

EVOLUTION DES PRECIPITATIONS DANS L'ARC CUPRIFERE CONGOLAIS DURANT LA SECONDE MOITIE DU XX^{ème} SIECLE.

Rainfalls variability in the Congo's Copper belt during the second half of the XXth century

ASSANI Ali Arkamose*

ABSTRACT

The aim of this study is to analyse the variability and the stationarity of the rainfall data series for three stations (Kolwezi, Likasi and Lubumbashi) in the Congo's Copper belt during the second half of the last century (1950-1990) as well as their relationships with the southern oscillation index.

The analysis of rainfall variability by means of weighted moving average (The Hanning low pass filter) has revealed two great periods : before and after 1970. Before 1970, the rainfall variability is not synchronous in the three stations. At Kolwezi station, this period is characterized by the succession of a dry spell during the 1950s and a wet spell during 1960s. At Likasi station, these two decades were globally wet. At Lubumbashi, an alternation of dry and wet short periods is observed. After 1970, the rainfall variability is synchronous in the three stations. It is characterized by a dry period during the first half and the a period during the second half of 1970s. The 1980s was dry. However, at Kolwezi station, the second half of this decade was wet.

According to MANN-KENDALL and PETTTT tests, these sequences of wet and dry periods did not reveal a significant deviation of the averages of the precipitation series. This means that the series were stationary. The correlation analysis of these relationships between monthly precipitations and the southern oscillation index has shown that these two variables were significantly correlated for some months that were not the same for the three stations.

RESUME

Cette note a pour objectif d'analyser la variabilité temporelle et la stationnarité des séries pluviométriques dans l'arc cuprifère congolais (Kolwezi, Likasi et

* Section de géographie, Université du Québec à Trois-Rivières, Pavillon Léon-Provencher, 3351, boul. des Forges, Trois-Rivières (Québec) G9A 5H7.

Lubumbashi) durant la seconde moitié du 20^{ème} siècle (1950-1990) ainsi que leur relation avec l'oscillation australe.

L'analyse de la variabilité des précipitations au moyen des moyennes mobiles pondérées a fait ressortir deux grandes périodes: avant et après 1970. La première période est caractérisée par une évolution non synchrone d'épisodes déficitaires et excédentaires dans les trois stations. A Kolwezi, cette période a été marquée par une alternance d'un épisode pluviométrique déficitaire, durant la décennie 1950, et d'un épisode pluviométrique excédentaire durant la décennie 1960. A Likasi, les deux décennies ont été globalement excédentaires. A Lubumbashi, on a observé une alternance des épisodes déficitaires et excédentaires de courte durée. La période après 1970 est caractérisée par un synchronisme des phases déficitaires et excédentaires dans les trois stations. Ce synchronisme se caractérise par la succession des phases suivantes:

- une phase déficitaire durant la première moitié de la décennie 1970, suivie d'une phase excédentaire durant la seconde moitié;

- une période déficitaire durant toute la décennie 1980. Toutefois, à Kolwezi, ce déficit n'a été observé que durant la première moitié de la décennie, la seconde moitié a été excédentaire.

L'analyse de la stationnarité des séries pluviométriques au moyen des tests de MANN-KENDALL et de PETTITT n'a révélé aucun changement significatif des moyennes dans les trois stations.

L'analyse des corrélations entre les indices d'oscillation australe et les précipitations a mis en évidence des coefficients de corrélation significatifs pour certains mois qui ne sont pas les mêmes pour les trois stations.

INTRODUCTION.

Dans leur article consacré à la variabilité et au changement climatiques en République démocratique du Congo entre 1960-1990, SANGA-NGOIE & FUKUYAMA (1996) ont révélé un changement significatif du climat dans le bassin du fleuve Congo. Ce changement se serait traduit par une hausse constante de la température associée à une baisse significative des précipitations. Cette sécheresse aurait particulièrement sévi dans la région montagneuse du Kivu et dans les Haut-Plateaux du Katanga. Dans cette dernière région, à la station de Lubumbashi, ces auteurs ont estimé une baisse de précipitations de 130 mm et 12 jours de pluies par décade depuis 1960. Cette estimation ne corrobore pas les conclusions d'études fondées sur l'analyse de la longue série pluviométrique (depuis 1916) de Lubumbashi (KALOMBO *et al.*, 1996; KALOMBO, 1987; ASSANI, 1999b). Ces études ont mis en évidence la stationnarité de cette série pluviométrique malgré l'occurrence d'un épisode sec depuis 1980. Néanmoins, l'analyse de la stationnarité de la série du nombre des jours secs en saison des pluies a mis en évidence deux changements significatifs de la moyenne. Le dernier changement, survenu en 1980, s'est traduit par une hausse du nombre des jours secs (diminution du nombre des jours pluvieux) de l'ordre de 36% (ASSANI, 1999a). D'autre part, l'analyse d'une longue série (1903-1986) des débits du fleuve Congo à Kinshasa avait révélé un changement significatif de la moyenne (BULTOT & DUPRIEZ, 1987), intervenu en 1969. Ce changement s'est traduit par une

hausse des débits. Cette hausse est incompatible avec une baisse des précipitations qui aurait affecté tout le bassin versant du fleuve depuis 1960 selon SANGA-NGOIE & FUKUYAMA.

Cependant, les conclusions tirées de ces longues séries de débits et de pluies ne peuvent pas remettre en cause les observations de SANGA-NGOIE & FUKUYAMA. En effet, comme l'ont fait remarquer OURDA *et al.* (1998), une modification qui est observée sur une période de 40 ans d'observations peut ne plus l'être sur 100 ans, car des fluctuations à l'échelle de la décennie peuvent être naturellement présentes même si elles restent inexplicables. Ce constat a été fait au Québec où les séries hydrologiques relativement courtes (moins de 40 ans) sont affectées par une rupture de la moyenne alors que les longues séries ne le sont pas (ASSANI, 2000; ASSANI *et al.*, à l'impression). Toutefois, la méthode de régression linéaire utilisée par SANGA-NGOIE et FUKUYAMA ne permet pas d'établir de manière formelle la non stationnarité des séries pluviométriques analysées. En outre, elle ne permet pas non plus de déterminer avec exactitude la date de ce changement climatique. Il est ainsi difficile d'établir si ce changement est antérieur à l'année 1960. D'autre part, les conclusions tirées de l'analyse de la seule série pluviométrique de Lubumbashi ne peuvent être généralisées sur l'ensemble des Haut-Plateaux du Katanga en raison de la forte variabilité spatiale des précipitations en milieu intertropical. Cette variabilité a été mise en évidence dans l'agglomération de Lubumbashi même (SOYER & NTOMBI, 1981).

A la lumière de ces considérations, cette note vise à analyser la variabilité et la stationnarité des séries de précipitations dans la partie méridionale des Haut-Plateaux (arc cuprifère) du Katanga au moyen de méthodes statistiques éprouvées. Cette analyse nous permettra de vérifier la stationnarité des séries pluviométriques des précipitations durant la seconde moitié du 20^{ème} siècle (1950-1990) d'une part, et de circonscrire dans le temps et dans l'espace la sécheresse observée à Lubumbashi depuis 1980, d'autre part. Par ailleurs, on établira des corrélations entre les pluies et l'indice d'oscillation australe afin de vérifier si ce facteur est à l'origine de la variabilité interannuelle des précipitations, à l'instar des autres régions d'Afrique (ROPELEWSKI & HALPERT, 1987; LINDSAY, 1988; OGALLO, 1988; MATARIRA, 1990; CAMBERLIN, 1992; JURY *et al.*, 1994; SELESHI & DEMAREE, 1995; WAYLEN & HENWORTH, 1996; RICHARD *et al.*, 1998).

DONNEES ET METHODES D'ANALYSE.

Les données pluviométriques proviennent des stations du réseau de la Gécamines, compagnie chargée de l'exploitation des mines dans l'arc cuprifère. Kolwezi (25°28'E; 10°43'S), Likasi (26°43'E; 11°01'S; 1300 m) et Lubumbashi (27°28'E; 11°40'S; 1230 m) sont situés respectivement à l'extrémité nord, au centre et vers le sud de l'arc. La saison des pluies dure 6 mois (d'octobre à mars) à Kolwezi et 5 mois (de novembre à mars) dans les deux dernières villes. Les moyennes saisonnières et mensuelles de pluies ainsi que les écarts types de ces trois stations sont consignées dans le tableau I.

Tab. I. - Les moyennes (M) saisonnières et mensuelles de pluies ainsi que leurs écarts types (s) aux stations de Kolwezi, Likasi et Lubumbashi (1950-1990).

Season and month means, their mean and standard deviation at Koweai, Likasi and Lubumbashi stations (1950-1990)

	Kolwezi		Likasi		Lubumbashi	
	M (mm)	s (mm)	M (mm)	s (mm)	M (mm)	s (mm)
Octobre	80.7	45.9	55.7	40.8	37.6	35.8
Novembre	191.8	64.1	160.0	76.6	155.3	63.8
Décembre	210.5	64.2	251.3	64.5	259.8	75.9
Janvier	201.1	65.1	245.4	67.4	268.3	69.3
Février	196.9	62.1	214.7	79.0	250.7	81.4
Mars	200.8	62.8	216.9	71.5	208.5	89.
Avril	88.8	54.0	64.9	43.5	51.1	43.9
Année	1216.4	200.8	1222.2	149.8	1251.4	173.0

Pour étudier la variabilité des précipitations, nous avons utilisé le filtre non récursif passe-bas de HANNING d'ordre 2 (moyennes mobiles pondérées). Le calcul de ce filtre a été effectué au moyen des équations recommandées par MITCHELL *et al.* (cités par TYSON *et al.*, 1975). Selon ces équations, chaque terme t de la série pluviométrique de taille n est calculé de la manière suivante:

$$x_t = 0.06x_{(t-2)} + 0.25x_{(t-1)} + 0.38x_t + 0.025x_{(t+1)} + 0.06x_{(t+2)} \text{ pour } 3 \leq t \leq (n-2) \quad (1)$$

où x_t est le total pluviométrique pondéré du terme t , $x_{(t-2)}$ et $x_{(t-1)}$ sont les totaux pluviométriques observés de 2 termes qui précèdent immédiatement le terme t , et $x_{(t+1)}$ et $x_{(t+2)}$ sont les totaux pluviométriques qui suivent immédiatement le terme t . Les totaux pluviométriques pondérés de deux premiers [$x_{(1)}$, $x_{(2)}$] et derniers [$x_{(n-1)}$, $x_{(n-2)}$] termes de la série sont calculés au moyen des expressions suivantes:

$$x_{(1)} = 0.54x_{(1)} + 0.46x_{(2)} \quad (2)$$

$$x_{(2)} = 0.25x_{(1)} + 0.50x_{(2)} + 0.25x_{(3)} \quad (3)$$

$$x_{(n-1)} = 0.25x_{(n-2)} + 0.50x_{(n-1)} + 0.25x_n \quad (4)$$

$$x_n = 0.54x_n + 0.46x_{(n-1)} \quad (5)$$

Pour mieux visualiser les périodes de déficit et d'excédent pluviométrique et comparer leurs intensités aux trois stations, les précipitations annuelles ont été standardisées (centrées et réduites) avant d'être filtrées.

La stationnarité des séries pluviométriques a été testée au moyen des tests statistiques de MANN-KENDALL (SNEYERS, 1975; VANNITSEM & DEMAREE, 1991; HAMED & RAO) et de PETTITT (PETTITT, 1979; VANNITSEM & DEMAREE, 1991; LUBÈS-NIELS *et al.*, 1998). Les deux tests sont basés sur la théorie des rangs dont le calcul consiste à remplacer les observations originales par les rangs qui leur sont attribués lorsqu'on les range par ordre de grandeur croissante. Dans le cas du test de MANN-KENDALL, pour chaque observation, on tient compte du nombre d'observations de rang supérieur. On part de la première à la dernière observation [courbe directe, $U(t)$], puis de celle-ci à la première [courbe rétrograde, $U^*(t)$]. Le test

(la tendance) est significatif lorsque les deux courbes se croisent en un seul point et que la valeur maximale calculée dépasse celle correspondant à un seuil de probabilité donné. La tendance est croissante (décroissante) lorsque la courbe directe croît (décroît) après le point de croisement de deux courbes. Quant au test de PETTITT, il devient significatif si la valeur maximale K calculée (point d'inflexion de la courbe) est supérieure (en valeur absolue) à celle correspondant à un seuil de probabilité donné. Cette valeur maximale correspond à la date de changement significatif de la moyenne arithmétique de la variable analysée. La tendance est croissante (décroissante) lorsque la courbe croît (décroît) après avoir atteint cette valeur maximale. Ces deux tests ont pour but d'identifier dans les séries les points de changements significatifs de leurs moyennes arithmétiques. Ces changements sont interprétés comme indicateurs d'une modification du climat.

Le lien entre les précipitations et l'indice d'oscillation australe a été calculé au moyen de la méthode de corrélation linéaire. Les coefficients de corrélation ont été calculés à partir des valeurs standardisées des moyennes mensuelles de deux variables. L'indice d'oscillation australe est la différence normalisée de pression au niveau de la mer entre la station de Tahiti (17.5°S, 149.6°W) et celle de Darwin (12.4°S, 130.9°E). Les valeurs de cet indice nous a été aimablement communiquées par le laboratoire d'hydrologie de l'Institut Royal Météorologique belge.

RESULTATS

VARIABILITE ET STATIONNARITE DES SERIES PLUVIOMETRIQUES.

La figure 1 présente les valeurs standardisées et filtrées des précipitations annuelles aux trois stations. On peut définir deux grandes périodes en fonction de la succession des épisodes pluviométriques déficitaires et excédentaires : les période avant et après 1970. La période avant 1970 est caractérisée par l'absence de synchronisme dans la succession des épisodes secs et pluvieux aux trois stations. A Kolwezi, on observe deux épisodes bien distincts: un épisode sec durant la décennie 1950 suivie d'un épisode pluvieux durant toute la décennie 1960. A Likasi, les deux décennies sont globalement pluvieuses hormis un court épisode sec au milieu de la décennie 1960. A Lubumbashi, on observe une alternance de courtes phases sèches et pluvieuses. La période après 1970 est caractérisée par un synchronisme marqué dans la succession des épisodes secs et humides aux trois stations. La décennie 1970 se caractérise par une alternance d'un épisode sec, durant la première moitié, et d'un épisode pluvieux durant la seconde moitié. Durant cette décennie, la pluviométrie a été particulièrement déficitaire (fortes valeurs standardisées négatives) à Likasi mais très excédentaire aux stations de Kolwezi et de Lubumbashi. La décennie 1980 a été déficitaire. Ce déficit pluviométrique a été particulièrement marqué à Lubumbashi où le déficit pluviométrique s'est creusé progressivement d'une année à l'autre. Toutefois, à Kolwezi, la seconde moitié de la décennie a été excédentaire. Cet excédent a été observé à toutes les stations situées au nord de 11°S (NICHOLSON, 1993; KALOMBO *et al.*, 1998).

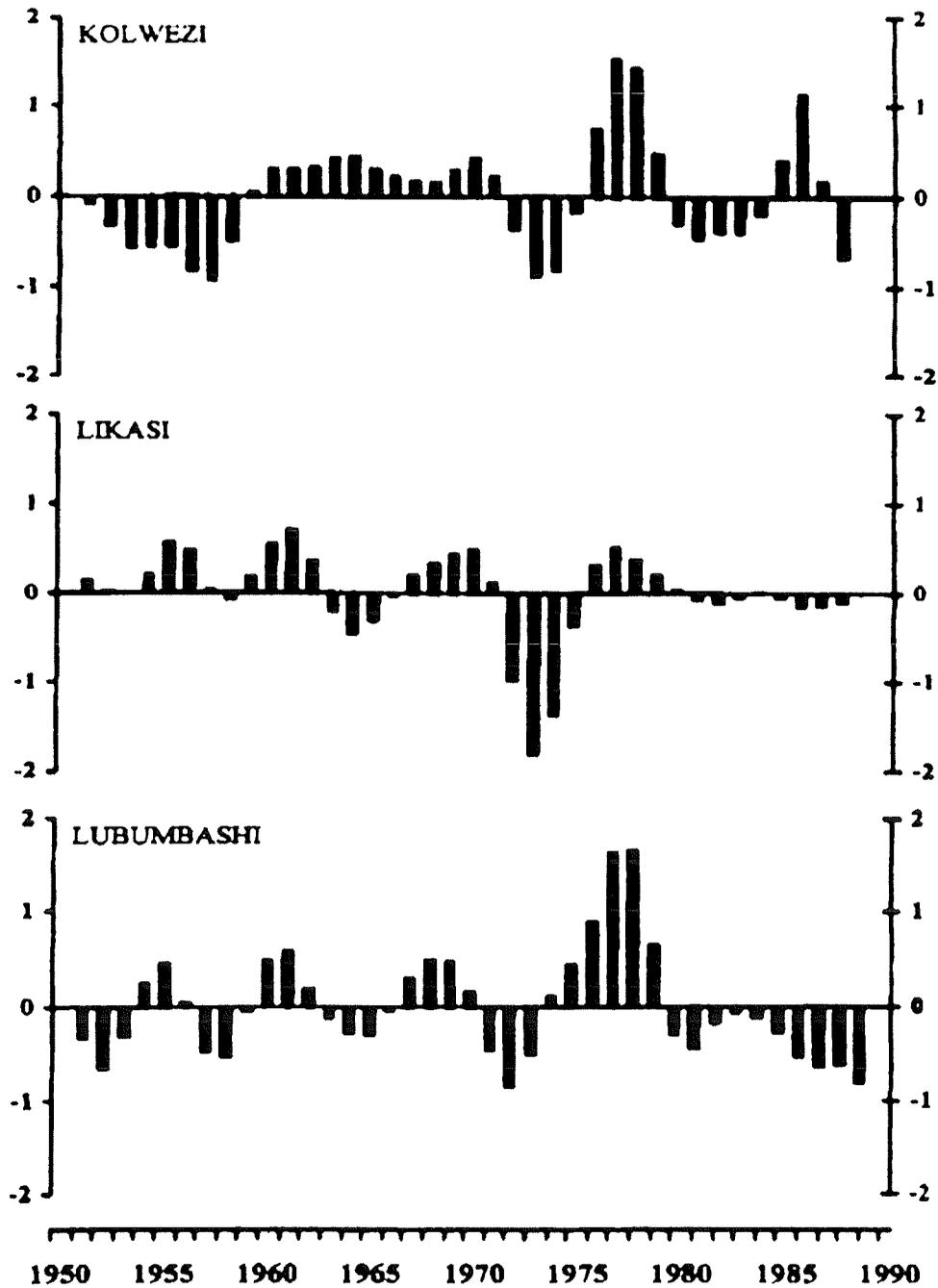


Fig.1. – Variabilité interannuelle des totaux pluviométriques à Kowezi (A), Likasi(B) et à Lubumbashi (C) durant la période 1950-1990. Application des moyennes mobiles pondérées

L'application du test de tendance de MANN-KENDALL révèle que cette succession des épisodes pluviométriques déficitaires et excédentaires n'a pas affecté la stationnarité des séries pluviométriques. En effet comme le montre la figure 2 (page 9), les courbes de séries directes $[U(t)]$ et rétrogrades $[U^*(t)]$ se recoupent en plusieurs points. Cette stationnarité a été confirmée par le test de PETTITT.

A la lumière de ces résultats, nous pouvons conclure que les séries pluviométriques analysées sont stationnaires confirmant ainsi les conclusions tirées de l'analyse de la longue série pluviométrique de Lubumbashi. Cette stationnarité nous autorise ainsi à rejeter l'hypothèse d'un changement climatique formulée par SANGA-NGOIE & FUKUYAMA malgré l'occurrence des épisodes secs. D'autre part, cette stationnarité des séries pluviométriques permet de rechercher le lien entre la pluviométrie et les indices d'oscillation australe au moyen des coefficients de corrélation linéaires.

RELATION ENTRE LES SERIES PLUVIOMETRIQUES ET LES INDICES D'OSCILLATION AUSTRALE.

Le tableau II présente les coefficients de corrélation calculés entre les moyennes mensuelles des précipitations et les indices d'oscillation australe. Il ressort de ce tableau qu'à l'échelle mensuelle, le lien entre les indices d'oscillation australe et les précipitations n'est pas synchrone pour les trois stations. En effet, à Kolwezi, ce lien n'est significatif qu'au mois de décembre (Tab. IIa) alors qu'il l'est en octobre et février à Likasi (Tab. IIb). A Lubumbashi, c'est en mars, dernier mois de la saison des pluies, que l'oscillation australe est significativement corrélée aux précipitations (Tab. IIc). D'autre part, les valeurs de coefficients de corrélation (en valeur absolue) sont de même ordre de grandeur dans les trois stations. Elles sont comparables à celles observées dans d'autres régions africaines (LINDSAY, 1988; OGALLO, 1988; MATARIRA, 1990; SELESHI & DEMAREE, 1995; WAYLEN & HENWORTH, 1996; RICHARD *et al.*, 1998). Néanmoins, ces coefficients sont de signe négatif à Kolwezi mais positif à Likasi et à Lubumbashi.

Tab. IIa - Relation entre les indices de l'oscillation australe et les pluies à Kolwezi-Gécamines (1950-1990).

Relation between austral oscillation indices and rains at Kolwezi-Gecamines station (1950-1990).

Pluies	Indices d'oscillation australe									
	M	Jn	Jt	A	S	O	N	D	J	
O	0.048	-0.059	0.036	-0.125	-0.121	-0.125				
N		0.013	-0.006	0.026	-0.015	-0.021	-0.122			
D			-0.230	-0.361*	-0.335	-0.254	-0.346*	-0.285		
J				-0.259	-0.292	-0.278	-0.017	-0.176	-0.234	
F					0.128	0.082	0.091	0.053	-0.073	
M						0.025	-0.121	-0.240	-0.002	
A							0.212	0.280	0.216	

* = significatif au seuil de 5%.

Tab.IIb. - Relation entre les indices d'oscillation australe et les pluies à Likasi-Gécamines (1950-1990).

Relation between austral oscillation indices and rains at Likasi-Gecamines (1950-1990)

Pluies	Indices d'oscillation australe									
	Jn	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M
N	-0.132	-0.108	-0.052	-0.046	-0.150	-0.100				
D		-0.207	-0.139	-0.140	-0.007	-0.181	-0.008			
J			-0.037	-0.005	0.015	0.228	0.041	0.101		
F				0.027	0.071	0.377*	0.338	0.236	-0.118	
M					-0.161	0.054	0.0264	0.02	-0.037	-0.158

* = significatif au seuil de 5%

Tab. IIc. - Relation entre les indices d'oscillation australe et les pluies à Lubumbashi-Gécamines (1950-1990).

Relation between austral oscillation indices and rains at Lubumbashi-Gecamines (1950-1990)

Pluies	Indices d'oscillation australe									
	Jn	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M
N	0.105	0.054	-0.072	-0.074	-0.221	-0.268				
D		-0.225	-0.325	-0.169	-0.327	-0.222	0.083			
J			0.017	0.076	0.002	0.089	0.119	-0.211		
F				-0.025	0.016	0.232	0.197	0.169	-0.094	
M					0.359*	0.141	0.160	0.301	0.317	0.051

* = significatif au seuil de 5%

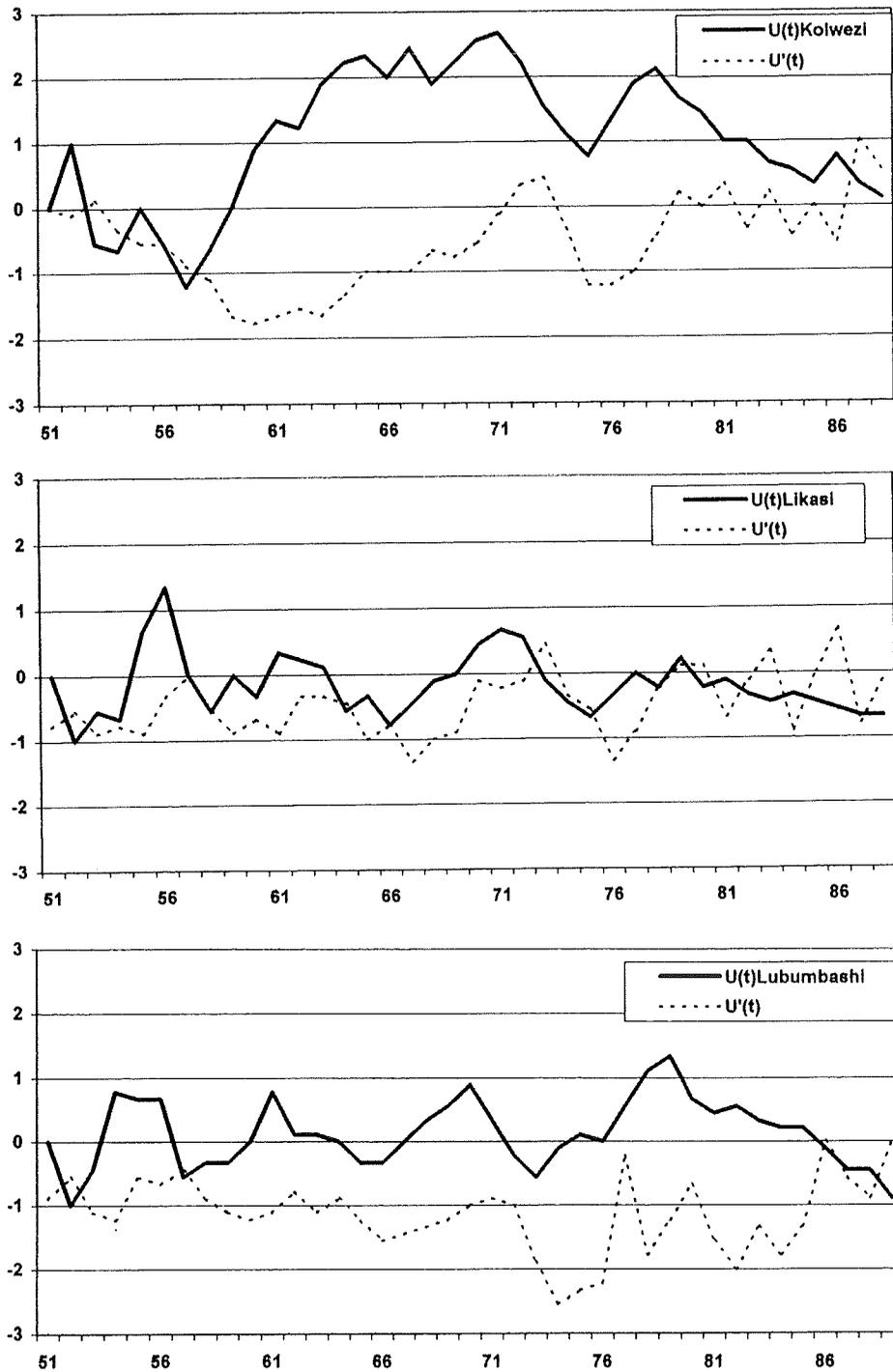


Fig.2. - Variabilité interannuelle des totaux pluviométriques à Kolwezi(A), Likasi (B) et à Lubumbashi (C) durant la période 1950-1990. Application du test de MANN-KENDALL. Trait plein: série directe; trait pointillé: série rétrograde

Il est vrai que depuis vers la fin de la décennie 1960, l'Afrique connaît un assèchement du climat. Ce fait a été particulièrement documenté dans l'hémisphère nord où de nombreuses études ont mis en évidence cet assèchement. Celui-ci sévit au Sahel et s'étend progressivement vers le sud depuis 1970 (HUBERT & CARBONNEL, 1987; HUBERT *et al.*, 1989; VANNITSEM & DEMAREE, 1991; MOREL, 1991, 1995; HULME, 1992; NICHOLSON, 1993; BELTRANDO & CAMBERLIN, 1995; LEROUX, 1996, PATUREL *et al.*, 1998). Il se traduit par un glissement progressif des isohyètes vers le sud (MOREL, 1995; LEROUX, 1996). Selon PATUREL *et al.* (1998), le caractère de cet assèchement est surtout marqué au-dessus des 8-10^{èmes} parallèles alors qu'il est moins net aux plus faibles latitudes. Dans l'hémisphère sud, bien que le sujet soit controversé, il apparaît de manière évidente un assèchement persistant depuis 1980 en Afrique australe (OGALLO, 1988; MATARIRA, 1990; HULME, 1992; JURY & LEVEY, 1993; NICHOLSON, 1993; MASON & JURY, 1997). Cet assèchement a été observé à la station de Lubumbashi et dans une moindre mesure à celle de Likasi. A Kolwezi, sa durée a été relativement courte. Il s'ensuit qu'à l'instar de l'hémisphère nord, ce phénomène d'assèchement s'estomperait aussi vers la latitude de 11° dans l'hémisphère sud. Cette observation corrobore celle de KALOMBO *et al.* (1996) qui ont analysé les données pluviométriques des stations situées entre 5° et 15° S d'une part, et celle de NICHOLSON (1993) dont l'étude a révélé l'absence de sécheresse dans les basses latitudes en Afrique orientale, d'autre part. Le bassin versant du fleuve Congo, situé entre 10°S et 5°N, a été ainsi épargné par cet assèchement. Il a connu plutôt une hausse significative de la pluviométrie depuis la fin de la décennie 1960. Cette hausse s'est ainsi traduite par une augmentation significative du débit du fleuve survenue en 1969. Elle a été mise en évidence par le test de MANN-KENDALL (BULTOT & DUPRIEZ, 1986).

Nous pouvons évoquer plusieurs facteurs pour rendre compte de l'évolution des précipitations observée dans l'arc cuprifère congolais durant la seconde moitié du 20^{ème} siècle.

1. La déforestation.

SANGA-NGOIE & FUKUYAMA (1996) ont attribué la sécheresse qui aurait sévi à Lubumbashi depuis 1960 au déboisement (mécanisme de CHARNEY) consécutif à l'accroissement rapide de la population urbaine. Cependant, l'analyse de l'évolution de la population dans les trois villes (Tab. III) révèle qu'entre 1958 et 1984, l'accroissement de la population a été plus important à Kolwezi qu'à Lubumbashi. Cet accroissement s'y est traduit par une déforestation importante en raison d'une extension rapide du périmètre urbanisé (MANSILA, 1983; BRUNEAU, 1995). Pourtant, cette déforestation n'a pas induit les mêmes effets climatiques (assèchement du climat) qu'à Lubumbashi.

Tab. III. - Evolution de la population à Kolwezi, Likasi et Lubumbashi (1958-1984).
Evolution of the population at Kolwezi, Likasi and Lubumbashi (1958-1984).

	1958	1970	1984
Kolwezi	56434	76182	220706
Likasi	74833	133696	213862
Lubumbashi	182872	318000	564830

2. L'oscillation australe associée aux phénomènes El Niño/La Niña.

Ces phénomènes océano-atmosphériques sont de plus en plus considérés comme le principal facteur de la variabilité temporelle des pluies en Afrique comme nous l'avons déjà souligné. L'analyse des coefficients de corrélation calculés entre la pluviométrie et les indices d'oscillation australe ne permet pas une interprétation aisée, sur le plan climatologique, de la corrélation observée entre les deux variables. En effet, pour les trois stations, le lien n'a été significatif que pour un mois de la saison des pluies. Dans tous les cas, il ne s'agit pas du même mois. On n'observe donc pas une extension spatiale de corrélation significative durant toute la saison des pluies dans l'arc cuprifère comme ce fut le cas en Afrique orientale (RICHARD *et al.*, 1998) ou australe (LINDESAY, 1988). D'autre part, le signe des coefficients de corrélation n'est pas le même pour les trois stations. Il est négatif à Kolwezi mais positif à Likasi et à Lubumbashi. Donc, la même cause engendrerait des effets opposés: à Kolwezi, l'oscillation australe serait associée aux déficits pluviométriques alors qu'à Likasi et Lubumbashi, elle le serait aux excédents pluviométriques. Pourtant, les trois stations sont influencées par les mêmes vents en saison des pluies (ASSANI & KALOMBO, 1997). Cependant, en ce qui concerne Lubumbashi, l'analyse de la longue série d'observations (1916-1990) a plutôt révélé l'existence des coefficients de corrélation de signe négatif (ASSANI, 1999b). Il s'ensuit que le signe des coefficients de corrélation dépend aussi de la longueur de séries. Ce qui rend l'interprétation encore plus délicate de ce lien observé entre la pluviométrie et l'oscillation australe. Quoiqu'il en soit, malgré l'existence d'une corrélation significative, l'influence de l'oscillation australe sur la pluviométrie en Afrique n'est pas encore formellement prouvée car au stade actuel de nos connaissances, la relation physique entre la circulation des alizés et l'oscillation australe n'est pas encore bien clarifiée (ASSANI, 1999b).

3. Le déplacement latitudinal des structures pluviogènes.

D'après LEROUX (1996), la variabilité spatio-temporelle des totaux pluviométriques en Afrique intertropicale est due aux déplacements en latitudes des structures pluviogènes comme l'Equateur Météorologique (rencontre de deux alizés provenant de deux hémisphère) ou la Confluence Interocéanique (rencontre de deux alizés issus du même hémisphère). Dans les Haut-Plateaux du Katanga, la saison des pluies est due à la présence de l'Equateur Météorologique dont la latitude la plus méridionale atteinte est 12°S. La sécheresse persistante observée depuis 1980 à Lubumbashi (11°40'S), et dans une moindre mesure à Likasi (11°01'S), serait due à la tendance de cette structure à se maintenir dans une position plu septentrionale, c'est-à-dire vers la latitude de 10°S. Ce qui expliquerait l'absence de cette persistance de sécheresse à Kolwezi (10°43'S). Les positions en latitude de ces structures pluviogènes sont fonction de la vigueur des alizés. Cette vigueur dépend de la température des anticyclones mobiles polaires qui les engendrent (LEROUX, 1996). Selon cet auteur, le refroidissement du pôle nord, observé depuis 1970, serait ainsi à l'origine de l'assèchement climatique dans l'hémisphère nord de l'Afrique intertropicale. Par analogie, le refroidissement du pôle sud serait aussi à l'origine de la sécheresse qui sévit dans l'hémisphère sud de l'Afrique intertropicale depuis la décennie 1980. Ce refroidissement, en renforçant la vigueur des alizés de l'hémisphère sud, empêcherait ainsi l'Equateur Météorologique d'atteindre régulièrement sa position la plus marginale, c'est-à-dire, les latitudes 11-12°S. Il en résulte donc une sécheresse au niveau de ces latitudes. Cependant, le refroidissement des pôles semble être en contradiction avec la thèse du réchauffement global du climat qui est de plus en plus admise. En appui de la thèse du refroidissement du pôle nord, LEROUX (1996) cite

plusieurs travaux qui ont révélé la baisse de la température notamment en Arctique, au Groenland et à l'est du Canada. Quoiqu'il en soit, les conséquences du réchauffement possible du climat sur la variabilité des précipitations ne sont pas encore démontrées.

DISCUSSION ET CONCLUSION

En analysant les précipitations de Lubumbashi au moyen d'une régression linéaire, SANGA-NGOIE & FUKUYAMA (1996) ont conclu à un assèchement du climat dans les Hauts-Plateaux du Katanga depuis 1960. Cependant l'analyse de la variabilité interannuelle des précipitations dans trois stations de l'arc cuprifère congolais que nous venons d'effectuer au moyen d'un filtre non récursif passe-bas de HANNING d'ordre 2 (moyennes mobiles pondérées) a révélé une succession des épisodes pluviométriques déficitaires et excédentaires malgré une persistance d'une phase de sécheresse durant la décennie 1980 à Lubumbashi et à Likasi. Cette succession ne justifie pas l'emploi de la méthode de régression linéaire. Celle-ci suppose une diminution plus ou moins continue des précipitations d'une année à l'autre. D'autre part, l'application des tests de tendance de Mann-Kendall et de Pettitt n'a pu révéler aucun changement significatif des moyennes arithmétiques des séries analysées. Ces tests excluent avec certitude toute hypothèse d'une diminution continue des précipitations depuis 1960 dans les Hauts-plateaux du Katanga. Par conséquent, ce résultat ne nous permet pas de conclure à un assèchement du climat dans cette région.

REMERCIEMENTS.

L'auteur remercie Mr DEMAREE, pour lui avoir communiqué les valeurs d'indice d'oscillation australe, et Mme DERRAS, du laboratoire d'hydrologie de l'IRM, pour le traitement informatique des tests de MANN-KENDALL et de PETTITT. Il adresse ses remerciements aussi Mr Buffin-Bélangier, de l'Université de Montréal, pour le traitement informatique de certains graphiques.

BIBLIOGRAPHIE.

- ASSANI, A.A., 1999a. Variabilité temporelle et persistance des épisodes secs en saison des pluies à Lubumbashi. *Sécheresse*, 10, 45-53.
- ASSANI, A.A., 1999b. Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à Lubumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphérique (oscillation australe) et océanique (El Niño/La Niña). *Sécheresse*, 10, 245-252.
- ASSANI, A.A., 2000. Modélisation des impacts des barrages sur l'hydrologie et la morphologie des cours d'eau au Québec (Canada). I. Impacts des barrages sur les régimes hydrologiques et la variabilité temporelle des débits annuels. Rapport de recherche n1, Université de Montréal, 65p.
- ASSANI, A.A., BUFFIN-BÉLANGER, T. & ROY, A.G.- Régimes hydrologiques et variabilité temporelle des débits au Québec (Canada). Soumis au Journal des sciences hydrologiques.
- ASSANI, A.A. & KALOMBO, K., 1997. Analyse statistique des maximums annuels de pluie journalière à Kolwezi (Zaïre). *Géo-Eco-Trop*, 19, 1-15.
- BELTRANDO, G. & CAMBERLIN, P., 1995. Les sécheresses en Ethiopie et dans l'est de l'Afrique. *Sécheresse*, 6, 87-94.
- BRUNEAU, J.C., 1995. Crise et déclin de la croissance des villes au Zaïre. Une image actualisée. *Revue belge de géographie*, 119, 103-114.
- BULTOT, F. & DUPRIEZ, G.L., 1986. Niveaux et débits du fleuve Zaïre à Kinshasa (Régime-Variabilité-Prévision). *Bulletin de l'Académie Royale des sciences d'Outre-Mer*, mémoire in-4°, t.VI, fasc.2, Bruxelles, 49pp.
- CAMBERLIN, P., 1992. Sécheresse et fluctuations pluviométriques en Ethiopie et dans la Corne de l'Afrique. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 5, 33-41.
- HAMED, K.H. & RAO, A.R., 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of hydrology*, 204, 182-196.
- HUBERT, P. & CARBONNEL, J.P., 1987. Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of hydrology*, 95, 165-183.
- HUBERT, P., CARBONNEL, J.P. & CHAUCHE, A., 1989. Segmentation des séries hydrométéorologiques. – Application à des séries de précipitations et des débits de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of hydrology*, 110, 349-367.
- HULME, M., 1992. Rainfall changes in Africa: 1931-1960 to 1961-1990. *International Journal of Climatology*, 12, 685-699.

- JURY, M.R. & LEVEY, K., 1993. The climatology and characteristics of drought in the Eastern cape of South Africa. *International Journal of Climatology*, 13, 629-641.
- JURY, M.R., QUEEN, C.Mc & LEVEY, K., 1994. SOI and QBO signals in the African region. *Theoretical and applied climatology*, 50, 103-115.
- KALOMBO, K., 1997. La pluviométrie pendant la période de sécheresse récente (depuis 1980) dans le sud-est du Zaïre. *Géo-Eco-Trop*, 19, 16-
- KALOMBO, K., ERPICUM, M. & ASSANI, A.A., 1996. Evolution chronologique des précipitations dans le sud-est du Zaïre. Comparaison avec celle des pays voisins. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 9, 446-453.
- LEROUX, M., 1992. La dynamique du temps et du climat. Masson, Paris, 310p.
- LINDESAY, J.A., 1988. South African rainfall, the Southern Oscillation and a Southern Hemisphere semi-annual cycle. *Journal of climatology*, 8, 17-30.
- LUBÈS-NIEL, H., MASSON, J.M., PATUREL, J.E. & SERVAT, E., 1998. Variabilité climatique et statistiques. Études par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des Sciences de l'Eau*, 3, 383-408.
- MANSILA, F-K.S., 1983. Croissance accélérée d'une ville d'industries minières du Shaba (Zaïre): le cas de la ville de Kolwezi. *Bulletin de la société belge d'études géographiques*, 1, 35-52.
- MASON, S.J. & JURY, M.R., 1997. Climatic variability and change over Southern Africa: a reflection on underlying process. *Progress in Physical Geography*, 21, 23-50.
- MATARIRA, C.H., 1990. Drought over Zimbabwe in regional and global context. *International Journal of Climatology*, 10, 609-625.
- MOREL, R., 1991. Évolution de la pluviométrie en Afrique de l'ouest depuis 1950. *Publications de l'Association Internationale de climatologie*, 4, 207-215.
- NICHOLSON, S.E., 1993. An overview of african rainfall fluctuations of the last decade. *Journal of climate*, 6, 1463-1466.
- OGALLO, L.J., 1988. Relationships between seasonal rainfall in East Africa and the Southern Oscillation. *Journal of Climatology*, 8, 31-43.
- OUARDA, T.B.M.J., RASMUSSEN, P.F., CANTIN, J-F., BOBÉE, B., LAURENCE, R., HOANG, V.D. & BARABÉ, G., 1999. Identification d'un réseau hydrométrique pour le suivi des modifications climatiques dans la province de Québec. *Revue des Sciences de l'Eau*, 12, 425-448.

- PATUREL, J.E., SERVAT, E., DELATTRE, M.O. & LUBÈS-NIEL, H., 1998. Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. *Journal des sciences hydrologiques*, 43, 937-946.
- PETTITT, A.N., 1979. A non-parametric approach to change-point problem. *Applied statistics*, 28, 126-135.
- RICHARD, Y., CAMBERLIN, P. & BELTRANDO G., 1998. Recherche de structures spatio-temporelles en climatologie: l'exemple de la variabilité pluviométrique en Afrique orientale. *L'Espace Géographique*, 1, 31-40.
- ROPELEWSKI, C.F. & HALPERT, M.S., 1983. Precipitation pattern associated with El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 110, 1606-1626.
- SANGA-NGOIE, K. & FUKUYAMA, K., 1996. Interannual and long-term of climate variability over the Zaïre River Basin during the last 30 years. *Journal of Geophysical Research*, 101, 21351-21360.
- SELESHI, Y. & DEMAREE, G.R., 1995. Rainfall variability in the Ethiopian and Erythrean Highlands and its links with the Southern Oscillation Index. *Journal of Biogeography*, 945-952.
- SNEYERS, R., 1975. Sur l'analyse statistique des séries d'observations. Note technique, n° 143, O.M.M, Genève, 192p.
- SOYER, J. & N'TOMBI, M.K., 1981. La variabilité spatiale des pluies à Lubumbashi (Zaïre). *Geo-Eco-Trop*, 6, 1-20.
- TYSON, P.D., DYER, T.G.J., & MAMETSE, M.N., 1975. Secular changes in South african rainfall : 1880 to 1972. *Quartenary Journal of Royal Meteorological Society*, 101, 817-833.
- VANNITSEM, S. & DEMAREE, G., 1991. Détection et modélisation des sécheresses au Sahel. Proposition d'une nouvelle méthodologie. *Cahiers d'Hydrologie Continentale*, ORSTOM, 6, 155-171.
- WAYLEN, P. & HENWORTH, S., 1996. A note on the timing of precipitation variability in Zimbabwe as related to the Southern Oscillation. *International Journal of Climatology*, 16, 1137-1148.

