

CARACTÉRISATION SPATIO-TEMPORELLE DU RÉGIME PLUVIOMÉTRIQUE DU HAUT BASSIN DU FLEUVE SÉNÉGAL DANS UN CONTEXTE DE VARIABILITÉ CLIMATIQUE

Ansoumana BODIAN ⁽¹⁾, **Honoré DACOSTA** ⁽²⁾ et **Alain DEZETTER** ⁽³⁾

(1) Faculté des Lettres et des sciences Humaines, Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop, DAKAR, SÉNÉGAL / DGPRE-Hydrologie, BP 14484 DAKAR PEYTAVIN, SÉNÉGAL.

Courriel : dioung2001@yahoo.fr

(2) Faculté des Lettres et des sciences Humaines, Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop, DAKAR, SÉNÉGAL. Courriel : honore.dacosta@ucad.edu.sn

(3) IRD, UMR HydroSciences Montpellier, Université de Montpellier 2, case MSE, Place Eugène Bataillon, 34095 MONTPELLIER cedex 5, FRANCE. Courriel : alain.dezetter@msem.univ-montp2.fr

RÉSUMÉ : Les écoulements et par conséquent les ressources en eau constituent la réponse des bassins versants aux impulsions pluviométriques. En Afrique de l'Ouest et Centrale, on assiste depuis les années 1970 à une sécheresse sans précédent, ainsi qu'à une grande variabilité spatiale et temporelle des pluies, caractéristique du domaine tropical. L'objectif de ce travail est de définir la variabilité spatio-temporelle des précipitations à l'échelle du haut-bassin du fleuve Sénégal à partir des données de dix stations de référence. Le choix des stations obéit à des critères de qualité des données (lacunes peu nombreuses) et de proximité avec le bassin versant. Dans un premier temps, des tests statistiques d'homogénéité ont été appliqués aux séries de pluies annuelles de l'origine des stations à 2005. Les séries analysées présentent toutes des ruptures. Sur les dix stations étudiées, huit présentent une rupture comprise entre 1960 et 1970 et les déficits ultérieurs varient entre 12 et 24 %. À l'échelle mensuelle, après reconstitution des données manquantes, il apparaît que les précipitations ont diminué significativement pour presque tous les mois entre les deux périodes. À l'échelle journalière, l'analyse des fractions pluviométriques journalières met en évidence une tendance à la diminution du cumul annuel moyen des pluies supérieures à 40 mm (qui sont considérées comme les grosses pluies) à partir des années de rupture. Nous avons ensuite caractérisé la variabilité spatiale des précipitations annuelles moyennes sur 30 et 10 ans, puis les écarts par rapport à la décennie de référence 1961-1970. Il apparaît ainsi que le sud du bassin présente les excédents les plus forts durant les périodes excédentaires, mais aussi les déficits les plus élevés en périodes déficitaires.

MOTS-CLÉS : régime pluviométrique, tests d'homogénéité, variabilité climatique, fraction pluviométrique, fleuve Sénégal.

ABSTRACT: Runoff and consequently water resources constitute the response of watersheds to pluviometric impulses. In Central and West Africa, one attends since the 1970s with a without precedent dryness just as a great space and temporal variability of the rainfall, characteristic of the tropical field. The objective of this work is to define this space-time variability of precipitations on the scale of the upper basin of the Senegal River starting from the data of ten reference stations. The choice of the stations follows criteria of data quality (weak gaps) and proximity to the catchment area. Initially, the statistical tests of homogeneity were applied to the series of annual rainfalls from the origin of the stations until 2005. The analyzed series all present ruptures. Eight of the ten studied stations present a rupture ranging between 1960 and 1970 and the subsequent deficits vary from 12 % to 24 %. At a monthly time step, after reconstitution of the missing data, it appears that rainfall decreases significantly for almost all months between the two periods. At a daily time step, the analysis of the daily pluviometric fractions highlights a tendency to the reduction of the mean annual amount of the rains higher than 40 mm (which are regarded as the heavy rains) as from the years of ruptures. We also characterized the space variability of the mean annual rainfall for periods of 30 or 10

years and then the variations are compared to the period of reference 1961-1970. This shows that the south of the basin presents the most significant surpluses during the surplus periods, but also the most significant deficits in overdrawn periods.

KEY-WORDS: pluviometric mode, statistical tests for homogeneity, climatic variability, pluviometric fraction, Senegal River.

I - INTRODUCTION

Long de 1790 km, le fleuve Sénégal draine un bassin versant de 337000 km², à cheval sur quatre pays qui sont, d'amont en aval, la Guinée, le Mali, le Sénégal et la Mauritanie (Fig. 1).



Figure 1 - Situation du haut bassin du fleuve Sénégal en Afrique de l'Ouest.

Le Sénégal naît dans le massif du Fouta-Djalou, de la confluence du Bafing et du Bakoye, puis il reçoit la Falémé. Ces trois cours d'eau guinéens forment le haut bassin, qui produit plus

de 80 % des apports du fleuve à Bakel (F. BAMBA et E.H.C. BALDÉ, 2005). Cependant, malgré son importance, le fonctionnement hydrologique du haut bassin est encore insuffisamment connu. La connaissance de la ressource en eau et de ses variations saisonnières présente des faiblesses, particulièrement dans la partie guinéenne du bassin, où les séries de données hydrologiques sont tronquées ou manquantes. Cette situation est due à l'histoire de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS), qui assure la gestion du bassin versant. En effet, de 1972 à 2005, la Guinée s'est tenue à l'écart de cette organisation, ce qui s'est traduit par une dégradation de la qualité du réseau et des relevés hydrométriques dans le haut-bassin. Depuis 2006, la Guinée a réintégré l'OMVS. Avec l'appui de la Banque Mondiale, celle-ci s'est attelée au renforcement du réseau hydrométrique et de son suivi. Pour accélérer l'intégration de la Guinée, l'OMVS prévoit la mise en place d'ouvrages dits de seconde génération, des barrages destinés à accroître le potentiel hydro-électrique du bassin et à réguler les affluents.

La mise en place de ces ouvrages nécessite des études hydrologiques. Comme le rappelle G. MAHÉ (2006), l'analyse des précipitations est un préalable à toute étude hydrologique. En effet, les écoulements constituent une réponse aux impulsions pluviométriques, en fonction de différents facteurs (la taille du bassin versant, l'organisation du réseau hydrographique, le relief, la géologie, les sols et le couvert végétal). Depuis les années 1970, le bassin du fleuve Sénégal, à l'instar de toute la bande intertropicale, subit un bouleversement climatique qui s'est traduit par une diminution générale des précipitations.

L'objectif de ce travail est de préciser les caractères des précipitations sur le haut bassin du fleuve Sénégal, leur évolution temporelle et leur distribution spatiale.

II - DONNÉES ET MÉTHODES

1) Données disponibles

Le domaine d'étude se trouve entre 10°30' et 12°30' de latitude Nord et entre 12°30' et 9°30' de longitude Ouest. Il s'étend sur la Guinée Conakry et le Mali avec une superficie de 21 290 km² (Fig. 1). Les données proviennent des Directions de la Météorologie Nationale (DMN) de ces deux pays. Elles sont de qualité et de durée variables, notamment en fonction du pays. Cela a nécessité un choix des stations basé sur trois critères : (1) la taille de l'échantillon ; (2) leur position géographique par rapport au bassin ; (3) la qualité des données (faiblesse des lacunes dans les séries observées). Sur la base de ces critères, dix stations pluviométriques ont été retenues comme stations de référence pour cette étude (Tab. I) ; la répartition spatiale de ces stations est donnée sur la figure 2. Parmi ces dix stations, seulement trois (Bafing Makana, Tougué et Dalaba) se trouvent à l'intérieur du bassin. Le choix des autres stations s'explique par leur proximité avec le bassin.

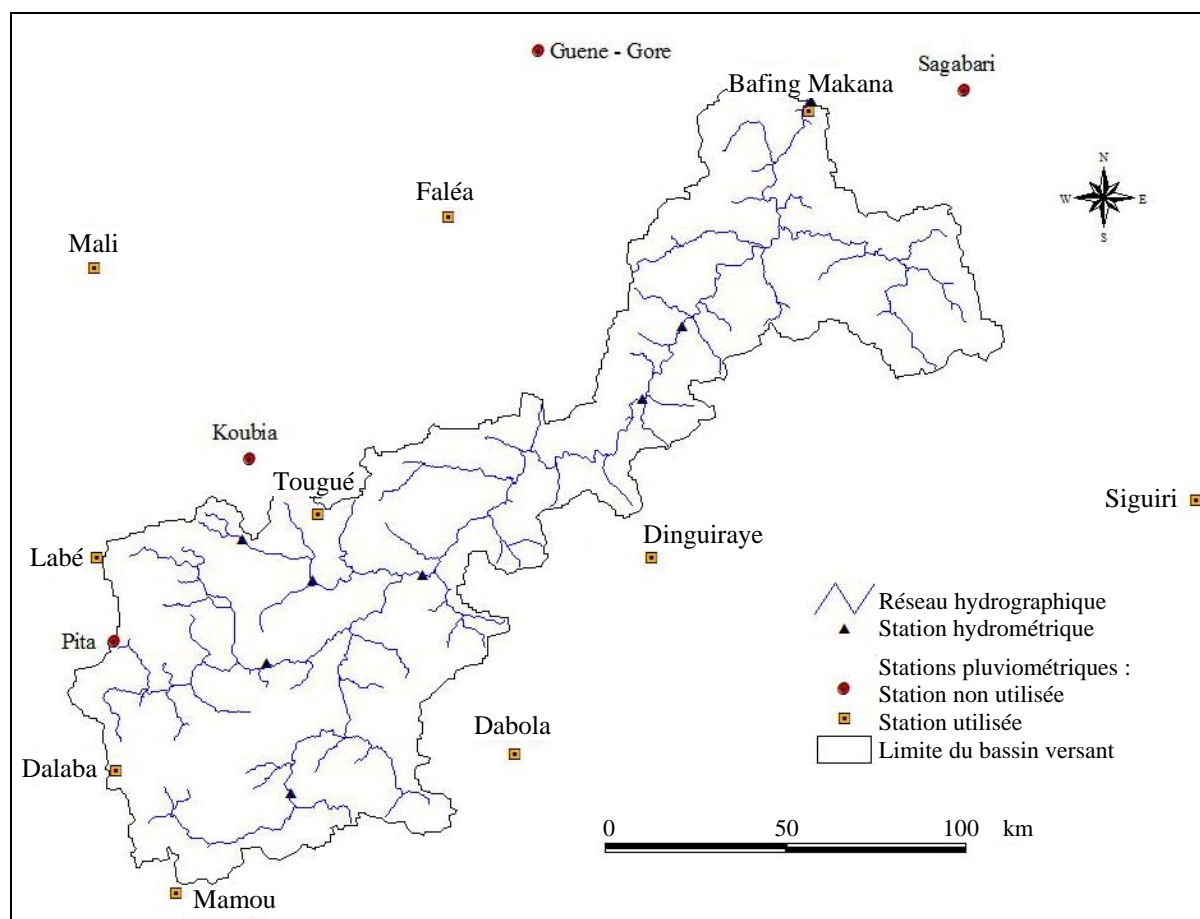
2) Méthodologie

L'approche adoptée comporte les opérations suivantes : (1) critique et homogénéisation des données, (2) détection de rupture au sein des séries pluviométriques annuelles, (3) caractérisation de la variabilité des précipitations mensuelles et journalières par rapport aux dates de rupture, (4) représentation spatiale des précipitations.

Tableau I - Liste des stations retenues pour l'étude.

Station	Altitude (m)	Date début	Date fin *	% lacunes **	P. an. moy. (mm)
Bafing Makana	239	01/01/1963	01/09/1997	37,5	1 190
Dabola	438	01/01/1933	01/10/2001	14,6	1 514
Dalaba	1 202	02/01/1934	31/12/2003	7,0	1 977
Dinguiraye	490	16/01/1922	16/12/2005	43,7	1 375
Faléa	455	01/03/1956	31/12/2003	30,4	1 433
Labé	1 025	16/01/1923	16/12/2006	0,7	1 626
Mali	1 464	16/01/1931	16/12/2005	26,2	1 625
Mamou	782	02/01/1921	31/12/2008	1,9	1 881
Siguiiri	362	02/01/1922	30/06/2007	1,7	1 272
Tougué	86	16/01/1923	16/08/2004	22,3	1 559

P. an. moy. : précipitations annuelles moyennes fournies par les valeurs mesurées. * : date de fin de la chronique qui nous a été fournie. ** : pourcentage des jours sans mesure disponible.

**Figure 2 - Répartition spatiale des postes pluviométriques.**

a. Critique et homogénéisation des données

Compte tenu de la disparité des périodes d'observation des différentes stations pluviométriques, l'homogénéité des données annuelles a été assurée par la méthode du vecteur des indices de précipitation (Y. BRUNET-MORET, 1971, 1977). Cette méthode s'appuie sur l'établissement d'un vecteur régional, lequel est défini comme " une série chronologique

d'indices pluviométriques, issus de l'extraction de l'information la plus "probable" – au sens de la plus fréquente – contenue dans les données d'un ensemble de stations d'observation groupées en "région". Le vecteur régional est donc une suite chronologique d'indices annuels de précipitations prenant en compte les effets de persistance, de tendance, de pseudo-cycles de la zone climatique, mais homogène dans le temps " (Y. BRUNET-MORET, 1979). L'indice Z_i d'une année i est calculé, avec les observations de toutes les stations prises en compte et dont le nombre peut varier d'une année à l'autre, par la formule :

$$Z_i = \sum_{a=1}^{a=n} (P_{ai} / P_{am}) / n$$

où P_{ai} est la pluie annuelle de l'année i à la station a , P_{am} la moyenne de la série des pluies annuelles à la station a et n le nombre de stations.

Pour chaque station considérée, il est possible de calculer le rapport entre l'indice trouvé pour la station et l'indice régional. La moyenne des rapports ainsi établis fournit un coefficient permettant de calculer, pour chaque année, les précipitations annuelles à la station à partir des précipitations connues pour l'ensemble de la région. La variabilité des indices des stations par rapport à l'indice régional constitue évidemment une source d'erreur non négligeable sur les reconstitutions (Fig. 3). Mise en œuvre à l'aide du logiciel Hydraccess, cette méthode a servi à homogénéiser les chroniques de pluies annuelles sur la période 1923-2005.

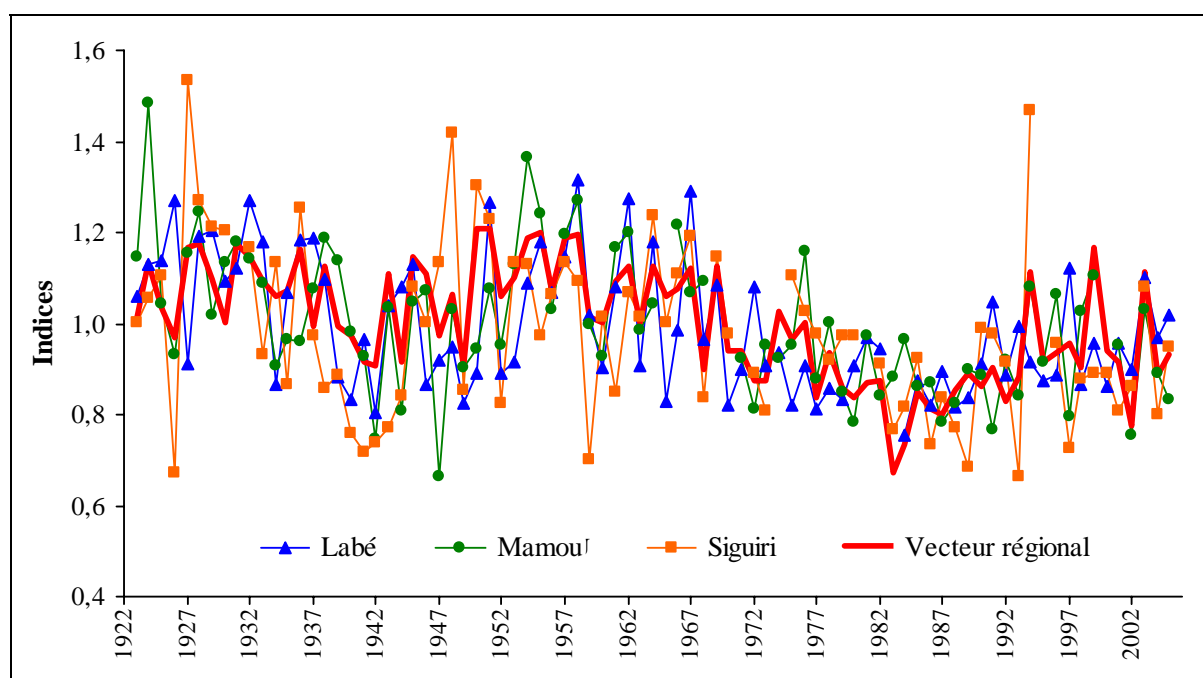


Figure 3 - Vecteur des indices annuels de précipitation et indices des stations de Labé, Mamou et Siguiri sur la période 1923-2005.

b. Détection des ruptures au sein des séries pluviométriques annuelles

Les séries chronologiques homogénéisées, avec les années lacunaires reconstituées, ont été analysées à l'aide du logiciel KhronoStat (IRD, 1998) en vue de détecter une éventuelle rupture liée à une non-stationnarité. Nous avons ainsi appliqué différents tests d'homogénéité (homogénéité étant comprise ici dans le sens d'absence de rupture dans la série) : test de

MANN WHITNEY modifié par A.N. PETTITT (1979), statistique U de A.T. BUISSAND (1982, 1984), procédure de A.F.S. LEE et S.A. HEGHINIAN (1977) et ellipse de contrôle de P. BOIS (1971, 1986). Tous ces tests sont adaptés à la détermination d'une rupture unique. Ils sont d'usage très répandus, comme en témoigne l'abondante bibliographie qui existe dans la littérature scientifique sur leurs différentes applications. Nous n'allons donc pas les décrire en détail dans cet article (voir IRD, 1998). Il faut juste rappeler que pour l'ensemble de ces tests, l'hypothèse nulle H_0 correspond à l'absence de rupture. Ils sont particulièrement sensibles à un changement de moyenne et, si l'hypothèse nulle d'homogénéité de la série est rejetée, ils proposent une estimation de la date de rupture.

c. Caractérisation de la variabilité des précipitations mensuelles et journalières par rapport aux dates de rupture

L'étude des hauteurs mensuelles et journalières de précipitations pose le problème de l'hétérogénéité des données de base (H. DACOSTA, 1989). En effet, d'une part, toutes les stations n'ont pas la même période d'observation et, d'autre part, pour une même station, il peut y avoir des lacunes, d'où des séries de données mensuelles et journalières de tailles différentes. Pour ces raisons, la caractérisation des pluies mensuelles et journalières s'est limitée aux stations de Mamou, Siguiri et Labé, dont les séries de données sont presque complètes. Pour ces stations, les quelques valeurs mensuelles manquantes (en 1923, 1924 et 2005 pour Labé, en 2000 pour Mamou) ont été reconstituées par la méthode du vecteur des indices de précipitation appliquée à l'échelle mensuelle, en traitant séparément chaque mois de l'année.

L'influence de la sécheresse sur les pluies journalières a été abordée par l'étude des fractions pluviométriques journalières (J. ALBERGEL, 1986 ; H. DACOSTA, 1989). La méthode consiste à répartir le total annuel en trois fractions : F1, somme des précipitations journalières comprises entre 0 et 20 mm ; F2, somme des précipitations journalières comprises entre 20 et 40 mm et F3, somme des précipitations journalières supérieures à 40 mm.

d. Répartition spatiale des précipitations

La variation spatiale des précipitations a été analysée à partir du fichier homogénéisé des pluies annuelles. Les précipitations annuelles moyennes sur 10 ou 30 ans ont été spatialisées en utilisant la méthode d'interpolation *IDW* (inverse distance pondéré) du logiciel ArcView 3.2a. À partir de là, pour chaque décennie considérée, les écarts par rapport à la décennie de référence 1961-1970 ont été calculés et représentés en valeur relative. Le choix de la décennie 1961-1970 comme référence se fonde sur le fait qu'elle présente les valeurs annuelles moyennes les plus proches de celles trouvées pour l'ensemble de la série de mesures.

III - RÉSULTATS

1) Critique et homogénéisation des pluies annuelles

Pour chaque station, en complément des données mesurées, la méthode du vecteur des indices annuels de précipitation permet de disposer de données calculées (Fig. 4). Dans les fichiers traités, les années lacunaires ont été renseignées par les données ainsi reconstituées.

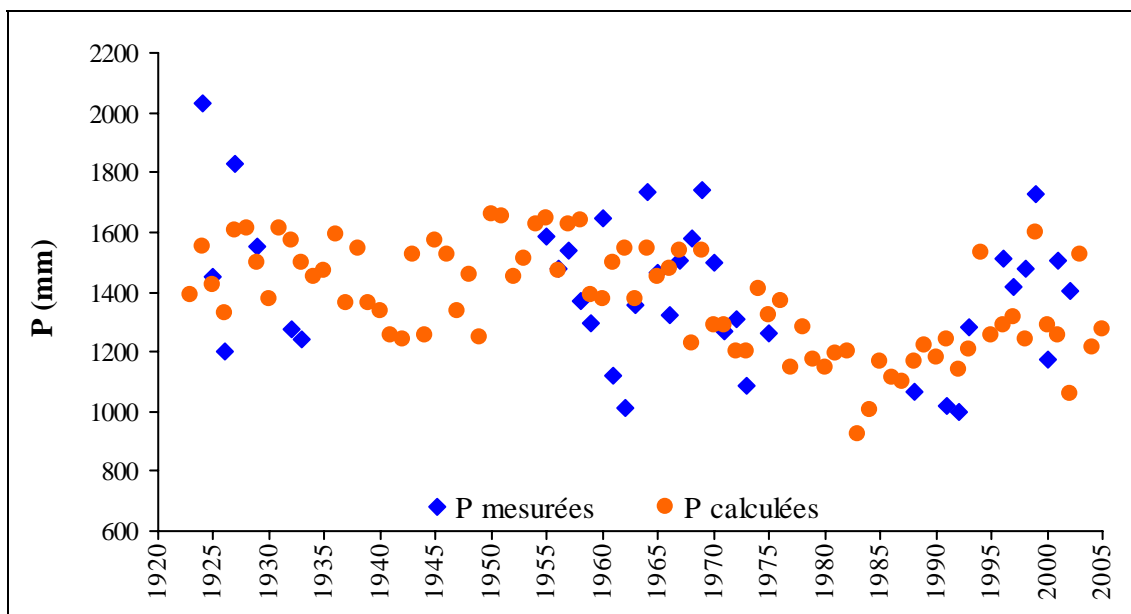


Figure 4 - Précipitations annuelles mesurées et calculées à la station de Diguiraye sur la période 1923-2005.

Le coefficient de corrélation entre les données mesurées et calculées est de 0,46 seulement, ce qui fixe les limites de la méthode.

2) Tests d'homogénéité sur les pluies annuelles

Les résultats des tests sont synthétisés dans le tableau II et la figure 5 présente les ellipses de BOIS. L'examen de ces résultats permet de constater que toutes les séries analysées présentent une rupture, à une date allant de 1957 (Mali) à 1976 (Bafing Makana). Pour huit des dix stations de référence la date de rupture s'est produite entre 1967 et 1970. Ces observations corroborent les résultats du programme ICCARE de l'IRD (É. SERVAT *et al.*, 1998, 1999), de H. LAAROUBI (2007) et de R. MALOU (2004), qui situent la plupart des ruptures entre la fin de la décennie 1960 et le début de la décennie 1970 en Afrique occidentale et centrale. Entre les deux périodes, le déficit de la seconde est compris entre 12 %, à Siguiri et Dinguiraye, et 24 %, à Labé. Il est de 14 % à Mamou.

Tableau II - Synthèse des résultats des tests d'homogénéité sur les pluies annuelles (1923-2005).

	Année de rupture	Moyenne avant rupture	Moyenne après rupture	Écart (mm)	Déficit (%)
Bafing, Makana	1976	1271	1039	232	18
Dabola	1967	1624	1383	241	15
Dalaba	1969	2197	1688	509	23
Dinguiraye	1970	1449	1273	176	12
Faléa	1967	1582	1256	326	21
Labé	1969	1969	1489	480	24
Mali	1957	1759	1527	232	13
Mamou	1969	2004	1719	285	14
Siguiri	1970	1340	1177	163	12
Tougué	1967	1685	1409	276	16

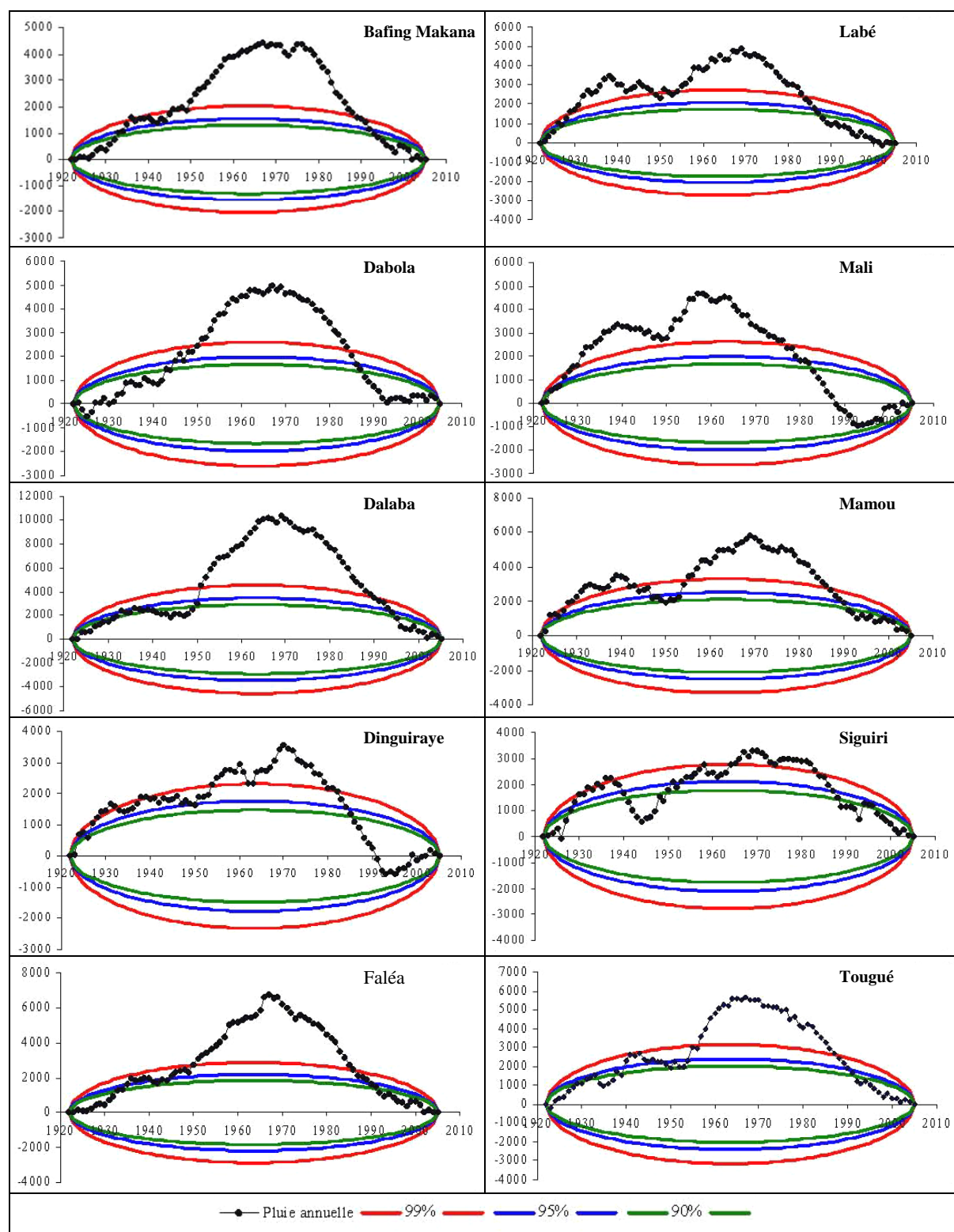


Figure 5 - Ellipses de BOIS sur les pluies annuelles (1923-2005).

3) Variation des pluies mensuelles

Les variations de la pluviométrie mensuelle sont analysées à partir des données des trois stations principales : Mamou, Labé et Siguiri (Fig. 6).

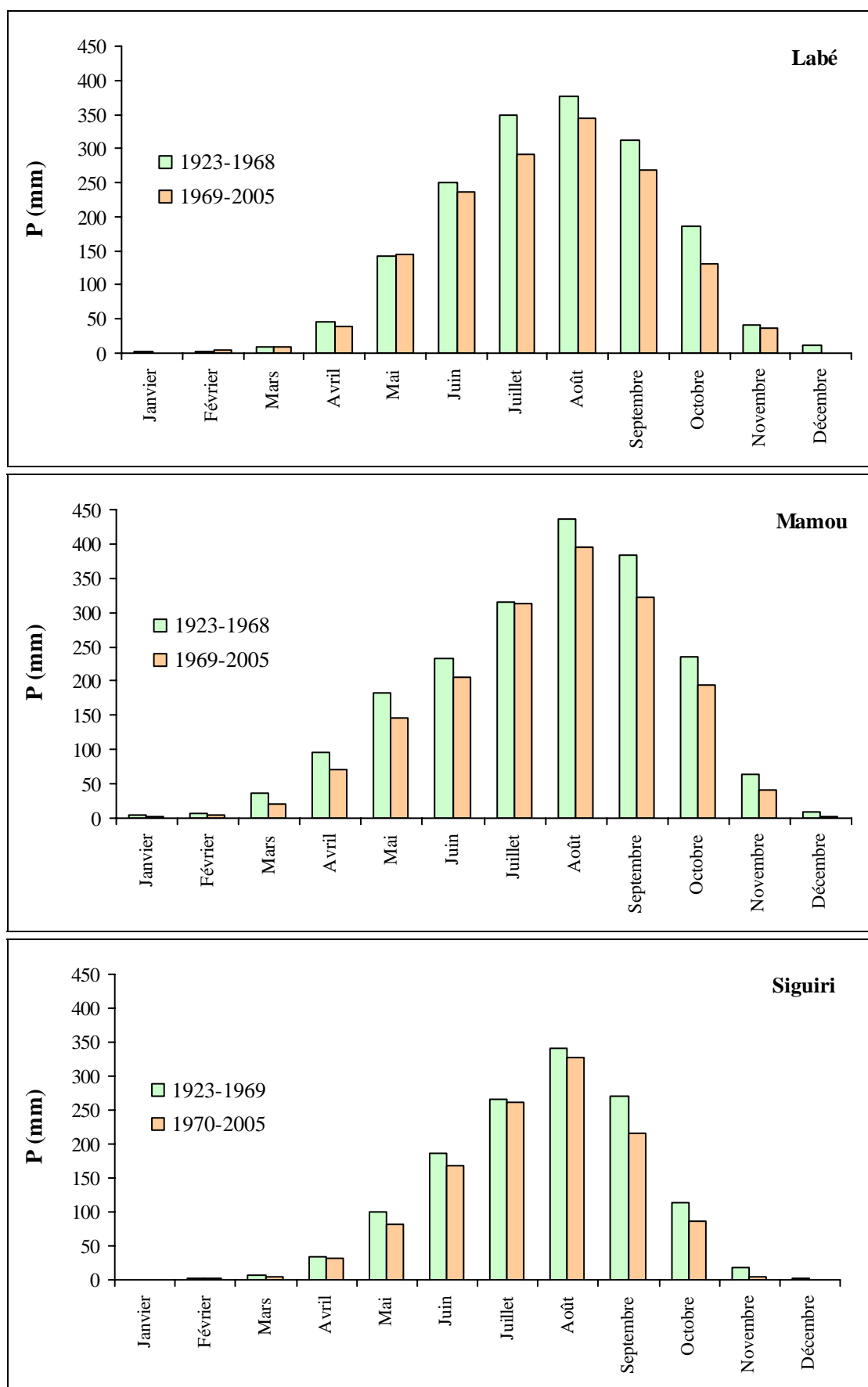


Figure 6 - Précipitations mensuelles moyennes avant et après rupture aux stations de Labé, Mamou et Siguiri.

Pour la quasi-totalité des mois, les précipitations ont diminué entre les deux périodes. La diminution est particulièrement évidente en dehors de la saison sèche (donc d'avril à novembre), sauf pour le mois de mai à Labé, pour lequel les valeurs avant et après rupture sont cependant presque identiques.

4) Variation des fractions pluviométriques

L'étude des précipitations annuelles et mensuelles a clairement montré la diminution des totaux annuels et mensuels durant la période sèche actuelle, sans toutefois décrire le phénomène en recherchant quels sont les paramètres qui ont varié de façon significative. Nous avons dégagé l'influence de la sécheresse sur les pluies journalières par l'étude des fractions pluviométriques journalières. L'analyse des résultats obtenus (Tab. III) montre qu'elles évoluent de façon indépendante. F1 et F2 varient faiblement, avec des coefficients de variations compris entre 0,16 et 0,23. Par contre F3 varie beaucoup plus avec des coefficients de variation plus élevé (Tab. III). Ainsi une tendance à la diminution du cumul des pluies supérieures à 40 mm (qui sont considérées comme les grosses pluies) semble se dessiner à partir des années de rupture (Fig. 7 et 8). En outre, cette fraction F3, à elle seule, explique en moyenne, pour l'ensemble des trois stations, 60 % de la variation de la pluviométrie annuelle. Ces résultats sont en accord avec ceux présentés pour le Burkina-Faso par J. ALBERGEL (1986).

Tableau III - Quelques paramètres statistiques des fractions pluviométriques.

	Période 1925-2004			Période avant rupture			Période après rupture		
	0-20	20-40	>40	0-20	20-40	>40	0-20	20-40	>40
Labé									
Moyenne	677	575	365	691	592	442	660	554	267
Écart-type	110	123	182	126	125	188	85,7	118	115
Coeff. de variation	0,16	0,21	0,50	0,18	0,21	0,43	0,13	0,21	0,43
Mamou									
Moyenne	764	666	430	783	728	479	738	597	382
Écart-type	111	153	184	122	157	218	83,2	122	143
Coeff. de variation	0,14	0,23	0,43	0,16	0,22	0,46	0,11	0,20	0,37
Sigiri									
Moyenne	459	451	370	465	457	423	451	442	293
Écart-type	74,6	103	186	97,6	118	186	58,4	93,9	157
Coeff. de variation	0,16	0,23	0,50	0,21	0,26	0,44	0,13	0,21	0,54

Seules les années complètes pour les trois stations sont considérées, L'année 2000, lacunaire à Labé, n'a pas été prise en compte.

5) Caractérisation spatiale des précipitations

a. Cartographie des précipitations annuelles moyennes calculées sur des périodes de 30 et de 10 ans

La variabilité spatiale des précipitations est illustrée par la cartographie des isohyètes moyens sur des périodes de 30 et 10 ans (Fig. 9 et 10). La figure 9 met en outre en exergue une baisse remarquable de la pluviométrie au cours de la période d'étude, marquée par une forte diminution des zones à pluviométrie supérieure à 2000 mm.

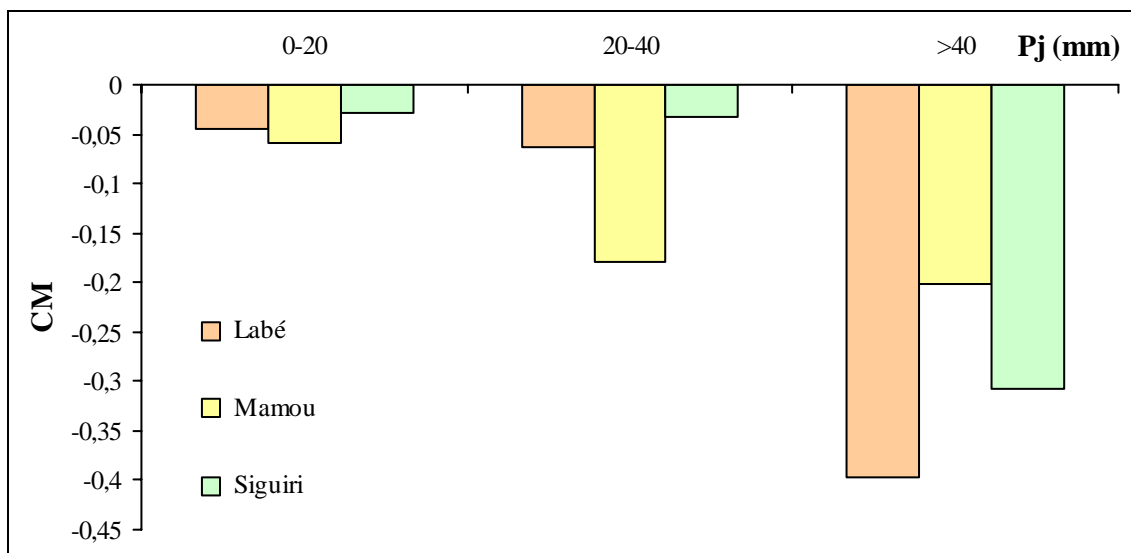


Figure 7 - Changements de moyenne (CM) pour différentes fractions pluviométriques.

Pj : précipitations journalières (< 20 mm, 20 à 40 mm, > 40 mm). CM = rapport moins un entre la valeur annuelle moyenne sur la période après rupture et celle sur la période avant rupture.

Pour les cinq périodes de 30 ans étudiées, la forme générale des isohyètes se maintient sur l'ensemble du bassin, mais on note leur glissement continu vers le sud. La dynamique pluviométrique constatée à l'échelle trentenaire reste valable aussi pour le pas de temps décennal (Fig. 10). Ainsi les fluctuations des isohyètes sur l'ensemble du bassin de 1923 à 2000 montrent globalement deux décennies pluvieuse (1931-1940 et 1951-1960), avec des isohyètes oscillant entre 1270 à 1455 mm au nord et 2010 à 2500 mm au sud du bassin. À partir de la décennie 1961-1970, la pluviométrie se caractérise par une légère descente des isohyètes vers le sud. Cette tendance à la diminution des précipitations s'accroît dans la décennie 1971-1980. Pour cette période, les isohyètes varient de 900 à 1085 mm au nord et de 1455 à 1640 mm au sud. Quelques constats ressortent de cette analyse spatiale des pluies annuelles :

- Tout d'abord, la cartographie des isohyètes (trentenaires et décennaux) montre une variabilité spatiale de la pluviométrie caractérisée par une augmentation des précipitations vers le sud. Cette situation s'explique pour partie par le fait que la région sud est la première à être touchée par la mousson, laquelle y séjourne donc plus longtemps. Mais l'effet orographique du massif du Fouta-Djalou, qui fait obstacle à la progression de la mousson vers le nord, accentue encore les précipitations. La région reçoit ainsi des pluies particulièrement abondantes, ce qui lui vaut l'appellation de "château d'eau d'Afrique de l'Ouest" (A.A. SOW, 2007).
- Ensuite, il ressort une subdivision en deux périodes distinctes, dont l'une est humide et l'autre sèche, confirmant ainsi les observations faites au niveau de l'analyse de la variation temporelle des pluies annuelles.

b. Cartographie des écarts par rapport la décennie de référence

La figure 11 permet de suivre l'évolution spatiale des écarts au niveau du haut bassin. L'examen de cette figure montre que les zones les plus pluvieuses (c'est-à-dire le sud du bassin) présentent les excédents les plus importants durant les périodes excédentaires (décennies 1931-1940, 1941-1950 et 1951-1960), mais aussi les déficits les plus importants en périodes déficitaires (décennies 1971-1980, 1981-1990 et 1991-2000).

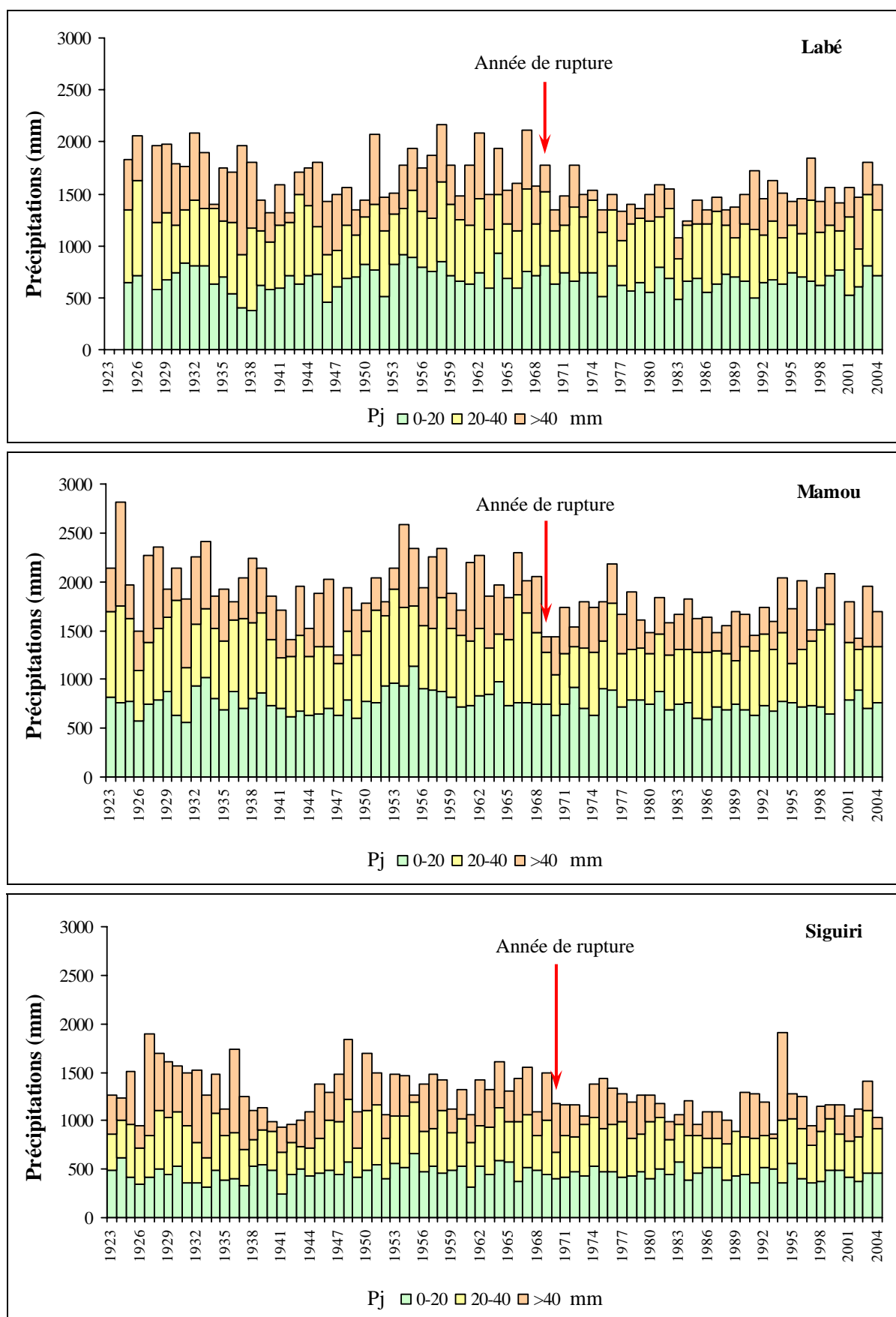


Figure 8 - Valeurs annuelles de différentes fractions pluviométriques (précipitations journalières < 20 mm, de 20 à 40 mm et > 40 mm).

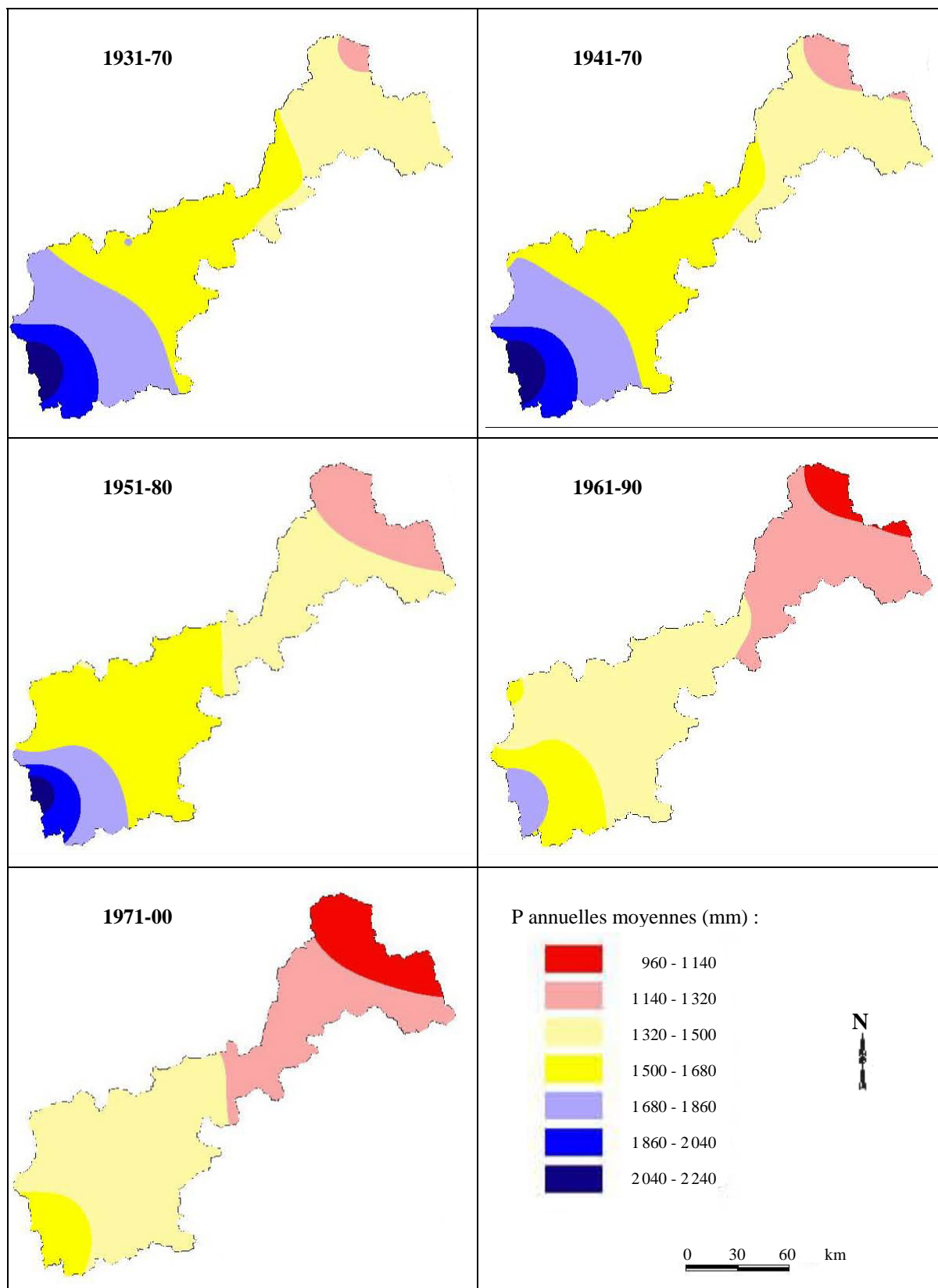


Figure 9 - Distribution spatiale des précipitations annuelles moyennes calculées sur des périodes de 30 ans.

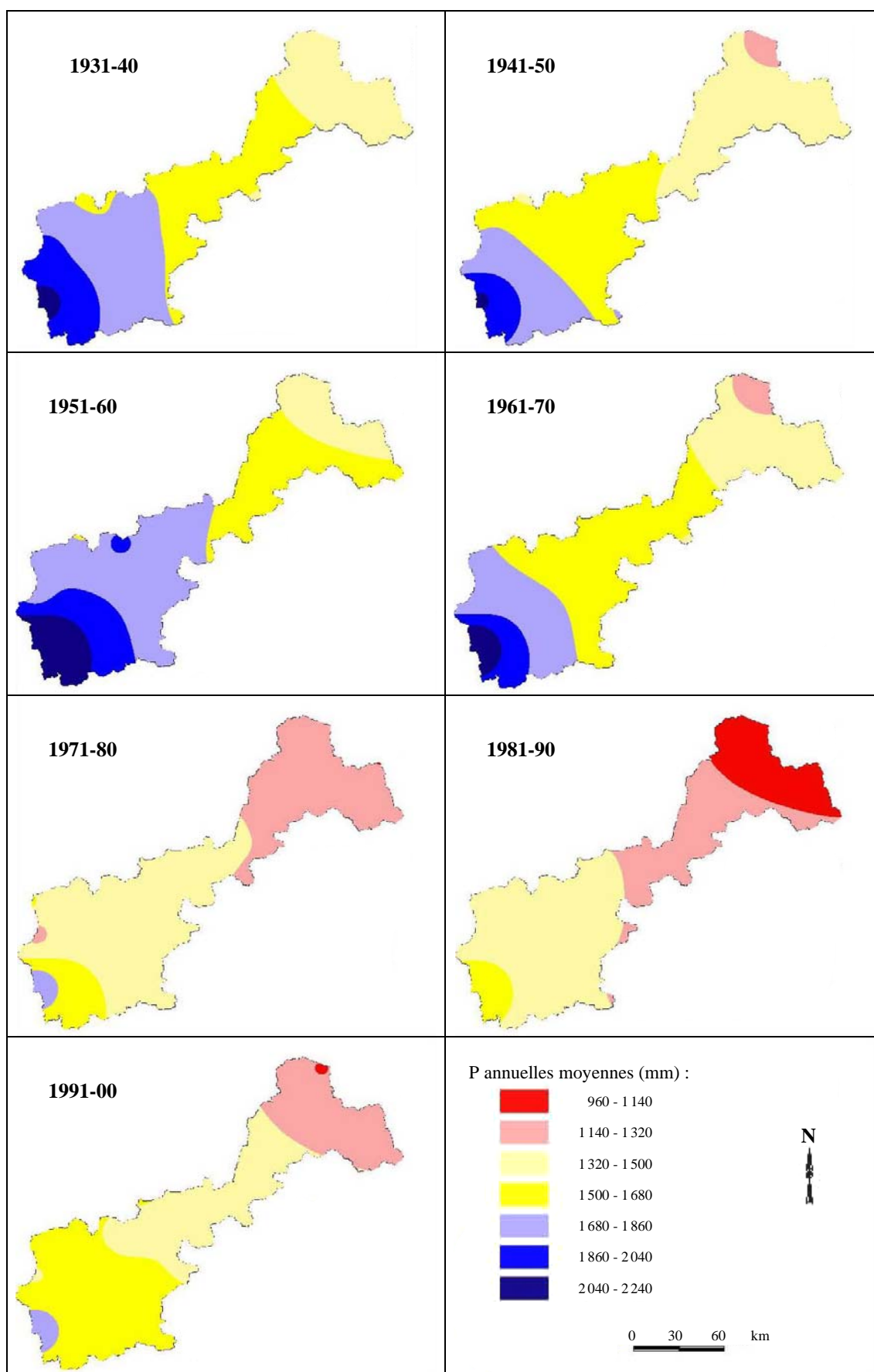


Figure 10 - Distribution spatiale des précipitations annuelles moyennes calculées sur des périodes de 10 ans.

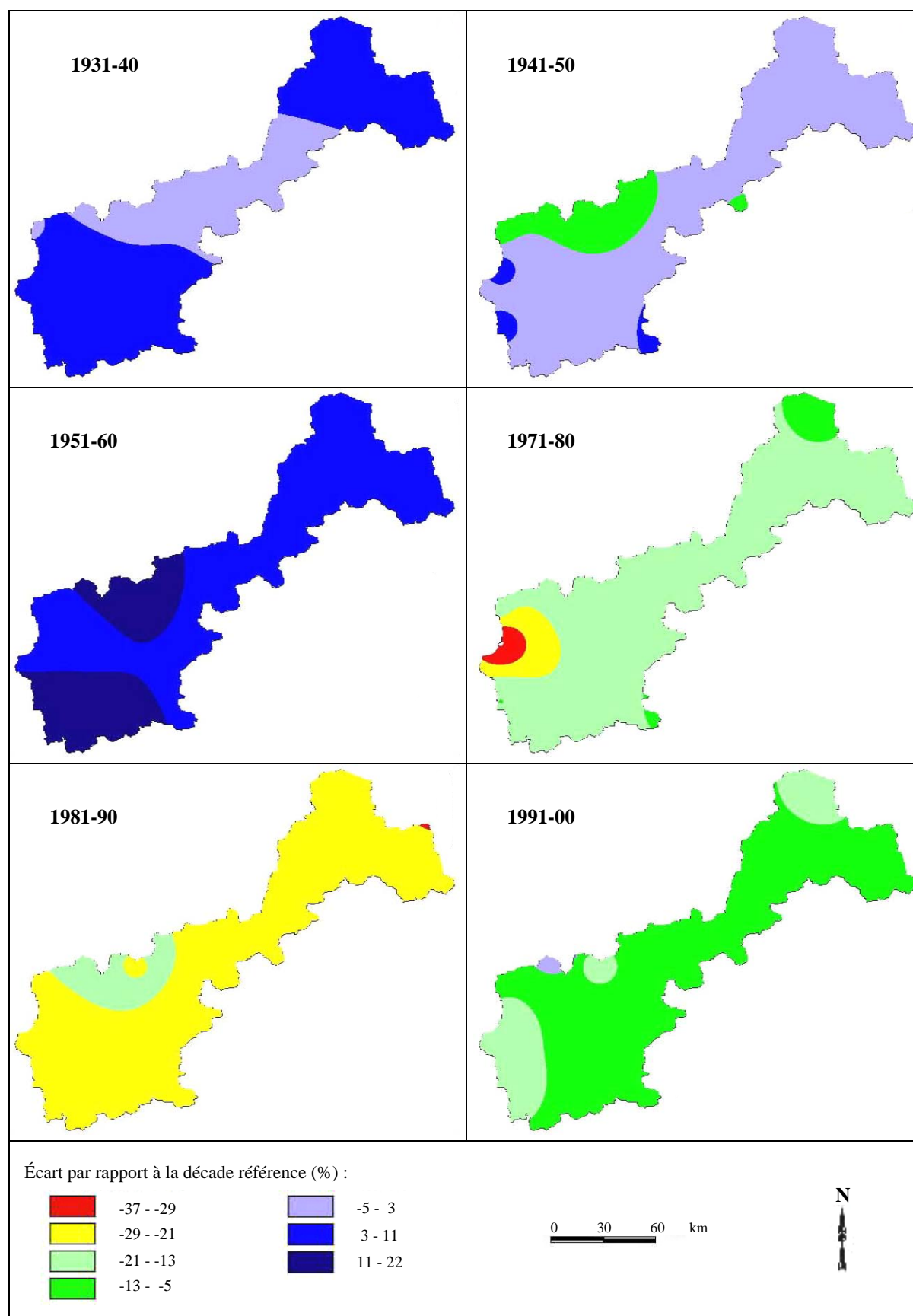


Figure 11 - Répartition spatiale des écarts relatifs (en %) des précipitations annuelles moyennes sur des périodes de 10 ans par rapport à la décennie de référence.

IV - CONCLUSION

Pour les dix stations considérées, l'analyse des données pluviométriques homogénéisées de la période 1923-2005 montre que les chroniques ne sont pas stationnaires et qu'elles ont subi une rupture dont la date est comprise entre 1957 (Mali) et 1976 (Bafing Makana). Pour huit des stations, les ruptures se sont produites de 1967 à 1970.

Le déficit des précipitations annuelles moyennes de la période après rupture par rapport à la période avant rupture varie de 12 % (Dinguiraye et Siguiri) à 24 % (Labé).

À l'échelle mensuelle, en travaillant sur les stations dont les chroniques sont les plus complètes (Mamou, Labé et Siguiri), on constate que les précipitations moyennes des mois les plus pluvieux sont presque systématiquement inférieures aux valeurs avant rupture, seul le mois de mai à la station de Labé faisant modestement figure d'exception.

L'influence de la sécheresse sur les pluies journalières se trouve mise en évidence par l'étude des fractions pluviométriques des trois stations principales. Une tendance à la diminution du cumul de pluies supérieures à 40 mm (qui sont considérées comme les grosses pluies) se dessine à partir des années de rupture.

Ces résultats confirment les propos de L. LE BARBÉ *et al.* (2002) qui affirme que le déficit des précipitations sur la période plus sèche après rupture est principalement lié à la diminution du nombre des événements se produisant au cœur de la saison des pluies.

Aux variations temporelles, s'ajoutent les variations spatiales des précipitations. Les fluctuations des isohyètes sur l'ensemble du bassin de 1931 à 2000 montrent globalement un glissement vers le sud. Cependant, la décennie récente (2001-2010) n'étant pas prise en compte dans cette étude, il serait intéressant d'intégrer cette période dans des recherches futures, afin de déterminer si la tendance à la hausse des précipitations constatée dans certaines régions du Sahel (principalement le Sahel central) par T. LEBEL et A. ALI (2009) prévaut dans notre zone d'étude.

Remerciements : Nous sommes reconnaissants à nos réviseurs, Pierre-Alain AYRAL et un collègue resté anonyme, des conseils qu'ils nous ont prodigués. Nous sommes en outre très redevables à Claude MARTIN de l'aide qu'il nous a apportée dans la phase de finalisation du texte. Enfin, nous remercions l'ensemble des structures qui nous ont fourni les données indispensables à la réalisation de ce travail.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBERGEL J. (1986) - Évaluation de la pluviométrie en Afrique Soudano-Sahélienne exemple du Burkina-Faso. *In : Colloque CIEH sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse* (Ouagadougou), 19 p.
- BAMBA F. et BALDÉ E.H.C. (2005) - *Étude du système guinéen actuel de contrôle des ressources en eau (quantité/qualité) en général et du fleuve Sénégal en particulier*. Rapport de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal, République de Guinée, 111 p.

- BOIS P. (1971) - *Une méthode de contrôle des séries chronologiques utilisées en climatologie et en hydrologie*. Laboratoire de Mécanique des Fluides. Université de Grenoble, section hydrologie, 49 p.
- BOIS P. (1986) - Contrôle des séries chronologies corrélées par l'étude du cumul des résidus. *Actes des Deuxièmes Journées Hydrologiques de l'ORSTOM* (Montpellier), p. 89-100.
- BRUNET-MORET Y. (1971) - Étude de l'homogénéité de séries chronologiques de précipitation annuelles par la méthode des doubles masses. *Cahiers ORSTOM*, série hydrologie, vol. VIII, n° 4, p. 3-33.
- BRUNET-MORET Y. (1977) - Test d'homogénéité. *Cahiers ORSTOM*, série hydrologie, vol. XIV, n° 2, p. 119-129.
- BRUNET-MORET Y. (1979) - Homogénéisation des précipitations. *Cahiers ORSTOM*, série hydrologie, vol. XVI, n° 3-4, p. 144-170.
- BUSHAND T.A. (1982) - Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology*, vol. 58, p. 11-27.
- BUSHAND T.A. (1984) - Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series. *Journal of Hydrology*, vol. 73, p. 51-69.
- DACOSTA H. (1989) - *Précipitation et écoulements sur le Bassin de la Casamance*. Thèse de 3^{ème} cycle, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 278 p.
- IRD (1998) - *KhronoStat version 1.0*. Logiciel, IRD, Montpellier.
URL : <http://www.hydrosciences.org/spip.php?article239>.
- LAAROUBI H. (2007) - *Étude hydrologique des bassins versants urbains de Rufisque*. Thèse de 3^{ème} cycle, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 308 p.
- LE BARBÉ L., LEBEL T. et TAPSOBA D. (2002) - Rainfall variability in West Africa during the years 1950-90. *Journal of Climate*, vol. 15, p. 187-202.
- LEBEL T. et ALI A. (2009) - Recent trends in the central and western Sahel rainfall regime (1990-2007). *Journal of Hydrology*, vol. 375, p. 52-64.
- LEE A.F.S. et HEGHINIAN S.A. (1977) - A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables. A bayesian approach. *Technometrics*, vol. 19, n° 4, p. 503-506.
- MAHÉ G. (2006) - *Variabilité pluie-débit en Afrique de l'Ouest et Centrale au 20^{ème} siècle : changements hydro-climatiques, occupation du sol et modélisation hydrologique*. Mémoire d'HDR, Université de Montpellier II, 160 p.
- MALOU R. (2004) - *Impact du climat sur les ressources en eau en zone soudano-sahélienne (Sénégal)*. Thèse de Doctorat d'État, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 147 p.
- PETTITT A.N. (1979) - A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, vol. 28, n° 2, p. 126-135.
- SERVAT É., PATUREL J.E., KOUAMÉ B., TRAVAGLIO M., OUEDRAOGO M., BOYER J.F., LUBÈS-NIEL H., FRITSCH J.M., MASSON J.M., MARIEU B. (1998) - Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. In : *Water Resources Variability in Africa during the XXth Century* (Abidjan'98

Conférence), É. SERVAT, D. HUGUES, J.M. FRITSCH, M. HULME édit., Publication AISH, n° 252, p. 323-337.

SERVAT É., PATUREL J.E., LUBÈS-NIEL H., KOUAMÉ B., MASSON J.M., TRAVAGLIO M. et MARIEU B. (1999) - De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale. *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 12, n° 2, p. 363-387.

SOW A.A. (2007) - *Hydrologie du Sud Est et de ses confins guinéo-maliens. Les bassins de la Gambie et de la Falémé*. Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 1232 p.

Article reçu le 1er juin 2011.

Accepté après révision le 15 juillet 2011.

Mis en ligne le 25 juillet 2011.