

A. *Pissart*

Liège

LES MODALITÉS DE L'ÉCOULEMENT DE L'EAU
SUR L'ÎLE PRINCE PATRICK (76° LAT. N, 120° LONG. O,
ARCTIQUE CANADIEN)*

Abstract

The author discusses some characteristics of stream flow under an Arctic climate, that of Prince Patrick Island, in the extreme north of Canada. The more important of these are, the melting of the snow while the air temperature remains below 0°C, the flow of water below snow patches which washes the surface of the soil underneath, the commencement of stream flow in spring in beds that are still choked with snow, and the prevention of all stream erosion for a considerable time during maximum discharge by ice which covers the stream bed.

From source to mouth, valleys often show: (1) an open cross-section, found in the zone where the volume of debris brought down the valley sides by mass movement is too great for the transporting capacity of the stream; (2) a V-profile which begins when stream flow is sufficient to carry away the debris brought down the slopes; (3) a wide bed, which after the floods of the general thaw have subsided, is characterized by braided flow.

LE CLIMAT DE L'ÎLE PRINCE PATRICK

L'île Prince Patrick s'étend au bord de l'Océan Glacial Arctique entre les parallèles de 75°50' et 77°33' et les méridiens de 115°20' et 122°55'. Située à l'extrémité Ouest de l'archipel de la Reine Elisabeth, le climat y est très froid et sec. La température moyenne annuelle est de -18°C, et la température moyenne mensuelle ne dépasse 0°C que pendant 2 mois par an, en juillet (+3,3°C) et août (+1,5°C) (fig. 1).

Les précipitations sont faibles puisqu'il ne tombe que 8,07 cm (3,23 inches) d'eau¹ par an. Remarquons toutefois qu'au cours des 16 années pendant lesquelles des observations météorologiques ont été faites, les précipitations ont varié entre 3,02 et 13,35 cm. Comme le montre la fi-

* Cette étude a été effectuée grâce à une bourse du Conseil des Arts du Canada, à l'aide du département de Géographie du Ministère des Mines et des Relevés techniques (Ottawa), et au Polar Continental Shelf Project. Nous remercions très vivement les responsables de ces organismes et spécialement le Dr. J. Ives et le Dr. F. Roots sans que ce travail n'aurait pu être mené à bien. Le Professeur P. Macar (Liège) et E. Watson (Aberystwyth) ont eu la bienveillance de relire et critiquer notre manuscrit.

¹ Ce chiffre comprend les précipitations neigeuses exprimées par leur équivalent en eau.

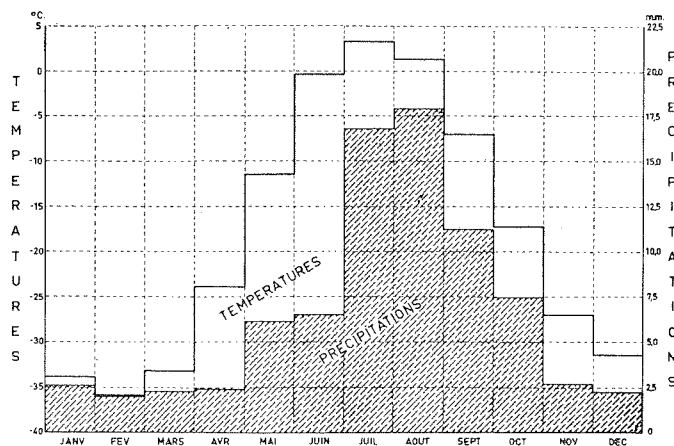


Fig. 1. Diagramme des moyennes mensuelles des températures et des précipitations à Mould Bay (1948—1966)

gure 1, les plus considérables tombent pendant l'été; toutefois, c'est la neige hivernale accumulée de la mi-septembre à la mi-juin, qui par sa fusion, fin juin, donne naissance à la crue le plus importante.

L'examen des données météorologiques montre que parfois une autre crue se produit au cours de l'année. Ainsi, le 19 août 1960, il est tombé 4,7 cm d'eau à Mould Bay. Cette précipitation qui dépasse en quantité le total des précipitations de certaines années (3,02 cm en 1949, 4,05 cm en 1956), a évidemment donné naissance à une crue exceptionnelle. Toutefois, des précipitations semblables paraissent être rares et les crues qu'elles provoquent ont moins d'importance que la crue de fonte des neiges qui a lieu chaque année.

Ainsi que nous allons le montrer, la fonte des neiges est progressive, et, en 1965, nous avons distingué dans l'écoulement des eaux plusieurs périodes successives:

- (1) la fusion locale de la neige sous l'action des rayons solaires alors que la température de l'air était toujours inférieure à 0°C;
 - (2) l'accumulation de l'eau de fonte dans les lits des cours d'eau encombrés de neige;
 - (3) l'écoulement de l'eau sur la neige et la glace recouvrant les lits des cours d'eau;
 - (4) l'écoulement sur les alluvions après le dégagement total du lit.
- Nous étudierons successivement chacune de ces périodes.

LE DÉBUT DE LA FUSION DE LA NEIGE

Au cours de juin, la température sur l'île Prince Patrick s'élève progressivement, et généralement, dès le milieu du mois, elle dépasse 0°C quelques heures par jour. Toutefois, la fusion de la neige débute avant même que la température de l'air n'ait atteint cette valeur. En effet, sous l'action des rayons du soleil, la neige commence à fondre là où, en surface, elle est en contact avec le sol dénudé ou avec des cailloux, qui absorbent mieux la chaleur solaire et s'échauffent beaucoup plus vite. De la même manière, là où des poussières éoliennes souillent la neige, la fusion est accélérée.

Etant donné qu'à ce moment il gèle encore, l'eau provenant de cette fusion ne va pas très loin. Elle pénètre dans la neige sous-jacente où elle ne tarde pas à se congeler de nouveau.

Quelques jours plus tard, sur des pentes bien exposées aux rayons du soleil de l'après-midi, la fusion s'accélère, l'eau descend sur le versant et atteint le lit du ruisseau encombré de neige. Là, si l'arrivée d'eau n'est pas trop importante, elle peut se congeler au contact du sol dont la température est restée très basse.

Cette fusion prématurée et discontinue se produisant avant que la température n'atteigne 0°C est un phénomène dont on n'a pas souligné suffisamment qu'elle provoque l'apparition sous la neige de couches de glace. Celles-ci, comme nous allons le voir résistent par la suite longtemps à la fusion.

ACCUMULATION DE L'EAU DE FUSION DANS LES LITS DES COURS D'EAU

La fusion se poursuivant, le suintement puis l'écoulement de l'eau de fonte sur les versants prend un caractère de plus en plus continu. Comme nous l'avons vu, cet écoulement provient, au début, des endroits où la neige a été souillée par des poussières éoliennes, ce qui est le cas des accumulations entassées dans les niches de nivation. L'eau de fonte s'infiltre sous la couche de neige et ruisselle au contact du sol. Etant donné que la température de cette eau est de 0°C, cet écoulement ne provoque pas le dégel du sol sous-jacent, et s'effectue sans déclencher de phénomène de solifluxion. Par contre, ce ruissellement exerce une érosion parfois appréciable. Ainsi quand il s'agit de sables très fins, les éléments sont déplacés rapidement, les grains étant roulés les uns sur les autres par le moindre filet d'eau. Ce processus donne naissance à des niches de nivation spectaculaire. Sur les versants recouverts de dépôts de solifluxion

et en pente suffisante, les filets d'eau lavent la surface du sol. La neige disparue, tout le versant est recouvert de fins débris lavés qui reposent sur du matériel de solifluxion.

Ce processus semble voisin de celui qui donne les grèzes litées², en ce sens qu'il peut produire des alternances de couches lavées et de couches à matrice fine. Les éléments lavés ne sont toutefois pas orientés parallèlement à la ligne de plus grande pente, orientation préférentielle qui est si caractéristique des éboulis ordonnés. Il est possible que cette dernière disposition soit acquise par un déplacement en masse de la couverture neigeuse, forme de *snow-creep* qui serait facilité lorsque cette neige est gorgée d'eau au dégel; s'il en était bien ainsi, ces éboulis ordonnés existeraient uniquement sous les climats où les précipitations neigeuses sont abondantes.

Au moment où l'écoulement de l'eau sur les versants les mieux exposés est déjà bien actif, la température atteint 0°C et la fusion s'accélère. Pendant plusieurs jours toutefois, rien ne paraît se produire dans les lits des ruisseaux encombrés de neige. Toutefois, leur traversée devient problématique. En effet, toute l'eau descendue du versant s'accumule dans les neiges des parties basses du relief et en remplit progressivement tous les vides.

De ce fait, la neige devient très molle et le pied y enfonce profondément. Les déplacements deviennent d'autant plus difficiles que les lits des cours d'eau sont masqués par la neige que le vent a remaniée.

Avant que le premier écoulement n'apparaisse dans l'axe de la vallée, cette accumulation d'eau de fonte dans la neige s'est poursuivie en 1965, à Mould Bay, pendant les six premiers jours où la température a été constamment supérieure à 0°C.

ÉCOULEMENT DE L'EAU SUR LA NEIGE ET SUR LA GLACE RECOUVRANT LES LITS DES COURS D'EAU

Lorsque l'eau de fonte descendue des versants a gorgé d'eau l'épaisse couche de neige accumulée dans le lit du ruisseau ou de la rivière, un écoulement est apparu en surface. C'est ainsi que, le 23 juin 1965, un flot d'eau arrivait à l'extrémité N. du terrain d'aviation de Mould Bay en

² Rappelons que Y. Guillion en 1964, mettait en relation étroite les grèzes litées et les bancs de neige. Il ne détaillait cependant pas les processus. Il avait déjà exprimé cette idée en 1952 lors d'un colloque du C.N.R.S. (Quaternaire et Morphologie — Lyon — 11 au 13 octobre — Editions du C.N.R.S. 1954, p. 87) tandis que Malaurie au cours de la même réunion parlait (p. 93) de l'action du ruissellement sous la neige.

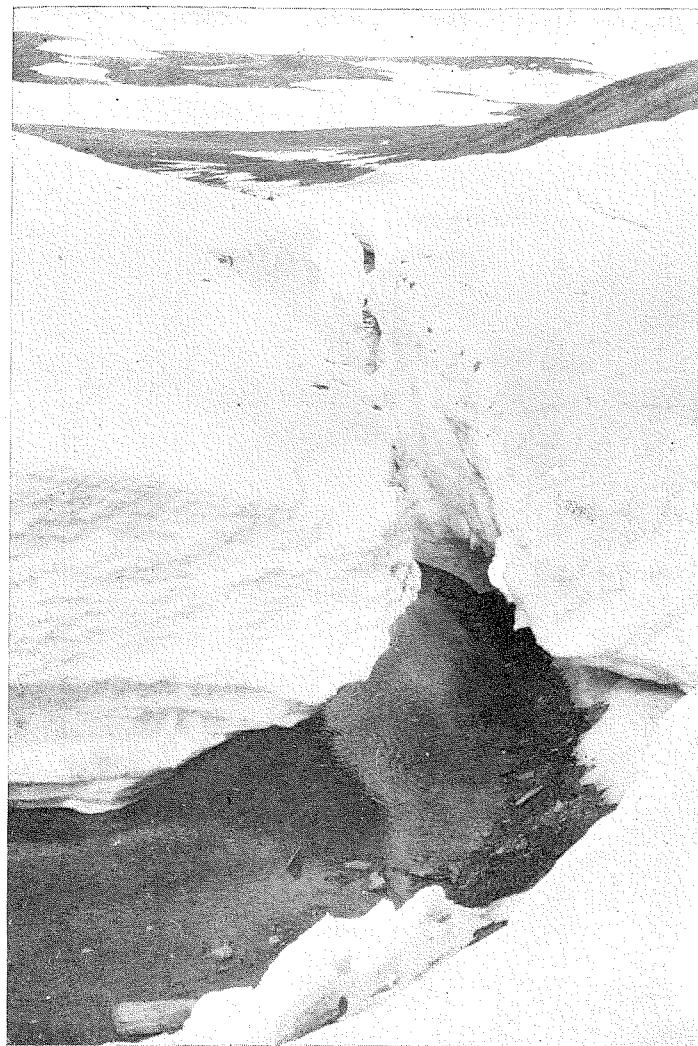


Photo 1. Congère large de 30 m, haut de 4,5 m, ayant barré une petite vallée près de Mould Bay

Les eaux du ruisseau ont au dégel, constitué en amont un lac, qui en s'écoulant au-dessus de la masse de neige, l'a incisée profondément

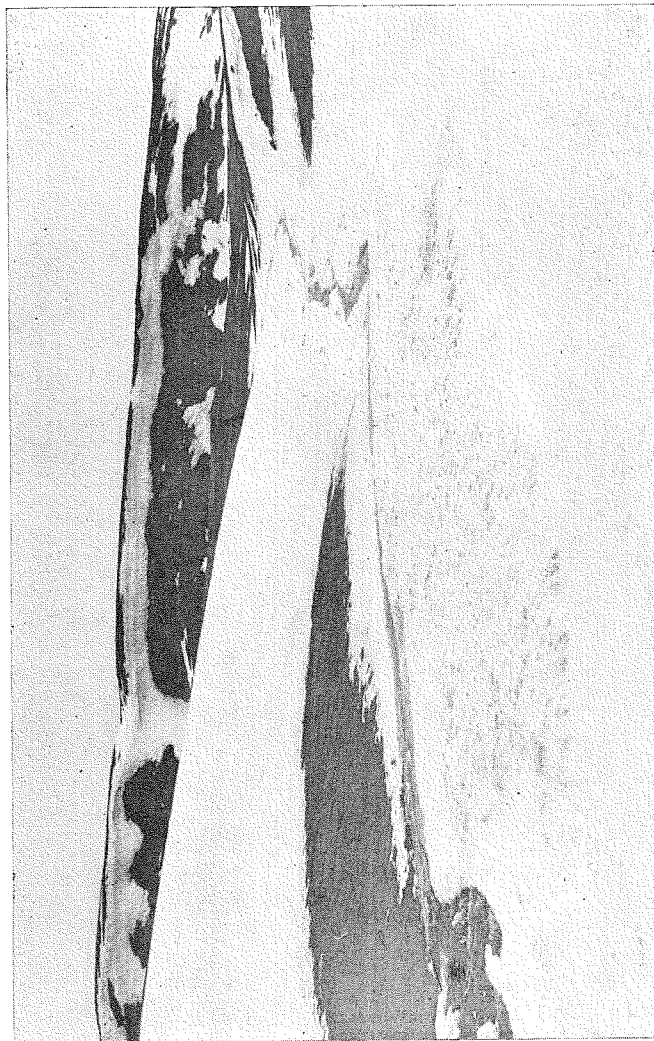


Photo 2. Accumulation bombée de neige gorgée d'eau s'étant déplacée en masse dans l'axe de la vallée et ayant repoussé le cours d'eau sur la rive droite au dehors de son lit habituel

écoulant sur la neige environ 10 m^3 à la minute. Cet écoulement progressant là où la neige n'était que très imparfaitement imbibée d'eau, le flot y disparaissait complètement et son front n'avancait que de 0,25 à 0,50 m. à la minute sur une largeur de 15 m.

En cet endroit de pente faible, l'écoulement des eaux avançait de la sorte très doucement, sans d'ailleurs entailler la couverture neigeuse. Ce n'est que plus tard, par vagues d'érosion régressive que le cours d'eau s'est encaissé dans la couverture neigeuse. Cet encaissement provoque parfois de petits phénomènes de surimposition. En effet, après avoir traversé la masse neigeuse, les ruisseaux n'arrivent pas toujours directement dans leurs lits; en de nombreux endroits, l'écoulement s'effectue pendant un certain temps sur les berges, en dehors de la zone la plus basse de la vallée, et le cours d'eau ne retrouve son lit que plus tard, à la suite de déplacements latéraux. Cet écoulement en dehors du lit persiste de quelques jours à plusieurs semaines et abandonne sur les berges ou le bas des versants des alluvions dont la mise en place est incompréhensible pour celui qui ignore le processus qui vient d'être décrit.

L'écoulement sur la neige n'a, bien entendu, pas d'action géomorphologique, l'eau ruisselant étant claire et ne transportant pratiquement pas de particules minérales. En plusieurs endroits, l'écoulement sur la neige a été suivi pendant une longue période par un écoulement sur la glace du fond du lit. C'est ainsi que, toujours à l'extrémité N. du champ d'aviation de Mould Bay, un ruisseau important s'est déversé pendant plus de 10 jours sur la glace sans guère l'inciser. Or, ces 10 jours de crues ont vu passer probablement les $3/4$ de son débit annuel. Ce phénomène qui paraît relativement fréquent sous ce climat, réduit considérablement, du moins dans de petits cours d'eau, l'action de l'eau courante.

Les congères de neige barrent souvent les vallées. En amont de ceux-ci apparaissent des étendues d'eau parfois importantes qui finissent par s'écouler au-dessus de la masse de neige accumulée. Le congère ne paraît pratiquement jamais être emporté d'un seul coup (photo 1), mais il est incisé par les eaux s'écoulant en surface. Cette incision, quoique rapide, amortit quelque peu les coups d'eau que donneraient le simple effondrement des barrages.

Parfois, dans le lit de petits cours d'eau à forte pente longitudinale (1 à 2°), la neige gorgée d'eau se déplace en masse sur plusieurs centaines de mètres. Ainsi apparaissent localement des accumulations de neige bombées, s'étirant dans le lit du ruisseau et susceptibles de repousser latéralement pendant de nombreux jours le flot du ruisseau (photo 2). Il est possible que de tels déplacements de neige gorgée d'eau orientent les cailloux du lit parallèlement à l'axe de la vallée. Ainsi pourrait peut

être s'expliquer que cette orientation préférentielle ait été observée dans certains lits de cours d'eau périglaciaires (A. Cailleux et J. Tricart, 1959, p. 300).

LE MODELÉ DU FOND DES VALLÉES

L'aspect des lits des cours d'eau dépend principalement de leur pente longitudinale locale. Dans la région de Mould Bay où les rivières ne sont pas très longues (5 à 10 km) et présentent une pente appréciable, les chenaux anastomosés apparaissent dans les deux derniers kilomètres des rivières, immédiatement en amont de leur débouché dans la mer.

Dans ces tronçons, l'aspect du lit de la rivière varie considérablement au cours de l'année. Les débits importants qui arrivent au début du dégel s'écoulent dans un chenal étroit, entaillé au milieu de deux glacis de neige faiblement inclinés qui s'appuient contre les berges. La lame d'eau a de ce fait une épaisseur considérable; par érosion latérale, elle dégage le lit du cours d'eau. Les fluctuations de débit sont à ce moment importantes³ et tout le chenal est inondé. Ce n'est que plus tard, à la suite de la réduction du débit que des chenaux anastomosés apparaissent. A la fin de l'été, il ne sont pratiquement plus fonctionnels car le maigre écoulement qui subsiste tend à se concentrer en un cours unique.

Plus en amont, où la pente longitudinale est plus forte, le lit des cours d'eau est beaucoup plus étroit et il subit une érosion verticale marquée.

En effet, pas plus que sous un autre climat, l'évolution des rivières ne peut, en périglaciaire, être enfermée dans le cadre étroit d'une généralisation. Il est impossible d'affirmer que, sous ce climat froid, toutes les rivières remblaient ou encore que toutes les rivières érodent car le remblaiement et l'érosion sont le résultat de la combinaison de facteurs simples: la pente, le débit, la charge, qui varient d'amont en aval. Toutefois, une succession schématique de profils, conséquence d'une succession parallèle de tronçons où le cours d'eau érode et remblaie, se retrouve très souvent:

(1) La partie tout à fait amont des vallées présente un profil en pente douce et est le siège d'une accumulation due à ce que l'apport des agents de transport en masse est supérieure à la capacité et parfois aussi à compétence du cours d'eau.

³ En quelques heures, le 29 juin, à la suite d'une chaude après-midi, le débit est passé de 5 à 15 m³/sec. Ces fluctuations sont semblables à celles que D. St-Onge a décrit en 1965 sur l'île Ellef Ringness.

(2) Un encaissement indique l'endroit où le débit devient suffisant pour emporter tout le matériel qui arrive dans le lit du cours d'eau. Ce tronçon présente généralement un profil en V.

(3) Dans la partie aval du cours d'eau, la pente est faible et l'érosion est réduite ou nulle. Même en l'absence d'accumulation, le lit s'élargit et la crue de printemps y laisse à la fin de l'été un lit à chenaux anastomosés.

Traces des climats périglaciaires quaternaires, cette succession se retrouve souvent en Belgique. La topographie „sénile” des têtes de vallée est, sans doute en grande partie due à la disproportion existant au cours de périodes froides.

CONCLUSION

La présente étude, qui décrit l'écoulement des eaux de fonte, montre la complexité des mécanismes façonnant les lits des rivières en climat périglaciaire. La neige et la glace y jouent un rôle très important et mal connu. Elles constituent pendant longtemps, un écran entre les flots d'eau, le fond du lit et les versants.

Par ailleurs, ainsi que nous l'avons déjà montré, la répartition des poussières éoliennes qui souillent la neige a une importance considérable. Cette influence apparaît clairement en survolant l'île à la fin de juin: en certains endroits, la fusion est à peine amorcée alors qu'en d'autres, l'écoulement a, au même moment, une importance très considérable. Là où la couverture de neige est continue, c'est-à-dire là où aucune poussière n'est visible en surface, le dégel se produit en effet avec une ou deux semaines de retard. Les débits de crue ne se produisent donc pas à des moments identiques sur toute l'île. Cette influence intervient certainement dans la complexité des crues de fonte des neiges affectant les rivières de la région.

Mais, ces crues de fonte des neiges ne sont pas les seules qui existent ici. En effet, comme nous l'avons dit plus haut, il est tombé, en un seul jour de l'été 1960, une pluie (4,7 cm) dépassant la hauteur d'eau correspondant aux précipitations de certaines années. Cette pluie extraordinaire pour la région, ne s'est toutefois produite qu'une seule fois au cours des 20 dernières années. Il est certain qu'en l'absence de couverture végétale, comme en raison de la présence d'un permafrost, cette précipitation a été à l'origine d'une action morphologique puissante.

S. Rudberg (1963) a assisté à une très forte précipitation de ce type dans l'arctique canadien (île Axel Heiberg) et en a souligné l'importance.

Si ces pluies sont assez fréquentes (tous les 20 ou 40 ans) il est vraisemblable que leur action morphologique soit au total considérable. Malheureusement la période d'observation météorologique est trop réduite pour émettre une opinion à ce sujet.

Bibliographie

- Cailleux, A. et Tricart, J. 1959 — Initiation à l'étude des sables et des galets. C. D. U., Paris; 2 vol.
- Guillien, Y. 1964 — Grèzes litées et bancs de neige. *Geol. en mijnbouw*, 43ème année; pp. 103—112.
- St-Onge, D. 1965 — La géomorphologie de l'île Ellef Ringness, Territoires du Nord-Ouest, Canada. *Etude géographique*, no. 38, Ministère des Mines et des Relevés techn.; Ottawa.
- Rudberg, S. 1963 — Morphological processes and slope development in Axel Heiberg Island, N. W. T., Canada. *3ème rapport Comm. des versants*; Göttingen.

H. Rohdenburg

Giessen

EISKEILHORIZONTE IN SÜDNIEDERSÄCHSISCHEN
UND NORDHESSISCHEN LÖSSPROFILIEN

Abstract

After a detailed stratigraphical classification of the periods of the Würm glaciation in some North-Hessian and Lower Saxon loess profiles the stratigraphical position of the numerous loess wedges was investigated. They are thought to be fossil ice wedges. There were indications of two ice wedge generations in the Middle-Würm and five in the Young-Würm. A regular alternation of periods of loess drift together with ice wedge development and warm periods during which the ice wedges were filled up and soils formed more or less was apparent. Also the phenomenon of seasonal frost action could be located in the latter period. From this may be deduced a frequent formation and degradation of permafrost during „climatic waves of the second order”. Ice wedges found in the neighbourhood seem to prove that also during the Early-Würm (two generations of ice wedges) and in the Young Dryas permafrost was developed.

EINLEITUNG

Seit den dreissiger Jahren werden die in unseren Lössprofilen auftretenden „Löss- oder Lehmkeile” als Eiskeil-Pseudomorphosen angesehen und zugleich als Dauerfrostboden-Indikatoren anerkannt. Ihre Verbreitung in Mitteleuropa wurde mehrfach kartographisch festgehalten und zu paläoklimatischen Schlussfolgerungen ausgewertet.

Hingegen blieb es bei der Datierung von Eiskeilen bei Ansätzen; sie wurden in der Regel für würmzeitlich gehalten — eine durchaus befriedigende Alterseinstufung, solange die Würmkaltzeit für ungegliedert gelten konnte.

Infolge der stürmischen Fortschritte der Lössforschung, vor allem im letzten Jahrzehnt, durch die jetzt ein für ganz Mitteleuropa gültiges stratigraphisches Gerüst zur Verfügung steht (vgl. die Übersicht bei Haase, 1963), war es möglich zu beweisen, dass es im Würm verschiedene Eiskeile gibt. Die m. W. erste Darstellung dieser Art stammt von Selzer (1936), weitere von Schönhals (1951), Brunnacker (1957, Abb. 11), Frechen u. Rosauer (1959), Ruske u. Wünsche (1964). Auch H. Brüning (frdl. mdl. Mitt., Mai 1963) entdeckte mehrere würmzeitliche Eiskeilhorizonte.

Eine nähere Einordnung, wie sie hier aus Südniedersachsen und Nordhessen vorgelegt wird, war allerdings erst nach einer feinstratigraphischen