

CONDITIONS DE CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE ET VARIABILITÉ DE LA NÉBULOSITÉ EN POLOGNE (1951-2000)

E. ŻMUDZKA

*Institut de Climatologie, Faculté de Géographie et d'Etudes Régionales, Université de Varsovie
Warszawa, Pologne, elwiraz@uw.edu.pl*

Résumé

La présente communication fait état des résultats des recherches sur la variabilité de la nébulosité moyenne en Pologne dans la seconde moitié du XX^e siècle et de ses rapports avec les caractéristiques de la circulation atmosphérique au-dessus de l'Europe Centrale. La description des conditions de circulation a été effectuée en partant des moyennes mensuelles de la pression atmosphérique, des gradients de la pression ainsi que du vecteur du vent géostrophique déterminés pour un territoire délimité par les parallèles 45° et 60°N et les méridiens 10° et 30°E. Les relations ont été décrites à l'aide des coefficients de corrélation et des coefficients de régression simple et multiple. On a défini les types de la circulation favorisant les valeurs anormales de la nébulosité saisonnière et annuelle. Vient enfin une comparaison des tendances pluriannuelles de la nébulosité et des caractéristiques associées de la circulation atmosphérique.

Mots-clés : Nébulosité, circulation atmosphérique, variabilité, Europe Centrale, Pologne.

Abstract

Atmospheric circulation and cloudiness variability in Poland (1951-2000)

This report presents the results of studies concerning the variability of the area averaged cloudiness in Poland in the years 1951–2000, and its relationships with atmospheric circulation over central Europe. The description of the circulation conditions was performed using average monthly values of atmospheric pressure, pressure gradients, and vector of geostrophic wind as well, determined with respect to the area contained between 45 and 60°N, and between 10 and 30°E. The relationships were determined using correlation coefficients and regression equations. Besides, the types of atmospheric circulation were identified, exerting the strongest influence on the magnitude of cloudiness in Poland in particular seasons and in the entire year. Likewise, the 50-year trends of changes in the circulation and cloudiness conditions were established.

Keywords : Cloudiness, atmospheric circulation, variability, Central Europe, Poland

Introduction

Contrairement à la plupart des éléments météorologiques tels que, par exemple, la température ou les précipitations, la variabilité de la nébulosité –

l'un des éléments principaux du climat ayant, en même temps, une importance considérable pour la formation du climat et du temps – est relativement peu connue et fait rarement l'objet des recherches.

Dans la littérature climatologique, un grand nombre d'écrits ont porté sur l'influence de la circulation atmosphérique sur les particularités du temps et la différenciation climatique (Barry et Perry, 1973, Harman et Winkler, 1991, Yarnal, 1993). La classification des types de circulation est l'une des méthodes de description de la circulation en climatologie synoptique. Pour l'Europe Centrale, il existe quelques classifications bien connues (Baur, 1947, Lauscher, 1954, Péczely, 1957, Hess et Brezowsky, 1969, Konček et Rein, 1971, Dittmann, Barth et al. 1995). Les recherches concernent surtout la fréquence des types de circulation dans des périodes particulières de l'année et leur influence sur les éléments météorologiques (par ex. Wallén, éd., 1977). Pour chaque type particulier de circulation, on détermine, entre autres, les écarts des variables météorologiques à la moyenne pluriannuelle. Dans le même ordre d'idées, la classification de J. Lityński (1969) est utilisée dans ce but en Pologne. On a pris en considération trois indices déterminés sur les cartes synoptiques de surface : l'indice de circulation zonale et méridienne calculées pour le territoire délimité par les parallèles 40° et 65°N et les méridiens 0° et 35°E et la valeur de la pression atmosphérique à Varsovie. Ces valeurs se répartissent en trois classes de même probabilité permettant ainsi d'obtenir 27 types de circulation (tableau 1).

1. Méthodes

Notre communication fait état des résultats de recherches sur la variabilité de la nébulosité en Pologne dans la seconde moitié du XX^e siècle et ses rapports avec les caractéristiques de la circulation atmosphérique au-dessus de l'Europe Centrale. On s'est servi d'un ensemble important de données d'observation en provenance du territoire polonais (les montagnes exceptées) et en particulier des valeurs de nébulosité des années successives 1951–2000, calculées en faisant une moyenne spatiale. Cette série a été obtenue à partir des données concernant la nébulosité mensuelle moyenne observée dans le territoire polonais (jusqu'à 300 m d'altitude) par 48 stations synoptiques de l'Institut de Météorologie (figure 1).

La description des conditions de circulation a été effectuée partant des moyennes mensuelles des valeurs des indices de la circulation zonale et méridienne ainsi que du vecteur du vent géostrophique déterminés pour un territoire délimité par les parallèles 45° et 60°N et les méridiens 10° et 30°E* (figure 2). On a également pris en considération une série de 50 ans des

* L'auteur se fait un devoir de remercier le Pr K. Kozuchowski qui lui a facilité l'accès aux données concernant les conditions de circulation

moyennes mensuelles de la valeur de la pression atmosphérique sur un point situé à proximité du centre du territoire choisi [52,5°N, 20°E]. Sur la figure 3, on a représenté les moyennes mensuelles des valeurs des indices de la circulation zonale et méridienne, et sur la figure 4, la vitesse moyenne et la direction du vent géostrophique au-dessus de l'Europe Centrale (1951–2000).



Figure 1 : Localisation des stations synoptiques et nébulosité annuelle moyenne [%] en 1951–2000. *Distribution of weather stations and mean annual cloudiness [%] period 1951–2000.*

L'analyse a porté aussi sur les rapports entre la nébulosité et la fréquence (nombre de jours) des macrotypes de la circulation atmosphérique distingués en fonction de la pression (régimes cyclonique, anticyclonique, neutre) et de la provenance des masses d'air (les secteurs correspondant aux quatre directions principales, où, par exemple, le secteur N = 0,5NW + N + 0,5NE).

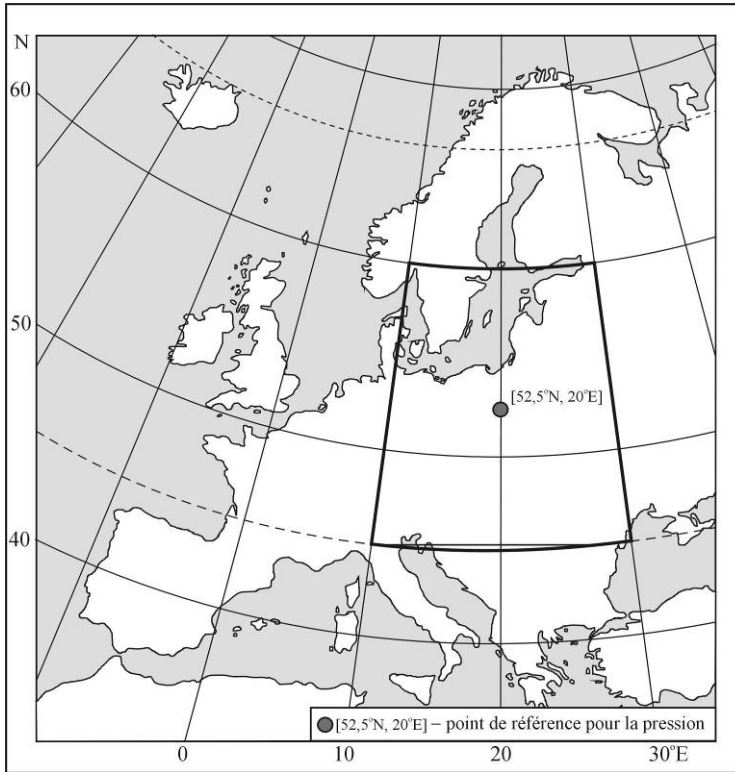


Figure 2 : Le territoire étudié. *The studied area.*

Type	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	I-XII	Type	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	I-XII	Type	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	I-XII
N_C	4,8	3,4	4,7	3,4	4,1	SE_C	2,8	2,8	1,5	3,1	2,6	W_C	4,1	3,5	3,5	3,6	3,7
N₀	2,8	2,9	4,0	3,5	3,3	SE₀	3,0	3,3	1,5	3,0	2,7	W₀	3,4	2,5	3,4	3,1	3,1
N_A	4,3	4,3	5,7	4,8	4,8	SE_A	5,3	6,2	3,2	4,9	4,9	W_A	4,0	3,2	4,3	3,7	3,8
NE_C	2,3	2,9	3,2	2,1	2,6	S_C	4,6	3,9	3,0	4,9	4,1	NW_C	5,7	5,0	4,0	5,2	4,9
NE₀	2,3	2,9	3,9	2,3	2,8	S₀	3,6	3,5	2,4	4,1	3,4	NW₀	3,8	3,2	4,0	4,4	3,8
NE_A	3,3	5,6	7,2	3,2	4,8	S_A	3,6	3,4	3,4	5,1	3,9	NW_A	4,6	3,8	4,4	4,6	4,3
E_C	2,0	2,9	1,8	2,0	2,2	SW_C	5,3	4,8	4,4	6,0	5,1	0_C	3,1	3,5	3,3	2,2	3,0
E₀	3,0	2,7	2,2	2,0	2,5	SW₀	3,8	3,6	4,0	4,3	3,9	0₀	2,2	2,3	3,0	2,2	2,4
E_A	4,4	5,8	4,9	3,7	4,7	SW_A	3,8	3,7	4,2	4,6	4,1	0_A	4,0	4,3	5,1	4,0	4,4

Tableau 1 : Fréquence (%) des types de circulation atmosphérique d'après la classification de J. Lityński (1951–2000). *Frequency (%) of types of circulation after the classification of Lityński (1951–2000).*

On a eu recours à la classification de J. Lityński (Lityński, 1969). Les tableaux 1 et 2 contiennent la fréquence des types et macrotypes de la circulation atmosphérique d'après la classification de J. Lityński, pendant les saisons et l'année (1951–2000).

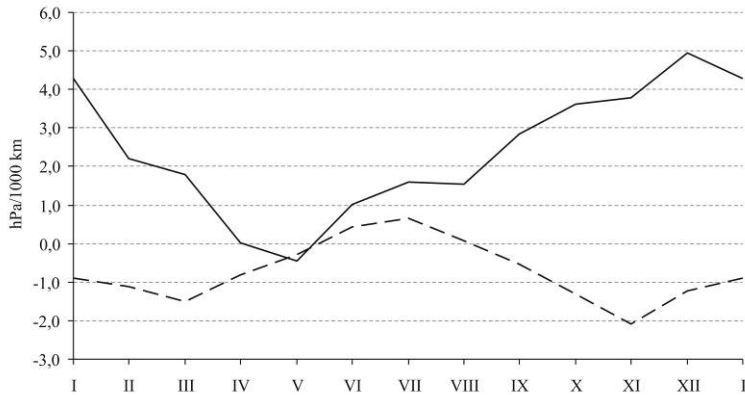


Figure 3 : Moyennes mensuelles des valeurs des indices de la circulation zonale (—) et méridienne (-----) au-dessus de l'Europe Centrale (1951–2000). *Mean monthly values for indices of zonal circulation (—) and of meridional circulation (-----) over Central Europe (1951–2000).* Kożuchowski et Żmudzka (2002b).

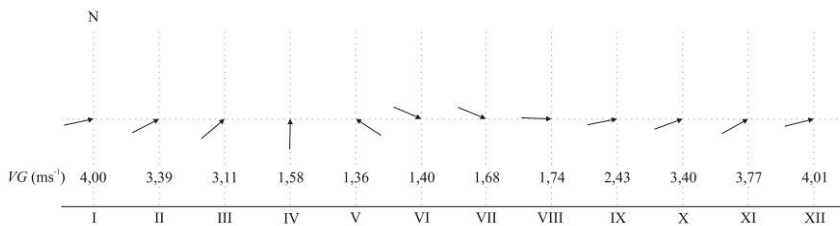


Figure 4 : Vitesse moyenne VG et direction du vent géostrophique au-dessus de l'Europe Centrale (1951–2000). *Mean velocity VG and direction of geostrophic wind over Central Europe (1951–2000).* Kożuchowski et Żmudzka (2002b)

	Ia								Ib				II			
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	E	S	W	0	C	0	A
XII-II	11,9	7,9	9,5	11,2	11,8	12,9	11,4	14,1	22,9	19,0	23,8	24,9	9,3	34,7	27,9	37,4
III-V	10,6	11,4	11,3	12,4	10,8	12,1	9,2	12,0	22,3	23,2	23,0	21,3	10,2	32,8	27,0	40,3
VI-VIII	14,4	14,2	8,9	6,1	8,8	12,5	11,3	12,3	27,7	19,0	18,1	23,7	11,4	29,2	28,4	42,4
IX-XI	11,7	7,6	7,7	11,0	14,1	14,9	10,4	14,1	22,6	17,0	27,0	24,9	8,4	32,4	28,9	38,7
I-XII	12,2	10,3	9,3	10,2	11,4	13,1	10,6	13,1	23,8	19,6	23,1	23,7	9,8	32,4	28,0	39,6

Tableau 2 : Fréquence (%) des macrotypes de la circulation atmosphérique distingués selon la direction de l'afflux des masses d'air (Ia – 8 directions, Ib – 4 directions) et selon la pression (II) (1951–2000). *Frequency (%) of macro-types distinguished according to the advection direction (Ia – 8 directions, Ib – 4 directions) and to pressure pattern (II) (1951–2000).*

L'analyse de la variabilité de la nébulosité en Pologne a été effectuée à partir de méthodes statistiques classiques : la tendance (*trend*) linéaire, l'estimation

des rangs de Mann-Kandall, les écarts cumulés de la moyenne pluriannuelle, l'amplitude. Les relations entre la nébulosité moyenne et les caractéristiques de la circulation atmosphérique ont été décrites à l'aide des coefficients de corrélation et des coefficients de régression simple et multiple. On a déterminé les types de la circulation favorisant les valeurs anormales de nébulosité annuelle et saisonnière ; on a considéré comme anormales les saisons de l'année et les années où la nébulosité soit s'est élevée au-dessus du quantile 90%, soit est descendue au-dessous du quantile 10%. La fréquence des types de circulation pendant ces années a été décrite par le pourcentage moyen pour 50 ans. On a également calculé la nébulosité moyenne pour 24h (sur l'exemple de Łódź) dans chacun des macrotypes. Vient enfin une comparaison des tendances pluriannuelles de la nébulosité et des caractéristiques choisies de la circulation atmosphérique.

2. Résultats

Dans la seconde moitié du XX^e siècle en Pologne, pendant la plus grande partie de l'année, la nébulosité a diminué de façon insignifiante (tableau 3, figure 5). La grandeur en question a connu une diminution importante en mai et en hiver ($\alpha = 0,10$) tandis qu'une tendance croissante est apparue en septembre (Żmudzka, 2003).

	Mois Months												Saisons de l'année Seasons				Année Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XII- II	III- V	VI- VIII	IX- XI	I-XII
<i>a</i>	-0,10	-0,06	0,07	-0,01	-0,21	0,07	-0,06	-0,11	0,18	-0,05	-0,10	-0,04	-0,07	-0,05	-0,03	0,01	-0,04
<i>τ</i>	-0,16	-0,14	0,06	-0,05	-0,29	0,09	-0,06	-0,17	0,19	-0,06	-0,16	-0,09	-0,19	-0,12	-0,07	0,01	-0,14

Tableau 3 : Coefficients du trend linéaire α (%/année) et estimation des rangs (τ – statistique de Mann-Kendall), des valeurs mensuelles, saisonnières et annuelles (moyennées spatialement) de la nébulosité en Pologne, en 1951–2000 (en caractères gras – les valeurs statistiquement significatives au niveau de 0,05). *Linear trend coefficients α (%/year) and rank evaluation (τ – the values of the Mann-Kendall's statistics) of changes of cloudiness in Poland in years 1951–2000 (coefficients significant at the 0.05 level are in bold).*

L'observation, pendant plusieurs années, la nébulosité fait ressortir une variabilité importante, ce qui est confirmé par différentes caractéristiques statistiques (tableau 4, figures 6 et 7).

Les tendances constatées ainsi qu'une grande partie de la variabilité de la nébulosité en Pologne pourraient être expliquées par une influence directe de la circulation atmosphérique.

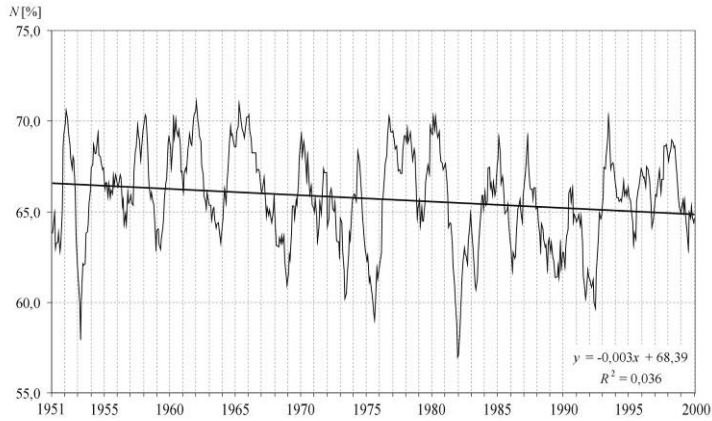


Figure 5 : Evolution de la nébulosité moyenne mensuelle en Pologne et tendance linéaire (1951–2000). *Evolution of monthly cloudiness and its linear trend (1951-2000).*

	Mois Months											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Moyenne <i>Mean</i>	75	73	66	63	59	60	60	56	59	64	77	78
Maximum <i>(année)</i> <i>Maximum</i> <i>value (year)</i>	89 (1953 1966)	88 (1973)	82 (1985)	79 (1956)	78 (1962)	72 (1985)	78 (1980 2000)	68 (1956 1961)	76 (1978 1996)	82 (1952 1974)	90 (1958)	90 (1954 1959)
Minimum <i>(année)</i> <i>Minimum</i> <i>value (year)</i>	62 (1971)	48 (1976)	46 (1953)	46 (1953)	44 (1979)	42 (1992)	38 (1994)	38 (1973)	39 (1975)	41 (1951)	61 (1982 1984)	51 (1972)
Amplitude <i>Range</i>	27	40	36	33	34	30	40	30	37	41	29	39

	Saisons Seasons				Année Year
	XII–II	III–V	VI–VIII	IX–XI	I–XII
Moyenne <i>Mean</i>	75	63	58	67	66
Maximum <i>(année)</i> <i>Maximum</i> <i>value (year)</i>	84 (1966)	72 (1970)	69 (1980)	82 (1952)	71 (1962)
Minimum <i>(année)</i> <i>Minimum</i> <i>value (year)</i>	66 (1976)	50 (1953)	46 (1992)	53 (1982)	57 (1982)
Amplitude <i>Range</i>	18	22	23	29	14

Tableau 4 : Étendue des variations de la nébulosité moyenne [%] en Pologne (1951–2000). *Variability range of spatially averaged cloudiness in Poland (1951–2000).*

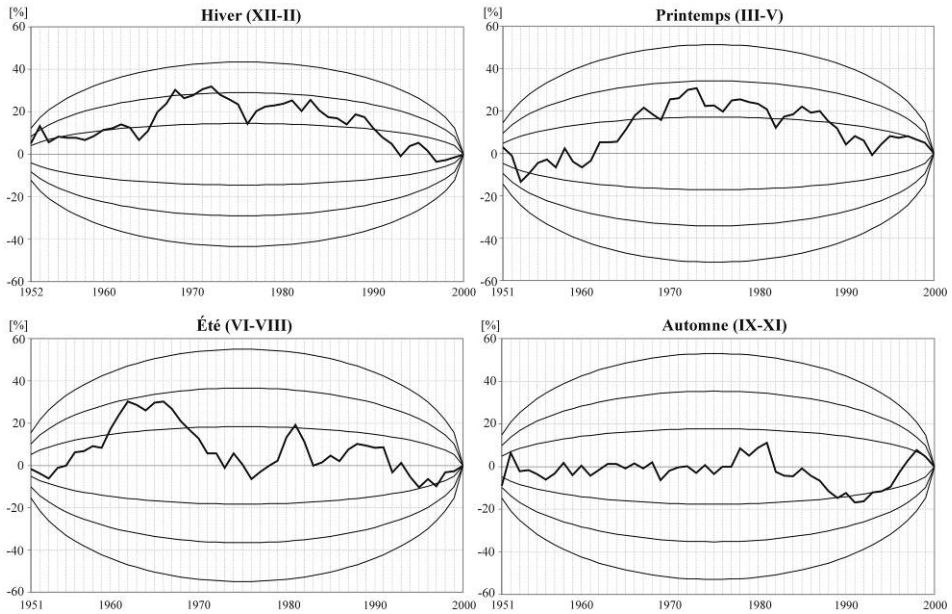


Figure 6 : Écarts cumulés des moyennes saisonnières de la nébulosité par rapport aux moyennes de 50 ans (Pologne, 1951–2000). On a marqué l'étendue de 1, 2 et 3 écarts types. *Cumulative deviations of the mean seasonal cloudiness from the 50-year means in Poland (1951–2000). The range of 1, 2 and 3 standard deviations are marked.*

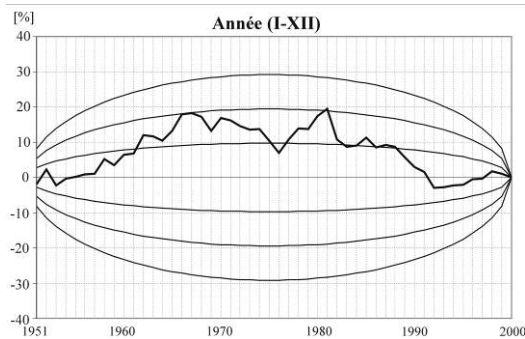


Figure 7 : Écarts cumulés des moyennes annuelles de la nébulosité par rapport aux moyennes de 50 ans (Pologne, 1951–2000). On a marqué l'étendue de 1, 2 et 3 écarts types. *Cumulative deviations of the mean yearly cloudiness from the 50-year means in Poland (1951–2000). The range of 1, 2 and 3 standard deviations are marked.*

2.1. La nébulosité et la pression atmosphérique

La circulation zonale d'ouest en Europe Centrale influe, de façon importante, sur la nébulosité en Pologne pendant l'été, surtout en juillet, et fait augmenter ladite grandeur (tableau 5). Le rapport entre la nébulosité et les gradients méridionaux de pression pendant toute l'année n'est pas important.

Par contre, la pression atmosphérique au-dessus du territoire de la Pologne exerce une influence importante sur la nébulosité ; la croissance de la pression entraîne la diminution de la nébulosité. Cette influence est la plus forte en juillet (ce qui permet d'expliquer 64% de la variance de la nébulosité), ensuite en mars et en septembre.

	Mois Months												Saisons de l'année Seasons				Année Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	I-XII
ZI	-0,02	0,15	0,20	0,04	0,01	0,33	0,46	0,37	-0,01	0,15	-0,37	-0,04	-0,03	0,07	0,52	-0,19	-0,22
MI	-0,04	0,30	-0,06	0,05	0,19	-0,10	-0,27	-0,08	0,29	0,31	-0,09	-0,12	-0,13	-0,06	-0,25	0,20	-0,01
p	-0,58	-0,44	-0,68	-0,48	-0,57	-0,50	-0,80	-0,56	-0,63	-0,58	-0,24	-0,53	-0,68	-0,58	-0,64	-0,46	-0,64

Tableau 5 : Coefficients de corrélation linéaire entre la nébulosité (moyenne spatiale sur la Pologne) et les indices de circulation zonale (ZI) et méridienne (MI), et la pression moyenne sur le point [52,5°N, 20°E] (les valeurs significatives au seuil de 0,05 sont en gras). *Linear correlation coefficients between the spatially averaged cloudiness in Poland and indices of zonal (ZI) and meridional (MI) circulation, and the atmospheric pressure (p) on the point [52,5°N, 20°E] (coefficients significant at the 0.05 level are in bold).*

2.2. La nébulosité et le vent géostrophique

En été et au tournant de l'automne et de l'hiver (principalement en novembre) la nébulosité dépend, à un degré plus important, de la composante occidentale du vent géostrophique (les valeurs absolues des coefficients de régression qui déterminent la force du rapport entre la nébulosité et la composante VW sont plus élevées que les coefficients caractérisant ce rapport avec la composante septentrionale VN, tableau 6). En été, cette composante occidentale contribue à l'accroissement de la nébulosité tandis qu'au tournant de l'automne et de l'hiver, elle est liée à sa diminution. Il y a lieu d'attirer l'attention sur le fait que pendant ces mois, la nébulosité en Pologne dépend aussi, essentiellement, de la vitesse du vent géostrophique (tableau 7). Ainsi en juillet, où la direction du vent géostrophique correspond au secteur nord-ouest, la corrélation est positive, par contre en novembre, avec la composante méridionale (SW), la corrélation est négative.

Pendant le reste de l'année, c'est la composante méridienne du vent géostrophique qui exerce l'influence plus importante sur la nébulosité. Cette influence sur la nébulosité est la plus forte dans les saisons transitoires de l'année, surtout en septembre, en octobre et en mai ainsi qu'en février (le vent géostrophique se caractérise alors par une composante méridionale, de l'WSW au SE). L'intensification de la composante septentrionale entraîne un accroissement de la nébulosité pendant toute l'année.

	Mois Months												Saisons de l'année Seasons				Année Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	I-XII
$a(V_w)$	-0,19	-0,21	0,26	-0,43	0,92	1,89	1,90	1,11	0,26	0,37	-1,49	-0,29	-0,04	-0,16	2,10	-1,26	-1,36
$b(V_N)$	0,48	1,84	0,43	1,72	3,08	0,35	0,41	0,95	4,33	1,88	0,63	0,03	0,30	0,75	0,43	2,20	1,69
$c(p)$	-0,81	-0,76	-1,55	-1,56	-2,10	-1,70	-3,07	-2,02	-2,73	-1,44	-0,59	-0,66	-0,91	-1,62	-2,39	-1,17	-1,57

Tableau 6 : Coefficients des équations de régression (a , b , c) et coefficient de corrélation multiple (R) de la nébulosité moyenne sur le territoire de la Pologne avec les composantes du vent géostrophique (V_w , V_N) et la pression (p) sur le point [52,5°N, 20°E] (les valeurs significatives au seuil de 0,05 sont en gras). *Coefficients of the regression equations (a , b , c) and multiple correlation coefficient (R) of the mean cloudiness for Poland and the components of the geostrophic wind (V_w , V_N), and the atmospheric pressure (p) on the point [52,5°N, 20°E] (coefficients significant at the 0.05 level are in bold).*

Mois Months												Saisons de l'année Seasons				Année Year
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	I-XII
-0,08	-0,18	0,07	0,01	-0,02	0,02	0,42	0,38	0,07	-0,03	-0,38	0,08	-0,12	-0,05	0,34	-0,23	-0,36

Tableau 7 : Coefficient de corrélation linéaire entre la nébulosité moyenne sur le territoire de la Pologne et la vitesse du vent géostrophique pour la période 1951-2000 (les valeurs significatives au seuil de 0,05 sont en gras). *Linear correlation coefficient between the spatially averaged cloudiness for Poland and the velocity of the geostrophic wind for the period 1951-2000. (coefficient values significant at the 0.05 level are in bold).*

La pression atmosphérique est le paramètre qui est le plus lié avec la nébulosité ; à l'accroissement de la pression correspond une diminution de la nébulosité. En automne et au cours de l'année, la nébulosité dépend principalement de la provenance des masses d'air (composante méridienne). Le rôle de la pression est comparable au rôle de la composante occidentale du flux. Parmi les directions de la circulation, la composante zonale a plus d'importance en été tandis qu'au printemps et en automne c'est la composante méridienne.

Les composantes occidentale et méridienne de la circulation atmosphérique au-dessus de l'Europe Centrale ainsi que la pression atmosphérique au centre de cet espace expliquent entre 28 et 70% de la variabilité de la nébulosité moyenne mensuelle au-dessus de la Pologne. Les relations entre la nébulosité et les conditions de circulation sont plus faibles au tournant de l'automne et de l'hiver (en novembre et décembre, $R = 0,54$). La dépendance croît la saison chaude, avec un maximum en juillet ($R = 0,84$). Des rapports intenses apparaissent également en automne (en septembre et octobre) et en mars. En automne, la plus grande importance (la plus haute valeur du coefficient de la régression) revient à la composante méridienne du flux, tandis qu'en été et au printemps, elle revient à la pression au centre du territoire examiné.

2.3. La nébulosité et les macrotypes de circulation

Pendant toute l'année (novembre excepté), c'est le champ de pression qui exerce l'influence majeure sur la nébulosité (tableau 8). On observe une corrélation négative avec la fréquence des systèmes anticycloniques et une corrélation positive avec la fréquence des systèmes cycloniques. Pendant la plus grande partie de l'année (avril et juillet exceptés), la nébulosité est liée plus intensément à l'apparition des situations anticycloniques. Les dépendances entre la nébulosité et les macrotypes de circulation sont plus faibles en hiver et plus fortes en juillet. On observe également une certaine augmentation de l'importance du caractère des systèmes isobariques en mars, en mai et en octobre.

	Mois Months												Saisons de l'année Seasons				Année Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	I-XII
Macrotypes de circulation distingués par la direction du flux <i>Macro-types distinguished according to the advection direction</i>																	
[N]	0,01	0,37	-0,03	0,14	0,22	0,05	0,01	-0,07	0,24	0,34	-0,09	0,05	-0,02	0,05	-0,07	0,13	-0,04
[E]	0,01	-0,23	-0,20	-0,06	0,19	-0,20	-0,36	-0,23	0,23	-0,11	0,33	-0,04	-0,05	-0,06	-0,42	0,23	0,18
[S]	0,00	-0,28	0,02	-0,15	-0,19	-0,14	0,06	0,11	-0,45	-0,49	-0,06	-0,02	0,07	-0,11	0,07	-0,32	-0,03
[W]	0,04	0,12	0,18	-0,03	-0,17	0,24	0,24	0,18	-0,11	0,18	-0,26	0,06	-0,07	0,04	0,39	-0,11	-0,17
[O]	-0,16	0,10	0,09	0,20	-0,22	0,06	0,11	0,12	0,10	0,19	0,38	-0,11	0,20	0,15	0,16	0,24	0,06
Macrotypes de circulation distingués par la répartition des pressions <i>Macro-types distinguished according to the pressure pattern</i>																	
[C]	0,51	0,45	0,60	0,53	0,56	0,49	0,82	0,50	0,53	0,58	0,28	0,42	0,61	0,59	0,65	0,55	0,71
[A]	-0,51	-0,48	-0,67	-0,51	-0,70	-0,52	-0,76	-0,54	-0,58	-0,62	-0,23	-0,49	-0,71	-0,68	-0,63	-0,48	-0,73
[0]	0,00	0,13	0,27	0,09	0,32	0,06	-0,10	0,07	0,08	0,24	-0,07	0,22	0,34	0,24	-0,06	-0,09	0,25

Tableau 8 : Coefficients de corrélation linéaire entre la nébulosité moyenne en Pologne et la fréquence des macrotypes de la circulation atmosphérique d'après la classification de J. Lityński (les valeurs significatives au seuil de 0,05 sont en gras). *Linear correlation coefficients of the spatially averaged cloudiness in Poland and the frequency of macro-types of circulation after the classification of Lityński (coefficients significant at the 0.05 level are in bold).*

	Hiver	Printemps	Été	Automne	Année
1951	X	•••••	•••••	•••••	•••••
1952	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1953	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1954	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1955	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1956	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1957	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1958	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1959	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1960	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1961	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1962	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1963	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1964	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1965	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1966	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1967	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1968	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1969	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1970	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1971	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1972	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1973	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1974	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1975	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1976	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1977	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1978	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1979	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1980	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1981	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1982	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1983	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1984	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1985	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1986	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1987	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1988	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1989	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1990	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1991	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1992	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1993	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1994	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1995	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1996	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1997	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1998	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
1999	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
2000	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••

Figure 8 : Classification néphologique (d'après les valeurs des quantiles dans la période de 1951 à 2000) et calendrier des saisons et des années anormales en Pologne. *Nephological classification (according to empirical long-term percentiles in years 1951–2000) and calendar of anomalous seasons and years in Poland.*

Suite page suivante. *Continue next page* →

Quantile (%) 1951-2000	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	I-XII	Saisons de l'année/année
>95,00	>81,78	>70,33	>65,03	>72,81	>69,85	extrêmement couvert
90,01+95,00	80,41+81,78	68,05+70,33	64,65+65,03	71,28+72,81	69,33+69,85	anormalement couvert
80,01+90,00	78,71+80,40	66,69+68,04	62,87+64,64	70,09+71,27	68,07+69,32	très couvert (tendance à l'anomalie positive)
60,01+80,00	76,70+78,70	63,50+66,68	60,34+62,86	68,71+70,08	66,11+68,06	couvert
40,01+60,00	74,34+76,69	61,25+63,49	57,11+60,33	64,54+68,70	65,21+66,10	NORMAL
20,01+40,00	71,44+74,33	59,18+61,24	54,00+57,10	62,90+64,53	63,76+65,20	serein
10,01+20,00	70,00+71,43	56,23+59,17	51,59+53,99	61,60+62,89	62,28+63,75	très serein (tendance à l'anomalie négative)
5,01+10,00	69,60+69,99	54,39+56,22	50,93+51,58	58,14+61,59	61,41+62,27	anormalement serein
≤5,00	≤69,59	≤54,38	≤50,92	≤58,13	≤61,40	extrêmement serein

Le rapport entre la nébulosité et la direction du flux des masses d'air est essentiel en automne ; soulignons ici l'importance de l'advection du secteur méridional, liée à une diminution de la nébulosité au dessus de la Pologne.

2.4. Les types de circulation atmosphérique associés à une nébulosité saisonnière et annuelle anormale

L'analyse de la structure de la circulation atmosphérique (fréquence des types de circulation distingués selon la direction du flux des masses d'air et l'organisation du champ de pression) dans les saisons et les années anormales du point de vue de la nébulosité permet de constater les points suivants (figures 8 et 9, tableau 9) :

- au printemps, l'influence essentielle sur la nébulosité est exercée par les advections du secteur NW–N. De telles provenances des masses d'air en situation anticyclonique sont à l'origine d'une diminution forte de la nébulosité. Dans cette saison de l'année, on constate également une forte dépendance de la nébulosité vis-à-vis des flux du secteur N–NE–E, accompagnées par un système isobarique cyclonique (augmentation de la nébulosité) ;
- les périodes d'été à faible nébulosité sont en moyenne celles où l'on observe une fréquence accrue des types anticycloniques se caractérisant par un flux du nord, du nord-est et du sud ainsi que des types neutres avec advection du secteur est. Pendant les étés couverts, on observe une augmentation de l'apparition des types cycloniques à circulation de nord-ouest (figure 4, tableaux 1 et 2). En été, cette direction de l'advection reste en rapport avec une fréquence importante des fronts atmosphériques qui se déplacent au-dessus du territoire de la Pologne (Parczewski, 1965). Pendant les étés couverts, la fréquence des types cycloniques de nord et nord-ouest ainsi que celle de centres des basses pressions au-dessus de la Pologne dépasse la moyenne multi-annuelle ;
- en automne, l'effet le plus important sur la nébulosité s'observe avec la présence d'une masse d'air de secteur sud, en situation de marais isobarique ou

anticyclonique (diminution de la nébulosité). Une diminution forte de la nébulosité accompagne également les advections d'est et d'ouest et les situations anticycloniques. L'augmentation importante de la nébulosité reste en rapport avec les situations cycloniques et avec les advections du secteur NE-E ;

		Anormalement serein <i>Anomalously clear</i>	Anormalement couvert <i>Anomalously cloudy</i>
Hiver Winter XII-II	a	NW _A , S _A , W _A	0 _C , E _C , S ₀ , N _C
	b	S _C , 0 _C , W _C , SW _C	SW _A , SE _A , S _A , W _A , SW ₀
Printemps Spring III-V	a	NW _A , N _A	N _C , NE _C , E _C
	b	0 _C , S _C , SE _C	E _A , NE _A , S _C
Été Summer VI-VIII	a	N _A , NE _A , E ₀ , S _A	NW _C , N _C , SW _C
	b	S _C	NE _A , NE ₀ , E _A , W _A , NW ₀
Automne Autumn IX-XI	a	S _A , E _A , NE _A , W _A , S ₀	NE _C , E _C , NW ₀
	b	N _C , 0 ₀	SW ₀ , S ₀ , S _A
Année Year XII-II	a	S _A , W _A , E ₀ , SE _A	NE _C , E _C , 0 _C , N _C , S _C
	b	W _C	E _A , S _A

Tableau 9 : Types de circulation atmosphérique, d'après la classification de J.Lityński, dont la fréquence (nombre de jours) dans les saisons et années « anormales » selon la nébulosité, présente des écarts significatifs au niveau de 0,05 par rapport à la fréquence moyenne observée au cours des 50 ans 1951–2000 : **a** – écarts positifs, **b** – écarts négatifs. *Circulation types after the classification of Lityński, which mean frequency (numbers of days) in anomalous seasons and years according to the cloudiness is significantly different at the level $\alpha = 0,05$ from mean frequency in 50-years 1951–2000 : a – highest, b – lower.*

- en hiver, la diminution de la nébulosité dépend, en premier lieu, des situations anticycloniques avec un afflux des masses d'air de secteur NW–W ainsi que des situations anticycloniques avec advection de sud. Une augmentation de la nébulosité est due, avant tout, à une dépression centrée sur la Pologne et à un flux perturbé d'est ou de nord ;
- au cours de l'année, la nébulosité diminue principalement à la faveur de l'advection des masses d'air du secteur méridional, dans le système anticyclonique de la pression (à Łódź, la nébulosité moyenne pour 24h pendant les jours avec ce macrotype de la circulation est la plus faible et s'élève à 52%) (Fig. 10, 11). On observe la corrélation positive essentielle de la nébulosité et de l'afflux de l'air des secteurs N–NE–E, avec le système cyclonique de la pression (la nébulosité moyenne pour 24h à Łódź s'élève respectivement à 82% – macrotype N_C et 81% – macrotype E_C). Une augmentation de la nébulosité est due, aussi, à une dépression centrée sur la Pologne ou à un flux de sud lié à une situation anticyclonique.

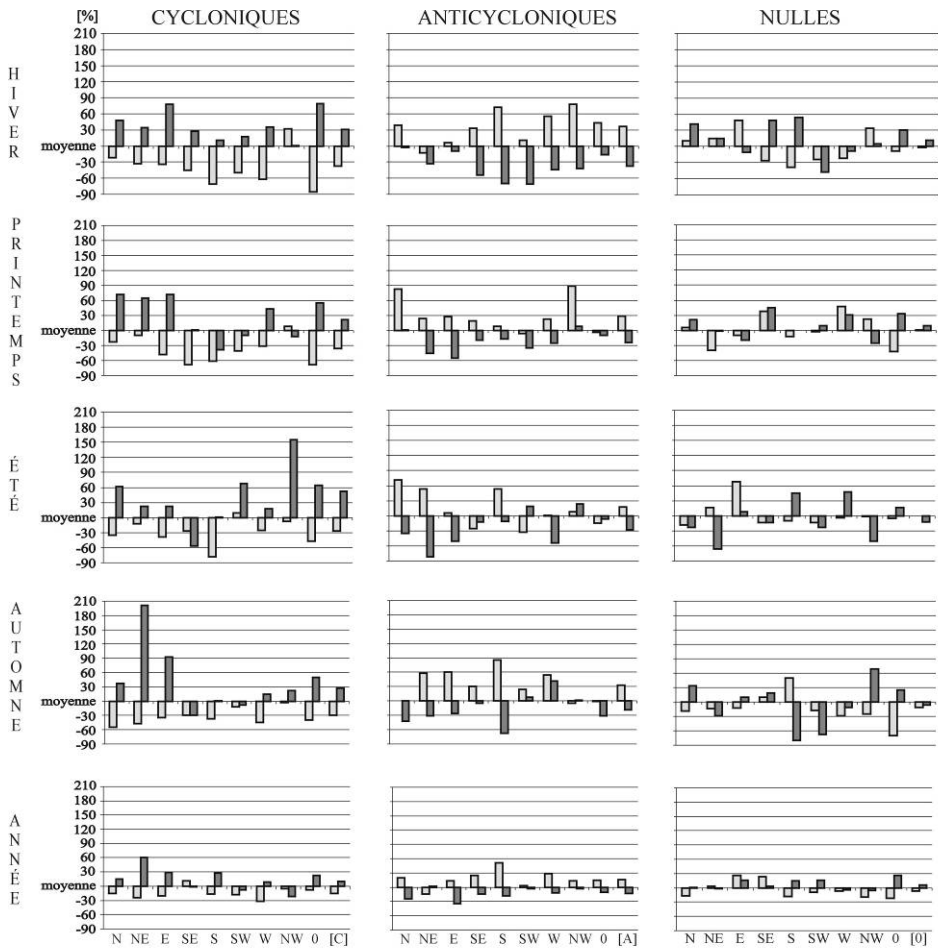


Figure 9 : Fréquence (écarts en % de la moyenne de 50 ans) des types de circulation atmosphérique (d'après la classification de Lityński) dans les saisons et années à nébulosité anormale (■ – anormalement couvert, □ – anormalement serein). *Frequency (deviations % from mean 50-years) of circulation types (after Lityński classification) in seasons and years with anomalous cloudiness (■ – anomalous cloudy, □ – anomalous clear).*

2.4. Tendances pluriannuelles

Une tendance majeure à la diminution de la nébulosité en mai correspond à une intensification de la composante méridionale de la circulation pendant ce mois (une tendance diminutive V_N) (tableau 10). Une analyse de l'évolution du nombre de jours avec les macrotypes particuliers de circulation indique en même temps que les tendances à l'augmentation concernent principalement les systèmes anticycloniques à composante méridionale (S_A et SW_A) et les

situations à centre des hautes pressions au-dessus de la Pologne qui sont associés à la baisse de la nébulosité en mai.

	Mois Months												Saisons de l'année Seasons				Année Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XII- II	III- V	VI- VIII	IX- XI	I-XII
V_W	0,05	0,08	0,05	0,00	0,00	0,01	-0,00	-0,01	-0,02	0,01	0,01	0,02	0,05	0,02	0,00	-0,00	0,02
V_N	0,02	0,02	-0,01	0,00	-0,01	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,01	0,01	0,03	0,02	-0,00	-0,00	0,01	0,00
p	0,07	0,06	-0,02	-0,07	-0,02	-0,02	0,00	0,02	-0,04	-0,03	0,00	0,03	0,05	-0,03	0,00	-0,02	-0,00

Tableau 10 : Coefficients du trend linéaire de l'évolution des composantes du vent géostrophique (V_W , V_N) [$ms^{-1}/année$] et la pression (p) [hPa/year] au point [52,5°N, 20°E], pour la période 1951–2000 (les valeurs significatives au seuil de 0,05 sont en gras). *Linear trend coefficients of change of the components of the geostrophic wind (V_W , V_N) [$ms^{-1}/year$] and atmospheric pressure (p) in point [52,5°N, 20°E] [hPa/year] in years 1951–2000 (coefficients significant at the 0.05 level are in bold).*

En septembre, par contre, une tendance à la baisse de la pression atmosphérique pourrait être considérée comme la cause principale d'une augmentation de la nébulosité. Pendant la période 1951–2000, pour ce mois, on a observé une augmentation du nombre de jours à types de circulation cyclonique, à advections d'est (E_C et SE_C), et avec une dépression centrée sur la Pologne, se caractérisant par une corrélation positive avec la nébulosité.

Une tendance à la diminution de la nébulosité en hiver correspond à une intensification de la circulation zonale d'ouest en Europe Centrale, surtout dans les situations anticycloniques, et avec une diminution du nombre de jours avec macrotypes S_C (tableau 11).

Il y a lieu de souligner que, dans les années 1951–2000, on a observé une augmentation du nombre de jours avec un système de hautes pressions indépendant de la direction du flux des masses d'air, dans toutes les saisons de l'année, l'automne excepté. Plusieurs auteurs dont, entre autres, A. Henderson-Sellers (1986) attiraient l'attention sur la diminution de la nébulosité en Europe Centrale en tant que conséquence d'une fréquence accrue des situations anticycloniques.

Les tendances constatées de changements de la nébulosité en Pologne correspondent aux changements d'autres éléments du climat, diversifiés au cours des mois particuliers : ainsi, par exemple, on a observé en mai un accroissement fort du rayonnement global et de la température et une diminution de la quantité de précipitations, en juin et en septembre, par contre, une baisse du rayonnement et de la température et une augmentation des précipitations (Bogdańska et Podogrocki, 2000; Kożuchowski et Żmudzka, 2002a; Żmudzka, 2002).

	Mois Months												Saisons de l'année Seasons				Année Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XII- II	III- V	VI- VIII	IX- XI	
W+SW	0,10	0,14	0,12	-0,04	0,03	0,01	-0,03	-0,04	-0,03	0,03	0,06	0,05	0,29	0,11	-0,06	0,06	0,40
W_A+SW_A	0,07	0,06	0,05	-0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,04	0,02	0,14	0,04	0,03	0,05	0,27
E+NE	-0,05	-0,08	-0,06	-0,01	-0,05	-0,02	0,03	0,01	0,01	-0,07	-0,01	-0,01	-0,17	-0,12	0,02	-0,07	-0,30
E_C+NE_C	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,03	-0,02	0,01	-0,02	0,01	-0,01	-0,04	-0,05	-0,05	0,01	-0,13
S	-0,07	-0,05	0,01	0,01	0,02	-0,02	0,02	-0,02	0,01	0,06	-0,01	-0,05	-0,07	0,03	-0,06	0,07	-0,07
S_C	-0,03	-0,05	-0,02	0,02	0,00	-0,01	0,00	-0,03	-0,01	0,02	-0,01	-0,04	-0,10	0,01	-0,04	0,01	-0,14
A	0,09	0,08	0,00	-0,06	0,07	-0,03	0,07	0,13	-0,04	-0,04	0,00	0,04	0,19	0,02	0,16	-0,08	0,30

Tableau 11. Coefficients du trend linéaire de l'évolution de la fréquence de macrotypes choisis de la circulation atmosphérique d'après la classification de Lityński [nombre de jours/année], en 1951–2000 (les valeurs significatives au seuil de 0,05 sont en gras). *Linear trend coefficients of changes of the frequency of selected macro-types of circulation after the classification of Lityński [number of days/year] in years 1951–2000 (coefficients significant at the 0.05 are in bold).*

Conclusions

Les tendances des changements et une grande partie de la variabilité de la nébulosité en Pologne peuvent être expliquées par une influence directe de la circulation atmosphérique.

La circulation zonale d'ouest en Europe Centrale influe, de façon importante, sur la nébulosité en Pologne pendant l'été, surtout en juillet, et au tournant de l'automne et de l'hiver (principalement en novembre). En été, cette composante occidentale contribue à l'accroissement de la nébulosité, tandis qu'en novembre, elle est associée à sa diminution.

L'influence de la circulation méridienne sur la nébulosité est la plus forte dans les saisons transitoires de l'année, surtout en septembre et en octobre ; en automne, la nébulosité diminue principalement à la faveur de l'advection des masses d'air du secteur méridional.

Pendant toute l'année, c'est le champ de pression qui exerce l'influence majeure sur la nébulosité. L'influence majeure de la pression atmosphérique au centre de l'Europe Centrale sur la nébulosité se situe en juillet, et à un moindre degré en septembre et en mars ; à l'accroissement de la pression correspond évidemment une diminution de la nébulosité.

Bibliographie

BARRY, R. G., PERRY, A. H., 1973 : *Synoptic climatology, methods and applications*, Methuen & Co. Ltd, London, 555 p.

- BAUR, F., 1947 : *Musterbeispiele europäischer Grosswetterlagen*, Dietrich, Wiesbaden, 35 p.
- BOGDAŃSKA, B. et PODOGROCKI, J., 2000 : *La variabilité du rayonnement sur le territoire polonais pendant la période 1961–1995*, IMGW.
- DITTMANN, E., BARTH, S., LANG, J., MÜLLER-WESTERMEIER, G., 1995 : Objektive Wetterlagenklassifikation. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, 197, Offenbach am Main.
- HARMAN, J. R., WINKLER, J. A., 1991 : Synoptic Climatology, Themes, Applications, and Prospects, *Physical Geography*, 12, 3, pp. 220-230.
- HENDERSON-SELLERS, A., 1986 : Cloud changes in a warmer Europe, *Climatic Change*, 8, 1, pp. 25-52.
- HESS, P., BREZOWSKY, H., 1969 : Katalog der Grosswetterlagen Europas, *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, 15(113), 14 + 56 p.
- KONČEK, M., REIN, F., 1971 : Katalog der Witterungstypen für Mitteleuropa. *Acta Fac. Rer. Nat. Univ. Comen*, Meteorologia IV, Bratislava.
- KOŻUCHOWSKI, K. et ŻMUDZKA, E., 2002a : Le réchauffement en Pologne : l'échelle et la distribution saisonnière des changements de la température de l'air dans la seconde moitié du XX^e siècle, *Przegląd Geofizyczny*, 46, 1-2, pp. 81-90.
- KOŻUCHOWSKI, K. et ŻMUDZKA, E., 2002b : La circulation atmosphérique et son influence sur la variabilité de la température de l'air en Pologne, *Przegląd Geograficzny*, 74, 4, pp. 591-604.
- LAUSCHER, F., 1954 : *Dynamische Klimaskizze von Österreich*, in : Flohn H., *Witterung und Klima in Mitteleuropa*, Hirzel, Stuttgart, 214 p.
- LITYŃSKI, J., 1969 : La classification numérique des types de circulation et des types de temps en Pologne, *Prace PIHM*, 97, pp. 3-14.
- PARCZEWSKI, W., 1965 : Les fronts atmosphériques au-dessus du territoire de la Pologne, *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej*, 59, pp. 20-36.
- PÉCZELY, G., 1957 : Grosswetterlagen in Ungarn. *Kleinere Veröff. Zentralanst. Meteorol. Budap.*, 30, 86 p.
- WALLÉN, C. C., éd., 1977 : *Climates of Central and Southern Europe*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York, 248 p.
- YARNAL, B., 1993 : *Synoptic Climatology in Environmental Analysis – A primer*, London and Florida, Belhaven Press, XV+195 P.
- ŻMUDZKA, E., 2002 : Sur la variabilité des précipitations atmosphérique sur le territoire polonais de plaine dans la seconde moitié du XX^e siècle, *Wiadomości IMGW*, 25, 4, pp. 23-38.
- ŻMUDZKA, E., 2003 : La nébulosité en Pologne dans la seconde moitié du XX^e siècle, *Przegląd Geofizyczny*, 48, 3-4, pp. 159-185.