

**Zeitschrift:** Archäologie Bern : Jahrbuch des Archäologischen Dienstes des Kantons Bern = Archéologie bernoise : annuaire du Service archéologique du canton de Berne

**Herausgeber:** Archäologischer Dienst des Kantons Bern

**Band:** - (2020)

**Artikel:** Kehrsatz, Breitenacher : un type de corrosion inconnu sur une épingle de l'Âge du Bronze

**Autor:** Dietze-Uldry, Stéphanie / Prétôt, Laure

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-895376>

### **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:** 15.04.2026

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

# Kehrsatz, Breitenacher

## Un type de corrosion inconnu sur une épingle de l'Âge du Bronze

STÉPHANIE DIETZE-ULDRY ET LAURE PRÉTÔT

Dans le cadre de la publication du site de Kehrsatz, Breitenacher (Mamin/Gubler 2017), le laboratoire de conservation du Service archéologique du canton de Berne (SAB) a procédé au traitement d'une sélection de 185 objets, tous métaux confondus. Parmi les 88 objets en alliages cuivreux à restaurer, une épingle (n° labo. 40339) à tête enroulée simple de 18 cm de long, datée de l'Âge du Bronze, a retenu notre attention en raison d'une forme de dégradation particulière. Celle-ci se distingue par un éclatement de la surface de l'objet sous forme d'écailles, laissant le noyau métallique apparent (fig. 1). Cet aspect « craquelé » (fig. 2) évoque un possible assèchement des produits de corrosion, dont les causes peuvent être multiples : interaction avec le milieu d'enfouissement, composition particulière de l'alliage, technique de fabrication spécifique, ou encore méthode de conditionnement de l'objet inadéquate. En effet, sur les chantiers de fouille, les objets en métal sont prélevés et déposés dans une boîte hermétique en polypropylène, dans laquelle on dispose du gel de silice afin d'assécher l'atmosphère. Il apparaît donc essentiel de savoir si la prise en charge est appropriée ou si une adaptation du conditionnement serait nécessaire dès la fouille, pour ce genre de cas. Pour tenter d'élucider le phénomène, plusieurs analyses ont été effectuées sur l'épingle.

### Type de corrosion

Ce type d'altération avait déjà été observé à plusieurs reprises sur des objets conservés au SAB mais aussi par d'autres collègues restauratrices en Suisse. La modification du métal se manifeste par un réseau de craquelures au sein des produits de corrosion et évolue jusqu'à la perte de matière sous forme d'écailles, à l'interface proche avec le noyau métallique. Sur l'épingle, ces écailles sont constituées de trois couches de corrosion d'aspect différent (fig. 3) :

- Strate externe (A) ayant un aspect lisse, compact, de couleur brun-vert, éventuellement incrustée de sédiments.
- Strate intermédiaire (B) plus épaisse, homogène et poreuse, de couleur verte.
- Strate interne plus fine (C), d'aspect granuleux et de couleur vert clair légèrement blanchâtre. Probablement liée à la corrosion d'aspect bleuté visible sur le noyau métallique.

L'épingle étant dans un état de dégradation avancé, il était nécessaire d'intervenir rapidement. Pour commencer, les fragments trop petits pour être replacés sur l'objet ont été isolés afin qu'ils restent exempts de produits de restauration. Ceux-ci pourront ainsi être utilisés dans le cadre d'éventuels examens ultérieurs. Ensuite, du Paraloid™ B72 (résine acrylique) di-

Fig. 1 : Kehrsatz, Breitenacher. État de conservation de l'épingle avant restauration. Éch. 1:3.



lué à 5 % dans l'acétone a été utilisé pour consolider la surface craquelée. Puis, les sédiments subsistants ont été éliminés au moyen de badiageons imbibés d'un mélange d'eau et d'éthanol (volume 1:1). Les fragments pouvant être remontés ont été collés avec du Paraloid™ B72 dilué à 10 % dans l'acétone et seront ultérieurement replacés sur l'objet (fig. 4).

### Description et interprétation des analyses

Dans le cadre de l'étude du mobilier métallique de Kehrsatz, des analyses par spectrométrie en fluorescence des rayons X portable (PXRF) ont été effectuées sur les 88 objets en alliage cuivreux. Cette méthode semi-quantitative et non-destructive détermine la composition du métal et ne s'applique qu'en surface (quelques microns de profondeur). Sur l'épingle, les deux zones analysées ont révélé des taux d'étain et de cuivre différents. La mesure prise sur l'enroulement de la tête corrodée (fig. 5,A) a livré un taux de 24 % d'étain et 25 % de cuivre, tandis que la mesure prise au centre de la tige (fig. 5,B), sur la surface légèrement corrodée du noyau métallique, a indiqué un taux de 15 % d'étain et 47 % de cuivre. La différence des taux d'étain et de cuivre mesurée sur les parties de l'objet peut s'expliquer par un phénomène de décuprication (dissolution sélective du cuivre, selon Robbiola 1999). Sous l'effet des conditions atmosphériques (humidité, air, polluants etc.), l'alliage cuivreux se transforme en produits de corrosion et les ions cuivre migrent plus rapide-

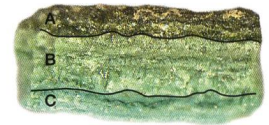
ment que les ions étain dans le milieu d'enfouissement. Donc, en analysant une surface corrodée (tête), le taux de cuivre sera plus faible que sur une surface proche de l'alliage cuivreux (tige). Il ne faut donc pas comprendre ce taux élevé d'étain comme un ajout volontaire à la fabrication, mais comme la dégradation de l'alliage qui se transforme au contact de son environnement. Par ailleurs, l'absence de l'élément chlore dans les résultats nous indique qu'il n'y a vraisemblablement pas d'hydroxychlorures de cuivre dans les produits de corrosion. Ils ne sont donc pas la source de la dégradation rapide de l'objet.

En complément, des analyses par spectroscopie Raman ont été effectuées par le laboratoire d'analyses du Centre des collections du Musée national suisse. Cette méthode nécessite un prélèvement de matière mais permet de déterminer la composition moléculaire de la corrosion. Deux échantillons ont été examinés : un micro-fragment ne pouvant plus être repositionné sur l'objet, contenant les trois strates décrites précédemment (fig. 3), ainsi qu'un prélèvement de corrosion bleutée retiré sur le noyau métallique. À priori, lorsque la surface est encore intacte, la strate interne est en contact, voire même liée, avec cette corrosion bleutée (fig. 5,B). Les résultats obtenus confirment l'absence de l'élément chlore, ce qui exclut la présence d'hydroxychlorures de cuivre. Dans le cas des strates interne et intermédiaire, ainsi que le prélèvement de corrosion bleutée,



└─ 1mm

Fig. 2 : Kehrsatz, Breitenacher. Détail de l'aspect craquelé de la corrosion sur l'épingle.



└─ 1mm

Fig. 3 : Kehrsatz, Breitenacher. Détail en coupe d'un fragment de corrosion avec indication des strates externe (A), intermédiaire (B) et interne (C).

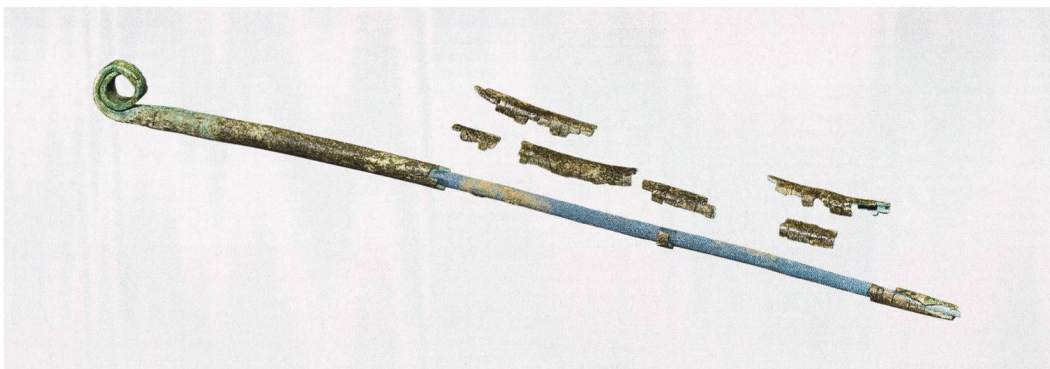


Fig. 4 : Kehrsatz, Breitenacher. L'épingle en cours de restauration. Éch. 1:3.

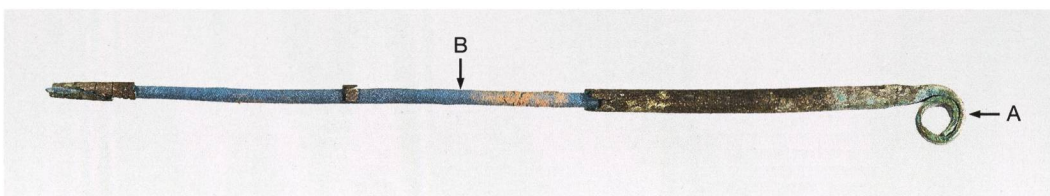


Fig. 5 : Kehrsatz, Breitenacher. Emplacements des mesures PXRF : sur la tête corrodée de l'épingle (A) et sur la tige (B). Éch. 1:3.



Fig. 6 : Kehrsatz, Breitenacher. Quelques objets conservés au SAB présentant le même type de corrosion : a tête d'épingle (n°labo 39266); b fragment de fibule (n°labo 10708); c tête d'épingle (n°labo 10254); d anneau (n°labo 10264). Éch. 2:1.

les résultats sont inhabituels. Une correspondance avec une cire minérale (matière d'origine moderne) a été identifiée alors qu'aucun produit de restauration n'a été employé sur ces échantillons. Les raisons de la présence de cette cire restent à définir. Enfin, aucun résultat n'a pu être obtenu pour la strate externe brun-vert (fig. 3).

En conséquence, des investigations supplémentaires ont été menées sur ces mêmes échantillons, au moyen d'analyses par spectrométrie infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR). Des liaisons OH ont été mises en évidence, mais elles pourraient correspondre à divers produits de corrosion, tels que les hydroxydes de cuivre. De plus amples recherches permettraient de combiner ces différents résultats.

#### Perspectives de recherche

Ce premier faisceau d'indices exclut la présence d'hydroxychlorures de cuivre qui sont une cause courante de la dégradation rapide des alliages cuivreux. Par ailleurs, la présence des liaisons OH, ainsi que la correspondance avec la substance minérale cireuse restent à éclaircir.

La préoccupation principale était de savoir si les méthodes de conditionnement devaient être adaptées, et l'utilisation du gel de silice re-

considérée. Mais il n'est pas possible, à la lumière de ces premières données, d'établir les causes exactes de ce type de corrosion. Il est donc difficile d'évaluer l'adéquation du processus de conditionnement en cas de dégâts similaires.

Les questions subsidiaires liées aux techniques de fabrication, à la composition d'alliage et au milieu d'enfouissement pouvant jouer un rôle dans la détérioration de l'objet mériteraient d'être développées dans une étape ultérieure. Dans cette optique, il serait également possible de refaire les analyses présentées ci-dessus, en procédant à l'extraction préalable de la molécule correspondant à cette substance minérale indéterminée (cire d'origine moderne), afin de l'éliminer du spectre de mesures. Cela permettrait d'isoler et d'identifier les éléments relatifs aux produits de corrosion.

Des analyses au PXRf sont également en cours sur des échantillons de sédiments prélevés dans la couche archéologique en lien avec l'épingle. En effet, l'étude de la composition du sol pourrait contribuer à déterminer si certains éléments ont eu une interaction lors du processus de minéralisation et s'ils sont impliqués dans la dégradation rapide de l'objet dès son dégagement.

L'étude de ce phénomène de corrosion complexe demanderait à être approfondi par une enquête étendue à d'autres objets présentant le même type de dommage (fig. 6). Cela pourrait par exemple se faire dans le cadre d'un projet universitaire en collaboration avec le SAB et éventuellement des institutions similaires d'autres cantons.

#### Bibliographie

Yann Mamin et Regula Gubler, Kehrsatz, Breitenacher. Eine mittelbronzezeitliche Siedlung am Fuss des Gurtens. *Archäologie Bern / Archéologie bernoise* 2017, 70–75.

Luc Robbiola, *Caractérisation et propriétés des « matériaux culturels » ... vers une nouvelle discipline en Science des matériaux*. Paris 1999.