

**Zeitschrift:** Actes de la Société jurassienne d'émulation  
**Herausgeber:** Société jurassienne d'émulation  
**Band:** 119 (2016)

**Artikel:** La grotte de Milandre, un témoin des climats du passé  
**Autor:** Affolter, Stéphane / Häuselmann, Anamaria  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-696996>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 03.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# La grotte de Milandre, un témoin des climats du passé

STÉPHANE AFFOLTER | ANAMARIA HÄUSELMANN

**La grotte de Milandre était au cœur du projet de recherche Stalclim<sup>1</sup> (acronyme pour stalagmite et climat) débuté en 2011 et financé par le Fonds national suisse de la recherche scientifique. Le but du projet étant de mieux comprendre les climats du passé en Suisse, notamment grâce au développement et à l'application de nouvelles techniques de mesure sur les stalagmites. Pour atteindre ce but, une évaluation du potentiel climatique de la grotte a été menée.**

## Introduction

La grotte de Milandre en Ajoie contient des concrétions calcaires (stalagmites, stalactites, fistuleuses, etc.), également appelées spéléothèmes (étymologie du grec *spelaiōn* signifiant la grotte et *thema* les dépôts), très bien préservées, qui représentent des archives climatiques d'intérêt majeur pour les régions de basse latitude au même titre que les carottes glaciaires au Groenland enregistrent les variations du climat du passé dans les régions polaires. À ce jour, les carottes de glace ont été étudiées en détail et ont livré des informations capitales et de haute qualité pour les 800 000 dernières années dans les régions polaires. Néanmoins, les informations paléoclimatiques relatives aux régions continentales de basse latitude sont plus disparates et principalement limitées aux périodes les plus récentes (de l'ordre de 10 000 ans) et sont basées sur d'autres archives terrestres, telles que les sédiments lacustres, les cernes d'arbres ou encore les carottes de glaciers. Parmi ces archives climatiques, les spéléothèmes présentent l'avantage de grandir pendant de longs intervalles de temps, et ce, jusqu'à des périodes reculées de l'ordre du million d'années, voire plus. En outre, on les trouve dans des régions karstiques réparties sur l'ensemble de la planète. Enfin, ces spéléothèmes sont préservés, dans la grotte, de l'érosion causée par les

conditions atmosphériques extérieures et agissent ainsi, comme des enregistreurs du climat présent au-dessus de la grotte à l'époque de leur formation.

Les stalagmites de Milandre peuvent être datées précisément grâce à la méthode de datation radiométrique uranium-thorium notamment, et elles enregistrent des informations propres aux changements climatiques ayant eu lieu en Suisse et, plus généralement, à l'échelle de l'Europe (Affolter *et al.* 2015, Affolter 2015, Hasenfratz 2012, Häuselmann 2015, Schmassmann 2010). Dans la grotte de Milandre, les premières datations ont montré que ces concrétions ont grandi de manière régulière à certaines époques dans le passé, par exemple durant les 14 000 dernières années (englobant l'époque Holocène) ou encore entre 90 000 et 125 000 ans (Häuselmann 2015). Durant la dernière période glaciaire correspondant à la fin du Pléistocène, le climat était plus froid et la formation de stalagmites a probablement été interrompue entre 14 000 et 90 000 ans.

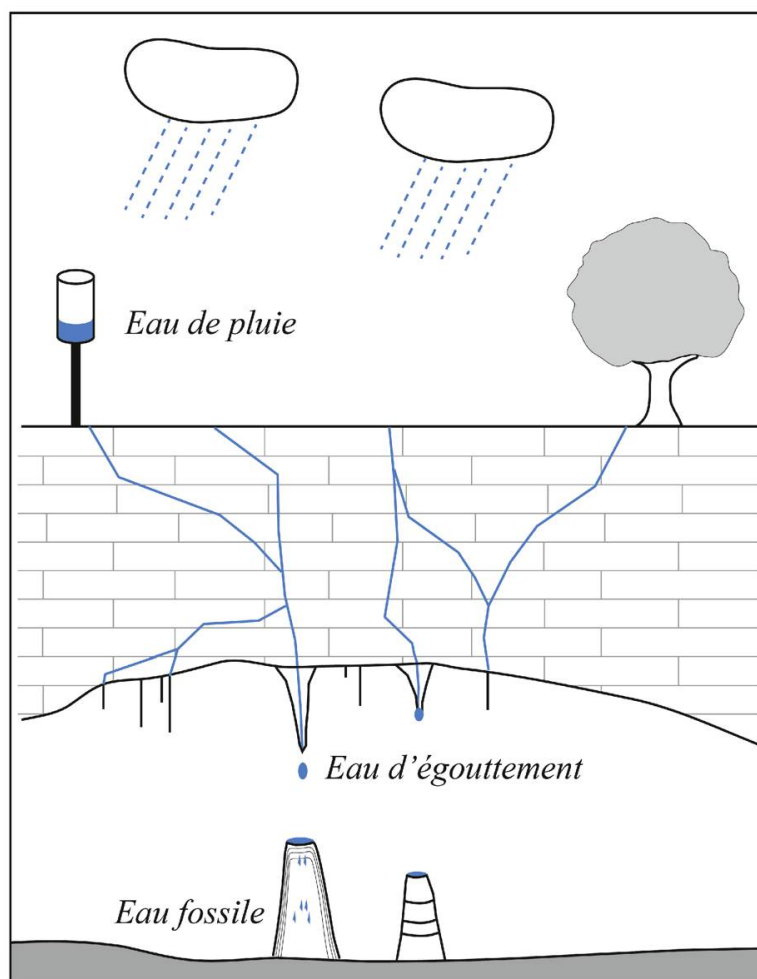


Fig. 1 : Schéma illustrant le parcours des eaux de précipitation jusqu'à leur emprisonnement au sein des spéléothèmes.

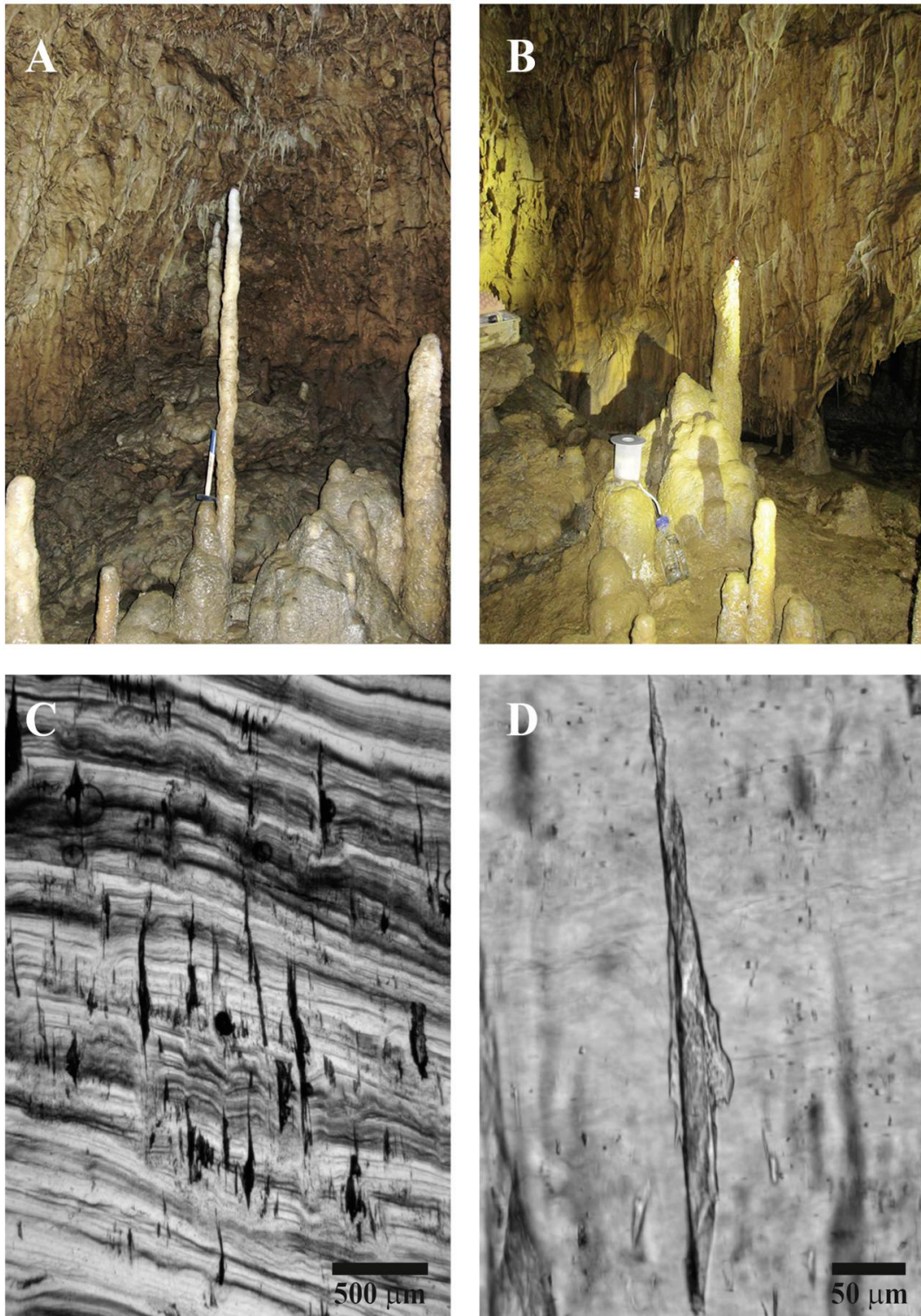


Fig. 2: A. Stalagmites M8 et M6 (au centre). B. Système de récupération des eaux d'égouttement à l'endroit de M6. C. Inclusions fluides (en noir) dans la matrice calcaire, les lamines de croissance sont bien visibles. D. Agrandissement d'une inclusion fluide. Photos C et D par Y. Krüger.

Les variations environnementales et climatiques sont transmises au travers des isotopes stables de l'hydrogène ( $\delta^2\text{H}$ ) et de l'oxygène ( $\delta^{18}\text{O}$ ) présents dans les précipitations au-dessus de la grotte aux eaux souterraines (via le sol et l'épikarst), puis sont piégées dans les spéléothèmes sous forme de calcite ou d'inclusions fluides (fig. 1). Les stalagmites, en particulier, contiennent dans la matrice calcaire des inclusions d'eau fossile qui représentent un vestige des précipitations tombées au-dessus de la grotte (fig. 2). L'hydrogène et l'oxygène sont des traceurs du cycle de l'eau très utilisés en paléoclimatologie qui fournissent notamment des informations sur les précipitations, températures et circulations atmosphériques actuelles et passées. Ainsi, à partir des variations isotopiques mesurées dans l'eau et dans la calcite d'une stalagmite, il est possible de reconstruire les climats régnant à l'époque de sa formation. À noter encore que le carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ ) permet une investigation des changements de végétation ayant eu lieu en surface.

Toutefois, avant de procéder aux reconstructions, il est nécessaire de « calibrer » la grotte, à savoir de comprendre la signification des variations des isotopes stables dans les précipitations pour la région jurassienne et leur transmission au sein du système karstique de Milandre. Dans ce but, une étude a été menée sur les eaux de précipitations au-dessus de la grotte, les eaux d'égouttement dans la grotte et sur les inclusions fluides scellées dans les spéléothèmes. Cette communication résume les résultats récemment publiés (Affolter *et al.* 2015). Le lecteur intéressé au potentiel des spéléothèmes en tant qu'archives climatiques et environnementales peut consulter deux excellentes publications en français (Couchoud 2008a, b).

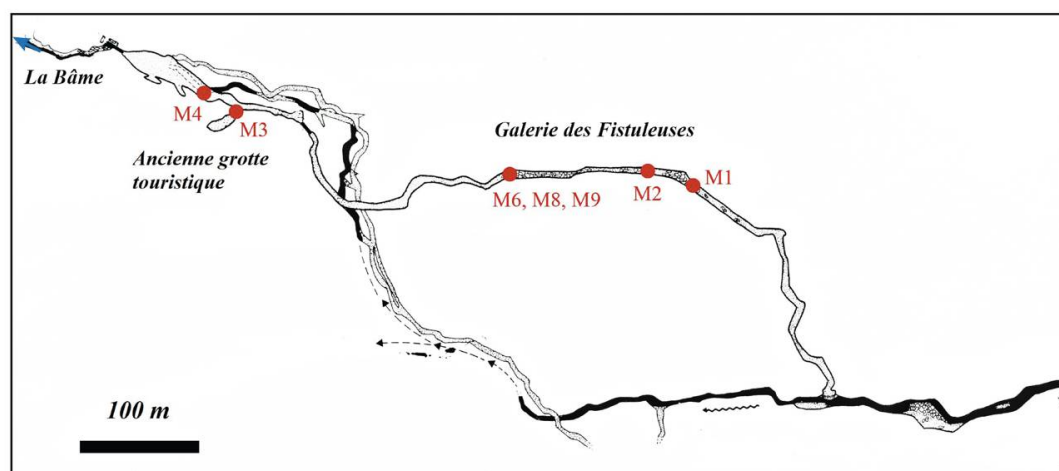


Fig. 3: Situation des stalagmites prélevées dans la partie aval de la grotte de Milandre (modifié d'après Gigon & Wenger, 1986). De la bâme, les eaux se jettent dans l'Allaine à Boncourt.

## Résultats

Les stalagmites analysées dans ce projet proviennent de la partie aval de la grotte et plus précisément de la Galerie des fistuleuses (fig. 3). Il est utile de préciser que les stalagmites sont protégées et leur prélèvement réglementé. Ainsi, pour la protection des milieux karstiques, une autorisation est délivrée au cas par cas par la commission scientifique de la Société suisse de spéléologie en accord avec le Spéléo-Club Jura.

Un monitoring a été mené dans cette galerie durant la période 2012-2014, à l'endroit exact où les stalagmites M6 et M8 (fig. 2 et 4) ont été prélevées. Le taux d'humidité mesuré ponctuellement est de 100 %. La température annuelle moyenne est de 9,8 °C avec de très faibles variations durant l'année. La température de la grotte est similaire à la température moyenne annuelle de surface mesurée à la station Météosuisse de Fahy de 8,5 °C en tenant compte de la différence d'altitude de 200 mètres environ et d'un gradient adiabatique régional d'environ 0,0055 °C/m. Ce lien est très important dans l'optique d'une reconstruction climatique, car les variations de température dans la grotte correspondent aux fluctuations régionales annuelles à l'extérieur de celle-ci.

Du point de vue des isotopes stables (discuté ici avec l'hydrogène), une autre observation déterminante est que la composition isotopique des eaux d'égouttement dans la grotte alimentant la stalagmite ( $\delta^2\text{H} \cong -60\text{‰}$ ) est similaire à celle de l'eau fossile récente ( $\delta^2\text{H} \cong -61\text{‰}$ ) extraite de la partie supérieure de la stalagmite M6. L'eau d'égouttement étant elle aussi directement liée à l'isotopie des précipitations (pondérées par leur volume) échantillonnées au-dessus de la grotte à la station Météosuisse de Mormont. Cette dernière présente une isotopie sensiblement plus négative, probablement liée à une évaporation des eaux en surface avant l'infiltration ou à un temps de transit dans l'aquifère karstique équivalent à quelques années, bien qu'une première estimation basée sur le décalage isotopique des eaux permette d'estimer un temps de transit de 8 à 10 mois. Cette question mérite toutefois une étude approfondie. Un autre phénomène lié au bilan hydrique entre en jeu; ainsi l'infiltration des eaux de pluie de la période septembre à mai peut être favorisée au détriment des eaux estivales qui se seraient prioritairement évaporées ou utilisées par la végétation. Avec des valeurs isotopiques moyennes plus élevées en été ( $\delta^2\text{H} = -41,2\text{‰}$ ) qu'en hiver ( $\delta^2\text{H} = -86,4\text{‰}$ ), des variations du bilan hydrique en faveur des mois hivernaux pourraient sensiblement biaiser la moyenne annuelle.



Fig. 4: Stalagmite M8 sciée et polie mettant en évidence la lamination. Les traitillés correspondent à des interruptions de croissance (hiatus).

près de 73 % en moyenne mensuelle). Une faible corrélation de 17 % est également observée entre les isotopes et l'humidité relative locale.

Néanmoins, la relation robuste entre l'isotopie des eaux de surface et des eaux souterraines est démontrée.

Après ces observations, il est encore nécessaire de déterminer la nature de l'information climatique ou environnementale contenue dans les isotopes stables des précipitations pour le Nord-Ouest de la Suisse. En effet, les variations du rapport isotopique entre molécules d'eau « lourde » et « légère » peuvent être liées à divers facteurs tels que le changement de température, la modification de la source ou de la quantité des précipitations, etc. Durant les deux années du monitoring, nous avons pu déterminer que les isotopes dans les précipitations collectées à Mormont sont principalement contrôlés par la température de l'air (à

## Perspectives

La problématique du changement climatique et du réchauffement de la planète constitue un enjeu majeur de notre société. Afin de mieux appréhender l'évolution future du climat à l'aide de modèles informatiques complexes, la communauté scientifique a besoin de jeux de données climatiques du passé (température, origine des précipitations, etc.) à haute résolution, parfaitement calibrées dans le temps et si possible sur de longs intervalles afin de « nourrir » les modèles. La grotte de Milandre est à même de fournir de tels jeux de données, car elle répond aux variations climatiques extérieures notamment en termes de température et de composition isotopique des eaux. De plus, les isotopes de l'eau sont principalement liés à la température dans le Nord-Est de la Suisse parti-

culièrement. Le tout permettant ainsi de mieux comprendre l'évolution du climat.

Déjà étudiée de manière intensive par le passé et lors de la construction de l'autoroute A16 notamment, la grotte de Milandre ajoute une nouvelle corde à l'arc de son rayonnement scientifique. Grâce à ses concrétions calcaires bien préservées et son accessibilité aisée, elle constitue un site idéal pour l'étude des climats du passé. De plus, le site est proche des stations de Mormont et de Fahy qui délivrent des informations météorologiques de qualité depuis plus de 50 ans permettant ainsi d'avoir une idée précise du lien entre paramètres géochimiques et aspects climatologiques récents. Depuis quelques années, Milandre a été l'objet de plusieurs travaux de master et de doctorat sur les paléoclimats initiés par l'université de Berne (Affolter 2015, Hasenfratz 2012, Häuselmann 2015, Schmassmann 2010) qui feront prochainement l'objet de nouvelles publications scientifiques.

## Remerciements

Tout au long du projet, nous avons pu compter sur le soutien de P.-X. Meury (Spéléo-Club Jura), de P. Häuselmann (ISSKA), ainsi que de A. Forster (station Météosuisse de Mormont).

*Stéphane Affolter, géologue diplômé de l'université de Neuchâtel, a obtenu en 2015 son doctorat en sciences du climat délivré par l'université de Berne. Sa thèse a été effectuée à l'Institut de physique et au centre Oeschger pour la recherche sur le changement climatique. Il travaille actuellement pour l'International Foundation High Altitude Research Stations Jungfraujoch and Gornergrat, sise à Berne, et s'occupe des mesures atmosphériques effectuées à la station de recherche alpine du Jungfraujoch.*

*Anamaria Häuselmann est géologue et climatologue diplômée des universités de Cluj Napoca (Roumanie) et de Berne. Elle a obtenu son doctorat en sciences du climat en 2015 délivré par l'université de Berne. Il a été effectué à l'Institut de géologie et au centre Oeschger pour la recherche sur le changement climatique. Membre du Spéléo-Club Interlaken et spécialiste de karstologie, elle sera, dès 2017, la future présidente de la Commission scientifique pour la spéléologie à la Société suisse de spéléologie et Scnat.*

RÉFÉRENCES

- Affolter, S., Häuselmann, A. D., Fleitmann, D., Häuselmann, P., Leuenberger, M., 2015 : Triple isotope ( $\delta D$ ,  $d^{17}O$ ,  $d^{18}O$ ) study on precipitation, drip water and speleothem fluid inclusions for a Western Central European cave (NW Switzerland). *Quaternary Science Reviews* 127, 73-89.
- Affolter, S., 2015 : *Innovative isotope ratio measurements of speleothem fluid inclusions*. Thèse de doctorat, Institut de physique, université de Berne.
- Couchoud I., 2008a: Les spéléothèmes, archives des variations paléoenvironnementales. *Quaternaire*, vol. 19/4, 255-274.
- Couchoud I., 2008b: Les isotopes stables de l'oxygène et du carbone dans les spéléothèmes: des archives paléoenvironnementales. *Quaternaire*, vol. 19/4, 275-291.
- Gigon, R. & Wenger, R., 1986 : Inventaire Spéléologique de la Suisse. II. Canton du Jura. *Commission Spéléologique de la Société helvétique des sciences naturelles*, Porrentruy.
- Hasenfratz, A., 2012 : *Temperature reconstruction over the past two millennia based on stalagmite  $\delta^{18}O$  record from the Jura Swiss Mountains*. Thèse de master, Institut de géologie, université de Berne.
- Häuselmann, A. D., 2015 : *Late Quaternary and Holocene paleoclimate and paleoenvironmental reconstructions – a multi-proxy approach on Swiss speleothems*. Thèse de doctorat, Institut de géologie, université de Berne.
- Schmassmann, S., 2010 : *Speleothem-based climate and environmental reconstruction: A pilot study in the Swiss Jura Mountains*. Thèse de master, Institut de géologie, université de Berne.

NOTE

- <sup>1</sup> Sinergia project Stalclim: *Multi-proxy climatic and environmental reconstructions from stalagmites from Switzerland, Turkey, Arabia, and India*. Projet conjointement mené par les universités de Zurich, Berne, l'E.T.H.Z. et l'EMPA.