

Étude introductive à la répartition de la pollution atmosphérique (fumée et SO₂) dans la région de Liège (Belgique) (1)

par J. GILLMANN

Licencié en Sciences géographiques
Aspirant du Fonds National de la Recherche Scientifique

I. — INTRODUCTION

Depuis une dizaine d'années, la section de climatologie du laboratoire de Géologie et de Géographie Physique de l'Université de Liège effectue des recherches sur les climats de la région liégeoise. A. Hufty (2) leur a consacré une série d'investigations partielles (1964, 1965, 1968-b) et sa thèse de doctorat (1968-a); A. Laurant a poursuivi la tâche entreprise en analysant de manière plus approfondie les vents (1968) et les inversions thermiques (1969-a, 1969-b). Nous désirons poursuivre par l'identification des interactions entre les faits climatiques proprement dits et la pollution atmosphérique qui, suivant T. J. Chandler (1962, p. 280) « is both an element and fact of the city's climate, and of very long standing ».

Avant de définir les objectifs que nous assignons à cette première recherche, nous pensons qu'il est utile de préciser le niveau auquel nous concevons la recherche géographique en matière de pollution atmosphérique.

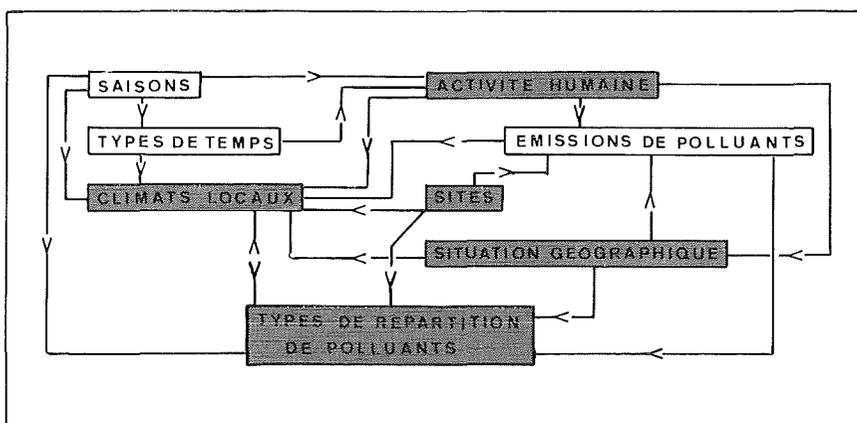
D'abord, il s'agit de déterminer les relations existant entre le climat et la pollution (effets des polluants sur les températures, le rayonnement; effets de la turbulence, de la structure thermique verticale sur la diffusion des polluants, pour ne citer que quelques exemples). Ensuite, il s'agit de différencier les secteurs de l'agglomération dont les caractéristiques dépendent des conditions climatiques locales et de la répartition des activités humaines. (Ce second aspect de la recherche pourrait intéresser l'élaboration d'une législation d'action régionale). L'aspect spatial de la pollution atmosphérique met en cause plusieurs séries de facteurs et l'organigramme de la figure 1 essaye de schématiser leurs interactions.

La pollution atmosphérique dans la région liégeoise a déjà été analysée; signalons notamment les recherches effectuées par E. Leclerc (1949, 1958), D. Rondia (1960, 1962-a, 1962-b, 1963, 1964, 1970), A. William (1958)

(1) Nous remercions vivement MM. Alexandre et Laurant de nous avoir conseillé et d'avoir bien voulu relire cet article.

(2) Voir la bibliographie à la fin.

Organigramme des aspects spatiaux de la pollution
atmosphérique.



■ Etude d'intérêt géographique.

FIG. 1.

pour n'en citer que quelques-unes. Cependant, à notre avis, l'aspect spatial n'a pas encore reçu de réponse suffisante. Depuis janvier 1968, l'Institut royal météorologique publie dans un bulletin mensuel les valeurs relatives à la concentration de la fumée et du SO_2 . Ces mesures sont effectuées dans les stations du réseau belge de surveillance de la pollution atmosphérique créé à l'initiative de la Direction générale de l'Hygiène du Ministère de la Santé publique et de la Famille (3). Ce réseau, qui se complète d'année en année (14 stations en janvier 1968, 38 stations en mars 1972 pour la province de Liège), fournit une base intéressante à la résolution des problèmes évoqués ci-dessus.

Dès lors, par cet article, nous souhaitons simplement fournir une vue globale de la répartition de la pollution dans la région liégeoise; cette recherche préliminaire permet ainsi de poser certains problèmes qui ne se verront résolus que par des analyses ultérieures plus précises.

II. — SIGNIFICATION ET LIMITES DE LA RÉPARTITION ÉTUDIÉE

Nous considérons la répartition de la moyenne (calculée pour la période allant du 1/4/1969 au 31/3/1970) des valeurs quotidiennes de la fumée et du SO_2 . Cette prise de position préalable appelle d'importantes remarques.

(3) Voir J. BOUQUIAUX et J. GRANDJEAN, 1969.

1. Recourant aux valeurs moyennes, nous nous écartons de la réalité. En effet, une fois émis, les polluants participent aux mouvements incessants de la basse atmosphère. Dès lors il n'existe pas un seul schéma de répartition, mais au contraire, plusieurs configurations faisant appel aux entités « types de temps-pollution ». (Celles-ci devraient constituer la base pour l'élaboration d'une législation visant à concilier au mieux les considérations économiques et celles de l'environnement). Ainsi, la répartition décrite ci-après n'a de réalité que statistique; elle facilite néanmoins l'approche.

2. Nous avons préféré faire débiter la période considérée (un an) en avril et la terminer en mars, plutôt que d'envisager l'année civile, car, ainsi que le montrent E. Blade et Ed. F. Ferrand (1969), en matière de pollution, chaque année possède sa propre individualité liée aux saisons. Si la définition de la « saison » n'est pas la même suivant les auteurs, beaucoup s'accordent à faire terminer l'hiver, et partant l'année, à la fin de mars. Ainsi en est-il pour P. J. Meade et F. Pasquill (1958), I. Pemberton et ses collaborateurs (1959), L. Petit et I. Quere (1969). Les auteurs se réfèrent à l'année civile — R. Jacquemain, F. Remy et M. C. Remy-Billon (1968), P. Violet et G. Dumarchey (1967), Th. Bourelly (1968) notamment — étudient les variations mois par mois. Vu les fluctuations d'année en année, les résultats ci-après ne peuvent être interprétés que pour la période considérée. Il faudra attendre plusieurs années de mesures avant de dégager des conclusions sur la constance des faits.

3. Le dispositif actuellement en vigueur fournit, pour chaque station, la quantité (en μg par m^3 d'air) de fumée noire ou de SO_2 en 24 heures. Si ce procédé de prélèvement satisfait les investigations épidémiologiques, du point de vue climatique, ce laps de temps s'avère trop long. Afin de mieux déceler les influences réciproques entre les paramètres climatiques et les polluants, une station de prélèvements trihoraires est en voie d'installation. Il importe toutefois de savoir que la durée du prélèvement a une incidence sur les valeurs enregistrées. P. E. Soostings (1969, p. 42), comparant les résultats obtenus dans différentes villes des Pays-Bas à ceux obtenus par Wippermann et Meade dans les villes des Etats-Unis, aboutit à la conclusion : « les concentrations de pointe que l'on peut s'attendre à trouver dans les séries d'observations faites avec des durées de prélèvement de 2 heures, 1 heure, 30 minutes et 10 minutes sont respectivement 1,75; 2,0; 2,25 et 2,6 fois plus fortes environ que les valeurs maximales trouvées sur 24 heures ».

4. Si l'acidité forte de l'air exprimée en μg de SO_2 par m^3 d'air, et déterminée par titrage acidimétrique, pose peu de problème d'identification, il en va autrement pour la fumée. J. Bouquiaux et J. Grandjean (1969, p. 612) précisent que « dans les conditions de prélèvement et de mesure adoptées, le mot fumée est employé dans le sens de matière particulaire noirâtre dont les composants ont des dimensions suffisamment faibles pour

se trouver effectivement en suspension dans l'air et sont principalement constitués par des produits de combustion ». L'élément mesuré est moins précis que le SO_2 , ce qui conduit à une certaine indétermination. D'autre part, la lecture réflectométrique porte uniquement sur les particules noirâtres; « un facteur déterminé expérimentalement permet éventuellement l'application d'une correction pour tenir compte de conditions locales modifiant la coloration de la fumée » (*Ibid.*, p. 613). Pour l'analyse spatiale que nous entreprenons, cette correction ne nous satisfait que partiellement; nous préfererions disposer d'une mesure des fumées colorées. Pour la région étudiée, nous pensons notamment aux fumées de la sidérurgie ou des cimenteries.

5. Enfin, l'étude est assujettie à la localisation des stations où l'action d'un micro-climat peut-être accentuée. J. Bouquiaux et J. Grandjean (*ibid.*, p. 611) précisent que « le réseau donne une idée de la pollution générale à laquelle la plus grande partie de la population est exposée, les stations ayant été implantées à l'abri des pollutions directes qui affecteraient d'une façon trop importante les mesures ». En conséquence, on peut supposer l'existence d'îlots à taux de pollution plus élevée (voire plus basse) que ce qui figure ci-après.

III. — PRÉALABLE AU TRAITEMENT STATISTIQUE : TYPE DE DISTRIBUTION

Ayant retenu les valeurs enregistrées pendant un an, le nombre de données relatives à la fumée et au SO_2 par station place le traitement statistique dans le cas de grands échantillons.

Toutefois, il faut examiner les échantillons du point de vue quantitatif et qualitatif, afin de connaître les limites de leur comparabilité. Suite aux aléas de l'expérimentation, on ne possède pas 365 observations en chacune des stations. Pour la fumée, comme pour le SO_2 , le nombre minimum de données a été enregistré à la station du Sart Tilman (n° 211), qui ne représente que 75 % du nombre maximum enregistré à la station de Cointe (n° 207). Quantitativement, les échantillons indiquent donc une différence assez sensible. Si cette différence voit ses effets minimisés par le traitement statistique, il n'en est pas de même pour l'aspect qualitatif. Lorsqu'une valeur quotidienne fait défaut de temps à autre, on est en droit d'estimer que cette lacune est sans impact sur les résultats. Mais, la pollution atmosphérique étant liée aux types de temps et ces derniers ayant des fréquences saisonnières variables, lorsque des données manquent pendant des périodes assez longues (plusieurs dizaines de jours), une série déterminée de valeurs fait défaut pour la station. Dans ce cas, la comparabilité des échantillons est fortement réduite et le traitement statistique peut difficilement y remédier. Pour ce motif, les stations suivantes sont sujettes à caution : l'Ecole Saint-Sépulcre (n° 202 : pas d'observation en décembre et janvier), le Sart Tilman

(n° 211 : n'a fonctionné que partiellement de septembre à décembre), Jupille (n° 220 : pas d'observation d'avril à la première décade de juin). En conséquence, les taux des stations n° 202 et 211 devraient probablement être plus élevés, ceux de la station n° 220 plus faibles.

Caractérisons maintenant le type de distribution de la fumée et du SO₂. Chacun de ces deux éléments montre en chaque station une distribution

Tableau n°1 - Coefficients de dissymétrie des distributions de la fumée et du SO₂ de chaque station .

$$C = \frac{Q_1 + Q_3 - 2Q_2}{Q_3 - Q_1} \quad \text{où } Q_1, Q_2, Q_3 \text{ sont les } 1^{\text{er}}, 2^{\text{ème}} \text{ et } 3^{\text{ème}} \text{ quartiles,}$$

N° de station	C Fumée	C SO ₂
201	0,20	0,14
202	0,28	0,27
203	0,21	0,09
204	0,24	0,19
205	0,21	0,10
206	0,18	0,11
207	0,24	0,17
208	0,14	0,04
209	0,33	0,23
210	0,30	0,26
211	0,17	0,16
212	0,21	0,07
213	0,43	0,38
214	0,14	0,27
215	0,20	0,36
216	0,36	0,18
217	0,20	0,10
218	0,35	0,23
219	0,26	0,18
220	0,29	0,17

unimodale. Une faible dissymétrie positive existe, ainsi qu'en attestent les coefficients.

En portant les distributions cumulées de la fumée et du SO_2 sur des graphiques où figurent en abscisses les valeurs exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ suivant une échelle logarithmique, et en ordonnées les fréquences cumulées exprimées en % suivant une échelle de probabilité conforme aux lois de Laplace-Gauss, on obtient graphiquement une estimation du degré de normalité des distributions. On peut en conclure que les distributions tendent assez fortement vers la normalité, excepté pour les faibles valeurs. Cette constatation a déjà été faite, à Paris notamment, par H. Grisolle et J. Pelletier (1957), qui s'accordent à reconnaître là une insuffisance de sensibilité des méthodes d'analyse pour les petites quantités de polluants. Quant aux stations n° 209, 211, 213 et 216, la tendance concave des courbes de la fumée indique un manque de taux élevés. Pour la station 211 (Sart Tilman), cette irrégularité provient du non-fonctionnement de la station durant l'automne (cf. supra). Pour les trois autres stations, situées sur un plateau, les conditions climatiques locales réduisent les fortes pollutions; pour celles-ci surtout, il importerait de posséder des appareils de prélèvement plus sensibles. La tendance concave des courbes de SO_2 est plus fréquente : les stations n° 202, 211, 214, 215 et 216 marquent un manque de taux élevés. Ces irrégularités s'expliquent comme suit : n° 202 et 211, non fonctionnement en automne fréquent; n° 214, 216 et 215, situation peu favorable aux fortes pollutions. Pour la station n° 220 (Jupille), la tendance concave de la courbe provient d'un manque de faibles taux suite à un non fonctionnement de la fin du printemps au début de l'été. Enfin, la station n° 219 (Bierset) a une nette tendance à la convexité; la trop grande proportion de taux élevés est-elle due à des facteurs locaux ? Seules des séries d'observations plus longues permettront de diminuer ces irrégularités.

IV. — LES MOYENNES ET LEUR CARTOGRAPHIE

A. — LES MOYENNES.

Les conditions de normalité étant suffisamment approchées, sauf pour les stations qui sont munies d'un astérisque, on peut estimer les moyennes des populations à partir des moyennes des échantillons. Adoptant le niveau de probabilité $P = 0,95$ (4), les moyennes m des populations desquelles sont prélevés les échantillons de moyenne \bar{x} sont comprises dans l'intervalle de confiance :

$$\bar{x} - 2 \sigma_{\bar{x}} < m < \bar{x} + 2 \sigma_{\bar{x}}$$

(4) Ce niveau de probabilité a été choisi.

Tableau N°2. Valeurs moyennes de la fumée et du SO₂ exprimées en µg/m³ pour la période du 1-4-1969 au 31-3-1970.

N° de station	Fumée.				N° de station	SO ₂			
	N	\bar{X}	$\bar{X}-2\frac{\sigma}{\sqrt{N}}$	$\bar{X}+2\frac{\sigma}{\sqrt{N}}$		N	\bar{X}	$\bar{X}-2\frac{\sigma}{\sqrt{N}}$	$\bar{X}+2\frac{\sigma}{\sqrt{N}}$
201	365	32	29	34	201	364	119	112	125
202	302	34	30	37	202	315	159	149	168
203	358	52	48	56	203	357	169	159	178
204	348	40	37	44	204	347	117	109	125
205	351	40	37	43	205	350	177	167	186
206	322	42	39	45	206	322	122	113	131
207	343	37	34	40	207	343	148	137	160
208	365	35	32	37	208	365	151	143	160
209°	364	33	30	36	209	364	133	125	141
210	358	29	27	31	210	358	121	114	129
211°	276	19	17	21	211°	274	80	76	84
212	363	46	43	49	212	364	134	125	144
213°	344	33	30	36	213	344	87	81	94
214	337	37	34	40	214°	333	136	126	145
215	351	44	41	46	215°	358	147	134	160
216°	344	31	28	33	216°	343	139	132	146
217	335	53	49	56	217	337	114	105	122
218	349	41	37	44	218	347	129	119	139
219	349	23	21	25	219°	349	84	73	94
220	293	44	40	47	220°	294	142	133	151

N= Nombre d'observations. \bar{X} =Moyenne des échantillons.
 $\bar{X}-2\frac{\sigma}{\sqrt{N}}$ et $\bar{X}+2\frac{\sigma}{\sqrt{N}}$ sont les limites de l'intervalle de confiance au niveau P=0,95

° Indice rappelant le manque de normalité des distributions.

Le tableau 2 fournit les résultats pour la fumée et le SO₂ par station. On constate qu'au sein de la région liégeoise, la quantité moyenne de fumée reçue varie dans la proportion de 1 à 2,8 suivant l'endroit, celle de SO₂ dans la proportion de 1 à 2,2.

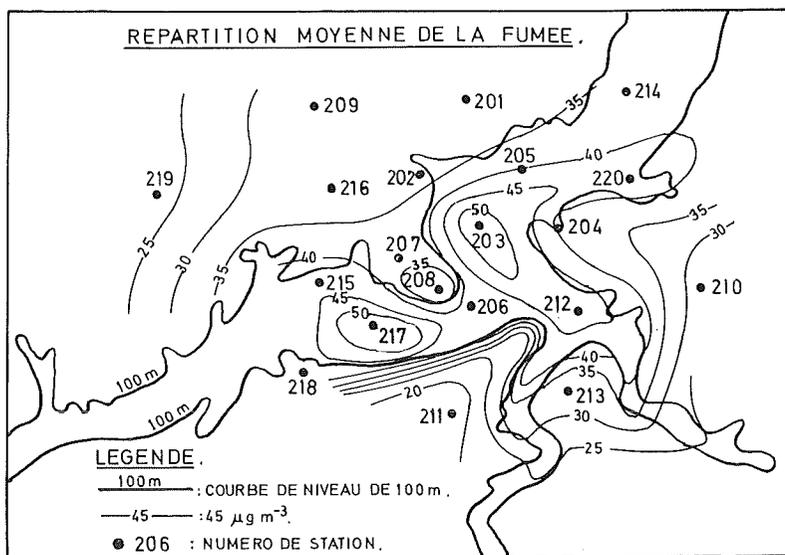


FIG. 2.

Afin de se faire une idée de l'importance du phénomène dans la région liégeoise, comparons nos résultats à ceux glanés dans la littérature. (Cette comparaison n'est valable que dans la mesure où les résultats proviennent d'observations faites dans des conditions similaires). P. Violet et G. Dumarchey (1967) ont montré qu'en 1965 à Lyon, la quantité moyenne annuelle de SO_2 recueillie a varié de 51 à 134 $\mu\text{g/m}^3$ suivant les zones de l'agglomération. L. Petit et J. Quere (1969), s'attachant à la région nantaise, ont montré que de 1966 à 1968, la quantité moyenne annuelle de l'agglomération a varié de 32 à 37 $\mu\text{g/m}^3$ de fumée et de 46 à 50 $\mu\text{g/m}^3$ de SO_2 . R. Jacquemain, F. Remy et M. C. Remy-Billon (1968) ont déterminé qu'en 1967 la quantité moyenne de SO_2 avait fluctué entre 65 et 148 $\mu\text{g/m}^3$ suivant les stations de l'agglomération de Besançon, celle de fumée de 34 à 97 $\mu\text{g/m}^3$. J. Pemberton et ses collaborateurs (1959) ont déterminé que d'avril 1958 à fin mars 1959, la quantité moyenne de fumée a varié de 80 à 500 $\mu\text{g/m}^3$ suivant les stations de cette agglomération.

B. — CARTOGRAPHIES DE LA FUMÉE ET DU SO_2 .

1. *Méthode des isoplèthes.* — Les figures 2 et 3 représentent les isoplèthes des moyennes indiquées au paragraphe précédent, isoplèthes tracées suivant les principes que nous allons préciser.

Lorsqu'une différence existe entre deux stations pour tracer les isoplèthes, on interpole généralement en se basant sur une variation linéaire.

Cette hypothèse n'a de chance d'être vérifiée que lors de l'appartenance des deux stations à une même entité. Par contre, lorsque les stations font partie de milieux différents, ou lorsque deux stations de même site sont séparées par un espace différent, le tracé des isoplèthes doit tenir compte de l'influence la plus probable due au changement de site. Ces cas, les plus fréquents, entraînent une moindre précision de la cartographie tant que l'étude des micro-climats en relation avec la pollution n'aura pas apporté de réponse. Ainsi, les isoplèthes de la retombée condrusienne (entre les stations n° 211 et 217) et de la vallée de l'Ourthe (entre les stations n° 211 et 213) sont à interpréter comme une situation probable, non comme un fait.

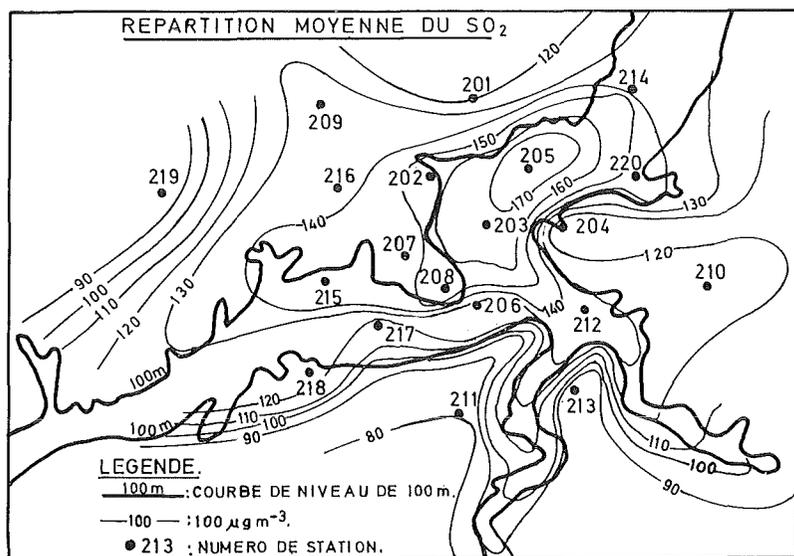


FIG. 3.

- Les constatations suivantes peuvent être faites à partir de ces figures :
- la fumée et le SO_2 tendent à se répartir de manière concentrique, avec une décroissance centrifuge des taux;
 - les zones de pollution intense se situent dans la vallée mosane;
 - la décroissance des taux est, dans l'ensemble, plus lente sur le versant nord que sur le versant sud. Ce fait est à lier à la pente plus forte et à l'altitude plus élevée du plateau sud, ainsi qu'à la prédominance des vents de sud-ouest;
 - alors que la répartition du SO_2 est centrée sur la partie aval de la zone urbaine, celle de la fumée est bipolaire : une zone maximum prend place sur le bassin industriel de Seraing-Ougrée, l'autre sur la ville (avec pro-

longement au sud vers le confluent de l'Ourthe et de la Vesdre). Ces deux pôles de fumée « dense » sont séparés par un véritable col situé sur le promontoire de Cointe (stations n° 206, 207, 208).

Répétons que l'explication de ces constatations ne pourra provenir que d'une analyse détaillée. Un fait semble très intéressant : la différence de répartition entre la fumée et le SO₂. Pourquoi le resserrement de la vallée de la Meuse au niveau du promontoire de Cointe agit-il sur la fumée, non sur le SO₂ ? (A cet étranglement correspond une plus grande fréquence de vents de vitesse élevée; voir A. Hufty, 1968-a).

Tableau n° 3. VALEURS DE $\frac{d}{\sigma_d}$

N° DE STATION	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220
201		1,6	9,4	4,0	4,6	5,2	3,0	1,92	0,7	1,5	8,3	6,9	0,7	1,5	6,5	0,6	9,7	4,2	5,0	5,6
202	7,3		7,5	2,7	3,0	3,7	1,5	0,5	0,3	2,4	7,8	5,2	0,3	1,3	4,6	1,5	7,8	2,9	5,0	4,1
203	8,7	1,4		4,6	5,0	4,1	6,6	8,0	8,3	11,3	16,4	2,3	7,9	6,3	3,6	10,0	0,3	4,5	13,5	3,2
204	0,3	6,6	8,4		0	0,7	1,4	2,5	3,2	5,5	10,5	2,3	3,0	1,4	1,4	2,3	4,8	0,1	8,0	1,3
205	10,1	2,6	1,2	9,8		0,8	1,6	2,9	3,6	6,4	12,4	2,6	3,2	1,6	1,6	5,2	5,3	0,1	9,2	1,5
206	0,6	5,4	7,0	0,8	8,2		2,4	3,7	2,1	7,0	12,2	1,7	4,0	2,3	0,7	5,9	4,5	0,6	9,6	0,7
207	4,6	1,3	2,7	4,6	3,8	3,6		1,2	1,94	4,8	11,0	4,1	1,94	2,1	3,3	3,6	6,9	1,6	7,7	2,9
208	6,2	1,1	2,7	6,0	4,0	4,7	0,5		1,83	3,8	10,6	5,4	0,9	0,9	4,7	2,5	4,3	2,7	7,0	4,1
209	2,7	3,9	5,6	2,8	6,9	1,7	2,1	3,0		2,2	8,3	5,9	0	1,7	5,3	1,3	8,6	3,4	5,4	4,7
210	0,5	6,0	7,7	0,8	9,1	0,1	3,9	5,3	2,0		7,9	8,7	2,0	4,1	8,5	0,9	11,6	5,8	4,1	7,2
211	9,9	14,5	16,7	8,4	18,3	8,2	11,3	15,0	11,1	9,4		13,9	7,6	9,6	14,6	7,8	16,7	11,0	2,1	12,3
212	2,7	3,5	5,1	2,7	6,3	1,0	1,93	2,7	0,1	2,0	10,2		5,5	4,0	1,0	7,5	2,6	2,2	11,0	0,9
213	6,6	11,8	13,7	5,7	15,1	6,0	9,2	11,7	8,3	6,6	1,8	7,8		1,8	4,9	1,2	8,1	3,2	4,9	4,4
214	2,9	3,3	4,9	3,0	6,0	2,0	1,7	2,4	0,1	2,3	10,4	0,2	8,1		3,2	3,1	6,6	1,6	6,9	2,9
215	3,9	1,4	2,7	4,0	3,7	3,1	0,1	0,5	1,8	3,4	9,8	1,6	8,1	1,4		7,1	3,9	1,3	11,1	0
216	4,2	3,1	4,9	4,1	6,2	2,8	1,4	2,1	1,0	3,3	13,6	0,8	10,1	0,5	1,0		10,3	4,8	4,5	6,2
217	0,9	6,8	8,5	0,5	5,8	1,3	4,5	6,2	3,2	1,3	6,9	3,1	4,6	3,3	4,3	4,4		4,8	13,7	3,5
218	1,8	4,1	5,7	1,36	6,8	1,0	2,5	3,3	0,5	1,2	9,0	0,6	6,8	0,9	2,0	1,5	2,3		8,3	1,2
219	5,6	10,3	11,8	5,1	13,0	5,4	8,3	10,0	7,2	5,7	0,6	7,0	0,5	7,2	7,6	8,5	4,3	6,2		9,7
220	4,2	2,4	4,0	4,2	5,2	3,0	0,8	1,4	1,4	3,5	12,2	1,1	9,5	0,9	2,6	0,5	4,4	1,9	8,3	



Différence non significative au niveau de probabilité $P=0,95$

FUMÉE ↑

SO₂ ←

2. *Zonation ayant pour critère le degré significatif des différences entre les moyennes.* — Jusqu'à présent, seule la valeur brute des moyennes a été considérée. En procédant à une comparaison statistique des moyennes on peut préciser la cartographie.

Appliquant la théorie statistique de comparaison de moyennes, nous comparons donc les moyennes des stations en les prenant deux à deux. Nous déterminons si la différence entre les moyennes calculées est significative d'une différence entre les distributions de fréquences de ces deux stations. Suivant la réponse, on peut conclure à l'appartenance des deux stations à des entités différentes ou à une même entité. Il est nécessaire de comparer chaque station avec chacune des autres. Ce procédé permet donc de déceler des entités distinctes et des zones de transition (avec l'avantage de faire intervenir toute la distribution grâce aux variances). Le tableau 3 fournit les valeurs de d/σ_d pour la fumée et le SO_2 .

En ce qui concerne la fumée, les deux pôles à taux moyen élevé s'individualisent fortement, puisqu'ils ne marquent aucune comparaison avec l'une quelconque des autres stations. Autour de ces deux zones gravitent chaque fois deux entités : près du pôle urbain s'individualise une zone à pollution encore forte centrée sur la station de Jupille (n° 210); près du pôle industriel, l'équivalent se présente sur Jemeppe (n° 215) et au Val-Benoit (n° 206). La seconde entité, à pollution un peu moins forte, comprend les stations du Quai Kurth (n° 205) et de Robermont (n° 204) près du pôle urbain, celle de Seraing (n° 215) près du pôle industriel. Ensuite vient l'entité à pollution moyenne, Ans (n° 209) — Citadelle (n° 202) — Sainte-Walburge (n° 201), soit la retombée hesbignonne du nord. L'Entre-Vesdre-et-Ourthe (n° 213) est comparable à cette entité. Le plateau hesbignon nord-ouest (centré sur Bierset, n° 219) et le Sart Tilman (n° 211) marquent une forte individualité par l'absence totale de comparabilité. Les autres stations attestent des situations intermédiaires mal précisées.

Pour le SO_2 , la situation diffère. L'unique pôle centré sur la ville ne marque pas une parfaite homogénéité; l'entité à pollution moyennement élevée marque la retombée hesbignonne (n° 209-216) et la vallée vers l'aval (n° 214); celle à pollution moyenne se situe sur les versants encadrant le maximum urbain (n° 201 et n° 204-210) et le centre industriel (n° 217); les plateaux hesbignons ouest (n° 219), du Sart Tilman (n° 211) et d'Entre-Vesdre-et-Ourthe (n° 213) sont exactement comparables.

Ce procédé, malgré certaines imperfections, facilite la zonation. Il semble cependant aboutir à des zones ayant les mêmes caractéristiques générales, mais qui ne sont sans doute pas contrôlées par les mêmes facteurs : ainsi, pour le SO_2 , la partie aval de la vallée (n° 214) est comparable au versant nord de la zone industrielle (n° 209-216). Or, ces deux sites offrent certainement des conditions climatiques différentes suivant les types de

Tableau N°4. Paramètres de position des distributions cumulées de la fumée. (Valeurs exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Type de zone	N° de station	1 ^{er} quartile	2 ^{ème} quartile	3 ^{ème} quartile	g ^{ème} décile
A	211	8	15	25	37
	219	9	16	28	46
B ₁	201	16	26	41	58
	202	16	25	41	61
	210	17	24	37	53
	216	16	24	41	63
B ₂	209	15	24	42	68
	213	14	23	46	71
	214	17	29	45	73
C	207	22	30	43	64
	208	20	29	41	62
D	204	20	31	49	73
	205	22	33	50	73
	206	24	35	52	71
	218	20	30	51	79
	215	27	37	52	73
E	212	24	37	57	82
	220	24	35	55	80
F	203	29	42	62	95
	217	31	45	66	91

Tableau N°5. Paramètres de position des distributions cumulées du SO₂. (Valeurs exprimées en ug/m³)

Type de zone	N° de station	1 ^{er} quartile	2 ^{ème} quartile	3 ^{ème} quartile	9 ^{ème} décile.
A	211	54	72	97	131
	213	46	66	112	165
	219	39	63	98	160
B	201	77	104	141	193
	204	66	101	153	206
	206	64	104	154	228
	210	72	101	151	218
	217	56	96	148	206
C	208	98	137	180	237
	216	90	123	171	230
	220	87	126	181	240
D	202	93	136	211	279
	203	102	151	210	274
	205	115	161	218	265
E	207	86	122	173	259
F	209	78	112	168	227
	212	71	115	166	243
	214	75	114	182	243
	218	61	101	165	242
G	215	73	106	176	291

temps. Aussi, la validité de ces zones déterminées sur base statistique devra être vérifiée par l'analyse locale.

3. *Zonation à l'aide des paramètres de position.* — Afin de ne pas conclure sur la base d'une seule méthode, nous identifions des zones en nous référant aux distributions cumulées de la fumée et du SO₂. Nous considérons les valeurs des 1^e, 2^e et 3^e quartiles et du 9^e décile. (Le 1^e décile n'a pas été retenu suite au peu de validité des faibles valeurs évoqué ci-dessus). Les résultats sont repris dans les tableaux 4 et 5. On aboutit aux mêmes conclusions que celles déduites à partir du procédé précédent. Le choix à effectuer entre ces deux méthodes reste à déterminer; le premier procédé repose sur des critères plus rigoureux que le second, tel est son avantage, mais il ne permet pas de raccorder chaque station à l'une ou à l'autre entité contrairement au second procédé.

V. — CORRÉLATION ENTRE LA FUMÉE ET LE SO₂

Jusqu'à présent, nous avons analysé séparément la répartition de la fumée et du SO₂, et des différences notoires sont apparues. Une autre manière d'aborder la question consiste à analyser conjointement les valeurs de la fumée et du SO₂ en un endroit, en recourant au procédé statistique des corrélations.

La détermination des coefficients de corrélation entre la fumée et le SO₂ en chaque station concourt à identifier les différents secteurs de la région liégeoise et à montrer si une association entre ces deux polluants existe dans cette région, fait vérifié ailleurs et notamment à Paris par H. Grisolle et J. Pelletier (1957). Rappelons que le coefficient de corrélation r est fourni par la formule :

$$r_{xy} = \frac{1}{N} \frac{\sum x_i y_i}{\sigma_x \sigma_y}$$

où x_i et y_i sont les éléments des deux séries à corréler, à savoir respectivement la fumée et le SO₂. Si $r_{xy} = +1$ ou -1 , les éléments des deux séries varient de manière parallèle, ou exactement opposée. Si $r_{xy} = 0$, aucune corrélation n'existe; r_{xy} est influencé par le nombre d'observations. Rappelons, ainsi que le soulignent V. Conrad et L. W. Pollak (1957, p. 244), que le risque d'obtenir un $r_{xy} = \pm 1$ sans qu'il y ait d'association réelle diminue avec le nombre croissant d'éléments. L'erreur probable sur r_{xy} , tendant vers zéro lorsque le nombre d'observations augmente, vaut :

$$F = 0,6745 \frac{1 - r_{xy}^2}{\sqrt{N}}$$

où N est le nombre d'éléments de chaque série.

Tableau N°6 . Corrélation entre la
fumée et le SO₂
par station .

N° de station.	r_{xy}	F	$\frac{r_{xy}}{F}$
201	+ 0,75	± 0,0156	48
202	+ 0,73	± 0,0181	41
203	+ 0,71	± 0,0175	41
204	+ 0,69	± 0,0191	36
205	+ 0,56	± 0,0250	22
206	+ 0,71	± 0,0187	38
207	+ 0,71	± 0,0180	39
208	+ 0,73	± 0,0163	45
209	+ 0,81	± 0,0124	65
210	+ 0,63	± 0,0217	29
211	+ 0,64	± 0,0242	26
212	+ 0,66	± 0,0201	33
213	+ 0,67	± 0,0201	33
214	+ 0,58	± 0,0245	24
215	+ 0,46	± 0,0283	16
216	+ 0,66	± 0,0208	32
217	+ 0,71	± 0,0182	39
218	+ 0,82	± 0,0121	68
219	+ 0,47	± 0,0281	17
220	+ 0,64	± 0,0204	34

L'échelle d'appréciation de W. H. Dines (citée par V. Conrad et L. W. Pollak, 1957, p. 254) considère que les valeurs comprises entre 0,30 et 0,70 témoignent d'une connection modérée entre les deux séries d'éléments, que celles comprises entre 0,70 et 0,90 d'une forte relation, et que celles supérieures à 0,90 traduisent une relation très étroite. La théorie élaborée par Pearson préconise l'emploi de la limite de signification suivante :

$$r_{xy} \Rightarrow 6 F.$$

Le tableau 6 fournit les coefficients de corrélation entre la fumée et le SO_2 pour chaque station (r_{xy}), ainsi que l'erreur probable (F) et le rapport r_{xy}/F . Dans chaque cas, x correspond à la fumée, y au SO_2 .

On peut faire les constatations suivantes :

- toutes les stations indiquent une tendance plus ou moins accentuée à une corrélation positive entre la fumée et le SO_2 , traduisant une variation parallèle de ces deux éléments;
- cependant, la tendance à une corrélation étroite n'est pas présente, contrairement à ce qui a été observé dans d'autres zones urbaines, notamment à Paris, où H. Grisollet et J. Pelletier (1957, p. 397) trouvent des coefficients compris entre + 0,87 et + 0,91, valeurs calculées également sur une période d'un an;
- il existe des variations régionales assez importantes : si 14 stations se rassemblent autour de valeurs comprises entre + 0,63 et + 0,75, quatre s'individualisent par de plus faibles coefficients (stations n° 205, 214, 215 et 219 : de 0,46 à 0,58), deux par des coefficients plus élevés (n° 209, 218 : respectivement 0,81 et 0,82). Dans l'état actuel de nos recherches, aucune localisation particulière ne justifie ces écarts par rapport à la tendance générale.

VI. — CONCLUSIONS

Une première description globale étant obtenue, les recherches proprement dites peuvent être poursuivies. De cette investigation préliminaire, nous retiendrons que la fumée et le SO_2 ne se répartissent pas de manière identique (paragraphe IV), bien qu'il existe une relation entre la variation de ces deux éléments (paragraphe V). Pour expliquer la première constatation, il faudra, d'une part, cartographier les sources de pollution, afin de voir s'il existe, au départ, une différence spatiale dans le rejet de la fumée et du SO_2 et, d'autre part, examiner la réaction de ces deux polluants aux divers types de temps. Quant à la seconde constatation, l'analyse des types de temps, et surtout des conditions climatiques locales, devrait fournir un certain nombre de solutions.

BIBLIOGRAPHIE

- BLADE, E. et FERRAND, Ed. F., 1969. — *Sulfur dioxide in pollution in New York City : statistical analysis of twelve years*, dans *Journal of the Air Pollution Control Association*, vol. 19, n° 11, novembre, pp. 873-878.
- BOUQUIAUX, J. et GRANDJEAN, J., 1969. — *Le réseau belge de mesure de la pollution atmosphérique par les oxydes de soufre et la fumée*, dans *Archives belges de Médecine sociale, Hygiène et Médecine du Travail et Médecine légale*, 27^e année, n° 10, nov.-déc., pp. 607-621.
- BOURELLY, Th., 1968. — *Etude de la pollution atmosphérique aux quatre niveaux de la Tour Eiffel. Premiers résultats (1967)*, dans *Pollution atmosphérique*, n° 40, oct.-déc., pp. 227-233.
- CHANDLER, T. J., 1962. — *London's urban climate*, dans *The geographical Journal*, vol. CXXVIII, pp. 279-302.
- CONRAD, V. et POLLAK, L. W., 1962. — *Methods in climatology*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 459 p.
- GRISOLLET, H. et PELLETIER, J., 1957. — *La pollution atmosphérique au centre de Paris et ses relations avec quelques facteurs climatologiques*, dans *La Météorologie*, IV, 47, pp. 393-410.
- GRISOLLET, H., GUILMET, B. et ARLERY, R., 1962. — *Climatologie. Méthodes et pratiques*, dans *Monographies de Météorologie*, Paris, 401 p.
- HEUSGHEM, C. et RONDIA, D., 1964. — *Pollution de l'air*, dans *Cahiers du Sart Tilman*, t. II, pp. 54-61.
- HUFTY, A., 1964. — *Climatologie*, dans *Cahiers du Sart Tilman*, t. II, pp. 43-52.
- HUFTY, A., 1965. — *Recherches sur les vents au Sart Tilman (Liège)*, dans *Bulletin de la Société géographique de Liège*, n° 1, pp. 33-44.
- HUFTY, A., 1968 (a). — *Les climats de la région liégeoise*, dans *Cahiers climatologiques de la Régie des Voies aériennes*, Bruxelles, 385 p.
- HUFTY, A., 1968 (b). — *Carte des secteurs climatiques de la région liégeoise*, dans *Cahiers de Géographie de Québec*, n° 25, avril, pp. 160-164.
- JACQUEMAIN, R., REMY, F. et REMY-BILLON, M. C., 1968. — *La pollution atmosphérique à Besançon durant l'année 1967*, dans *Pollution atmosphérique*, n° 40, oct.-déc., pp. 219-223.
- JOOSTING, P. E., 1969. — *Evaluation des limites tolérables de concentration en SO₂ sur le terrain à partir des données disponibles*, dans *Pollution atmosphérique*, numéro spécial, février, pp. 41-52.
- LAURANT, A., 1968. — *Les vents au Sart Tilman et leur incidence sur la pollution atmosphérique*, dans *Cahiers de Géographie de Québec*, n° 25, avril, pp. 123-139.
- LAURANT, A., 1969 (a). — *Méthode d'analyse en vue des études de pollution atmosphérique. Premiers résultats de l'étude des inversions thermiques au Sart Tilman (Liège, Belgique)*, dans *Cahiers de Géographie de Québec*, n° 29, septembre, pp. 187-203.
- LAURANT, A., 1969 (b). — *Une inversion thermique exceptionnelle (17 au 24 novembre 1967)*, dans *Bulletin de la Société géographique de Liège*, n° 5, pp. 131-138.
- LECLERC, E., 1949. — *Etude de la pollution par poussières et par gaz de l'atmosphère de la région mosane dans la province de Liège*. Administration centrale de l'Urbanisme.
- LECLERC, E., 1958. — *Pollutions atmosphériques*, dans *Plan d'aménagement de la région liégeoise*, 1^{re} partie : *L'enquête*. L'Equerre, Ministère des Travaux publics. — Administration de l'Urbanisme et de l'Aménagement du Territoire, pp. 101-110.
- MEADE, P. J. et PASQUILL, F., 1958. — *A study of the average distribution of pollution around Stayesthorpe*, dans *International Journal of Air Pollution*, vol. 1, pp. 60-70.
- PETIT, L. et QUERE, J., 1969. — *Résultats des mesures de la pollution atmosphériques à Nantes*, dans *Pollution atmosphérique*, n° 44, oct.-déc., pp. 181-186.
- RONDIA, D., 1960. — *L'incidence des brouillards de février 1959 sur la concentration en hydrocarbures polycycliques dans l'atmosphère de la région liégeoise*, dans *Archives Belges de Médecine sociale, Hygiène, Médecine du Travail et Médecine légale*, 18^e année, n° 3, pp. 220-227.
- RONDIA, D., 1962 (a). — *L'estimation de la densité des fumées dans l'air*, dans *International Journal of Air and Water pollution*, vol. 6, pp. 353-375.

- RONDIA, D., 1962 (b). — *Sur la valeur d'un indice de fluorescence dans les études de pollution de l'air*, dans *Archives Belges de Médecine sociale, Hygiène, Médecine du travail et Médecine légale*, 20^e année, n° 9-10, pp. 567-578.
- RONDIA, D., 1963. — *La pollution de l'air dans la région liégeoise. Bilan de quatre années d'enquête, portant sur la concentration des particules respirables et des hydrocarbures polycycliques*, *ibid.*, 21^e année, n° 9-10, Nov.-Déc., pp. 578-613.
- RONDIA, D., 1964. — *Facteurs climatiques et pollution de l'air en milieu urbain*, dans *Urban Climates. Symposium on Urban Climates and Building Climatology*, Bruxelles, pp. 238-247.
- RONDIA, D. et VAN LOCHEM, J. J., 1970. — *Cinq années de mesures journalières de la pollution de l'air par SO₂ à Liège*, dans *Revue universelle des Mines*, n° 1, pp. 23-28.
- VIOLET, P. et DUMARCHEY, G., 1967. — *Etude de la pollution de l'atmosphère de Lyon (année 1965)*, dans *Pollution atmosphérique*, N° 34, avril-juin, pp. 77-83.
- WILLIAM, A., 1958. — *Végétation et pollution atmosphérique*, dans *Plan d'aménagement de la région liégeoise*, 1^{re} partie, *L'Enquête*, ouvr. cité, pp. 111-119.
-