

FAIBLE AGRESSIVITÉ
DES EAUX DE FONTE DES GLACIERS :
L'EXEMPLE DE LA MARMOLADA (DOLOMITES)

par C. EK

(2 figures dans le texte)

RÉSUMÉ

Quelques mesures de pH et de dureté montrent que les eaux de fonte du Glacier de la Marmolada sont nettement basiques et peu agressives vis-à-vis du calcaire sur lequel elles coulent.

SUMMARY

From some measurements of pH and hardness carried out in melt-waters of the Marmolada Glacier (Dolomites), it appears that these waters are — or at least were in September 1965 — strongly alkaline and not very aggressive towards their limestone bed-rock.

pH on the glacier and just near ly are between 8.85 and 7.80 ; calculated CO₂ pressure is lower on the glacier ($3.6 \cdot 10^{-4}$ atm) than in anyone of four other samples analyzed in the region. *One table, two schematic maps.*

* * *

Le coefficient de dissolution du gaz carbonique dans l'eau augmente quand la température diminue ; il en est de même, par voie de conséquence, pour l'agressivité de cette solution vis-à-vis du carbonate de calcium. Dans les conditions d'équilibre, le calcaire est donc dissous en quantités d'autant plus grandes que la température est basse.

On doit dès lors se demander si ce ne sont pas les eaux de fonte des glaciers qui dissolvent le mieux les calcaires.

Une étude précédente (1964) nous avait amené à penser qu'il n'en est rien, mais elle avait été menée sur des glaciers de la Haute Maurienne (Alpes françaises) dont le substratum est complexe ; c'est pourquoi nous avons voulu vérifier au glacier de la Marmolada (Dolomites) les effets de l'eau sur le calcaire pur.

Le glacier de la Marmolada (fig. 1) est adossé au sommet des Dolomites (3342 m à la Punta di Penia) et est entièrement situé

sur une épaisse formation de calcaire récifal triasique (P. Leonardi, 1955 et 1961).

Le glacier s'étend sur un peu plus de 4 Km² sur le vaste ubac en faible pente du massif calcaire de la Marmolada, tandis que l'adret, en position de front de cuesta, forme au S. un escarpement abrupt atteignant 700 m de haut (fig. 2 ; voir aussi R. De Smet et R. Souchez, 1964).

Une première série de mesures de pH ont été faites sur le terrain le 19 septembre 1965 après-midi, par un temps légèrement nuageux ; il était tombé le matin 5 à 10 cm de neige.

Le temps assez froid des semaines précédentes avait fortement ralenti la fusion et les mesures n'ont pu être faites que sur un seul ruisseau de fonte, d'un débit d'environ 2 l/sec. On a relevé un pH de 8,40 à la naissance du ruisseau, apparaissant sous la glace et coulant à même la roche calcaire ; à 100 m en aval, le pH était de 8,25 et 100 m en aval encore, le ruisseau, avec un pH de 8,15, s'engouffrait dans une fissure de la roche.

Le lendemain matin, aux mêmes endroits, les pH étaient respectivement de 8,40, 8,20 et 8,10.

En fait, les pH se révélaient difficiles à mesurer dans ce ruisseau et variaient parfois, en un même point, de plusieurs dixièmes d'unité pH ; les mesures notées représentent la valeur la plus fréquemment lue au pH mètre en chaque point.

Des mesures faites dans des mares ont donné les valeurs suivantes — plus stables que dans l'eau courante — respectivement l'après-midi du 19 et le matin du 20 septembre : dans un petit trou de fonte de 1 dm³ environ, sous la neige et sous une fine plaque de glace, l'eau, au contact du substratum calcaire, montrait un pH de 8,80 les deux jours ;

dans un second trou, semblable au précédent, le pH était de 8,85 les deux jours ;

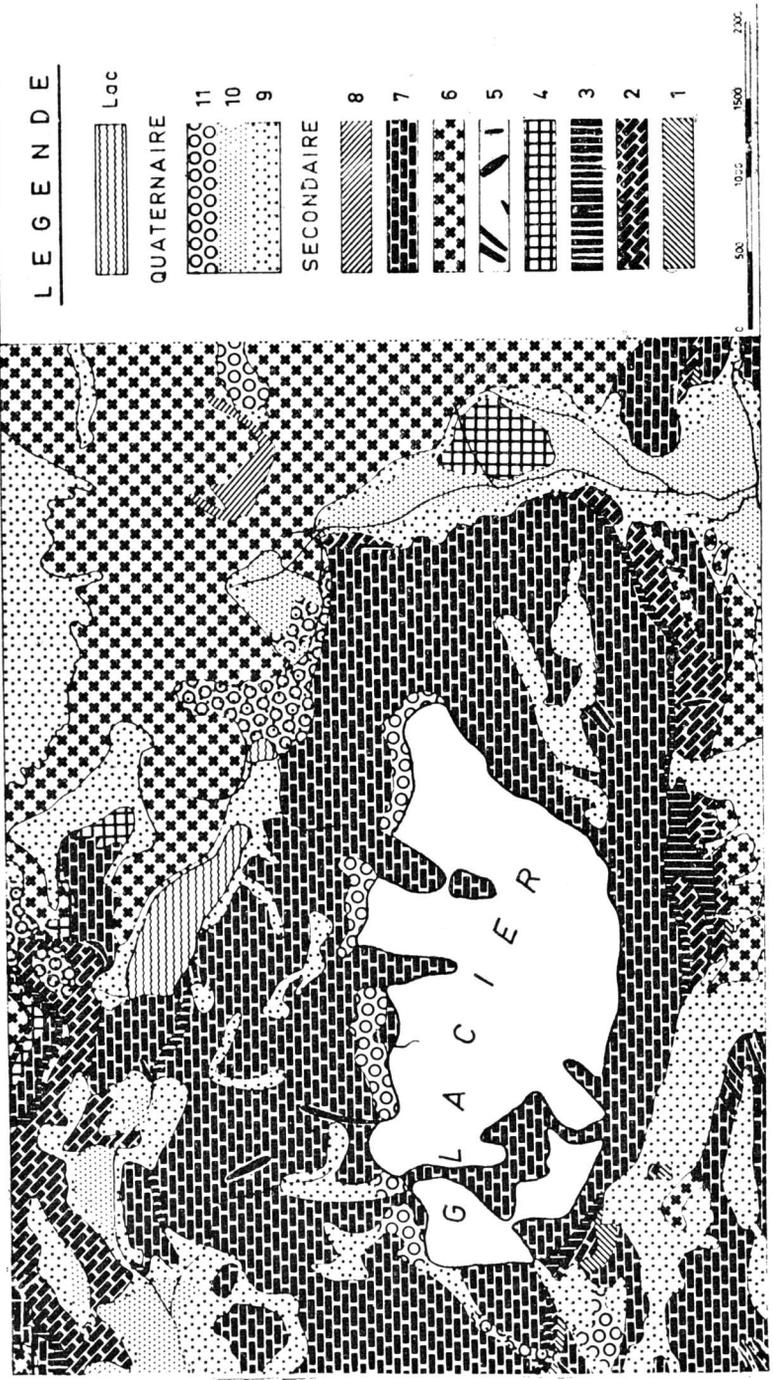
dans une grande mare peu profonde, de 4 m², superficiellement gelée, située sur la langue du glacier, mais dont le fond touche le calcaire, 8,85 et 8,45 ;

dans une mare semblable, de 1 m², à quelques dizaines de mètres en aval du glacier, 8,05 et 7,80.

Fig. 1. — Géologie, redessinée d'après P. Leonardi, 1961.

Les formations nos 2, 3 et 7 sont essentiellement calcaires (et dolomitiques).

1. *Scitien et Anisien inf.* : grès, marnes, calcaires.
2. *Anisien moy. et sup.* : dolomie et calcaire.
3. *Ladinien inf.* : calcaires nodulaires ou zonés, siliceux.
4. *Ladinien sup.* : conglomérats tuffacés d'explosion.
5. *Ladinien et Carnien* : porphyres, mélaphyres et laves détritiques.
6. *Ladinien et Carnien* : tufs grossiers, parfois conglomératiques.
7. *Ladinien et Carnien* : calcaire de la Marmolada, avec coraux et algues.
8. *Carnien* : grès et marnes, parfois tuffacés, et calcaires.
9. Dépôts meubles quaternaires divers.
10. Alluvions pléistocènes et actuelles et matériel fluvio-glaciaire.
11. Matériel morainique.



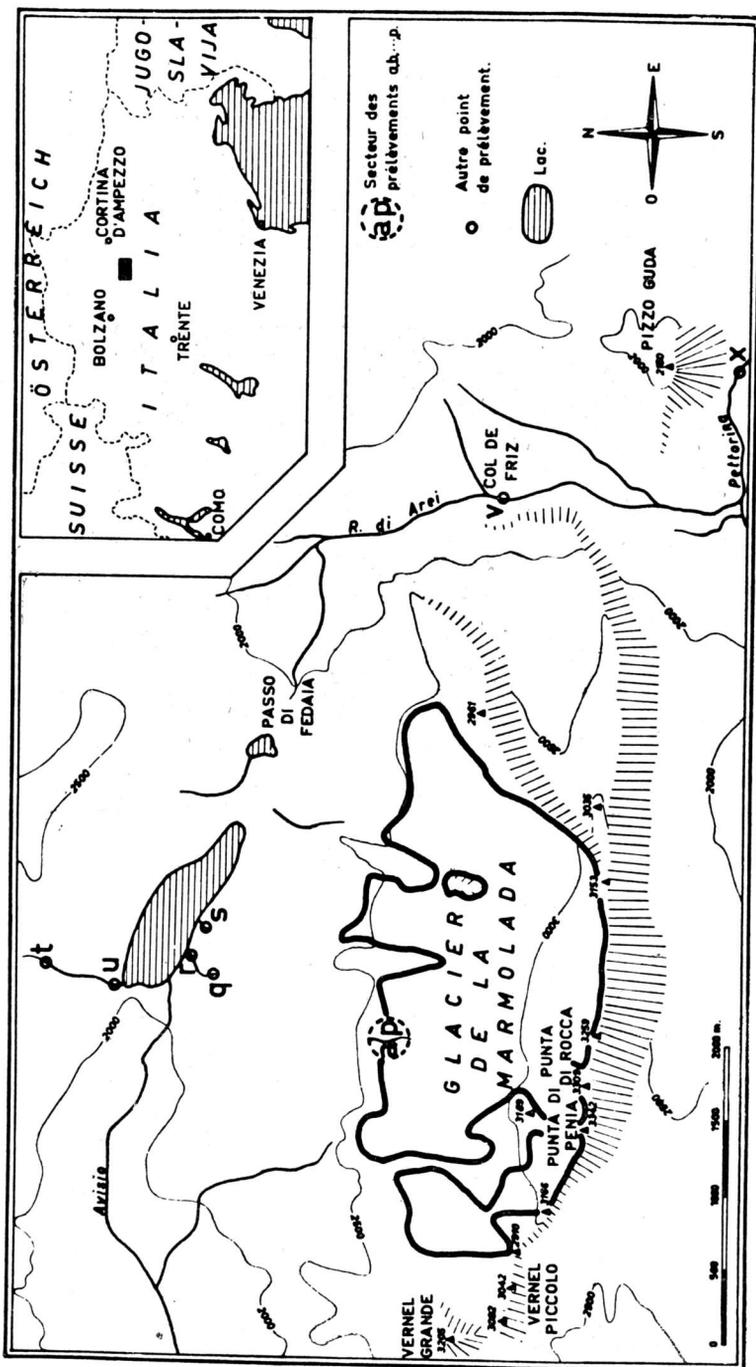


Fig. 2. — Le Massif de la Marmolada.

Les lettres minuscules représentent les points de prélèvement; en particulier, les lettres a — p représentent le lieu des prélèvements a p. — Courbes de niveau de 500 en 500 mètres.

L'eau, à l'aval du glacier, disparaît sous terre dans d'étroites fissures ; elle réurge au bas du massif, et la résurgence présente un pH de 8,10 qui 200 m plus en aval, à l'embouchure du ruisseau dans le lac du barrage de Fedaiia, devient 7,75.

Une autre résurgence avait le 20 un pH de 8,10.

Un ruisseau ne descendant pas du glacier, mais bien d'un alpage voisin, a révélé un pH variant de 7,70 à l'amont à 7,90 à l'aval.

Les circonstances dans lesquelles ces mesures ont été prises sont précisées dans le tableau suivant.

Mesure	Date	Heure	Lieu	Alt. m	Q ⁽¹⁾	pH	T °C
RUISSELET AU FRONT DU GLACIER							
a	19	17.30	Filet d'eau de fonte de glace (+ neige) sortant de sous la langue du glacier sur le calcaire.	2700	1	8,40	0,0
b	20	11.40	Idem ⁽²⁾	2700	2	8,40	0,2
c	19	17.40	Le même, 100 m en aval	2680	2	8,25	0,0
d	20	11.50	Idem	2680	2	8,20	0,3
e	19	17.50	Le même 100 m en aval encore	2660	2	8,15	0,0
f	20	12.00	Idem ⁽³⁾	2660	2	8,10	0,0
EAUX STAGNANTES							
g	19	17.10	Petit trou de 1 dm ³ , eau sous plaque de glace couverte de neige.	2700	0	8,80	0,0
h	20	11.30	Idem	2700	0	8,80	0,0
i	19	17.20	Trou semblable au précédent	2700	0	8,85	
k	20	11.40	Idem	2700	0	8,85	0,0
l	19	17.00	Mare de 4 m ² , sous une couche de glace ; fond : calcaire.	2700	0	8,55	0,0

(¹) Débit approximatif en litres par seconde.

(²) Mais 10 m en aval du point de mesure de la veille, car le débit est insuffisant au point où la mesure avait été faite précédemment.

(³) En fait il y a des pertes minimales et des confluences minimales entre les trois points étudiés ici.

Mesure	Date	Heure	Lieu	Alt. m	Q	pH	T °C
<i>m</i>	20	11.20	Idem	2700	0	8,45	0,2
<i>n</i>	19	16.40	Mare semblable, en aval du glacier sur calcaire nu, surface eau : non gelée.	2650	0	8,05	2,6
<i>p</i>	20	11.00	Idem, mais surface gelée.	2650	0	7,80	0,5
RUISSEAUX DANS LA VALLÉE							
<i>q</i>	20	14.00	Résurgence	2100	15	8,10	2,5
<i>r</i>	20	14.30	Même cours d'eau, 200 m en aval, à son embouchure	2030	9	7,75	3.2
<i>s</i>	20	17.20	Autre résurgence ⁽¹⁾	2060	1	8,10	1,7
<i>t</i>	20	15.30	Ruisseau provenant d'une source d'alpage située vers 2.300 m.	2200	10	7,70	5,4
<i>u</i>	20	16.00	Le même, à son embouchure dans le lac.	2000	10	7,90	7,4

Ce tableau montre que les pH sont très élevés, surtout à l'extrémité de la langue du glacier ; à partir de là ils décroissent très lentement, sans toutefois arriver à 7. Les pH matinaux sont en moyenne un peu moins élevés que les valeurs du soir.

On ne peut mettre ici en cause la fusion de la neige tombée le matin du premier jour (19 septembre) : cette fusion aurait eu au contraire pour effet de diminuer le pH ce jour-là (J. Williams, 1949 ; H. Roques, 1962 ; C. Ek, 1964). D'autre part nous avons observé le même phénomène sur un glacier de Savoie. Peut-être pourrait-on voir là l'effet d'une fusion plus rapide l'après-midi, qui laisse encore moins de temps à l'eau de fonte pour absorber du CO₂ de l'air. Dans les échantillons prélevés sur le glacier et conservés en flacons de verre, le pH baisse avec le temps de plusieurs dixièmes d'unité pH et parfois de plus d'une unité après plusieurs jours.

Quelques mesures de dureté (teneur en Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺) et de titre

⁽¹⁾ Comme pour la résurgence précédente, il ne peut s'agir que d'une résurgence d'eau de fonte du glacier, ayant effectué un parcours souterrain de durée inconnue.

alcalin (teneur en CO_3 —) ont été effectuées. Elles ont donné les résultats suivants (exprimés en mg $\text{CaCO}_3/1$) :

- Ruisselet provenant du glacier (*f*) : dureté 36
titre alcalin 35
- Ruisseau à 200 m en aval de la résurgence (*r*) : dureté 61
titre alcalin 61
- Ruisseau d'alpage, à son extrémité aval (*u*) : dureté 115
titre alcalin 119

La distance entre *f* et *r* est de l'ordre du kilomètre, de même que la distance entre la source du ruisseau d'alpage et *u*.

La dureté est donc beaucoup plus forte dans le ruisseau ne provenant pas d'eau de fusion. Pour une eau en contact permanent avec le calcaire, les deux échantillons précédents sont remarquablement peu durs.

Ces mesures ont été faites par complexométrie (pour la dureté) et par alcalimétrie (pour la teneur en carbonates), le jour même du prélèvement.

Les mesures qui suivent, sont dues à des analyses complexométriques que M. I. Roelandts, du Laboratoire de Pétrographie et Géochimie de l'Université de Liège, a eu l'obligeance de faire pour nous par colorimétrie au colorimètre Métrohm, quatre jours après les prélèvements.

Le torrent di Arei, qui est en partie, mais non entièrement, alimenté par le glacier de la Marmolada (pour environ 50 %, le jour des mesures), avait le 21 septembre une dureté de 82 mg $\text{CaCO}_3/1$ au Col de Friz.

Le torrent Pettorina, qui reçoit notamment les eaux du Arei, avait le même jour une dureté de 85 mg/1 au pied du Piz Guda, soit à environ 5 Km en aval des apports principaux du glacier de la Marmolada.

Nous devons à M. I. Roelandts également une série d'analyses dont nous avons tiré le rapport *dureté magnésienne/dureté totale* :

- ruisselet provenant du glacier (*f*) : Mg = 0 % de la dureté totale
en mg/1.
- ruisseau à 200 m en aval de la résurgence (*r*) : 19 %
- ruisseau d'alpage à son embouchure (*u*) : 19 %

- torrent di Arei au Col de Friz (*v*) : 24 %
 — torrent Pettorina au pied du Piz Guda (*x*) : 8 %

Il semble que pour la série des eaux provenant le plus directement du glacier (*f*, *r*, *v*), le % de Mg croisse vers l'aval. Bien que le nombre de mesures soit hélas très insuffisant pour apporter aucune certitude, nous pensons que le fait pourrait s'expliquer par une *vitesse de dissolution* plus faible pour Mg que pour Ca.

La pression partielle équilibrante de CO₂ dans l'air, calculée d'après la formule $\log P_{\text{CO}_2} = A + \log \text{Ca}^{++} - \text{pH}$ (1) serait, pour les échantillons *f*, *r*, *u*, *v*, *x* :

	t°	A	Dureté totale en mg CaCO ₃ /l.	Dureté totale en ions-gr Ca ⁺⁺	log	pH	P _{CO₂} atm
<i>f</i>	0	8,064	36	3,6.10 ⁻⁴	4,556	8,10	3,3.10 ⁻⁴
<i>r</i>	3	8,088	61	6,1.10 ⁻⁴	4,785	7,75	1,3.10 ⁻³
<i>u</i>	8	8,125	115	1,1.10 ⁻³	4,041	7,90	1,9.10 ⁻³
<i>v</i>	7	8,125	82	8,2.10 ⁻⁴	4,914	7,85	1,5.10 ⁻³
<i>x</i>	7	8,125	85	8,5.10 ⁻⁴	4,929	7,85	1,6.10 ⁻³

Tout près du glacier (*f*), l'eau analysée avait une teneur en CO₂ équilibrant sensiblement celle de l'air atmosphérique. Elle s'engouffre alors sous terre et sa teneur en CO₂ quadruple entre ce point et la résurgence (*r*), et augmente encore faiblement dans le cours du torrent (*v*) ; mais la teneur atteinte finalement reste très faible (1,5.10⁻³ atm) ; les cours d'eau alimentés en petite partie seulement par le glacier (*x*) ou non glaciaires (*u*) ont des teneurs plus fortes ; ces teneurs restent cependant très modérées, conformément à ce qu'avait déjà remarqué H. Schoeller (1950 et 1951) qui a montré que plus on gagne de l'altitude moins les eaux de source contiennent de CO₂, phénomène général qu'il a attribué à la diminution progressive de l'activité organique du sol en fonction de l'altitude ; on trouvera en outre dans H. Schoeller (1941) un exposé général sur l'influence du climat sur la composition chimique des

(1) On trouvera dans H. Roques (1963) la justification de ce calcul de la pression partielle du CO₂ ; A est, à une température donnée, une constante.

eaux souterraines vadoses ; nos analyses étendent les vues de H. Schoeller à la zone glaciaire et à un autre type d'eau : l'eau de fonte. Mais, aux facteurs mis en cause par lui s'ajoute un nouveau : l'expulsion préliminaire du CO_2 de la glace, d'abord par concentration d'une fraction importante du CO_2 dans des bulles au moment du gel, puis par expulsion progressive de ces bulles (Ek, 1964, p. 142, et Ek et Pissart, 1965).

CONCLUSIONS

Les pH élevés et les faibles teneurs en calcaire dissous des eaux de fonte du glacier de la Marmolada en septembre 1965 témoignent de la faible teneur en CO_2 de ces eaux à cette époque et par conséquent de leur très faible agressivité vis-à-vis du calcaire qui forme leur lit.

La comparaison avec des eaux provenant en partie seulement, ou en très faible partie, du glacier, ou avec l'eau d'un ruisseau d'alpage voisin montre que ces dernières eaux ont des teneurs plus élevées, quoique modérées encore.

Ceci confirme les résultats que nous avons déjà obtenus dans un travail antérieur (1964) dans les Alpes de Savoie, et nous permet de conclure que :

1° les eaux de fonte de la glace sont pauvres en CO_2 , donc peu agressives, et dissolvent peu de calcaire ; leur pauvreté en CO_2 provient de la pauvreté en CO_2 de la glace ; c'est à l'extrémité aval des glaciers que la glace est la plus dégazée ; or, c'est aussi l'extrémité aval des glaciers qui fournit le plus d'eau de fonte de la glace (l'eau de fonte de neige est plus riche en CO_2) ;

2° les eaux de fonte, une fois qu'elles ont quitté les glaciers, ne s'enrichissent que très lentement en CO_2 ; cette grande lenteur est due notamment au peu de végétation, donc au peu de CO_2 d'origine organique, et aux températures basses, qui ralentissent les réactions.

Dans les Dolomites comme dans les Alpes de Savoie, l'acquisition par l'eau de CO_2 et de calcaire dissous n'est actuellement notable que lorsque depuis longtemps, du fait d'apports d'eaux non glaciaires et du fait de l'augmentation de température de l'eau, les cours d'eau ont perdu leur caractère proglaciaire.

REMERCIEMENTS

Qu'il me soit permis de remercier M. le Professeur P. MACAR pour les conseils, les remarques et l'appui qu'il m'a prodigués.

Grâce à la bienveillance de M. le Professeur P. MICHOT, c'est au Laboratoire de Pétrographie et de Géochimie de l'Université de Liège qu'ont été faites, par M. I. ROELANDTS les déterminations du rapport Mg/Ca. Je remercie vivement M. I. ROELANDTS pour sa collaboration et pour la fructueuse discussion des résultats que nous avons eue ensemble.

Le manuscrit a été lu et critiqué par M. M. COLLARD et le texte a grandement bénéficié de la discussion ainsi née.

*Laboratoire de Géologie et Géographie physique
de l'Université de Liège.*

OUVRAGES CITÉS

- EK, C., 1964. — Note sur les eaux de fonte des glaciers de la Haute Maurienne. Leur action sur les carbonates. *Revue belge de Géographie*, **88**, 127-156.
- EK, C. et PISSART, A., 1965. — Dépôt de carbonate de calcium par congélation et teneur en bicarbonate des eaux résiduelles. *C. R. Acad. Sc. Paris*, **260**, 929-932.
- DE SMET, R. et SOUCHEZ, R., 1964. — Évolution comparée de deux massifs dolomitiques : Catinaccio et Sella. *Revue belge de Géographie*, **88**, 157-186.
- LEONARDI, P., 1955. — Breve sintesi geologica delle Dolomiti occidentali. *LVIII riunione della Società Geologica Italiana*, Rome, 80 p.
- LEONARDI, P., 1961. — Carta geologica della Val di Fassa e dei Gruppi dolomitici circostanti. 1/25.000. *Ist. Geol. Univ. Ferrara*, 1 feuille.
- ROQUES, H., 1962. — Considérations théoriques sur la chimie des carbonates et application aux eaux de fonte des névés et aux eaux de pluie. *Annales de Spéléologie*, **17**, 463-467.
- ROQUES, H., 1963. — Sur la répartition du CO₂ dans les karsts (2^e mémoire). *Annales de Spéléologie*, **18**, 141-184.
- SCHOELLER, H., 1941. — L'influence du climat sur la composition chimique des eaux souterraines vadoses. *Bull. Soc. Géologique de France*, **11**, 267-289.
- SCHOELLER, H., 1950. — Les variations de la teneur en gaz carbonique des eaux souterraines. *L'Eau*, **37**, n° 5, 77-79.
- SCHOELLER, H., 1951. — Les variations de la teneur en gaz carbonique des eaux souterraines avec l'altitude. *C. R. Acad. Sc. Paris*, **230**, 560-561.

DISCUSSION

M. Ch. ANCIEN, qui préside la séance, remercie l'auteur pour son exposé puis demande par qui, comment, et dans quelles conditions les mesures ont été réalisées.

M. C. EK : C'est sur le terrain même que j'ai fait toutes les mesures de pH,

à l'aide d'un pH mètre Metrohm, type E 280 A. Au refuge situé au pied du glacier, je faisais, le jour même du prélèvement, les analyses : la dureté totale était mesurée par complexométrie, à l'aide d'EDTA, et l'alcalinité était mesurée par HCl 0,03 N. La précision des mesures était de 4 mg CaCO₃/l. eau. Mais en outre, M. Iwan Roelandts, du Laboratoire de Pétrographie et de Géochimie de l'Université de Liège, a dosé à l'aide d'un colorimètre Metrohm, quatre jours après les prélèvements, la dureté totale et la dureté calcique de cinq échantillons. Pour trois de ces analyses, je disposais déjà des mesures de dureté totale faites au refuge, ce qui a permis de contrôler la relative stabilité des solutions analysées.

M. Cl. MONTY : Comme vous l'avez justement conclu, il est vraisemblable que la sous-saturation des eaux de fonte en CO₂ puisse rendre compte de la non-agressivité de ces eaux vis-à-vis du substratum calcaire, du moins à l'échelle ou vous avez étudié le phénomène. Cela est d'autant plus vrai qu'aux pH que vous citez, la tendance serait à la précipitation des carbonates plutôt qu'à leur dissolution si la concentration en calcium dissous était suffisante.

Le fait que vous n'avez pas mesuré de manière systématique les teneurs respectives en CO₂, HCO⁻ et CO₃⁻⁻, mais que vous déduisez mathématiquement la concentration probable en CO₂, tandis que vous groupez HCO₃⁻ + CO⁻⁻ sous forme de CO₃⁻⁻ (votre titre en alcalinité), m'amène à vous poser la question suivante : est-ce que la faible concentration en CO₂ dans les eaux de fonte résulte effectivement de ce qu'originellement il n'y en a que très peu dans la glace et que la dissolution du CO₂ atmosphérique dans les ruisselets glaciaires est un processus très lent, ou au contraire provient-elle de ce qu'il y a quelque part consommation d'ions H⁺ qui déplace constamment l'équilibre de dissociation vers la production de HCO⁻ et CO₃⁻⁻ en maintenant un pH élevé et éliminant par la même occasion la majeure partie du CO₂ éventuellement présent?

M. C. EK : Aux pH inférieurs à 8, le calcaire se dissout presque exclusivement sous forme de bicarbonate : les carbonates représentent moins de 1 % de la somme (CO₃H⁻) + (CO₃⁻⁻) ; aux pH supérieurs, (CO₃⁻⁻) peut constituer plusieurs % de cette somme : 3 % à pH 9/ par exemple, et 9 % à pH 9,5 (1).

Le CO₂ libre devient parallèlement de moins en moins abondant dans la solution (2).

(1) Il s'agit bien entendu d'une eau pure : nous n'envisagerons pas ici le cas des eaux marines.

(2) Nous empruntons, à titre documentaire, les données suivantes à H. ROQUES : le carbone se répartit ainsi entre les groupements (CO₂), (CO₃H⁻) et (CO₃⁻⁻), exprimés en activités :

à pH 8 : 4,3 % de (CO ₂)	95,4 % de (CO ₃ H ⁻)	0,3 % de (CO ₃ ⁻⁻)
à pH 9 : 0,4 % de (CO ₂)	96,5 % de (CO ₃ H ⁻)	3,1 % de (CO ₃ ⁻⁻)

(à 0°C)

(H. ROQUES, 1962 : Considérations théoriques sur la chimie des carbonates, deuxième mémoire. *Annales de Spéléologie*, 17, 241-284).

La saturation, à 0° et à pH 8,5, est à 60 mg CaCO₃/l. Une eau contenant plus que cette faible concentration doit donc précipiter son calcaire. Ce processus a été étudié récemment (C. EK et A. PISSART, 1965), non dans les eaux de fonte mais dans les eaux en voie de congélation.

Quant à l'éventualité d'une influence sur le pH de la consommation directe d'ion H⁺, elle est très possible, mais problématique. Très possible : les eaux de fonte des glaciers véhiculent en effet souvent de l'argile en suspension, et les cations alcalins des argiles peuvent s'échanger contre des ions H⁺ de l'eau ⁽¹⁾ ; or nos mesures au Glacier de la Marmolada ont confirmé ce que nous notions déjà au sujet du Glacier des Evettes (EK, 1964) : une légère augmentation du pH l'après-midi, concomitante de l'augmentation du matériel en suspension dans l'eau ; l'après-midi, en effet, l'accroissement de la fonte de la glace provoque une augmentation du débit des cours d'eau et par là une augmentation de leur vitesse et de leur capacité d'érosion ; les hausses de pH observées sont d'environ 0,1 unité pH à la Marmolada, et d'environ 0,3 unité pH aux Evettes.

Cependant ces hausses diurnes n'affectent ni la valeur absolue, toujours élevée, des pH, ni le sens de l'évolution du pH au fur et à mesure de la descente de l'eau sur le glacier puis en aval du glacier : l'échange de cations à la surface des minéraux argileux serait donc de nature à expliquer les variations journalières à l'intérieur du domaine de pH observé.

L'échange des cations alcalins avec les ions H⁺ est facilité par un pH initial faible, que nous n'avons pu saisir nulle part ; d'autre part, l'hydrolyse, aux basses températures, est fortement ralentie : elle est 4 fois plus lente à 0°C qu'à 20°C.

Outre l'explication par un échange de cations avec des minéraux argileux en suspension, la variation journalière de pH pourrait être due à deux autres causes : la photosynthèse (certes très réduite ; mais est-elle complètement négligeable?) aurait également pour objet de rendre les pH diurnes plus élevés que les pH nocturnes ; et, plus simplement, l'augmentation du débit d'eau de fonte au cours de la journée, en diminuant le rapport *interface eau-air/volume d'eau* et en diminuant le temps mis par l'eau pour parcourir les itinéraires étudiés, diminue la quantité de CO₂ pouvant éventuellement passer de l'air dans l'eau : ceci aussi expliquerait une hausse du pH au cours de la journée.

La question posée par M. MONTY permet donc de préciser les limites des connaissances actuelles, et montre que devant la question traitée, trois voies au moins s'ouvrent — dont on ne peut d'ailleurs négliger aucune — : celle de l'analyse de tous les ions en présence, celle de la recherche des activités organiques, celle de la mesure de la diffusion du CO₂ entre l'air et l'eau.

(1) G. MILLOT, *Géologie des argiles*, 499 p., Paris, 1964. Voir en particulier les pages 84 à 88 et 110-111, relatives à l'hydrolyse et à l'échange des cations.