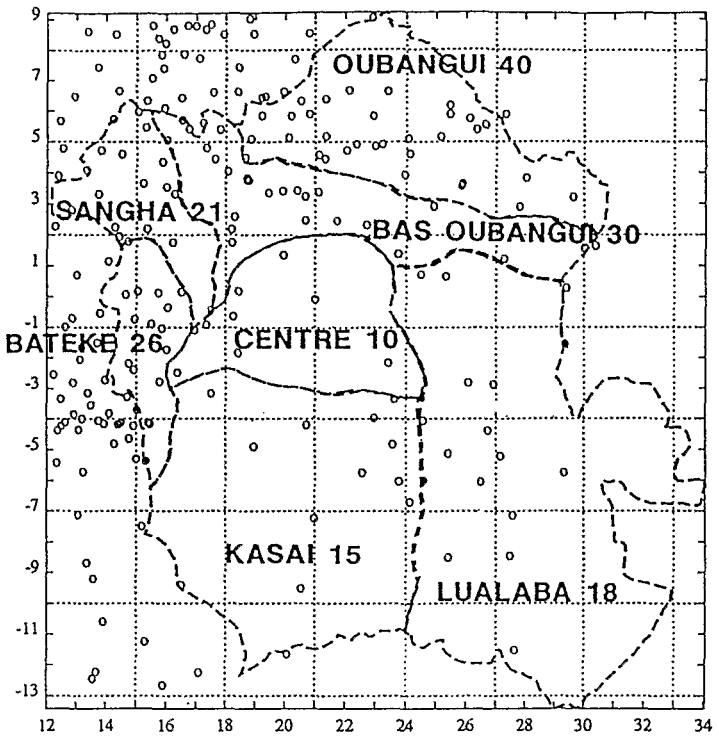

Figure 6

Les sous-bassins du Congo définis pour le calcul des lames d'eau précipitée annuelles. Nombre de postes pluviométriques dans chaque sous-bassin, avec leur situation.

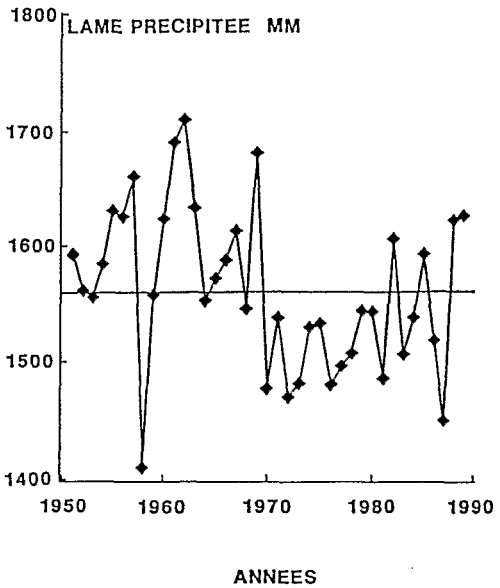

Figure 7

Lames d'eau précipitée annuelles sur le bassin du Congo de 1951 à 1989, calculées par addition pondérée des lames d'eau des 7 sous-bassins élémentaires.

période, principalement sur Oubangui, Lualaba et Sangha, qui va dans le sens des premières indicationsfournies par la comparaison des totaux annuels à quelques stations (voir II.4.B.). Cette augmentation n'est toutefois pas aussi élevée que celle déduite de la comparaison des postes isolés, sur le seul territoire zaïrois. La valeur de précipitation moyenne annuelle calculée dans cette étude par utilisation d'une chaîne de traitement automatisée est de 1560 mm, elle du même ordre de grandeur que celle tirée de l'Atlas de Bultot (1971) -1540 mm pour la période 1930-1959-, et que celle fournie par Leroux (1983) -1500 mm-.

Tableau 3

Comparaison des lames d'eau précipitée par sous-bassins et pour le bassin du Congo, pour les deux périodes : 1930-1959 et 1951-1989.

Bassin	% surface	1930-59	1951-89
Oubangui	13.7	1470	1560 / +6.0
Bas Oubangui	12.5	1660	1670 / +0.5
Sangha	6.3	1570	1585 / +0.9
Batéké	5.7	1670	1595 / -4.5
Centre	11.3	1930	1860 / -3.6
Kasaï	20. 6	1480	1475 / -0.3
Lualaba	30.3	1360	1430 / +5.0
Zaïre		1540	1560 / +1.3 %

V. CONCLUSION

Il pleut en permanence sur le bassin du Congo, à chaque mois de l'année correspond une zone où les pluies atteignent leur maximum annuel. Mais les pluies sont plus abondantes en automne et au printemps tandis que les minimums sont observés entre juin et août. Les données utilisées couvrent la période 1951-1989, avec des lacunes au Zaïre après 1984. Les données manquantes sont reconstituées à l'aide de la méthode du vecteur régional par interpolations entre postes voisins regroupés dans des unités les plus homogènes possible climatiquement. Le bassin du Congo est concerné par 11 unités climatiques, à l'intérieur desquelles les variations interannuelles permettent de tracer les grandes lignes de l'évolution des pluies sur le bassin. La variabilité interannuelle est plus forte au nord et au sud que dans les unités centrales du bassin. La décennie soixante est la plus humide en moyenne, bien que dans le nord-ouest ce soit en majorité la décennie cinquante la plus humide. La période de minimum se situe en majorité durant les années soixante-dix, sauf dans le nord-ouest où c'est plutôt la décennie quatre-vingt.

Grâce à une méthode de calcul automatique des lames d'eau précipitée, à partir des fichiers numérisés des contours des bassins, et des fichiers interpolés de pluies annuelles, on calcule les lames d'eau précipitée annuelles sur 7 sous-bassins du Congo, puis par addition sur le bassin du Congo. On peut ainsi décrire l'évolution des valeurs régionales des lames d'eau précipitée. On distingue une période humide allant de 1955 à 1969 durant laquelle les lames d'eau précipitée annuelles présentent plusieurs pics de valeurs très élevées, et une seconde période depuis 1970, durant laquelle les lames annuelles totalisent en moyenne 60 à 80 mm de moins que durant la précédente période (-4% à -5%). Au cours de la période 1951-1989, la lame d'eau précipitée sur le bassin du Congo semble avoir légèrement augmenté par rapport à la lame d'eau précipitée moyenne au cours de la période 1930-1959. Cette légère augmentation se traduirait surtout par une plus forte pluviosité durant les deux maximums de saison des pluie au printemps et à l'automne. Enfin, on espère pouvoir bientôt affiner ces résultats par l'ajout de données de précipitation sur la Zambie, la Tanzanie, l'Ouganda et le Soudan, qui permettront une meilleure prise en compte des variations de pluie sur les frontières est et sud-est du bassin du Congo.

REMERCIEMENTS :

Les services météorologiques nationaux de tous les états concernés sont vivement remerciés pour avoir permis l'actualisation des données de précipitation.

REFERENCES :

ANGOLA (1966 à 1975). Boletim mensal da divisao de meteorologia agricola. Instituto de Investigaçao Agronomica de Angola. Janvier 66 à décembre 75.

ANONYME (1967). World weather records, vol.5, 1951 - 1960. Africa. US Department of Commerce ESSA. 545 p.

BULTOT F. (1971). Atlas climatique du bassin congolais. Deuxième partie: les composantes du bilan d'eau ; Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo (INEAC). Hors série. 150 p.

CALLEDE J. (à paraître). Monographie hydrologique de l'Oubangui. ORSTOM.

CAMEROUN (1978). Annales des précipitations journalières de la République du Cameroun de l'origine des stations à 1972. CIEH - Ministère de la Coopération - ORSTOM. Tome 1, 512 p. Tome 2, 906 p.

CAMEROUN (1990). Annales des précipitations journalières du Cameroun de 1966 à 1980. Direction de l'Hydraulique Rurale - Yaoundé. CIEH - ASECNA - ORSTOM. 747 p.

CENTRAFRIQUE (1990a). Annales des précipitations journalières de la République Centre Africaine de l'origine des stations à 1965. Direction de l'Hydraulique - Bangui. CIEH - ORSTOM. 678 p.

CENTRAFRIQUE (1990b). Annales des précipitations journalières de Centrafrique de 1966 à 1980. Direction de l'Hydraulique - Bangui. CIEH - ASECNA - ORSTOM. 450 p.

COCHONNEAU G., HIEZ G., SECHET P. & Y. L'HOTE (1993). M.V.R. 1.5. Manuel de l'utilisateur de la méthode du vecteur régional. ORSTOM.

CONGO (1981). Annales des précipitations journalières du Congo de l'origine des stations à 1965. Ouagadougou - Burkina-Faso. CIEH - ORSTOM. 1026 p.

CONGO (1989). Annales des précipitations journalières du Congo de 1966 à 1980. Direction de l'Hydraulique - Brazzaville. CIEH - ASECNA - ORSTOM. 642 p.

DUBREUIL P., CHAPERON P., GUISCAFRE J & HERBLAUD J. (1972). Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux de l'Office de Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer : Années 1951-1969. ORSTOM, Paris, 916 p.

GABON (1979). Annales des précipitations journalières de la République du Gabon de l'origine des stations à 1965. CIEH - Ministère de la Coopération - ORSTOM. 404 p.

GABON (1989). Annales des précipitations journalières du Gabon de 1966 à 1980. Direction de l'Eau - Libreville. CIEH - ASECNA - ORSTOM. 279 p.

HUBERT P. et CARBONNEL J.P. (1993). Segmentation des séries annuelles de débits de grands fleuves africains. Bulletin de liaison du CIEH, Ouagadougou, 92, pp 3-10.

I.N.E.A.C. (1951 à 1960). Bulletin climatologique annuel du Congo Belge et du Ruanda-Urundi. Années 1951 à 1959. Publication de l'Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo Belge (INEAC). Bureau climatologique. Bruxelles.

JANICOT S. (1990). Variabilité des précipitations en Afrique de l'ouest et circulations quasi-stationnaires durant une phase de transition climatique. Thèse de doctorat, Univ. Paris 6, 600 p.

LERIQUE J. (A paraître). Fleuves et rivières du Gabon. Collection Monographies Hydrologiques de l'ORSTOM.

LEROUX M. (1983). Le climat de l'Afrique tropicale. Thèse d'Etat, Dakar - Université de Dijon. 3 tomes, 1427 p.

MAHE G. (1993). Les écoulements fluviaux sur la façade atlantique de l'Afrique. Etude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle, analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes. Thèse, Université Paris-Sud-Orsay/ORSTOM, Collection Etudes et Thèses, Ed. ORSTOM, 438 p.

MAHE G., L'HOTE Y. & OLIVRY J.C. (1993). Regional rainfall variations in West and Central Africa. 1951-1989. Submitted to Global and Planetary Change.

MAHE G., DELCLAUX F. & CRESPY A. (1994). Elaboration d'une chaîne de traitement pluviométrique et application au calcul de lames d'eau précipitées (bassin-versant de l'Ogooué au Gabon). Soumis à Hydrologie Continentale, 30 p.

NICHOLSON S.E., KIM J. and HOOPINGARNER J. (1988). Atlas of african rainfall and its interannual variability. Department of Meteorology, Florida State University, Tallahassee ,Florida, USA, 237 p.

N.O.A.A. (1949 à 1985). Monthly climatic data for the world. Prepared in cooperation with the World Meteorological Organization. NOAA, National Environmental Satellite, Data and Information Service. National Climatic Data Center, Asheville, North Carolina, de 1949 à 1985.

N.O.A.A. (1975). World weather records, vol.5, 1961 - 1970. Africa. US Department of Commerce, NOAA.

OLIVRY J.C. (1986). Fleuves et rivières du Cameroun. Thèse d'Etat. MESRES-ORSTOM. Collection "Monographies hydrologiques ORSTOM" n° 9. Paris. 733 p. 360 tableaux. 2 cartes.

OLIVRY J.C., BRICQUET J.P. et MAHE G. (1993). Les études du PEGI sur le bassin du Congo-Zaïre dans le contexte déficitaire des ressources en eau de l'Afrique humide. In : Colloque "Grands bassins fluviaux péri atlantique". Nov. 1993, ORSTOM, Paris, 13 p.

PINI E. (1970). METEO CONGO. Bulletin de données climatologiques concernant l'année 1961. République démocratique du Congo. Service météorologique. Kinshasa, 63 p.

PINI E. & BERRUEX M. (1961). METEO CONGO. Bulletin de données climatologiques de l'année 1960. République démocratique du Congo. Service météorologique. Léopoldville, 41 p.

WAUTHY B. (1983). Introduction à la climatologie du golfe de Guinée. Océanographie Tropicale, 18, 2 : 103-108.