

Zeitschrift: Actes de la Société jurassienne d'émulation
Herausgeber: Société jurassienne d'émulation
Band: 122 (2019)

Artikel: La grotte de Milandre révèle les températures du passé
Autor: Affolter, Stéphane
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-885910>

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: 02.05.2026

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

La grotte de Milandre révèle les températures du passé

STÉPHANE AFFOLTER

L'eau issue des précipitations du passé scellée dans des stalagmites de la grotte de Milandre nous livre des informations sur les variations de température durant les 14 000 dernières années.

Introduction

Depuis le début des mesures de température en Suisse en 1864, le réchauffement documenté est de 1,8 °C, alors que la température globale a augmenté de seulement 0,85 °C, ce qui souligne la sensibilité du site d'étude au réchauffement climatique. Dans ce contexte, il est intéressant de se pencher sur l'évolution des températures du passé afin d'avoir une meilleure compréhension des réponses induites par ces variations. Dans la grotte de Milandre, nous avons étudié la variabilité des températures pour les périodes comprenant l'Alleröd tempéré (entre 14 000 et 12 700 ans B.P. (*Before Present*), le présent étant fixé à l'an 1950), le Dryas récent froid (entre 12 700 et 11 700 ans B.P.) et la période tempérée de l'Holocène (les 11 700 dernières années). Bien qu'étudiée intensivement, il reste des incertitudes quant à l'évolution des températures durant l'Holocène.

Une première étude menée dans le cadre du projet de recherche Stalclim¹ relatée dans les *Actes* de la S.J.É. avait démontré le potentiel des stalagmites de la grotte de Milandre en tant que témoins des températures du passé pour l'Europe centrale et l'Europe de l'Ouest (Affolter & Häuselmann, 2016). La présente communication reprend un article récemment paru dans la revue *Science Advances*² et qui a pour sujet la reconstruction des températures durant les 14 000 dernières années pour l'Europe centrale et leur contextualisation avec différentes reconstructions de températures et modèles climatiques à l'échelle de l'hémisphère Nord.

Sur les continents, découvrir de l'eau fossile issue des précipitations du passé n'ayant quasiment pas subi de modification, notamment au niveau des isotopes stables de l'eau (oxygène et hydrogène), est un défi. Seuls les glaciers dans les régions polaires et dans une moindre mesure en zone alpine ou en grotte permettent une étude directe de l'eau ancienne. L'eau contenue en infime quantité dans les stalagmites (de l'ordre du microlitre d'eau par gramme de calcite) constitue une alternative intéressante pour l'investigation des précipitations du passé. Lors de la formation des stalagmites, la précipitation de la calcite, qui peut produire des lamines annuelles (comme les cernes de croissance pour un arbre) emprisonne des inclusions fluides microscopiques remplies d'eau ou d'air, au même titre que l'on trouve des bulles de gaz dans les carottes de glace en région polaire. Cette eau piégée est elle-même issue des précipitations tombées au-dessus de la grotte à l'époque de la formation de la concrétion calcaire, et consécutivement infiltrée dans l'épikarst avant de s'égoutter au-dessus de la stalagmite via une fistuleuse.

Le potentiel des inclusions fluides dans les spéléothèmes (telles que stalagmites, stalactites, etc.) est connu depuis le milieu des années septante, mais depuis lors aucun enregistrement majeur n'a été produit, et ce, principalement en raison de contraintes méthodologiques. Une méthode récente, que nous avons développée à l'université de Berne, permet de mesurer avec précision les isotopes de l'eau (oxygène et hydrogène) dans les spéléothèmes. Dans les stalagmites de Milandre, nous avons réussi à extraire en moyenne 2 microlitres d'eau par échantillon de calcite, soit l'équivalent d'une tête d'épingle (fig. 1).

Méthode

À partir de l'analyse de l'isotope d'hydrogène présent dans les molécules d'eau et de la corrélation observée entre isotope des précipitations actuelles et les températures atmosphériques, il est possible de reconstruire empiriquement les valeurs absolues des températures du passé. Ainsi, une variation de ~ 4 ‰ de l'hydrogène (^2H) correspond à une variation de ~ 1 degré de la température atmosphérique, les valeurs isotopiques de l'hydrogène ayant été au préalable corrigées du volume de glace global. Les valeurs données sont les moyennes pour des intervalles de temps irréguliers de l'ordre de 10 à 20 ans jusqu'à 1 000 ans

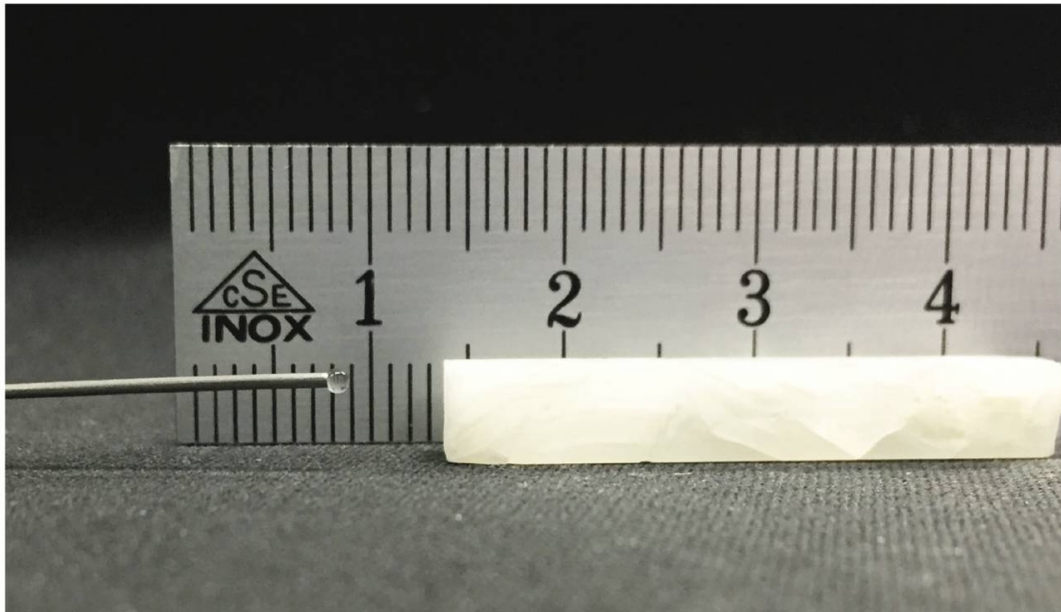


Fig. 1: L'information climatique contenue dans une seule goutte d'eau est archivée durant des millénaires dans la calcite des stalagmites de Milandre. La photo montre la quantité d'eau que l'on peut extraire (à l'extrémité de la seringue), à savoir un microlitre, d'un échantillon de calcite d'un gramme.

Correlation Basel and CRU TS4.01 anomalies 1901-2014 (detrended)

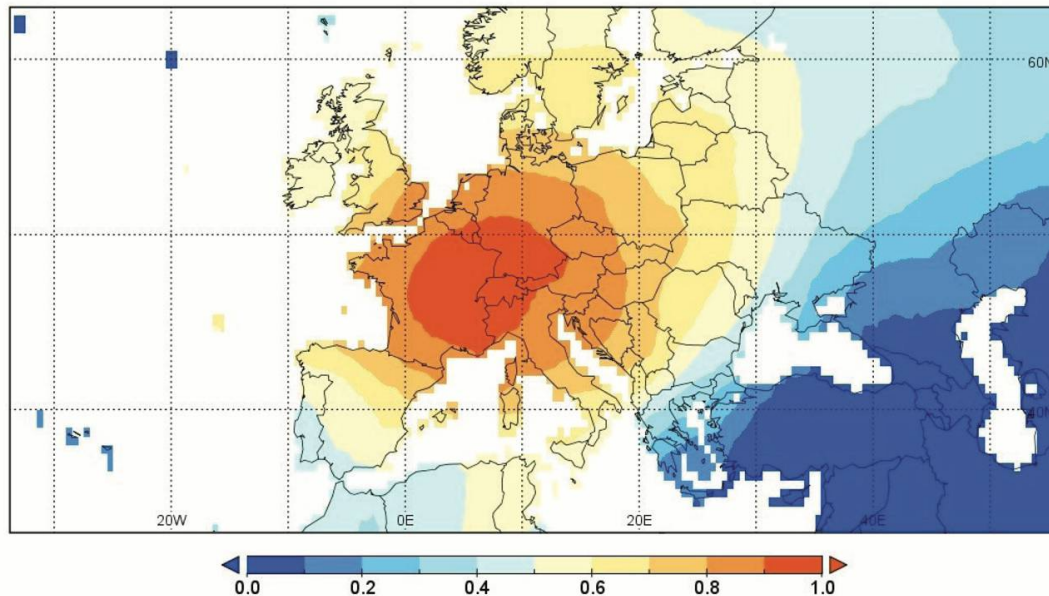


Fig. 2: Carte représentant la corrélation entre les températures modernes enregistrées à la station Météosuisse de Bâle par rapport au reste de l'Europe (Affolter et coll., 2019). Un indice de 1 signifie une variabilité identique dans les températures, alors que le chiffre 0 indique qu'il n'y a aucune corrélation.

puis environ 50 ans par la suite. Les reconstructions sont calibrées par la moyenne des températures de 8,3 °C pour la période 1940-2010. Pour comparaison, la moyenne pour la période 2000-2018 à la station météo de Fahy est de 9,2 °C. La représentativité spatiale de la reconstruction peut être estimée à partir des cartes de corrélation modernes (fig. 2) qui indiquent notamment que pour la période de 1901 à 2014, la variabilité des températures mesurées à Bâle corrèle avec les températures en Europe centrale et Europe de l'Ouest. Bien que l'on puisse raisonnablement estimer que cette relation était également valable pour une grande partie de l'Holocène, d'autres facteurs, tels que la présence de calotte glaciaire aux hautes latitudes durant la première partie de l'Holocène, peuvent avoir modifié cette relation.

Résultats

L'évolution des isotopes d'hydrogène au cours des 14 000 dernières années est similaire à celle observée dans les carottes glaciaires du site NGRIP (*North Greenland Ice Core Project*) au Groenland, ce qui établit pour la première fois une relation directe entre les isotopes stables de l'eau aux hautes et moyennes latitudes.

D'après nos reconstructions de températures (fig. 3), l'histoire débute durant la période de l'Alleröd avec une moyenne annuelle des valeurs d'environ 5 °C suivi par une rapide chute des températures durant la période froide du Dryas récent (12 700-11 700 B.P.) avec des valeurs avoisinant les 0 °C. Toutefois, les conditions ne devaient pas permettre la présence d'un permafrost, car la croissance de la stalagmite n'a pas été interrompue durant cette période, ce qui suggère la présence d'écoulement d'eau dans l'épikarst. Un rapide réchauffement d'environ 5 °C a lieu au début de l'Holocène entre 11 700 et 10 000 ans B.P. environ. Entre 10 000 et 6 000 ans B.P., on observe une période relativement chaude nommée l'optimum climatique de l'Holocène avec une moyenne des températures de 8,6 °C, températures qui sont similaires à la moyenne de la période 1970-2010. Cette période est néanmoins interrompue par des épisodes froids, comme par exemple il y a 8 200 ans avec une chute des températures de ~1,2 °C sur une durée de 50-100 ans qui est, selon la littérature scientifique, attribuée à un apport massif d'eau douce relâchée par les grands lacs d'Amérique du Nord dans l'Atlantique. À partir de 6 400 ans B.P., on observe un refroidissement continu des températures de l'ordre de 0,7 °C jusqu'à 2 000 ans B.P. environ. Durant

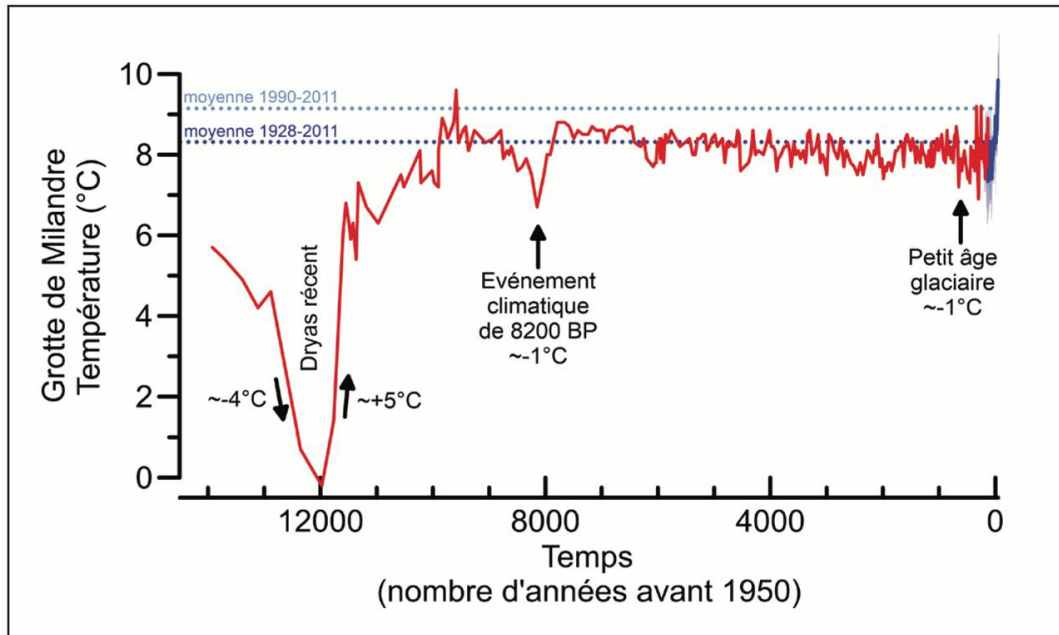


Fig. 3 : Évolution des moyennes annuelles des températures pour les 14 000 dernières années reconstruites à partir de l'hydrogène contenu dans l'eau liquide extraite des stalagmites de la grotte de Milandre (Affolter et coll., 2019). Quelques périodes froides sont documentées. Les températures instrumentales sont également montrées (courbe bleu). La moyenne des températures instrumentales pour deux périodes distinctes sont également montrées (traitillés). La moyenne 1928-2011 est obtenue à partir des relevés des températures de la ville de Bâle.

les 2 000 dernières années, plusieurs époques connues se succèdent telles que l'optimum climatique romain qui était plutôt tempéré. Il y a 670 ans, le petit âge glaciaire par exemple indique une chute des températures de près de 1,2 °C en 20 ans en Europe centrale, et des températures qui restent froides pendant près de 100 ans à environ 7,8 °C de moyenne. De même, nos résultats suggèrent un lien entre les éruptions volcaniques majeures, des 700 dernières années notamment, et une chute associée des températures pouvant s'étendre sur plusieurs années après l'éruption, comme par exemple lors de l'éruption du volcan Tambora en Indonésie en 1815.

Notre reconstruction s'insère dans un contexte de multiples enregistrements de températures basées sur différentes archives climatiques telles que les pollens, les chironomidés (insectes ressemblant à des petites mouches), les sédiments marins ou encore les carottes de glaces, mais également par des modèles climatiques. Bien que ces reconstructions présentent généralement une tendance similaire pour les 4 000 dernières années, elles diffèrent entre 10 000 et 4 000 ans B.P., avec en règle générale les modélisateurs qui simulent un réchauffement et la plupart des expérimentalistes qui observent un refroidissement.

Ainsi, les observations obtenues à partir des stalagmites de Milandre diffèrent jusqu'à un maximum de deux à trois degrés en fonction des modèles utilisés. Cette différence entre modèle et reconstruction à partir d'archives climatiques est bien connue en paléoclimatologie sous le nom de *Holocene temperature conundrum*, *conundrum* signifiant une question épineuse ou difficile à résoudre.

Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer cette différence et parmi celles-ci, la saisonnalité dans les reconstructions paléoclimatiques aux moyens des archives pourrait être mise en cause. En effet, à ce jour, la majorité des reconstructions sont basées sur des archives d'origine biologique (moules, organismes marins, pollens, etc.) qui grandissent à des périodes bien définies dans l'année (essentiellement en été). Ainsi, la différence entre modèle et données pourrait être expliquée par le fait que les hivers (minorité des reconstructions) étaient beaucoup plus froids à cette époque, ce qui entraînerait une chute de la moyenne annuelle et ainsi, indiquerait un réchauffement. Notre enregistrement, qui n'est pas d'origine biologique, mais qui est basé sur un mécanisme physique, fournit une moyenne annuelle des températures, qui peut éventuellement être biaisée vers la saison froide à cause de l'évaporation préférentielle des eaux de pluie en été. Il suggère, à l'aide d'autres enregistrements climatiques physico-chimiques des océans (Atlantique Nord et Pacifique) et du Groenland, que cette différence de saisonnalité dans les archives n'est pas la cause de la différence entre les reconstructions à partir de modèles ou d'archives du climat (Affolter et coll., 2019). Toutefois, le *conundrum* n'est pas encore entièrement résolu.

Remerciements

P.-X. Meury (Spéléo-Club Jura), A. Häuselmann (Société suisse de spéléologie) et P. Häuselmann (ISSKA) sont remerciés chaleureusement pour leur soutien durant le projet.

Stéphane Affolter (affolter@climate.unibe.ch), docteur en sciences du climat et géologue, est coordinateur scientifique et responsable du laboratoire de l'Ostgrat à la Fondation internationale des stations de recherche Jungfrauoch et Gornergrat (www.hfsjg.ch), qui met à disposition des scientifiques les infrastructures nécessaires à la recherche essentiellement dans les domaines du climat et de l'environnement, mais aussi de la médecine ou encore de la glaciologie.

Milandre et les températures du passé

RÉFÉRENCES

- Affolter S. & Häuselmann, A., 2016. La Grotte de Milandre, un témoin des climats du passé. *Actes de la Société jurassienne d'Émulation*, 119, 13-20.
- Affolter S., Häuselmann A., Fleitmann D., Edwards R. L., Cheng, H. & Leuenberger, M., 2019. Central Europe temperature constrained by speleothem fluid inclusion water isotopes over the past 14,000 years. *Science Advances*, 5, eaav3809.

NOTES

- ¹ 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.
- ² Cet article est disponible en libre accès sur www.aaas.org.

