

Des stalagmites informent sur les fluctuations passées du Glacier supérieur de Grindelwald.

Marc Luetscher¹, Arniko Böke, Silvia Frisia, Dirk Hoffmann, Christoph Spötl

Résumé étendu et adapté d'un article original paru dans *Earth and Planetary Science Letters*, 302 (2011), 95–106.

Dans de nombreuses vallées alpines, les esprits restent fortement marqués par les oscillations répétées de nos glaciers. Alors que le récent réchauffement climatique induit un retrait rapide d'une large majorité de langues glaciaires, plusieurs villages furent directement menacés par des avancées majeures au cours des derniers siècles.

A Grindelwald par exemple, pâturages et granges en périphérie du village furent détruits lors du « Petit Age Glaciaire », entre ~1600 et 1860 AD (ZUMBÜHL, 1980). Plus récemment, une avancée significative des Glaciers de Grindelwald fut observée dans les années 1980, invariablement suivie d'un retrait de plus de 500 m (VAW,

2012), illustrant la dynamique du système et sa réaction rapide aux changements climatiques.

Une documentation historique détaillée, incluant photographies, gravures et descriptions manuscrites, permet de reconstruire les fluctuations des glaciers alpins sur près d'un demi-millénaire (e.g. ZUMBÜHL, 1980). Au delà de cette période, les interprétations paléoclimatologiques reposent sur l'observation détaillée des moraines et la datation radiocarbone de reliques de bois, témoins d'une végétation passée. Il n'en demeure pas moins d'importantes incertitudes quant à la distribution spatiale et temporelle de ces événements.

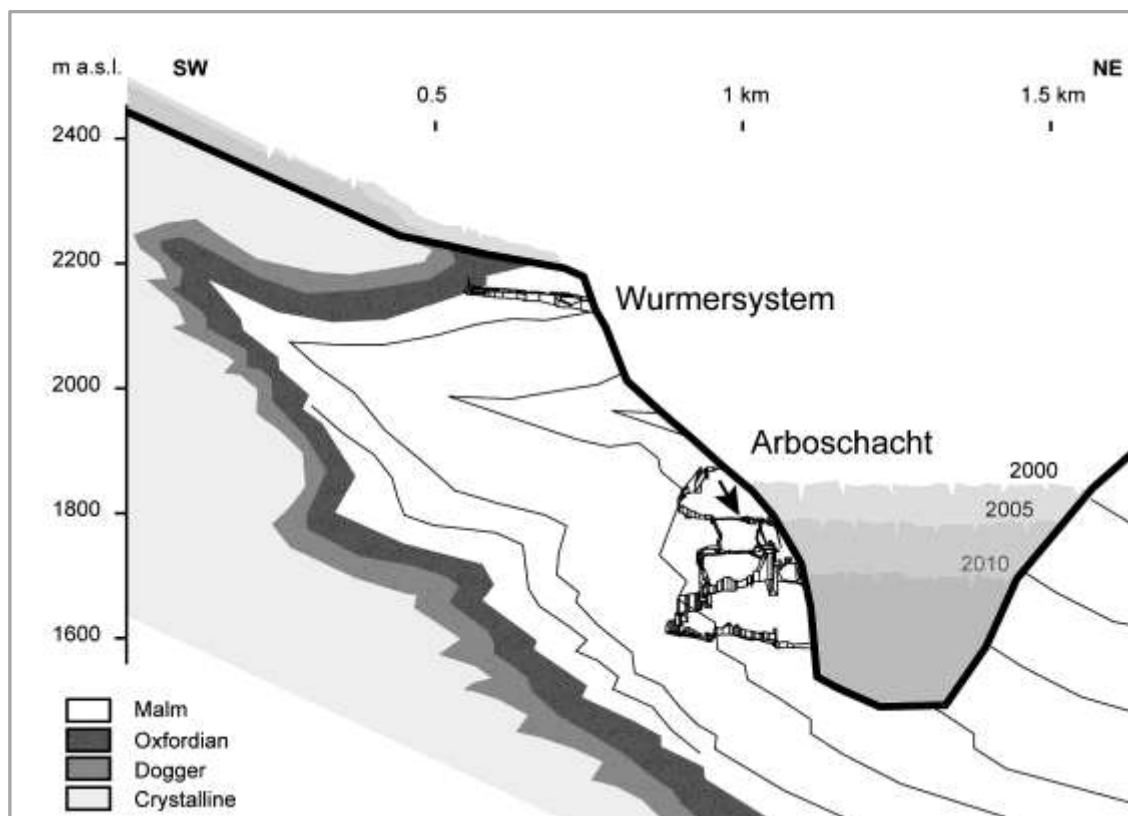


Fig. 1 : Contexte géologique de l'Arboschacht et niveau du glacier observé au cours des dernières années. L'emplacement de l'échantillon prélevé est marqué par une flèche.

¹ Institut für Geologie, Universität Innsbruck
marc.luetscher@uibk.ac.at

Les sédiments des grottes et plus particulièrement les concrétions constituent une archive inédite pour l'étude de ces fluctuations glaciaires. S'il est communément admis que la formation de concrétions est étroitement liée à la présence de sol en surface, la dissolution du carbonate peut également être initiée par l'oxydation de pyrite présente dans la roche mère. Dans de telles circonstances, une croissance continue de stalagmites peut-être observée malgré la présence d'un glacier en surface.

Situé le long du glacier supérieur de Grindelwald, sur le versant Est du Mettenberg, le réseau spéléologique de la Milchbach (STETTLER & HÄUSELMANN, 1999) représente un site particulièrement propice pour la reconstruction des fluctuations glaciaires au cours de l'Holocène, i.e. les derniers 10'000 ans. La documentation topographique disponible dès 1870 (carte Siegfried TA 396) suggère un bassin d'alimentation encore largement couvert de glace à la fin du Petit Age Glaciaire. Suite à la fonte massive observée ces dernières décennies, une entrée supérieure du réseau, l'Arboschacht (BÖKE & STETTLER, 2005), permet d'accéder à une vaste zone de puits recoupant 4 anciens niveaux phréatiques donnant sur la vallée (Fig. 1). Au gré des avancées et retraits glaciaires, ces conduits furent périodiquement obstrués par la glace, modifiant le régime hydrologique et la ventilation souterraine contrôlant le concrétionnement au sein de la grotte.

L'étude détaillée d'un échantillon de stalagmite ayant crû entre 6.1 et 6.5 ka² montre de nettes variations pétrographiques attribuées à ces changements environnementaux majeurs (Fig. 2). Une calcite « en colonnes » massive et translucide, indicative d'un concrétionnement régulier, se trouve entrecoupée par de fines couches blanches, typique d'une médiation bactériologique analogue aux dépôts de tuf ou de mondmilch. L'analyse isotopique de ces couches révèle une diminution du $\delta^{18}\text{O}$ d'approx. 1‰ associé à une température de cristallisation plus élevée. De même l'analyse simultanée de $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ le long d'une seule et unique couche suggère un plus fort fractionnement, probablement associé à la présence d'un important courant d'air.

La Figure 3 montre que de tels changements pétrographiques sont observés de manière synchrone dans l'ensemble des concrétions analysées dans la Galerie 1750. Nous en déduisons qu'il ne s'agit pas là d'un phénomène isolé, spécifique à une seule gouttière, mais bel et bien la signature d'un seul et même changement environnemental affectant l'ensemble de cette galerie. L'interprétation la plus vraisemblable est que ces couches blanches soient associées à une phase majeure de retrait du glacier, permettant le développement d'une couverture végétale dans le bassin d'alimentation et favorisant une ventilation par « effet cheminée » au sein du système karstique.

Elaborant sur ce modèle conceptuel, il devient possible de reconstituer les fluctuations du Glacier supérieur de Grindelwald pour une grande partie de l'Holocène. Malheureusement, il ne nous a pour l'heure pas été possible d'identifier de stalagmite récente dans la galerie 1750 permettant d'étendre cette reconstruction aux 2 derniers millénaires en vue d'une calibration optimale de cette interprétation. La synthèse des résultats présentée dans la Figure 4 démontre néanmoins une bonne corrélation avec des périodes d'avancées glaciaires identifiées il y a 2500 ans au Glacier d'Aletsch par exemple. De même les phases de retraits observées entre 6.2 et 5.8 ka corrélient bien avec des datations radiocarbone de bois trouvés en marges de glaciers aujourd'hui dépourvus de végétation. Notre étude révèle toutefois que cette phase de retrait se compose probablement de 4 pulsations distinctes offrant ainsi une résolution temporelle plus élevée que la plupart des autres archives disponibles. Il est cependant à noter que nous interprétons une phase d'avancée glaciaire entre 4.8 et 4.6 ka alors que d'autres auteurs associent cette période à un retrait glaciaire accompagné d'une migration en altitude de la limite des arbres. Cette discordance est vraisemblablement associée à une réponse locale propre au Glacier supérieur de Grindelwald.

De manière générale, l'amplitude des fluctuations glaciaires a fortement varié au cours de l'Holocène. Alors que d'importantes phases de retraits furent périodiquement observées avant 5.8 ka, celles-ci devinrent nettement

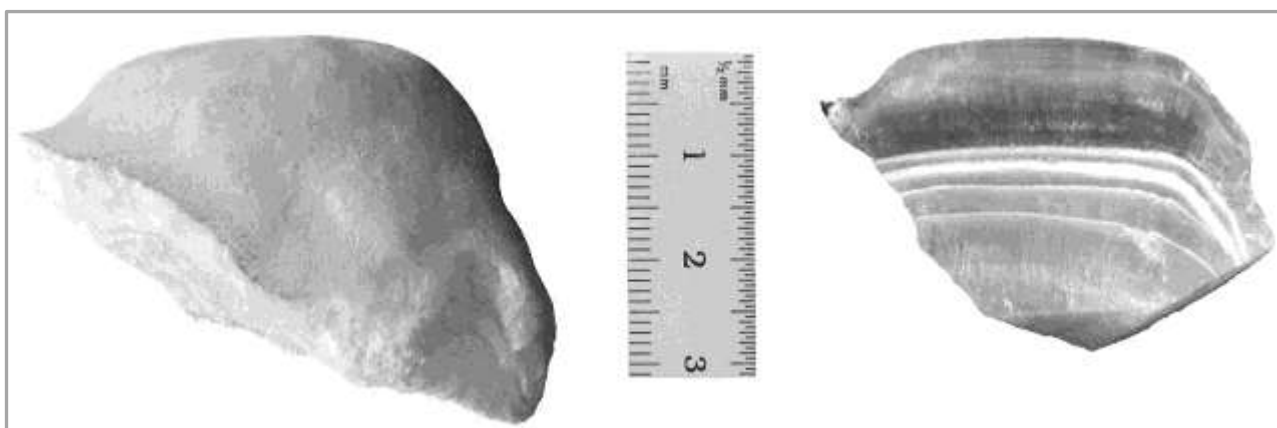


Fig. 2 : Echantillon stalagmitique prélevé dans la Galerie 1750 de l'Arboschacht. L'analyse macroscopique révèle une alternance de couches de calcite massive avec de fines couches blanches et opaques.

² ka: 1'000 ans; i.e. 6.2 ka b2k = 6'200 ans avant 2'000 AD

plus réduites par la suite. A partir de 3.8 ka, la langue du Glacier supérieur de Grindelwald atteint une dimension proche de son maximum. Au cours du 20^{ème} siècle, par contre, le retrait atteint des niveaux similaires aux minima observés durant l'Holocène précoce.

Ces résultats illustrent le potentiel scientifique représenté par l'étude détaillée du concrétionnement d'une grotte.

Bien que la dynamique propre à chacune des cavités puisse considérablement compliquer l'interprétation de cette archive, une étude soignée du milieu de dépôt permet souvent d'en extraire une information unique, contribuant de manière significative à la reconstruction de notre environnement passé.

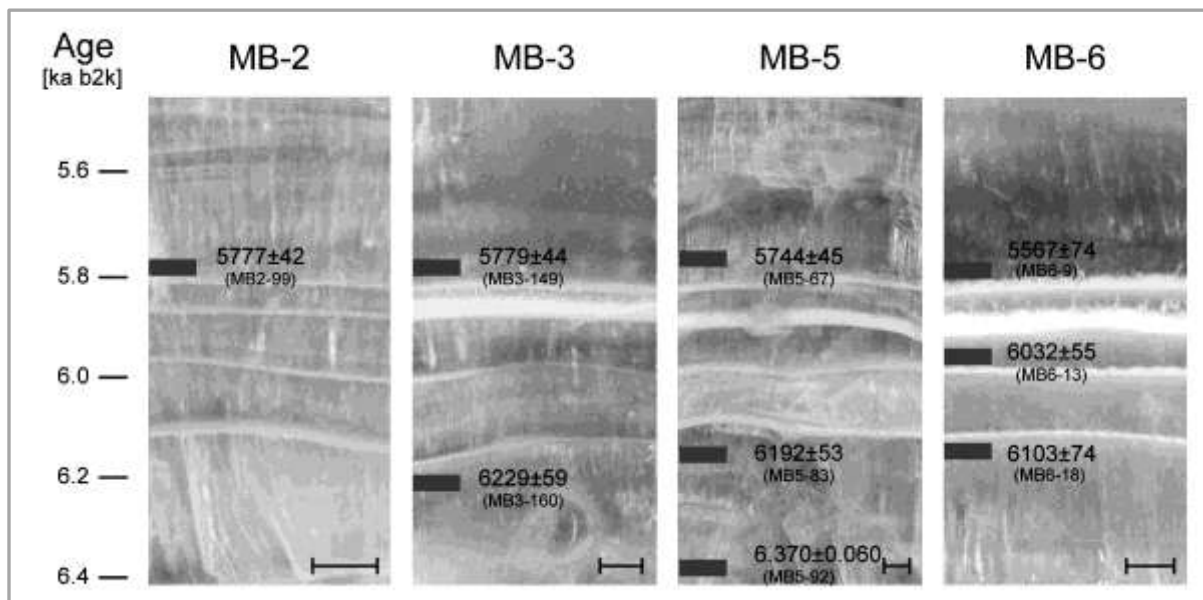


Fig. 3 : Datations U/Th de 4 échantillons stalagmitiques illustrant la synchronicité des changements pétrographiques observés; échelle = 2 mm.

Fig. 4 voir page suivante.

Références :

- BÖKE A., STETTLER B. (2005): Milchbachhöhle und Arboschacht — Neues über die Karstentwässerung eines Gletschers / Milchbachhöhlen et gouffre Arbo – du nouveau sur l'écoulement d'un glacier. *Stalactite*, 55 (2), 56-58.
- DEBRET M., CHAPRON E., DESMET M., ROLLAND-REVEL M., MAGAND O., TRENTESAUX A., BOUT-ROUMAZEILLE V., NOMADE J., ARNAUD F. (2010): North western Alps Holocene paleohydrology recorded by flooding activity in Lake Le Bourget, France. *Quaternary. Science Reviews*, 29, 2185–2200.
- HOLZHAUSER H. (1984): Zur Geschichte der Aletsch- und des Fieschergletschers, *Phys. Geogr.*, 13, 448 p., Zürich.
- JOERIN U.E., NICOLUSSI K., FISCHER A., STOCKER T.F., SCHLÜCHTER C. (2008): Holocene optimum events inferred from subglacial sediments at Tschierwa Glacier, Eastern Swiss Alps. *Quaternary Science Reviews*, 27, 337–350.
- JOERIN U.E., STOCKER T.F., SCHLÜCHTER C. (2006): Multicentury glacier fluctuations in the Swiss Alps during the Holocene. *Holocene* 16, 697–704.
- MAGNY M. (2004): Holocene climatic variability as reflected by mid-European lakelevel fluctuations, and its probable impact on prehistoric human settlements. *Quaternary International*, 113, 65–79.
- NICOLUSSI K., KAUFMANN, M., PATZELT, G., VAN DER PLICHT, J., THURNER, A., 2005. Holocene treeline variability in the Kauner Valley, Central Eastern Alps, indicated by dendrochronological analysis of living trees and subfossil logs. *Veg. Hist. Archeobotany* 14, 221–234.
- PATZELT G., BORTENSLAGER S. (1973): Die postglazialen Gletscher- und Klimaschwankungen in der Venedigergruppe (Hohe Tauern, Ostalpen). *Z. Geomorph. Suppl.* 16, 25–72.
- STETTLER B., HÄUSELMANN, P. (1999): Milchbachhöhlen – Die Erforschung des ältesten Grindelwaldners / Milchbachhöhlen – l'exploration du plus ancien Grindelwaldois. *Stalactite*, 49 (1), 7-14.
- VAW (2012): Glacier Monitoring Service. <http://glaciology.ethz.ch/messnetz/index.html> (accedé le 07/02/2012).
- ZUMBÜHL H. (1980): Die Schwankungen der Grindelwaldgletscher in den historischen Bild- und Schriftquellen des 12. bis 19. Jahrhunderts: *Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft*, 92, 1–279.

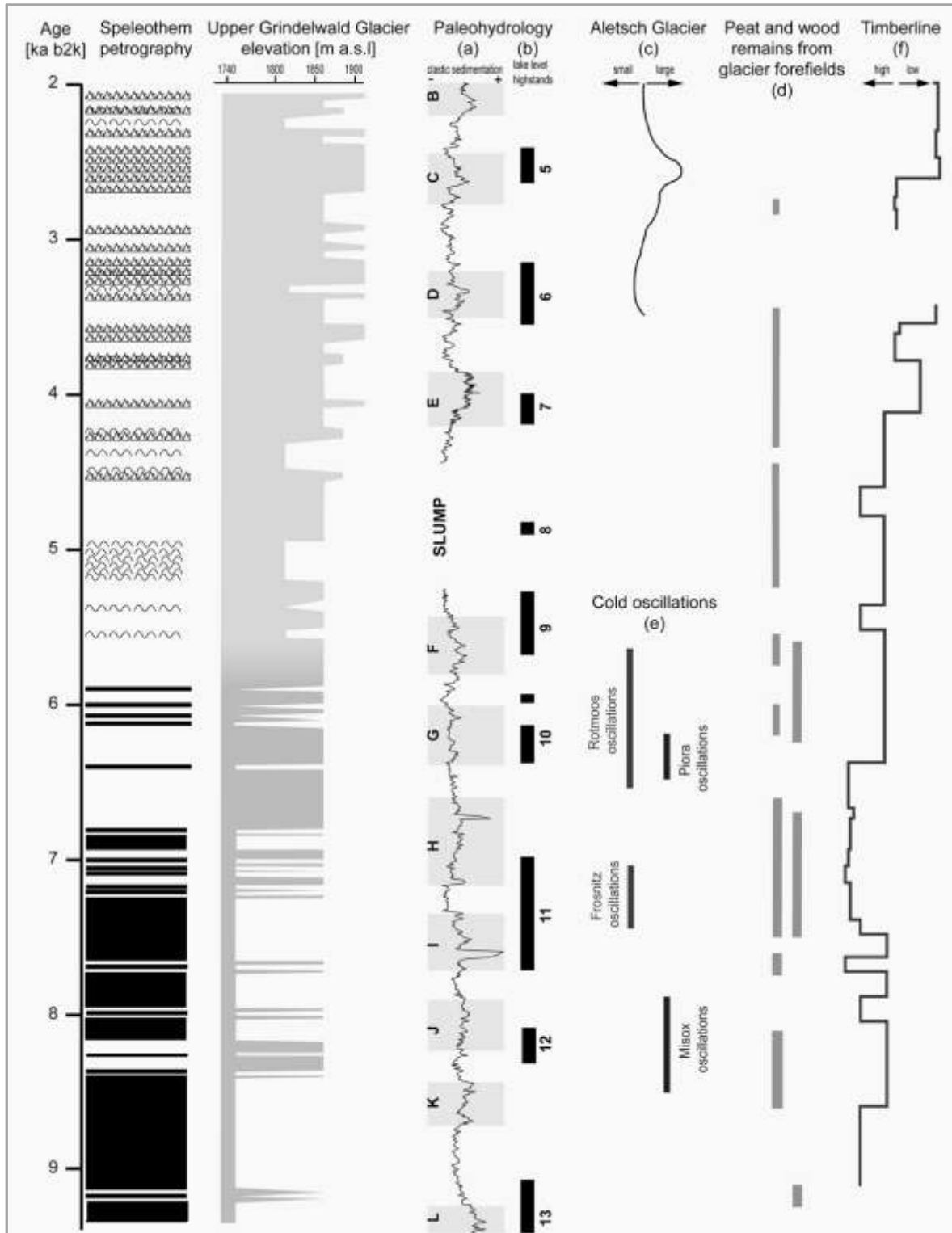


Fig. 4 : Reconstruction des fluctuations du Glacier supérieur de Grindelwald basé notamment sur des critères pétrographiques et comparaison avec d'autres archives environnementales disponibles pour la même période : a) phases de sédimentation du Lac Bourget, Savoie, France (DEBRET et al., 2010), b) niveau des lacs jurassiens (MAGNY, 2004), c) fluctuations du glacier d'Aletsch (HOLZHAUSER et al., 2005), d) tourbes et bois déposés dans le bassin de glaciers alpins en retraits (JOERIN et al., 2006, 2008), e) période d'avancées glaciaires identifiées dans la chaîne alpine (e.g. PATZELT & BORTENSCHLAGER, 1973), f) fluctuations de la limite des arbres dans le Kaunertal (NICOLUSSI et al., 2005). Les changements pétrographiques observés dans le concretionnement incluent une alternance entre de la calcite massive en colonne (blanc) et de la calcite associée à une médiation bactériologique (noire). En outre, des inclusions organiques (ondelettes) pointent vers la présence d'un sol en surface alors qu'une cristallisation latérale (triangles) suggère un régime hydrologique transitoire associé à une couverture glaciaire.