

SPÉLÉO- Québec

vol. 5-6 , 1978-79



bulletin officiel de la société québécoise de spéléologie

VITESSE DE DISSOLUTION DU CALCAIRE SOUS L'EFFET DE LA FONTE DE LA NEIGE : EXPÉRIENCE EN MILIEU NATUREL

par

Raymond Morel (1)

Miriam Kupper (2)

Camille M. Ek (3)

RESUME

Quatre échantillons de calcaire ont été soumis pendant un mois à l'action des eaux de fonte de neige à la fin de l'hiver. Les quantités de calcaires dissoutes varient fortement suivant les sites choisis et montrent que l'eau de fonte de la neige est assez peu agressive. Toutefois, lorsque le débit d'eau est élevé et que le calcaire se trouve en présence d'humus, la dissolution peut être assez rapide: un des échantillons a perdu en un mois 0.27% de son poids.

-
- (1) Groupe minier S.E.S., 2055, Peel, Montréal
 - (2) Fonds national belge de la Recherche scientifique, Laboratoire de géographie physique et géologie, Université de Liège
 - (3) Département de géographie, Université de Montréal, C.P. 6128, Montréal, Québec, H3C 3J7

INTRODUCTION: BUT ET METHODE

On sait l'importance croissante que prennent en géomorphologie les mesures de vitesse d'érosion. Ces mesures sont le plus souvent faites soit dans des sites naturels, sur des roches dont on peut distinguer deux stades d'érosion qu'il est possible de dater, soit en laboratoire sur des échantillons préparés pour des expériences de courte durée.

Des mesures ont été ainsi faites, entre autres, sur des calcaires placés à l'air (cf. p. ex.: Kupper et Pissart, 1974), dans l'eau (cf. p. ex.: Kupper, 1975), en terre (cf. p. ex.: Ek, 1969, inédit), et également dans l'eau mais en laboratoire (cf. p. ex.: Roques et Ek, 1973).

Les expériences ici rapportées sont consacrées à la dissolution du calcaire par les eaux de fonte de neige lors du dégel.

Il ne peut être question d'une généralisation des résultats obtenus ici sur un très petit nombre d'échantillons et avec une connaissance trop restreinte, on va le voir, de certaines variables; mais le succès de la méthode nous a paru justifier ce bref exposé préliminaire.

Nous avons placé des échantillons de calcaire dans divers sites naturels enneigés: un échantillon fut placé sous la couverture neigeuse, sur l'humus même, dans un vallon, le second sur une pente enneigée à mi-profondeur de neige et le troisième dans une anfractuosité d'une paroi rocheuse. En outre, un échantillon fut conservé constamment immergé dans la neige fondante et l'eau de fusion.

Tous les échantillons furent disposés sur le campus de l'Université de Montréal le 15 mars et retirés le 18 avril 1975. Entre-temps, ils furent retirés tous les 11 ou 12 jours pendant 24 heures pour être pesés avant d'être soigneusement remis exactement au même endroit. La durée totale de l'expérience est donc pratiquement d'un mois.

Nous avons ainsi pu suivre l'évolution du poids des échantillons au cours de la période de dégel du printemps 1975. Nous avons alors comparé ces données à l'évolution météorologique de la période considérée et aux circonstances de l'expérience.

Notre procédé évitait deux écueils classiques des mesures d'érosion: celles qui sont faites in situ portent fréquemment sur des roches dont on ne connaît bien que l'état actuel, le niveau ancien étant reconstitué ou retrouvé avec une approximation parfois médiocre; et les essais in vitro peuvent être faits dans des conditions relativement peu comparables aux conditions naturelles.

Nous avons placé des échantillons de forme et de poids connus dans des conditions absolument naturelles.

La plupart des opérations expérimentales, le choix des sites et le procès-verbal d'expérience sont dus à R. Morel. Le choix, le prélèvement et la préparation des échantillons sont de M. Kupper qui a effectué des expériences semblables dans d'autres conditions. C. Ek a proposé le schéma expérimental.

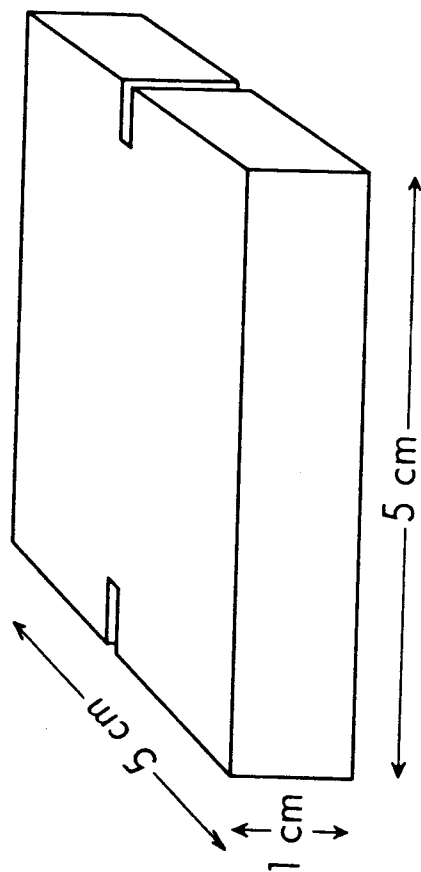


Figure 1: Forme générale des échantillons de calcaire soumis à l'expérience.

Les trois auteurs ont collaboré à la discussion et à la présentation des résultats.

LES EXPERIENCES

LES ECHANTILLONS

Pour observer des pertes notables de poids des échantillons soumis à l'action des eaux de fonte durant un temps limité, nous avons utilisé des plaques de calcaire ayant une grande surface par rapport à leur volume (indice d'aplatissement de Cailleux de l'ordre de 15). L'aplatissement était toutefois limité par le fait qu'on attendait une résistance mécanique raisonnable des échantillons. Nous avons employé des échantillons en forme de parallélépipède à base carrée mesurant environ 5 x 5 x 1 cm qui nous ont donné des pertes de poids (sans se briser) aisément mesurables.

La figure 1 montre les échantillons pourvus de deux étroites échancrures afin de pouvoir être éventuellement fixés par un mince fil de nylon.

Les 5 échantillons ont été taillés dans un même bloc de calcaire tournaisien à crinoïdes provenant de Belgique et appelé "petit granite". C'est un calcaire bioclastique très pur; les fossiles sont en calcite cristalline et ils constituent entre 15 et 60% de la masse selon l'échantillon considéré, la matrice est essentiellement micritique.

Les grandes faces des échantillons ont été polies au carborundum #600, les petites faces au carborundum #400.

Le tableau 1 donne les dimensions des cinq échantillons étudiés.

Dans les calculs des surfaces et volumes des échantillons, il n'a pas été tenu compte des petites échancrures qui représentent moins de 1% du volume et environ 2% de la surface totale des échantillons.

Ech #	Longueur cm	Largeur cm	Hauteur cm	Surface cm ²	Volume cm ³	S/V cm ⁻¹
1	4.8	4.8	1.0	66.0	23.0	2.9
2	4.8	4.8	1.1	68.0	25.3	2.7
3	4.8	4.8	1.0	66.0	23.0	2.9
4	5.0	4.8	0.8	63.7	19.2	3.3
5	4.7	4.9	0.8	61.5	18.4	3.3

Tableau 1: Dimensions des échantillons étudiés.

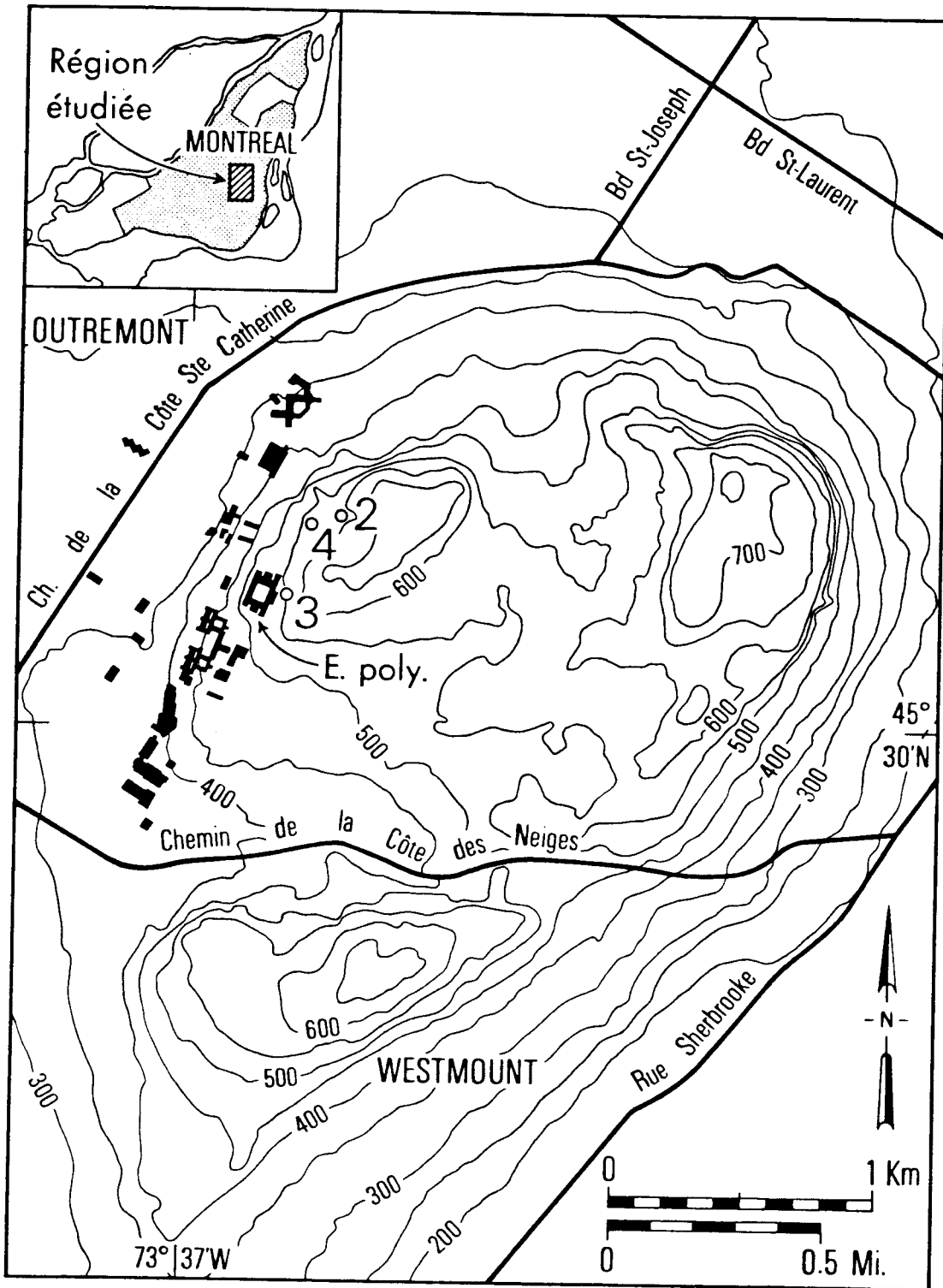


Figure 2: Site des expériences: le Mont-Royal à Montréal.

* Equidistance des courbes de niveau au 50'.

LES SITES DES EXPERIENCES

Les échantillons 2, 3 et 4 furent placés sur le Mont-Royal entre l'Ecole Polytechnique et la piste de ski de l'Université de Montréal. La figure 2 localise le site des essais. Dans l'ensemble, c'est une pente d'environ 25° au nord.

L'échantillon 5 fut gardé en laboratoire dans un béccher rempli de neige et d'eau de fonte.

L'échantillon 1 fut conservé intact, à l'abri de l'humidité, comme étalon pour la reproductibilité des pesées.

Site de l'échantillon 2

L'échantillon 2 fut placé dans l'axe d'un vallon et enfoui sous la neige à la limite entre l'humus et la couche de débris végétaux qui le surmontait.

Lors des visites à ce site, nous avons observé:

- le 15 mars: 60 cm de neige, sol non gelé, débris végétaux non gorgés d'eau;
- le 26 mars: 25 cm de neige, sol non gelé, débris végétaux saturés d'eau;
- le 7 avril: 10 cm de neige, sol non gelé, faible écoulement d'eau dans les débris végétaux;
- le 18 avril: il n'y a plus de neige, il coule 12 cm d'eau sur les débris végétaux.

La figure 3 représente la position des échantillons 2 et 4 par rapport à la couverture neigeuse, et indique sommairement la stratigraphie des types de neiges rencontrés.

Site de l'échantillon 3

L'échantillon 3 fut placé dans une anfractuosité d'une paroi de gabbro. La paroi est recouverte à son sommet par un sol peu épais, mais l'échantillon fut placé, plus bas, à même la roche nue, une face à plat sur la roche, tandis que l'eau de fonte pouvait dégoutter sur l'autre face.

Lors des visites à ce site, nous avons observé:

- le 15 mars: neige fraîche, l'eau ruiselle sur l'échantillon;
- le 26 mars: l'échantillon est complètement pris dans la glace;
- le 7 avril: même situation qu'au 26 mars;
- le 18 avril: l'échantillon est dégagé de toute glace ou neige, l'eau ruiselle abondamment.

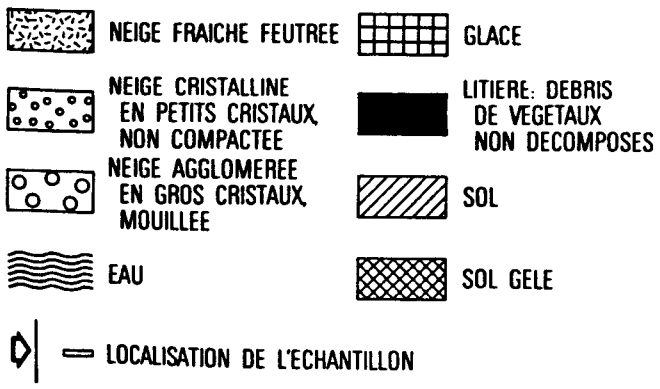
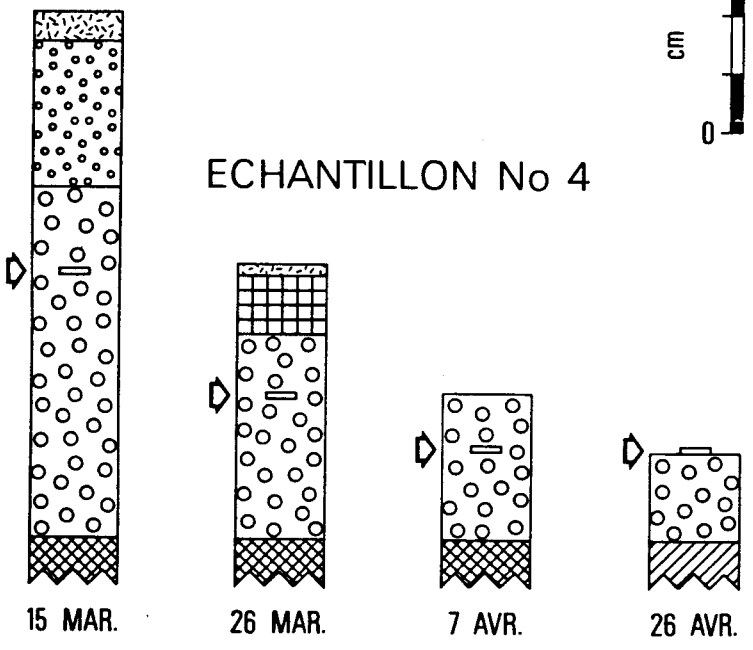
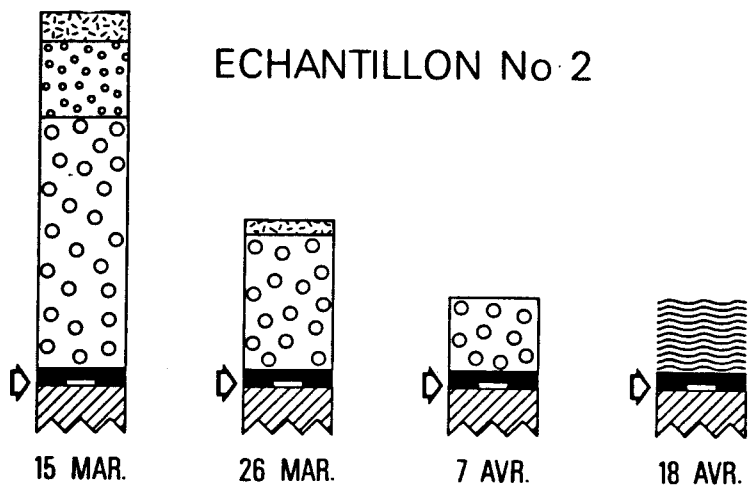


Figure 3: Evolution de la stratigraphie de la neige aux sites des échantillons 2 et 4. 18

Site de l'échantillon 4

L'échantillon 4 fut enfoui dans la neige sur le versant d'une pente de 20° environ. Après chacune des pesées, il fut replacé à mi-distance entre le sol et le sommet de la couche de neige (voir fig. 3).

Lors des visites à ce site, nous avons observé:

le 15 mars: 45 cm de neige à mi-profondeur, sol gelé;

le 26 mars: 25 cm de neige à mi-profondeur, sol gelé;

le 7 avril: 13 cm de neige à mi-profondeur, sol gelé;

le 18 avril: il reste 12 cm de neige sous l'échantillon que la fonte a ramené à la surface, sol dégelé.

Situation de l'échantillon 5

L'échantillon 5 fut conservé en laboratoire à environ 20°C. Il était immergé dans un bécher contenant 400 ml de neige fondante. Il était suspendu par deux fils de façon à ce que toutes ses faces soient en contact avec l'eau. De la neige était progressivement ajoutée de telle sorte que le volume de 400 cc. de neige fondante ou fondue soit constant autour de l'échantillon.

LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Les expériences se sont déroulées lors d'une phase majeure du dégel printanier à Montréal. A la station météorologique de Dorval, à moins de 10 km du lieu des expériences, la température extérieure de l'air a subi 20 cycles de gel et dégel entre le 15 mars et le 18 avril 1975.

L'évolution des conditions a été la suivante:

du 15 au 25 mars: les maxima de température se sont maintenus au-dessus de 0°C durant la première moitié de la période et durant la seconde moitié, ils sont restés le plus souvent sous 0°C. De nombreuses journées furent nuageuses et venteuses;

du 26 mars au 7 avril: le temps a été plus froid, les maxima journaliers se situant un peu au-dessus de 0°C en général, les minima, nettement au-dessous; la température assez constante, le temps généralement ensoleillé; lors d'une violente tempête, il est tombé 35 cm de neige en un jour et une nuit les 3 et 4 avril;

du 7 au 18 avril: la température a oscillé durant les deux premiers tiers de la période autour de 0°C, puis elle s'est fortement réchauffée vers la fin, atteignant jusqu'à 15°C; le temps fut généralement ensoleillé.

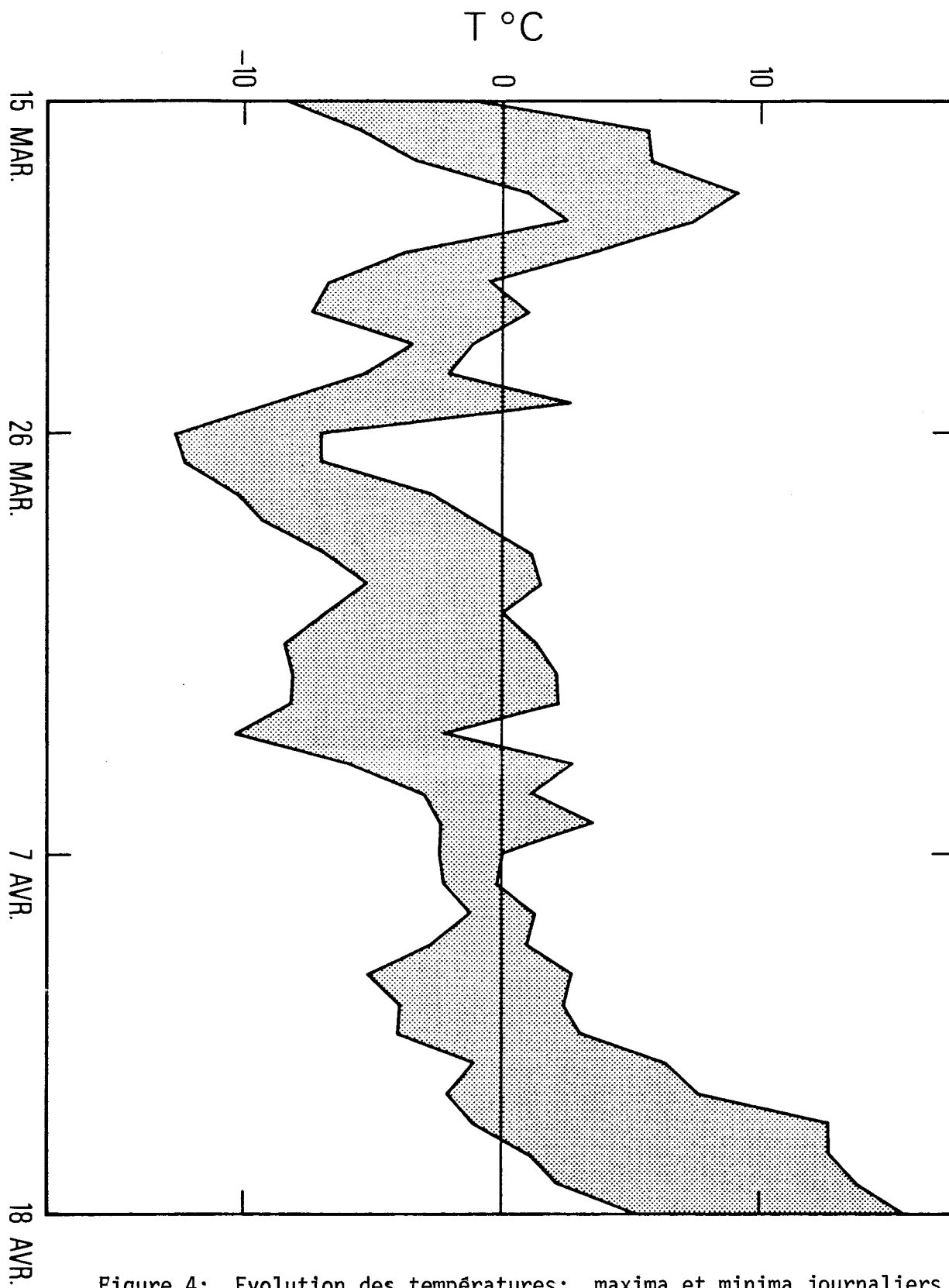


Figure 4: Evolution des températures: maxima et minima journaliers pendant la durée des expériences de dissolution.

Le tableau 2 résume les données météorologiques pour chacune des 3 périodes envisagées, alors que la figure 4 donne l'évolution des maxima et minima journaliers de la température.

LES MESURES

Toutes les mesures ont été effectuées au laboratoire de sédimentologie du Département de Géologie de l'Université de Montréal. Les pesées ont été faites sur une balance Mettler H 10 pesant à 10^{-4} gr. Les chiffres ci-dessous sont la moyenne de deux pesées ne différant jamais de plus de 3×10^{-4} gr.

Avant chaque mesure, les échantillons ont été méticuleusement rincés à l'eau distillée et mis à sécher immédiatement dans une étuve à 105°C , puis mis à refroidir dans un dessiccateur.

Période	Maximum		Minimum		Précipitation	
	moyen	absolu	moyen	absolu	pluie	neige
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	cm	cm
15.3-26.3	1.9	8.9	-4.4	-11.7	68	6.1
26.3- 7.4	0.1	3.9	-7.2	-11.7	38	40.0
7.4-18.4	6.3	15.0	-1.3	- 5.0	5	0.2

Tableau 2: Températures et précipitations du 15.3 au 18.4.75

Les pesées furent faites tous les 11 ou 12 jours. L'échantillon no 1 qui n'a été soumis à aucune dissolution et qui a été conservé à température constante et à l'abri de l'humidité, a permis de vérifier la constance du calibrage de la balance d'une période à l'autre.

Les pertes de poids successives des échantillons sont, dans le tableau 4 et dans la figure 5, exprimées en %, afin d'éliminer les différences de perte de poids dues aux différentes de poids initiaux des échantillons. Nous y avons aussi exprimé la perte de poids en % du poids initial perdu par an. Il ne s'agit nullement là d'une extrapolation qui serait évidemment injustifiée puisque le but de l'étude est l'influence de la période de dégel, mais d'une expression en fonction du temps destinée à rendre ces mesures comparables à celles qui sont faites dans d'autres circonstances et qui sont exprimées de cette manière.

On voit (tableau 4 et figure 5) que les pertes de poids sont comprises entre .069 et .272% pour le mois considéré. L'expérience s'est en effet étendue sur 34 jours, du 15 mars au 18 avril, mais il faut retrancher de cette durée les 3 jours au cours desquels les échantillons furent portés en laboratoire pour les pesées: la durée de l'attaque expérimentale proprement dite est donc de 31 jours.

DISCUSSION DES RESULTATS

Les pertes de poids sont très variables. La figure 5 montre que la plus spectaculaire est celle de l'échantillon 2 (posé sur l'humus, sous la litière) durant la période où l'eau de fonte a commencé à circuler sous la neige (du 27/3 au 7/4). L'eau, encore peu abondante, était probablement fortement chargée en acides organiques ou en dioxyde de carbone d'origine organique; lorsque le dégel s'est généralisé, les eaux étaient peut-être beaucoup plus diluées (du 8 au 18/4); le fait est, en tout cas, que l'attaque du calcaire s'est ralentie.

L'échantillon 3, sur une paroi de gabbro, recevait l'eau qui provenait en partie du sol qui, plus haut, recouvrait la roche. L'échantillon était aspergé par l'eau de fusion à sa face supérieure, tandis que la face inférieure était constamment prise dans la glace. Il a subi une diminution de poids nettement plus faible que l'échantillon 2, mais beaucoup plus constante.

L'échantillon 4, placé au coeur de la neige, a d'abord diminué de poids régulièrement, mais sa dissolution a été fortement ralentie lors de la dernière période: sous l'effet du dégel, il a en effet alors émergé de la neige et, en surface, s'est trouvé coupé de la circulation des eaux de fonte (fig. 3).

L'échantillon 5, immergé en laboratoire dans la neige fondante, sans écoulement, a subi la perte de poids la plus faible; mais c'est surtout lors de la dernière période que sa perte de poids a été négligeable (du 8 au 18/4). Lors de cette période, en effet, il n'a plus neigé, et le récipient a été alimenté en vieille neige.

Celle-ci serait-elle moins agressive que la neige fraîche? Ek (1964) avait fait une remarque analogue dans la comparaison de la vieille glace avec la glace fraîche.

Si l'on considère les résultats globaux de l'expérience, prise dans la totalité de sa durée, les échantillons ont perdu d'autant plus de poids que l'eau circulait davantage à leur contact. Ceci semble bien corroborer les observations de Kupper (1975) sur l'importance de la circulation de l'eau, et plus proprement de la vitesse de l'eau dans les phénomènes de dissolution.

D'autre part, il est clair que la perte de poids la plus élevée est de loin celle du seul échantillon (le no 2) qui se trouvait enfoui sous la litière, juste sur l'horizon humique du sol.

L'échantillon 3 fut en contact avec un volume d'eau beaucoup plus faible et, par ailleurs, sa partie inférieure était soudée à la glace; une fraction seulement de l'eau qui l'arrosait provenait d'un sol.

Enfin les échantillons 4 et 5 montrent qu'aussi bien en laboratoire que sur le terrain, la neige seule et son eau de fonte, en dehors de tout apport d'origine organique, ont une action beaucoup moindre sur le calcaire.

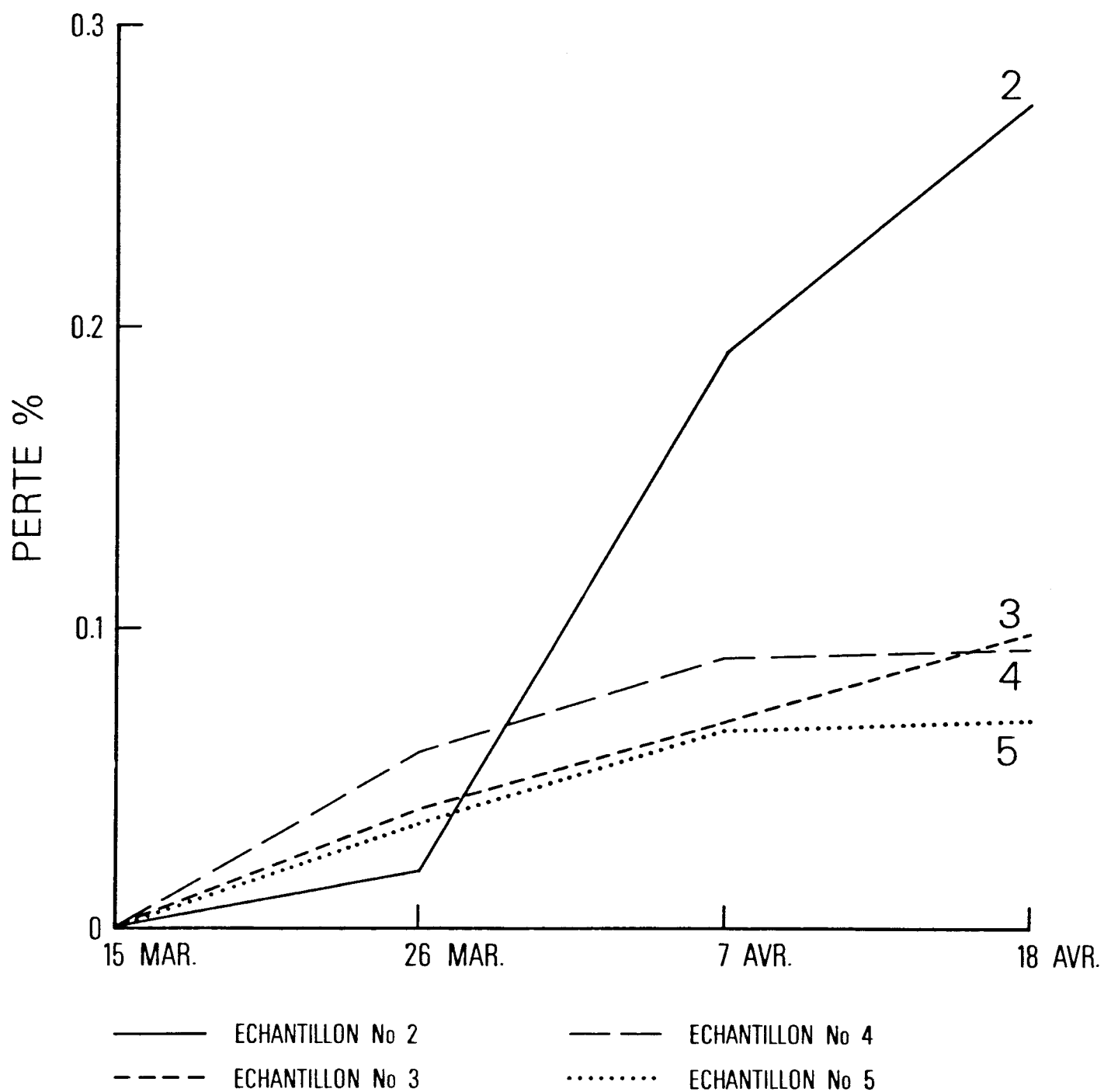


Figure 5: Perte de poids des échantillons au cours des trois périodes de l'expérience.

éch.	14 mars	27 mars	8 avril	18 avril
1		61.4139	61.4139	61.4139
2	72.1528	72.1395	72.0147	71.9564
3	69.7450	69.7169	69.6969	69.6781
4	51.8183	51.7882	51.7712	51.7701
5	44.9722	44.9566	44.9427	44.9412

Tableau 3: Evolution du poids des échantillons. Pesées (grammes \pm 0.0004 gr)

éch.	15.3-26.3	26.3-7.4	7.4-18.4	15.3-18.4	
no	%	%	%	%	% par an
2	.018	.173	.081	.272	3.27
3	.040	.029	.027	.096	1.15
4	.058	.033	.002	.093	1.17
5	.035	.031	.003	.069	0.83

Tableau 4: Perte de poids des échantillons en % de leur poids initial et en % de perte par an.

CONCLUSION

La présence d'eau de fonte de la neige ne provoque par elle-même, dans les expériences ici faites, qu'une dissolution modeste. Cette dissolution peut être cependant augmentée en fonction de la rapidité de circulation de l'eau et surtout d'une eau ruisselant sur un sol.

Le petit nombre d'échantillons étudiés nous interdit évidemment toute généralisation de l'aspect quantitatif de nos mesures. Mais il nous semble clair qu'il sera intéressant et rentable, dans les prochaines expériences, de reprendre les mêmes essais en mesurant le pH de la neige, en dosant les acides humiques, et en cherchant à préciser les influences de la vitesse de la fonte, du vieillissement de la neige, de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la pollution.

Tel est le programme de nos prochains essais. Il nous a néanmoins paru utile de présenter dans cette note préliminaire nos premiers résultats significatifs.

REFERENCES

- EK, C. (1964) Note sur les eaux de fonte des glaciers de la Haute Maurienne. Leur action sur les carbonates. Revue belge de géographie, vol. 88, p. 127-156
- EC, C. (1969) Facteurs, processus et morphologie karstiques dans les calcaires paléozoïques de la Belgique. Thèse de doctorat, Université de Liège, inédit.
- KUPPER, M. (1975) Recherches en Haute Belgique sur les vitesses de dissolution des calcaires soumis à l'action de l'eau de rivière. Annales de spéléologie, vol. 30, p. 255-265.
- KUPPER, M. et PISSART, A. (1974) Vitesse d'érosion en Belgique de calcaires d'âge primaire exposés à l'air libre ou soumis à l'action de l'eau courante. Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, vol. 29, p. 39-50
- ROQUES, H. et EK, C. (1973) Etude expérimentale de la dissolution des calcaires par une eau chargée de CO₂. Annales de spéléologie, vol. 28, p. 549-563.

