

Anita Bokwa

LE CLIMAT ET LES RESSOURCES CLIMATIQUES DES CARPATES

Résumé: Les Carpates sont une barrière climatique caractérisée par une forte différenciation des éléments climatiques, tant dans le profil vertical que régional. Les ressources climatiques pour l'agriculture, le tourisme, le transport et l'énergie, mais aussi la grande variabilité naturelle du climat des Carpates rendent la recherche d'autant plus difficile

Mots-clés: Carpates, climat, ressources climatiques, changements du climat.

1. Introduction

Les Carpates sont une chaîne de montagnes de 1300 km de long et de 100 à 350 km de large, orientée ouest-est puis nord-ouest – sud-est dans la partie orientale. Elles constituent la barrière climatique la plus importante en Europe centrale. Les versants nord des Carpates occidentales et leur piedmont sont sous l'influence des masses d'air polaires maritimes. Le versant méridional et la partie orientale du massif sont en revanche sous l'influence de masses d'air polaires continentales (Martyn 1987). Les conditions climatiques des Carpates sont également différenciés régionalement (d'ouest en est et du nord au sud) et dans le profil vertical. La cause des différences régionales est à rechercher dans la situation des Carpates au contact des influences continentales et maritimes. Les Carpates occidentales sont exposées à l'influence des masses d'air humides, océaniques. Les précipitations sur le piedmont sont ainsi de l'ordre de 1000 mm/an alors que dans les Carpates orientales, là où le climat est plus continental, elles ne s'élèvent qu'à 600 mm/an (Okołowicz 1977). La variabilité des conditions climatiques dans le profil vertical des Carpates est beaucoup plus grande que la variabilité régionale. Cela résulte de l'important dénivelé que l'on peut constater et des différences observées dans le rayonnement solaire entre les versants nord et sud (Starkel 1972 a, b). On peut alors observer dans les Carpates polonaises quatre types de relief qui correspondent à autant de situations climatiques: 1. Les fonds des vallées et les bassins, 2. Les collines, 3. Les montagnes basses et moyennes, 4. Les hautes montagnes. Mais pour les Beskides, les divers types de relief forment une mosaïque qui complique les conditions mesoclimatiques.

La connaissance du climat des Carpates est marquée par le manque de recherches internationales permettant d'obtenir des cartes précises de la distribution spatiale

Tab. 1. Localisation des stations météorologiques des Carpates et de l'avant-pays

Station	Pays	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Les Carpates occidentales et leur avant - terrain				
Cracovie	Pologne	50°05'N	19°48'E	237
Kasprowy Wierch	Pologne	49°14'N	19°59'E	1991
Poprad	Slovaquie	49°04'N	20°15'E	695
Sliac	Slovaquie	48°39'N	19°09'E	315
Les Carpates orientales et leur avant - terrain				
Przemyśl	Pologne	49°48'N	22°46'E	279
Iwano-Frankovsk	Ukraine	48°54'N	24°42'E	276
Cernovcy	Ukraine	48°22'N	25°54'E	246
Uzgorod	Ukraine	48°38'N	22°16'E	118
Bistrita	Roumanie	47°08'N	24°30'E	366
Les Carpates méridionales et leur avant - terrain				
Sibiu	Roumanie	45°48'N	24°09'E	443
Vrfu Omu	Roumanie	45°27'N	25°27'E	2504

Source: WMO 1998.

des éléments climatiques sur l'ensemble de la chaîne (ALPEX pour les Alpes par exemple). Les Carpates sont en effet situées sur les territoires de différents Etats dans le cadre desquels sont menées des recherches souvent solitaires. Cette situation se traduit dans les Colloques Internationaux sur la Météorologie des Carpates, par exemple ceux de Budapest 1996 (XVIIe) ou de Belgrade 2002 (XVIIIe). Les résultats publiés s'appuient alors sur des données concernant des périodes diverses, élaborées selon des méthodes différentes, et il n'est ainsi pas possible d'avoir une vue d'ensemble du phénomène. Le présent article est donc une estimation approximative des conditions climatiques des Carpates, plutôt qu'une image rigoureusement exacte. Les données détaillées, comme les moyennes mensuelles pour la période 1961-1990, sont ainsi seulement accessibles pour les stations choisies (WMO 1998). Leur localisations sont présentées dans la table 1. Malheureusement pour quelques stations les données ne sont pas complètes.

2. La circulation atmosphérique et les conditions anémologiques

La circulation des masses d'air sur les Carpates est sous la dépendance de centres barométriques actifs toute l'année - anticyclone des Açores et dépression d'Islande - mais aussi de centres saisonniers: anticyclone asiatique en hiver et dépressions centrées sur la mer Méditerranée en hiver (Martyn 1987). Sur le versant nord des Carpates occidentales les masses d'air polaire sont les plus fréquentes; les masses polaires maritimes sont présentes durant 65% de l'année et les masses polaires continentales pendant 20%. L'air arctique domine pendant 6% des journées et l'air tropical durant moins de 3%. Enfin, lors de 6% des journées, d'autres masses d'air, fortement influencées par les facteurs locaux, s'installent sur les Carpates occidentales (Niedźwiedz 1981). Sur les versants sud et est dominant les masses d'air polaires continentales ainsi que l'air polaire maritime (Martyn 1987).

Le direction et la force du vent sont significativement modifiés dans les Carpates par la configuration du relief. Le vent suit surtout le cours des vallées. Sur le piedmont nord

Tab. 2. Valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent (m/s) pour les stations météorologiques des Carpates et de l'avant-pays (1961-1990)

Mois	Carp. occid.				Carp. orien.		Carp. mér.	
	Kr	KW	P	S	Pr	B	Si	VO
Jan.	3,1	8,4	4,0	1,3	4,1	0,9	1,4	12,1
Fev.	3,3	8,1	4,1	1,6	4,0	1,3	1,8	12,2
Mars	3,6	7,6	4,5	2,0	4,1	1,7	2,3	10,6
Avril	3,2	6,9	4,4	2,3	3,7	2,0	2,4	9,5
Mai	2,7	5,9	3,8	1,9	3,1	1,6	2,1	8,1
Juin	2,7	5,4	3,8	1,8	3,1	1,4	1,7	7,6
Juill.	2,6	5,5	3,8	1,8	3,0	1,2	1,6	7,4
Août	2,3	5,3	3,5	1,6	2,7	1,1	1,4	6,5
Sep.	2,4	6,3	3,8	1,5	3,0	0,9	1,5	7,7
Oct.	2,7	7,4	3,9	1,4	3,4	1,1	1,6	9,0
Nov.	3,2	8,6	4,1	1,5	4,1	1,0	1,8	11,5
Dec.	3,2	8,7	4,1	1,3	4,2	0,9	1,3	12,1
Année	2,9	7,0	4,0	1,7	3,5	1,2	1,7	9,5

Carp. occid. - Carpates occidentales, Carp. orien. - Carpates orientales, Carp. mér. - Carpates méridionales, Kr – Cracovie, KW – Kasprowy Wierch, P – Poprad, S – Sliac, Pr – Przemyśl, B – Bistrica, Si – Sibiu, VO – Vrfu Omu

Source: WMO 1998.

des Carpates occidentales et dans les larges vallées, les vents d'ouest l'emportent. Dans les montagnes, les vents de sud et sud-ouest dominant en été avec des vents de nord et nord-ouest. Cette disposition est renforcée par le fœhn en hiver et les brises de montagne ou de vallée en été. La force du vent augmente avec l'altitude et varie saisonnièrement; les valeurs les plus grandes sont observées en hiver, les plus faibles en été. Les valeurs moyennes annuelles de la force du vent s'élèvent de 2-4 m/s sur le piedmont des Carpates à 9 m/s sur les sommets des Carpates méridionales (Tab. 2). Mais les vents fœhniques peuvent atteindre 80 m/s en rafales (Obrębska-Starkłowa et al. 1995). Les stations situées à l'intérieur des montagnes (par exemple Sliac, Bistrica, Sibiu) sont caractérisées par des vents plus forts que les stations situées du nord et de l'est des Carpates (par exemple Cracovie et Przemyśl) (Tab. 2). Dans les Carpates, on observe aussi beaucoup de vents locaux. Dans les vallées larges se développent les brises de montagne ou de vallée, en relation avec les différences thermiques observées entre les fonds de vallées et les versants. Tel est le cas du vent de Nowy Targ, brise de vallée, de nord, qui souffle de Nowy Targ à Zakopane les matins d'été (Martyn 1977). Le relief des Carpates est favorable au phénomène du fœhn, qui prend divers noms régionaux: "halny" dans les Tatras, vents de Rytro dans la vallée de Poprad, vents de Rymanów dans la vallée de Tabor (Lewińska 1958). À Zakopane on peut aussi observer des vents de sud-ouest ressemblants au "halny", nommés vents de l'Orava parce qu'ils soufflent depuis cette région (Martyn 1977). Dans les Carpates il y a aussi des vents locaux de type "bora", secs et frais. En hiver, soufflent ainsi

vers le sud les vents nommés “*koszawa*” en Hongrie, “*crivet*” en Roumanie et “*polak*” en Bohême et Moravie (Martyn 1987).

3. Nébulosité et ensoleillement dans les Carpates

Dans les Carpates on observe une augmentation de la nébulosité moyenne annuelle avec l'altitude, confirmée par la comparaison des stations de haute altitude avec celles situées au pied des montagnes (Tab. 3). Pour la majorité des stations, le minimum de nébulosité est observé en fin d'été, et le maximum en hiver. Pour les stations de haute altitude, le minimum est repoussé en octobre. La recherche météorologique dans les Carpates occidentales polonaises permet de détailler les conditions néphologiques de cette région. Orliczowa et Peterka (1974) confirmaient que jusqu'à une altitude de 1350 m, les mois le plus nuageux étaient novembre et décembre. Plus haut, la plus grande nébulosité est observée en été. C'est le résultat de la fréquence des nuages bas en hiver, alors que, en été, les nuages à développement vertical prédominent. Hess (1965) établit que les chaînes des Carpates occidentales polonaises les plus avancées au nord et à l'ouest (par exemple Beskid Śląski et Beskid Żywiecki) sont caractérisées par une nébulosité plus grande que dans les chaînes situées plus à l'est (par exemple les Tatras).

L'ensoleillement dépend surtout de la nébulosité. Les plus grandes sommes annuelles sont observées dans les stations situées au pied des montagnes, sur le versant intérieur: Uzgorod en Ukraine et Bistrica (Tab. 4) comptent ainsi 1950 heures d'ensoleillement annuel.

Tab. 3. Valeurs moyennes mensuelles de la nébulosité (échelle de zéro à 8) pour les stations météorologiques des Carpates et de l'avant-pays (1961-1990)

Mois	Carp. occid.				Carp. orient.		Carp. mér.	
	Kr	KW	P	S	Pr	B	Si	VO
Jan.	5,8	5,4	7,1	7,1	5,5	6,8	6,9	6,2
Fév.	5,7	5,5	6,6	6,6	5,8	6,6	6,7	6,7
Mars	5,3	5,8	6,4	6,4	5,3	6,0	6,3	6,8
Avril	5,0	6,0	5,9	5,9	5,0	6,2	6,6	7,7
Mai	4,8	6,0	5,9	5,9	4,7	5,8	6,3	7,8
Juin	4,7	6,1	5,8	5,8	4,6	5,6	6,1	7,8
Juill.	4,6	5,9	5,3	5,3	4,4	5,0	5,3	7,5
Août	4,2	5,5	5,2	5,2	4,1	4,4	4,9	6,8
Sep.	4,6	5,4	5,7	5,7	4,4	4,8	5,0	6,2
Oct.	4,8	5,0	5,9	5,9	4,6	4,8	4,9	5,4
Nov.	5,8	5,8	7,4	7,4	5,8	6,8	6,7	6,4
Dec.	6,1	5,5	7,4	7,4	6,0	7,5	7,4	6,3
Année	5,1	5,7	6,2	6,2	5,0	5,9	6,1	6,8

Carp. occid. - Carpates occidentales, Carp. orient. - Carpates orientales, Carp. mér. - Carpates méridionales, Kr - Cracovie, KW - Kasprowy Wierch, P - Poprad, S - Sliac, Pr - Przemyśl, B - Bistrica, Si - Sibiu, VO - Vrfu Omu

En été, on voit clairement que les stations de haute altitude (Kasprowy Wierch et Vrfu Omu) ont beaucoup moins d'ensoleillement (120-140 heures/mois) que les autres (200-250 heures/mois), alors qu'en hiver c'est l'inverse. Cela est lié aux valeurs de la nébulosité. Les résultats de la recherche réalisée sur les versants nord des Carpates occidentales montrent en effet vers 1100-1500 m une inversion thermique et de l'humidité accompagnée par de fréquents brouillards et nuages. Plus haut et plus bas, en revanche, l'ensoleillement augmente (Orliczowa 1969, Olecki 1989). La différenciation du rayonnement solaire total dans le profil vertical des Carpates est lié à l'ensoleillement. Au pied des montagnes du nord, les sommes annuelles s'élèvent à environ 90 kcal/cm², alors que, sur les sommets, on atteint 100 kcal/cm². Au pied des montagnes du sud, enfin, les sommes annuelles s'élèvent à 100-120 kcal/cm² (Hess, Olecki 1984).

4. La température de l'air

Le facteur essentiel qui différencie la température de l'air dans les Carpates est l'altitude, l'influence de la latitude et de la longitude étant beaucoup plus limitée (Hess et al. 1979). Dans les Carpates occidentales polonaises, les collines et les montagnes basses sont comprises dans la zone verticale tempérée chaude (température moyenne annuelle de 6 à 8°C). La majorité des chaînes des Beskides et le bassin d'Orawsko-Nowotarska appartiennent à la zone tempérée fraîche (4 à 6°C). La zone fraîche (2 à 4°C) est cantonnée aux plus hautes parties des Bieszczady, Beskid Sądecki, Gorce, Beskid Śląski, Beskid Żywiecki

Tab. 4. Valeurs moyennes mensuelles de l'ensoleillement (en heures) pour les météorologiques des Carpates et de l'avant-pays (1961-1990)

Mois	Carp. occid.				Carp. orient.			Carp. mér.	
	Kr	KW	P	S	C	U	B	Si	VO
Jan.	40,0	90,0	89,1	54,3	65,0	59,0	67,3	69,2	111,3
Fev.	56,0	97,0	106,3	78,3	75,0	87,0	92,8	87,6	109,9
Mars	89,0	120,0	146,5	125,4	123,0	142,0	147,9	138,0	134,1
Avril	134,0	124,0	161,9	165,8	162,0	190,0	171,1	158,6	118,2
Mai	182,0	141,0	194,3	203,7	219,0	246,0	225,9	205,1	138,0
Juin	192,0	124,0	200,2	208,9	233,0	249,0	232,5	213,4	130,5
Juill.	203,0	140,0	221,3	233,5	247,0	274,0	259,6	245,6	148,6
Août	188,0	149,0	207,3	210,3	246,0	253,0	258,0	232,8	166,5
Sep.	129,0	134,0	176,9	157,7	188,0	192,0	196,3	182,6	160,2
Oct.	103,0	139,0	159,1	120,3	141,0	151,0	167,5	160,4	170,2
Nov.	48,0	78,0	85,5	50,9	68,0	63,0	78,3	83,1	111,8
Dec.	32,0	75,0	68,8	39,6	53,0	46,0	48,8	56,0	100,5
Année	1396,0	1411,0	1817,2	1648,7	1820,0	1952,0	1945,9	1832,4	1599,8

Carp. occid. - Carpates occidentales, Carp. orient. - Carpates orientales, Carp. mér. - Carpates méridionales, Kr - Cracovie, KW - Kasprowy Wierch, P - Poprad, S - Sliac, C - Cernovcy, U - Uzgorod, B - Bistrica, Si - Sibiu, VO - Vrfu Omu

et aux basses parties des Tatras. Au-dessus de 1550 m, c'est la zone très fraîche (0 f 2°C), au-dessus de 1 850 m la zone tempérée froide (0 f moins 2°C), et enfin au-dessus de 2200 m, c'est la zone froide (de moins 2 f moins 4°C). Sur les versants sud, les limites de ces zones sont relevées d'environ 100 f 200 m. A l'est, elles sont abaissées d'environ 60 m par rapport f la partie d'ouest (Hess 1965).

Le mois le plus froid dans les Carpates est janvier. Le plus chaud est juillet. L'évolution annuelle de la température moyenne mensuelle est similaire pour toutes les stations (Tab. 5), car le facteur essentiel est la latitude. Le deuxième facteur est l'altitude. La station la plus froide est Vrfu Omu (2 504 m) et f un degré moindre, Kasprowy Wierch, située environ 600 m plus bas. Parmi les autres stations, Poprad est f la fois la plus élevée (695 m) et la plus froide.

L'amplitude moyenne annuelle de la température de l'air est l'un des indices de la continentalité du climat. Dans les Carpates elle dépend de l'altitude et de la latitude (Tab. 5). Les amplitudes diminuent rapidement avec l'altitude et les stations situées au nord des Carpates occidentales sont caractérisées par des valeurs plus faibles que dans les autres stations. L'augmentation de la continentalité thermique vers l'est et le sud est déterminée surtout par la réduction, dans cette direction, de la température du mois le plus froid. Plus haut dans les montagnes, l'automne est plus chaud que le printemps. C'est l'une des manifestations de "l'océanisation" du climat des montagnes (Obrębska-Starkłowa et al. 1995).

Tab. 5. Valeurs moyennes mensuelles et amplitudes moyennes annuelles de la température de l'air (°C) pour les stations météorologiques des Carpates et l'avant-pays (1961-1990)

Mois	Carp. occid.				Carp. orient.					Carp. mér.	
	Kr	KW	P	S	Pr	IF	C	U	B	Si	VO
Jan.	-3,3	-8,4	-5,0	-3,9	-3,5	-5,1	-4,9	-2,8	-5,0	-4,0	-10,5
Fev.	-1,6	-8,4	-3,2	-1,1	-2,0	-3,1	-2,9	-0,2	-2,1	-1,1	-10,6
Mars	2,4	-6,4	0,7	3,1	2,2	1,4	1,7	4,7	3,1	3,8	-8,0
Avril	7,9	-2,6	6,0	8,6	8,1	8,1	8,8	10,7	9,1	9,4	-4,0
Mai	13,1	2,2	11,0	13,6	13,3	13,5	14,3	15,6	14,3	14,2	0,5
Juin	16,2	5,1	14,1	16,6	16,3	16,5	17,3	18,4	17,0	17,1	3,3
Juill.	17,5	6,8	15,5	18,1	17,6	17,9	18,7	19,9	18,3	18,7	5,1
Août	16,9	6,9	14,8	17,3	17,0	17,3	18,0	19,4	17,6	18,1	5,3
Sep.	13,1	4,3	11,5	13,5	13,5	13,5	14,3	15,6	13,5	14,4	2,8
Oct.	8,3	1,3	6,7	8,4	8,7	8,1	8,6	10,2	8,0	8,9	-0,7
Nov.	3,2	-3,8	1,3	3,1	3,5	2,6	2,9	4,6	3,2	3,7	-5,1
Dec.	-1,0	-7,0	-3,3	-1,9	-1,0	-2,1	-1,9	-0,4	-1,8	-1,1	-8,7
Année	7,7	-0,8	5,8	8,0	7,8	7,4	7,9	9,6	7,9	8,5	-2,6
Amplit.	20,8	15,3	20,5	22,0	21,1	23,0	23,6	22,7	23,3	22,7	15,8

Carp. occid. - Carpates occidentales, Carp. orient. - Carpates orientales, Carp. mér. - Carpates méridionales, Kr – Cracovie, KW – Kasprowy Wierch, P – Poprad, S – Śliac, Pr – Przemyśl, IF – Ivano-Frankovsk, C – Cernovcy, U – Uzgorod, B – Bistrica, Si – Sibiu, VO – Vrfu Omu

L'inversion de la température est un phénomène typique des grandes vallées et des bassins. En hiver ces inversions peuvent durer pendant 24 heures. En été, elles disparaissent ordinairement pendant la journée. Dans les Carpates occidentales polonaises l'épaisseur des inversions est le plus souvent de 150 à 300 m, mais, dans le bassin de Orawsko-Nowotarska, elle peut atteindre 800 m (Niedźwiedź, Obrębska-Starkłowa 1991).

5. L'humidité de l'air et les précipitations

Le contenu de la vapeur d'eau dans l'air des Carpates est très dépendante de la température de l'air, de l'altitude et de la situation d'abri par rapport aux masses d'air humide maritime. Les valeurs les plus basses de la tension de vapeur sont observées à haute altitude (Tab. 6). La différenciation avec les stations situées plus bas est seulement apparente seulement en été. Ainsi, Poprad et Sliac, situées sur le versant sud des Carpates occidentales, sont abritées des influences atlantiques, et par conséquent l'humidité y est plus faible que pour les stations situées plus au sud, où la température et l'évaporation sont plus fortes.

Les Carpates occidentales sont beaucoup plus arrosées que les Carpates orientales ou méridionales, parce qu'elles sont exposées à l'influence des masses d'air humides atlantiques. En outre, dans les vallées et les bassins, l'effet de "l'ombre de précipitation", différencie considérablement les précipitations localement. Le pied des Carpates polonaises correspond à l'isohyète 700 mm; celui des Beskides à l'isohyète 900 mm (Niedźwiedź, Obrębska-Starkłowa 1991). Les plus fortes précipitations annuelles concernent les sommets

Tab. 6. Valeurs moyennes mensuelles de la pression atmosphérique (hPa) pour les stations météorologiques des Carpates et de l'avant-pays (1961-1990)

Mois	Carp. occid.				Carp. orient.				Carp. mér.	
	Kr	KW	P	S	Pr	C	U	B	Si	VO
Jan.	4,4	2,6	3,7	4,2	4,2	3,9	4,2	4,0	4,3	2,4
Fev.	4,8	2,7	4,0	4,8	4,6	4,3	4,9	4,6	4,9	2,5
Mars	5,9	3,3	4,9	5,8	5,7	5,5	6,0	6,0	6,2	3,1
Avril	7,9	4,4	6,6	7,6	7,9	7,6	8,0	8,2	8,5	4,2
Mai	11,1	6,3	9,5	10,9	11,4	11,2	11,4	11,6	12,0	5,9
Juin	13,7	7,9	11,8	13,4	14,1	14,0	14,1	14,4	14,9	7,2
Juill.	14,9	8,8	12,7	14,3	15,3	15,3	15,3	15,7	16,1	8,1
Août	14,9	8,7	12,5	14,2	15,1	15,0	15,2	15,6	15,6	7,9
Sep.	12,4	7,1	10,2	11,8	12,5	12,1	12,6	12,4	12,7	6,3
Oct.	9,4	5,1	7,6	8,9	9,3	8,8	9,3	8,9	9,2	4,7
Nov.	6,9	3,9	5,7	6,7	6,7	6,5	7,0	6,8	6,9	3,6
Dec.	5,2	3,0	4,2	4,9	5,0	4,7	5,2	5,0	5,2	2,8
Année	9,3	5,3	7,8	9,0	9,3	9,1	9,4	9,4	9,7	4,9

Carp. occid. - Carpates occidentales, Carp. orient. - Carpates orientales, Carp. mér. - Carpates méridionales, Kr - Cracovie, KW - Kasprowy Wierch, P - Poprad, S - Sliac, Pr - Przemyśl, C - Cernovcy, U - Uzgorod, B - Bistrica, Si - Sibiu, VO - Vrfu Omu

des Tatra, par exemple f Kasprowy Wierch avec 1800 mm par an (Tab. 7). La station de Vrfu Omu est située beaucoup plus haut que celle de Kasprowy Wierch, mais les précipitations y sont beaucoup plus faibles (1053 mm) du fait de la situation d'abri par rapport aux masses d'air océaniques. Pour toutes les stations, le maximum de précipitations correspond aux six mois les plus chauds de l'année ce qui accentue le caractère continental du climat des Carpates.

6. Les phénomènes atmosphériques extrêmes dans les Carpates

Les Carpates, en tant que barrière climatique, favorisent la formation de phénomènes atmosphériques extrêmes, que peuvent être dangereux et causer des pertes économiques. Parmi les phénomènes extrêmes, citons les orages fréquents, les précipitations intenses et les changements brusques de température qui peuvent causer incendies, sécheresses, inondations et avalanches. Dans les Carpates occidentales polonaises les précipitations intenses orographiques apparaissent ordinairement en juin et juillet, surtout par suite de l'arrivée de masses d'air humides et froides de nord. Le maximum quotidien observé jusqu'à présent l'a été le 30 avril 1973 f Hala Gąsienicowa dans les Tatra, avec 300 mm. L'inondation la plus catastrophique observée dans les Carpates fut celle de 1934. D'autres grandes inondations, catastrophiques en Pologne et dans les Carpates polonaises, ont eu lieu dans les années 1970, 1973 et surtout en 1997 (mais les maxima de précipitations

Tab. 7. Valeurs moyennes mensuelles des précipitations (mm) pour les stations météorologiques des Carpates et l'avant-pays (1961-1990)

Mois	Carp. occid.				Carp. orient.					Carp. mér.	
	Kr	KW	P	S	Pr	IF	C	U	B	Si	VO
Jan.	34,0	124,0	23,2	43,6	29,0	30,0	32,0	57,0	46,0	28,0	69,0
Fev.	32,0	110,0	24,7	44,3	29,0	31,0	32,0	46,0	31,0	26,0	66,0
Mars	34,0	118,0	27,2	41,8	34,0	34,0	36,0	48,0	34,0	31,0	67,0
Avril	48,0	141,0	43,3	47,4	48,0	53,0	58,0	45,0	57,0	54,0	86,0
Mai	83,0	173,0	73,9	63,6	76,0	87,0	77,0	70,0	76,0	78,0	118,0
Juin	97,0	223,0	89,7	85,2	97,0	97,0	105,0	88,0	97,0	99,0	140,0
Juill.	85,0	208,0	68,4	58,9	100,0	103,0	103,0	85,0	87,0	86,0	144,0
Août	87,0	195,0	68,3	69,2	77,0	81,0	61,0	71,0	68,0	68,0	114,0
Sep.	54,0	131,0	48,9	56,2	55,0	52,0	51,0	53,0	43,0	51,0	64,0
Oct.	46,0	111,0	38,3	50,4	42,0	36,0	33,0	50,0	41,0	42,0	53,0
Nov.	45,0	127,0	44,7	69,1	40,0	37,0	36,0	58,0	47,0	34,0	57,0
Dec.	41,0	140,0	28,6	56,6	40,0	40,0	37,0	69,0	50,0	30,0	75,0
Année	686,0	1801,0	579,2	686,3	667,0	681,0	661,0	740,0	677,0	627,0	1053,0

Carp. occid. – Carpates occidentales, Carp. orient. – Carpates orientales, Carp. mér. – Carpates méridionales, Kr – Cracovie, KW – Kasprowy Wierch, P – Poprad, S – Sliac, Pr – Przemyśl, IF – Ivano-Frankovsk, C – Cernovcy, U – Uzgorod, B – Bistrica, Si – Sibiu, VO – Vrfu Omu

quotidiennes observés dans ce cas étaient de 255,2 mm à Hala Gašienicowa et de 207,9 mm dans la vallée de Dolina Pięciu Stawów dans les Tatras; Cebulak 1998). Le nombre des jours d'enneigement dépend quant à lui de l'altitude et de la topographie. Sur les sommets on est à 230 jours, et la hauteur de neige peut atteindre 2 m. Le nombre annuel des jours d'enneigement augmente dans les Carpates de 7 à 10 jours par tranche de 100 m d'altitude, selon la topographie et la longitude (Leśniak 1980). Le fœhn apparaît souvent en hiver et au printemps, causant une brusque fonte des neiges, qui peut provoquer des crues dangereuses dans les torrents de montagne. En hiver dans les Tatras, au-dessus de la limite supérieure de forêt, les avalanches constituent également un risque. Les sécheresses apparaissent surtout en automne sur le piedmont, avec au maximum 50 journées sans précipitation (Obrębska-Starkłowa et al. 1995).

7. Les ressources climatiques

Ces ressources sont envisagées dans une optique agricole, touristique et énergétique. Les terres arables montent jusqu'à 1000 m. Au-delà, la température est trop basse pour la culture des céréales. Les régions de Łącko et Tymbark sont bien connues pour leur arboriculture fruitière (Guzik 1995). Obrębska-Starkłowa (1977) a élaboré une typologie et une régionalisation pour le bassin amont de la rivière Vistule. La zone occidentale (plus océanique) et orientale (plus continental) y sont distinguées, ainsi que trois zones altitudinales, où la saison végétative oscille de 190 à 220 jours.

Plus haut, les conditions bioclimatiques sont peu favorables pour le tourisme. La grande diversité des conditions météorologiques et la plus grande fréquence des changements du temps se présentent au pied des montagnes. Au-dessus de la limite supérieure de la forêt, on observe une faible variabilité biométéorologique. Le bioclimat de la région de Zakopane est le plus favorable au tourisme (Obrębska-Starkłowa, Bąbka 1992, Twardosz 1994).

Les phénomènes atmosphériques extrêmes sont également dangereux pour la circulation. En outre, le relief détermine une forte différenciation des conditions atmosphériques, même entre des lieux très proches. En hiver, les brouillards et les vents forts sont la plus grande menace sur les routes des Carpates. En été, ce sont les fortes chaleurs et les précipitations brèves mais très fortes qui posent problème (Hess et al. 1982). Au pied nord des montagnes, pendant la partie froide de l'année, les risques sont liés au brouillard, aux gelées, au verglas et à l'enneigement de longue durée (Wypych 2000).

Les ressources climatiques dans les Carpates peuvent avoir une signification seulement locale, pour la production d'énergie éolienne. La force du vent augmente en effet avec l'altitude, mais change saisonnièrement. Les valeurs les plus grandes s'observent en hiver. Les moyennes annuelles de la force du vent peuvent varier de 2 à 4 m/s dans le piedmont à 9 m/s sur les sommets des Carpates méridionales. Les conditions anémologiques sont moins favorables dans les montagnes pour l'exploitation de l'énergie éolienne que celles observées dans les plaines à cause des déformations de la direction et la vitesse du vent par le relief. Dans les Carpates, seules les parties les plus hautes, peuvent être utilisées dans ce but. (Łykowski 1999). L'ensoleillement, lui, dépend surtout de la nébulosité. Les plus fortes valeurs annuelles sont observées au pied des montagnes, sur le versant intérieur (Uzgorod, Bistrita avec 1 950 heures/mois) et en été dans les stations de haute altitude (Kasprowy Wierch et Vrfu Omu, avec 120 à 140 heures/mois, les autres: 200-250 heures/mois). En hiver, les valeurs sont respectivement de 75 à 110 heures/mois et de 40 à 106 heures/mois (Tab. 4). La construction des centrales solaires n'est pas rentable dans

les Carpates, mais les systèmes passifs permettant d'exploiter l'énergie solaire pour le chauffage des bâtiments et de l'eau pourraient couvrir 20 à 70 % des besoins énergétiques d'une habitation (Łykowski 1999).

8. Les changements climatiques

La recherche sur les changements contemporains du climat dans les Carpates est assez difficile parce que les sources d'information sont limitées. Les observations faites dans les Tatra ont commencé à Zakopane en 1876 (*Klimat Tatr* 1974). Les analyses dendroclimatologiques (Bednarz 1984) permettent de constater que, dans la première partie du XIX siècle, les Tatra connaissent un refroidissement, puis lors de la période 1910-1930, de fortes précipitations estivales. Le petit âge glaciaire se poursuit, dans les Carpates, jusqu'à la moitié du XIX siècle, puis le réchauffement contemporain a commencé à la fin du XIX siècle. Le dernier maximum thermique date de 1970-1980 au pied des Carpates et de 1980 à leur sommet. Durant la période 1881-1990 la température de l'air au pied des Carpates augmente d'environ un degré (Obrębska-Starkłowa et al. 1994). Les données pour la période 1951-1990 montrent de faibles fluctuations de la température et des précipitations en altitude. Dans les Tatra, les températures de printemps augmentent ainsi que l'ensoleillement annuel (Obrębska-Starkłowa et al. 1995). La variabilité naturelle du climat est forte. Plus de 50 % des mois, lors de la période 1951-2000, présentant des températures anormales dans les Beskid Sądecki (Brzeźniak 2002).

9. Conclusion

Le climat des Carpates est très différencié, mais insuffisamment connu. Niedźwiedz et Obrębska-Starkłowa (1987) constataient à ce titre que la recherche climatique quantitative était plus avancée en Pologne que dans les autres pays des Carpates. C'est en partie le résultat de la situation politique de cette partie de l'Europe jusqu'à la fin de XX siècle.

Les frontières de la Pologne, de la Tchécoslovaquie, de la Roumanie et de l'URSS passant dans les Carpates étaient en effet des zones interdites. Pour cette raison, la recherche scientifique internationale était difficile. Désormais, le problème le plus sérieux est la situation économique des pays situés dans les Carpates. Les projets internationaux sont coûteux, mais, malgré tout, les Carpates doivent devenir une région de coopération réunissant les pays et les nations d'Europe Centrale, au moins sur ce thème de recherche.

Remerciements

Je remercie sincèrement le professeur Daniel Ricard qui a bien voulu vérifier la traduction française de cet article.

Bibliographie

- Bednarz Z., 1984, *The comparison of dendroclimatological reconstructions of summer temperatures from the Alps and Tatra Mts. from 1741-1965*, Dendrochronologia, 2, Archeonatura, Ed. Verona.
- Brzeźniak E., 2002, *Anomalne temperatury powietrza w Beskidzie Sądeckim w drugiej połowie XX wieku*, [dans:] Z. Górka, A. Jelonek (dir.), *Geograficzne uwarunkowania rozwoju Małopolski*, IGI GP UJ, Kraków, 123-129.
- Cebulak E., 1998, *Przegląd opadów ekstremalnych, które wywołały powódź w XX wieku w dorzeczu górnej Wisły*, Mat. Konf. Nauk. *Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997*, 7-9 maja 1998, Kraków, PAN.

- Guzik C., 1995, *Rolnicze użytkowanie ziemi*, [dans:] J. Warszyńska (dir.) *Karpaty Polskie*, UJ, Kraków, 239-252.
- Hess M., 1965, *Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich*, Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., 11.
- Hess M., Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., 1979, *O zróżnicowaniu stosunków termicznych w dorzeczu górnej Wisły*, Fol. Geogr., ser. Geogr.-Phys., XII, 67-82.
- Hess M., Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., Leśniak B., Grzyborowska A., 1982, *Częstość występowania kompleksów pogodowych, stwarzających zagrożenia dla ruchu pojazdów na trasie z Krakowa do Zakopanego (z przedłużeniem do Łysej Polany)*, Zakład Klimatologii IG UJ, Kraków (pas publicé).
- Hess M., Olecki Z., 1984, *Zróżnicowanie całkowitego promieniowania słonecznego na obszarze Karpat*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 58, 49-63.
- Klimat Tatr*, 1974, M. Koncek (dir.), Veda, Vydavateľstvo Slovenskej Akadémie Vied.
- Leśniak B., 1980, *Pokrywa śnieżna w dorzeczu górnej Wisły*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 51, 75-122.
- Lewińska J., 1958, *Wiatry ryterskie i rymanowskie*, Prz. Geof., 1, 17-26.
- Łykowski B., 1999, *Promieniowanie słoneczne i wiatr jako ekologicznie czyste i niewyczerpalne źródła energii*, [dans:] B. Łykowski (dir.), *Podstawy klimatologii stosowanej*, Wyd. SGGW, Warszawa, 81-89.
- Martyn D., 1977, *Wiatry miejscowe i regionalne – nazewnictwo i charakterystyka*, Prace i Studia IG UW, 22, *Klimatologia* 9, 225-326.
- Martyn D., 1987, *Klimaty kuli ziemskiej*, PWN, Warszawa.
- Niedźwiedz T., 1981, *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*, Rozpr. Habil. UJ, 58, Kraków.
- Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., 1987, *Stan i wyniki badań z zakresu klimatologii w ośrodku krakowskim*, Fol. Geogr., ser. Geogr.-Phys., XIX, 35-63.
- Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., 1991, *Klimat*, [dans:] I. Dynowska, M. Maciejewski (dir.), *Dorzecze górnej Wisły*, cz. I, PWN, Warszawa-Kraków, 68-84.
- Obrębska-Starkłowa B., 1977, *Typologia i regionalizacja fenologiczno-klimatyczna na przykładzie dorzecza górnej Wisły*, Rozpr. Habil. UJ, 11, Kraków.
- Obrębska-Starkłowa B., Bąbka M., 1992, *Cechy bioklimatu Karpat polskich (w świetle typów pogód dla potrzeb rekreacji)*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 90, 113-145.
- Obrębska-Starkłowa B., Bednarz Z., Niedźwiedz T., Trepińska J., 1994, *Klimat Karpat w okresie globalnego ocieplenia i prognozowane zmiany gospodarcze*, Probl. Zagosp. Ziem Górsk., 37, 13-38.
- Obrębska-Starkłowa B., Hess M., Olecki Z., Trepińska J., Kowanetz L., 1995, *Klimat*, [dans:] J. Warszyńska (dir.), *Karpaty Polskie*, UJ, Kraków, 31-47.
- Okołowicz W., 1977, *The Climate of Poland, Czechoslovakia and Hungary*, [dans:] C.C. Wallen (dir.), *World Survey of Climatology, 6: Climates of Central and Southern Europe*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York.
- Olecki Z., 1989, *Bilans promieniowania słonecznego w dorzeczu górnej Wisły*, Rozpr. Habil. UJ, 157, Kraków.
- Orliczowa J., 1969, *Zachmurzenie i usłonecznienie regionu tatrzańskigo*, Dok. Geogr., 6.
- Orliczowa J., Peterka V., 1974, *Oblacność a słoneczny świat*, [dans:], M. Koncek (dir.), *Klimat Tatr*, Wydav. Slov. Akad. Vied., Bratislava.
- Starkel L., 1972a, *Karpaty Zewnętrzne*, [dans:] M. Klimaszewski (dir.), *Geomorfologia Polski*, 1, PWN, Warszawa.
- Starkel L., 1972b, *Kotlina Sandomierska*, [dans:] M. Klimaszewski (dir.), *Geomorfologia Polski*, 1, PWN, Warszawa.
- Twardosz R., 1994, *Ostrość klimatu (surowość pogody) w okresie zimowym w Karpatach*, Zesz. IG i PZ PAN, 24, 81-97.
- WMO, 1998, *1961-1990 Global Climate Normals (CLINO)*, version 1.0, NOAA, Asheville, USA (CD-ROM).
- Wypych S., 2000, *Warunki pogodowe na trasie Kraków-Wadowice-Cieszyn w sezonie jesienno-zimowym*, Zakład Klimatologii IG UJ, Kraków (pas publicé).

The climate and climatic resources in the Carpathian Mts.

Summary

The paper presents the main climatic features of the Carpathian Mts., one of the climatic barriers of Europe. The characteristic presented, however, is based on a rather limited material from the stations within and at the foot the Carpathian Mts. since no organised international climate research programme (like ALPEX for the Alps) has ever been instituted for the whole area of the Carpathian Mts. Tables 2-7 present mean monthly values of the selected climatic components during 1961-1990. Many climatic peculiarities are being observed due to the influence of the ground relief and elevation. Large valleys develop local circulation, while the *foehn* winds occur in the Tatra Mts. and in the Poprad river and the Tabor river valleys. An inverted temperature and humidity zone featuring increased cloudiness is located the Polish Western Carpathian Mts., at 1,100-1,500 m a.s.l. Consequently, the local values of sunshine duration are the lowest (Orliczowa 1969, Olecki 1989). Hess (1965) elaborated a vertical climatic zoning in Polish Western Carpathian Mts., based on mean annual temperature. Precipitation is one of the most varied of climatic components. Deep within the mountain range and in their eastern part, the valleys and basins tend to remain in a "precipitation shadow" (e.g. Vrfu Omu has much less precipitation than Kasprowy Wierch even though it is much higher). The most potentially dangerous meteorological phenomenon is abundant, flood-triggering precipitation. In the Carpathian Mts., the most disastrous flood was recorded in 1934, while the highest daily precipitation value, 300 mm, was recorded at Hala Gąsienicowa on 30 April, 1973 (Cebulak 1998). Climatic resources for agriculture, transportation, tourism and energy production are highly varied, but rather limited on the whole. The contemporary climatic changes can be observed in the Carpathian foothills, where the mean annual air temperature increased by 1°C in the period 1881-1990 (Obrębska-Starkłowa et al. 1994).

Anita Bokwa
Institut de Géographie et d'Aménagement du Territoire
Université Jagellonne
Cracovie
Pologne