Geo-Eco-Trop, 1982, 6 (1) 1-20

VARIABILITE SPATIALE DES PLUIES A LUBUMBASHI (ZAIRE)

Spatial variability of rainfall at Lubumbashi (Zaïre)

J. SOYER & NTOMBI M.K.*

ABSTRACT

The data from 10 raingauge stations situated within 18 km from the centre of Lubumbashi have been compared. The normalized mean annual rainfall is shown to have a deviation of 15 % between the highest (Karavia, 1342.7 mm) and the lowest point (Kafubu, 1152.3 mm). A cluster analysis, based upon data from 5 stations over the period 1966-1980, showed an overall correlation of only 0.53. A comparison of monthly averages reveals a minimal variation at the height of the rainy season (the period from December to March).

If the number of days during which more than 25 mm fell during the period 1970-1980 is considered, it appears that only 10 % of these high rainfall days are registered for all 5 main stations. In contrast, 30 % of these high rainfall days have been recorded at a single station.

The main result from the data processing, is that there is significantly less rainfall at stations east of Lubumbashi (Luano and Kafubu), than in the centre and west of the town. The authors are of the opinion that the most important factor which controls local variations in rainfall is the situation in relation to urban area.

RESUME

Les données de 10 stations pluviométriques situées dans un rayon de 18 km autour de Lubumbashi ont été comparées. Les moyennes annuelles normalisées révèlent un écart de 15 % entre la station la plus arrosée (Karavia, 1342,7 mm) et celle qui l'est le moins (Kafubu, 1152,3 mm). L'analyse en grappe, basée sur les précipitations annuelles de 1966 à 1980 des 5 stations principales, révèle une corrélation de l'ensemble de 0,53 seulement. La comparaison des moyennes mensuelles entre

---

* Département de Géographie, Université de Lubumbashi, B.P. 1825, Lubumbashi, Zaïre.

les sites montre une variation minimale en pleine saison des pluies, de décembre à mars.

Si l'on prend en considération les totaux pluviométriques journaliers supérieurs à 25 mm, pendant la période de 1970 à 1980, il apparaît que 10 % seulement de ces fortes pluies sont tombées le même jour sur les 5 stations principales, contre 30 % dans une seule station.

Par ailleurs, l'étude a fait ressortir que les stations situées à l'est (Luano, Kafubu) sont significativement moins arrosées que celles du centre et de l'ouest. Les auteurs estiment actuellement que le facteur le plus important qui contrôle la variabilité spatiale des pluies est la situation par rapport à l'aire urbanisée.

INTRODUCTION

L'importance des mouvements de convection dans la basse atmosphère des régions tropicales favorise le développement des nuages cumuliformes et les précipitations locales qui leur sont associées. La variabilité spatiale des pluies risque donc d'y être élevée. En outre, certains facteurs, comme le relief, l'exposition, la présence de zones d'habitat, l'existence de forêts, de lacs ou de rivières etc ... sont susceptibles de modifier la répartition des pluies dans une aire déterminée.

La présente étude s'attache à évaluer la variabilité spatiale des pluies dans le cas de Lubumbashi et de ses environs, en l'analysant au niveau des pluies annuelles, mensuelles et journalières.

Le régime des pluies et les caractères généraux de la pluviométrie à Lubumbashi ont été traités par BULTOT (1950, 1956) et par MALAISSE, SCHOROCHOFF et MALAISSE-MOUSSET (1975). Ces derniers auteurs fournissent également quelques données sur la variabilité spatiale des pluies à Lubumbashi, sur base d'observations de trois mois (décembre 1972 - février 1973) dans quatre stations de la ville. L'intensité des pluies a été en particulier analysée par BULTOT (1956, 1957, 1972), HARJOABA et MALAISSE (1978), HARJOABA et KALOMBO (1978) et KALOMBO (1979). Les types de pluies et l'heure probable des averses ont été étudiées par HARJOABA et MALAISSE (1978).

METHODES

La collecte des données pluviométriques a concerné dix sites de la ville de Lubumbashi et de ses environs. Le tableau I précise l'altitude

Station	Institution	Période	Altitude en m	Distance par rapport au centre-ville	Surface de réception du pluviomètre	Hauteur du pluviomètre (en cm)
Gécamines G.C.M.	Société industrielle	1916-1980 1962*	1185	2,0 km	400 cm^2	200
Ancien aéroport	Etat	1912-1954**	1268	4,7 km	-	-
- Luano	Etat-Régie des Voies aériennes	1955-1980 1969***	1298	10,0 km	100 cm^2	35,7
- Kipopo	Paraétatique agricole	1956-1980	1250	18,2 km	200 cm^2	60,5
- Kisanga	Paraétatique agricole	1960-1980 1965***	1210	9,3 km	200 cm^2	71,1
- Karavia	Etat-Station météorologique	1965-1980 1969***	1230	7,3 km	200 cm^2	55,4
- Kafubu	Mission religieuse	1973-1980 1976*	1175	11,7 km	200 cm^2	50,0
Cité des Jeunes C.D.J.	Mission religieuse	1974-1980	1165	4,4 km	200 cm^2	40,5
Imara	Etablissement d'enseignement	1975-1980	1225	1,5 km	100 cm^2	74,8
Voix du Zaïre V.D.Z.	Radio d'Etat	1977-1980	1225	2,2 km	100 cm^2	30,2

Tabl. I : Caractère généraux des stations pluviométriques de Lubumbashi et de ses environs. * Début des données journalières dont on a pu disposer; ** Totaux mensuels uniquement; *** Année manquante. L'heure des relevés a été partout de 6 H G.M.T. ou 8 H, heure locale.

des stations, la distance par rapport au centre-ville, les caractères du pluviomètre (surface de réception, hauteur), l'heure des relevés, l'institution qui en a accepté la gestion et la période des données disponibles.

Il est rare qu'en région tropicale on dispose d'un réseau aussi dense de capteurs pluviométriques. Toutefois, la période des relevés est très inégale. La série la plus longue couvre 64 ans (1916-1980); elle a été commencée par l'Union Minière du Haut Katanga et poursuivie par la Gécamines. Comme en outre cette station présentait des garanties sérieuses de soin dans les relevés, elle a été choisie comme station de base dans le test de validité des données et dans la procédure d'homogénéisation pour l'analyse de la pluviosité annuelle et mensuelle.

Cinq autres stations ont fourni des données s'étendant sur au moins 14 ans. En regard des normes requises pour l'établissement de moyennes météorologiques significatives, cette durée est trop courte. Il faut bien cependant s'en contenter, en restant persuadé que les résultats acquis actuellement devront être confirmés et précisés ultérieurement.

Quatre stations (Kafubu, Cité des Jeunes, Imara et Voix du Zaïre) ne couvrent qu'une durée de 7 à 3 ans, en sorte qu'il n'a été possible de les prendre en compte que dans quelques traitements statistiques.

Les dix stations pluviométriques sont réparties dans un rayon de 18 km autour du centre de Lubumbashi (11°40' S, 27°29' E), couvrant 160 km^2 (Fig. 1). La distance la plus grande entre deux stations sépare Kipopo et Kafubu, soit 29,8 km et l'aire urbanisée occupe environ 32 km^2.

Lubumbashi possède un climat tropical humide de type Cw (KOPPEN) avec une saison des pluies (novembre à mars) et une saison sèche (mai à septembre) avec deux mois de transition (octobre et avril). Vu ce régime pluviométrique et la situation de la région dans l'hémisphère sud, on n'a considéré que les années météorologiques commençaient le 1er juillet et se terminaient le 30 juin.

La première partie de l'étude se rapporte aux pluies annuelles. La validité des données a été vérifiée par la méthode des doubles masses (HIRSCH, 1966; DUBREUIL, 1974). La figure 2 révèle un excellent accord d'ensemble entre la station de base Gécamines et les autres; cela tend à montrer que les relevés ont été en général assez bien réalisés. Il est apparu en fait que c'est dans le relevé des très faibles pluies, inférieures à 1,0 mm, que des divergences marquées se manifestent; elles sont

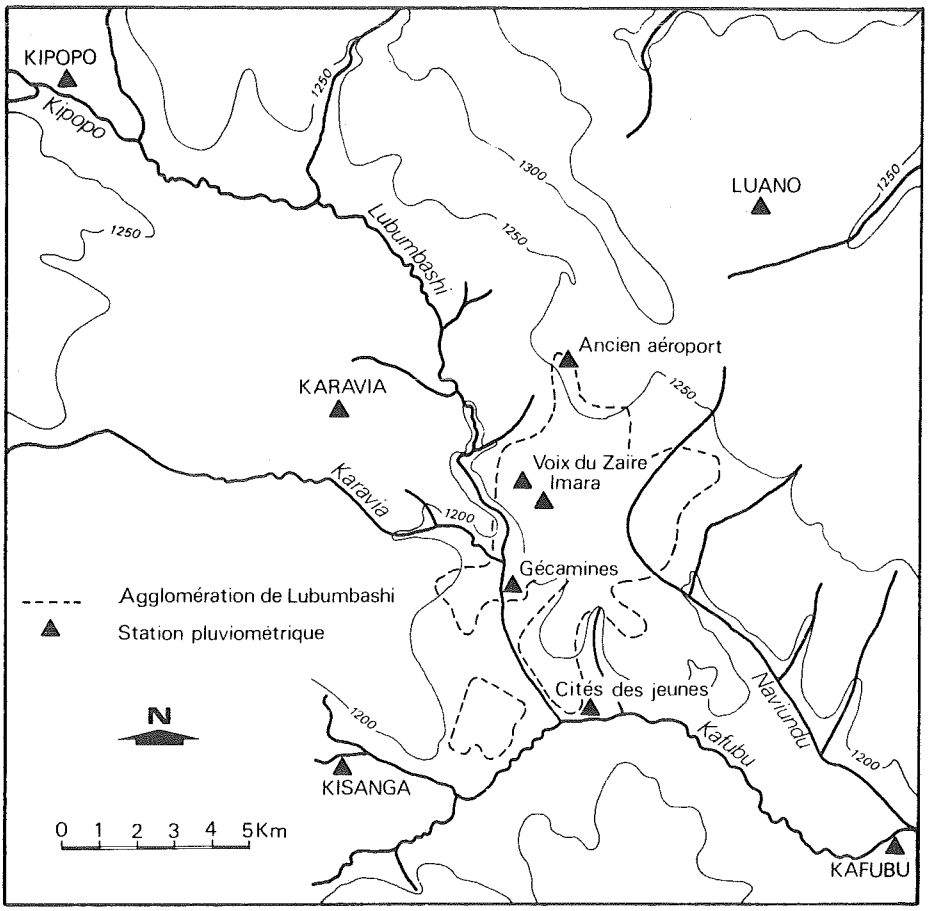

Fig. 1 : Localisation des stations pluviométriques.

essentiellement dues à des omissions, notamment aux stations de Karavia et de la Voix du Zaïre.

Des méthodes statistiques éprouvées décrites notamment dans les ouvrages de MONJALLON (1966), ARLERY (1973), DUBREUIL (1974), CHADULE (1974) et GREGORY (1978) ont été utilisées.

Ainsi, pour homogénéiser les totaux pluviométriques annuels, on a calculé les normales selon les formules suivantes (DUBREUIL, 1974, p. 22) :

$$\hat{\bar{y}} = \bar{y}_k + {}_k r_{xy} \frac{{}_k s_y}{{}_k s_x} (\bar{x}_n - \bar{x}_k)$$

$$\hat{\sigma}^2_y = {}_k s^2_y + {}_k r^2_{xy} \frac{{}_k s^2_y}{{}_k s^2_x} ({}_n s^2_x - {}_k s^2_x)$$

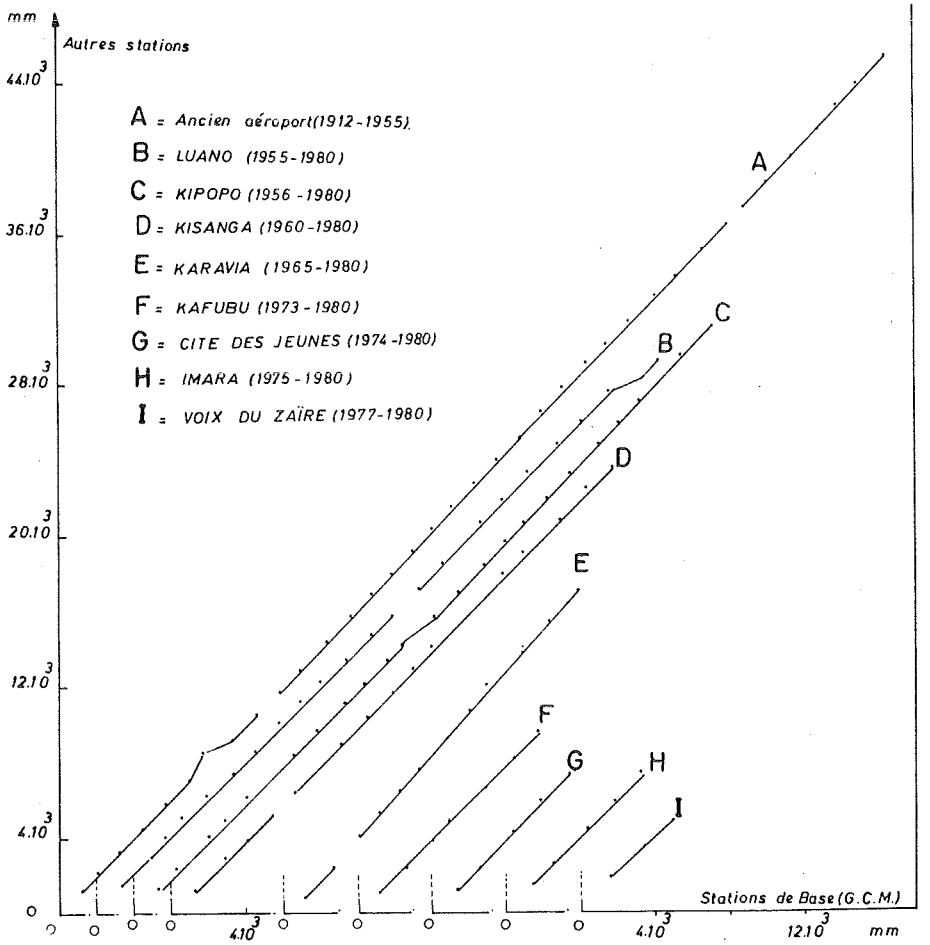

Fig. 2 : Comparaison des totaux annuels cumulés entre la station de base de la Gécamines et les autres stations (doubles masses).

où y est la série courte qui a k années d'observations et x la série la plus longue qui a n années d'observations, telle que la période k est incluse dans la période n.

$\hat{\bar{y}}$ = estimation de la moyenne;

$\bar{x}_n$ et $\bar{y}_k$ = moyennes annuelles de x et de y, calculées respectivement à partir des n et des k valeurs observées;

${}_k r_{xy}$ = coefficient de corrélation entre x et y estimé à partir des k couples de valeurs observées simultanément;

${}_k s_x$ et ${}_k s_y$ = écarts-types de x et de y estimés à partir des échantillons de k valeurs;

$\hat{\sigma}^2_y$ = estimation de la variance de y.

Cette homogénéisation a été appliquée aux neuf stations qui possèdent au moins cinq années d'observations consécutives. La valeur du coefficient de correlation ${}_k r_{xy}$ calculée pendant la plus courte période (5 ans, entre Gécamines et Imara) est de 0,95 et le plus faible coeffide corrélation ${}_k r_{xy}$ soit 0,58 (Gécamines et Luano, 14 ans) sont tous deux significatifs au niveau 0,05.

Les coefficients de corrélation permettent de déterminer plus rigoureusement les liens entre les stations. Cette analyse a concerné tout d'abord les cinq stations possédant des relevés d'une période homogène de 14 ans (1966-1980). Il est apparu que les coefficients de corrélation sont tous significativement différents de zéro au seuil de 0,05, sauf la corrélation entre Karavia et Luano.

Pour essayer de tirer parti des données de toutes les stations, les coefficients de corrélation de rang (coefficients de Spearman) ont été ensuite calculés pour une période de cinq ans, de juillet 1975 à juin 1980. Tous ces coefficients de corrélation sont significativement différents de zéro au seuil de 0,05, sauf le plus faible, c'est-à-dire 0,55 (Luano-Imara), qui n'est significativement différent de zéro qu'au seuil de 0,30.

En ce qui concerne la pluviosité mensuelle, il convenait d'homogénéiser aussi les totaux pluviométriques, puisque la durée des observations était inégale. Cette homogénéisation a été effectuée par la même procédure que pour la pluviosité annuelle.

Pour ce qui regarde les pluies journalières, il n'a pas été possible évidemment de connaître le nombre exact d'averses et leurs caractères, puisque les données utilisées proviennent uniquement de pluviomètres. L'analyse a donc porté sur les totaux journaliers. Pour l'ensemble des stations, 12.873 cas ont été ainsi traités.

Ces totaux pluviométriques journaliers ont été répartis en classes suivant une progression géométrique : > 1 mm, 1-2, 2-4, 4-8, 8-16 mm etc ... Cette répartition a l'avantage de multiplier le nombre de classes de précipitations faibles, qui sont aussi les plus fréquentes. Une comparaison de la fréquence des classes de pluies dans les différentes stations a donc été effectuée.

Considérant que les orages locaux peuvent contribuer à accentuer la variabilité spatiale entre les stations, il a paru intéressant aussi d'analyser les très fortes pluies. Celles-ci ont été définies comme s'étant produites tous les jours où 25 mm au moins ont été recueillis. Comme la limite de 64 ou de 32 mm n'aurait fourni qu'un nombre de cas trop restreints et celle de 16 mm des cas trop nombreux, ce seuil de 25 mm, qui permet de regrouper environ 20 % du total des précipitations (Tabl. VI) a été retenu. En traitant ainsi les données de cinq stations possédant des relevés entre 1970 et 1980, 769 cas de très fortes pluies ont été dénombrés.

RESULTATS

Pluviosité annuelle

Entre juillet 1912 et juin 1980, les extrêmes absolus enregistrés à Lubumbashi ont été de 716,4 mm (1917-1918, Gécamines) et 1949,4 mm (1977-1978, Voix du Zaïre).

Stations	Moyennes brutes en mm	Moyennes normalisées en mm	Ecart-type en mm	Coefficient de variation
Karavia	1406,8	1342,7	212,7	15,8 %
Ancien aéroport	1238,9	1261,3	191,8	15,2 %
Imara	1476,3	1255,6	192,4	15,3 %
Kipopo	1271,1	1245,2	185,4	14,9 %
Kisanga	1299,2	1237,4	165,4	13,4 %
Gécamines	1237,2	1237,2	179,6	14,5 %
Cité des Jeunes	1477,0	1216,0	212,3	17,5 %
Luano	1214,9	1190,1	185,6	15,6 %
Kafubu	1319,3	1152,3	250,8	21,8 %
Voix du Zaïre	1596,2	-	-	-
Lubumbashi (moyenne)	1353,7	1237,5	197,3	15,9 %

Tabl. II : Moyennes pluviométriques annuelles des stations de la région de Lubumbashi.

Les moyennes brutes des précipitations annuelles (sommes des précipitations annuelles divisées par le nombre d'années d'observations) présentent entre les stations des écarts importants (Tabl. II), qui s'expliquent en partie par la durée inégale des relevés. Ainsi le total particulièrement élevé de la Voix du Zaïre (1596,2 mm) est dû au fait que les trois seules années d'observations (1977-1980) ont connu une pluviosité extrêmement forte.

Si l'on considère les moyennes pluviométriques normalisées (Tabl. II) des neuf stations disposant d'au moins cinq années d'observations, on constate que l'écart entre les valeurs extrêmes (Karavia, 1342,7 et Kafubu 1152,3 mm) représente 15,4 % par rapport à la pluviosité moyenne générale de Lubumbashi (1237,5 mm).

La différence de pluviosité entre les deux sites géographiquement les plus rapprochés, Gécamines et Imara (2,5 km), ne représente que 1,5 % de la pluviosité moyenne de Lubumbashi. Par contre les deux sites les plus éloignés l'un de l'autre, Kipopo et Kafubu (30 km) ont un écart de pluviométrie représentant 7,5 % de la valeur moyenne de Lubumbashi. Ces résultats suggérant que la variabilité des lames pluviométriques annuelles entre les sites est certes influencés par leur éloignement, mais pas exclusivement.

Stations	Coefficient de correlation r	Erreur-type*	Distance en km
G.C.M.-Kisanga	0,84	0,08	7,0
G.C.M.-Karavia	0,74	0,12	6,5
G.C.M.-Kipopo	0,71	0,13	17,8
Kipopo-Kisanga	0,70	0,14	19,6
Kisanga-Luano	0,67	0,15	18,6
Kipopo-Luano	0,63	0,16	18,6
Kipopo-Karavia	0,62	0,16	11,3
Kisanga-Karavia	0,60	0,17	9,7
G.C.M.-Luano	0,58	0,18	12,0
Karavia-Luano	0,25	0,25	12,5

Tabl. III : Corrélation des pluviosités annuelles entre les stations sur base des relevés de juillet 1966 à juin 1980.
* $\frac{1 - r^2}{\sqrt{n}}$ avec n = 14 années (MONJALLON, 1963).

Le tableau III permet d'évaluer le degré de similitude de la pluviosité annuelle des cinq stations ayant fourni des relevés pendant 14 ans (1966-1980). Les deux stations les plus proches (Gécamines-Karavia : 6,5 km) ont un coefficient de corrélation de 0,74 contre 0,70 aux deux stations les plus éloignées (Kipopo-Kisanga : 19,6 km). La corrélation la plus faible (0,25) lie Karavia et Luano, distants seulement de 12,5 km. Comme on l'a signalé plus haut, ces deux stations sont, d'un point de vue statistique, significativement différentes quant à la corrélation de leur pluviosité annuelle.

Sur base des coefficients de corrélation moyens, la classification par emboîtement regroupe successivement Gécamines-Kisanga (0,84), puis Kipopo (0,70), puis Karavia (0,69) et enfin Luano (0,53). Cette hiérarchie sera complétée plus loin, mais il apparaît déjà que la pluviosité de Luano, station située la plus à l'est, est nettement différente des autres, qui présentent entre elles une bonne corrélation.

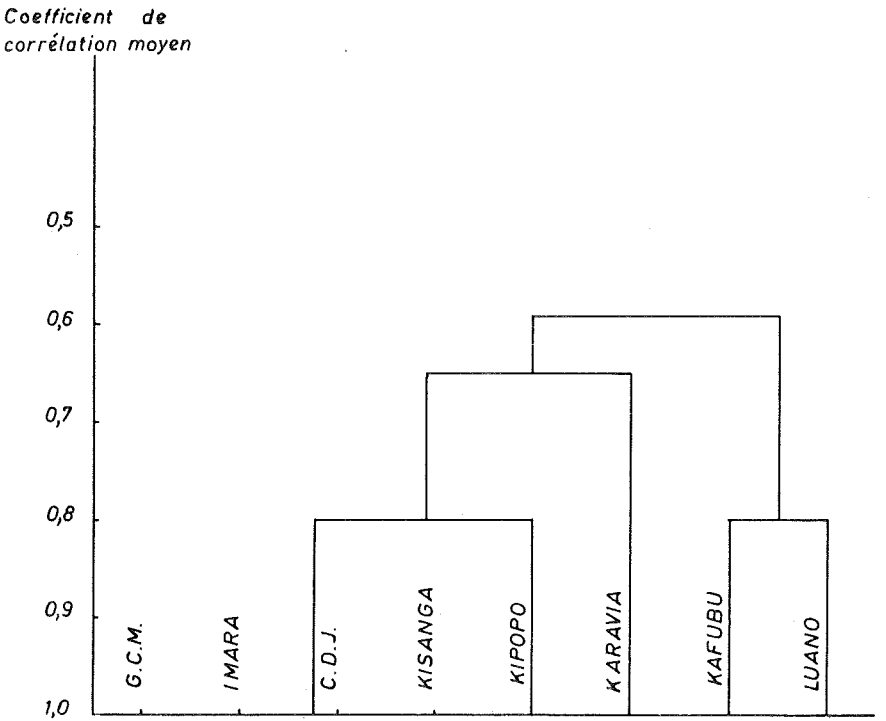

Fig. 3 : Classement par emboîtement à l'aide de coefficient de corrélation de Spearman. Neuf stations, juillet 1985 - juin 1980).

Pour augmenter la représentativité spatiale de ces coefficients, on peut considérer les coefficients de corrélation de Spearman (de rang), appliqués aux neuf stations ayant fourni des données de juillet 1975 à juin 1980. Les stations de Gécamines, Cité des Jeunes, Kisanga et Imara ont une corrélation de Spearman de 1*. La station de Kipopo s'associe à ce premier groupe au niveau de corrélation moyen de 0,80; Karavia s'intègre aux stations précédentes au niveau de 0,65. Par contre, les stations de Luano et Kafubu, bien corrélées entre elles à 0,80, ne se relient aux autres stations qu'au niveau de 0,59. La hiérarchie spatiale des stations est représentée sur le figure 4.

En ce qui concerne la pluviosité annuelle, on distingue donc à Lubumbashi un groupe central à forte corrélation, dont les précipitations

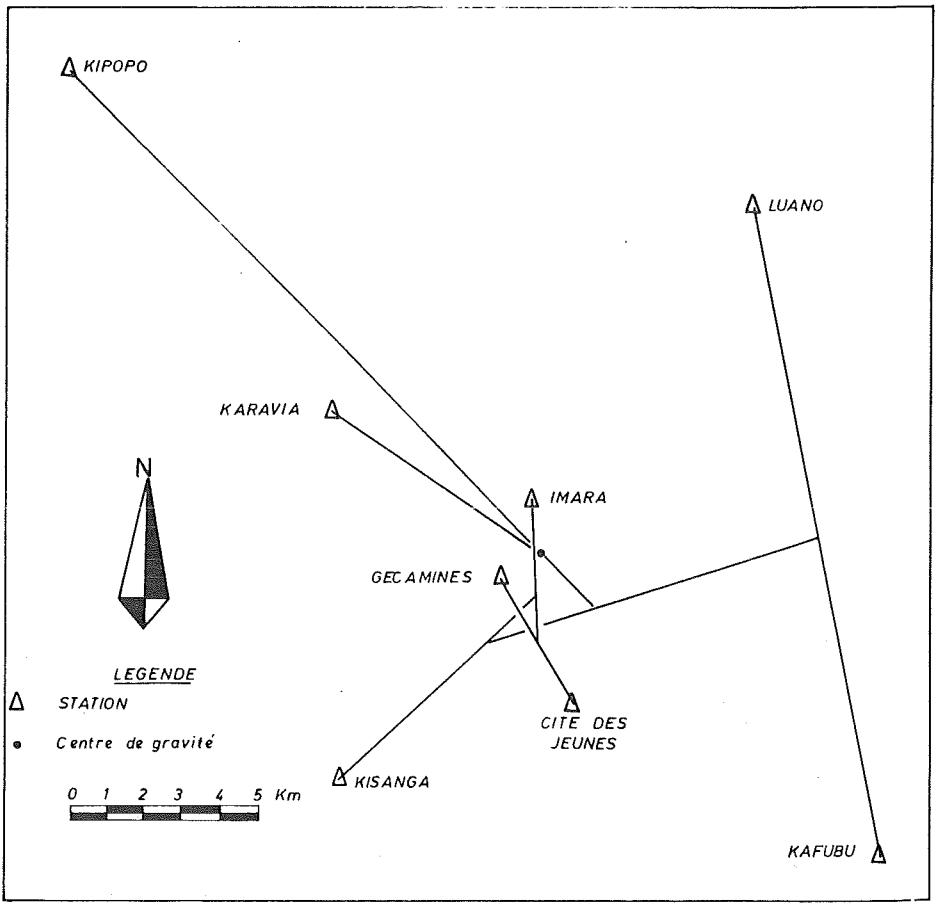

Fig. 4 : Hiérarchie spatiale des stations pluviométriques de Lubumbashi (données de juillet 1975 à juin 1980).

* Ces coefficients ne constituent ici qu'une indication, la période d'observations ayant été de cinq ans seulement.

Mois	Gécamines		Kipopo		Luano		Kisanga		Karavia		Kafubu		C.D.J.		Imara		Lubumbashi			
	mm	j	mm	j	mm	j	mm	j	mm	j	mm	j	mm	j	mm	j	mm	c	j	c
Septembre	2,9	1,1	4,0	0,9	0,9	0,6	2,2	1,0	2,3	0,7	0,3	0,8	2,8	0,8	1,7	0,8	2,1	55,8	0.8	20,0
Octobre	33,7	5,2	25,9	5,9	37,4	3,8	30,6	5,2	33,1	4,7	27,3	5,3	33,8	5,2	35,9	6,0	32,2	12,5	5,2	13,3
Novembre	156,7	17,2	151,7	17,6	142,5	15,9	158,9	18,1	173,2	16,0	117,4	15,8	121,2	16,2	158,7	15,3	147,5	13,2	16,5	6,0
Décembre	261,2	24,0	259,9	24,3	257,0	22,2	267,6	24.3	275,2	22,5	250,5	19,5	282,3	22,8	267,1	22,0	265,1	3,9	22,7	7,0
Janvier	266,4	25,0	236,9	25,2	230,3	22,7	262,6	24,9	293,7	22,9	260,7	22,5	262,7	24,6	272,1	24,2	260,7	7,6	24,0	4,7
Février	257,3	21,9	268,0	22,2	254,5	19,5	247,7	23,0	285,9	19,9	253,6	17,3	260,1	20,5	258,3	19,2	260,7	4,5	20,4	9,1
Mars	206,9	20,1	230,4	20,7	220,0	17,5	213,5	20,9	229,9	17,9	194,0	21,8	204,2	21,7	212,0	22,8	213,9	5,9	20,4	9,2
Avril	48,1	7,4	60,1	8,8	43,8	6,7	49,7	8,8	45,2	5,6	45,3	8,0	46,0	11,5	48,8	10,4	48,4	10,6	8,4	22,9
Mai	3,3	1,4	8,3	1,4	3,7	1,2	4,6	1,0	4,2	1,6	3,2	0,0	2,9	0,5	1,0	0,8	3,9	53,3	1,0	53,6
Nombre moyen de jours de pluie		123,3		127,0		110,1		127,2		111,8		111,0		123,8		121,5			119,4	6,1

Tabl. IV : Pluviosité mensuelle et nombre moyen de jours de pluie. j = jours; c = coefficient de variation en % des montants mensuels entre les stations.

normalisées sont comprises entre 1216 et 1256 mm. Un peu à l'ouest se trouve la station la plus arrosée, Karavia, avec 1343 mm. Par contre, à l'est et nettement en dehors de la ville, les stations de Luano et de Kafubu enregistrent une pluviosité sensiblement inférieure à la moyenne (1190 et 1152 mm).

Bref, les données pluviométriques analysées conduisent à distinguer à Lubumbashi un secteur occidental plus arrosé et un secteur oriental plus sec.

Pluviosité mensuelle

Le tableau IV fait apparaître un contraste très net entre la pleine saison des pluies et les périodes qui l'encadrent. En décembre, janvier, février et mars, les totaux pluviométriques normalisés dépassent 200 mm par mois partout, à une exception près (194 mm à Kafubu en mars); les coefficients de variation spatiale de ces normales sont relativement faibles, inférieurs à 7,6 %. Le nombre de jours de pluie est compris entre 20 et 24 en moyenne chaque mois.

Les mois de transition octobre (32 mm), novembre (148 mm) d'une part et avril (48 mm) d'autre part ont des coefficients de variation plus élevés compris entre 10,6 et 13,2 %.

Les mois de septembre et de mai, avec des précipitations inférieures à 8 mm dans toutes les stations, appartiennent en fait à la saison sèche. Les pluies erratiques, tant dans l'espace que dans le temps, expliquent les coefficients de variation élevés de 55,8 et 53,3 %.

Enfin, il va de soi que l'opposition entre une station très arrosée comme Karavia et des stations moins pluvieuses comme Luano et Kafubu se retrouve dans le détail des pluies mensuelles et il n'y a pas lieu d'y revenir.

Pluies journalières

La répartition des totaux pluviométriques journaliers (Tab. V) fait ressortir une variabilité spatiale élevée des très faibles précipitations, inférieures à 1 mm. Comme on l'a déjà signalé, des omissions systématiques semblent affecter sur ce point certaines stations comme Voix du Zaïre, Karavia et Imara. Par contre d'autres stations, comme Kipopo, Kisanga et Gécamines, bien qu'elles soient éloignées géographiquement, ont cependant des fréquences relatives étonnamment semblables de 20 à

Classe en mm	Kipopo			Kisanga			G.C.M.			Luano			Karavia			C.D.J.			Imara			Kafubu			V.D.Z.			Lubumbashi	
	j	%t	%p	j	%t	%p	j	%t	%p	j	%t	%p	j	%t	%p	j	%t	%p	j	%t	%p	j	%t	%p	j	%t	%p	%t	s
< 1	613	20	-	494	20	-	520	23	-	252	16	-	140	10	-	116	17	-	57	10	-	65	15	-	4	1	-	14,6	6,8
1-2	369	12	15	287	12	15	235	10	13	211	13	16	132	9	10	77	11	14	61	11	12	38	9	10	56	17	17	11,5	2,4
2-4	419	14	17	333	14	17	269	12	15	240	15	18	231	16	17	70	10	13	68	12	13	57	13	15	53	16	16	13,2	1,9
4-8	513	17	21	376	16	20	352	16	20	266	17	20	281	19	21	98	14	17	100	17	19	60	14	16	47	14	14	15,9	1,7
8-16	526	17	22	417	17	22	407	18	23	260	16	19	291	20	22	149	22	27	138	24	26	73	17	20	74	22	22	19,2	2,7
16-32	441	14	18	339	14	18	335	15	19	278	17	20	266	18	20	104	15	19	103	18	20	99	23	27	62	18	19	16,9	2,8
32-64	159	5	7	155	6	8	137	6	8	92	6	7	119	8	9	56	8	10	54	9	10	37	9	10	39	12	12	7,8	2,0
64-128	20	1	1	15	1	1	18	1	1	15	1	1	15	1	1	8	1	1	3	1	1	5	1	1	4	1	1	0,9	0,3
Total	3060	-	-	2416	-	-	2273	-	-	1614	-	-	1475	-	-	678	-	-	584	-	-	434	-	-	339	-	-	100	-

Tabl. V : Distribution des totaux pluviométriques journaliers pour l'ensemble des observations. j = jours de pluie; s = écart-type entre les stations; %t = pourcentage par rapport à la totalité des jours de pluie; %p = pourcentage par rapport à l'ensemble des jours de pluie supérieur à 1 mm. Ces pourcentages ont été arrondis à l'unité la plus proche. G.C.M. = Gécamines; C.D.J. = Cité des Jeunes; V.D.Z. = Voix du Zaïre.

23 %. Les pluies inférieures à 1 mm y constituent d'ailleurs la classe modale. Ces données sont d'autant plus représentatives de la région, qu'elles se rapportent aux stations où les durées d'observations sont les plus longues et les opérateurs ont été bien formés. Si on considère les fréquences cumulées des jours de pluies inférieures à 4 mm dans ces trois stations, les valeurs, encore une fois très concordantes, varient entre 45 et 46,1 % du total. Ainsi, contrairement à ce qu'on pourrait croire, dans la région tropicale humide du Shaba méridional, les pluies faibles sont effectivement les plus fréquentes.

En faisant abstraction de la classe des pluies inférieures à 1 mm, on peut comparer valablement les autres catégories. Dans ce cas (Tabl. V, colonne "%p"), la catégorie de 8-16 mm devient la classe modale dans toutes les stations, sauf à Luano et Kafubu. Ces deux stations qui sont, rappelons-le, les moins arrosées ont paradoxalement une classe modale de 16 à 32 mm. Cela tendrait à indiquer que le régime des pluies y est un peu différent. Il y pleut moins qu'ailleurs, mais lorsqu'il pleut, les averses sont souvent plus intenses et/ou plus longues.

La répartition des totaux pluviométriques journaliers d'au moins 25 mm dans les cinq stations principales pendant dix ans (1970-1980) montre (Tabl. VI) qu'à Lubumbashi sur une aire d'environ 160 km^2 les fortes pluies généralisées sont peu fréquentes; elles ne représentent en moyenne que 9,7 % du total.

On a même constaté que durant certaines saisons des pluies, il n'y a eu aucun cas de forte pluie généralisé aux cinq stations. Cela s'est notamment produit de juillet 1972 à juin 1975. Par contre, lors des années très pluvieuses, ces cas s'observent plus fréquemment. C'est ainsi même que pendant la saison des pluies record de 1977-1978, un tiers des pluies généralisées supérieures à 25 mm relevées entre 1970 et 1980 se sont produites. Si on admet que les très fortes précipitations sont alimentées principalement par des cumulonimbus, il est normal qu'elles ne puissent généralement pas influencer en même temps les cinq stations principales dispersées sur environ 160 km^2. Par contre, lors de saisons très pluvieuses, les conditions d'instabilité favorisent les puissantes ascendances génératrices d'orages violents. Il est symptomatique que 80 % des fortes pluies généralisées se sont produites en pleine saison des pluies, entre décembre et mars.

Le caractère local des très fortes pluies est encore mieux démontré par la fréquence des pluies supérieures à 25 mm tombées sur une seule

Station	% fortes pluies par rapport au total	Répartition des fortes pluies par station en %					Total
		5 stations sur 5	4 stations sur 5	3 stations sur 5	2 stations sur 5	1 station sur 5	
Karavia	23,3	8,4	19,0	18,4	21,2	33,0	100,0
Gécamines	20,3	9,6	21,8	21,2	26,9	20,5	100,0
Kisanga	20,2	9,7	15,5	21,9	24,5	28,4	100,0
Kipopo	20,0	9,7	16,9	18,8	19,5	35,1	100,0
Luano	16,2	12,0	24,0	16,8	16,8	30,4	100,0

Tabl. VI : Fréquence et répartition des totaux pluviométriques journaliers supérieurs à 25 mm, sur base des relevés de juillet 1970 à juin 1980.

des stations considérées (Tabl. VI). A Kipopo 35,1 % des fortes pluies sont dans ce cas, à la Gécamines 20,5 % et, en moyenne, pour les cinq stations, 29,8 %.

La variabilité spatiale peut être considérable dans l'aire étudiée, puisqu'il est apparu par exemple qu'il n'est pas tombé de pluie du tout à Luano dans 24 cas sur 769 (3,1 %), alors qu'une ou plusieurs autres stations ont recueilli le même jour plus de 25 mm.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

L'analyse des relevés pluviométriques a fourni de nombreuses données précisant la variabilité spatiale aux diverses échelles de temps considérées : jours, mois, années. Le résultat le plus original est pourtant la mise en évidence de deux stations situées à l'est, Luano et Kafubu, significativement moins arrosées que les autres. A ces stations orientales s'oppose un groupe central de quatre stations, Gécamines, Cité des Jeunes, Imara et Kisanga, très homogènes. Par contre, le taux de corrélation des valeurs annuelles de l'ensemble des stations est moyen (59 et 53 % suivant le nombre de stations et la période pris en compte).

Parmi les facteurs de variabilité, la distance intersite joue évidemment un rôle important, mais qui est loin d'être déterminant. C'est ainsi que dans le groupement successif des cinq stations dont la pluviosité a été comparée sur 14 ans, Luano aurait dû s'associer en fonction de la distance au groupe de Gécamines et de Kisanga, avant Kipopo. De même, en ce qui concerne les coefficients de rang, la situation relative de Karavia et Kipopo n'explique pas leur mauvais degré de corrélation aux autres stations. De fait, les écarts les plus grands de pluviosité annuelle normalisée, ainsi que les coefficients de corrélation les moins bons n'ont pas été observés entre les deux stations les plus éloignées, Kipopo et Kafubu (30 km) mais entre Luano et Karavia (12,5 km).

Un autre facteur de variabilité des pluies pourrait être l'altitude. Dans le cas de l'environnement de Lubumbashi, constitué d'un plateau modérément accidenté, les dénivellations entre les stations ne semblent pas jouer de rôle extrêmement important. De manière paradoxale, Luano, situé à l'altitude la plus élevée (1298 m) reçoit le moins de précipitations, tandis que Gécamines, située à une des altitudes les plus basses (1185 m) de la région étudiée, est largement arrosée.

Le type de pluie constitue également un facteur de variabilité. HARJOABA et MALAISSE (1978) distinguent quatre types de pluies à Lubumbashi :

1. celles liées à l'ascendance dynamique dans le cadre de la convergence inter-tropicale;
2. les pluies plus spécifiquement de convection thermique diurne;
3. des *grains* engendrés par un phénomène de poussée;
4. des pluies nocturnes, débutant doucement, sans décharge électrique, à caractère spasmodique et d'origine mal élucidée.

Les types 1 et 4 et, dans une moindre mesure, 3 affectent des aires assez étendues, tandis que les averses de type 2 sont parfois extrêmement localisées. HARJOABA et MALAISSE (1978) notent en outre que les précipitations les plus intenses se rencontrent dans ce groupe. Cela explique en grande partie la variabilité spatiale élevée constatée dans l'analyse des très fortes pluies (< 25 mm).

Des observations préliminaires ont été faites grâce aux radars du centre d'aérologie de la Luano, de manière à suivre la trajectoire de noyaux de précipitations. C'est ainsi qu'on a pu constater à plusieurs reprises un déplacement de zones de pluies de l'ouest vers l'est, et particulièrement du nord-ouest vers le sud-est.

Les différences de cote udométrique constatée plus haut entre l'ouest et l'est de la ville pourraient être liées au passage des zones de pluie au-dessus de la ville. Cette dernière beaucoup plus chaude que les milieux ruraux voisins pourrait nourrir au sein des nuages une force ascensionnelle accrue génératrice d'averses plus abondantes (ERPICUM, 1977). La ville, d'autre part, moins propice à l'évaporation, priverait le complexe orageux d'une partie de son énergie sous forme de chaleur latente.

L'existence de microclimats à Lubumbashi a en effet été mise en évidence par MALAISSE sur base de la floraison de *Jacaranda mimosifolia* (LEBLANC et MALAISSE, 1978, p. 79). Il en ressort que le quartier commercial du centre-ville possède un microclimat plus chaud que celui des quartiers périphériques. Toutefois, le plateau possède un microclimat plus chaud que celui des versants de la Lubumbashi et de son affluent la Lubwe.

L'élévation de température de l'espace urbain est principalement en relation avec la concurrence exercée par le flux de chaleur latente lui-

même lié à la raréfaction du couvert végétal. Les images LANDSAT de Lubumbashi montrent un contraste très marqué entre la ville et sa ceinture de végétation plus ou moins dégradée, aussi bien dans les canaux 7 que 6 et 5 (WILMET et SOYER, 1982).

En conclusion, cette étude a cherché à préciser la variabilité spatiale des pluies dans l'environnement d'une vaste agglomération tropicale. L'importance relative des divers facteurs de variabilité devra cependant être précisée ultérieurement, grâce notamment à l'observation systématique des trajectoires des noyaux de précipitations.

REMERCIEMENTS

Une reconnaissance particulière est due au Professeur J. ALEXANDRE (Université de Liège) pour ses commentaires et suggestions. Les auteurs tiennent également à remercier tous les organismes qui ont communiqué leurs données pluviométriques. Que le dessinateur KAYEMBE Bikulu soit aussi remercié pour sa collaboration.

BIBLIOGRAPHIE

ARLERY, R., GRISOLLET, H. & GUILMET, B., 1973. Climatologie. Méthodes et pratiques. *Gauthier-Villars, Paris,* 434 p.

BULTOT, F., 1950. Régimes normaux et carte des précipitations dans l'est du Congo belge. *Publ. I.N.E.A.C., Bur. climatol.*, n° 1.

BULTOT, F., 1956. Etude statistique des pluies intenses en un point et sur une aire au Congo belge et au Ruanda Urundi. *Publ. I.N.E.A.C., Bur. climatol.*, 11, 90 p.

BULTOT, F., 1957. Risques d'années sèches et pluvieuses au Congo belge et au Ruanda Urundi. *Publ. I.N.E.A.C., Bur. climatol.*, 13, 22 p.

BULTOT, F., 1971. Atlas climatique du bassin congolais. Les composantes du bilan de l'eau. *Publ. I.N.E.A.C.*, 2, 45 fig., 27 tabl.

CHADULE, 1974. Initiation aux méthodes statistiques en géographie. *Masson, Paris*, 192 p.

DUBREUIL, P., 1974. Initiation à l'analyse hydrologique. *Masson, Paris,* 216 p.

ERPICUM, M., 1977. Variabilité de la répartition spatiale des précipitations sur l'agglomération de Liège. Analyse de quelques cas. *Bull. de la Soc. géogr. de Liège*, 13, 133-145.

GREGORY, S., 1978. Statistical methods and the geographer. *Longman, London,* 240 p.

HARJOABA, I., HARJOABA, R. & KALOMBO, K., 1978. L'évolution du régime pluviométrique du Nord au Sud de la partie orientale de la République du Zaïre. *Geo-Eco-Trop*, 2 (3), 317-337.

HARJOABA, I. & MALAISSE, F., 1978. Le régime journalier des précipitations et les types de pluies à Lubumbashi. *Geo-Eco-Trop*, 2 (4) 401-414.

HIRSCH, F., 1966. Application de l'analyse statistique à l'étude de la pluviométrie. *La Météorologie*, 81, 25-46.

KALOMBO, K., 1979. Contribution à l'étude de l'intensité des pluies à Lubumbashi.(Shaba, Zaïre). *Geo-Eco-Trop*, 3 (3) 159-167.

LEBLANC, M. & MALAISSE, F., 1978. Lubumbashi, un écosystème urbain tropical. *Univ. Nat. Zaïre, Centre Internat. Sémiol., Lubumbashi,* 166 p.

MALAISSE, F. MALAISSE-MOUSSET, M. & SCHOROCHOFF, G., 1978. Analyse de la pluviosité à Lubumbashi et dans ses environs immédiats. *Geo-Eco-Trop*, 2 (3) 301-315.

MONJALLON, A., 1966. Introduction à la méthode statistique. *Vuibert, Paris,* 279 p.

QUOIDBACH, J. & GOBERT, G., 1971. Vents en altitude au Congo. *Inst. Royal Météorol. Belg., Miscell.*, A, 1, 69 p.

WILMET, J. & SOYER, J., 1982. Lubumbashi et le Sud-Est du Haut-Shaba : interprétation de données Landsat. *Bull. Soc. Belge Etude Géogr.*, 87-100.