

## Fonte du glacier souterrain de Scarasson (Marguareis, Italie).

### Suivi instrumenté de la température, de l'humidité et du recul

Laurent Morel, Richard Maire, François Valla, Joan Decker, Michel Siffre, Joffrey Boscart, Serge Caillault, Cathy Lambolgia, Jo Lamboglia, Jean-robert Petit, Michel Ogand

#### Résumé

Situé dans le massif du Marguareis (France-Italie), le gouffre de Scarasson est une cavité connue en raison de la présence d'un glacier souterrain et de l'expérience « hors du temps » menée par Michel Siffre en 1962. La fonte accélérée du glacier depuis les années 2000 en lien probable avec l'arrêt de l'alimentation neigeuse a mené à une étude instrumentée de la cavité. Débutée en 2008, elle a été conduite avec des capteurs de température, d'humidité et de distance à ultrasons. Les résultats montrent des variations de la température à différentes échelles, la complexité du système climatique souterrain « ouvert » et la transformation de la glace autour du point de fusion.

#### Abstract

Located in the Italian massif of Marguareis, Scarasson is a famous cave because of its underground glacier and the operation "Beyond Time" of Michel Siffre in 1962. Because of the quick melting of the glacier since the 2000 years, due to stop of snow feeding, a monitoring began in 2008 for temperature and humidity, and for measuring the retreat with ultrasonic sensors. The results show variations in temperature at different scales, the great dynamic complexity of an « open » underground climate system, and a remarkable transformation of the ice around the melting point.

#### Citer ce document / Cite this document :

Morel Laurent, Maire Richard, Valla François, Decker Joan, Siffre Michel, Boscart Joffrey, Caillault Serge, Lambolgia Cathy, Lamboglia Jo, Petit Jean-robert, Ogand Michel. Fonte du glacier souterrain de Scarasson (Marguareis, Italie). Suivi instrumenté de la température, de l'humidité et du recul. In: Collection EDYTEM. Cahiers de géographie, numéro 19, 2017. Monitoring en milieux naturels. Retours d'expériences en terrains difficiles. pp. 101-108;

doi : <https://doi.org/10.3406/edyte.2017.1369>

[https://www.persee.fr/doc/edyte\\_1762-4304\\_2017\\_num\\_19\\_1\\_1369](https://www.persee.fr/doc/edyte_1762-4304_2017_num_19_1_1369)

Fichier pdf généré le 22/04/2020

# FONTE DU GLACIER SOUTERRAIN DE SCARASSON (MARGUAREIS, ITALIE)

## SUIVI INSTRUMENTÉ DE LA TEMPÉRATURE, DE L'HUMIDITÉ ET DU REcul

### *STUDY OF UNDERGROUND GLACIER OF SCARASSON (MARGUAREIS, ITALY) MONITORING OF TEMPERATURE, HUMIDITY AND MELTING*

LAURENT MOREL<sup>1</sup>, RICHARD MAIRE<sup>2-3</sup>, FRANÇOIS VALLA<sup>3</sup>, JOAN DECKER<sup>3</sup>, MICHEL SIFFRE<sup>3</sup>,  
JOFFREY BOSCAR<sup>4</sup>, SERGE CAILLAULT<sup>5</sup>, CATHY LAMBOGLIA<sup>6</sup>, Jo LAMBOGLIA<sup>6</sup>,  
JEAN-ROBERT PETIT<sup>6</sup>, MICHEL OGAND<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Ampere, UMR5005, 69622 Villeurbanne.

<sup>2</sup>Passages, UMR 5319 CNRS, Univ. Bordeaux-Montaigne, 33607 PESSAC  
et Honorary Research Fellow, Univ. of Witwatersrand, Johannesburg, South Africa.

<sup>3</sup>Comité scientifique de la FFCAM (Club Alpin Français).

<sup>4</sup>Spéléologues CRS, Pyrénées orientales.

<sup>5</sup>Directeur de Spéléo-Magazine, Corenc.

<sup>6</sup>Spéléologues ASMPG, Nice, Fédération Française de Spéléologie.

<sup>7</sup>Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement, 54, rue Molière, 38402 Saint-Martin d'Hères.

Contact : laurent.morel@univ-lyon1.fr

### RÉSUMÉ

Situé dans le massif du Marguareis (France-Italie), le gouffre de Scarasson est une cavité connue en raison de la présence d'un glacier souterrain et de l'expérience « hors du temps » menée par Michel Siffre en 1962. La fonte accélérée du glacier depuis les années 2000 en lien probable avec l'arrêt de l'alimentation neigeuse a mené à une étude instrumentée de la cavité. Débutée en 2008, elle a été conduite avec des capteurs de température, d'humidité et de distance à ultrasons. Les résultats montrent des variations de la température à différentes échelles, la complexité du système climatique souterrain « ouvert » et la transformation de la glace autour du point de fusion.

**MOTS-CLÉS :** GLACIER SOUTERRAIN, FUSION GLACIAIRE, INSTRUMENTATION, TEMPÉRATURE, SCARASSON, MARGUAREIS.

### ABSTRACT

Located in the Italian massif of Marguareis, Scarasson is a famous cave because of its underground glacier and the operation "Beyond Time" of Michel Siffre in 1962. Because of the quick melting of the glacier since the 2000 years, due to stop of snow feeding, a monitoring began in 2008 for temperature and humidity, and for measuring the retreat with ultrasonic sensors. The results show variations in temperature at different scales, the great dynamic complexity of an « open » underground climate system, and a remarkable transformation of the ice around the melting point.

**KEYWORDS:** UNDERGROUND GLACIER, MELTING, MONITORING, TEMPERATURE, SCARASSON, MARGUAREIS.

### INTRODUCTION, OBJECTIFS

Le gouffre de Scarasson s'ouvre à 2100 m d'altitude sur le versant italien du massif du Marguareis (Figure 1). Il se caractérise par la présence vers 100 m de profondeur d'un glacier souterrain découvert en 1961 par le Club Martel de Nice (Créac'h, 1962) (Figure 2). Depuis une dizaine d'années, ce glacier est affecté par une fonte accélérée associée à un moindre, voire un arrêt, de son alimentation nivale (Lochey M., 2009).

Cette cavité a acquis une grande notoriété en juillet 1962 avec l'expérience chrono-biologique menée par Michel Siffre ; celle-ci a mis en évidence une horloge interne et des cycles de 48 h (Siffre, 1966 ; Siffre, 1975). L'étude scientifique du glacier, initiée par M. Siffre (1963) en parallèle de son expérience « hors du temps », a été reprise en 2007 par J. Boscart puis poursuivie et complétée par le comité scientifique du Club

Alpin Français avec l'aide du Club Martel de Nice, puis de l'ASMPG (J. Lamboglia et C. Lamboglia), en collaboration avec le laboratoire Ampère de Lyon-Villeurbanne.

Ce nouveau suivi avait pour but de comprendre les modalités de la fusion rapide du glacier souterrain et définir le rôle dit d'effet de site. Une attention particulière a été portée à la distribution de la température

en fonction du temps, au rôle des circulations de l'air entre les différents réseaux souterrains et aux relations avec l'extérieur. En 2009, l'espérance de vie du glacier avait été estimée à une dizaine d'années (Maire et *al.*, 2009). En 2017, la moitié supérieure du glacier a quasiment disparu et le glacier inférieur a fortement rétréci entraînant une déstabilisation mécanique du site (blocs instables, coulées de débris) (Caillault, 2015).



Figure 1 - A) Situation du massif du Marguareis et du gouffre de Scarasson. B) La Conca del Carsene sur le versant italien du Marguareis, la cavité se situe au milieu de la vallée karstique à 2 100 m. C) Le puits d'entrée de Scarasson (photos S. Caillault).



## CONTEXTE, CONTRAINTES ET MÉTHODOLOGIE

Dans les années 1960-1970, le glacier s'étagait sur 50 à 60 m d'épaisseur entre - 75 m et - 130 m de profondeur (Figure 2). Son toit est aujourd'hui vers - 130 m. Sa structure interne se caractérise par des centaines de niveaux horizontaux séparés par des lits plus sombres (argile, micro-grains de sols et de roche).

En 1962, une étude palynologique effectuée à partir d'un prélèvement de glace à - 107 m avait relevé une prédominance des pollens d'herbacées (Siffre et *al.*, 1963 ; Luetscher M., 2005). Ce résultat cohérent avec le contexte supra-forestier et la présence de pelouses alpines suggère une alimentation neigeuse du glacier (relation surface/profondeur). La présence souterraine de neige était encore visible en 2007 à la base du puits de 40 m située à proximité du glacier ; depuis la dernière décennie, elle a disparu ou quasiment disparu. Des prélèvements de glace effectués au sommet du glacier (culot supérieur) ont été analysés au Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement

de Grenoble (LGGE, CNRS). Les résultats des analyses en spectrométrie gamma indiquent qu'il n'y a pas traces de radioactivité, à savoir pas de traces de  $^{210}\text{Pb}$  « récent », ni de produits de fission de type  $^{137}\text{Cs}$  ou  $^{241}\text{Am}$ . La glace située au sommet du glacier en 2007 (aujourd'hui disparue à cause de la fonte) était donc antérieure à 1963, date des tests nucléaires majeurs en hémisphère nord, voire avant 1953, date des premières bombes H (Petit et Magand, 2011).

Le glacier souterrain de Scarasson était donc de type dynamique (Maire, 1976), à savoir qu'il dépendait directement d'une alimentation annuelle en neige aspirée par l'entrée. Comme pour les glaciers de surface, la genèse de la glace stratifiée est liée à la diagenèse des couches annuelles de neige par tassement, fusion et recristallisation. Il existe d'autres glaciers souterrains liés uniquement au regel souterrain de l'eau d'infiltration par le processus de piège à air froid (glace de regel) (Maire, 1977 ; Julian, 1972).



L'étude de tel glaciers est contraignante : karst de haute montagne, approche à pied uniquement l'été, progression spéléologique sur corde, transport du matériel, nécessité d'équiper et de déséquiper le gouffre à cause du gel des cordes et des fréquents écroulements liés à la déstabilisation mécanique du milieu.

Depuis l'été 2008, la cavité est instrumentée. Plusieurs capteurs de température et d'humidité ont été placés à différentes profondeur de la cavité : base du puits d'entrée (-11 m), base du puits de 30 m (-53 m) et base du puits de 40 m (-110). D'autres capteurs ont été installés autour du glacier (Figures 2 et 3). Un capteur de référence a été installé à l'extérieur au sommet d'une perche pour ne pas être recouvert en hiver par le manteau neigeux. En 2011, des capteurs de fonte de glacier par ultrasons ont été développés et installés. Soumis à une forte humidité et parfois à des écroulements de blocs et de glace, certains capteurs ont été bousculés et leurs enregistrements stoppés. Plusieurs résultats de cette étude sont présentés et discutés.

Figure 2 (à droite) - Coupe du gouffre de Scarasson (Y. Créac'h 1962, CMS 1976 et J. Boscart, 2008). Indication de la position des capteurs de température-humidité (astérisques rouges).

(Photos S. Caillault et R. Maire).

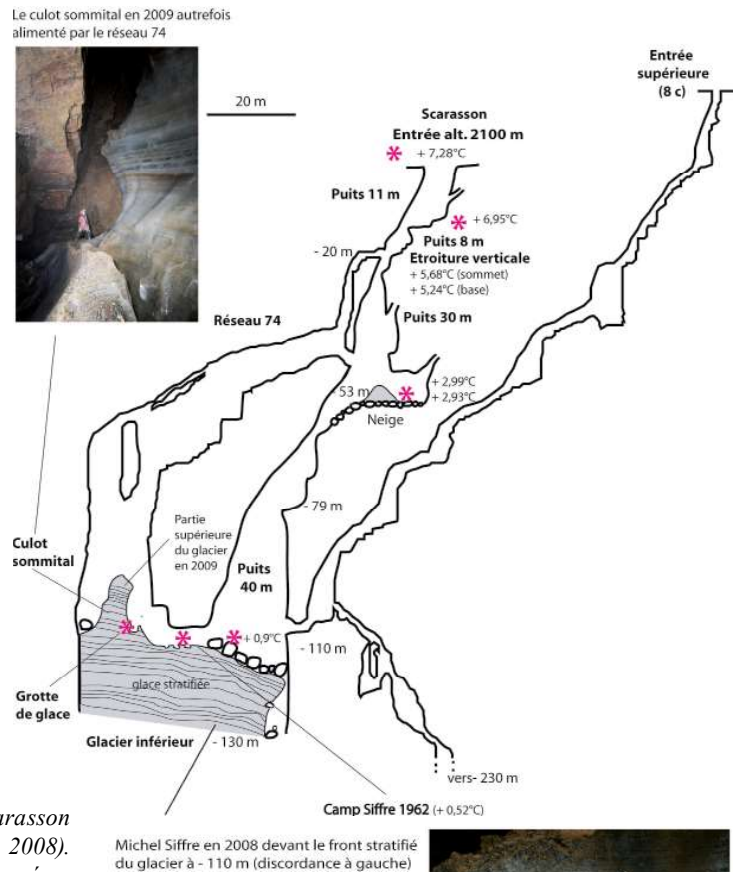


Figure 3 - Localisation des capteurs. A:) Entrée (perche). B) Base du puits de 11 m d'entrée. C) Base du puits de 40 m (-110 m). D) Dans la glace, camp Siffre (-110 m). E) Dans la grotte glacée sous le culot sommital. F) Capteurs ultrasons, camp Siffre (-110 m) (Photos S. Caillault).

## MESURES DIRECTES DE L'ABAISSEMENT DU GLACIER – CAMP SIFFRE

La mesure de l'abaissement du glacier au niveau du camp Siffre entre 2008 et 2015 a pu être réalisée grâce à une ligne rouge horizontale, repère marqué par Michel Siffre matérialisant le niveau du glacier lors de son expérience « hors du temps » en 1962

(Figure 4). Entre 1962 et 2015, l'abaissement a été de l'ordre de 210 cm, mais la fonte a eu lieu tardivement, à partir des années 2000. Ainsi entre 2008 et 2017, l'abaissement a été de 135-140 cm, soit une moyenne de 15 cm/an.

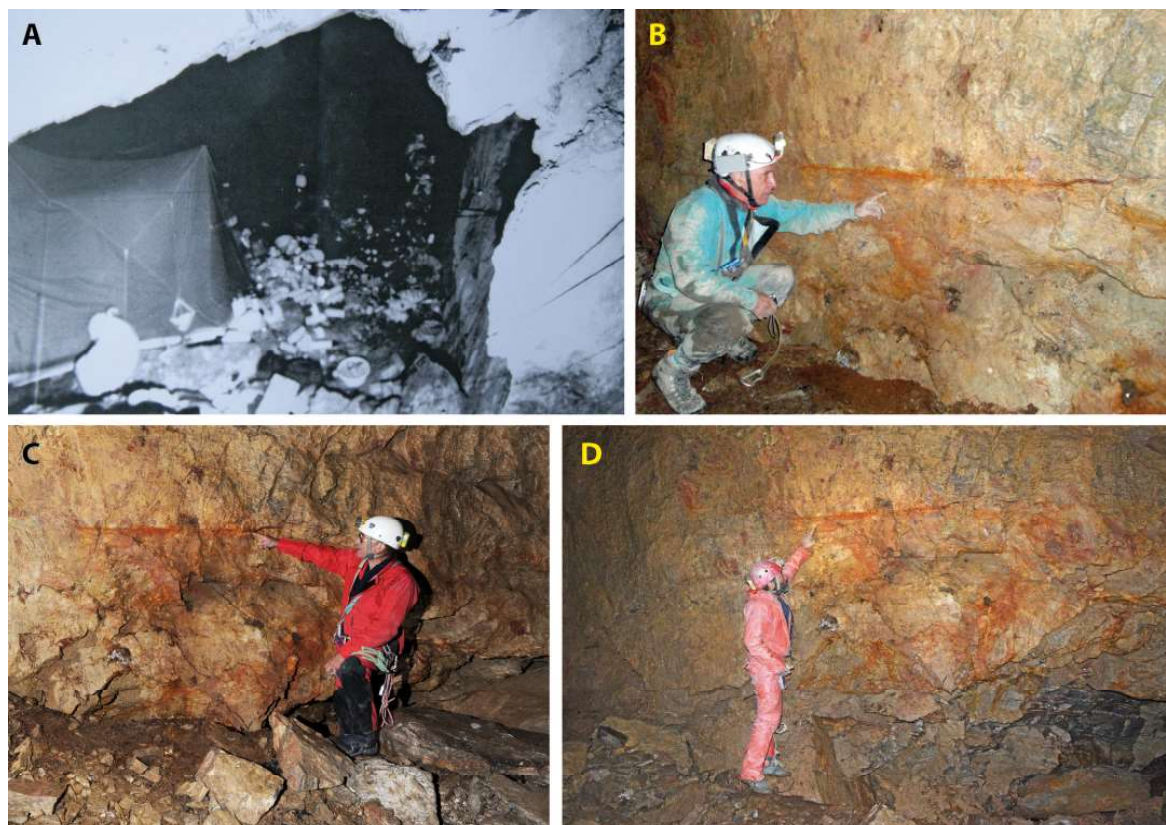


Figure 4 - Abaissement de la surface du glacier au niveau du camp Siffre à - 110 m. A) Situation en 1962 (campement Siffre), niveau zéro (archive M. Siffre). B) 2008, abaissement de 76 cm (repère ligne rouge). C) 2012, abaissement de 150 cm. D) 2015, abaissement de 210 cm. (B-C-D : photos R. Maire).

## ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE

Différents capteurs de température ont été installés, le premier à l'extérieur, les autres à la base des principaux puits, enfin autour du glacier, ainsi que dans le nouveau réseau 74 non représenté sur la coupe (Figure 2). Les amplitudes de mesure sont d'autant plus faibles que l'on est à proximité du glacier. La résolution des mesures doit donc être d'autant plus fine. A l'extérieur une résolution minimum de 0,5°C et à la base du premier puits (- 11 m), une résolution de 0,1°C sont suffisantes. Autour du glacier, la résolution doit être encore plus fine : 0,01°C, voire 0,001°C pour suivre l'évolution du microclimat qui environne le glacier. Tous les capteurs de température sont référencés par rapport à un thermomètre étalonné à  $\pm 0,03^\circ\text{C}$  *in situ*. La période annuelle étudiée va de septembre 2009 à août 2010.

Les températures au-dessous de zéro à l'extérieur apparaissent dès le mois de novembre, jusqu'au

mois de mai (Figure 5). À la base du puits d'entrée, on retrouve les mêmes variations de la température qu'à l'extérieur mais plus tamponnées (Figure 5a). À partir du mois d'avril, ces variations sont encore plus filtrées. La roche a dû accumuler le froid et elle fait tampon. On note une forte augmentation de la température début juillet. Plus en profondeur, à la base du puits de 40 m ou encore dans la grotte glacée, on retrouve les mêmes variations, mais à chaque fois plus filtrées et avec une amplitude moindre (Figure 5b).

Les variations de la température extérieure sont très importantes : de +25°C en été à -17°C en hiver, soit une amplitude de 42°C. À la base du premier puits, les variations de la température ne sont plus que de +11°C l'été à -6°C l'hiver, soit une amplitude de 17°C. A la base du puits de 40 m, les variations sont beaucoup plus atténuées : de +1,6°C l'été à -0,4°C l'hiver, soit une amplitude de 2°C. Dans la grotte du glacier,



les variations sont encore plus faibles, de  $+0,2^{\circ}\text{C}$  à  $-1,2^{\circ}\text{C}$ , soit  $1,4^{\circ}\text{C}$  d'amplitude. Les températures négatives à la base du premier puits sont mesurées de début décembre à fin avril et à la base du puits de 40 m, de début février à fin mars. Actuellement, on ne peut pas tirer d'information directe entre la température et la fonte du glacier sans y associer l'humidité et

surtout les débits d'air circulant autour du glacier ainsi que les flux géothermiques. Mais il existe un constat fondamental sur le bilan calorique : les périodes de températures négatives sont nettement inférieures aux périodes de températures positives lors de l'expérimentation menée dans un contexte de changement climatique.

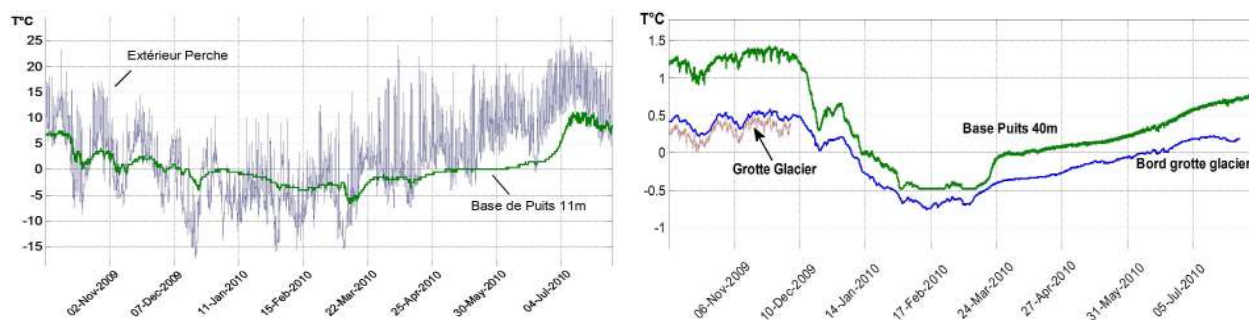


Figure 5 - À gauche : évolution de la température extérieure (en bleu) et à la base du puits d'entrée à 11 m (en vert) de septembre 2009 à août 2010. Très forte amplitude externe ( $42^{\circ}\text{C}$ ) et amplitude assez forte à -11 m ( $17^{\circ}\text{C}$ ). À droite : évolution comparée de la température à la base du puits de 40 m (-110 m), au niveau du glacier et de la grotte du glacier. Température négative de 5 mois au bord de la grotte du glacier (janvier à mai) et de 2 mois à la base du puits (mi-janvier à mi-mars).

La température hivernale négative sur la période du 26/02 au 02/03/2010 est étudiée dans la grotte de glace. La résolution du capteur est inférieure au millièm de degré ( $0,001^{\circ}\text{C}$ ) (Figure 5c). A cette résolution, il est évidemment impossible de parler de valeur absolue. Par contre, on peut observer des petites variations significatives qui ne sont pas liées à un « bruit de fond ». Ces fluctuations non journalières, mériteraient d'être analysées plus finement pour montrer le fonctionnement du microclimat.

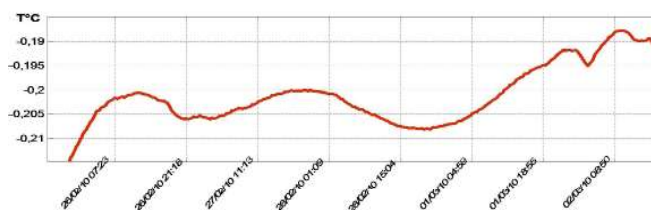


Figure 5c - Zoom sur la température de la sonde placée dans la grotte de glace du 26/02/2010 au 2/03/2010.

## MESURE DE L'HUMIDITE

Le taux d'humidité a été étudié notamment à la base du premier puits (-11 m) et sur le glacier au niveau du camp Siffre (-110 m). Pour ces deux capteurs, le taux est supérieur à 90 % dans la majorité du temps. Pour celui placé à la base du premier puits, les amplitudes sont plus importantes que celui du camp Siffre car il est influencé par le climat extérieur et le sens de la ventilation saisonnière aspirante ou soufflante. Pour le capteur du camp Siffre, le taux d'humidité est de 100 % quand la température est positive (Figure 6). En hiver, de janvier à mars, quand la température autour du glacier est négative, on relève des variations de l'hygrométrie (de 85 à 100 %). Autour du glacier, elles sont un peu plus importantes

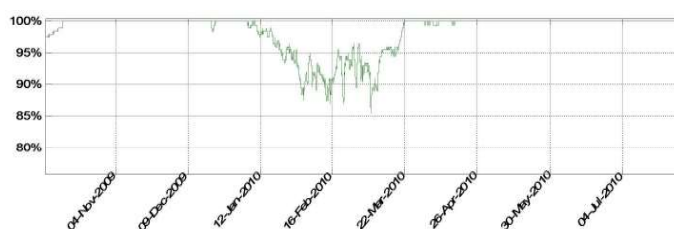


Figure 6 - Mesure du taux d'humidité au camp siffre (-110 m).

qu'à la base du premier puits : 15 % contre 10 %. Tout le reste de l'année, le taux d'humidité atteint 100 % ce qui se traduit par la présence d'eau de condensation sur le plafond du camp Siffre.

## MESURE DE LA FONTE ET DU REcul DU GLACIER

Pour mesurer le recul du glacier, donc une distance, plusieurs solutions sont possibles. On peut citer parmi les différentes technologies de capteurs, les mesures optiques, capacitatives, ultrasons, micro-ondes. De plus le capteur ne doit pas toucher le glacier, tout objet en contact accélère ou ralentit la fonte du glacier au point

de contact. Les mesures optiques telles que les lasers ne fonctionnent pas, car le faisceau est absorbé par la glace et n'est pas réfléchi par la surface. Les mesures capacitatives permettent la mesure sur de courtes distances de quelques centimètres à 10 cm. Celles des micro-ondes sont trop coûteuses en termes d'énergie

électrique. Il reste celles bien connus des ultrasons. Le principe est basé sur le temps de propagation de l'onde sonore. On émet une onde sonore qui se réfléchit sur l'obstacle, et on compte le temps pour qu'elle revienne. Le temps de parcours dépend principalement de la température de l'air. Les variations de la température ne sont que d'un peu plus d'un degré et n'ont qu'une influence de 0,3 %. L'humidité et la pression atmosphérique ont également une influence cumulée moindre, inférieure à 0,1 %. Dans un premier temps, nous pouvons négliger ces influences.

La solution adoptée est donc basée sur un capteur d'ultrasons. Il mesure le temps de propagation de l'onde entre l'émetteur et le récepteur disposés sur le même boîtier et la réflexion de l'onde sur la surface du

glacier. La plage de mesure est comprise entre 20 cm et 140 cm avec une précision absolue de 3 mm. Deux centrales de mesures regroupant capteur, carte d'acquisition et piles ont été installées à proximité du camp Siffre pendant l'été 2011 (Figure 3f). Le pas de mesure est de 30 mn avec une autonomie d'au moins deux ans. Les premiers résultats pour la période de juillet 2011 à janvier 2012 sont montrés dans la Figure 7, en comparant le retrait de la glace (distance capteur-glace) et l'évolution de la température au même point. La mesure de la hauteur (retrait), entre le capteur et le plancher de glace du camp Siffre, n'est pas enregistrée de manière continue. Sur des périodes plus ou moins longues le capteur n'a pas enregistré de signal. Des microgouttelettes se sont déposées à la surface de la sonde à ultrasons atténuant fortement le signal.

On peut tout de même connaître la fonte du glacier qui est de l'ordre de 12 cm sur l'année (Figure 7). On observe également une stabilité de la fonte pendant l'hiver et le printemps. La fonte est nettement accélérée durant l'été comme le montre la courbe.

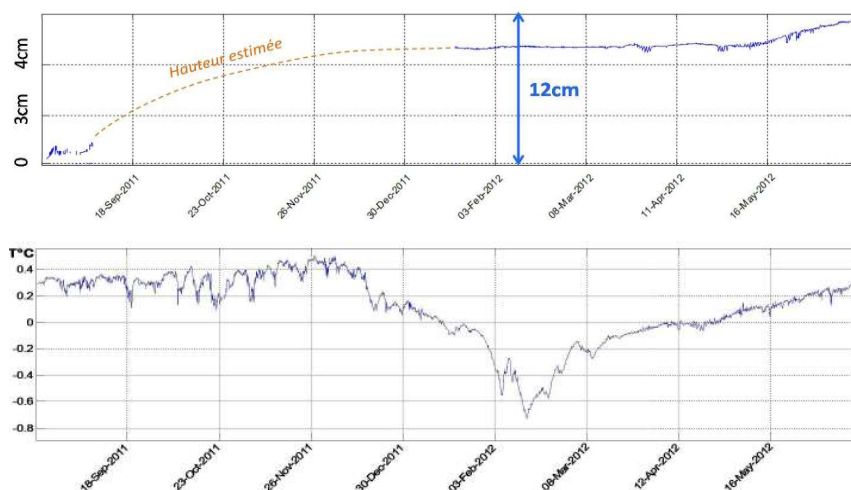


Figure 7 - En haut : mesure de la fonte du glacier à partir du capteur à ultrasons (en pointillé une estimation de la fonte).

En bas : évolution de la température de l'air mesurée au niveau du capteur à ultrasons.

## INTERPRÉTATION : ÉVOLUTION DU GLACIER

La fusion accélérée du glacier souterrain de Scarasson est un exemple exceptionnel qui illustre la disparition progressive, non linéaire, d'une formation dont l'équilibre (bilan de masse) dépend de l'alimentation nivale comme un glacier de surface (voir illustrations page suivante). L'équilibre thermodynamique a été rompu à la fin du 20<sup>e</sup> siècle lorsque l'alimentation neigeuse a été ralentie, puis quasiment interrompue. La première question est de savoir quand, comment et pourquoi cette alimentation a été ralentie, puis stoppée.

La première hypothèse était de vérifier l'origine exacte de la neige : puits d'entrée de 11 m et éventuellement d'autres orifices inconnus. Jo Lamboglia, en juillet 2008, a exploré les plafonds du réseau 74 qui alimentait autrefois le glacier de Scarasson (Oddou et Sounier, 1986) (Figure 2). Or il n'existe aucune arrivée susceptible d'alimenter le glacier hormis le puits d'entrée. Par conséquent, le réseau n'absorbe presque plus de neige par le puits d'entrée de 11 m sans doute depuis plusieurs décennies à cause d'une modification du régime de la ventilation souterraine. En effet l'exploration du gouffre supérieur numérotée 8C a permis de jonctionner avec le gouffre de Scarasson

vers -100 m ; les spéléologues ont élargi la lucarne permettant d'accéder dans le réseau, modifiant ainsi le débit d'air et surtout interrompant en grande partie le processus d'aspiration par le gouffre de Scarasson. Depuis 10 ans, on n'observe plus de neige absorbée par le réseau 74 qui était autrefois la zone d'alimentation principale (glacier supérieur). Dans le réseau classique, l'accumulation de neige à la base du puits de 30 m est très réduite.

Le rôle du changement climatique n'est pas prouvé même si la durée du manteau neigeux a probablement diminué comme c'est le cas dans l'ensemble de la chaîne alpine depuis les années 1980 (Francou et Mélières, 2017).

Quelle que soit la cause de l'interruption de l'alimentation neigeuse, l'évolution du glacier a permis de mettre en évidence une dynamique d'accélération de la fusion et un zoom sur l'évolution de la physique de la glace. Les courbes de température montrent clairement que l'hiver souterrain ( $T < 0^{\circ}\text{C}$ ) est de l'ordre de 4 mois, alors que la période de fonte dure 8 mois. Cela se traduit par une diagenèse rapide des couches de glace se manifestant par des transitions de phase dans





Évolution du glacier entre 1962 et 2012. A) 1962, Michel Siffre au niveau du contact entre la partie supérieure et inférieure du glacier. B) 1963, Claude Lorius devant le mur de glace stratifiée du camp Siffre (A-B, archives M. Siffre). C) et D) État du glacier supérieur en 2012 (photos S. Caillault).



Processus de fusion du glacier. A) Culot sommital et fusion-recristallisation des strates annuelles en niveaux plus épais. B) Stries de Forel typiques liées aux micro-circulations sur le pourtour des grains de glace. C) et D) Processus de transition de phase dans la glace avec remontée lente des bulles d'air, circulation d'eau dans des canalicules et genèse de glace transparente. Largeur : c = 20 cm, d = 4 cm (photos S. Caillault).



le solide autour de  $\pm 0^{\circ}\text{C}$  bien mises en évidence durant l'été 2009 sous forme de panaches de microbulles et de bulles d'air, de microcirculations d'eau (canalicules, stries de Forel), de glace totalement transparente, de transformation des couches annuelles de glace en couches épaisses de glace transparente. Le reportage photographique réalisé par Serge Caillaud en août 2009 permet de visualiser toutes les formes et micro-

formes de cette diagenèse accélérée remarquablement illustrée par la fusion du culot sommital du glacier. Ce cas ne s'est pas reproduit avec la même intensité durant les autres années. Par contre, la dynamique du glacier avait déjà fait l'objet d'observations intéressantes dès 1961-62, notamment l'avancée du glacier, la fusion estivale et la remontée des bulles au sein de la glace (Créac'h, 1962).

## CONCLUSION

La campagne de mesure depuis 2008 a permis de relever la température et l'humidité en différents points. Elle a permis de développer aussi un capteur à ultra-sons à faible coût pour la mesure de l'abaissement du glacier. Ce capteur doit être amélioré afin de diminuer sa sensibilité à l'humidité ambiante. Les variations à différentes échelles, selon les sites, révèlent la grande complexité dynamique d'un système climatique souterrain « ouvert » (Lismonde, 2002). Elle montrent aussi

l'importance de la variation des paramètres majeurs comme la température à travers les circulations d'air, les relations avec l'extérieur et les autres cavités, le climat extérieur, le flux géo-thermique, enfin la masse de glace elle-même qui entretient son propre micro-climat et engendre des boucles de rétroaction négatives qui vont en s'accroissant au fur et à mesure que le glacier diminue. L'instrumentation de la cavité et du glacier va se poursuivre afin de préciser une telle évolution.

## Remerciements

ANR Climanthrope (2006-2011), Comité Scientifique du CAF (FFCAM), Club Martel de Nice (refuge du Marguareis) et tous les spéléologues qui nous ont aidés et accompagnés lors de l'étude du glacier souterrain de Scarasson dont Marc Michaud et Thierry Vilatte qui nous ont quitté récemment.

## BIBLIOGRAPHIE

- BOSCART J., 2008. Gouffre Scarasson (Italie, Piémont, massif du Marguareis). *Spéléo Magazine*, 64, 18-23.
- CAILLAULT S., 2015. Le Glacier du Scarasson disparaît. *Spéléo Magazine*, 89.
- CENTRE MÉDITERRANÉEN DE SPÉLÉOLOGIE, 1976. Bulletin des phénomènes karstiques. N°1, CMS, Nice, 130 p.
- CRÉAC'H Y., 1962. Le gouffre de Scarasson. Nouvelles observations. *Spéléologie*, 34, juillet-septembre 1962, Club Martel, CAF, Nice, 5 p.
- FRANCOU B., MÉLIÈRES M.A., 2017. Le déclin du manteau neigeux : quel impact du ski en station ? *La Montagne*, revue de la FFCAM (à paraître).
- JULIAN M., NICOD J., ORENGO C., 1972. Recherches de morphologie karstique et glaciaire dans le massif du Marguareis. *Méditerranée*, 1, 81-99.
- LISMONDE B., 2002. Climatologie du monde souterrain: modèles des circulations d'air et des transferts de chaleur, vapeur d'eau et CO<sub>2</sub>. Aérologie des systèmes karstiques. Ed. du CDS Isère, 362 p.
- LOCHEY M., MICHEL P., 2009. L'histoire du Marguareis : un mythe vivant. *Spéléo Magazine*, 68, 16-17.
- LUETSCHER M., 2005. Processes in ice caves and their significance for paleoenvironmental reconstructions. *SISKA and University of Zurich*, 154 p.
- MAIRE R., 1976. Recherches géomorphologiques sur les karsts haut-alpins des massifs de Platé, du Haut-Giffre, des Diablerets et de l'Oberland occidental. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Université de Nice, 456 p.
- MAIRE R., 1977. Glaces souterraines d'altitude dans les massifs du Haut-Giffre, de l'Oberland et dans quelques régions de comparaison. *Studi Trentini di Scienze Naturali*, 54, Geologica, Trento, 113-122.
- MAIRE R., CLUB MARTEL NICE, VALLA FR., DECKER J., SIFFRE M., MICHAUX M., CAILLAULT S., MOREL L., 2009. Alpes Maritimes : le gouffre du Scarasson. Chronique d'une disparition annoncée. *Spéléo Magazine*, 68, 12-15.
- ODDOU A., SOUNIER J.P., 1986. Spéléo sportive au Marguareis. Edisud, 176 p.
- PETIT J.R., MAGAND O., 2011. Résultats spectres gamma, échantillons de glace de Scarasson. Documents inédits, LGGE, CNRS, Grenoble.
- SIFFRE M., LORIS C., MERLIVAT L., 1963. Sur le glacier souterrain du gouffre de Scarasson, massif du Marguareis. *C. R. Acad. Sc.*, t. 256, 4703-4706.
- SIFFRE M., 1966. Operation Beyond Time. *NSS News, National Speleological Society*, 24, 10, 222-227.
- SIFFRE M., 1975. Dans les abîmes de la Terre. Flammarion, 302 p.