

Comparaison entre les astroblèmes de Siljan, Suède, et de Charlevoix, Québec

JEHAN RONDOT

Rondot, J. 1975 12 15: Comparaison entre les astroblèmes de Siljan, Suède, et de Charlevoix, Québec. *Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala*, N. S., Vol. 6, pp. 85—92. Uppsala. ISSN 0302-2749.

A personal visit to Sweden, with the objective of comparing the Siljan structure with that of Charlevoix, allowed me to establish numerous similarities between these two equal-sized impact craters and to discover, there too, mylonithesthenites (breccia dikes), a fragment of impactite and blocks of allochthonous breccia, one of which was associated with a white limestone, probably of Ordovician age.

Jehan Rondot, Ministère des Richesses Naturelles, 1620 Boul. de l'Entente, Québec, P.Q., G1A 1N8, Canada, le 20 juin 1975.

Introduction

Depuis plus de 10 ans, de nombreux chercheurs ont rassemblé une somme énorme de travaux, aussi bien de reconnaissance qu'expérimentaux, sur le phénomène de l'impact d'objets de toutes tailles sur des surfaces diverses.

En nous restreignant aux impacts de grosses météorites ou astroblèmes (cicatrices d'astres, Dietz 1968) sur le sol terrestre, nous constatons qu'il existe deux types d'astroblèmes (Dence 1965; Rondot 1972): 1^o les astroblèmes en cuvette simples ou imparfaitement réajustés: Rochechouart, Ries, Sudbury et la plupart des petits cratères et 2^o les astroblèmes réajustés, les plus nombreux, dont les géométries semblent être proportionnellement assez semblables (Rondot 1970). Un résumé des événements tels qu'on les suppose pour aboutir au modèle final composé à partir de nombreuses observations (Gault et al. 1968; Wilshire et al. 1972 etc), est illustré sur la figure 1.

Presque tous les astroblèmes reconnus affectent la croûte continentale et rares sont ceux qui ont été modifiés par une orogénie subséquente. Il n'est donc pas étonnant que la plupart des astroblèmes réajustés nous révèlent l'existence de sédiments de plateforme, en général peu épais, qui normalement auraient dû être érodés. Ces témoins nous permettent de comparer les divers astroblèmes en utilisant le cercle formé par les sédiments les plus récents. Le diamètre obtenu est légèrement plus grand que le cratère originel. En effet on retrouve en maints endroits le contact normal entre le socle et cette pellicule de sédiments qui

le recouvrait. La partie annulaire maintenant effondrée était donc à l'extérieur du cratère évidé.

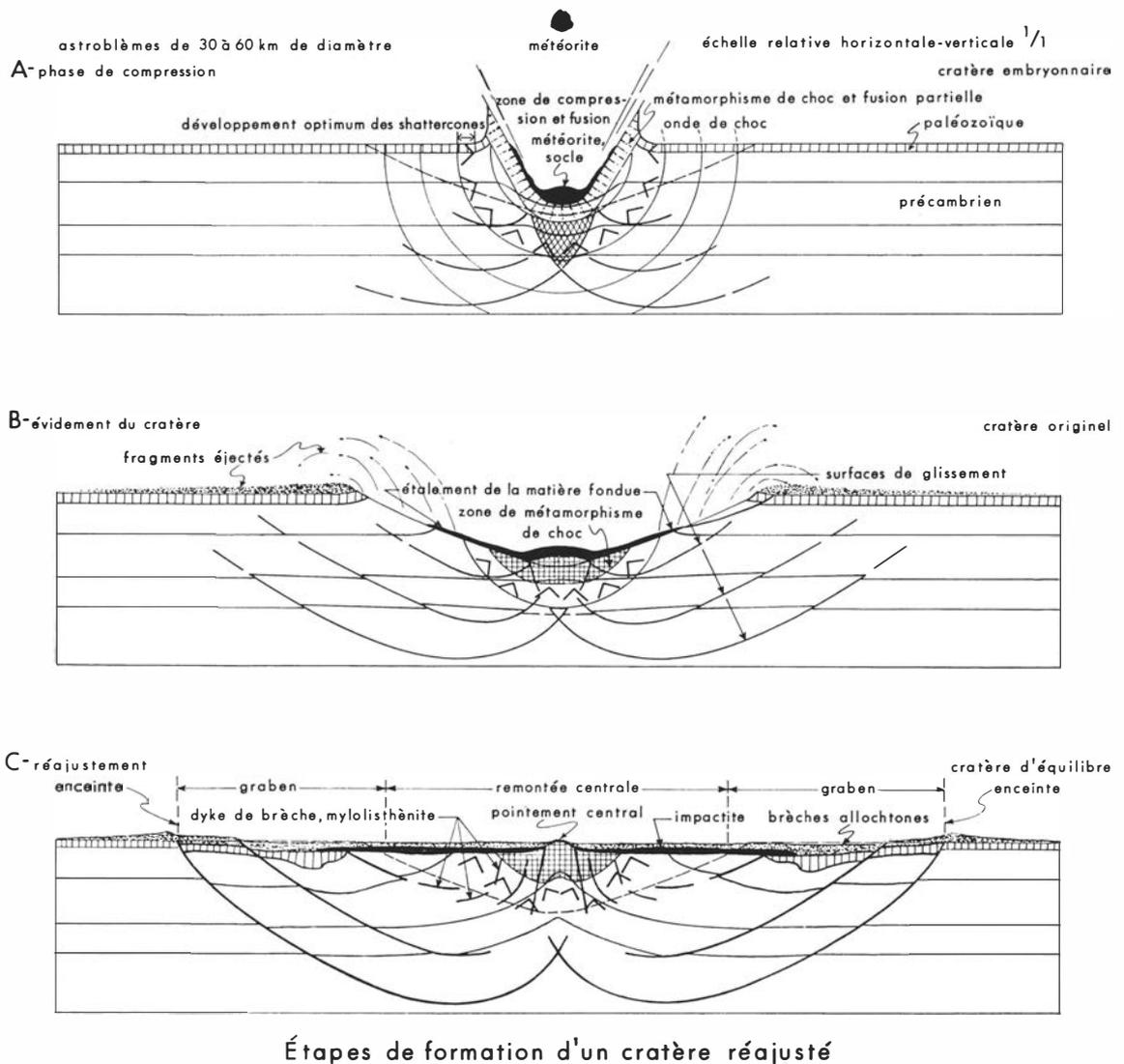
Dans les roches cristallines ou cristallophylliennes, le réajustement s'effectue par déplacement relatif de blocs parfois de grandes tailles en utilisant les fractures déjà existantes (failles, diaclases) et les plans de glissements (fig. 1A) provoqués par la compression lors de l'impact. Le résultat est la formation d'une mylonite particulière ou mylonithesthénite (Rondot 1969—1971) composée de fragments de roches des épontes et de mylonite dans une pâte de fine poussière de cristaux. La chaleur de friction et l'eau libérée de la roche provoque localement une altération hydrothermale et la formation de zéolites, prehnite etc.

Sur le plancher réajusté du cratère se déposent dans un certain ordre les fragments de roches fondues, métamorphosées par le choc ou seulement excavées par décompression.

Les caractères spécifiques des astroblèmes sont donc: une morphologie circulaire particulière, la présence de shattercones, celle de figures de métamorphisme de choc dans les roches de la partie centrale, et celle d'une couverture d'impactite et de roches allochtones, ou retombées, avant l'érosion.

Morphologie de l'astroblème de Siljan

La structure de Siljan, au centre de la Suède (Engelhardt 1972), a été reconnue comme un astroblème par Fredricksson & Wickman (1963). Hjelmqvist (1966) nous donne une excellente description géo-



Étapes de formation d'un cratère réajusté

Figure 1. Étapes de formation d'un cratère réajusté.

A. La météorite touche le sol avec sa vitesse cosmique. Au contact météorite-sol, les températures et les pressions sont extrêmes, d'où fusion, vaporisation et éjection à grande vitesse pour former le cratère embryonnaire. Il n'y a pas explosion au sens chimique du terme (sauf pour le cas de l'oxydation du fer météorique). En pénétrant dans le sol la vitesse de la météorite diminue rapidement et lorsque la vitesse de l'onde de choc est plus rapide que l'enfouissement de la météorite, l'onde s'écarte du contact météorite-socle pour se propager dans ce dernier et former les shattercones aux pressions appropriées. La force de pénétration de la météorite au centre de l'impact engendre les surfaces spiraloïdes de glissements.

B. Les brèches d'excavation sont éjectées par décompressions successives pour former le cratère original, tandis que la matière fondue s'étale de manière centrifuge et que surgit le pointement central.

C. Le réajustement tend à niveler le cratère par remontée de la partie centrale et affaissement d'un graben annulaire au milieu duquel les couches sont comprimées.

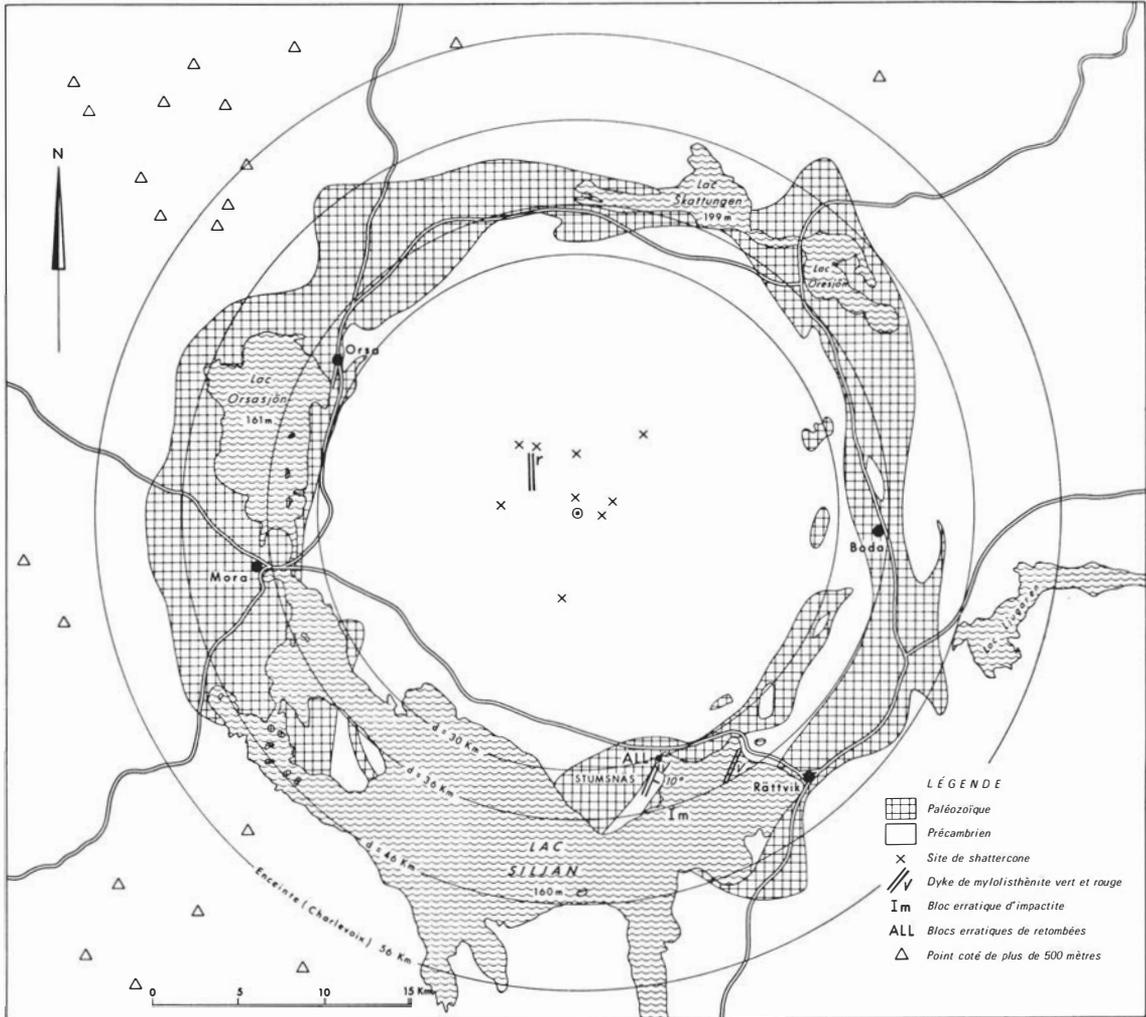


Figure 3. Carte indiquant l'emplacement des shattercones, des mylonisthénites et des blocs d'impactite et de retombées mentionnés dans le texte. Contact précambrien-paléozoïque d'après la carte de Hjelmqvist 1964. $d = 30$ km et $d = 46$ km, diamètres minimum et maximum des affleurements paléozoïques de la structure de Charlevoix, $d = 36$ km diamètre de la structure (voir texte).

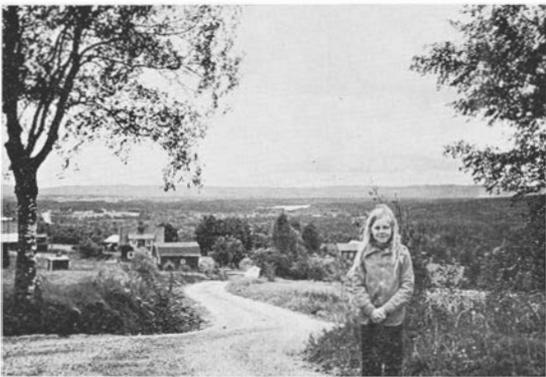


Figure 2. Partie de la dépression circulaire. Vue vers le sud à partir de l'église de Boda.

logique de la région. Celle-ci est constituée principalement d'un socle précambrien, dénudé au cambrien pour former la dorsale fennoscandienne sur laquelle s'est déposée, à l'Ordovicien et au Silurien, une couverture de calcaire, schiste et grès. Ces couches n'ont été préservées de l'érosion que dans le graben annulaire de la structure (figure 2).

Comparé à d'autres structures de tailles semblables (tableau 1), on constate que Siljan est presque identique à Charlevoix. La couronne de roches paléozoïques est cependant légèrement plus large (figure 3). Ce qui correspond soit à un niveau différent d'érosion, soit plus probablement à une plus grande épaisseur de la couverture 4 à 500 mètres d'après Per Thorslund (communication

personnelle et Thorslund & Jaanusson 1960), au lieu de 200 mètres pour Charlevoix (Rondot 1972a).

Tableau 1

		âge	diamètre	anneau ¹	relief	cou- verture
Manicouagan	a	210 MA	56 km	6 km	750 m	100 m
Charlevoix	b	350 MA	36 km	8 km	1 000 m	200 m
Siljan	c	<400 MA	36 km	10 km	300 m	500 m
Carswell	d	470 MA	33 km	X	100 m	1 000 m

¹ largeur maximum de l'anneau de roches de couverture

² estimation de l'épaisseur de la couverture avant l'impact

X la couverture protérozoïque existe encore en dehors de la structure

a — Murtaugh et Currie 1969; b — Rondot 1972b;

c — Hjelmqvist 1966; d — Innès 1964; Currie 1969.

La structure de Siljan, comme celle de Carswell, est très aplanie. Celle de Charlevoix doit son relief particulier et la préservation d'une enceinte de 56 km de diamètre, à la proximité d'une dépression naturelle, le Saint-Laurent.

L'effet de l'érosion (et de la glaciation) est relativement très faible, peut-être de l'ordre d'un kilomètre, et consiste surtout en nivellement des parties élevées (disparition des pointements centraux des structures de Carswell et Siljan) et ablation de la couverture d'impactite et de retombées (500 mètres): Il reste cependant 300 mètres d'épaisseur d'impactite dans la structure de Manicouagan et quelques affleurements dans celles de Charlevoix et de Carswell.

Shattercones et métamorphisme de choc

Svensson (1971) rapporte la découverte de figures planaires dans le quartz du granite de la partie centrale de la structure puis (1973) celle de shattercones. Ces derniers sont abondants dans un rayon de 6 km du centre géométrique de la structure (figure 3). Les shattercones, formés instantanément lors du passage de l'onde de choc, sont bien développés (figure 4A) dans l'intervalle de 20 à 100 kb (Dietz 1968) au delà duquel ils sont très déformés (figure 4B). Le métamorphisme de choc se traduit, dans les roches granitiques du centre de la structure, par un changement d'aspect dû en particulier au feldspath potassique qui prend une teinte rouge brique et au quartz qui devient laiteux.

Myololithénite

Le terme de myololithénite (de *όλισθαίνειν*, glisser) (Rondot 1971) désigne ce type de brèche

mylonitique le plus souvent en dyke, décrit dans plusieurs structures sous des noms variés: "pseudo-tachylite" pour partie, Vredefort (Wilshire 1971); "mixed breccia", Sierra Madera (Wilshire et al. 1971); "cluff breccia", Carswell (Currie 1969); "dyke de brèche", Charlevoix (Rondot 1968).

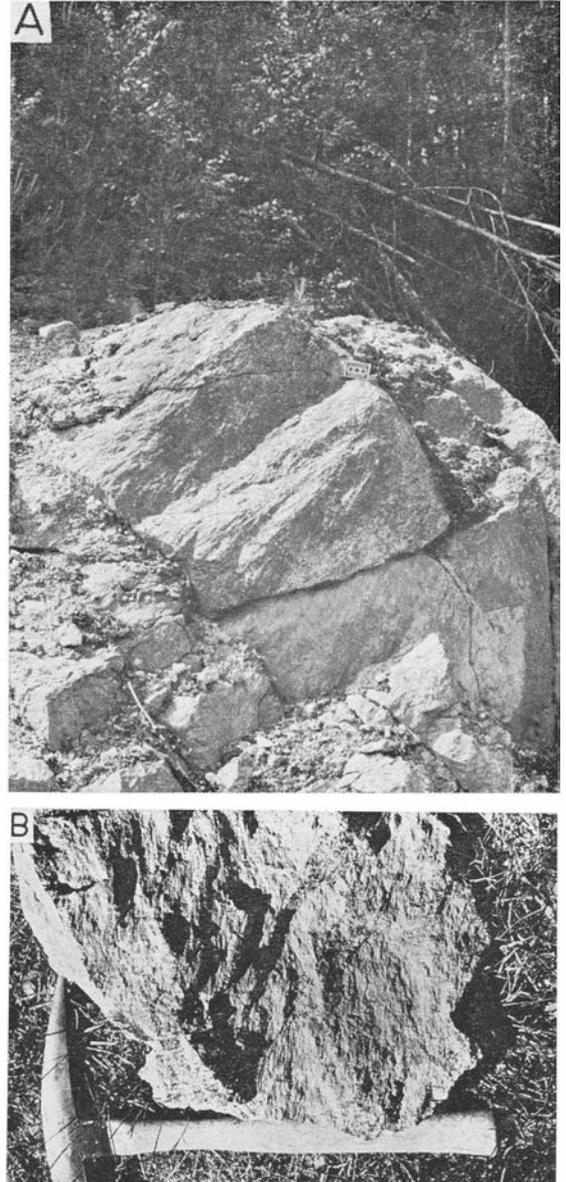


Figure 4. Shattercones. A. Shattercone de la partie nord centrale de la structure de Siljan. L'axe est très incliné. B. Shattercone de la structure de Dellen dans une roche très métamorphisée par le choc. Les stries sont déformées par des glissements postérieurs. Lac N. Dellen, 120 km au NE de Siljan.

Les mylolisthénites sont caractéristiques des astroblèmes réajustés. Si elles sont difficilement décelables dans les roches carbonatées, elles sont par contre facilement identifiables dans les terrains cristallins. Hjelmqvist (1966) décrit de telles roches près du contact Précambrien—Paléozoïque des environs de Stumnsnäs où l'un des dykes aurait 20 mètres d'épaisseur.

Deux dykes de cette région, sur les rives du lac Siljan (fig. 3) montrent les caractères spécifiques de ces roches, en particulier leur aspect de brèche hétérogène peu compacte et poreuse, contenant des fragments, généralement arrondis, des épontes et, plus rarement, des niveaux stratigraphiquement plus élevés ou moins élevés (mouvement de va et viens des épontes avant l'équilibre), mais surtout

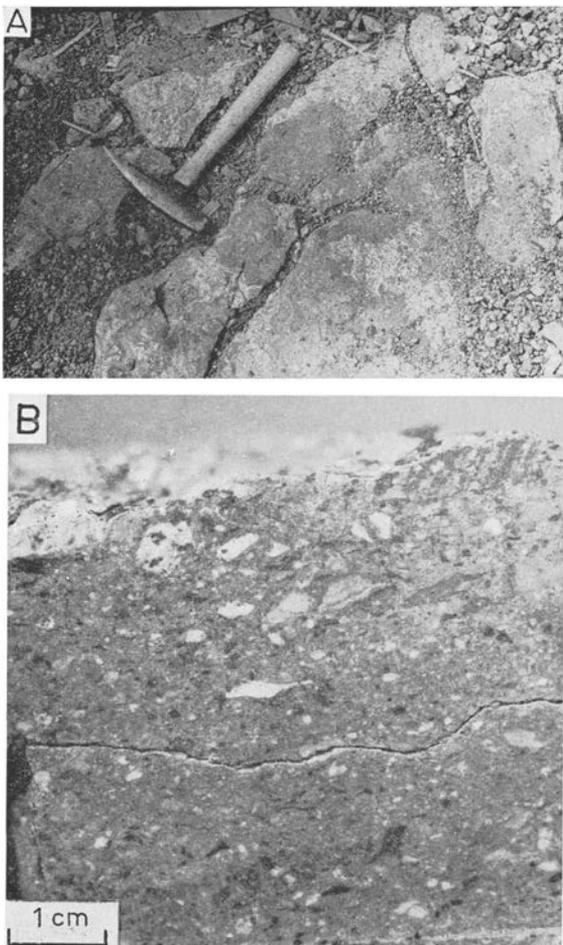


Figure 5. Mylolisthénites vertes. A. Dyke irrégulier, subhorizontal, de brèche verte sur les rives du lac Siljan près de Stumnsnäs. B. Détail, les fragments sont des roches granoïdes et des mylonites, très fines, vertes.

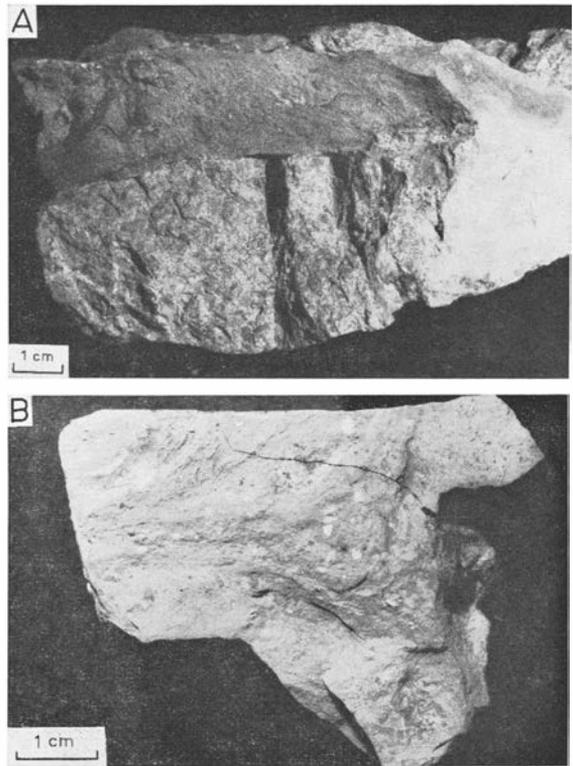


Figure 6. Mylolisthénite rouge. Affleurement à 6 km au NW du centre de la structure. A. apophyse pénétrant dans la roche fracturée. B. Aspect fluidal local du dyke.

des fragments de brèche et de mylonite formées antérieurement (fig. 5A et B). L'aspect fluidal local et l'injection dans les fractures adjacentes prouve la grande plasticité de la pâte. Au microscope, on constate que cette dernière est composée d'une très fine poussière de minéraux, même au plus fort grossissement.

En dehors de ces deux dykes de teinte verte, on peut observer, plus près du centre de la structure un dyke de mylolisthénite à pâte rouge (fig. 6). La figure 6A montre bien la postériorité du dyke par rapport à la fracturation (shattercone).

Ces deux types de dyke existent, et dans les mêmes situations relatives (dykes rouges plus près du centre) dans la structure de Charlevoix. L'épaisseur de ces dykes sinueux est très irrégulière. Elle peut atteindre plusieurs mètres.

Impactite

L'impactite, ou roche fondue et recristallisée après l'impact, repose subhorizontalement sur le plancher réajusté du cratère. Nous n'en avons pas trouvé

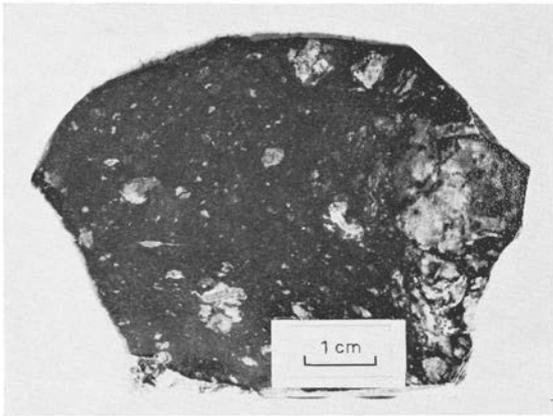


Figure 7. Impactite avec fragments de granite.

en place dans la structure de Siljan, peut-être à cause du niveau trop bas d'érosion. Cependant on peut en trouver des fragments déplacés par les glaciers. Un tel bloc, trouvé sur les bords du lac Siljan, montre, dans une pâte cryptocristalline, des fragments de roches en parties digérées (très haute température de la substance fondue) et présentant divers étapes d'altération par le métamorphisme de choc (fig. 7 et 8). Cette roche est tout à fait comparable à celles de Carswell, de Charlevoix ou de Manicouagan (fig. 8).

Brèches d'excavation

Les brèches allochtones, dont font partie les impactites, sont formées par l'accumulation des retombeées. Cependant la répartition des substances fondues n'est pas égale partout (Dennis 1971). Les brèches d'excavation se distinguent des autres brèches allochtones par l'absence ou la faible proportion de substances fondues. Ce sont en fait une juxtaposition de fragments arrachés successivement aux parois du cratère en formation. Elles s'accumulent au point de chute comme des roches sédimentaires.

On peut observer, sur les bords du lac Siljan (figure 3) des blocs d'une telle brèche de teinte rouge, avec nombreux fragments de roches précambriennes associés à un calcaire blanc qui semble bien en constituer le plancher (fig. 9). En effet le contact est sinueux et montre des protubérances de calcaire dans la brèche et un écrasement important du calcaire. Ce calcaire ne devait pas être complètement consolidé au moment de sa surcharge. Il est très fossilifère (débris de trilobites, d'ostracodes, de crinoïdes etc). De part sa composition il

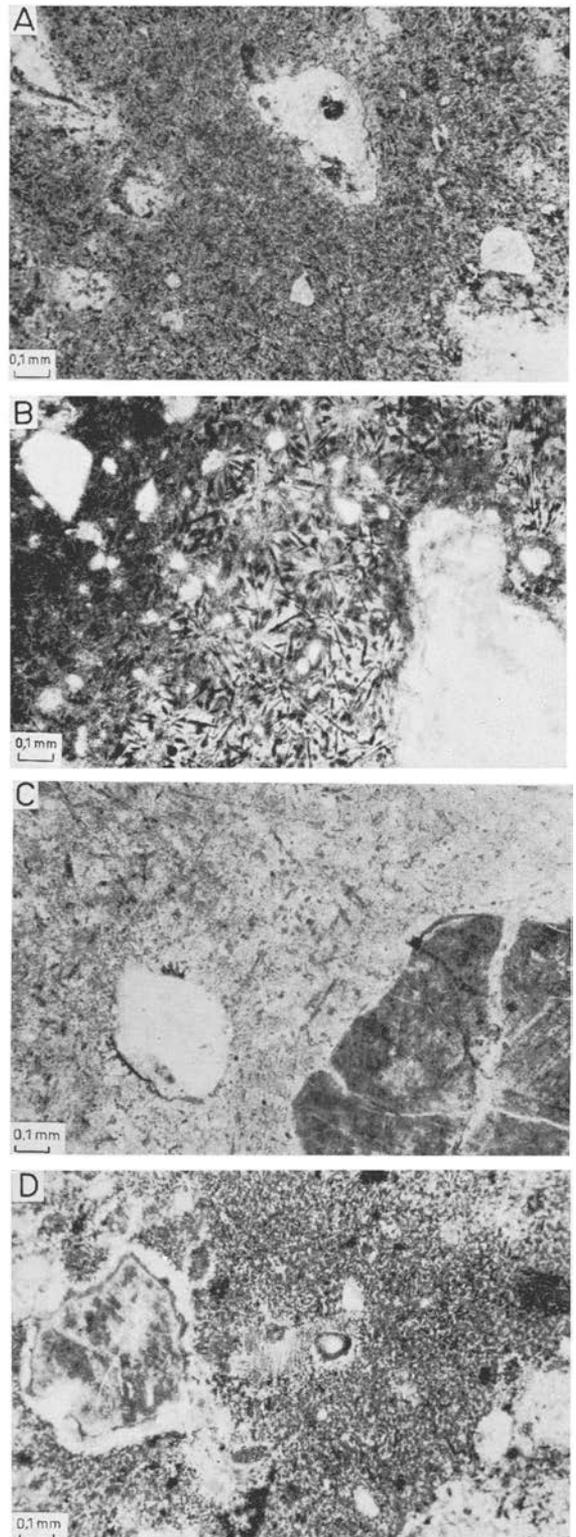


Figure 8. Impactites, comparaison des textures au microscope. A. Siljan, B. Charlevoix, C. Carswell, D. Manicouagan (base de l'impactite).

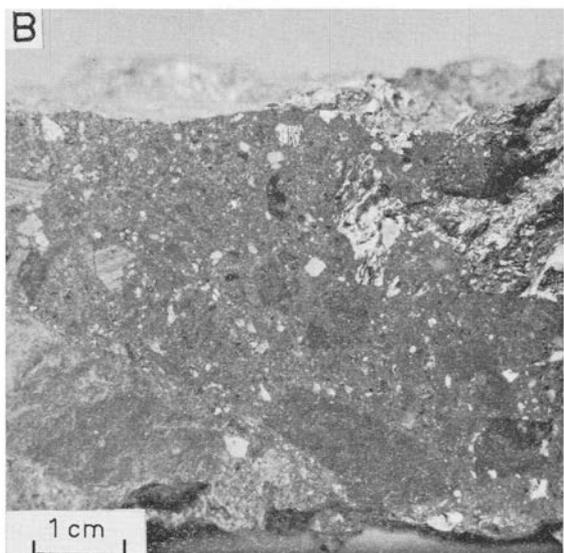


Figure 9. A. Bloc de brèches allochtones accolées à un calcaire blanc. Rive nord du lac Siljan à l'est de Stumsnäs. B. Détail de la brèche.

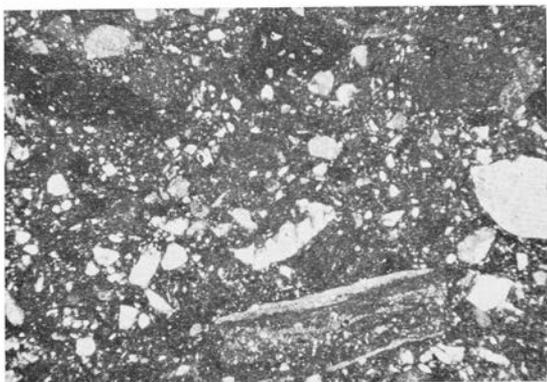


Figure 10. Aspect de la brèche au microscope, le fragment lité, dans la partie inférieure de la photographie est un verre brunâtre contenant de nombreuses inclusions. Sa longueur 2 mm donne l'échelle.

se situe dans le domaine des "Packstones" (Dunham 1961) ce qui correspondrait dans la stratigraphie régionale (Thorslund & Jaanusson 1960) à certains niveaux calcaires de Boda. S'il en est ainsi il faudrait admettre la disparition du Silurien à cet endroit avant le dépôt des retombées.

La brèche contient des fragments de tailles diverses (jusqu'à plusieurs dizaines de centimètres pour certains blocs de précambrien) de granite, gneiss, quartzite, mylonite, débris de minéraux, grès divers, schistes rouge et vert, calcaires variés et même de calcaire fossilifère semblable à celui du plancher. Les fragments de verre ou de roches ayant subi un métamorphisme de choc sont rares (fig. 10).

En fait cette brèche contient à peu près autant de fragments de roches de la couverture que du socle précambrien, ce qui donne encore plus de poids à l'hypothèse d'un dépôt de base des brèches allochtones, du fait de l'inversion stratigraphique des dépôts de retombées.

Conclusion

La structure du Siljan est de même taille que celle de Charlevoix et si le relief de ces structures est différent il semble bien que, dans leurs parties centrales l'épaisseur de roches enlevées par l'érosion soit sensiblement la même. Le métamorphisme de choc assez élevé du pointement central de la structure de Charlevoix n'apparaît pas ici. Ce qui confirmerait la disparition par érosion d'un tel pointement dans Siljan.

Comme dans Charlevoix on note dans l'anneau paléozoïque de Siljan un resserrement anormal des couches représenté par des décollements, des plissements ou même des charriages de couches anciennes sur des couches plus jeunes. Le résultat est un épaissement des dépôts paléozoïques dans la dépression annulaire.

L'observation de mylolisthénite rouge dans le centre de la structure et verte plus loin du centre, dans chacune des structures, ne semble pas dû au hasard mais plutôt à une température de formation plus élevée.

La couverture d'impactite et de brèches allochtones diverses n'est jamais très épaisse par suite du nivellement pas réajustement de ces structures. Il n'est donc pas étonnant que l'on n'en trouve que de rares lambeaux dans les structures tant soit peu érodées. Il reste cependant plus de 300 mètres d'impactite dans Manicouagan et des structures peu érodées comme les cratères lunaires ou la nouvelle structure sibérienne de Popigay (Masaytis et al. 1972) pourraient nous donner plus d'éclair-

cissements sur l'épaisseur et la distribution de ces dépôts.

Remerciement. — Je tiens à remercier le professeur Per Thorslund qui a bien voulu m'aider par sa connaissance approfondie de la région et m'a incité à écrire cette note.

BIBLIOGRAPHIE

- Currie, K. L. 1969: Geological notes on the Carswell circular structure, Saskatchewan (74K), *Geol. Surv. Can. Paper* 67—32.
- Dence, M. R. 1965: The extraterrestrial origin of Canadian craters. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 123, 941—969.
- Dennis, J. G. 1971: Ries structure, southern Germany, a review. *J. Geophys. Res.* 76, 5394—5406.
- Dietz, R. S. 1968: Shatter cones in cryptoexplosion structures. Dans: *Shock metamorphism of natural materials* (éd. par B. M. French et N. M. Short), 267—285. Mono Book Corp., Baltimore.
- Engelhardt, W. v. 1972: Impact structures in Europe. Dans: *Congr. Géol. Int., 24^e Sess. Sect. 15*, 90—111.
- Fredriksson, K. & Wickman, F. E. 1963: Dans: *Svensk Naturvetenskap* 16, 121—157.
- Gault, D. E., Quaide, W. L. & Oberbeck, V. R. 1968: Impact cratering mechanics and structures. Dans: *Shock metamorphism of natural materials* (éd. par B. M. French et N. M. Short), 87—99. Mono Book Corp., Baltimore.
- Hjelmqvist, S. 1966: Beskrivning till berggrundskarta över Kopparbergs län. *Sver. Geol. Unders. Sér. Ca. N^o 40*.
- Innes, M. J. S. 1964: Recent advances in meteorite crater research of the Dominion Observatory. *Meteoritics* 2, N^o 2.
- Masaytis, V. L., Mikhaylov, M. V. & Selivanoskaya, T. V. 1972: The Popigay meteorite crater. *Int. Geol. Rev.* 14, Iss. 4, 327—331.
- Murtaugh, J. G. & Currie, K. L. 1969: Etude préliminaire de la structure de Manicouagan. *Minist. Rich. Nat., Québec, R.P.* 583.
- Rondot, Jehan 1968: Nouvel impact météoritique fossile? La structure semi-circulaire de Charlevoix, *Can. J. Earth Sci.* 5, 1305—1317.
- Rondot, Jehan 1969: Significance of the breccia dikes of the Charlevoix structure (abs.). *Meteoritics* 4, 291—292.
- Rondot, Jehan 1970: La structure de Charlevoix comparée à d'autres impacts météoritiques. *Can. J. Earth Sci.* 7, 1194—1202.
- Rondot, Jehan 1971: Les brèches d'impact de Charlevoix (abs.). *Meteoritics* 6, 307—308.
- Rondot, Jehan 1972 a: La transgression ordovicienne dans Charlevoix, Québec. *Can. J. Earth Sci.* 9, 1187—1203.
- Rondot, Jehan 1972 b: Géologie de la structure de Charlevoix, *Congr. Géol. Int. 24^e Sess. Sect. 15*, 140—147.
- Svensson, N. B. 1971: Probable meteorite impact crater in central Sweden. *Nature, Phys. Sci.* 229, 90—92.
- Svensson, N. B. 1973: Shatter cones from the Siljan structure, central Sweden. *Geol. Fören. Stockh. Förh.* 95, 139—143.
- Thorslund, P. & Jaanusson, V. 1960: *The Cambrian, Ordovician, and Silurian in Västergötland, Närke, Dalarna, and Jämtland, central Sweden*. Guide pour exc. A 23 et C 18, Congr. Géol. Int., 21^e Sess.
- Wilshire, H. G. 1971: Pseudotachylite from the Vredefort Ring, South Africa. *J. Geol.* 79, 195—206.
- Wilshire, H. G., Howard, K. A. & Offield, T. W. 1971: Impact breccia in carbonate rocks, Sierra Madera, Texas. *Bull. Geol. Soc. Am.* 82, 1009—1018.
- Wilshire, H. G., Offield, T. W., Howard, K. A. & Cummings, D. 1972: Geology of the Sierra Madera cryptoexplosion structure, Pecos County, Texas. *U.S. Geol. Surv. Prof. paper* 599-H.