

DURÉE LIBRE

Partie réservée au service abonnement Ne rien inscrire

L'ESSENTIEL

> En 79 de notre ère, l'éruption du Vésuve a enterré les villes de Pompéi et d'Herculanum, faisant disparaître sous des boues volcaniques brûlantes la bibliothèque de papyrus que contenait une riche villa.

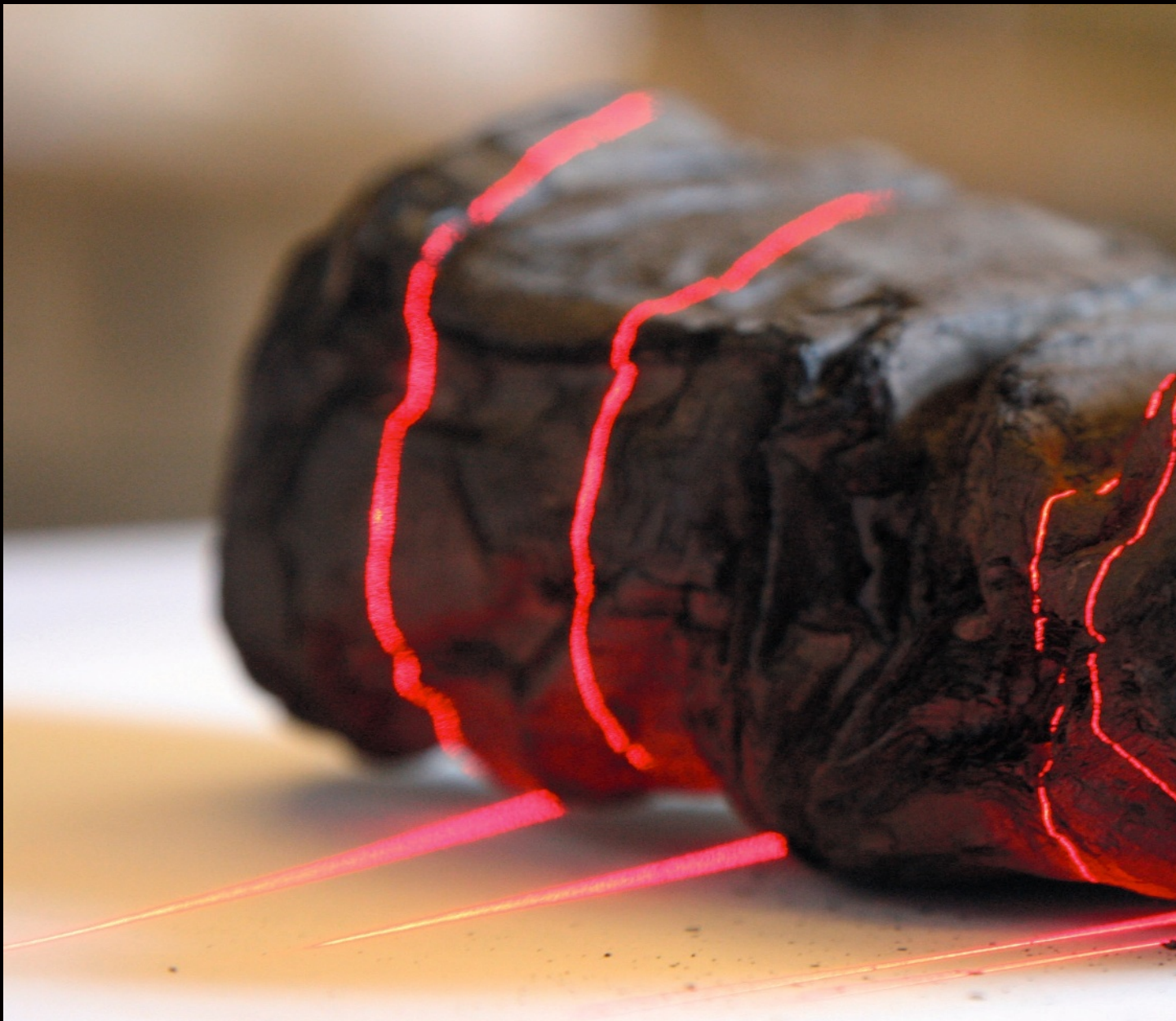
> Les rouleaux de papyrus, découverts il y a longtemps,

sont très carbonisés. On ne peut les ouvrir sans les détruire.

> À l'aide de diverses techniques modernes d'imagerie par rayons X et d'intelligence artificielle, les spécialistes espèrent pouvoir les lire enfin.

L'AUTEUR

HANNES HOFFMANN
journaliste scientifique
indépendant, basé à Berlin



Lire des papyrus carbonisés?

Au XVIII^e siècle, la fouille d'une villa d'Herculanum a livré quelque 1800 rouleaux de papyrus carbonisés datant de l'Antiquité. Les tentatives de les dérouler en ont détruit beaucoup. Mais avec le développement de méthodes d'imagerie non destructives, l'espoir de les lire renaît.



L'utilisation de lumière laser
aiderait à lire les rouleaux
de papyrus carbonisés
sans risquer de les détruire.

L'ancien palais des Rois de Naples, aujourd'hui la bibliothèque de Naples, abrite l'Officina dei Papiri, c'est-à-dire le « bureau des Papyrus ». On traverse de magnifiques salles remplies d'atlas et de globes terrestres avant de parvenir à ce bureau où abondent des étagères de bois sombre, des bustes de philosophes et ce qui ressemble à des armoires électriques gris-vert. Leur apparence austère est trompeuse, car c'est au sein de ces armoires métalliques que l'on conserve un extraordinaire trésor : les papyrus d'Herculanum.

Ces mille huit cents rouleaux de papyrus et autres fragments représentent quelque huit cents ouvrages datant de l'Antiquité ! Malheureusement, ils sont tous carbonisés à un haut degré, car ils proviennent d'une villa proche d'Herculanum qui, en 79 de notre ère, fut ensevelie sous des boues volcaniques brûlantes.

Sur les rouleaux, on distingue parfois des lettres à l'œil nu. On a pu relier certains d'entre eux aux œuvres de philosophes de l'Antiquité ; en revanche, le contenu d'autres reste une énigme. Près de trois cents rouleaux n'ont jamais été ouverts, et personne ne sait comment les dérouler sans les réduire à un tas de fragments de charbon. Depuis la découverte de ces vestiges, au XVIII^e siècle, les experts recherchaient en vain

la bonne méthode à utiliser. Il a fallu deux cent cinquante ans pour que de premières techniques non destructives apparaissent. Elles nous donnent enfin l'espoir d'accéder aux contenus de la seule bibliothèque de l'Antiquité gréco-romaine qui nous soit parvenue.

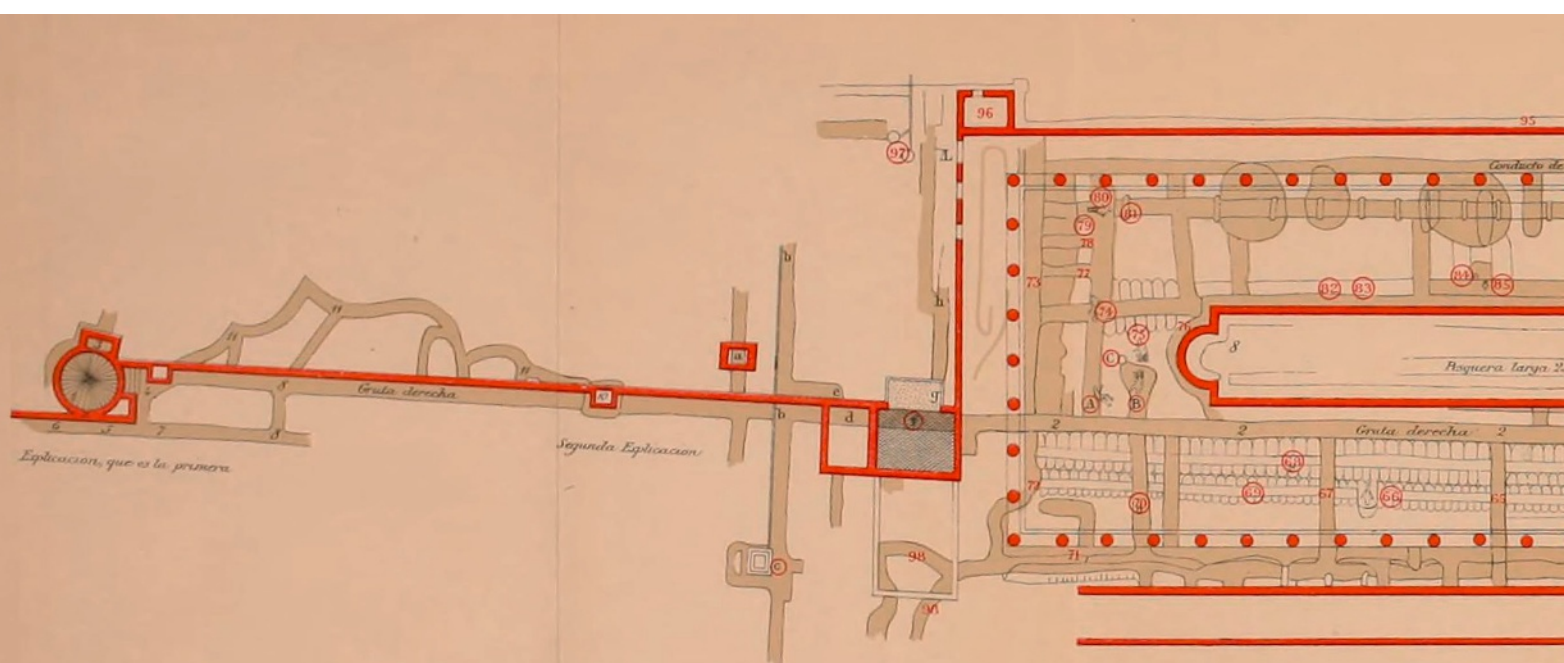
La villa des Papyrus est un grand complexe situé à l'extrémité nord-ouest du port d'Herculanum, face à la baie de Naples. À l'automne 79 de notre ère, elle fut ensevelie au cours de la grande éruption du Vésuve. Alors que Pompéi fut lentement ensevelie sous une pluie de cendres et de pierres ponceuses, Herculanum et la villa des Papyrus, situés directement au pied du volcan, le furent brutalement par des flux de gaz et de particules – des coulées pyroclastiques –, puis par des coulées de boues volcaniques chaudes – des lahars.

BÛCHES DE CHARBON OU PAPYRUS ENROULÉS ?

Cette boue forma vite une couche de roche de 30 mètres d'épaisseur, de sorte qu'Herculanum et la villa tombèrent dans l'oubli. Ce n'est qu'au milieu du XVIII^e siècle que de premières trouvailles les rappelèrent au souvenir des hommes. En 1750, en effet, des puisatiers découvrirent une mosaïque : le sol de la villa. Dans les années qui suivirent, Charles VII de Naples et de Sicile (et roi d'Espagne)

Mesurant 253 par 32 mètres, la villa des Papyrus, située dans l'agglomération d'Herculanum, était celle d'une riche famille romaine. Au XVIII^e siècle, l'ingénieur suisse Charles Weber établit son plan d'après les observations faites depuis les tunnels creusés à l'époque pour l'explorer.

©Herculanum, past, present & future, Ch. Waldstein et L. Knollys-Haywood, ed. Macmillan and Co. 1908, University of California Libraries



PLAN OF THE VILLA

REPRODUCED BY PERMISSION OF PROFESSOR

commanda des fouilles à la recherche de statues et d'autres œuvres d'art antiques à ajouter à sa collection. Il en confia la direction à l'ingénieur militaire espagnol Joaquín de Alcubierre, qui recruta des ouvriers et des prisonniers pour creuser des tunnels dans les couloirs et les pièces emplies de boue de la villa, parfois en traversant des murs.

Alcubierre ne prêta guère attention aux curieux objets sans valeur apparente que lui rapportèrent ses hommes : des cylindres noirs, bosselés et sans fonction identifiable. On imagine d'abord qu'il s'agissait de bûches carbonisées, de sorte que certains de ces cylindres furent probablement brûlés. Les fouilleurs ne réalisèrent que deux ans plus tard ce qu'ils avaient mis au jour.

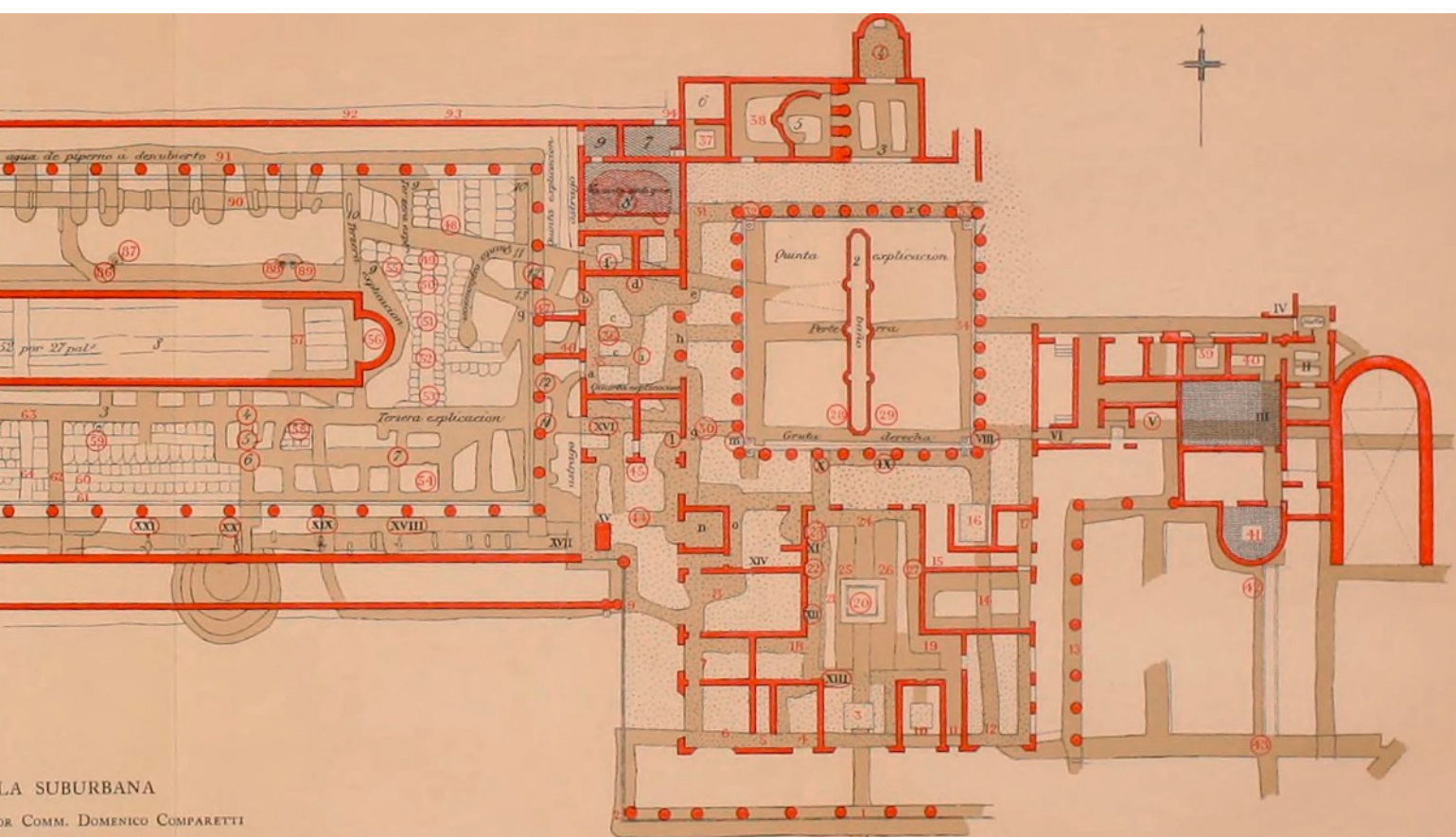
Nous ne saurons jamais combien exactement de livres antiques avaient déjà été perdus, mais Daniel Delattre, chercheur émérite à l'Institut de recherche et d'histoire des textes, à Paris, estime qu'une petite cinquantaine d'ouvrages ont pu être gâchés par les effets de cette méprise. Autre drame : les carnets de fouilles d'Alcubierre ne documentent guère la découverte des cylindres ; les endroits où ils furent trouvés, par exemple, ne figurent pas dans ces carnets, ce qui explique que les générations suivantes d'archéologues n'ont guère porté l'ingénieur militaire espagnol dans leurs cœurs...

Le chapitre suivant de la longue histoire de la bibliothèque d'Herculanum commence avec les premières tentatives d'ouverture des rouleaux. Toujours au XVIII^e siècle, le peintre romain Camillo Paderni, l'illustrateur puis le conservateur du musée d'Herculanum installé dans le palais de Portici, à Naples, fut le pionnier dans cette entreprise. Il découpa certains des rouleaux par le milieu dans le sens de la longueur, pour ensuite tenter de lire le texte inscrit. Ce faisant, il parvint surtout à détruire la partie généralement la mieux conservée du rouleau : son centre.

BEAUCOUP DE DÉGÂTS

Les tentatives ultérieures évitèrent cette coupe centrale. Ainsi, Antonio Piaggio, un membre de la congrégation des Piaristes devenu conservateur des miniatures du Vatican, aura plus de succès : il construira une célèbre machine utilisée jusqu'en 1906 pour dérouler les papyrus les moins brûlés en tirant des fils de soie accrochés au bord du document. En 1754, il parvint ainsi à ouvrir et à transcrire le *PHerc. 1497*, c'est-à-dire le quatrième livre de l'œuvre *Sur la musique*, de Philodème de Gadara (110 à 40 avant notre ère).

Ce succès n'empêche pas que les méthodes essayées depuis le XVIII^e siècle – toutes des méthodes mécaniques – détruisaient plus qu'elles ➤





> n'obtenaient de résultats. Elles ont réduit des centaines de rouleaux à des puzzles dont les pièces, stockées dans le bureau des Papyrus, se dégradent petit à petit. Dans les certaines des boîtes où ils sont conservés, les plus beaux morceaux de carbone sont suspendus tels des ailes d'insectes à un support en carton. Dans d'autres, on reconnaît les contours de fragments dans de la vieille colle, à côté des fins débris de papyrus en lesquels ils se sont décomposés.

UNE BIBLIOTHÈQUE ÉPICURIENNE ?

Dans la salle de lecture du bureau à Naples, les papyrologues étudient aujourd'hui les fragments déroulés à l'aide de stéréomicroscopes. Dans la plupart des cas, constatent-ils, les fragments sont constitués de plusieurs couches fusionnées, certaines dans un état catastrophique. «Il faut les tenir à contre-jour et les bouger quelque peu afin de distinguer les reliefs», explique Daniel Delattre. Auteur de certaines reconstitutions faisant autorité, Daniel Delattre travaille actuellement au bureau des Papyrus sur une copie relativement lisible. Au microscope, l'encre semble presque palpable.

À partir des fragments, les papyrologues n'ont, jusqu'à présent, reconstitué généralement que des lettres isolées et des morceaux de phrases. Les textes cohérents sont rares. Il semble cependant que l'on puisse attribuer la plus grande partie de la bibliothèque à un seul philosophe: Philodème de Gadara, un Syrien hellénisé connu pour avoir romanisé la pensée épicurienne.

De fait, Philodème a principalement écrit sur l'enseignement d'Épicure (341-270 avant notre ère). Les épicuriens trouvaient la paix de

l'âme dans l'idée que les dieux existent, mais ne s'occupent pas des humains. Découverte dans la villa des Papyrus, la statue d'un Mercure au repos (voir l'illustration page 74) montre clairement que le messager des dieux n'a rien à faire... La philosophie épicurienne inclut l'atomisme de Démocrite, qui vécut dans la seconde moitié du v^e siècle avant notre ère et qui émit la première théorie d'un monde discontinu, fait de vide et d'atomes. Pour les épicuriens, l'Univers ne consiste en fait qu'en mouvements, regroupements et collisions de petites particules invisibles et indivisibles.

La tradition épicurienne et atomiste, comme, du reste, presque toute la littérature antique, est malheureusement largement perdue. Les chiffres varient mais, pour certains experts, guère plus de 0,1 % des livres préchrétiens nous seraient parvenus.

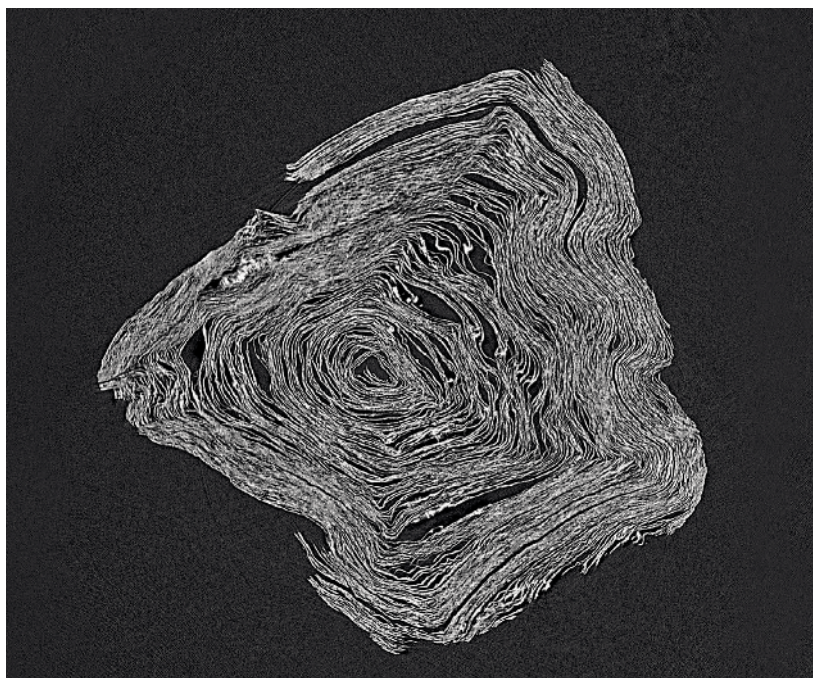
Dès lors, on comprend l'importance cruciale que pourraient revêtir les trois cents rouleaux de papyrus d'Herculanum encore complets, mais toujours illisibles. Ce sont les spécimens les plus carbonisés qui ont échappé au couteau de Camillo Paderni et à la machine d'Antonio Piaggio. Ces formes noires, faisant penser à la trompe retroussée d'un éléphant (voir la photo ci-dessus), sont si fragiles qu'elles ne laissent guère d'espoir de pouvoir les lire un jour. Mais ces dernières années, plusieurs nouvelles méthodes non destructives ont été développées afin de visualiser l'intérieur des rouleaux carbonisés. Vont-elles nous donner enfin accès au monde intellectuel perdu de l'Antiquité ?

En 2015, une équipe dirigée par Daniel Delattre et Vito Mocella, de l'Institut de microélectronique et des microsystèmes, à Naples, a fait connaître une nouvelle méthode,

Froissé par la chaleur ou le manque de soin, ce rouleau de papyrus carbonisé conservé à l'Institut de France ressemble à une trompe d'éléphant retroussée.



Souvent, les fragments produits par l'ouverture mécanique des rouleaux de papyrus d'Herculanum, comme celui montré ci-dessus, sont constitués de plusieurs couches collées, dont chacune porte une fraction de texte. Ci-dessus à droite: la radiographie en coupe du papyrus d'Herculanum de Paris n° 4.



vite considérée comme une percée. Fondée sur les rayons X, elle vise à mesurer les minces reliefs créés par l'encre sur le papyrus. En l'adoptant, les chercheurs espèrent contourner le problème dont souffraient toutes les tentatives de lecture par les rayons X: l'omniprésence du carbone dans la masse des rouleaux.

En effet, les auteurs anciens utilisaient une encre essentiellement composée d'un liant et de carbone (suie ou charbon de bois). Même avec les meilleurs appareils à rayons X, les chercheurs ne sont pas parvenus jusqu'à présent à distinguer le carbone de l'encre de celui du papyrus carbonisé. Toutefois, ils ne se sont concentrés que sur le «contraste d'absorption», le principe exploité en radiographie médicale et dans les scanners à rayons X: l'absorption plus ou moins importante des rayons X selon la densité du matériau traversé. Daniel Delattre et Vito Mocella se sont demandé si l'on pouvait distinguer le petit monticule d'encre séchée en exploitant le contraste de phase, c'est-à-dire en détectant les déphasages (la phase d'une onde caractérise à quel stade se trouve le cycle suivi par son amplitude) entre les rayons X qui traversent des milieux différents en nature ou en épaisseur.

L'avantage décisif de la tomographie X par contraste de phase est la possibilité de produire des images même quand le contraste d'absorption est très faible. L'inconvénient est que pour produire le rayonnement X nécessaire, il faut une énorme machine: un accélérateur de particules. Afin de pouvoir déterminer précisément les déphasages, il faut en outre disposer d'une source X de qualité laser, en d'autres termes une source de lumière X monochromatique (un rayonnement X de longueur d'onde unique).

Les synchrotrons, où des électrons décrivent à grande vitesse une trajectoire circulaire et émettent de ce fait un rayonnement dans la direction tangente, fournissent de telles sources de rayons X. Les chercheurs s'en sont servi pour balayer ligne par ligne l'un des rouleaux d'Herculanum. Le procédé a permis d'obtenir des images de l'intérieur froissé du rouleau. La structure la plus évidente qui est alors apparue est l'entrecroisement des fibres végétales constituant le papyrus. Au cours de la fabrication de ce papier de l'Antiquité, la moelle des tiges du papyrus (*Cyperus papyrus*) était en effet coupée en bandes, qui étaient ensuite entrecroisées et pressées. Dans leur article de 2015, Daniel Delattre et Vito Mocella affirment avoir reconnu une série de lettres: des structures isolées très floues. S'agit-il vraiment de lettres ou les chercheurs n'ont-ils eu que l'illusion de trouver ce qu'ils attendaient? Depuis la publication de ces travaux, la question est vivement débattue au sein de la petite communauté des papyrologues.

LE PLOMB REND L'ENCRE VISIBLE

En 2016, Daniel Delattre et Vito Mocella participèrent à un nouveau projet promettant d'améliorer sensiblement la tomographie par contraste de phase appliquée aux papyrus: utiliser la spectrométrie de fluorescence aux rayons X. La fluorescence X est le fait que certains atomes, excités par les rayons X, émettent ensuite un rayonnement de fréquence caractéristique. Par spectrométrie de fluorescence aux rayons X, les chercheurs ont pu démontrer, à l'aide des rayons X fournis par le synchrotron européen ESRF (European Synchrotron Research Facility), à Grenoble, ➤

> 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 des 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.



L'urubu à tête rouge *Cathartes aura*, tel que le voyait Jean-Jacques Audubon dans *The Birds of America* (1840). Ce vautour fut au cœur de la controverse autour de l'odorat des oiseaux qui opposa l'ornithologue à l'explorateur Charles Waterton.