

QUELQUES CONSIDERATIONS SUR LA POLLUTION DE L'AIR A LUBUMBASHI (SHABA, ZAIRE)¹

Some considerations about air pollution in Lubumbashi (Shaba, Zaïre)

MBENZA MUAKA*, ALONI KOMANDA*, MUTEB MUTOMB**

ABSTRACT

Air pollution in Lubumbashi has been approached via the analysis of humid and dry deposits. Nine elements have been identified in the humid deposits. Four of them, zinc, cadmium, arsenic and lead also present in the dust emitted by the smelting works of the Gécamines are metals associated with the copper ore. Two others, calcium and magnesium, are also present in the carbonated rocks of the exploited area and also in some outcrops of local formations. Only one element, the chlorid ion seems not to have any precise origin. Sulfate ions, by far the most important, are to be connected with the SO₂ emitted by smelting works of the Gécamines but also by some little workshops of the Bel-Air district

Pollution is the most intensive in the surroundings of the smelting works but it intermittently also reaches the whole urban and suburban area on account of certain meteorological conditions. Its most evident effects are vegetation damage. The modes of action of pollution remain to be stated precisely. Poisoning trough heavy metals and with sulphide gazeous effluents is more probable than acid rains as in the developed countries.

RESUME

La pollution de l'air à Lubumbashi est abordée par l'analyse des dépôts humides et secs. Neuf éléments ont été identifiés dans le dépôt humide. Quatre, le zinc, le cadmium, l'arsenic et le plomb également présents dans les poussières dégagées par la fonderie de la Gécamines, sont des métaux souvent associés au cuivre, dans les minerais traités par cette société minière. Deux éléments, le calcium et le magnésium sont présents dans les roches carbonatées des gisements exploités, mais aussi dans un certain nombre de formations lithologiques affleurant dans le site. Un seul élément, le chlorure, semble n'avoir pas d'origine locale précise. Le sulfate, de loin la plus importante particule dosée, résulte de la présence d'une énorme production de SO₂ par la fonderie de la Gécamines ainsi que, dans une moindre mesure, des rejets de petites industries regroupées au quartier du Bel-Air.

C'est dans les environs de la fonderie que la pollution est la plus intense. Elle touche néanmoins, par intermittences, tout l'espace urbain et périurbain, en fonction des conditions météorologiques. Ses effets sont surtout plus évidents dans les modifications subies par les végétaux. Les modalités d'action de cette pollution restent

¹ Cette contribution n'a pu être présentée pendant le Symposium sur Environnement et Santé

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

** Département de Géographie, Institut Supérieur Pédagogique/Lubumbashi, Lubumbashi, Zaïre.

cependant encore à préciser. On pense généralement qu'elle porte surtout sur l'empoisonnement par les métaux lourds et les effluents gazeux sulfureux plutôt que sur les pluies acides comme dans les pays industrialisés de l'hémisphère nord.

INTRODUCTION

Malgré l'existence d'indices de plus en plus évidents de dégradation de l'environnement urbain dans les pays en voie de développement, spécialement dans les foyers industriels et les grandes agglomérations, la pollution de l'air semble peu préoccuper leurs populations. Cette indifférence, coupable notamment pour les scientifiques, s'explique néanmoins en partie, autant par la crainte d'éveiller des susceptibilités politico-économiques qu'impliquent généralement les études sur pareil sujet (les grands pollueurs étant les industries sur lesquelles repose la plus grande part des économies nationales) que par la difficulté d'obtenir des données fiables et surtout crédibles. Beaucoup d'industries opposent souvent, en effet, un blockout à toute demande de renseignements dans cette matière.

Au Zaïre, cependant, il n'en va pas ainsi. Un colloque a même déjà réuni à Lubumbashi en juin 1986 plusieurs spécialistes de différents domaines scientifiques pour débattre, avec les industriels, des incidences de la pollution industrielle sur l'environnement. Malheureusement, la plupart des recommandations formulées à cette occasion sont demeurées des vœux pieux. La menace est présente surtout dans les villes comme Lubumbashi où l'extraction du cuivre, activité principale à l'origine de cette ville depuis 1911, utilise encore un vieux procédé de grillage des minerais sulfurés qui rejette quotidiennement dans l'atmosphère urbaine un volume considérable de fumées très chargées de SO₂ ainsi qu'une part importante de particules solides.

Dans une étude récente SOYER et ALEXANDRE (1987) ont attiré l'attention sur le risque éventuel d'acidification des pluies en rapport avec cette grande production de SO₂. Ils ont également souligné, à l'aide de l'indice de végétation perpendiculaire calculé à partir d'une image Landsat du 14/6/85, l'importance des retombées sulfureuses dans la dégradation actuelle de la végétation tant urbaine que périurbaine.

La présente contribution s'inscrit dans la poursuite de l'étude entreprise par ces deux auteurs. Elle vise notamment à concrétiser une des préoccupations du colloque de 1986 qui recommande la connaissance approfondie de l'état actuel de pollution de l'air

dans nos villes surtout là où, comme à Lubumbashi, la menace nécessite déjà une surveillance.

PROCEDE D'ETUDE

Les données de ce travail se fondent essentiellement sur les analyses chimiques des eaux de pluie prélevées à l'occasion des campagnes de mesure d'acidité des pluies, effectuées au cours de deux saisons consécutives, du 26 décembre 1984 au 20 avril 1985 et du 5 décembre 1985 au 30 avril 1986. L'eau était recueillie dans des béciers en pyrex d'une capacité de 2 litres disposés soit sur le toit d'une maison pour les stations intra-urbaines soit sur une souche d'arbre pour les stations périurbaines.

Environ 83 prélèvements, portant sur 22 averses remplissant les béciers au cours d'une seule pluie, ont été effectués dans sept stations réparties à travers la ville et ses environs (fig. 1). Le nombre de prélèvements par station varie de 3 à 24. Seules les stations totalisant plus de 10 prélèvements ont fait l'objet d'analyses détaillées. Elles sont quatre, trois intra-urbaines : Centre-ville, Bel-Air et Fonderie, et une périurbaine : Luiswishi, située à plus ou moins 30 km au nord-est de la ville. Les autres stations sont reprises à titre indicatif.

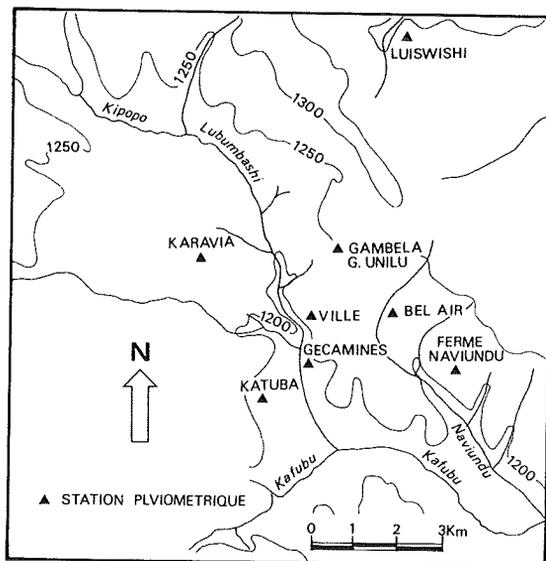


Fig. 1 : Localisation des stations de prélèvement

La composition du dépôt humide a été déterminée au Laboratoire de la Gécamines¹ à Lubumbashi, suivant les procédés d'analyse chimique couramment utilisés à cette fin. Il s'agit notamment pour l'arsenic de l'analyse par distillation et idiométrie, pour le sulfate de la précipitation au chlorure de baryum. Les métaux lourds et autres éléments en trace ont été dosés par absorption atomique d'après les recommandations de l'OMS (MUNN, 1982) ainsi qu'en application des procédures préconisées par GALLOWAY et JIKENS (1978).

La composition du dépôt sec a été essentiellement déduite des données fournies par la GCM sur le volume global de la fumée dégagée par la fonderie ainsi que sur sa concentration en SO₂ à la sortie de la cheminée.

ANALYSE DU DEPOT HUMIDE

Le tableau I donne par élément dosé, et cela pour chaque station, la concentration moyenne, l'écart-type, l'intervalle de variation, le coefficient de variation et le nombre de mesures effectuées ainsi que la valeur moyenne du pH des eaux de pluies. L'importance relative de différents éléments lessivés est soulignée à l'aide du diagramme circulaire de la fig. 2, qui donne la fraction molaire de chaque élément identifié à l'exception de ceux trouvés seulement en traces.

Neuf éléments pluviollessivés ont été identifiés : deux anions, le sulfate et le chlorure et sept cations, le calcium, le magnésium, le cuivre, le cadmium, l'arsenic et le plomb.

L'ion sulfate, de loin le plus représenté, a été dosé dans toutes les stations en des concentrations moyennes assez élevées. Peu variables d'une station à l'autre, ces moyennes sont comprises entre 2.73 et 4.04 mg/l. La valeur la plus forte (4.04 mg/l) concerne la station de la GCM située dans l'enceinte de la fonderie où les données extrêmes sont 3.2 et 6.4 mg/l. Des valeurs plus élevées, de l'ordre de 8 mg/l, ont été dosées notamment à la station du nord de la ville, mais elles ne portent que sur trois mesures.

¹Générale des carrières et des mines en sigle GCM : Société d'Etat d'exploitatin minière.

Tab. 1 : Données sur les particules lessivées et l'acidité des pluies à Lubumbashi

Station	Acidité des pluies (pH)						Sulfate						Arsenic						Cuivre						Chlorure												
	VAR		CV		NB		AVG		STD		VAR		CV		NB		AVG		STD		VAR		CV		NB		AVG		STD		CV		NB				
	AVG	STD	VAR	CV	NB	AVG	STD	VAR	CV	NB	AVG	STD	VAR	CV	NB	AVG	STD	VAR	CV	NB	AVG	STD	VAR	CV	NB	AVG	STD	VAR	CV	NB	AVG	STD	CV	NB			
Fonderie	5,89	0,58	[4,2-6,2]	10	13	4,04	0,85	[3,2-6,4]	21	13	0,35	0,19	[0,09-0,6]	54	9	2,39	3,62	[tr-9,0]	51	9	traces																
Ville-C	6,28	0,63	[5,2-7,3]	10	24	2,73	1,11	[0,6-5,0]	41	24	0,31	0,21	[tr-0,9]	68	20	0,2	0,09	[tr-0,4]	45	24	traces																
Bel-Air	6,09	0,39	[5,4-6,6]	6	21	2,9	0,64	[1,8-4,3]	22	21	0,07	0,1	[tr-0,4]	142	12	0,02	0,06	[tr-0,2]	300	12	traces																
Luiswishi	6,68	0,42	[5,8-7,3]	6	16	2,76	1,26	[0,6-5,1]	46	16	0,36	0,23	[0,06-0,9]	64	16	tr	0	[tr-tr]	0	7	-																
Ville-N	5,48	0,54	[4,6-6,0]	10	4	5,17	2,09	[3,4-8,1]	40	3	0,61	0,22	[,38-0,9]	36	3	tr	0	[tr-tr]	0	3	traces																
Katuba	6,38	0,18	[6,1-6,6]	28	6	2,97	0,11	[2,7-3,1]	4	6	tr	0	[tr-tr]	0	6	0,2	0	[0,2-0,2]	0	3	traces																
Navindu	6,08	0,11	[5,9-6,2]	18	5	3,5	0,5	[3,0-4,0]	14	4	0,1	0	[0,1-0,1]	0	4	0,1	0	[0,1-0,1]	0	4	traces																
Moyenne*	6,24	0,56	[4,2-7,3]	9	75	3,02	1,11	[,06-6,4]	36	73	0,28	0,22	[tr-0,8]	80	57	0,44	1,73	[tr-9,0]	396	45	traces																

Station	Zinc						Cadmium						Calcium						Magnésium						Plomb													
	VAR		CV		NB		AVG		STD		VAR		CV		NB		AVG		STD		VAR		CV		NB		AVG		STD		CV		NB					
	AVG	STD	VAR	CV	NB	AVG	STD	VAR	CV	NB	AVG	STD	VAR	CV	NB	AVG	STD	VAR	CV	NB	AVG	STD	VAR	CV	NB	AVG	STD	VAR	CV	NB	AVG	STD	CV	NB				
Fonderie	0,59	1,35	[tr-4,3]	228	9	2,47	2,84	[tr-7,0]	115	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Ville-C	0,04	0,15	[tr-0,8]	375	24	tr	0	[tr-tr]	0	24	2,84	1,48	[1,2-5,9]	52	7	1,13	0,48	[0,4-1,6]	43	7	traces																	
Bel-Air	tr	0	[tr-tr]	0	12	tr	0	[tr-tr]	0	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Luiswishi	tr	0	[tr-tr]	0	7	tr	0	[tr-tr]	0	7	2,77	1,33	[1,2-5,4]	48	7	1,08	0,45	[0,4-1,6]	42	7	traces																	
Ville-N	tr	0	[tr-tr]	0	3	tr	0	[tr-tr]	0	3	tr	0	[tr-tr]	0	3	tr	0	[tr-tr]	0	3	traces																	
Katuba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Navindu	tr	0	[tr-tr]	0	4	tr	0	[tr-tr]	0	4	tr	0	[tr-tr]	0	4	tr	0	[tr-tr]	0	4	-																	
Moyenne*	0,11	0,6	[tr-4,3]	518	45	0,41	1,49	[tr-7,0]	356	45	2,8	1,4	[1,2-5,9]	50	14	1,1	0,46	[0,4-1,6]	42	17	traces																	

AVG = moyenne des concentrations en mg/litre; VAR = intervalle de variation; CV = coefficient de variation; NB = nombre de mesures; STD = écart-type; tr = faibles concentrations (traces); - = dosage non fait; * = moyennes des mesures principales : Fonderie, Ville-centre, Bel-Air et Luiswishi.

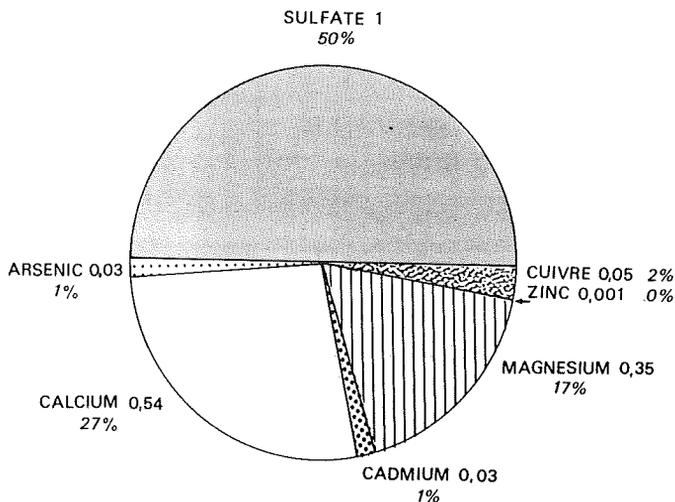


Fig. 2 : Composition du dépôt humide (en fractions molaires)

L'évolution au cours de la saison des concentrations considérées par station montre des variations relativement accusées pour le centre ville et la Luiswishi. Les coefficients de variation y sont respectivement de 41 % et de 46 %. Les concentrations y sont comprises entre un minimum de 0.6 et un maximum de 5.1 mg/l. A la fonderie et au Bel-Air, par contre, les concentrations varient peu et sont en général plus élevées. Le coefficient de variation est de 21 % pour la première station et de 22 % pour la deuxième où les valeurs sont comprises dans un intervalle de 1.8 à 4.3 mg/l. Il est bon de noter le comportement analogue pour cet élément des stations aussi éloignées que le centre ville, intra-urbaine, et la Luiswishi, périurbaine.

Un autre élément identifié dans le groupe d'anions est l'ion chlorure. Celui-ci a été également dosé dans presque toutes les stations mais en des concentrations très faibles, à peine quelques traces.

La composition du dépôt humide est, par contre, plus variée en cations. L'arsenic est de loin le cation le plus répandu. Il a été dosé dans toutes les stations étudiées. Sa concentration moyenne d'environ 0.3 mg/l est tirée d'une fourchette des valeurs moyennes par station qui va de traces à 0.61 mg/l. Au cours de la saison, les concentrations accusent des variations plus ou moins grandes suivant les stations. Au Bel-Air, le coefficient de variation est de 142 %. Il est par contre relativement peu

élevé, 68 %, 64 % et 54 % respectivement pour le centre ville, la Luiswishi et la fonderie.

Le comportement différent qu'affiche le Bel-Air par rapport aux autres stations urbaines comme périurbaines se remarque également dans les valeurs désagrégées des concentrations. En effet, les valeurs sont ici les plus faibles, une moyenne de 0.07 mg/l comprise entre les extrêmes de quelques traces à 0.4 mg/l environ, alors que pour les trois autres stations les données sont relativement plus grandes et plus groupées. Elles varient en effet, entre des valeurs minimales de quelques traces à 0.09 mg/l et des valeurs maximales de 0.6 à 0.9 mg/l. Des mesures entreprises à la station du nord de la ville ont fourni une moyenne encore plus grande, 0.61 mg/l, mais pour une série de trois données seulement.

Trois éléments, le cuivre, le zinc et le cadmium, présentent un comportement relativement analogue. Les concentrations significatives pour ces éléments n'ont été obtenues que pour quelques averses. C'est à la fonderie que les valeurs sont les plus élevées et, des trois cations, c'est le cuivre qui révèle les concentrations les plus grandes. Les moyennes sont de 2.4, 0.2 et 0.02 mg/l comprises dans des intervalles de quelques traces à respectivement 9 mg/l pour la fonderie, 0.4 mg/l pour le centre ville et 0.2 mg/l pour le Bel-Air. A Luiswishi, le cuivre n'a été dosé qu'en traces pour les sept mesures qui y ont été effectuées. Les concentrations en ion zinc varient en moyenne des traces à des valeurs maximales de 4.3 et 0.8 mg/l respectivement à la fonderie et au centre ville. Au Bel-Air et à Luiswishi, ce cation n'est présent dans l'eau de pluie que sous forme de traces difficilement quantifiables. Il en est de même du cadmium pour lequel les concentrations autres qu'en traces n'ont été obtenues qu'à la fonderie, avec une moyenne de 2.5 mg/l comprise entre un minimum de quelques traces et une valeur maximale de 7.0 mg/l. Comme on pouvait s'y attendre, les coefficients de variation pour ces trois éléments sont, dans toutes ces stations, très élevés, plus de 100 % excepté, fait surprenant, au centre ville pour le cuivre. Ici, les concentrations des 24 mesures varient relativement peu, le coefficient de variation n'est que de 45 % alors que pour le même nombre de données, il est de 151 % à la fonderie et de 300 % au Bel-Air.

Parmi les trois éléments restant pour lesquels les données sont plus éparées, le calcium et le magnésium manifestent également un comportement analogue. Alors que le plomb n'est présent qu'en traces et uniquement dans les stations urbaines, le calcium et le magnésium sont, par contre, en concentrations relativement plus grandes et mieux distribuées à travers le site étudié. Les valeurs moyennes sont de 2.8 et 1.1 mg/l comprises dans des intervalles de 1.2 à 5.9 mg/l et de 0.4 à 1.6 mg/l

respectivement pour le calcium et pour le magnésium. Tant au sein d'une même station que d'une station à l'autre, les concentrations de ces deux éléments varient très peu.

La répartition spatiale du dépôt humide représentée à la figure 3 montre jusqu'à une distance à peine supérieure à 1 km de la fonderie un gradient très accusé sauf pour l'arsenic et, dans une certaine mesure, le cadmium. Les concentrations en ces deux éléments sont relativement constantes sur l'ensemble de l'espace du site étudié.

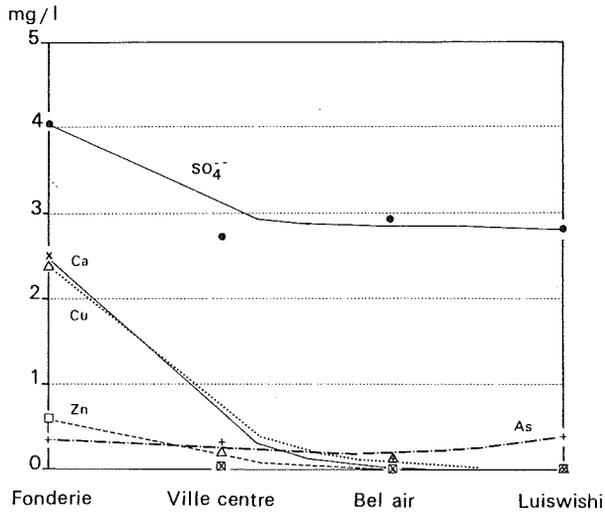


Fig. 3 : Relation pollution - distance

ANALYSE DU DEPOT SEC

Le dépôt sec est dominé essentiellement par la fumée de grillage des minerais sulfurés de cuivre qui s'échappe de l'usine de la GCM et, dans une moindre mesure, des rejets de plusieurs petites unités agro-industrielles et métallurgiques regroupées surtout au quartier dit industriel du Bel-Air. On ne dispose de données que sur la contribution de la GCM qui est, du reste, la plus importante. C'est à partir de cette contribution que la composition du dépôt sec a été déduite.

La fonderie rejette par heure, dans l'atmosphère urbaine, 150.000 m³ de fumées formées de gaz, principalement des vapeurs d'eau et d'anhydride sulfureux, ainsi que des poussières de particules solides. Celles-ci se composent, d'après les analyses de la GCM, de 15.2 % de cuivre, 18.2 % de zinc, 0.19 % de cadmium, 1.7 % de plomb, 0.94 % de soufre et 0.17 % d'arsenic. Le reste, environ 63.6 % est constitué principalement de poussières de roches calcaires et dolomitiques. Une moyenne de 12 g/m³, a été trouvée à la sortie des fours Water Jacket. On en déduit facilement un dégagement par heure de 1.800 kg de poussières, en se fondant sur le volume horaire de 150.000 m³ de fumée dégagée. Si toute la fumée devait stagner dans l'espace urbain étudié, de 15 km environ de rayon, il en résulterait un dépôt journalier par m² de 6.6 - 7.9 - 0.08 - 0.73 - 0.4 et 0.07 mg respectivement pour le cuivre, le zinc, le cadmium, le plomb, le soufre et l'arsenic. La concentration moyenne en SO₂ de la fumée à sa sortie de la cheminée principale haute de 150 m étant de 6 %, on peut en déduire également un dépôt journalier d'environ 9,4 mg d'anhydride sulfureux par m².

L'analyse granulométrique de ces poussières révèle que 79.8 % sont des particules de dimensions comprises entre 31 et 106 microns et 20.2 % de particules plus fines. La première fraction relativement lourde ne tarde pas à retomber aussitôt après la sortie de la cheminée, tandis que la seconde reste plus longtemps en suspension. Dans cette dernière fraction, 2.03 % des particules ont une granulométrie inférieure à 2 microns. Elles sont de ce fait facilement respirables, occasionnant diverses affections pulmonaires. Le reste est constitué d'aérosols qui jouent notamment dans la réduction de la visibilité par absorption des U.V. et dans la fixation du SO₂ aboutissant par des mécanismes complexes à la formation de l'acide sulfurique lors des précipitations.

INTERPRETATION ET DISCUSSION

La pleine compréhension des mécanismes de pollution de l'air à Lubumbashi demande que soient bien expliquées d'une part la source des polluants et d'autre part leurs modalités d'action et de répartition spatiale.

En ce qui concerne la source, le fait que dans l'ensemble, le dépôt humide révèle une composition très proche des poussières analysées à la sortie des fours Water Jacket, que presque tous les cations identifiés sont des métaux lourds associés

au cuivre dans les minerais sulfurés extraits des mines de Kipushi (INTIOMALE & OOSTERBOSCH, 1974) et que les concentrations en ces éléments diminuent en général avec l'éloignement de la fonderie, ne doit permettre aucun doute quant à l'origine industrielle essentiellement minière de la pollution de l'air dans la ville de Lubumbashi et ses environs.

Toutefois, l'évolution analogue des concentrations en ions sulfates des stations du Bel-Air et de la fonderie, observée au cours de la saison, qui est différente pour le centre ville qui les sépare, pousse à considérer pour cet élément, d'autres sources que la fumée sulfureuse de la GCM. De fait, le Bel-Air regroupe plusieurs petites industries qui fonctionnent essentiellement au fuel. Ce dernier, on le sait, contient une proportion variable de soufre suivant la qualité. En Europe par exemple, on impute l'accroissement du SO₂ atmosphérique notamment à la généralisation du chauffage central individuel (MEURENS & LENELLE, 1977).

Il ne semble pas qu'il faille évoquer des sources industrielles minières lointaines telles celles du Coperbelt zambien comme le suggèrent SOYER et ALEXANDRE (1987) à propos de l'acidité des pluies pour laquelle un comportement analogue a été constaté. En effet, rien ne justifie que ces apports lointains ne se limitent qu'à la station du Bel-Air, épargnant toutes les autres stations du site.

Le calcium et le magnésium, trouvés en proportion importante dans les poussières de la fonderie sont également présents en concentrations assez élevées dans les stations aussi éloignées que le centre ville et la Luiswishi. Ils posent aussi, de ce fait, un problème de sources variées. En effet, si les minerais sont extraits en profondeur dans des formations schisto-dolomitiques de la série des mines (FRANCOIS, 1974), il existe dans le site étudié plusieurs affleurements de roches carbonatées. Bien que profondément altérées, ces roches pourraient constituer une source susceptible de fournir une certaine fraction des aérosols carbonatés. A voir la fertilité naturellement élevée des sols de la série de Kaponda développés sur ces affleurements (SYS & SCHMITZ, 1959), les bases de ces sols ne doivent pas être complètement emportées, malgré l'intensité et l'ancienneté de leur lessivage.

Le chlorure dosé en trace, ne semble pas avoir de source locale évidente. Des salines, exploitées même, existent à plus de 200 km. Mais leur faible étendue s'oppose à la production des embruns sensibles à une aussi grande distance. S'agirait-il alors d'une influence maritime malgré l'égal grand éloignement du site (environ 1500 km) des océans Indien et Atlantique ?

Quant aux modalités de répartition spatiale, il ressort de la composition granulométrique des poussières et du gradient des concentrations que les retombées des métaux lourds affectent surtout l'espace urbain et plus spécialement les environs immédiats de la fonderie, dans un rayon d'un peu plus d'un kilomètre. Cette étendue correspond aux zones d'indice de végétation inférieur à 25 de la classification des zones de dégradation périurbaine établie sur base de l'indice de végétation perpendiculaire par SOYER et ALEXANDRE (1987). L'espace périurbain est, quant à lui, affecté surtout par les éléments qui concourent à la formation des sulfates, en particulier le SO₂ industriel, bien que la concentration en ions sulfatés des pluies ne puissent pas toujours refléter la concentration en SO₂ atmosphérique (GEORGH, 1963). Dans une moindre mesure, cet espace périurbain est aussi touché par les métaux très volatiles comme l'arsenic et le cadmium qui sont du reste, des poisons violents soumis à une réglementation très stricte dans les pays développés. Toutefois, mis à part le couloir de retombées, la dégradation de la végétation est surtout le résultat d'un déboisement inconsidéré pour les besoins d'énergie domestique d'une population urbaine en rapide croissance (SOYER & WILMET, 1983).

Les grandes variations dans l'évolution au cours de la saison, des concentrations de la plupart d'éléments, tant gazeux que solides, observées notamment au Bel-Air et au centre ville, témoignent de l'existence de temps en temps dans l'espace urbain du moins, d'une pollution aussi intense que dans les environs immédiats de la fonderie de la GCM. Cette situation, en l'absence d'éventuelles sources locales évoquées, est liée aux conditions météorologiques qui règnent pendant la saison des pluies. En effet, alors que sous l'effet des alizés constants pendant presque toute la saison sèche, la fumée de la GCM s'évacue régulièrement à l'extérieur de la ville dans la direction nord-ouest où sa traînée est observable jusqu'à Kolwezi (environ 300 km), de nombreuses perturbations surviennent en saison des pluies. Celles-ci obligent la fumée soit à stagner soit à s'orienter vers d'autres directions. C'est notamment à la suite de ces perturbations qu'une partie de la ville ou même la ville toute entière peut se trouver parfois enveloppée sous une brume d'odeur de soufre irritant fort les muqueuses oculaires.

Les modalités d'action de cette pollution reste néanmoins encore obscures. Il est certain, depuis l'étude de SOYER et ALEXANDRE (1987) qu'au moins elle n'est pas due aux pluies acides comme dans les pays industrialisés, malgré l'importante production de SO₂. L'origine très souvent convective de la plupart des pluies annuelles de la région (MALAISSE *et al.*, 1975) s'oppose à la longue durée de séjour exigée au SO₂ dans les vapeurs d'eau pour la formation de l'acide sulfurique par

oxydation de l'anhydride sulfureux (BARRE & GEORGII, 1976). La dénudation complète des aires contiguës à la fonderie, le rabougrissement de la végétation dans le couloir des retombées, le dépérissement récent des épicéas ornementaux, le flétrissement discret de certaines plantes maraîchères, l'extension plus grande de l'aire de distribution urbaine du *Bulbostylis* (LEBLANC & MALAISSE, 1976), plante des terrains empoisonnés en cuivre ainsi que les fréquentes irritations des conjonctives ressenties bien au-delà de la fonderie sont pourtant là autant d'effets majeurs qui témoignent de l'intensité déjà accrue de la pollution de l'air à Lubumbashi et ses environs.

Il semble, ainsi que l'ont souligné SOYER et ALEXANDRE (19487), que ces effets sont plus liés au dépôt sec que des conditions météorologiques particulières (forte inversion thermique due aux alizés du sud-est en saison sèche, inversions thermiques nocturnes toute l'année) maintiennent à proximité du sol, pendant une grande partie de l'année. La dégradation de l'environnement urbain, spécialement celle de la végétation, serait alors due autant aux effluents sulfureux gazeux qu'aux métaux lourds contenus dans la fumée industrielle ainsi rabattue au sol.

CONCLUSION

L'analyse des dépôts humides et secs révèle des éléments pour la plupart associés au cuivre dans les minerais sulfurés de Kipushi qui sont traités à l'usine de Lubumbashi. La répartition spatiale des concentrations en ces éléments ne laisse aucun doute quant à l'origine essentiellement industrielle minière de la pollution de l'air à Lubumbashi. Plus intense dans les environs immédiats de la fonderie, la pollution affecte néanmoins, de temps en temps avec la même sévérité, tout l'espace urbain. Les effets de cette pollution sont observables même en milieu périurbain. En l'absence des pluies acides, ces effets sont à mettre en rapport avec le dépôt sec que des inversions thermiques fréquentes obligent à se rabattre régulièrement au sol. Les effluents sulfureux et les métaux lourds interviennent à différents degrés dans le processus actuel de dégradation de l'environnement urbain, et plus spécialement celle de la végétation.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leurs remerciements à M. KALOMBO responsable du Laboratoire de Chimie de la GECAMINES à Lubumbashi, ainsi qu'à M. J. GREGOIRE qui a bien voulu accepter de critiquer la première version de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- BEILKE, S. & GEORGII, H.W., 1968. Investigation on the incorporation of sulfur dioxide into fog and rain droplets. *Tellus*, XX, 3, 435-445.
- FRANÇOIS, A., 1974. Minéralisation du Shaba et leur environnement lithologique et tectonique. In P. BARTHOLOME éd : *Gisements stratiformes et provinces cuprifères*, . Soc. Géol. Belg., 79-101.
- GALLOWAY, J.N. & JIKENS, G.E., 1978. The collection of precipitation for chemical analysis. *Tellus*, XXX, 81-82.
- GEORGII, H.W., 1963. On the effect of rainfall on the SO₂ concentration in the atmosphere. *Int. J. Air Wat. Poll.* 7, 1057-1059.
- INTIOMALE, M.M. & OOSTERBOSCH, R., 1974. Géologie et métallogénie du gisement Zn, Pb, Cu, de Kipushi, Shaba, Zaïre, In P. BARTHOLOME, éd : *Gisements stratiformes et provinces cuprifères*, Soc. Géol. Belg., 123-164.
- LEBLANC, M. & MALAISSE, F., 1978. *Lubumbashi, un écosystème urbain tropical*. Centre international de sémiologie, Univ. Nat. du Zaïre, 166 p.
- MALAISSE, F., MALAISSE-MOUSSET, M. & SCHOROCHOFF, G., 1975. Analyse de la pluviosité pour les environs de Lubumbashi. Actes du 1er Congrès Géographique du Zaïre, Lubumbashi, 12 p.
- MEURRENS, A., & LENELLE, Y., 1977. Rôle de la pluie dans l'élimination du SO₂ atmosphérique. Rapport de la participation belge à l'action concertée Cost 61A sur les transformations physico-chimiques du SO₂ dans l'atmosphère. Inst. d'Hyg. et Epid., Ministère de la Santé et Famille, 99 p.
- MUNN, R.E., 1982. Météorologie de la pollution de l'air. Service de l'environnement atmosphérique. O.M.S., Gestion de la qualité de l'air des villes, 105-132.
- SOYER, J. & ALEXANDRE, J., 1987. Pollution atmosphérique et dégradation de l'environnement urbain en région tropicale. Le cas de Lubumbashi, Shaba, Zaïre. In : *Recherches de Géographie urbaine, Hommage au Prof. J. SPORCK*, Soc. Géogr. Liège, Presses Univ. Liège, tome 2, 651-664.
- SOYER, J. & WILMET, J., 1983. Etude de l'environnement de Lubumbashi de 1973 à 1981 à l'aide de la télédétection par satellite : croissance urbaine et déboisement. *Geo-Eco-Trop*, 7 (1-4), 67-81.
- SYS, C. & SCHMITZ, A., 1959. Carte des sols et de la végétation du Congo belge et du Rwanda-Urundi, Livraison 9 : Région d'Elisabethville (Haut-Katanga), Publ. I.N.E.A.C.

