

## ORIGINES ET ÉVOLUTION DES FORTES CHUTES DE NEIGE DANS LE SUD DE LA POLOGNE (CRACOVIE, 1863-2000)

R. TWARDOSZ

*Uniwersytet Jagiellonski, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej  
ul. Grodzka 64, 31-044 Kraków, Pologne  
[E-mail: r.twardosz@iphih.uj.edu.pl](mailto:r.twardosz@iphih.uj.edu.pl)*

### Résumé

Les données quotidiennes de la station climatologique de l'Université Jagellonne de Cracovie ont permis d'analyser l'origine et l'évolution des fortes précipitations de neige (>10 mm) pendant la période froide (novembre-avril) depuis 1863 jusqu'à l'an 2000. Il a été établi que les fortes chutes de neige apparaissent rarement (le plus fréquemment en mars) et qu'elles présentent un caractère irrégulier sans qu'il soit possible de distinguer une tendance très nette. Cependant, de telles chutes représentent une part importante dans la totalité des précipitations pour la période froide. Plus de 50% des chutes de neige importantes se produisent dans les trois situations synoptiques suivantes : thalweg dépressionnaire (Bc), situation cyclonale orientale (Ec) et cyclonale occidentale (Wc). Plus de 90% des fortes chutes de neige apparaissent dans une gamme de température moyenne de l'air comprise entre -5°C et +5°C.

### Abstract

Daily meteorological data from the Climatological Station of the Jagiellonian University of Cracow were used to analyse the cause and the evolution of the heavy snowfall (>10 mm), during the cold season (November through April) spanning the period 1863-2000. It was found out that heavy snowfall occur seldom and do not present any tendency. Snowfall accounts for much of the total precipitation during the cold season and it occur most frequently in March. More than 50% of heavy snowfall occur under the following three synoptic cyclonic situations: cyclonic trough (Bc), eastern (Ec) and western (Wc). More than 90% of heavy snowfall appear at the daily air temperature from -5°C to +5°C.

**Mots-clés** : précipitations de neige (>10 mm), variabilité, situations synoptiques, Cracovie, Pologne.

**Keywords** : snowfall (>10 mm), variability, synoptic situations, Krakow, Poland.

### Introduction

La littérature climatologique polonaise aborde rarement le problème des chutes de neige. Pourtant, une connaissance plus approfondie de ce type de précipitation est très importante d'un point de vue fondamental et appliqué (conséquences sur le milieu notamment). A partir de la très longue série de mesures météorologiques effectuées à Cracovie, l'objet de cet article est de mettre en évidence le contexte atmosphérique propice aux fortes précipitations neigeuses (en relation avec les situations synoptiques et la température moyenne journalière de l'air) et leur évolution au cours des cent trente dernières années.

### 1. Données utilisées et méthodologie

Dans cette étude, on s'est servi des résultats de mesures et observations météorologiques quotidiennes de la station de recherche de l'Université Jagellonne de Cracovie (cp = 50°04' N, \ = 19°58' E, Z = 206 m au-dessus du niveau de la mer). Les mesures et les observations ont été effectuées par des observateurs possédant un haut niveau de qualification (essentiellement des astronomes et des météorologues), ce qui garantit la validité des observations (les observations des précipitations de neige, comparées à d'autres éléments météorologiques, peuvent comporter une certaine erreur

subjective de l'observateur. La qualité des données dépend considérablement de la fréquence des observations pendant la période de mesure, ainsi que des qualifications de l'observateur).

Le travail a été réalisé en se fondant sur les données recueillies pendant les six mois froids (novembre-avril), depuis 1863 jusqu'à l'an 2000, en relevant le nombre de jours avec des fortes précipitations de neige (>10 mm). Seuls les jours avec précipitations exclusivement solides ont été considérés comme jours de neige. Pour déterminer l'influence de la circulation de l'atmosphère sur l'apparition de fortes précipitations de neige, on s'est servi du calendrier des situations synoptiques de la Pologne du Sud des années 1873-2000 de T. Niedzwiedz (2003).

## 2. Résultats

### 2.1. Nombre de jours et cumuls des précipitations de neige (>10 mm)

En Pologne, selon la région géographique les précipitations neigeuses sont diversifiées. La moyenne des journées avec des précipitation neigeuse (>0,1 mm) dépend aussi bien de l'humidité de l'air que de l'état thermique de l'atmosphère. Dans la partie occidentale et centrale de la Pologne, le nombre de jours avec des précipitations de neige varie de 30 à 40 par an. La neige est plus présente dans la partie du Sud du pays, en relation avec la présence de la chaîne des Carpates. Dans les **Tatras**, par exemple, la neige tombe pendant 145 jours (Paszynski et Niedzwiedz, 1999). Dans les plaines, les précipitations neigeuses apparaissent dès octobre et perdurent jusqu'en mai ; sur les sommets montagnards, elles peuvent être notées aussi en été. A Cracovie, ville située au pied des Carpates, pendant le semestre froid, le nombre de jours avec chutes de neige est égal au nombre de jours de pluie (44 jours). En janvier et février, au cœur de l'hiver, les chutes de neige représentent plus de 50% du volume des précipitations mensuelles (Twardosz 2003).

Les chutes abondantes de neige faisant l'objet de l'étude (>10 mm) apparaissent rarement et leur déroulement est irrégulier, de sorte qu'il serait difficile d'indiquer une tendance distincte (figure 1).

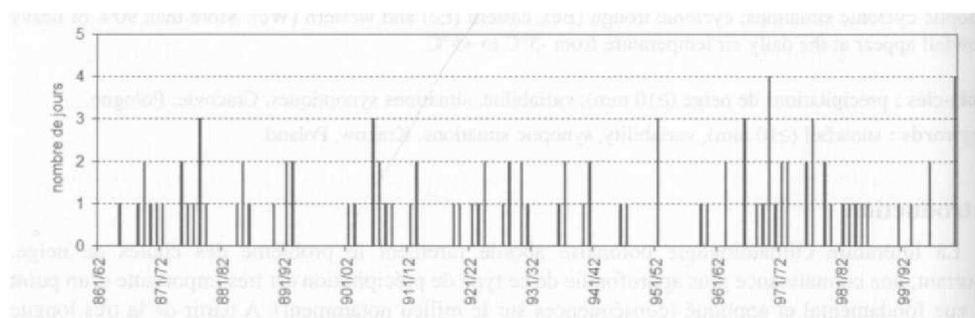


Figure 1 : Evolution du nombre de jours avec fortes précipitations de neige à Cracovie entre 1863 et 2000.

En moyenne, on observe seulement 1 jour par an avec de telles précipitations, ce qui représente 3,5 de la totalité des chutes de neige durant le semestre froid. Les précipitations importantes de neige n'apparaissent pas près d'une année sur deux (60 années sur 138, soit 43%). Les années les moins touchées ont été enregistrées durant les trois périodes suivantes : 1892-1901, 1941-1962 et 1987-1995. Inversement, le nombre maximal (4 cas) a été relevé pendant les saisons froides 1969/70 et 1999/00. Plus généralement, c'est lors des années allant de 1963 à 1986 que les fortes chutes de neige ont été observées le plus souvent. Cette période correspond d'ailleurs également au plus grand nombre de chutes de neige toute hauteur confondue (>0,1 mm) (Twardosz 2003). Ces observations sont à mettre en relation avec la plus grande activité dépressionnaire hivernale durant les années 1960 et 1970 sur la Pologne du Sud (Niedzwiedz 1993).

En Europe Centrale, les précipitations de neige les plus intenses ont lieu au printemps (Kosiba 1954). A Cracovie, la plus grande fréquence de chutes de neige >10 mm intervient en mars (25%) (figure 2). A cette époque-là, dans cette partie de l'Europe, apparaît le minimum de la répartition annuelle des pressions atmosphériques, ce qui favorise l'arrivée des masses d'air froid polaire et arctique. C'est ainsi que se créent des conditions météorologiques qui engendrent d'importantes chutes de neige à caractère de front ou de convection. Bien évidemment, la persistance de la couche de neige est, au printemps, très faible en comparaison avec l'abondance des chutes de neige.

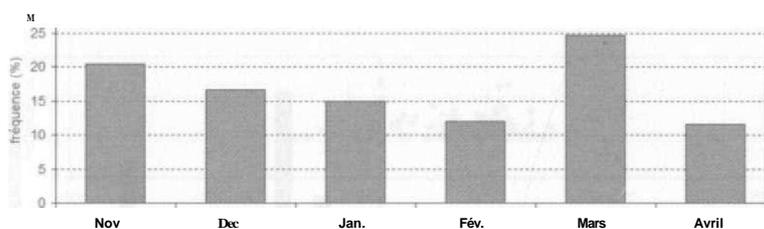


Figure 2 : Décroissance de la température minimale en fonction de l'altitude en 1973, dans les Alpes du Nord

## 2.2. Relations entre chutes de neige et situations synoptiques

Les relations entre les chutes de neige et les situations synoptiques ont pu être appréhendées en utilisant la typologie de la circulation atmosphérique établie par T. Niedzwiedz (2003) concernant la Pologne du Sud pour les années 1873 à 2000. D'après cette classification, les principaux éléments caractérisant les types de circulation atmosphérique sont l'advection et le type de champ de pression. La typologie compte 21 types de situations synoptiques. Seize d'entre elles constituent des situations d'advection : 8 cycloniques « c » (Ne, NEc, Ec, SEc, Se, SWc, Wc, NWc) et 8 anticycloniques « a » (Na, NEa, Ea, SEa, Sa, SWa, Wa, NWa). Quatre situations se caractérisent soit par la stagnation de l'air (absence d'advection), soit par une advection présentant une forte variation temporelle : Ca - situation de centre anticyclonique, Ka - dorsale anticyclonique, Ce - centre dépressionnaire, Bc - thalweg dépressionnaire. Enfin, le symbole X désigne les situations n'entrant pas dans cette classification.

Pendant la période faisant l'objet de l'étude (1873-2000), durant le semestre froid, prédominaient les situations à caractère anticyclonique (54,2%) au détriment de situations à caractère cyclonique (44,0%) (figure 3). Parmi les 21 types de situations synoptiques, le plus souvent (23,0%), apparaît l'advection de l'air de l'Ouest (Wc - 11,7% et Wa - 11,3%). Vient ensuite la dorsale anticyclonique (Ka) dont la fréquence d'apparition est de l'ordre de 9,6%.

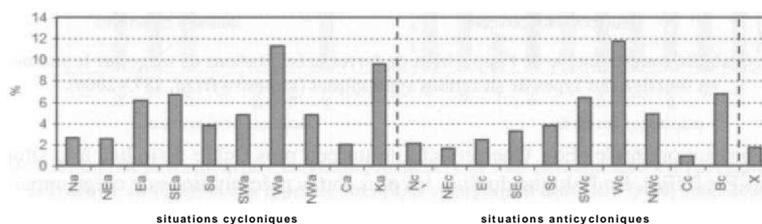


Figure 3 : Fréquence des différents types de situations synoptiques sur la Pologne du sud durant le semestre froid (1873-2000) (d'après T. Niedzwiedz).

L'attribution d'un type de situation synoptique appropriée à chaque importante précipitation neige a permis de constater qu'en moyenne, pendant le semestre froid, 85,9% de telles précipitation étaient liées à des systèmes cycloniques, contre 13,0% pour les systèmes anticycloniques (figure 4). Le plus grand nombre de jours avec des chutes de neige >10 mm (41,3%) apparaît dans le thalweg dépressionnaire (Bc : 20,7%) et dans la situation cyclonique orientale (Ec : 20,6%). Il est d'autre part important de signaler l'influence de la situation cyclonique liée à la circulation zonale, c'est-à-dire, de la situation cyclonique occidentale (Wc : 11,9%), ce qui résulte de sa grande fréquence en période froide. Sur la Pologne du Sud, quand apparaît le thalweg dépressionnaire avec les fronts atmosphériques les précipitations sont fréquentes toute l'année.

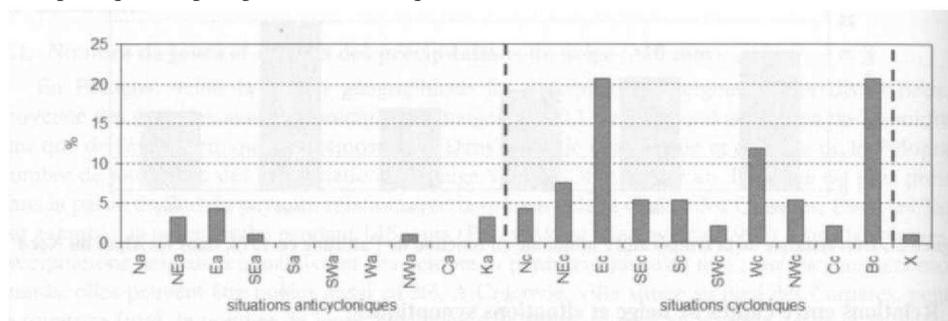


Figure 4 : Fréquence des fortes précipitations de neige sur le Sud de la Pologne en fonction des types de situations synoptiques (semestre froid, 1873-2000). Figure 1 : Décroissance de la température minimale en fonction de l'altitude en 1973, dans les Alpes du Nord

L'impact des différentes situations synoptiques sur les précipitations de neige a en outre été évalué d'après la probabilité conditionnelle, c'est-à-dire par le quotient du nombre de jours avec d'importantes chutes de neige dans la situation donnée par rapport au nombre de cas où avait lieu une telle situation (figure 5). La plus forte probabilité d'apparition de chutes de neige (>10 mm) caractérise la

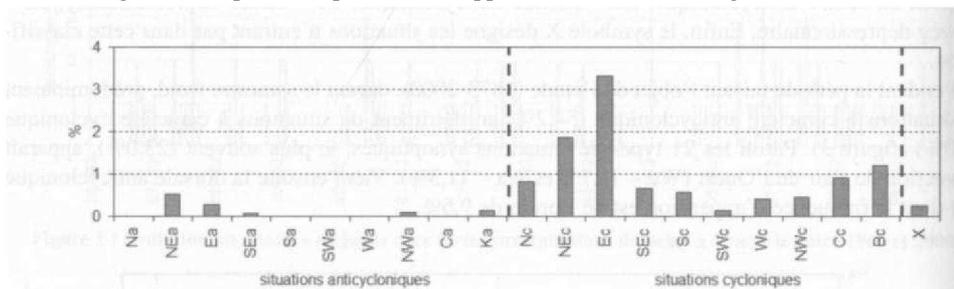


Figure 5 : Probabilité conditionnelle de l'apparition de fortes précipitations de neige sur le sud de la Pologne en fonction des types de situations synoptiques (semestre froid, 1873-2000).

situation cyclonique orientale (Ec). Une probabilité un peu plus faible reste liée à la situation cyclonique de Nord-Est (NEc). En Pologne du Sud, les plus fortes précipitations de neige apparaissent d les masses d'air polaire maritime du Nord-Est en raison de l'ascendance de la masse d'air sur les Carpates Occidentales. Dans ce cas les *Nimbostratus* se forment donnant l'abondance des précipitations de neige continues (pour information, notons qu'en été ce type de situation est la cause d précipitations importantes provoquant les inondations dans les Carpates).

### 2.3. Relations entre chutes de neige et conditions thermiques

Les fortes précipitations de neige interviennent dans une vaste amplitude de la température moyenne journalière de l'air, à savoir entre  $-12,6^{\circ}\text{C}$  et  $+4,0^{\circ}\text{C}$  (figure 6). Aux valeurs limites de cet intervalle ne sont liés que des cas isolés de telles précipitations. Près de 39% des fortes chutes de neige apparaissent dans un intervalle de température très réduit, c'est-à-dire de  $-1,0$  à  $+1,0^{\circ}\text{C}$ , et 93% d'entre elles se situent entre  $-5,0$  et  $+5,0^{\circ}\text{C}$ . Les précipitations de neige dépassant 20 mm sont, elles, observées uniquement lorsque la température moyenne journalière est proche de  $0^{\circ}\text{C}$ .

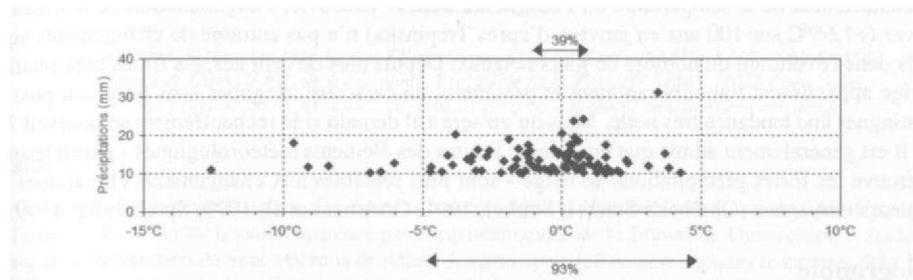


Figure 6 : Relation entre fortes précipitations de neige et valeur de la température moyenne journalière de l'air à Cracovie (semestre froid, 1863-2000).

La situation synoptique détermine les conditions thermiques et ces dernières, quant à elles, décident de la persistance de la couche de neige (figure 7). Les précipitations de neige dans la dorsale anticyclonique (Ka) apparaissent avec la plus basse température moyenne journalière de l'air (en moyenne  $-3,6^{\circ}\text{C}$ ). C'est à ce moment-là qu'interviennent les conditions les plus favorables pour l'accumulation de la neige. A la température moyenne journalière inférieure à  $0^{\circ}\text{C}$ , restent d'autre part liées les précipitations qui ont lieu lors de l'advection de l'air du secteur oriental et septentrional, c'est-à-dire, lorsque nous avons à faire aux situations de type : NEa, Ea, Ec et NWa. En revanche, les importantes précipitations de neige liées à des advections d'air par le sud et par l'ouest correspondent aux températures moyennes de l'air les plus élevées ( $1,5^{\circ}\text{C}$ ). Ces types de situations ne sont pas favorables à l'établissement durable d'une couche de neige au sol, ceci entraînant bien évidemment des répercussions différentes sur le bilan hydrique et hydrologique de la région de bassin de la haute Vistule.

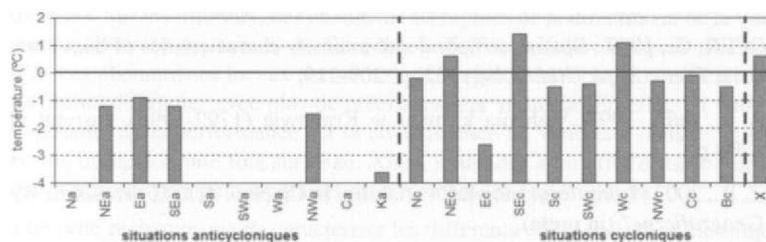


Figure 7 : Distribution de la température moyenne journalière de l'air pendant les fortes précipitations de neige à Cracovie en fonction des types de situations synoptiques (semestre froid, 1863-2000).

## Conclusion

L'analyse de la série pluriannuelle et continue des précipitations à Cracovie a démontré une importante variabilité des fortes chutes de neige. Celles-ci apparaissent préférentiellement dans trois types de situations synoptiques dépressionnaires (thalweg, cyclonale d'ouest et cyclonale d'est), avec des masses d'air dont la température moyenne est proche de 0°C. Les plus abondantes précipitations neigeuses sont notées pendant l'advection des masses d'air polaire maritime du Nord-Est (NEc).

Au-delà de la variabilité du phénomène, on pourrait également s'interroger sur les répercussions du réchauffement de la température en Pologne du Sud. A Cracovie, l'augmentation de température en hiver (+1,65°C sur 100 ans en janvier, d'après Trepinska) n'a pas entraîné de changements significatifs dans l'évolution du nombre de jours neigeux. Depuis plus de cent ans, les fortes précipitations de neige apparaissent toujours rarement et présentent un caractère irrégulier sans qu'il soit possible de distinguer une tendance très nette. Mais qu'en sera-t-il demain si le réchauffement se poursuit ? En effet, il est généralement admis que les valeurs limites des éléments météorologiques - parmi lesquels on retrouve les fortes précipitations de neige - sont plus sensibles aux changements climatiques que les valeurs moyennes (Obrębska-Starkel, Starkel, 1991, Groisman et al. 1999, Spreitzhofer 1999).

## Bibliographie

- GROISMAN, P.Y., KARL, T.R., EASTERLING, D.R., KNIGHT, R.W., JAMASON, P.F., HENNESSY, K.J., SUPPIAH, R., PAGE, C.M., WIBIG, J., FORTUNIAK, K., RAZUVAEV, V.N., DOUGLAS, A., FORLAND, E.J., ZHAI, P., 1999 : Changes in the probability of heavy precipitation: Important indicators of climate change, *Climate Change*, **42**, p. 243-283.
- KOSIBA, A., 1955 : Opady śnieżne na Śląsku, *Prace Wroclawskiego TN*, ser. B, **71**, p. 1-40.
- PASZYŃSKI, J., NIEDZWIEDZ, T., 1999 : Klimat, (in.) *Geografia Polski - Środowisko Przyrodnicze, I. Starkel (éd.)*, PWN, Warszawa, p. 288-342.
- NIEDZWIEDZ, T., 2001 : Catalogue of synoptic situations in the upper Vistula river basin (1873-2000), Computer file.
- NIEDZWIEDZ, T. 1993 : Variability of precipitation in Kraków (Cracow) with relation to atmospheric circulation changes', *Proc. Symp. Precipitation and Evaporation*, Bratislava, Slovakia, 20-24 September 1993, **2**, p. 61-62.
- OBREBSKA-STARKEL, B., STARKEL, L., 1991 : Efekt cieplarniany a globalne zmiany środowiska przyrodniczego, *Zeszyty IG i PZ PAN*, **4**, p. 1-71.
- SPREITZHOFER, G., 1999 : Spatial, temporal and intensity characteristics of heavy snowfall even over Austria, *Theor. Appl. Climatology*, **62**, p. 209-219.
- TREPINSKA, J., (ed.), 1997: Wahania klimatu w Krakowie (1792-1995), Instytut Geografii UJ Kraków, 204 p.
- TWARDOSZ, R., 2003 : Long-term snowfall variability in Cracow, *Acta Universitatis Wratislaviensis "Studia Geograficzne"* (in press).