

> que l'encre de deux minuscules fragments de papyrus conservés à l'Institut de France, à Paris, contient du plomb.

On ignore la raison de cette présence de plomb, mais selon les chercheurs, tout indique qu'elle n'est pas accidentelle. On peut donc s'attendre à ce que l'encre des papyrus d'Herculanum contienne du plomb, ce qui pourrait grandement aider à lire les rouleaux. En effet, au-delà d'un certain seuil de concentration, le plomb est une très bonne source de contrastes (en densité, en déphasage...) aux rayons X. Quand le faisceau X d'un synchrotron est réglé sur la longueur d'onde que le métal lourd absorbe le mieux, il devient possible d'obtenir une image de sa distribution spatiale et donc de celle de l'encre. Mais pour l'heure, nul ne sait si l'encre des trois cents rouleaux encore scellés contient du plomb et, le cas échéant, à quelles concentrations.

Au cours de l'été 2019, les principaux experts en papyrus se sont réunis en conférence à Lecce, en Italie, afin de discuter de ces avancées. Vito Mocella en a profité pour présenter à ses collègues une autre nouvelle méthode d'imagerie. Cette variante suppose aussi une certaine teneur en plomb de l'encre et exploite aussi le rayonnement synchrotron. On

utiliserait deux têtes de mesure indépendantes afin de produire des images stéréoscopiques (de la même façon que deux yeux permettent de percevoir le relief) de la fluorescence du plomb lorsque le faisceau de rayons X sonde un point donné à l'intérieur d'un rouleau.

FLUORESCENCE X, INTELLIGENCE ARTIFICIELLE...

La fluorescence X de la plupart des éléments est un rayonnement de basse fréquence, qui ne peut s'échapper de l'intérieur d'un rouleau de papyrus, mais ce n'est pas le cas avec des noyaux atomiques lourds tels que le plomb. Soumis aux rayons X énergétiques du synchrotron, les noyaux de plomb émettent un rayonnement qui atteint les têtes de mesure sans être absorbé. La présence de plomb dans l'encre est donc une chance, qui pourrait rendre possible l'emploi de la «tomographie confocale par fluorescence».

La mise en évidence de plomb au sein d'autres fragments de papyrus d'Herculanum annoncée par une équipe de l'Institut fédéral de recherche et d'essai des matériaux, à Berlin, autour d'Olivier Bonnerot et Ira Rabin, est donc une découverte bienvenue. Les concentrations mesurées varient considérablement, mais la présence de plomb dans l'encre d'Herculanum semble désormais plus certaine.

Pour autant, toute utilisation du rayonnement synchrotron est limitée par le fait que le temps de faisceau est très coûteux, tandis que la recherche des financements nécessaires et le dépôt des candidatures occupent les chercheurs pendant des mois, voire des années, avant qu'ils puissent effectuer leurs expériences. La situation est encore compliquée par le fait que les synchrotrons sont de gros équipements auprès desquels il faut amener les papyrus, ce qui oblige à emprunter ces derniers aux institutions qui les protègent jalousement.

Hormis le bureau des Papyrus, qui détient de loin le plus grand nombre de rouleaux et de fragments, quatre rouleaux se trouvent à l'Institut de France, à Paris, et, semble-t-il (étant donné qu'ils sont sous la forme de fragments), huit à la Bodleian Library d'Oxford. Dans l'ensemble, cependant, obtenir des conservateurs qu'ils remettent les originaux aux instituts de recherche étrangers est un obstacle difficile à franchir pour les chercheurs intéressés. Le contrôle des conservateurs sur leurs rouleaux donne de l'importance aux institutions auxquelles ils appartiennent, ce qui explique que seule une poignée d'études tomographiques à rayons X aient pu être tentées.

Brent Seales, chercheur de l'université du Kentucky, qui a travaillé avec Vito Mocella et Daniel Delattre lors les premières expériences faisant appel au rayonnement synchrotron, mais qui suit aujourd'hui sa

Cette statue d'Hermès trouvée dans la villa des Papyrus en 1758 illustre l'idée épicurienne selon laquelle les dieux ne s'occupent pas des humains : le messager des dieux qu'est Hermès est assis et semble n'avoir rien à faire.



propre voie, était ostensiblement absent lors de la conférence de Lecce. En mai 2019, son équipe a publié des travaux fondés sur l'intelligence artificielle.

Menés par Clifford Seth Parker, lui aussi de l'université du Kentucky, ces chercheurs se sont servi de répliques de papyrus pour entraîner un réseau de neurones artificiels (l'une des techniques de l'intelligence artificielle) à reconnaître l'encre déposée sur les papyrus. À l'aide de cet « apprentissage profond », le réseau neuronal parvient à reconnaître l'encre de papyrus même à partir des données produites par des microtomographies à rayons X industriels.

Les microtomographies, images tridimensionnelles de haute résolution, produites par ces machines contiennent ainsi des informations subtiles sur les différences structurelles entre l'encre et le papyrus. En raison du manque de contraste, ces différences ne sont pas visibles sur les images, mais l'algorithme d'intelligence artificielle finit cependant par obtenir des informations utiles, à condition qu'il ait pu être entraîné avec suffisamment d'exemples de « contrastes morphologiques » liés à l'encre.

Ces essais ont pour le moment seulement démontré que le logiciel reconnaît de l'encre déposée en plusieurs couches, mais son principe n'en est pas moins prometteur. En octobre 2019, lors d'une conférence à Malibu, Brent Seales a annoncé que son algorithme a été en mesure de reconnaître une petite lettre apparente sur un fragment de papyrus, à partir de sa microtomographie.

Le chercheur a aussi utilisé le rayonnement synchrotron, plus efficace, pour examiner pour la première fois des rouleaux de papyrus d'Herculanum. Pour qu'il puisse les étudier à la Diamond Light Source, un synchrotron des environs d'Oxford, en Angleterre, l'Institut de France lui en a prêté deux. Les subtils signaux à analyser devraient se révéler davantage détectables dans les tomographies réalisées avec le synchrotron qu'avec un microtomographe. L'exploitation des données prendra plusieurs mois, d'autant que le développement de l'algorithme de lecture, qui doit être entraîné avec une énorme quantité d'exemples, est loin d'être terminé.

Savoir si les rouleaux de papyrus récupérés pourront être lus par l'une des méthodes non destructives joue un rôle déterminant dans la discussion sur l'opportunité de continuer à fouiller la villa des Papyrus. Les fouilleurs d'Alcubierre avaient trouvé les documents en partie dans de petits coffres et en partie dans des *capsae*, des boîtes servant à leur transport. Certains se trouvaient au sol, ce qui est peut-être lié à la façon dont l'avalanche de boue a pénétré les pièces. La plupart furent toutefois découverts sur les étagères équipant les murs d'une petite pièce dépourvue de fenêtre.

À la fin du ^{xviii} siècle, l'ingénieur suisse Karl Weber a relevé les tunnels et établi le plan d'un étage de la villa (voir la figure page 70-71). Les emplacements présumés des découvertes y sont notés. Il est évident qu'on ne lisait pas les papyrus dans la petite pièce. Les salles de lecture et les salles de stockage des ouvrages devaient donc être séparées. Les rouleaux qui venaient d'être lus se trouvaient probablement dans des *capsae* ou des commodes meublant les pièces éclairées. L'existence d'une salle contenant plus de cinquante chaises disposées en demi-cercle – une salle de réunion sans doute – va dans ce sens.

LA BIBLIOTHÈQUE TOUJOURS SOUS TERRE ?

On suppose aujourd'hui que la plupart des textes – ceux rédigés en grec et relatifs à Philodème – furent découverts dans la petite réserve, tandis que les textes latins le furent dans des *capsae* au sein des salles de lecture. Les différences observées dans les états de conservation des différents rouleaux plaident en ce sens. La petite salle était donc peut-être une sorte d'archive commémorative de Philodème, un centre philologique pour les érudits. De fait, certains des livres de Philodème y étaient disponibles dans des versions similaires. Certains textes comportent aussi des commentaires éditoriaux, ce qui suggère qu'il s'agit des premiers jets de Philodème, même si celui-ci est mort plus d'un siècle avant l'éruption du Vésuve.

En même temps, d'autres indices suggèrent que la bibliothèque principale, celle dont provenaient les textes contenus dans les *capsae*, n'est pas encore découverte. Les fouilles menées dans les années 1990 ont mis au jour deux étages supplémentaires, inconnus en 1750. La plus grande découverte de textes antiques jamais faite depuis la Renaissance nous attend-elle dans la boue pétrifiée qui remplit cette partie du bâtiment ?

En 1999, le surintendant de l'administration des biens culturels, Pier Giovanni Guzzo, a stoppé les fouilles en arguant que les travaux sur les rouleaux déjà exhumés étaient prioritaires. Le chantier de fouille est donc à l'arrêt, mais il a créé une tranchée de 30 mètres de profondeur, qui est aujourd'hui menacée de remplissage par la nappe phréatique. Des pompes ont été installées. Reste à savoir si cela protégera de l'eau la bibliothèque située dans la roche adjacente, si elle existe, et aussi à savoir si l'on pourrait aménager un tunnel pour atteindre les livres enfouis.

Il y a quelques années, Pier Giovanni Guzzo a fait savoir que l'on essaierait des « méthodes de sauvetage non conventionnelles ». Rien ne s'est produit cependant, avec l'argument que si la bibliothèque est en sécurité, mieux vaut la laisser tranquille. Pour le moment, après tout, les rouleaux exhumés continuent à se décomposer et l'on ne sait toujours pas les lire... ■

BIBLIOGRAPHIE

C. S. Parker et al., **From invisibility to readability : Recovering the ink of Herculanum**, *Plos One*, vol. 14(5), e021 5775, 2019.

P. Tack et al., **Tracking ink composition on Herculanum papyrus scrolls : Quantification and speciation of lead by X-ray based techniques and Monte Carlo simulations**, *Scientific Reports*, vol. 6, article 20763, 2016.

V. Mocella et al., **Revealing letters in rolled Herculanum papyri by X-ray phase contrast imaging**, *Nature Communications*, vol. 6, article 5895, 2015.

B. Seales, **Lire sans détruire les papyrus carbonisés d'Herculanum**, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, vol. 153(2), pp. 907-923, 2009.