

Édition Bibliothèque IA en français

L'IA déchiffre les écritures anciennes

Archives anciennes ravivées
par l'IA

Kim Kyung-jin, avocat

kimkj.com · Bibliothèque IA · 2026

L'IA déchiffre les écritures anciennes

Archives anciennes ravivées par l'IA

Kim Kyung-jin, avocat

Un rouleau brûlé et réduit en charbon, un morceau de bois enfoui dans l'argile, une tablette d'argile brisée et dispersée ont longtemps été des objets illisibles. Ce livre suit douze événements qui brisent ce silence. Il va du déroulement virtuel qui a permis de lire les rouleaux d'Herculanum ensevelis sous les cendres volcaniques sans les ouvrir, au Lévitique d'En-Gedi rendu lisible par les rayons X, à l'expertise du rouleau d'Isaïe qui a distingué le nombre de scribes par l'écriture, à la colle numérique qui assemble des dizaines de milliers de fragments, à la reconstruction de l'Épopée de Gilgamesh, à la traduction des registres en akkadien, au reliage virtuel en 3D des inscriptions sur os oraculaires, à la lecture de l'écriture cursive des lamelles de bois de Silla, à la linguistique informatique appliquée au linéaire A, à l'écriture de l'Indus et au rongorongo, aux modèles de langue qui comblent les inscriptions grecques brisées, jusqu'aux archives multispectrales qui subsistent même lorsque l'original disparaît. Chaque chapitre suit l'ordre suivant : dossier de l'affaire, enquête de la police scientifique, vérité établie. Les termes sont expliqués pour que le lecteur puisse lire sans connaissances préalables. Des références vérifiées sont ajoutées à chaque sous-chapitre. L'annexe rassemble des points d'accès à des ressources ouvertes que le lecteur peut consulter chez lui. Ce livre a été écrit à partir de 251 ressources réunies dans la note NotebookLM « Collection de recherche sur le déchiffrement des langues anciennes et des documents anciens par l'IA (2024-2026) ».

Dépôt ouvert de ressources de recherche

Ce livre a été organisé et produit avec l'IA. Il synthétise des ressources recueillies dans les principales langues du monde. NotebookLM ne limite pas la langue des questions selon la langue dans laquelle les ressources ont été rédigées. Le lecteur peut interroger dans sa propre langue le même dépôt de ressources de recherche que celui utilisé pour préparer ce livre. Il en va de même si certaines ressources sont en coréen, en anglais ou dans d'autres langues. Dans NotebookLM, si le lecteur ouvre les paramètres et définit la langue de sortie souhaitée, les réponses et les résultats générés apparaissent dans cette langue.

Dépôt public NotebookLM utilisé pour préparer ce livre (Collection de recherche sur le déchiffrement des langues anciennes et des documents anciens par l'IA 2024-2026, 251 ressources) :

<https://notebook.google.com/notebook/cf32a6a1-66cc-473d-99d8-ed5a51596eb3>

L'édition originale coréenne de ce livre se trouve dans la Bibliothèque IA de kimkj.com :

<https://kimkj.com/ai-library/?mod=document&uid=12641>

Table des matières

Cliquer sur le titre de chaque chapitre permet d'accéder au texte correspondant. Pour lire depuis le début, choisir le chapitre 1.

Chapitre 1. La bibliothèque engloutie par les cendres : les rouleaux carbonisés d'Herculaneum · 4
Chapitre 2. La parole née dans l'arche sainte brûlée : le Lévitique scellé d'En-Gedi · 13
Chapitre 3. Les deux ombres cachées dans le rouleau d'Isaïe : expertise des scribes · 22
Chapitre 4. La colle numérique qui assemble des dizaines de milliers de fragments d'argile · 30
Chapitre 5. Tablettes d'argile brisées : la reconstruction informatique de l'Épopée de Gilgamesh · 40
Chapitre 6. La traduction de l'akkadien par IA : reçus et murmures des marchands de Mésopotamie · 49
Chapitre 7. Le plastron d'une tortue : assemblage virtuel en 3D des os oraculaires · 58
Chapitre 8. Les lamelles de bois de Silla : l'IA qui lit une calligraphie sortie de la boue · 68
Chapitre 9. L'énigme perdue de la mer Égée : le linéaire A et la grille géométrique · 78
Chapitre 10. Cycles du soleil et sceaux animaux : les sons de l'écriture de l'Indus et du rongorongo · 87
Chapitre 11. L'IA relit les inscriptions grecques brisées : modèles de fondation et Ithaca · 97
Chapitre 12. Une bibliothèque virtuelle qui ne brûle jamais : les archives multispectrales · 106
Appendice. Mon voyage archéologique avec l'IA : portail mondial d'exploration pour le grand public · 115

Chapitre 1. La bibliothèque engloutie par les cendres : les rouleaux carbonisés d'Herculanum

1.1. Dossier de l'affaire

Le jour où le volcan recouvrit la bibliothèque

En 79 apr. J.-C., le Vésuve entra en éruption dans le sud de l'Italie. Le volcan rejeta d'un seul coup des gaz brûlants et des cendres volcaniques. Au bord de la mer, au pied de la montagne, se trouvait une ville appelée Herculanum. C'était une station de villégiature où les riches Romains passaient l'été. Cette ville fut elle aussi ensevelie sous terre en une seule journée[1].

À l'extérieur de la ville se dressait une grande villa. Les chercheurs l'appellent aujourd'hui la villa des Papyrus. Son propriétaire semble avoir été Lucius Calpurnius Piso Caesoninus. Il était le beau-père de Jules César. Le philosophe grec Philodème fréquentait cette maison. Philodème était un penseur de l'école épicurienne. Dans une partie de la villa se trouvait une bibliothèque où l'on conservait des rouleaux. Comme ses écrits y ont été trouvés en nombre inhabituel, on considère cette bibliothèque comme liée à lui[1].

Le papyrus est le papier du monde méditerranéen antique. Il est fabriqué avec une plante qui pousse au bord du Nil, en Égypte. On tranche finement la partie interne de la tige et on l'aligne horizontalement. Puis on pose par-dessus une seconde couche dans le sens vertical. Quand on mouille et presse l'ensemble, la sève de la plante sert de colle. En séchant, cela devient une feuille de papier. La surface du papyrus garde donc des fibres croisées à l'horizontale et à la verticale. Ces fibres deviendront plus tard un indice important[7].

Ce jour-là, des gaz brûlants pénétrèrent dans la bibliothèque. Les rouleaux furent cuits tels quels, sans flammes. Le papyrus qui servait de papier devint du charbon noir. Ce processus, dans lequel une matière brûle et devient du charbon, s'appelle la carbonisation. Les rouleaux se contractèrent et leur surface se boursoufla[2]. Plus de 20 mètres de dépôts volcaniques s'accumulèrent au-dessus d'eux. Les dépôts volcaniques sont des couches durcies formées par l'accumulation de cendres volcaniques et de poussières de roche[1].

Une fois enfouis profondément sous terre, ils ne furent plus au contact de l'air. Quand l'air ne les atteint pas, les fibres végétales se décomposent mal. La catastrophe servit de couvercle protecteur aux vestiges. Les rouleaux tinrent ainsi pendant 2 000 ans[2].

Les bâtons noirs sortis des tunnels souterrains

En 1738, la cour royale de Naples commença à creuser cette zone. En 1750, un ouvrier qui creusait un puits découvrit un sol de mosaïque colorée. L'emplacement de la villa fut ainsi révélé. La responsabilité des fouilles fut confiée à Karl Weber. C'était un ingénieur militaire d'origine suisse[1].

Weber creusa un puits droit vers le bas dans les dépôts volcaniques durcis. Ce type de puits s'appelle un puits vertical. Puis il creusa d'étroits tunnels comme dans un labyrinthe. À l'intérieur, il faisait sombre et l'air était mauvais. Le risque d'effondrement des parois était toujours présent. Malgré ces conditions, Weber dessina avec soin le plan de la villa. Grâce à cette carte, on sait quels objets ont été trouvés dans quelles pièces[1].

À partir de 1752, les ouvriers commencèrent à extraire des objets semblables à des bâtons noirs. Au début, ils pensèrent qu'il s'agissait de morceaux de charbon. On découvrit ensuite que c'étaient des

rouleaux de papyrus. On estime qu'environ 1 100 rouleaux provenaient de cette villa. C'est le seul cas connu où une bibliothèque du monde antique a été conservée dans son ensemble[1].

Cette bibliothèque contenait un nombre inhabituel d'écrits de Philodème. Des versions achevées, des copies et des brouillons s'y trouvaient ensemble. Les chercheurs pensent qu'il écrivait et organisait ses textes dans cette maison[1]. Les rouleaux péniblement déroulés contenaient des textes de philosophie, de rhétorique et d'éthique. La rhétorique est la discipline qui étudie les moyens de persuader autrui par la parole et l'écrit. Personne ne savait ce que contenaient les rouleaux qui n'avaient pas pu être ouverts[2].

Les rouleaux brisés en tentant de les dérouler de force

Les chercheurs voulaient lire les textes qu'ils contenaient. Le problème était que les rouleaux tombaient en poussière quand on les touchait[2]. En 1753, le père Antonio Piaggio fabriqua une machine. C'était un dispositif qui tirait peu à peu le rouleau avec des fils et des poids pour le dérouler[3]. Cette machine sauva quelques volumes, mais elle déchira aussi des couches internes[2].

Au XIXe siècle, le chimiste britannique Humphry Davy intervint. Il utilisa du chlore gazeux, de la vapeur d'iode et des acides sur les rouleaux. Sa méthode visait à séparer les couches avec des produits chimiques. Le résultat ne fut pas bon. Les produits ramollirent le papyrus et le firent se briser[3].

La plupart des tentatives de déroulement physique endommagèrent les vestiges. Des fragments portant des lettres se dispersèrent parfois sur le sol et disparurent. Le monde savant finit par arrêter les tentatives d'ouverture. Aujourd'hui encore, plusieurs centaines de rouleaux restent fermés[2]. Ces vestiges sont conservés dans des institutions à Naples, Paris et Oxford[4].

Le mur de carbone qui arrêtait les rayons X

Les scientifiques cherchèrent un moyen de lire sans ouvrir. Le premier outil envisagé fut la tomodensitométrie. On l'appelle couramment CT. La CT mesure les différences de densité à l'intérieur d'un objet sans le couper. Les matières denses arrêtent davantage les rayons X. Elles apparaissent donc plus claires sur les images en coupe[5].

Une encre contenant des éléments métalliques brille en blanc sur les images CT. Dans l'Europe médiévale, les encres contenant du fer étaient largement utilisées. Le rouleau brûlé trouvé à Ein Gedi, en Israël, était comparable. Ce vestige est un manuscrit hébreu de l'ancien Israël. Comme l'encre semblait contenir du métal, elle laissa des traces sur les images. Il fut donc lu en 2016 sans être ouvert[5].

Les scribes d'Herculanum étaient dans une autre situation. Un scribe était une personne qui copiait les textes à la main. Ils fabriquaient leur encre en mélangeant de l'eau et de la résine à de la suie issue du bois brûlé. Le principal composant de cette encre est le carbone. Or le papyrus cuit par la chaleur du volcan était lui aussi devenu du carbone. Le papier et les lettres étaient devenus la même matière[6].

Quand la densité est la même, les rayons X traversent les deux zones de la même manière. Aucune frontière n'apparaît sur les images en coupe. Les chercheurs appelèrent cet obstacle le problème de l'encre au carbone. En 2015, des chercheurs italiens et français essayèrent une autre méthode. Il s'agissait de l'imagerie par contraste de phase. Elle utilise le fait que la direction des rayons X se dévie légèrement lorsqu'ils passent la frontière d'une matière. Même si la densité est identique, le signal change à l'interface. Grâce à cette méthode, les chercheurs repérèrent les contours de quelques lettres dans un rouleau enroulé. Mais cela ne suffisait pas à lire des phrases[6]. Pendant longtemps, on crut que ce mur ne pouvait pas être franchi[2].

Références

- [1] Herculaneum Society. The Villa of the Papyri. University of Oxford.
<https://www.herculaneum.ox.ac.uk/index.php/the-villa-of-the-papyri/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] Vesuvius Challenge. FAQ. scrollprize.org. <https://scrollprize.org/faq> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Villa of the Papyri. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Villa_of_the_Papyri (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] University of Kentucky. (2026, 6월 25일). The day the Herculaneum scrolls began speaking again. UKNow.
<https://uknow.uky.edu/research/day-herculaneum-scrolls-began-speaking-again> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Seales, W. B., Parker, C. S., Segal, M., Tov, E., Shor, P., & Porath, Y. (2016). From damage to discovery via virtual unwrapping: Reading the scroll from En-Gedi. Science Advances, 2(9), e1601247.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1601247>
- [6] Mocella, V., Brun, E., Ferrero, C., & Delattre, D. (2015). Revealing letters in rolled Herculaneum papyri by X-ray phase-contrast imaging. Nature Communications, 6, 5895. <https://doi.org/10.1038/ncomms6895>
- [7] Papyrus. Encyclopaedia Britannica. <https://www.britannica.com/topic/papyrus-writing-material> (consulté le 3 septembre 2026)

1.2. La traque de la police scientifique 1 : peler virtuellement un oignon

L'idée de lire sans ouvrir

Le professeur Brent Seales, de l'université du Kentucky aux États-Unis, choisit une autre voie. Son idée était de dérouler les vestiges dans l'ordinateur au lieu de les ouvrir. L'objet réel reste intact, et l'on obtient seulement des images en trois dimensions. Ensuite, on retire les couches une par une à l'écran. La méthode avance vers l'intérieur comme lorsqu'on pèle un oignon[1].

L'équipe de recherche donna à cette méthode le nom de déroulement virtuel. En anglais, on l'appelle virtual unwrapping. En 2016, cette méthode réussit pour la première fois. L'objet était le rouleau d'Ein Gedi vu dans la section précédente. Ce vestige avait été trouvé en 1970 sur le site d'une ancienne synagogue. À l'extérieur, il ressemblait à une masse entièrement brûlée et noire. Quand l'équipe le déplia à l'écran, une écriture hébraïque apparut. C'était le début du Lévitique dans l'Ancien Testament[1].

Le déroulement virtuel comprend cinq étapes. Obtenir des images en trois dimensions, séparer les couches, attribuer les valeurs d'encre, aplatir, puis assembler. Dans le manuscrit d'Ein Gedi, cet ordre fonctionna tel quel. L'encre était déjà visible sur les images[1].

Les rouleaux d'Herculaneum présentaient des conditions moins favorables que le manuscrit d'Ein Gedi. La chaleur du volcan avait écrasé et déformé les coupes. La forme ronde s'était effondrée, et les couches étaient collées les unes aux autres. De plus, l'encre n'apparaissait pas sur les images. Parmi les cinq étapes, la deuxième et la troisième bloquaient ensemble le processus[2].

À Herculaneum, l'ordre fut donc modifié. On sépare d'abord les couches et on les aplatit. La recherche de l'encre vient ensuite, séparément. La section 1.3 raconte cette recherche de l'encre[2].

Les images en trois dimensions prises par un accélérateur de particules

La première étape consiste à photographier tout l'intérieur du rouleau[1]. La CT médicale distingue en général des détails d'environ 1 millimètre. Les couches de papyrus sont beaucoup plus fines. L'épaisseur d'une seule couche est inférieure à celle d'un cheveu. Avec du matériel médical, les couches se confondent[3].

L'équipe de recherche se rendit dans un accélérateur de particules. Elle alla d'abord au Diamond Light Source, au Royaume-Uni[3]. Plus tard, elle utilisa aussi l'European Synchrotron Radiation Facility de

Grenoble, en France[4]. Ces installations produisent des rayons X très brillants et très rectilignes. Plus la lumière est brillante, plus on obtient des images nettes en peu de temps[3].

L'équipe plaça le rouleau debout dans un récipient et le fixa solidement. Le moindre mouvement pendant l'imagerie aurait rendu les images floues. Les données ainsi obtenues avaient une résolution d'environ 8 micromètres par voxel. Un voxel est un pixel en volume qui possède aussi une valeur de profondeur. On peut l'imaginer comme un point de logiciel de dessin transformé en petit cube[3].

La quantité de données était immense. Un seul rouleau produisait environ 300 téraoctets. C'est une taille qui remplirait l'espace de stockage de milliers de smartphones. Le traitement de ces données devint lui-même un nouveau défi[4].

L'installation de Grenoble, en France, est appelée source lumineuse de quatrième génération. Le nouvel équipement entra en service en 2020. Vingt et un pays européens investirent 150 millions d'euros pour en améliorer les performances. À l'origine, cette installation avait été construite pour étudier la matière et les phénomènes du vivant. Au début, personne ne pensait qu'elle servirait à lire des rouleaux antiques[4].

La segmentation volumique qui sépare les couches

Une fois les images en trois dimensions obtenues, l'étape suivante consiste à séparer les couches. Ce travail s'appelle la segmentation volumique. Il consiste à isoler une par une les couches dans une image en volume. L'ordinateur suit, coupe après coupe, le trajet de la surface du papier. Lorsque ces lignes sont reliées entre elles, un modèle tridimensionnel d'une feuille apparaît. Ce modèle s'appelle un maillage[1].

Au début, une personne marquait chaque frontière à la souris[2]. La longueur de papier contenue dans un seul rouleau dépasse 1 mètre[4]. C'était trop long et trop dense pour être suivi à la main. De plus, les couches étaient écrasées les unes contre les autres, ce qui rendait les frontières floues[2].

La vitesse augmenta lorsque les participants au concours proposèrent des outils automatisés. Le programme créé par le Suisse Julian Schilliger en est un exemple représentatif. Ce programme suit les motifs des images en coupe voisines et relie les couches entre elles. Il réduisit à quelques heures un travail qui prenait plusieurs jours à une personne[2].

Ce travail dépassait ce qu'un seul laboratoire pouvait faire. Les organisateurs mirent les données d'imagerie en accès libre sur Internet. Les participants publièrent le code source de leurs programmes. Chaque personne ajoutait des fonctions aux outils créés par d'autres. Les transcriptions et le code peuvent encore être téléchargés par tous[5].

Aplatir et assembler

Une fois les couches séparées, le modèle du papier reste enroulé. Dans cet état, les lettres paraissent courbées. On calcule donc un aplatissage du modèle. Cette étape s'appelle l'aplatissement[1].

L'ordinateur transforme les sommets du modèle en petites billes. Il suppose que les billes sont reliées entre elles par des ressorts. Puis il répète le calcul qui couche ce filet sur le sol. Il minimise l'allongement ou le raccourcissement des ressorts. Ainsi, la forme des lettres n'est pas fortement déformée[1].

La dernière étape est l'assemblage. Un rouleau ne se déplie pas entièrement en une seule fois. L'ordinateur le divise en plusieurs zones et les aplatit séparément. Les zones aplaties doivent ensuite être replacées en une seule feuille. On utilise alors le motif de fibres en grille propre au papyrus. Si les motifs de fibres de deux zones s'emboîtent, cela signifie qu'elles étaient voisines à l'origine. Quand cette comparaison est terminée, le déroulement virtuel est achevé[1].

Les cinq étapes ne se terminent pas d'un seul coup. Si une erreur survient à une étape, toutes les étapes suivantes se décalent. Si les couches sont mal séparées, les lettres d'une autre feuille se mélangent. Les chercheurs traitent donc plusieurs fois le même rouleau. Ils vérifient le résultat à l'œil, modifient les paramètres, puis relancent le processus[5].

Références

- [1] Seales, W. B., Parker, C. S., Segal, M., Tov, E., Shor, P., & Porath, Y. (2016). From damage to discovery via virtual unwrapping: Reading the scroll from En-Gedi. *Science Advances*, 2(9), e1601247.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1601247>
- [2] Vesuvius Challenge. (2024, 2월 5일). Vesuvius Challenge 2023 Grand Prize awarded: we can read the scrolls! scrollprize.org. <https://scrollprize.org/grandprize> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Vesuvius Challenge. FAQ. scrollprize.org. <https://scrollprize.org/faq> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] University of Kentucky. (2026, 6월 25일). The day the Herculaneum scrolls began speaking again. UKNow.
<https://uknow.uky.edu/research/day-herculaneum-scrolls-began-speaking-again> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Vesuvius Challenge. (2026, 6월 25일). An entire Herculaneum scroll has been read for the first time. scrollprize.org.
<https://scrollprize.org/firstscroll> (consulté le 3 septembre 2026)

1.3. La traque de la police scientifique 2 : trouver les micro-empreintes de l'encre

Du carbone écrit sur du carbone

Même après le déroulement virtuel, l'écran était encore vide. Le papier était déplié, mais les lettres n'étaient pas visibles[1]. La cause était le problème du carbone déjà vu. Le papyrus était du carbone, et l'encre aussi. Les rayons X ne pouvaient pas les distinguer[2].

L'équipe du professeur Seales formula une hypothèse. L'encre ne pouvait pas n'avoir laissé absolument aucune trace[1]. L'encre touche le papier à l'état liquide. Le liquide pénètre entre les fibres. Puis, en séchant, il tire légèrement sur la surface[3].

La forme de la surface du papier change alors de manière infime. Même si la densité reste la même, le relief change. L'équipe décida de chercher ce relief[3]. Comme il était trop petit pour être vu à l'œil nu, il fallait confier cette tâche à une machine[1].

L'outil utilisé ici est l'apprentissage automatique. Ce n'est pas une méthode où l'on écrit une à une les règles pour la machine. On lui montre de nombreux exemples accompagnés de la bonne réponse, puis on la laisse trouver les règles par elle-même. C'est le même principe que lorsqu'un système reconnaît un chat après avoir vu des milliers de photos de chats. Pour chercher l'encre, on lui montre des échantillons où les zones avec et sans encre sont indiquées[1].

L'indice appelé crackle

En mars 2023, un concours appelé Vesuvius Challenge fut lancé[1]. Le professeur Seales, Nat Friedman et Daniel Gross le lancèrent ensemble[4]. Les organisateurs mirent gratuitement les données d'imagerie en ligne. Ils offrirent des prix et réunirent des programmeurs du monde entier[1].

Pendant les premiers mois, personne ne trouva d'encre. Cet été-là, un participant nommé Casey Handmer trouva une piste. Il observa longtemps, à l'œil nu, les données de surface dépliées. Il remarqua alors un motif particulier. C'étaient de fines marques de craquelures[1].

Il suffit d'imaginer le sol d'une rizière en période de sécheresse. L'argile sèche se fissure comme un filet. Des craquelures semblables apparaissaient aussi aux endroits couverts d'encre. Les participants appelèrent ce motif le crackle. Handmer reçut le premier prix de l'encre pour cette découverte[1].

Handmer annonça sa découverte aussitôt dans un salon de discussion en ligne. Ce partage changea le cours du concours. Les autres participants utilisèrent immédiatement ce motif comme matériau d'apprentissage[1].

Ne montrer qu'une petite fenêtre

L'étudiant américain Luke Farritor agit le premier. Il apprit le motif de crackle à un modèle d'apprentissage automatique. Le modèle répondait par une probabilité indiquant où se trouvait l'encre. Plus l'apprentissage avançait, plus les réponses devenaient exactes[1].

Le problème était le faible volume des données d'apprentissage. Quand les données sont peu nombreuses, la machine mémorise les réponses. On appelle cela le surapprentissage. C'est comme un élève qui mémorise seulement les réponses sans comprendre les questions d'examen[1].

Les participants augmentèrent le volume des données en les faisant pivoter et en les retournant. Même si l'image tourne, les propriétés du motif de craquelures restent les mêmes. Grâce à cela, la machine apprit seulement les caractéristiques du motif lui-même[1].

Ils modifièrent aussi la taille de la fenêtre d'entrée. Au début, on montrait une large zone en une seule fois. Avec une vue large, la forme entière des lettres apparaît. La machine commença alors à inventer des lettres. Elle dessinait des traits plausibles là où il n'y avait pas d'encre. On appelle cela une hallucination de l'IA[1].

Les chercheurs réduisirent la fenêtre à 64 par 64 pixels. À cette échelle, la forme des lettres n'apparaît pas. La machine doit juger seulement d'après la texture des craquelures. Les inventions diminuèrent fortement. En revanche, les vraies traces de pinceau apparurent telles quelles à l'écran[1].

Le modèle chargé de ce calcul associait deux types de structures. La première était un réseau neuronal convolutif tridimensionnel. Cette structure balaie les motifs dans un petit cube et en extrait les caractéristiques. La seconde était un transformeur. Cette structure évalue le degré de relation entre des signaux éloignés. En combinant les deux, on ne manque pas les motifs flous dans les couches fines[1].

L'image produite par la machine n'est pas acceptée aussitôt comme réponse correcte. Des spécialistes de paléographie lisent cette image séparément. Ils vérifient si l'ordre des mots grecs respecte la grammaire. Ils vérifient aussi si les phrases qui suivent ont un sens. Si la lecture de la machine et celle des humains divergent, l'objet est recalculé[1].

À partir des seuls reliefs de surface

Par la suite, les méthodes de détection de l'encre continuèrent de progresser. Le participant Youssef Nader utilisa une méthode de préapprentissage. Elle consiste à montrer d'abord à la machine un grand volume de données de rouleaux sans tableau de réponses. La machine apprend seule l'apparence des fibres de papyrus. Ensuite, avec un petit tableau de réponses, on lui enseigne seulement la détection de l'encre[1].

En mars 2026, une étude porta sur les reliefs eux-mêmes. Elle fut rédigée par Giorgio Angelotti, Federica Nicolardi, Paul Henderson et Brent Seales. L'équipe mesura avec des instruments optiques la surface d'un échantillon de papyrus déjà déplié. Elle entraîna la machine avec des données ne contenant que les hauteurs. Elle n'y ajouta aucune information de luminosité ni de densité[3].

Pourtant, la machine distingua les zones où se trouvait l'encre. Cela signifie que l'encre peut être repérée à partir des seules variations de hauteur de la surface. Les chercheurs calculèrent aussi le degré de finesse nécessaire pour les mesures. Ce chiffre sert de référence de résolution pour les prochaines prises de vue. L'article parut la même année dans la revue Scientific Reports[3].

La détection de l'encre n'est toutefois pas encore une technique achevée. Les zones où l'encre reste pâle apparaissent encore floues. Aux endroits où les couches sont collées par pression, les données d'imagerie elles-mêmes sont troubles. Deux feuilles différentes peuvent aussi se coller en une seule. Un modèle qui fonctionne bien sur un rouleau peut échouer sur un autre. C'est pourquoi des humains vérifient visuellement et corrigent à chaque étape. La recherche avance encore pas à pas[5].

Références

- [1] Vesuvius Challenge. (2024, 2월 5일). Vesuvius Challenge 2023 Grand Prize awarded: we can read the scrolls! scrollprize.org. <https://scrollprize.org/grandprize> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] Mocella, V., Brun, E., Ferrero, C., & Delattre, D. (2015). Revealing letters in rolled Herculaneum papyri by X-ray phase-contrast imaging. Nature Communications, 6, 5895. <https://doi.org/10.1038/ncomms6895>
- [3] Angelotti, G., Nicolardi, F., Henderson, P., & Seales, W. B. (2026). Ink detection from surface topography of the Herculaneum papyri. Scientific Reports. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-58467-1>
- [4] University of Kentucky. (2026, 6월 25일). The day the Herculaneum scrolls began speaking again. UKNow. <https://uknow.uky.edu/research/day-herculaneum-scrolls-began-speaking-again> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Vesuvius Challenge. (2026, 7월 10일). Open problems: why reading every Herculaneum scroll is still a challenge. scrollprize.org. https://scrollprize.org/2026_open_problems (consulté le 3 septembre 2026)

1.4. La vérité révélée

Le premier mot retrouvé en 2023

Le premier résultat fut un seul mot. L'annonce parut le 12 octobre 2023. Le personnage principal était l'étudiant américain Luke Farritor. Il avait alors vingt et un ans. Le mot qu'il lut était porphyras. C'est un mot grec qui signifie violet. Ce n'est pas un mot courant dans les textes anciens. Farritor reçut 40 000 dollars au titre du premier prix des lettres. Youssef Nader, arrivé deuxième, reçut 10 000 dollars. C'était le premier cas où un mot était lu dans un rouleau non ouvert[7].

Les résultats du concours furent annoncés le 5 février 2024. Le grand prix fut décerné à trois personnes ensemble. Il s'agissait de Youssef Nader, d'Égypte, de Luke Farritor, des États-Unis, et de Julian Schilliger, de Suisse. Le prix était de 700 000 dollars[1].

L'objet qu'ils lurent était un rouleau conservé par l'Institut de France. Son nom est PHerc. Paris. 4. Les trois personnes firent revivre plus de 2 000 caractères grecs dans ce rouleau. Cela représentait quinze colonnes de texte. Une colonne est une case de texte écrite verticalement sur le rouleau. Cela correspond à environ 5 pour cent de l'ensemble du rouleau[1].

Les critères d'évaluation étaient stricts. Il fallait soumettre quatre passages de 140 caractères. Pour réussir, il fallait lire au moins 85 pour cent des lettres de chaque passage. Des spécialistes de paléographie examinèrent les résultats à l'aveugle[1].

Le contenu était une discussion sur le plaisir. Il examinait si ce qui est rare est nécessairement plus agréable que ce qui est courant. Le texte contient un passage qui prend la nourriture pour exemple. Son idée est que l'on ne croit pas qu'une chose soit aussitôt plus agréable parce qu'elle est rare. Cette phrase montre clairement la pensée de l'école épicurienne[1].

Le rouleau dont le titre a été retrouvé

Le résultat suivant fut un titre. Le 5 mai 2025, le premier prix du titre fut annoncé. Les lauréats étaient Marcel Roth et Micha Novak. Le prix était de 60 000 dollars[2].

L'objet visé était PHerc. 172, conservé à la Bodleian Library d'Oxford. Les lettres apparues à l'écran étaient Sur les vices, de Philodème. Le texte fut lu comme le Livre I. L'équipe de Federica Nicolardi, de

l'université de Naples Federico II, le confirma. C'est le premier cas où le titre d'un rouleau enroulé fut lu sans l'ouvrir[2].

Dans ce rouleau, plus de 70 colonnes furent ensuite lues. Le texte traite de défauts de caractère comme la cupidité, l'arrogance et la flatterie. Il est désormais possible de suivre le fil de la discussion depuis le début[3].

Le premier livre lu jusqu'au bout

Une nouvelle plus importante arriva le 25 juin 2026. Elle annonçait qu'un rouleau entier avait été lu du début à la fin. L'objet était PHerc. 1667, conservé à la Bibliothèque nationale de Naples. Les participants au concours l'appellent le rouleau numéro 4[4].

L'imagerie fut réalisée à l'European Synchrotron Radiation Facility, en France. Elle fut ensuite suivie du déroulement virtuel puis de la détection de l'encre. La longueur du texte récupéré était d'environ 1,4 mètre. Cela représentait à peu près vingt-deux colonnes. C'était la première fois qu'un rouleau d'Herculaneum était lu dans son entier[4].

Le contenu est un traité grec sur l'éthique et le caractère humain[3]. Le texte mentionne le neveu du philosophe stoïcien Chrysippe. Son nom est Aristocréon[4]. On estime que le texte fut écrit entre la fin du IIIe siècle et le IIe siècle avant notre ère. L'identité de l'auteur n'est pas encore établie[3].

Les résultats de la recherche furent aussi publiés sous forme d'article. Vingt-sept auteurs y figurent, dont Giorgio Angelotti, Stephen Parsons et Federica Nicolardi[5]. Les données, le code et la transcription furent également publiés[4].

L'équipe présenta aussi la procédure de vérification. Elle reprit PHerc. Paris. 4, lu en 2023, avec une résolution plus élevée. La transcription obtenue avec les nouvelles données correspondait exactement aux résultats précédents. C'est la preuve que la machine n'avait pas inventé le texte. Cela signifie aussi que la même méthode peut être appliquée à d'autres rouleaux[4].

Les 600 rouleaux qui restent

La même annonce contenait une autre nouvelle. Le titre d'un rouleau nommé PHerc. 139 avait été lu. Il s'agissait du Livre VIII de Sur les dieux, de Philodème. Jusqu'alors, seul le Livre I de cet ouvrage était connu. On découvrit pour la première fois que cette œuvre se poursuivait sur plus de huit livres[3].

Il reste encore plus de 600 rouleaux non lus[3]. Le concours a prévu un grand prix pour 2027. Le montant total des prix est de 1 million de dollars. Le premier recevra 800 000 dollars. L'objectif porte sur treize rouleaux désignés. Il faut lire au moins 70 pour cent des lettres restantes dans chaque colonne. La date limite est le 25 juin 2027[6].

Cette histoire comporte encore beaucoup de blancs. Même quand les lettres sont lues, il reste à en établir le sens. Il faut aussi beaucoup de temps pour préparer scientifiquement la transcription d'une colonne. Il reste encore des rouleaux dont l'auteur n'est pas identifié[3].

La direction est pourtant devenue claire. Des livres que personne n'avait pu ouvrir pendant 2 000 ans se sont déployés à l'écran. La bibliothèque que l'on croyait disparue dans le feu revient peu à peu[4].

Ce travail n'est pas celui d'une seule personne. Il y eut les physiciens chargés de l'imagerie et les programmeurs qui séparèrent les couches. Il y eut aussi les spécialistes de paléographie qui lurent le grec ancien. Des étudiants et des employés d'entreprise participant au concours apportèrent leur aide. Si un livre s'est ouvert après 2 000 ans, c'est le résultat de leur travail commun. Les rouleaux restants peuvent être ouverts de la même façon[4].

Références

- [1] Vesuvius Challenge. (2024, 2월 5일). Vesuvius Challenge 2023 Grand Prize awarded: we can read the scrolls! scrollprize.org. <https://scrollprize.org/grandprize> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] Vesuvius Challenge. (2025, 5월 5일). \$60,000 First Title Prize awarded! scrollprize.substack.com. <https://scrollprize.substack.com/p/60000-first-title-prize-awarded> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] University of Kentucky. (2026, 6월 25일). The day the Herculaneum scrolls began speaking again. UKNow. <https://uknow.uky.edu/research/day-herculaneum-scrolls-began-speaking-again> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Vesuvius Challenge. (2026, 6월 25일). An entire Herculaneum scroll has been read for the first time. scrollprize.org. <https://scrollprize.org/firstscroll> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Angelotti, G., Parsons, S., Nicolardi, F., Nader, Y., Johnson, S., Josey, D., et al. (2026). Complete virtual unwrapping and reading of a rolled Herculaneum papyrus. arXiv:2606.29085. <https://arxiv.org/abs/2606.29085> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] Vesuvius Challenge. Open Prizes. scrollprize.org. <https://scrollprize.org/prizes> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Vesuvius Challenge. (2023, 10월 12일). First word discovered in unopened Herculaneum scroll by 21yo computer science student. scrollprize.org. <https://scrollprize.org/firstletters> (consulté le 3 septembre 2026)

Chapitre 2. La parole née dans l'arche sainte brûlée : le Lévitique scellé d'En-Gedi

2.1. Dossier de l'affaire

Une oasis à l'ouest de la mer Morte

Ein Gedi est une oasis située sur la rive occidentale de la mer Morte. On l'écrit aussi En-Gedi. Les alentours sont un désert sec, mais ici jaillit une source. Comme il y avait de l'eau, les gens s'y sont rassemblés. Pendant des milliers d'années, ils ont vécu en villages au bord de cette eau. Le nom de ce lieu apparaît aussi dans le Premier Livre de Samuel, dans l'Ancien Testament. C'est le récit de David, qui se cacha dans le désert d'Ein Gedi pour échapper au roi Saül.

Selon les fouilles du site, des habitants ont vécu sur cette colline dès la seconde moitié du VIII^e siècle avant notre ère. Puis le village s'est effondré dans un grand incendie vers l'an 600 de notre ère[1]. C'est une terre où plus de 1 300 ans se sont empilés en couches dans le sol.

Autour de la mer Morte, les pluies sont rares et l'air est sec. Ce climat aide les objets anciens à se conserver longtemps. Le bois, le cuir et les tissus y pourrissent moins qu'ailleurs. C'est aussi pour cette raison que les manuscrits de la mer Morte ont été trouvés dans cette région.

En 1970, de grandes fouilles ont commencé sur ce site. Elles furent dirigées par Dan Barag et Ehud Netzer. Tous deux appartenaient à l'Institut d'archéologie de l'Université hébraïque de Jérusalem. Le 5 mai 1970, Yosef Porath mit au jour ce rouleau[1]. L'équipe de fouilles avait découvert les vestiges d'une ancienne synagogue. Une synagogue est un bâtiment où la communauté juive se réunit pour prier et lire la Bible. Le sol était couvert d'une mosaïque faite de petites pierres de couleurs différentes.

Dans une synagogue, il existe un espace destiné à l'arche sainte. L'arche sainte est un coffre où l'on garde les rouleaux sacrés de la Bible. La communauté juive considère ce coffre comme le lieu saint de la synagogue. L'équipe de fouilles retira les débris brûlés de cette arche. Dans les débris apparut une masse noire[1].

Le fait même qu'elle provienne de l'arche sainte est un indice important. On ne place pas n'importe quel document dans l'arche d'une synagogue. On y place les rouleaux bibliques que la communauté lit et respecte. C'est là que se trouvait la base permettant de deviner la nature de cette masse noire.

Un ancien manuscrit biblique est en lui-même une source précieuse. À l'époque où l'imprimerie n'existait pas, les textes étaient copiés à la main. À chaque copie, des lettres pouvaient changer. Lorsqu'un manuscrit ancien apparaît, on peut vérifier comment le texte a été transmis. C'est pourquoi les chercheurs se sont attachés à la masse noire sortie de l'arche sainte.

La masse noire laissée par le feu

Le feu a le pouvoir d'effacer les écrits. Le papier comme le cuir deviennent cendres dans les flammes. Mais à Ein Gedi, la situation fut un peu différente. Le rouleau écrasé sous les débris fut lentement cuit dans un milieu pauvre en oxygène. Il ne se dispersa pas en cendres et se durcit comme du charbon. Ce changement, où une matière se durcit comme du charbon, s'appelle la carbonisation. Cela se produit lorsqu'un objet brûle dans un feu pauvre en air.

Le principe est le même que lorsque le bois devient charbon dans une meule à charbon. Si l'on brûle simplement du bois, il ne reste que des cendres. Si on le couvre de terre pour bloquer l'air et qu'on le cuit, il reste du charbon noir. Le rouleau carbonisé s'est formé de cette manière.

La masse carbonisée fut ensevelie sous les cendres et la terre du bâtiment effondré. Comme l'air ne l'atteignait pas, la putréfaction s'arrêta aussi. Le cuir est normalement une matière qui pourrit facilement. S'il était resté posé à l'air libre, il aurait disparu depuis longtemps. Le feu qui avait détruit l'objet fut aussi la force qui l'a conservé.

La masse retirée par l'équipe de fouilles ressemblait d'abord à un bloc de charbon. Mais sur le côté brisé, on voyait encore des couches enroulées. Les archéologues l'ont donc identifiée comme un rouleau de cuir enroulé[1]. L'objet reçut le nom du lieu où il avait été découvert. C'est ainsi qu'est né le nom de rouleau d'Ein Gedi.

Ce rouleau est un parchemin fait de peau animale préparée[1]. Les rouleaux découverts à Herculaneum, en Italie, étaient faits de papyrus. Le papyrus est un support végétal obtenu en pressant des tiges de plante. Les deux objets diffèrent dès leur matériau de base. Cette différence deviendra plus tard un point décisif dans la manière de les lire.

Le parchemin est une matière qui demande beaucoup de travail. On enlève les poils et la graisse de la peau animale, puis on la lave. On la tend sur un cadre et on la laisse sécher sous tension. On écrit ensuite sur cette fine feuille ainsi préparée. Elle est plus résistante que le papier et dure plus longtemps, mais elle coûtait cher.

L'état de découverte était lui aussi rare. Les anciens rouleaux apparaissent le plus souvent sous forme de petits fragments. Les manuscrits de la mer Morte découverts dans les grottes de Qumrân à partir de 1947 comprennent eux aussi de nombreux fragments. L'objet d'Ein Gedi fut trouvé en conservant sa forme enroulée. Cela signifiait que plusieurs couches subsistaient encore à l'intérieur.

Un objet que l'on ne pouvait pas toucher

Pour lire un texte, il faut dérouler le rouleau. Mais cet objet ne pouvait pas être déroulé. Sous l'effet de la chaleur, le cuir s'était rétracté et les couches s'étaient collées entre elles. L'extérieur était dur comme de la pierre, tandis que l'intérieur se brisait facilement. Un simple contact du bout des doigts aurait pu le réduire en poudre[1].

Il existait bien des méthodes. On pouvait couper les couches au couteau. On pouvait aussi appliquer des produits chimiques pour ramollir le cuir. Mais ces deux méthodes auraient endommagé l'objet. Un rouleau brisé une fois ne peut pas être rétabli.

En regardant seulement l'extérieur, on ne pouvait même pas savoir s'il contenait des lettres. La surface carbonisée était entièrement noire et sans motif. L'encre était noire et le cuir aussi. L'œil ne pouvait donc pas les distinguer. L'idée qu'un texte se trouvait à l'intérieur n'était qu'une hypothèse fondée sur la forme des couches.

Les personnes qui travaillent sur le patrimoine culturel gardent toujours ce point à l'esprit. Un objet ancien est unique au monde et ne peut supporter aucun échec. C'est pourquoi la science de la conservation suit le principe d'examiner sans toucher. Cette méthode d'examen s'appelle l'examen non invasif. Invasif signifie pénétrer à l'intérieur, et non invasif signifie le contraire. Le rouleau d'Ein Gedi était un objet qui ne permettait que l'examen non invasif.

45 ans de silence

Le rouleau entra dans les réserves archéologiques d'Israël. Plus tard, l'Autorité des antiquités d'Israël en assura la garde[1]. À cette époque, attendre dans une boîte était la seule méthode de conservation. Une réserve est un lieu où la température et l'humidité sont maintenues stables. Elle bloque l'air, la lumière et les insectes afin d'éviter que les objets ne se dégradent davantage. Même lorsqu'un objet ne peut pas être lu, il faut continuer à préserver son état.

Pnina Shor, chargée de la conservation des manuscrits de la mer Morte, prit ensuite le relais. Plus tard, son nom figura aussi parmi les chercheurs qui parvinrent à lire ce rouleau[1].

L'attente dura de 1970 à 2015[1][2]. Pendant 45 ans, personne ne vit les lettres qu'il contenait. La surface était si noire qu'il était difficile de savoir s'il y avait même des lettres. Parmi les chercheurs, certains disaient aussi que cet objet ne serait jamais lisible.

Cette attente avait une raison. La technologie de 1970 ne permettait pas de traiter cette masse. Les appareils capables de photographier l'intérieur d'un objet en fines sections n'étaient pas courants. Même si l'on avait obtenu ces images, il n'y avait pas d'ordinateur capable de calculer une telle quantité de données. On laissa donc l'objet intact et l'on attendit que la technologie mûrisse.

Pendant ce temps, des problèmes semblables se posaient ailleurs dans le monde. Les rouleaux d'Herculaneum, en Italie, se heurtaient au même mur. Les anciennes tentatives pour les ouvrir physiquement n'avaient fait que les détruire. Les deux objets vivaient dans des lieux différents et avaient des matériaux différents, mais leur problème était le même. Il fallait une méthode pour lire l'intérieur sans les toucher.

Ce qui brisa le silence ne fut pas une nouvelle technique manuelle. Ce furent l'imagerie permettant de voir à l'intérieur sans couper l'objet et le calcul informatique. L'équipe de Seales étudiait depuis longtemps des méthodes pour lire les textes anciens sans les toucher. Ces recherches furent soutenues par la National Science Foundation des États-Unis et par Google[2]. Il fallait un objet sur lequel tester une méthode accumulée au fil des années, et le rouleau d'Ein Gedi devint ce cas d'étude.

En 2015, l'équipe de Brent Seales, de l'Université du Kentucky, aux États-Unis, prit en charge ce travail. Les résultats furent publiés le 21 septembre 2016 dans la revue Science Advances[1][2].

Il ne restait plus qu'une question. Comment avait-on pu lire les lettres intérieures sans toucher le rouleau ? La réponse se trouve dans l'ordre suivi par l'appareil d'imagerie et le calcul.

Références

- [1] Seales, W. B., Parker, C. S., Segal, M., Tov, E., Shor, P., & Porath, Y. (2016). From damage to discovery via virtual unwrapping: Reading the scroll from En-Gedi. Science Advances, 2(9), e1601247.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1601247>
- [2] University of Kentucky Research. (2016, 9월 22일). Virtually Unwrapping the En-Gedi Scroll. research.uky.edu.
<https://research.uky.edu/news/virtually-unwrapping-en-gedi-scroll> (consulté le 3 septembre 2026)

2.2. La traque de la police scientifique : purification numérique aux rayons X

Une imagerie qui voit l'intérieur sans couper

Le premier outil choisi par les chercheurs fut le micro-CT. CT signifie tomodensitométrie par ordinateur. Le principe est le même que celui de l'examen utilisé à l'hôpital pour voir l'intérieur du corps. Des rayons X sont envoyés sous plusieurs angles afin de mesurer la densité à l'intérieur d'un objet. L'ordinateur rassemble ces valeurs et crée une carte en trois dimensions. Le micro-CT réalise cela à une échelle très fine.

Pour l'imagerie du rouleau d'Ein Gedi, on utilisa un appareil appelé Bruker SkyScan 1176. L'imagerie fut réalisée par Merkel Technologies, en Israël. Cette entreprise fit don des données d'imagerie à l'Autorité des antiquités d'Israël. La résolution était de 18 micromètres par unité[1]. 1 micromètre correspond à 1 millième de millimètre. C'est une taille égale à une fraction de l'épaisseur d'un cheveu.

Cette taille de résolution a une raison. Pour séparer les couches, il faut mesurer beaucoup plus finement que l'épaisseur d'une couche de cuir. Si la résolution est plus grande que l'épaisseur des couches, deux

couches se fondent en une seule masse. La résolution d'imagerie est une condition qui fixe la limite des couches lisibles.

Les données produites par l'imagerie ne sont pas une simple photographie. Elles forment une masse en trois dimensions, composée de minuscules cubes densément empilés. Ces cubes s'appellent des voxels. Si le pixel d'une image est un grain plat, le voxel est un grain en volume. Chaque grain contient un nombre indiquant la densité de l'endroit.

À cette étape, l'objet avait été transféré dans l'ordinateur sans être touché. Désormais, ce que l'on manipulait n'était plus du cuir, mais des nombres. Les nombres ne se brisent pas, même si on les manipule beaucoup. Si le calcul est faux, on peut recommencer depuis le début. C'est là que réside la force de l'examen non invasif.

Les points lumineux laissés par une encre mêlée de métal

Obtenir des données en trois dimensions ne suffit pas à faire apparaître les lettres. Pour que les lettres soient visibles, la densité de l'encre doit être différente de celle du support. Cette condition n'était pas remplie dans les rouleaux d'Herculaneum. Là-bas, l'encre était faite de poudre de charbon, et le papyrus brûlé est lui aussi une masse de carbone. Leurs densités sont proches, si bien que les rayons X les distinguent mal.

Le rouleau d'Ein Gedi offrait de meilleures conditions. Les chercheurs ont constaté dans les données de scan que les zones où se trouvaient les lettres avaient une densité plus élevée que leur environnement. Ils ont donc pensé que cette encre contenait des métaux comme le fer ou le plomb. Cependant, aucune surface extérieure n'était exposée, si bien qu'ils n'ont pas pu analyser directement sa composition. Les chercheurs ont indiqué cette limite telle quelle dans leur article[1].

Le métal absorbe beaucoup les rayons X. Les zones qui absorbent davantage apparaissent claires à l'écran. Le cuir brûlé absorbe moins les rayons X et apparaît sombre. C'est ainsi que naît la différence de luminosité entre les lettres et le support. Cette différence fut le premier indice permettant à l'ordinateur de trouver les lettres. C'est aussi pour cette raison que le rouleau d'Ein Gedi fut lu avant ceux d'Herculaneum.

Cependant, la composition de cette encre n'est pas encore établie. Les chercheurs n'ont proposé qu'une observation de densité élevée et l'hypothèse qui en découle[1]. Pour savoir ce que le scribe ancien y avait mêlé, il faudrait obtenir un échantillon. Dans ce domaine, un principe s'impose : ne pas traiter ce qui n'est pas établi comme un fait établi.

Les quatre étapes du déroulement virtuel et l'élimination des taches

Trouver des points lumineux ne suffit pas à lire le texte. Les lettres sont dispersées sur des couches enroulées. Il faut dérouler ces couches dans l'ordinateur. Ce travail s'appelle le déroulement virtuel. L'équipe de Seales l'a divisé en quatre étapes[1].

La première étape consiste à repérer la surface des couches. L'ordinateur découpe les données en trois dimensions en fines sections et relève les coordonnées de la couche de cuir. Il relie ensuite ces points pour former une surface semblable à une feuille fine. Si les couches sont collées entre elles, on se perd à cette étape. Si deux couches sont lues comme une seule, les lettres se mélangent aussi.

La deuxième étape consiste à appliquer des valeurs de luminosité à cette surface. On lit les valeurs d'imagerie des coordonnées traversées par la surface et on les reporte sur celle-ci. L'encre plus dense apparaît alors sous forme de traits lumineux.

La troisième étape consiste à aplatir la surface froissée. Lorsque l'on presse un volume en un plan, les formes s'étirent ou se déforment. C'est le même problème que lorsqu'on transforme un globe terrestre en carte papier et que les régions polaires s'élargissent. Le calcul déplie la surface en cherchant à réduire autant que possible cette déformation.

La quatrième étape consiste à assembler les différentes surfaces dépliées séparément. On aligne les frontières entre les surfaces et on les réunit en une grande image[1].

Parmi ces quatre étapes, la première est délicate. Si l'on repère mal une couche une seule fois, les trois étapes suivantes se décalent toutes. Une image mal dépliée peut même produire des lettres qui n'existaient pas. C'est pourquoi les chercheurs vérifient cette étape à la main.

Après ces quatre étapes, le cylindre noir devient une surface plane. Les chercheurs ont ainsi déplié cinq couches de cuir. La surface dépliée fut estimée à environ 94 centimètres carrés[1]. C'est une surface un peu plus petite qu'une page de cahier.

Des problèmes restent même dans l'image dépliée. L'épaisseur du cuir varie selon les endroits et des plis subsistent. Le bruit produit pendant l'imagerie s'y mêle aussi. Certaines zones sont donc trop claires et d'autres trop sombres. Lorsque les lettres et les taches se mêlent, la lecture devient difficile.

Les chercheurs ont éliminé ces taches par le calcul. Ils ont d'abord mesuré la luminosité moyenne des pixels environnants afin de créer une carte de luminosité du fond. Cette carte ne contient que les larges variations de luminosité. Ils ont ensuite divisé l'image originale par cette carte de fond. Après cette division, les différences de luminosité étalées disparaissent. Seul le signal de l'encre concentré sur une faible largeur reste net. Dans l'image issue de ce processus, les lettres hébraïques sont apparues[1].

Une tâche qui se poursuit encore en 2026

Le déroulement virtuel a ensuite été utilisé pour d'autres objets. Le 25 juin 2026, le Vesuvius Challenge a annoncé une nouvelle. Il s'agissait de la lecture complète d'un rouleau d'Herculaneum. Son numéro d'objet est PHerc. 1667. L'imagerie a été réalisée à l'Installation européenne de rayonnement synchrotron, à Grenoble, en France. Le texte grec déplié compte vingt-deux colonnes sur environ 1,4 mètre. Il a été identifié comme un écrit d'éthique du IIe siècle avant notre ère[2].

Un synchrotron est un dispositif qui courbe des électrons rapides au moyen d'un champ magnétique. Quand les électrons sont courbés, ils produisent des rayons X très puissants. Avec cette lumière, même de faibles différences de densité apparaissent. Elle donne une netteté difficile à obtenir avec un appareil de laboratoire. C'est un outil d'un niveau supérieur à celui utilisé à En-Gedi.

Cette réussite tient aussi à l'amélioration de la méthode d'imagerie. Dans la nouvelle méthode, l'encre au carbone est devenue directement visible dans le matériau. Elle a capté une encre que de faibles différences de densité rendaient invisible. Elle a produit par la technique d'imagerie l'écart de luminosité qui avait été donné de lui-même à En-Gedi. On a annoncé que la même méthode pourrait être utilisée pour plus de 600 rouleaux restants[3].

Il reste encore du travail. Une synthèse publiée le 10 juillet 2026 énumère six problèmes. Dans les zones où les couches sont comprimées, les rayons X se dispersent et l'image devient floue. Les calculs qui cherchent les couches créent des trous ou collent deux couches ensemble. Les données en voxels ne disent pas quelle couche se poursuit dans quelle autre. Les annotations d'apprentissage faites par des humains ne sont pas précises au niveau des grains. Un modèle appris sur un rouleau fonctionne mal sur un autre. La profondeur exacte de l'encre dans la couche n'est pas claire non plus[4].

Des solutions ont aussi été proposées. Quand les annotations correctes manquent, il existe une voie qui consiste à faire apprendre les règles aux données elles-mêmes. Les modèles d'apprentissage

autosupervisé figurent parmi les candidats. De nouvelles architectures de réseaux neuronaux sont aussi utilisées pour les calculs de détection des couches[4].

Un nouvel indice est aussi apparu. Une étude publiée le 29 mars 2026 s'est appuyée sur le fait que l'encre modifie la forme de la surface. Les chercheurs ont mesuré avec précision les reliefs de surface d'un papyrus déjà déroulé et les ont enseignés à l'apprentissage automatique. Le résultat a montré que les reliefs seuls pouvaient distinguer les endroits où se trouvaient les lettres. L'étude a aussi examiné la résolution d'imagerie nécessaire pour lire ces reliefs[5]. C'est une recherche qui a retrouvé, dans une autre propriété, l'indice obtenu par la densité à En-Gedi.

Références

- [1] Seales, W. B., Parker, C. S., Segal, M., Tov, E., Shor, P., & Porath, Y. (2016). From damage to discovery via virtual unwrapping: Reading the scroll from En-Gedi. *Science Advances*, 2(9), e1601247. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601247>
- [2] Vesuvius Challenge. (2026, 6월 25일). An entire Herculaneum scroll has been read for the first time. [scrollprize.org](https://scrollprize.org/firstscroll). <https://scrollprize.org/firstscroll> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] ASNT. (2026, 8월 13일). X-Ray Imaging and AI Recover First Complete Text from Sealed Ancient Scroll. *Materials Evaluation*. <https://www.asnt.org/me/26/8/x-ray-ai-recover-text-sealed-ancient-scroll> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Vesuvius Challenge. (2026, 7월 10일). Open Problems: Why Reading Every Herculaneum Scroll Is Still a Challenge. [scrollprize.org](https://scrollprize.org/2026_open_problems). https://scrollprize.org/2026_open_problems (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Angelotti, G., Nicolardi, F., Henderson, P., & Seales, W. B. (2026, 3월 29일). Ink Detection from Surface Topography of the Herculaneum Papyri. *arXiv:2603.27698*. <https://arxiv.org/abs/2603.27698> (consulté le 3 septembre 2026)

2.3. La vérité révélée

Le Lévitique apparu à l'écran

Les lettres apparues sur l'écran de l'ordinateur étaient hébraïques. Les chercheurs ont déplié cinq couches de cuir. Ils y ont trouvé deux colonnes de texte. Le texte était le Lévitique, troisième livre de l'Ancien Testament. Les passages lus correspondent aux chapitres 1 et 2 du Lévitique[1].

L'image assemblée contenait trente-cinq lignes d'écriture d'une feuille de rouleau. Parmi elles, dix-huit lignes conservaient des lettres. Les dix-sept autres ont été restaurées par les chercheurs. La restauration ne consiste pas à faire inventer un texte par l'ordinateur. Elle consiste à faire correspondre les traits restants au texte connu pour combler les lacunes. Chaque ligne contenait entre trente-trois et trente-quatre lettres et espaces[1].

Il est important que l'article distingue les lignes conservées des lignes restaurées. Le lecteur peut ainsi savoir jusqu'où va le fait établi. Si l'on publie ensemble ce qui reste et ce qui a été complété, les chercheurs suivants ne peuvent pas vérifier. Grâce à cette distinction, d'autres chercheurs ont pu réexaminer les mêmes données.

Le chapitre 1 du Lévitique traite des règles de l'holocauste. L'holocauste est un sacrifice où l'offrande est entièrement brûlée sur l'autel. Le chapitre 2 traite des règles de l'offrande de céréales. On y trouve la manière de mélanger de la fleur de farine avec de l'huile et d'y ajouter de l'encens. Des règles de sacrifices par le feu sont donc sorties d'une arche sainte brûlée.

Le texte restauré contient aussi le premier verset du Lévitique[1]. C'est la phrase où Yahvé appelle Moïse depuis la tente de la Rencontre et lui parle. Le fait que le début du livre soit conservé signifie que ce rouleau commençait par le Lévitique.

L'expression deux colonnes a aussi un sens. Les anciens rouleaux répartissent le texte dans de longues cases verticales. Quand une case est remplie, l'écriture passe à la case voisine. Dire que deux colonnes sont apparues signifie que deux de ces cases se sont révélées à la suite.

Ce qui a été lu n'est pas seulement constitué de lettres. L'épaisseur des traits tracés par le scribe en appuyant son pinceau est aussi restée visible à l'écran. C'est la preuve qu'il s'agit d'une copie manuscrite.

Comblant un vide de mille ans

Les chercheurs ont aussi mesuré l'âge du rouleau. La datation au carbone radioactif a donné une date comprise entre le III^e et le IV^e siècle de notre ère[1]. Cette méthode détermine l'âge en mesurant les changements du carbone resté dans l'objet. Ce résultat comble un ancien vide dans l'étude des manuscrits bibliques anciens.

Voyons d'abord ce qu'est ce vide. Les manuscrits bibliques de la mer Morte trouvés dans les grottes de Qumrân datent du III^e siècle avant notre ère au I^{er} siècle de notre ère. En revanche, les manuscrits complets de la Bible hébraïque standard datent d'environ l'an 1000 de notre ère. Entre ces deux groupes, il existe un vide de près de mille ans. Les manuscrits montrant comment le texte a été transmis pendant cette période étaient rares.

Quand le vide est grand, le doute grandit aussi. Il n'existe pas de moyen de vérifier si les manuscrits médiévaux ont transmis fidèlement le texte ancien. Certains chercheurs pensaient que les copistes du Moyen Âge avaient retouché le texte.

Le rouleau d'En-Gedi est apparu au milieu de ce vide. Le texte lu était entièrement identique au texte consonantique de la Bible hébraïque médiévale[1]. L'hébreu note seulement les consonnes et ne note pas les voyelles. Le texte écrit avec ces seules consonnes s'appelle le texte consonantique. Ce texte médiéval est appelé texte massorétique. C'est le texte standard que les copistes juifs ont conservé selon des règles fixées. Même l'emplacement des divisions en paragraphes était identique[2]. Ce résultat montre que le texte a été transmis sans changement pendant une très longue période.

On sait que les copistes juifs suivaient des règles strictes lorsqu'ils copiaient la Bible. Le comptage des lettres faisait partie de ces règles. Le rouleau d'En-Gedi est devenu une preuve matérielle montrant que ces règles avaient bien été suivies. Un seul manuscrit a ajouté une donnée à un long débat.

Ce manuscrit porte un autre record. Parmi les copies du Pentateuque sorties jusqu'à présent d'une arche sainte, il est l'une des plus anciennes[1]. Le Pentateuque désigne les cinq premiers livres de l'Ancien Testament.

Ce qui est établi et ce qui reste ouvert

Il faut distinguer ce qui a été révélé de ce qui reste discuté.

Ce qui a été révélé est le suivant. Le texte lu correspond aux chapitres 1 et 2 du Lévitique. La datation au carbone indique le III^e ou le IV^e siècle de notre ère. Le texte consonantique est identique au texte standard médiéval. La densité de l'encre est supérieure à celle du cuir, ce qui suggère qu'elle contenait des composants métalliques[1].

Les questions restantes sont claires elles aussi. La composition de l'encre n'a pas pu être analysée directement[1]. Il n'y avait pas de surface exposée permettant de prélever un échantillon. Certains datent autrement le manuscrit à partir de l'écriture. La paléographe Ada Yardeni l'a situé à la fin du I^{er} siècle ou au début du II^e siècle de notre ère. Un paléographe est un spécialiste qui date les textes en

comparant les anciennes formes d'écriture. Drew Longacre a répondu que la datation au carbone était plus fiable[2]. Les deux points de vue ne sont pas encore tranchés.

La durée de conservation reste aussi une question non résolue. Le rouleau a été fabriqué au III^e ou au IV^e siècle de notre ère. La synagogue a brûlé vers l'an 600 de notre ère[1]. Cela signifie que ce manuscrit est resté dans l'arche sainte pendant plus de deux cents ans. On ne sait pas pourquoi la communauté a continué à garder un manuscrit aussi ancien. On suppose seulement qu'elle tenait beaucoup à un manuscrit transmis.

La partie lue n'est aussi qu'un fragment du rouleau. Ce qui a été déplié correspond aux cinq couches extérieures[1]. Les zones plus profondes à l'intérieur sont comprimées plus fortement. Le problème qui empêche de séparer les couches dans les zones écrasées existe encore en 2026. Les chercheurs qui travaillent sur les rouleaux d'Herculanum y sont encore confrontés[3].

Pour lire l'intérieur, deux choses doivent progresser ensemble. Il faut une résolution d'imagerie capable de distinguer les couches plus finement. Il faut aussi améliorer les calculs qui séparent les couches collées. Si ces deux conditions sont réunies, le rouleau d'En-Gedi pourra repasser sur la table d'imagerie. C'est possible parce que l'objet est resté intact.

Les méthodes qui aident la datation elle-même se multiplient aussi. En 2025, un modèle estimant l'âge de manuscrits hébraïques anciens à partir de l'écriture apprise par apprentissage automatique a été présenté. Ce modèle a appris à partir des datations au carbone et des données d'écriture. Il mesure même les courbes de traits difficiles à percevoir à l'œil humain[4]. Si de tels outils s'accumulent, le débat sur la date du rouleau d'En-Gedi pourra être réexaminé.

La voie ouverte par le déroulement virtuel ne se limite pas aux manuscrits bibliques. La même méthode a été utilisée pour de vieilles lettres restées pliées et scellées. Les livres et documents fragiles sont eux aussi soumis à l'imagerie et au calcul. Le principe de lire sans toucher devient une base du traitement des matériaux.

L'image produite par l'ordinateur n'est pas en elle-même la réponse finale. Dans l'étude de 2016, le rôle de l'ordinateur s'est arrêté au dépliage des couches et à la création de l'image. Ce sont des humains qui ont lu les lettres sur cette image et leur ont donné un sens. C'est pourquoi les paléographes doivent réexaminer chaque lettre. Ce que cet événement a laissé n'est pas seulement un texte. Il a donné une méthode pour traiter des objets qui se brisent au toucher. On obtient des nombres par l'imagerie, on les déplie par le calcul, puis des humains les vérifient. Cette suite d'étapes sera utilisée telle quelle pour plusieurs objets présentés plus loin.

Le Lévitique lu à En-Gedi est lui aussi entré dans les archives savantes après cet examen. Ce qui a rompu quarante-cinq ans de silence est le travail conjoint de la machine et de l'humain. L'appareil d'imagerie a mesuré la densité. Le calcul a déplié les couches. Puis l'humain a lu les lettres et leur a donné un sens. Le chapitre suivant poursuit avec l'étude de la forme même des lettres.

Références

- [1] Seales, W. B., Parker, C. S., Segal, M., Tov, E., Shor, P., & Porath, Y. (2016). From damage to discovery via virtual unwrapping: Reading the scroll from En-Gedi. *Science Advances*, 2(9), e1601247. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601247>
- [2] En-Gedi Scroll. (2026, 9월 3일). Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/En-Gedi_Scroll (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Vesuvius Challenge. (2026, 7월 10일). Open Problems: Why Reading Every Herculaneum Scroll Is Still a Challenge. [scrollprize.org. https://scrollprize.org/2026_open_problems](https://scrollprize.org/2026_open_problems) (consulté le 3 septembre 2026)

- [4] Popović, M., Dhali, M. A., Schomaker, L., van der Plicht, J., Rasmussen, K. L., La Nasa, J., Degano, I., Colombini, M. P., & Tigchelaar, E. (2025). Dating ancient manuscripts using radiocarbon and AI-based writing style analysis. PLOS ONE, 20(6), e0323185. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323185>

Chapitre 3. Les deux ombres cachées dans le rouleau d'Isaïe : expertise des scribes

3.1. Dossier de l'affaire

Un rouleau de cuir sorti d'une grotte

En 1947, un vieux rouleau de cuir a été découvert dans une grotte de la région de Qumrân, à l'ouest de la mer Morte. Des Bédouins qui gardaient des chèvres ont trouvé des jarres et des rouleaux dans une grotte de falaise. Ces vestiges sont appelés manuscrits de la mer Morte. Des fouilles ont ensuite continué dans plusieurs grottes. Les manuscrits de la mer Morte réunis jusqu'à présent sont classés en environ 930 copies. Un livre copié à la main s'appelle une copie manuscrite. Si l'on compte les feuillets séparés, les fragments de cuir et de papyrus dépassent plusieurs milliers[1]. On date leur rédaction entre le IIIe siècle avant notre ère et le Ier siècle de notre ère[2].

La mer Morte est un lac très salé. Ses environs forment un désert aride. Il pleut très peu et l'air est sec. Dans les grottes, la température varie peu. C'est pour cela que le cuir et le papyrus ont résisté sans pourrir. Il est rare qu'un ensemble de documents anciens d'une telle ampleur ait survécu.

Parmi ces vestiges, un rouleau a retenu l'attention des chercheurs. C'est le Grand rouleau d'Isaïe. Le sigle utilisé dans le monde savant est 1QIsaa. Il signifie qu'il s'agit de la première copie du livre d'Isaïe trouvée dans la grotte 1 de Qumrân. C'est une copie écrite en hébreu sur une peau animale au IIe siècle avant notre ère. Sa longueur est d'environ 7,3 mètres. Elle contient presque tout le texte du livre d'Isaïe de l'Ancien Testament. Le texte est divisé en 54 sections verticales allongées[2]. Dans le vocabulaire savant, ces sections sont appelées des colonnes. Parmi les copies bibliques trouvées dans les grottes de la mer Morte, c'est celle qui est le mieux conservée.

Le rouleau a été fabriqué en cousant plusieurs peaux avec du fil. On écrivait quelques colonnes sur une peau, puis on passait à la suivante. Une fois terminé, le rouleau était enroulé pour être conservé. Pour le lire, on déroulait un côté et on enroulait l'autre. Le nom de rouleau vient de cette manière de faire.

La valeur de cette copie vient de son âge. Les manuscrits de la mer Morte comprennent les plus anciennes copies de la Bible hébraïque qui subsistent aujourd'hui[3]. Le Grand rouleau d'Isaïe en fait partie. On dispose ainsi d'un matériau pour comparer la manière dont le texte biblique a été transmis pendant de longs siècles. Mais on ne savait rien de la personne qui avait produit le rouleau.

Un milieu savant divisé sur l'auteur de la copie

Lire le rouleau et établir qui l'a écrit sont deux tâches différentes. Les lettres se lisent, mais cette copie ne porte pas le nom de la personne qui l'a copiée. La personne chargée de copier un texte s'appelle un scribe. Ce rouleau ne porte ni signature de scribe ni date[2]. Les chercheurs devaient donc estimer le nombre de personnes à partir de la seule forme de l'écriture.

Sur cette question, le monde savant s'est trouvé devant deux chemins. Un groupe pensait qu'un seul scribe avait écrit tout le rouleau du début à la fin. Son argument était que la forme de l'écriture restait régulière dans tout le rouleau. L'autre groupe pensait que deux personnes ou plus s'étaient partagé le travail. Son argument était que la forme des traits changeait peu à peu après le milieu.

Les deux thèses avaient le même problème difficile. Même l'écriture d'une seule personne n'est pas identique du début à la fin. Quand la main se fatigue, les traits se relâchent. Quand on change de calame, l'épaisseur varie. Si l'on ne connaît pas l'ampleur de ces variations, on ne peut pas juger si la personne a

changé. Les deux thèses reposaient sur une impression visuelle. Il n'y avait pas de poids de balance pour décider laquelle était juste.

On pense qu'à Qumrân existait une communauté qui fabriquait et conservait des rouleaux. Les gens ont placé les rouleaux dans des jarres et les ont cachés dans des grottes. Il semble qu'ils aient voulu protéger les documents à l'approche de la guerre. Les noms de ceux qui les ont cachés n'ont pas non plus été conservés. Chercher la main qui a produit le rouleau est aussi une manière de s'approcher de ces personnes.

Ce débat ne se limite pas à l'écriture. Si plusieurs personnes ont produit la copie ensemble, cela signifie qu'il existait une organisation où des scribes travaillaient en commun. Cette question rejoint celle de savoir par quelles mains le texte biblique est parvenu jusqu'à nous[2]. C'est pour cela que les spécialistes des manuscrits de la mer Morte ont longtemps gardé cette question ouverte.

Les limites de l'expertise visuelle

La discipline qui étudie les écritures anciennes s'appelle la paléographie. Le chercheur examine la forme des lettres avec une loupe. Il mesure la hauteur, l'inclinaison et l'épaisseur des traits, puis les reporte en dessin. Il place parfois les écritures de plusieurs copies dans l'ordre chronologique pour saisir leur évolution. Pendant longtemps, cette méthode a été le seul outil d'expertise.

Cette méthode a une faiblesse. Elle dépend beaucoup de l'œil et de l'expérience du chercheur. Devant la même lettre, les chercheurs donnaient souvent des évaluations différentes[2]. L'œil humain ne mesure pas de très petits écarts numériques. Il est difficile d'estimer à l'œil la force exercée sur un calame ou l'épaisseur d'une diffusion d'encre. La mémoire a aussi ses limites. Il n'est pas facile de comparer mentalement deux lettres séparées de plusieurs mètres. Au bout du compte, les désaccords se répétaient.

Un autre obstacle venait du mode de formation de l'époque. Celui qui voulait devenir scribe apprenait à copier exactement l'écriture de son maître. Il apprenait à ne pas faire apparaître son style personnel. Ainsi, les écritures des scribes issus d'une même école semblaient presque identiques. Pour les chercheurs humains, c'était un brouillard épais. Ils ne pouvaient pas dire si les faibles différences entre le début et la fin du rouleau venaient de l'état d'une même personne ou d'un changement de personne[2].

Si l'expertise se trompe, les conclusions qui suivent se trompent aussi. S'il n'y a qu'un seul scribe, une copie contient le temps d'une seule personne. S'il y en a deux, cela signifie qu'une organisation se partageait le travail. La taille et la nature du lieu où la copie a été produite changent alors. Plusieurs conclusions dépendaient d'une seule expertise de l'écriture.

On peut penser à des élèves qui font une dictée en classe à partir du même modèle d'écriture. Les cahiers où tous se sont efforcés d'écrire droit sont difficiles à distinguer à première vue. Pourtant, l'habitude de casser un trait diffère un peu selon chaque enfant. Le problème était qu'il n'existait pas d'outil pour mesurer cet écart.

La situation a changé lorsque les photographies des copies ont été publiées sous forme numérique. Le rouleau réel est fragile face à la lumière et à l'humidité. On ne peut donc pas le dérouler souvent. Avec des photographies, on peut l'examiner autant de fois que nécessaire sans toucher au vestige. L'Autorité israélienne des antiquités a créé avec Google une collection numérique des manuscrits de la mer Morte. Elle a photographié les vestiges avec un appareil appelé MegaVision, en les éclairant avec plusieurs longueurs d'onde. Elle a même utilisé le proche infrarouge, une lumière invisible à l'œil humain, pour faire réapparaître des lettres effacées. L'objectif était d'obtenir une qualité d'image proche de l'observation directe de l'objet[1].

Quand les photographies à haute résolution lisibles par ordinateur se sont accumulées, un nouveau type d'outil a pu entrer en scène. Une photographie est un ensemble de nombres. Le petit point qui compose l'écran s'appelle un pixel. Chaque pixel possède une valeur de luminosité. Cela signifie que l'épaisseur et l'angle des traits peuvent être mesurés en nombres. Les conditions étaient réunies pour transformer l'expertise visuelle en calcul. À partir d'ici, le détective IA entre en scène.

Références

- [1] Israel Antiquities Authority. (n.d.). The Digital Library. The Leon Levy Dead Sea Scrolls Digital Library. <https://www.deadseascrolls.org.il/about-the-project/the-digital-library> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] Popović, M., Dhali, M. A., & Schomaker, L. (2021). Artificial intelligence based writer identification generates new evidence for the unknown scribes of the Dead Sea Scrolls exemplified by the Great Isaiah Scroll (1QIsaa). PLOS ONE, 16(4), e0249769. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249769>
- [3] University of Groningen. (2021, 4월 21일). Cracking the code of the Dead Sea Scrolls. [rug.nl. https://www.rug.nl/news/2021/04/cracking-the-code-of-the-dead-sea-scrolls?lang=en](https://www.rug.nl/news/2021/04/cracking-the-code-of-the-dead-sea-scrolls?lang=en) (consulté le 3 septembre 2026)

3.2. La traque de la police scientifique : les empreintes biologiques laissées dans le style d'écriture

Une équipe d'enquête se forme

Une équipe de recherche de l'Université de Groningue, aux Pays-Bas, a pris en charge cette affaire. Le paléographe Mladen Popović a dirigé l'équipe. Les chercheurs en IA Lambert Schomaker et Maruf Dhali y ont participé[1]. En 2017, ils avaient déjà présenté une méthode pour mesurer par ordinateur l'écriture des manuscrits de la mer Morte[2]. Le résultat obtenu après avoir perfectionné cette méthode et l'avoir appliquée au Grand rouleau d'Isaïe est paru en 2021[1, 5].

L'objectif de l'équipe était clair. Il s'agissait de transformer les impressions humaines en nombres. On mesure d'abord l'ampleur des variations qui apparaissent dans l'écriture d'une même personne. Puis on vérifie si l'écart entre le début et la fin du rouleau dépasse cette variation. Si l'écart est plus grand, cela signifie qu'une autre personne a écrit.

La méthode de calcul des caractéristiques mise au point en 2017 servait à comparer des copies entre elles[2]. L'équipe l'a réappliquée en la concentrant sur le seul Grand rouleau d'Isaïe. Chercher l'endroit où le scribe change à l'intérieur d'une même copie est plus difficile que comparer des copies entre elles. Les différences d'écriture y sont beaucoup plus petites.

Cette méthode a un avantage. Si la procédure de calcul est décrite, n'importe qui obtient la même réponse avec les mêmes photographies. Il n'est plus nécessaire de dépendre du regard d'un chercheur. Si le résultat est faux, on peut remonter jusqu'à l'étape où l'erreur est apparue. Même si l'on débat encore du résultat de l'expertise, la base du débat reste sous forme de nombres.

La première étape : effacer les taches

Le premier travail consiste à ne garder que l'encre dans la photographie. Cette opération s'appelle la binarisation. Elle sépare tous les pixels en deux catégories : encre ou arrière-plan. Elle divise la photographie entre lettres noires et fond clair.

Cette étape est nécessaire pour une raison précise. Le rouleau est resté dans une grotte pendant environ 2 000 ans. Des taches, des traces de moisissure et de fines fissures se sont formées à la surface du cuir. Pour un ordinateur, ces marques et les traits d'encre sont tous des pixels sombres. Si l'on conserve l'arrière-plan tel quel, la machine apprend la texture du cuir au lieu de l'écriture. Elle finit alors par distinguer des types de cuir plutôt que des scribes, et l'expertise se trompe[1].

L'équipe a créé un réseau neuronal réservé à cette tâche. Son nom est BiNet. Un réseau neuronal est une structure de calcul inspirée des connexions entre les cellules nerveuses du cerveau humain. BiNet apprend ses critères de jugement à partir d'exemples où l'encre et l'arrière-plan ont été marqués à la main. Une fois l'apprentissage terminé, BiNet enlève les taches dans les nouvelles photographies et ne laisse que les traits.

Une règle doit être respectée ici. Il ne faut pas modifier l'épaisseur d'origine des traits ni la forme de leurs bords. C'est précisément dans ces bords que se trouvent les habitudes du scribe. Si l'on lisse les traits en voulant enlever les impuretés, les preuves disparaissent. BiNet a été conçu pour préserver les traces d'encre[1]. Cette technique a d'abord été publiée en 2019 sous forme de prépublication[3]. Un article reprenant sa conception et ses performances est paru en 2026 dans les actes d'une conférence internationale sur la reconnaissance des documents[4].

Un outil pour mesurer les habitudes de toute l'écriture

À partir des lettres nettoyées, on extrait deux types de caractéristiques. Le premier concerne la texture. Le second concerne la forme.

Les caractéristiques de texture sont appelées Hinge. Hinge signifie charnière de porte. À chaque endroit où un trait se plie, on mesure deux angles. On dresse ensuite un tableau indiquant la fréquence de chaque paire d'angles. Ce tableau traduit en nombres l'habitude de rotation du poignet pendant l'écriture. Il peut être calculé sans reconnaître les lettres une par une[1].

Les caractéristiques de forme sont appelées Fraglets. Le mot désigne de courts fragments de traits. On découpe les traits et on les réunit en une liste. L'équipe a créé une liste standard à partir de fragments extraits de plusieurs copies. Quand une nouvelle écriture arrive, le système compte à quel élément de la liste chaque fragment ressemble. Les formes de base des traits apprises par une personne lorsqu'elle a appris à écrire apparaissent ainsi[1].

Ces deux caractéristiques ont un point commun. Elles peuvent être calculées sans connaître le sens des lettres. Même un ordinateur qui ne lit pas l'hébreu peut mesurer l'angle et la courbure des traits. Même si des lettres abîmées sont mêlées au texte, il extrait des valeurs à partir des traits conservés. C'est une propriété très utile pour traiter des documents anciens.

Les deux caractéristiques observent des choses différentes. Hinge regarde le mouvement de la main. Fraglets regarde la forme d'écriture apprise. L'équipe les a utilisées séparément, puis ensemble. Elle voulait vérifier si des critères différents donnaient la même réponse[1].

Les traces laissées dans une seule lettre aleph

Les deux caractéristiques précédentes mesurent l'ensemble de l'écriture de manière globale. Cette fois, il faut agrandir une seule lettre et l'examiner de près.

L'équipe a choisi une lettre de l'alphabet hébreu pour une inspection précise. C'était aleph. Aleph est la première lettre de l'hébreu et celle qui apparaît le plus souvent dans le rouleau. Sa forme combine un trait diagonal et deux courts traits qui s'y attachent.

Le choix d'aleph avait une raison. Plus l'échantillon est grand, plus la statistique est solide. Il faut une lettre fréquente pour en recueillir de manière équilibrée dans les zones du début et de la fin. Dans tout le rouleau, il y a 5 011 aleph. L'équipe en a sélectionné 758 par ordinateur et les a utilisés pour l'analyse[1]. Elle n'a retenu que ceux dont les traits étaient intacts et non interrompus.

Les aleph choisis ont été divisés en deux groupes. Le premier venait de la partie avant du rouleau. Le second venait de la partie arrière. Les images de chaque groupe ont été superposées au même

emplacement pour créer une forme moyenne. C'est comme si l'on empilait plusieurs feuilles translucides et qu'on les regardait d'en haut. Les traits qui se chevauchent souvent deviennent plus foncés. Les traits qui diffèrent selon les personnes deviennent plus pâles. Si l'on soustrait les deux images moyennes, il ne reste que les différences. On peut voir par des couleurs sur quels traits ces différences se concentrent[1].

Des points séparés en deux groupes

Les caractéristiques transformées en nombres forment de longues listes de centaines de valeurs. Un humain ne peut pas comparer ces listes à l'œil. L'équipe a donc réduit ces listes à deux valeurs et les a placées comme des points sur un plan. La réduction est faite de manière que les écritures aux valeurs proches se regroupent et que les écritures différentes s'éloignent. L'image est produite par un calcul qui déplace peu à peu la position des points.

Parmi les 54 colonnes, toutes celles dont les photographies étaient intactes ont été placées sur ce plan. Les colonnes 16 et 46 ont été exclues faute de photographies utilisables. Une fois les points placés, deux groupes sont apparus. Les colonnes du début formaient un groupe, et celles de la fin en formaient un autre[1]. Il y avait un écart visible entre les deux groupes.

L'équipe de recherche a vérifié si cette séparation était due au hasard. Elle a utilisé des méthodes statistiques comme le test du khi carré et le test t. Le test du khi carré est un calcul qui examine si une différence peut venir du hasard. Le test t est un calcul qui examine l'écart entre les moyennes de deux groupes. Les deux méthodes calculent la probabilité qu'une telle forme apparaisse par hasard. Quand cette probabilité est très faible, on ne l'attribue pas au hasard. Les seules variations présentes dans l'écriture d'une même personne ne produisaient pas un écart de cette ampleur[1].

Un autre point est important. Plusieurs critères ont donné la même réponse. La mesure par hinge et la mesure par fraglets plaçaient la limite au même endroit. L'image moyenne de l'aleph montrait aussi une séparation au même endroit. La limite se situait entre la colonne 27 et la colonne 28[1]. Si des méthodes différentes indiquent le même point, cette limite ne vient pas de défauts sur la photographie. La machine a tracé une ligne que l'œil humain n'avait pas vue.

L'équipe a aussi examiné les objections possibles. Le résultat pouvait venir d'une différence de luminosité des photographies ou d'état du cuir entre l'avant et l'arrière. Pourtant, même après avoir retiré le fond par binarisation, la limite est restée au même endroit[1]. Cela signifie que la cause ne se trouvait pas dans le cuir, mais dans l'écriture elle-même.

Références

- [1] Popović, M., Dhali, M. A., & Schomaker, L. (2021). Artificial intelligence based writer identification generates new evidence for the unknown scribes of the Dead Sea Scrolls exemplified by the Great Isaiah Scroll (1QIsaa). PLOS ONE, 16(4), e0249769. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249769>
- [2] Dhali, M. A., He, S., Popović, M., Tigchelaar, E., & Schomaker, L. (2017). A digital palaeographic approach towards writer identification in the Dead Sea Scrolls. Proceedings of the 6th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods, 693-702. <https://doi.org/10.5220/0006249706930702>
- [3] Dhali, M. A., de Wit, J. W., & Schomaker, L. (2019). BiNet: Degraded-manuscript binarization in diverse document textures and layouts using deep encoder-decoder networks. arXiv:1911.07930. <https://arxiv.org/abs/1911.07930> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Dhali, M. A., de Wit, J. W., & Schomaker, L. (2026). BiNet: A deep encoder-decoder network for binarizing degraded ancient manuscripts. In Document Analysis and Recognition - ICDAR 2025 Workshops (Lecture Notes in Computer Science, pp. 166-193). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-032-09371-4_11
- [5] University of Groningen. (2021, 4월 21일). Cracking the code of the Dead Sea Scrolls. rug.nl. <https://www.rug.nl/news/2021/04/cracking-the-code-of-the-dead-sea-scrolls?lang=en> (consulté le 3 septembre 2026)

3.3. La vérité révélée

La main qui change à la colonne 27

Les résultats de l'analyse ont soutenu l'hypothèse de plusieurs scribes. Le Grand Rouleau d'Isaïe a été écrit par deux personnes. Le premier scribe a écrit de la colonne 1 à la colonne 27. Le second scribe a poursuivi de la colonne 28 à la colonne 54[1].

Cette limite concorde avec d'autres indices. Le bas de la colonne 27 laisse un espace vide équivalent à trois lignes. La colonne 28 commence sur une nouvelle feuille de cuir ajoutée au rouleau. C'est aussi l'endroit où commence un nouveau chapitre du Livre d'Isaïe[1]. C'était un point naturel pour transmettre le travail. La limite statistique trouvée par l'ordinateur et la limite matérielle du rouleau se trouvaient au même endroit.

L'idée qu'un changement de scribe avait pu se produire après la colonne 27 existait déjà. Elle venait de l'observation du raccord entre les feuilles de cuir et de la division du texte. Mais elle n'avait pas fait consensus dans le monde savant. L'analyse par IA a donné des chiffres à cette hypothèse[2].

La portée de cette découverte est grande. Elle a fourni un fondement chiffré à l'idée qu'un même manuscrit biblique avait été produit par plusieurs personnes[1]. Les deux scribes n'ont laissé ni nom ni signature. Ils n'ont laissé que les habitudes de leurs mains. Une machine, 2 000 ans plus tard, a lu ces habitudes. Popović a dit que leurs noms resteraient sans doute inconnus, mais que leur écriture donnait l'impression de leur serrer la main[2].

Deux personnes formées dans la même école

Les écritures des deux scribes restent très proches. Même après mesure par la machine, les différences étaient fines. L'équipe a lu cette ressemblance elle-même comme un autre indice. Elle signifie que les manières d'écrire des deux personnes étaient proches[1]. L'équipe a estimé que les deux scribes avaient été formés au même endroit ou venaient de la même tradition[2].

On peut alors imaginer une école de scribes de l'Antiquité. L'apprenti y apprenait une écriture reconnue, trait par trait. Il devait contenir son style personnel pour devenir un bon scribe. Grâce à cette discipline, l'écriture restait régulière dans un même rouleau.

Pourtant, il était impossible d'effacer les habitudes du corps. L'angle de prise du calame varie d'une personne à l'autre. La vitesse de la main et la pression exercée varient aussi. Ces différences restent dans l'angle des ruptures de trait et dans la forme des bords. L'œil humain ne peut pas rassembler ces écarts minuscules pour juger. L'ordinateur réunit des milliers de valeurs, puis calcule des moyennes et des dispersions. Ainsi sont apparues les traces individuelles que la discipline avait recouvertes[1].

Ce résultat montre que la copie d'un manuscrit était un travail collectif. Il faut plusieurs mois pour produire un long rouleau. Rien n'obligeait une seule personne à le tenir jusqu'au bout. De là vient la possibilité d'un partage du travail et d'une transmission entre scribes[1]. Le texte biblique est arrivé jusqu'à nous en passant ainsi de main en main.

Ce que la machine ne sait pas encore faire

Ce résultat ne signifie pas que l'IA peut tout faire. L'outil suivant créé par la même équipe montre cette limite.

En 2025, l'équipe a présenté un modèle de datation appelé Enoch. Enoch est un modèle qui estime la période d'écriture d'un manuscrit à partir de la forme des lettres. La datation au carbone radioactif est une méthode qui mesure l'âge d'un objet ancien grâce au carbone qu'il contient encore. Enoch a appris à partir de 24 échantillons datés par cette méthode. L'équipe a aussi publié les résultats obtenus sur 135

manuscrits dont la date était inconnue. L'erreur de prédiction moyenne allait de 27,9 ans à 30,7 ans. Des paléographes ont examiné ces prédictions. Ils en ont jugé 79 % valables[3].

Le débat a porté sur les 21 % restants. Le paléographe Christopher Rollston a contesté un cas précis. Enoch a daté le manuscrit 4Q114, qui contient le Livre de Daniel, entre 230 et 160 avant J.-C. Rollston a estimé que les chapitres 7 à 12 du Livre de Daniel renvoient à un événement précis. Il s'agit de la profanation du Temple de Jérusalem par Antiochos IV en 167 avant J.-C. Ce texte ne peut pas avoir été écrit avant l'événement. Or la fourchette donnée par Enoch se situe en grande partie avant 167. Rollston a donc estimé que la datation d'Enoch était trop ancienne. Il a dit qu'Enoch devait être un outil parmi d'autres dans la boîte à outils[4].

Cette controverse enseigne quelque chose. La machine ne voit que la forme des lettres. Elle ne lit pas les événements historiques mentionnés dans le texte ni le sens des phrases. La réponse de la machine n'est donc pas une conclusion définitive, mais une hypothèse candidate. Après avoir réduit le champ des possibles, l'historien doit comparer le contexte et trancher. C'est aussi un paléographe qui a décidé quelles lettres il fallait mesurer. Le choix de l'aleph venait d'une longue expérience de l'écriture ancienne.

Le nombre de données d'apprentissage constitue aussi un obstacle. Enoch a appris à partir de 24 échantillons dont la date était connue[3]. Il est difficile d'augmenter le nombre d'échantillons pour les objets anciens. Pour les dater, il faut en détacher une petite partie et la brûler. Un modèle entraîné sur peu d'échantillons devient instable lorsqu'il sort du domaine appris. L'identification des scribes rencontre une difficulté semblable. Les lettres fréquentes offrent assez d'exemples, mais les lettres rares n'en offrent que quelques-uns. Là où les échantillons sont peu nombreux, le jugement de la machine perd de sa force.

C'est pourquoi l'équipe ne fait pas de l'IA l'unique juge. Le raccord du cuir, la division du texte et les avis accumulés par les spécialistes sont examinés ensemble. Une conclusion se forme quand plusieurs indices pointent vers le même endroit. C'est ainsi que la réponse a été obtenue pour le Grand Rouleau d'Isaïe. La machine n'a fait que répondre par des chiffres à une question posée par des humains.

La prochaine cible de l'enquête

L'étude du Grand Rouleau d'Isaïe a conduit à un projet plus vaste. Le Conseil européen de la recherche a décidé, le 23 juin 2026, d'attribuer à Popović une bourse Advanced Grant. Le financement s'élève à 2,5 millions d'euros et couvre 5 ans[5]. Le nouveau projet s'appelle Tracing Scribes and Scrolls[6]. Cela signifie suivre les traces des scribes et des rouleaux.

Le 30 juin 2026, l'Autorité des antiquités d'Israël a annoncé sa participation à ce projet. L'université de Pise, l'université de Naples Federico II, l'université du Danemark du Sud et l'université de Louvain y participent aussi. Les musées égyptiens de Berlin et de Turin figurent également dans le projet[6].

La question se déplace maintenant de « qui l'a écrit ? » vers « où l'a-t-on fabriqué ? ». L'équipe va examiner environ 250 échantillons des manuscrits de la mer Morte. Elle mesurera la composition chimique du cuir, du papyrus et de l'encre. Elle comparera ces composants avec ceux des papyrus de l'Égypte ancienne. Si l'on sait d'où viennent les matériaux, on peut réduire les lieux possibles de production du manuscrit. L'IA sera chargée d'organiser ces données chimiques et de trouver les règles cachées dans l'écriture[7]. Popović a dit que l'association de l'analyse en laboratoire et de l'étude des écritures anciennes permettrait d'aborder des questions qui restaient jusque-là hors de portée[6].

Cette méthode ne servira pas seulement au Grand Rouleau d'Isaïe. Parmi les manuscrits de la mer Morte, beaucoup de copies ont encore des scribes inconnus. Si l'on regroupe les manuscrits écrits par une même main, on obtient la liste des travaux d'un scribe. Lorsque ces listes s'accumulent, on peut

dessiner les liens entre les scribes[1]. Cette étude, qui a retrouvé deux personnes, en est devenue le point de départ.

Un autre résultat de cette étude tient à la méthode elle-même. Elle a ordonné une suite d'étapes : retirer les défauts des photographies, transformer les traits en chiffres, puis vérifier par la statistique. La même suite peut être appliquée à des documents anciens dans d'autres langues. Les recherches sur les tablettes d'argile et les lamelles de bois que nous rencontrerons plus loin dans ce livre suivent un chemin semblable.

L'enquête commencée avec le Grand Rouleau d'Isaïe n'est pas terminée. L'outil qui a trouvé l'ombre de deux personnes cherche désormais le lieu où le rouleau a été fabriqué.

Lire un document ancien ne s'arrête pas à reconnaître des lettres. Il faut aussi demander qui les a écrites et où. Le Grand Rouleau d'Isaïe est le premier cas où l'on a répondu par des chiffres à la question du nombre de scribes. Le rouleau est resté silencieux pendant 2 000 ans. Les humains lisent maintenant cette réponse dans les tremblements de l'écriture.

Références

- [1] Popović, M., Dhali, M. A., & Schomaker, L. (2021). Artificial intelligence based writer identification generates new evidence for the unknown scribes of the Dead Sea Scrolls exemplified by the Great Isaiah Scroll (1QIsaa). PLOS ONE, 16(4), e0249769. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249769>
- [2] University of Groningen. (2021, 4월 21일). Cracking the code of the Dead Sea Scrolls. rug.nl. <https://www.rug.nl/news/2021/04/cracking-the-code-of-the-dead-sea-scrolls?lang=en> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Popović, M., Dhali, M. A., Schomaker, L., van der Plicht, J., Rasmussen, K. L., La Nasa, J., Degano, I., Colombini, M. P., & Tigchelaar, E. (2025). Dating ancient manuscripts using radiocarbon and AI-based writing style analysis. PLOS ONE, 20(6), e0323185. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323185>
- [4] Steinmeyer, N. (2025, 6월 20일). Can AI date the Dead Sea Scrolls? Bible History Daily, Biblical Archaeology Society. <https://www.biblicalarchaeology.org/daily/biblical-artifacts/dead-sea-scrolls/can-ai-date-the-dead-sea-scrolls/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] University of Groningen. (2026, 6월 23일). Mladen Popović awarded ERC Advanced Grant to trace the origins of the Dead Sea Scrolls. rug.nl. <https://www.rug.nl/about-ug/latest-news/news/archief2026/nieuwsberichten/mladen-popovi-awarded-erc-advanced-grant-to-trace-the-origins-of-the-dead-sea-scrolls?lang=en> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] The Jerusalem Post. (2026, 6월 30일). New AI-powered research project aims to uncover the origins of the Dead Sea Scrolls. jpost.com. <https://www.jpost.com/archaeology/article-900938> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Archaeology News Online Magazine. (2026, 6월). Where the Dead Sea Scrolls come from: AI and chemical analysis trace origins. archaeologymag.com. <https://archaeologymag.com/2026/06/dead-sea-scrolls-origins-studied-with-ai-and-chemical-analysis/> (consulté le 3 septembre 2026)

Chapitre 4. La colle numérique qui assemble des dizaines de milliers de fragments d'argile

4.1. Dossier de l'affaire

La jarre découverte en cherchant une chèvre

Au printemps 1947, quelque chose se produisit sur les falaises à l'ouest de la mer Morte. Des garçons bédouins cherchaient une chèvre qui s'était enfuie. Ils virent l'entrée étroite d'une grotte entre les rochers. Dans la grotte se dressaient de hautes jarres d'argile. À l'intérieur se trouvaient des rouleaux portant des textes écrits sur du cuir[1].

Ces rouleaux sont les manuscrits de la mer Morte. Les manuscrits de la mer Morte sont des textes juifs rédigés entre environ le III^e siècle avant notre ère et le I^{er} siècle de notre ère. Pendant les neuf années suivantes, dix autres grottes voisines furent découvertes. Au total, onze grottes ont livré des rouleaux. Plus de 900 textes en proviennent. Ils furent écrits en hébreu, en araméen et en grec[1]. La plupart furent écrits sur du parchemin, fait de peau de mouton ou de chèvre finement préparée. Il existe aussi des copies écrites sur du papyrus, un papier fabriqué à partir de tiges végétales[7].

Les rouleaux contenaient certains des plus anciens manuscrits de la Bible hébraïque. On y trouva aussi des textes sur les règles de la communauté et des calendriers[1]. Les grottes du désert sec ont protégé ces lettres pendant 2 000 ans.

Près des grottes se trouve le site d'un ancien village appelé Qumrân. Beaucoup de chercheurs pensent que la communauté juive qui vivait là a laissé ces rouleaux. Ses membres copiaient la Bible et notaient leurs propres règles. On suppose qu'ils ont caché les rouleaux dans les grottes lorsque l'armée romaine approchait.

L'amas de fragments de la grotte 4

L'état des objets variait beaucoup d'une grotte à l'autre. Les rouleaux de la grotte 1 sont restés assez bien conservés dans des jarres. La grotte 4 était différente. Les rouleaux de cette grotte étaient empilés au sol sans être placés dans des jarres. Ce seul lieu a livré plusieurs milliers de fragments provenant d'environ 500 rouleaux[1].

L'humidité de la grotte a lentement abîmé le cuir. Des insectes et des animaux l'ont rongé. Avec le temps, les rouleaux se sont brisés en petits morceaux. Il ne restait qu'un amas de fragments grands comme un ongle.

L'Autorité israélienne des antiquités conserve plus de 25 000 fragments[2]. La plupart ne portent aucune indication sur le rouleau dont ils proviennent. Il arrive souvent qu'un fragment ne garde que deux ou trois lettres. Les chercheurs les disposaient sur de grandes plaques de verre et les assemblaient à l'œil.

Ils ne disposaient que de quelques indices. Ils regardaient si la forme des lettres se ressemblait. Ils regardaient si la couleur du cuir était proche. Ils vérifiaient si les bords cassés s'emboîtaient. Avec cette méthode, on ne peut comparer que deux ou trois fragments à la fois. Quand les fragments se comptent par dizaines de milliers, le nombre de paires à comparer devient incontrôlable.

L'assemblage manuel du puzzle prenait beaucoup de temps. L'œil humain ne peut pas comparer en même temps les bords de dizaines de milliers de fragments. De plus, les bords étaient déjà usés et rétrécis. Malgré des décennies de travail, de nombreux fragments n'avaient toujours pas retrouvé leur place.

Le fait que seuls quelques chercheurs aient eu le droit de lire les documents au début posait aussi problème. Les chercheurs extérieurs avaient même du mal à voir les photographies[1]. En septembre 1991, la bibliothèque Huntington, aux États-Unis, ouvrit ce verrou. Elle rendit accessibles sans condition les films photographiques qu'elle conservait[3]. Une fois les images ouvertes, des tentatives d'assemblage des fragments par ordinateur commencèrent.

La dispersion des objets dans plusieurs pays fut aussi un obstacle. Au début des découvertes, certains rouleaux furent vendus par l'intermédiaire d'antiquaires de Bethléem[1]. Des institutions de pays ayant financé les fouilles reçurent aussi des fragments en partage. Ainsi, des fragments provenant d'un même rouleau se retrouvèrent dans plusieurs villes. Pour vérifier si deux fragments se raccordaient, une personne devait prendre l'avion.

De faux fragments apparus sur le marché

Quand la valeur des fragments des manuscrits de la mer Morte augmenta, un autre problème apparut. Vers 2002, des objets présentés comme des fragments des manuscrits de la mer Morte arrivèrent sur le marché des antiquités. Environ 70 morceaux portant des passages bibliques apparurent[4]. Les chercheurs les appelèrent les « fragments post-2002 ». Ces objets n'étaient accompagnés d'aucun document indiquant dans quelle grotte ils avaient été trouvés ni à quelle date[6].

Le Museum of the Bible, à Washington, aux États-Unis, acheta aussi 16 de ces fragments et les exposa. Plusieurs chercheurs soupçonnèrent que la forme des lettres était étrange. Le musée confia une expertise détaillée à une société spécialisée dans l'enquête sur les faux objets d'art. L'enquête fut dirigée par Colette Loll[4].

Les résultats furent publiés en mars 2020. Les 16 fragments étaient tous des faux modernes[4][5]. L'équipe d'enquête observa leur surface au microscope 3D. Le matériau n'était pas le fin parchemin des vrais manuscrits de la mer Morte. Au moins 15 fragments étaient faits d'un cuir épais et à grain grossier. L'encre s'était accumulée dans des fissures déjà ouvertes[4]. C'était la preuve que l'écriture avait été ajoutée après que le cuir s'était fissuré.

Cette affaire ébranla tout le monde de l'archéologie biblique. Christopher Rollston, professeur à l'Université George Washington, dit que des faux continuent d'arriver sur le marché. Il explique rencontrer souvent des personnes convaincues que leurs objets sont authentiques, mais que presque tous sont faux. La différence entre un objet accompagné d'un dossier de fouille et un objet acheté sur le marché apparaît ici clairement[6].

Assembler des fragments brisés et éliminer les faux ont la même racine. Dans les deux cas, il faut lire de fines traces physiques que l'œil humain ne saisit pas. L'IA est entrée dans ce travail. En juin 2026, le Conseil européen de la recherche accorda un nouveau financement. Il attribua 2,5 millions d'euros à une recherche de cinq ans sur l'origine des manuscrits de la mer Morte. Le projet s'intitule « Suivi des scribes et des rouleaux ». Il combine l'analyse de la composition des matériaux, l'IA et l'étude des écritures anciennes[7].

Ce chapitre suivra deux affaires. La première consiste à relier de nouveau des fragments dispersés. La seconde consiste à filtrer les faux. Les deux tâches posent des questions différentes aux mêmes matériaux. La première question est : ces deux fragments formaient-ils autrefois un seul objet ? La seconde est : cet objet est-il bien ancien ?

Références

- [1] Israel Antiquities Authority. (n.d.). Discovery and publication. The Leon Levy Dead Sea Scrolls Digital Library. <https://www.deadseascrolls.org.il/learn-about-the-scrolls/discovery-and-publication> (consulté le 3 septembre 2026)

- [2] Israel Antiquities Authority. (n.d.). The digital library. The Leon Levy Dead Sea Scrolls Digital Library. <https://www.deadseascrolls.org.il/about-the-project/the-digital-library> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Deseret News. (1991, 9월 22일). Research library will give scholars access to Dead Sea Scroll photos. Deseret News. <https://www.deseret.com/1991/9/22/18942605/research-library-will-give-scholars-access-to-dead-sea-scroll-photos/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Greshko, M. (2020, 3월 13일). "Dead Sea Scrolls" at the Museum of the Bible are all forgeries. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/history/article/museum-of-the-bible-dead-sea-scrolls-forgeries> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Solly, M. (2020, 3월 16일). All of the Museum of the Bible's Dead Sea Scrolls are fake, report finds. Smithsonian Magazine. <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/all-museum-bibles-dead-sea-scrolls-are-fake-report-finds-180974425/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] Govier, G. (2026, 4월 8일). New Dead Sea Scrolls exhibit is the real deal. Christianity Today. <https://www.christianitytoday.com/2026/04/new-dead-sea-scrolls-exhibit-is-the-real-deal/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] The Jerusalem Post. (2026, 6월 30일). New AI-powered research project aims to uncover the origins of the Dead Sea Scrolls. The Jerusalem Post. <https://www.jpost.com/archaeology/article-900938> (consulté le 3 septembre 2026)

4.2. Suivi de police scientifique 1 : affinité géométrique des bords et empreintes physiques

Transformer les bords déchirés en nombres

Le premier indice pour assembler des fragments brisés est la forme des bords. Quand on déchire du papier à la main, une ligne irrégulière apparaît, comme des dents de scie. Les lignes de deux fragments voisins s'emboîtent. L'humain compare ces lignes à l'œil. L'ordinateur les transforme en nombres.

L'ordinateur suit le bord et mesure sa courbure. Si l'on aligne ces mesures dans l'ordre, on obtient une série numérique en forme de vague. Quand la série de deux fragments se superpose bien après inversion, ils deviennent des candidats à l'assemblage. Cette méthode s'appelle le calcul d'affinité des bords. On peut aussi l'appeler score d'emboîtement des bords.

On peut appeler ce score le score d'emboîtement des bords. C'est une valeur qui indique dans quelle mesure les bords de deux fragments s'accordent.

La méthode qui regarde seulement les bords a des limites claires. Les bords des fragments anciens sont déjà usés. Beaucoup ont rétréci en séchant et ont perdu leur forme d'origine. C'est pourquoi les chercheurs examinent aussi des indices situés au-delà des bords.

Les empreintes laissées par le matériau lui-même

Les bords ne suffisent pas. Les bords des fragments sont souvent déjà usés. Les chercheurs regardent donc le matériau lui-même.

Le papyrus est fabriqué en fendant finement des tiges végétales, puis en les superposant horizontalement et verticalement. La surface garde donc des motifs de tiges semblables à des fibres. Sur deux fragments provenant à l'origine d'une même feuille, ces fibres se poursuivent[1].

L'équipe de Roi Abitbol, de l'Université de Haïfa en Israël, a lu ces fibres. Les chercheurs ont découpé en petits carrés les zones proches des bords des fragments. Un réseau neuronal examinait deux carrés et attribuait un score indiquant si les fibres se poursuivaient. En réunissant ces scores, il déterminait les paires possibles pour l'ensemble du fragment[1].

Le test portait sur un groupe de fragments des manuscrits de la mer Morte en mauvais état. Comme il s'agissait d'un ensemble dont la réponse était inconnue, beaucoup de candidats erronés sont apparus.

Pourtant, la méthode a supprimé 98 % des paires impossibles[1]. La quantité à examiner par l'humain a été divisée par 50.

Le sens de ce résultat est clair. L'ordinateur n'a pas confirmé les paires. Il a retiré les paires qui ne valaient pas la peine d'être regardées. Dans l'assemblage des fragments, la part de l'IA consiste souvent en ce filtrage.

À Bordeaux, en France, l'équipe d'Antoine Pirrone a utilisé pour cela un réseau neuronal siamois. Un réseau neuronal siamois reçoit deux images côte à côte et détermine si elles ont la même origine. L'équipe a nommé ce modèle Papy-S-Net. Le modèle a appris à partir d'environ 500 fragments de papyrus. Il a choisi les paires en regardant seulement les fibres du papier, et non les lettres. Sur des données réelles, il a retrouvé 79 % des paires[2].

Le parchemin possède aussi des empreintes semblables. Le cuir garde les traces des pores où poussaient les poils. Les fragments issus de la peau d'un même animal présentent une continuité dans la disposition de ces marques. Les trous laissés par des insectes qui ont traversé le rouleau sont aussi des indices. Quand on déroule un rouleau, les trous d'insectes se répètent en lignes. Les couches intérieures d'un rouleau sont plus courtes, les couches extérieures plus longues. L'écart entre les trous s'élargit donc peu à peu vers l'extérieur. En mesurant cet écart, on peut estimer à quelle couche appartenait un fragment.

Pour traiter ces empreintes physiques, il faut d'abord organiser les photographies. Les photographies des manuscrits de la mer Morte prises par l'Autorité israélienne des antiquités montrent aussi une règle, une charte de couleurs et une plaque numérotée. Le fond noir peut être confondu avec l'encre. L'équipe de Bronson Brown-deVost a créé une méthode de traitement en quatre étapes pour retirer d'abord ces éléments gênants. Elle a aussi publié un ensemble de données accompagné des bonnes réponses[3].

La publication d'un ensemble de données avec les bonnes réponses a un grand poids. D'autres chercheurs peuvent tester leur propre méthode sur les mêmes données. On peut aussi comparer par des nombres laquelle de deux méthodes fonctionne le mieux. L'étude des manuscrits anciens devient ainsi un domaine où les résultats se vérifient entre chercheurs.

Une technique passée aux tablettes d'argile, aux os et au papier

La même idée a été transférée à d'autres objets. En Allemagne, à l'Université Louis-et-Maximilien de Munich, le professeur Enrique Jiménez dirige le projet Electronic Babylonian Library (eBL). L'outil d'assemblage de fragments de ce projet s'appelle Fragmentarium[4].

Les Mésopotamiens écrivaient l'écriture cunéiforme en pressant un calame sur de l'argile humide. Ces tablettes d'argile se brisent facilement. L'équipe a photographié des tablettes au British Museum et au Musée d'Irak. Depuis 2018, elle traite environ 22 000 fragments comme données[5]. L'ordinateur compare entre elles les chaînes de caractères transcrites à partir des signes restés sur les fragments. Pour cela, les chercheurs ont emprunté des méthodes utilisées en biologie pour comparer des séquences génétiques. Les anciens scribes écrivaient les mots différemment selon les régions[4].

Les résultats se sont exprimés en nombres. En cinq ans, le projet a trouvé environ 1 500 nouveaux raccords. Pendant les 150 années précédentes, les chercheurs en avaient trouvé environ 5 000[4].

Les tablettes d'argile offrent un indice que le parchemin n'a pas. C'est la forme tridimensionnelle de la surface cassée. Les tablettes étaient le plus souvent séchées au soleil, et seules certaines étaient cuites au feu. Pendant le durcissement, l'intérieur ne devenait pas solide de manière uniforme. Chaque surface cassée prenait donc des reliefs différents. Si l'on mesure cette surface en 3D, on peut trouver les paires qui s'emboîtent.

En Chine, la même technique sert aux fragments d'inscriptions sur os oraculaires. Ces inscriptions sont des archives gravées par les gens de la dynastie Shang sur des plastrons de tortue et des os de bœuf pendant la divination. L'équipe de Zhang Chongsheng, de l'Université du Henan, a créé un ensemble de données pour l'assemblage d'os oraculaires. Son algorithme d'assemblage a obtenu une exactitude de 98,39 % dans le top 10[6]. L'équipe de Zhang Zhan a aussi entraîné un modèle de deep rejoining avec des photographies de fragments d'os oraculaires. Cette équipe a également publié son ensemble de données[7].

L'expression exactitude dans le top 10 mérite d'être expliquée. La machine ne donne pas une seule réponse. Elle présente dans l'ordre les dix candidats les plus probables. La probabilité que la bonne réponse se trouve parmi ces dix candidats est de 98,39 %[6]. Le jugement final revient à l'humain.

Le rassemblement des données en un même lieu a aussi progressé. L'Université normale d'Anyang exploite une plateforme de données sur les inscriptions sur os oraculaires appelée Yinqi Wenyuan. En avril 2023, elle contenait plus de 230 000 photographies d'os oraculaires. Elle réunissait aussi 152 ouvrages et environ 3 000 articles liés aux inscriptions sur os oraculaires[8].

Les fragments de sutras bouddhiques découverts dans les grottes de Mogao, à Dunhuang, sont eux aussi dispersés entre plusieurs pays. L'équipe de Chen Mingkun a proposé une nouvelle méthode en 2026. Cette méthode apprend par elle-même, sans que l'humain lui fournisse les bonnes réponses. Ce mode d'apprentissage s'appelle l'apprentissage auto-supervisé. L'équipe a réuni des copies complètes et des fragments dont les paires étaient connues. Elle a aussi ajouté aux données des fragments isolés dont la paire était inconnue. L'ordinateur a créé lui-même des exercices à partir de ces données. Les chercheurs ont conçu un nouveau système de codage qui inclut la direction des bords. Ensuite, un réseau neuronal siamois a attribué un score de ressemblance à deux fragments[9].

Du côté des manuscrits de la mer Morte, des chercheurs européens et israéliens ont créé ensemble un espace de travail en ligne. Il s'appelle Scripta Qumranica Electronica. Dans cet espace, les chercheurs déplacent, font pivoter et disposent les photographies de fragments à l'écran. Le résultat de leur agencement peut être partagé avec d'autres chercheurs[10]. L'assemblage des fragments est passé d'un travail dans la tête d'une seule personne à un travail examiné collectivement.

Références

- [1] Abitbol, R., Shimshoni, I., & Ben-Dov, J. (2021). Machine learning based assembly of fragments of ancient papyrus. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 14(3), 1-21. <https://doi.org/10.1145/3460961>
- [2] Pirrone, A., Beurton-Aimar, M., & Journet, N. (2019). Papy-S-Net: A Siamese network to match papyrus fragments. *Proceedings of the 5th International Workshop on Historical Document Imaging and Processing*, 78-83. <https://doi.org/10.1145/3352631.3352646>
- [3] Brown-deVost, B., Kurar-Barakat, B., & Dershowitz, N. (2024). Segmenting Dead Sea Scroll fragments for a scientific image set. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2406.15692>
- [4] Jiménez, E. (2023, 5월 25일). AI is helping us read ancient Mesopotamian literature. *The Conversation*. <https://theconversation.com/ai-is-helping-us-read-ancient-mesopotamian-literature-205091> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Phys.org. (2023, 2월 2일). Researcher uses AI to make texts that are thousands of years old readable. *Phys.org*. <https://phys.org/news/2023-02-ai-texts-thousands-years-readable.html> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] Zhang, C., Zong, R., Cao, S., Men, Y., & Mo, B. (2020). AI-powered oracle bone inscriptions recognition and fragments rejoining. *Proceedings of the Twenty-Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 5309-5311. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2020/779>
- [7] Zhang, Z., Zhang, H., Guo, A., Jiao, Q., Liu, Y., Li, B., & Gao, F. (2025). Deep rejoining model and dataset of oracle bone fragment images. *npj Heritage Science*, 13(1), 66. <https://doi.org/10.1038/s40494-025-01651-9>
- [8] 王者. (2023, 4월 8일). "殷契文渊"数据平台为甲骨文研究提供助力. *人民日报*. https://news.hangzhou.com.cn/gnxw/content/2023-04/08/content_8509027.htm (consulté le 3 septembre 2026)

- [9] Chen, M., Xiang, Y., & Zheng, Y. (2026). A self-supervised learning approach for pairwise matching of ancient Dunhuang fragments. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 19(1), 1-19. <https://doi.org/10.1145/3776642>
- [10] Scripta Qumranica Electronica. (n.d.). Scripta Qumranica Electronica. University of Haifa. <https://megillot.haifa.ac.il/index.php/en/research/scripta-qumranica-electronica> (consulté le 3 septembre 2026)

4.3. Suivi de police scientifique 2 : l'IA détective des faux

La méthode qui a démasqué les 16 faux

Les 16 fragments des manuscrits de la mer Morte achetés par le Museum of the Bible étaient tous faux[1][2]. L'équipe d'enquête ne s'est pas contentée de regarder les lettres. Elle a examiné le support et l'encre par des méthodes physiques et chimiques. L'IA n'a pas été utilisée dans cette expertise. Ce sont des personnes qui l'ont établi au microscope et par analyse des composants[1].

L'expertise du Museum of the Bible ne s'est pas terminée en une seule fois. En octobre 2018, l'Institut fédéral allemand de recherche et d'essai des matériaux a d'abord examiné cinq fragments. Ces cinq fragments ne correspondaient pas aux caractéristiques d'objets antiques. Ils ont donc été retirés de l'exposition[5]. Les résultats de l'examen de tous les fragments restants sont ensuite parus en 2020[1][2].

La première preuve concernait le support. Les vrais manuscrits de la mer Morte ont été écrits sur du parchemin finement préparé. Parmi les fragments du Museum of the Bible, au moins 15 étaient en cuir. Ce cuir est plus épais que le parchemin et son grain est plus grossier[1].

La deuxième preuve concernait l'endroit où l'encre se trouvait. L'équipe d'enquête a observé la surface au microscope 3D. De l'encre s'était accumulée dans les fissures. Sur les bords déchirés, on voyait des traces d'encre qui avait coulé vers le bas[1].

On comprend pourquoi ces traces sont décisives en pensant à l'ordre des opérations. Dans un vrai manuscrit, le texte a d'abord été écrit sur un parchemin plat. Puis le cuir a séché et s'est fissuré au fil des siècles. Dans un vrai fragment, les traits des lettres s'interrompent donc au niveau des fissures. Dans un faux, l'ordre est inversé. Le faussaire a trouvé un vieux cuir déjà fissuré et y a ajouté de l'encre. L'encre a pénétré dans les ouvertures[1].

La troisième preuve concernait une substance appliquée à la surface. L'équipe d'enquête a trouvé des traces montrant que les fragments avaient été plongés dans un liquide ambré. Ce liquide semble être une colle fabriquée à partir de peau animale. Le faussaire a voulu imiter l'aspect luisant de la surface des vrais manuscrits de la mer Morte[1].

Les trois preuves pointaient vers la même réponse depuis des directions différentes. Une seule preuve pourrait être un hasard. Trois preuves qui se recoupent ne relèvent pas du hasard. C'est pour cela que l'expertise des objets anciens rassemble plusieurs types de preuves.

Les traces laissées par la main

La personne qui fabrique un faux regarde des photographies de l'original et copie les lettres. Cette copie laisse des traces.

Quand une personne écrit une écriture qui lui est familière, sa main avance sans s'arrêter. Quand elle recopie une forme de lettre inconnue, c'est différent. Elle trace un trait, s'arrête, puis vérifie l'emplacement du trait suivant. La pointe du pinceau ralentit et la ligne tremble légèrement. Quand on l'agrandit, cette différence apparaît dans la forme du contour des traits.

L'ordinateur saisit ces différences sous forme de nombres. En juin 2026, l'équipe de recherche de Hassan Ugail, à l'Université de Bradford au Royaume-Uni, a publié une étude sur ce sujet. L'équipe a créé une IA qui juge si d'anciens dessins sont authentiques. Ce modèle ne regarde que cinq nombres

extraits de l'image. Il mesure le degré de répétition des motifs et la dispersion des valeurs de luminosité. Il mesure aussi l'écart entre les zones claires et les zones sombres. Il ajoute le degré d'uniformité de la texture et le degré de ramification des lignes, comme de petites branches[3].

L'équipe a entraîné le modèle avec des dessins authentiques de dix artistes. Les œuvres datent d'environ 1510 à 1917. Les données ont été réunies auprès de six musées qui mettent leurs collections en accès public. Le Metropolitan Museum of Art et l'Ashmolean Museum en font partie[3].

Les résultats de 900 décisions figurent dans l'article. L'exactitude équilibrée était de 87,6 %. Le taux d'acceptation des œuvres authentiques comme authentiques était de 77,8 %. Le taux d'acceptation erronée de l'œuvre d'un autre artiste comme œuvre de l'artiste visé était de 2,6 %[3].

Cette étude contient un autre résultat à retenir. Les grands modèles de deep learning largement utilisés ont au contraire obtenu de mauvais résultats dans cette tâche. Les grands modèles rejetaient souvent de vraies œuvres comme fausses. Quand les données sont peu nombreuses, un petit modèle conçu pour le problème faisait mieux[3].

Ce résultat sert aussi de référence pour l'étude des documents anciens. Les manuscrits antiques conservés sont peu nombreux. Il n'existe pas assez de données pour nourrir largement un grand modèle. Cela signifie qu'une conception qui indique d'avance ce qu'il faut observer peut être préférable.

La machine qui mesure l'écriture

La même technique sert aussi à étudier de vrais objets anciens. L'équipe de recherche de Mladen Popović, à l'Université de Groningue aux Pays-Bas, a analysé l'écriture des manuscrits de la mer Morte avec l'IA. L'équipe a utilisé un réseau neuronal pour extraire seulement les traces laissées par l'encre. Elle a ensuite converti en nombres la courbure et l'inclinaison des lettres[4].

L'équipe a entraîné le modèle avec 24 manuscrits déjà datés au carbone. Le modèle s'appelle Enoch. Enoch a estimé l'âge de 135 manuscrits non datés. L'erreur moyenne était d'environ 28 à 31 ans. Plusieurs manuscrits se sont révélés plus anciens qu'on ne le pensait jusqu'ici[4].

Cette technique aide aussi à juger l'authenticité. L'écriture d'un vrai scribe possède des caractéristiques statistiques propres à chaque époque. Un faux s'écarte de cette distribution. L'œil humain sent que deux écritures se ressemblent, mais la machine donne la différence en chiffres.

Cette aide reste toutefois une source de référence supplémentaire. L'étude sur Enoch exige de la prudence. Ce modèle a été entraîné à dater les manuscrits. Il n'a pas été entraîné à distinguer les vrais des faux. Une estimation d'âge étrange ne permet donc pas de déclarer aussitôt qu'un fragment est faux. Le résultat d'une machine n'a de sens que dans les limites de ce que cette machine a appris à faire.

Ce que la machine ne peut pas remplacer

Le jugement de la machine a aussi des limites. L'authenticité des fragments du Museum of the Bible n'a pas été tranchée par une seule IA. L'observation au microscope, les tests chimiques et le savoir philologique ont été utilisés ensemble[1][2].

Le poids de l'historique de provenance demeure. L'historique de provenance est le document qui indique d'où vient un objet ancien. Le professeur Rollston dit qu'il faut distinguer les objets issus de fouilles et ceux achetés sur le marché. Pour les rouleaux découverts lors de fouilles, on sait dans quelle grotte ils ont été trouvés et à quel moment. Les fragments arrivés sur le marché n'ont pas cet historique[5].

La machine lit des signaux infimes que les personnes manquent. Les personnes jugent ce que ces signaux signifient. Détecter un faux exige ces deux choses ensemble.

Références

- [1] Greshko, M. (2020, 3월 13일). "Dead Sea Scrolls" at the Museum of the Bible are all forgeries. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/history/article/museum-of-the-bible-dead-sea-scrolls-forgeries> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] Solly, M. (2020, 3월 16일). All of the Museum of the Bible's Dead Sea Scrolls are fake, report finds. Smithsonian Magazine. <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/all-museum-bibles-dead-sea-scrolls-are-fake-report-finds-180974425/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Ugail, H., Ritch-Frel, J., Matuzava, I., & Stork, D. G. (2026). Verification of historical sketches via one-class learning on compact feature representations. PLOS One, 21(6), e0344796. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0344796>
- [4] Popović, M., Dhali, M. A., Schomaker, L., van der Plicht, J., Lund Rasmussen, K., La Nasa, J., Degano, I., Perla Colombini, M., & Tigchelaar, E. (2025). Dating ancient manuscripts using radiocarbon and AI-based writing style analysis. PLOS One, 20(6), e0323185. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323185>
- [5] Museum of the Bible. (2018, 10월 22일). Museum of the Bible releases research findings on fragments in its Dead Sea Scrolls collection. Museum of the Bible. <https://www.museumofthebible.org/newsroom/museum-of-the-bible-releases-research-findings-on-fragments-in-its-dead-sea-scrolls-collection> (consulté le 3 septembre 2026)

4.4. La vérité révélée

La ligne qui sépare les assemblages confirmés des assemblages candidats

Même si l'ordinateur dit que deux fragments s'assemblent, cela ne suffit pas. La machine ne donne qu'une probabilité. Les chercheurs distinguent strictement les assemblages confirmés des assemblages candidats.

Un assemblage confirmé n'est reconnu que lorsque plusieurs types de preuves concordent. D'abord, la forme des surfaces cassées doit s'emboîter sans vide. Ensuite, le grain du matériau doit se poursuivre. Dans un papyrus, les motifs des fibres de tige doivent se poursuivre[1]. Dans un parchemin, les traces de pores de poils doivent se poursuivre. Puis les traits de lettres qui traversent la frontière doivent continuer naturellement. Enfin, le texte ainsi réuni doit correspondre à la grammaire de la langue.

Un assemblage candidat est un cas où seules certaines de ces conditions sont remplies. C'est le cas lorsqu'on estime la position d'un fragment à partir de l'espacement des trous de vers. C'est aussi le cas lorsqu'on regroupe des fragments comme appartenant à un même ensemble de rouleaux parce que leur encre a la même composition. Ces résultats servent de point de départ à la recherche, mais ils ne sont pas une conclusion. L'ordre est le suivant : la personne vérifie les candidats filtrés par l'ordinateur[1].

Ne pas respecter cette distinction est dangereux. Si l'on assemble deux fragments parce que la probabilité est élevée, une phrase qui n'existait pas peut apparaître. Si cette phrase est citée, l'erreur se propage à la recherche suivante. C'est pourquoi les dossiers de données indiquent séparément les assemblages confirmés et les candidats.

Les nombres donnés par la machine reposent aussi sur cette distinction. Un taux élevé de filtrage ne confirme pas un assemblage[1]. Il en va de même pour la probabilité que la bonne réponse se trouve parmi les premiers candidats[2]. Dans tous les cas, la décision finale revient à une personne.

Le texte revenu à la vie

Cette méthode a permis de faire revivre de vrais textes. Depuis 2018, Fragmentarium a traité environ 22 000 fragments de tablettes d'argile. Ce programme a trouvé plusieurs nouveaux assemblages et plusieurs nouveaux manuscrits. En février 2023, l'équipe de recherche a ouvert Fragmentarium au public. Elle a aussi publié une édition numérique de l'Épopée de Gilgamesh[3].

Parmi les textes revenus à la vie figure l'Épopée de Gilgamesh. L'Épopée de Gilgamesh est un récit héroïque de Mésopotamie. En novembre 2022, le programme a reconnu un fragment. Ce fragment

provenait d'une version copiée vers 130 av. J.-C. Parmi les manuscrits de Gilgamesh identifiés jusqu'ici, il est tardif. Cela signifie que les gens copiaient encore cette histoire à cette époque[3].

L'écriture cunéiforme avait une orthographe différente selon les régions. Les scribes modifiaient les signes pour les adapter à leur dialecte. Quand les personnes cherchaient à l'œil nu, cette différence formait un grand obstacle. L'équipe de recherche a franchi cet obstacle en empruntant une méthode de comparaison des séquences génétiques. Des chaînes de caractères légèrement différentes pouvaient désormais être comparées[4].

Du côté des manuscrits de la mer Morte aussi, la base de données s'est élargie. L'Autorité des antiquités d'Israël a photographié en haute résolution plus de 25 000 fragments et les a mis en ligne[5]. Les chercheurs déplacent et disposent les fragments sur ces images[6]. Une méthode de traitement qui efface automatiquement les éléments gênants, comme les règles et les nuanciers, a aussi été publiée[7].

La porte suivante ouverte en 2026

La recherche « Traquer les scribes et les rouleaux », lancée en juin 2026, ouvre la porte suivante. La question qu'elle pose va un pas plus loin que l'assemblage des fragments. Elle demande où et par qui les manuscrits de la mer Morte ont été écrits[8].

L'équipe de recherche examine environ 250 échantillons de parchemin, de papyrus et d'encre. Un échantillon désigne un petit spécimen utilisé pour un examen. À cela s'ajoutent une analyse de l'écriture par IA et l'étude des écritures anciennes. L'Autorité des antiquités d'Israël, l'Université de Pise et l'Université de Naples y participent. L'Université du Danemark du Sud et l'Université de Louvain en Belgique y participent aussi. Les échantillons sont également comparés avec des papyrus égyptiens conservés dans des musées de Berlin et de Turin[8].

Si les échantillons ont la même composition, la possibilité qu'ils proviennent du même atelier augmente. Cette information sert aussi à assembler les fragments. Si l'on regroupe d'abord les matériaux de même origine, le nombre de paires à comparer diminue.

Les fragments restants et le travail restant

Même si les résultats s'accumulent, beaucoup de fragments n'ont pas encore retrouvé leur place. Dans les boîtes de conservation de l'Autorité des antiquités, il reste des fragments dont on ignore de quel rouleau ils proviennent[8]. Du côté des tablettes d'argile aussi, beaucoup d'assemblages restent à trouver[4].

La différence entre les appareils reste aussi un problème. Pour mesurer un objet ancien avec un scanner 3D, il faut déplacer l'objet devant l'appareil. Beaucoup de musées ne peuvent pas facilement envoyer leurs objets à l'extérieur. Certains objets n'ont donc que des données photographiques et pas de données 3D. Pour ces objets, on ne peut pas utiliser la méthode qui compare les surfaces cassées.

La technologie laisse aussi du travail à faire. Les photographies des fragments ont été prises avec des appareils différents selon les pays. Quand l'éclairage et l'arrière-plan diffèrent, le même algorithme donne aussi des réponses différentes. Les chercheurs ont donc créé un jeu de données public avec des réponses correctes annotées. Ils l'ont fait pour comparer les résultats avec le même critère[7]. La recherche sur les fragments de Dunhuang s'est aussi orientée vers un apprentissage qui ne dépend pas de réponses annotées par des personnes[9].

Cette technologie ne chasse pas les personnes. La machine réduit le nombre de paires à comparer, et la personne juge le sens. Seule une personne peut lire si une phrase revenue à la vie correspond à la manière de parler de son époque. Comme les deux rôles ne se recouvrent pas, ils peuvent travailler ensemble.

L'ouverture au public a aussi changé. Autrefois, seuls quelques chercheurs voyaient les photographies originales. Aujourd'hui, les données des tablettes d'argile et les photographies des manuscrits de la mer Morte sont accessibles sur Internet[4][5]. Un étudiant peut aussi déplacer des fragments sur un écran[6].

La colle numérique ne colle pas physiquement les fragments. Les objets restent dans leurs boîtes. Le rouleau ne se reconstitue que sur l'écran de l'ordinateur. Si le jugement est faux, on peut donc toujours revenir en arrière. Des textes dispersés pendant 2 000 ans reviennent ainsi peu à peu sous forme de phrases.

Références

- [1] Abitbol, R., Shimshoni, I., & Ben-Dov, J. (2021). Machine learning based assembly of fragments of ancient papyrus. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 14(3), 1-21. <https://doi.org/10.1145/3460961>
- [2] Zhang, C., Zong, R., Cao, S., Men, Y., & Mo, B. (2020). AI-powered oracle bone inscriptions recognition and fragments rejoining. *Proceedings of the Twenty-Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 5309-5311. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2020/779>
- [3] Phys.org. (2023, 2월 2일). Researcher uses AI to make texts that are thousands of years old readable. *Phys.org*. <https://phys.org/news/2023-02-ai-texts-thousands-years-readable.html> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Jiménez, E. (2023, 5월 25일). AI is helping us read ancient Mesopotamian literature. *The Conversation*. <https://theconversation.com/ai-is-helping-us-read-ancient-mesopotamian-literature-205091> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Israel Antiquities Authority. (n.d.). The digital library. The Leon Levy Dead Sea Scrolls Digital Library. <https://www.deadseascrolls.org.il/about-the-project/the-digital-library> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] Scripta Qumranica Electronica. (n.d.). Scripta Qumranica Electronica. University of Haifa. <https://megillot.haifa.ac.il/index.php/en/research/scripta-qumranica-electronica> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Brown-deVost, B., Kurar-Barakat, B., & Dershowitz, N. (2024). Segmenting Dead Sea Scroll fragments for a scientific image set. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2406.15692>
- [8] The Jerusalem Post. (2026, 6월 30일). New AI-powered research project aims to uncover the origins of the Dead Sea Scrolls. *The Jerusalem Post*. <https://www.jpost.com/archaeology/article-900938> (consulté le 3 septembre 2026)
- [9] Chen, M., Xiang, Y., & Zheng, Y. (2026). A self-supervised learning approach for pairwise matching of ancient Dunhuang fragments. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 19(1), 1-19. <https://doi.org/10.1145/3776642>

Chapitre 5. Tablettes d'argile brisées : la reconstruction informatique de l'Épopée de Gilgamesh

5.1. Dossier de l'affaire

Une histoire qui a traversé quatre mille ans

L'Épopée de Gilgamesh compte parmi les œuvres narratives les plus anciennes conservées aujourd'hui. Des chants sumériens plus anciens nous sont aussi parvenus. Le héros est Gilgamesh, roi de la ville mésopotamienne d'Uruk[1]. Il part vers une lointaine forêt de cèdres avec son ami Enkidu. Les deux hommes combattent Humbaba, le monstre qui garde cette forêt[2]. Plus tard, quand Enkidu meurt, Gilgamesh part chercher un chemin pour ne pas mourir[1].

Le support de cette histoire n'est pas le papier, mais la tablette d'argile. Les scribes de l'Antiquité taillaient un roseau en biais pour en faire une tige pointue. Cette tige s'appelle un stylet. Quand on presse l'argile humide avec un stylet, une marque en forme de coin reste imprimée. Ce ne sont pas des lettres tracées, mais des lettres faites par pression. Quand l'argile sèche, ces marques durcissent telles quelles. C'est pourquoi on appelle cette écriture l'écriture cunéiforme. Les élèves qui voulaient devenir scribes copiaient cette épopée pour s'exercer à écrire. Grâce à cela, des fragments de copies ont été retrouvés sur plusieurs sites du Moyen-Orient. Des fragments de cette épopée ont aussi été trouvés sur le site égyptien d'Amarna. Cela signifie que l'histoire s'était diffusée loin de la Mésopotamie[1].

Les versions transmises sont de deux grands types. L'une est la version paléo-babylonienne, écrite au début du II^e millénaire avant notre ère. L'autre est la version babylonienne standard, mise en ordre plus tard. La version standard est composée de douze tablettes d'argile. Onze d'entre elles forment le texte principal. La douzième tablette est considérée comme un appendice ajouté ensuite. Les traductions que nous lisons aujourd'hui prennent cette version standard pour base. Les blancs sont comblés avec la version paléo-babylonienne et d'autres fragments. Celui qui a révisé la version standard est connu comme un scribe nommé Sin-leqi-unninni. Il a réuni d'anciens chants dispersés en une longue œuvre. Il a fixé le contenu de chaque tablette et ajusté le nombre de lignes. Pourtant, cette version standard comporte elle aussi beaucoup de blancs. Aucune copie complète n'a été conservée du début à la fin[1].

Le contenu de cette histoire ne paraît pas étranger, même aujourd'hui. Gilgamesh était un roi puissant, mais il tourmentait son peuple. Les dieux créent Enkidu et l'envoient pour lui faire face. Les deux hommes se battent, puis deviennent amis. Ensemble, ils vainquent Humbaba et terrassent aussi le Taureau céleste. Enkidu tombe malade et meurt en paiement de cet acte. En voyant mourir son ami, Gilgamesh comprend que lui aussi mourra. La tablette XI contient une scène où il va trouver un homme qui a survécu au grand déluge et écoute son récit[1].

Cette histoire a été oubliée pendant plus de deux mille ans. Ceux qui savaient lire l'écriture cunéiforme avaient disparu. Au XIX^e siècle, quand des savants ont de nouveau déchiffré l'écriture cunéiforme, l'épopée est revenue au monde. Tout a commencé quand un chercheur, fouillant des caisses de tablettes d'argile rapportées de Ninive, a reconnu le récit du déluge. Depuis lors, pendant 150 ans, les savants ont rassemblé les copies dispersées et rempli peu à peu le texte[1].

Ninive et l'incendie de 612 avant notre ère

La plupart des copies de la version standard proviennent d'une ancienne bibliothèque. C'était le dépôt de livres établi au palais royal de Ninive par Assurbanipal, roi d'Assyrie au VII^e siècle avant notre ère. Cette bibliothèque rassemblait des textes divinatoires, des textes médicaux, des dictionnaires et des œuvres littéraires. Le roi fit collecter des tablettes d'argile dans tout l'empire. Il envoya des lettres à ses serviteurs pour leur ordonner de chercher les livres manquants. Assurbanipal était un roi qui savait lire lui-même l'écriture cunéiforme[3].

Vers 612 avant notre ère, Ninive fut prise dans un grand incendie. Le palais royal s'effondra, et la bibliothèque brûla avec lui. Ce feu eut deux effets à la fois sur les vestiges. Les tablettes d'argile qui avaient seulement séché à l'ombre furent solidement cuites dans les flammes[4]. Les tablettes cuites reçurent un corps durable, comme des briques sorties d'un four. Si du papyrus ou du cuir s'était trouvé dans les mêmes flammes, il serait devenu cendre et aurait disparu.

Mais le poids du bâtiment qui s'effondrait brisa ces tablettes durcies en morceaux. Les tablettes et fragments provenant de Ninive que conserve aujourd'hui le British Museum dépassent 30 000 pièces[3][4]. Ce sont des vestiges que les fouilleurs ont tirés des amas de terre au milieu du XIX^e siècle et chargés sur des bateaux[3]. Une même histoire nous est parvenue dispersée en dizaines de fragments.

La taille des fragments varie. Certains tiennent dans la paume. D'autres sont grands comme l'ongle du pouce. Souvent, il ne reste que quelques lignes sur un fragment. Rien n'indique où ces quelques lignes doivent entrer parmi les douze tablettes de l'épopée. Lire les signes et trouver leur emplacement sont deux tâches différentes.

Quand un fragment retrouve sa place, le sens peut changer. Il faut relier ce qui précède et ce qui suit pour savoir qui parle et dans quelle scène. Un texte qui, isolé, n'était qu'une suite de mots obscurs devient une phrase. Un seul raccord peut parfois faire revivre toute une scène du récit.

On ne peut pas ajuster 350 000 lignes à la main

Pendant longtemps, l'ajustement des fragments brisés a reposé sur les mains et la mémoire des humains. Le savant prend un fragment dans une réserve. Puis il cherche sa paire en se rappelant les photographies et les copies dessinées d'autres fragments. S'il juge que deux fragments proviennent de la même tablette, il appelle cela un raccord.

Cette méthode se heurte à la capacité de mémoire humaine. Depuis la naissance de l'assyriologie, en 150 ans, environ 5 000 raccords ont été ainsi établis[5]. Le nombre de fragments restants est bien plus élevé. Le British Museum possède à lui seul plus de 30 000 tablettes provenant de Ninive[3]. Si l'on ajoute les autres collections, le nombre augmente beaucoup. Beaucoup d'entre elles n'ont pas été lues depuis l'Antiquité[5]. Si l'on compte toutes les tablettes cunéiformes conservées dans les musées du monde, on estime leur nombre à environ 500 000[6].

Une autre raison rend le travail difficile. Les fragments sont dispersés dans plusieurs pays. Le British Museum, Berlin, l'université Yale et le Penn Museum de Philadelphie possèdent chacun leurs collections[7]. Pour essayer d'ajuster directement deux fragments, il faudrait passer d'un continent à l'autre.

L'écriture cunéiforme elle-même demande beaucoup de travail. Les scribes écrivaient le même mot de façons légèrement différentes. L'orthographe varie selon les régions et les époques[5]. Même quand une personne compare à l'œil le texte de deux fragments, il est difficile de voir s'ils appartiennent à la même œuvre.

De plus, un même signe cunéiforme peut se lire de plusieurs façons. Une même marque prend des valeurs différentes selon le contexte. Chercher des correspondances parmi des centaines de milliers de lignes de ce type ne peut pas être mené à terme par le seul regard humain.

C'est pourquoi le professeur Enrique Jiménez, de l'université Louis-et-Maximilien de Munich, en Allemagne, a choisi une autre voie. En 2018, il a lancé un projet destiné à reconstituer autant que possible les textes babyloniens. Il s'agissait de réunir en un seul lieu les transcriptions de tablettes d'argile dispersées dans le monde[5]. Ce projet s'appelle Electronic Babylonian Library, abrégé en eBL. L'atelier de raccord de fragments créé par eBL est Fragmentarium. En 2024, cet atelier avait accumulé les transcriptions d'environ 25 000 tablettes. En nombre de lignes, cela dépasse 350 000 lignes[7].

L'urgence de ce travail tient au temps. Même cuites par le feu, les tablettes d'argile ne sont pas éternelles. Le sel et l'humidité font gonfler la surface et effacent les signes. Dans les réserves des musées, des centaines de milliers de tablettes attendent encore d'être lues[5]. Personne ne sait combien d'histoires elles contiennent.

Le nombre de personnes capables de lire l'écriture cunéiforme pose aussi problème. Il n'y a pas beaucoup de chercheurs en assyriologie dans le monde. Parmi les tablettes restantes, seule une partie a été traduite[6]. Il existe une limite au nombre de tablettes qu'une personne peut lire dans une vie. C'est pour cela que l'on a cherché l'aide des machines.

Références

- [1] George, A. R. (2003). *The Babylonian Gilgamesh Epic: Introduction, Critical Edition and Cuneiform Texts*. Oxford University Press.
- [2] Al-Rawi, F. N. H., & George, A. R. (2014). Back to the Cedar Forest: The beginning and end of Tablet V of the Standard Babylonian Epic of Gilgameš. *Journal of Cuneiform Studies*, 66, 69-90. <https://doi.org/10.5615/jcunestud.66.2014.0069>
- [3] The Ashurbanipal Library Project. (n.d.). What is the Library? Oracc, University of Pennsylvania. <https://oracc.museum.upenn.edu/asbp/whatisthelibrary/index.html> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] British Museum. (n.d.). What was Ashurbanipal's Library? britishmuseum.org. <https://www.britishmuseum.org/research/projects/what-was-ashurbanipals-library> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Jiménez, E. (2023, 5월 25일). AI is helping us read ancient Mesopotamian literature. *The Conversation*. <https://theconversation.com/ai-is-helping-us-read-ancient-mesopotamian-literature-205091> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] Wang, Z. (2026). TabletCraft: Bridging a 4,000-year cultural gap with bidirectional Akkadian NMT and cuneiform rendering. arXiv:2608.02609. <https://arxiv.org/abs/2608.02609> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Cobanoglu, Y., Laasonen, J., Simonjetz, F., Khait, I., Cohen, S., Földi, Z., Härtinen, A., Heinrich, A., Mitto, T., Rozzi, G., Sáenz, L., & Jiménez, E. (2024). Transliterated cuneiform tablets of the electronic Babylonian Library platform. *Journal of Open Humanities Data*, 10, 19. <https://doi.org/10.5334/johd.148>

5.2. La traque de la police scientifique : la fusion numérique Clay Edge et Fragmentarium

La première étape : transcrire les signes en alphabet

Le point de départ de Fragmentarium, ce sont les signes. Le chercheur regarde une photographie de tablette d'argile et transcrit l'écriture cunéiforme en alphabet latin[1]. Ce travail s'appelle la translittération. En coréen, cela ressemblerait au fait de noter des caractères chinois selon leur son en hangeul. Il s'agit de transformer chaque signe cunéiforme en lettres alphabétiques selon sa valeur phonétique. Les passages cassés et illisibles sont marqués par des signes de blanc.

La translittération ainsi créée devient une chaîne de caractères que l'ordinateur peut traiter. eBL a accumulé ces translittérations de mai 2018 à août 2023. En résultat, environ 25 000 tablettes d'argile et plus de 350 000 lignes de texte sont devenues des données consultables. Le catalogue des tablettes géré par eBL dépasse 260 000 entrées. Il comprend les collections du British Museum, de la Yale Babylonian Collection et du Penn Museum[1].

La translittération est faite par des humains. La machine ne peut pas encore extraire parfaitement les signes à partir des photographies. L'équipe d'eBL a poursuivi ce travail de translittération pendant plus de cinq ans. Le résultat a été publié comme un jeu de données ouvert que tout le monde peut télécharger[1]. Pour confier du travail à une machine, il faut d'abord que des humains préparent les données.

Un appariement de chaînes qui ressemble à un test génétique

L'algorithme central vient d'un domaine inattendu. Il s'agit d'une méthode d'alignement de chaînes utilisée par les biologistes pour comparer des séquences génétiques[2]. Un gène est une longue chaîne formée des quatre lettres A, T, G et C. Quand on compare les gènes de deux organismes, on les aligne à la même position, même si certaines lettres diffèrent un peu.

Le même problème apparaît dans l'écriture cunéiforme. Les scribes écrivaient le même mot de façons différentes. Le professeur Jiménez a considéré que cette variation ressemblait aux mutations génétiques. Il a donc adapté un algorithme d'alignement de la biologie à l'écriture cunéiforme[2].

Ce que l'ordinateur compte en réalité, ce sont de courts morceaux de texte. Les morceaux obtenus en découpant une translittération par groupes de quelques signes s'appellent des n-grammes. Le système compte le nombre de n-grammes partagés par deux tablettes. Plus deux fragments partagent de longs morceaux, plus leur score est élevé. Les paires au score élevé sont présentées comme candidates aux chercheurs.

Fragmentarium s'ouvre dans une interface web. Les chercheurs de n'importe quel pays peuvent s'y connecter et consulter les mêmes données. Ils peuvent placer côte à côte, sur un même écran, un fragment de Londres et un fragment de Munich pour les comparer[8]. Il n'est plus nécessaire de faire ses bagages et de prendre l'avion.

Cette méthode résiste aux variations d'orthographe. Même si un mot est écrit différemment, le score reste si les morceaux voisins se recourent. eBL a publié ce programme d'appariement dans un dépôt ouvert. D'autres chercheurs peuvent télécharger et utiliser le même outil[6].

L'ordinateur aide aussi à lire les signes eux-mêmes. Il arrive souvent qu'un même signe cunéiforme puisse se lire de plusieurs façons. Le modèle entraîné par eBL a atteint une exactitude de 98 % dans le choix de la bonne valeur parmi ces sens possibles[2].

Un exemple permet de comprendre pourquoi ce travail est nécessaire. Dans une phrase, une même marque cunéiforme se lit comme un son. Dans une autre phrase, elle se lit comme un signe désignant un mot entier. Si la lecture est erronée, le score d'appariement se dérègle. Corriger la lecture revient donc à augmenter l'exactitude des raccords.

Les résultats se voient dans les chiffres. En 150 ans, l'assyriologie avait établi à la main environ 5 000 raccords. En cinq ans, eBL a trouvé environ 1 500 raccords supplémentaires[2]. Rien que pendant la constitution du corpus de translittérations, environ 1 250 raccords sont apparus[1]. Des milliers de fragments qui ne se touchent pas directement, mais appartiennent à la même œuvre, ont aussi été identifiés[2].

Un modèle de langue qui comble les cassures

Même quand les fragments sont raccordés, le texte garde encore des blancs ici et là. Ces blancs s'appellent des lacunes. À partir de là, les modèles de langue entrent en jeu.

En 2023, des chercheurs de l'université de Tel-Aviv et de l'université d'Ariel ont présenté un modèle de traduction de l'akkadien. Ce modèle traduit en anglais aussi bien des signes cunéiformes que des translittérations alphabétiques. Il traite donc deux types d'entrée. Il ne traite pas le retour de l'anglais vers l'akkadien. Les données d'entraînement sont des lectures de tablettes déjà publiées[3].

En 2026, un outil couvrant aussi la direction inverse est apparu. C'est un logiciel ouvert nommé TabletCrafter. Cet outil traduit dans les deux sens, de l'akkadien vers l'anglais et de l'anglais vers l'akkadien. Les données d'entraînement comptent 116 000 paires de phrases. Le tableau de conversion des signes cunéiformes contient plus de 14 000 correspondances. Le développeur a expliqué qu'il fallait un outil pour lire les 500 000 tablettes restantes[4].

Ces modèles regardent le contexte avant et après le blanc, puis proposent les mots susceptibles d'y entrer sous forme de probabilités. Dans la poésie babylonienne, il existe une règle qui place côte à côte deux lignes de structure semblable. Le modèle utilise aussi cette forme comme indice. Ce que le modèle produit n'est pas une réponse certaine, mais une liste de candidats.

Un outil de 2026 qui lit même le style d'écriture

Le 18 mai 2026, l'université de Wurtzbourg, en Allemagne, a présenté un nouvel outil. Il a été créé avec l'Académie des sciences et des lettres de Mayence et l'université technique de Dortmund. Son nom est Paleograficum. Cet outil apprend la forme de chaque signe cunéiforme à partir de photographies de tablettes d'argile. Puis il retrouve, dans l'ensemble des collections, les signes imprimés de la même manière[5].

Cet outil traite 70 000 photos, qui contiennent plus de 5 millions de signes. Autrefois, comparer l'écriture de cinq fragments prenait trois jours. Avec cet outil, cinq minutes suffisent. Comme chaque personne a une écriture différente, chaque scribe enfonçait les coins avec un angle et un espacement différents. Ces différences peuvent servir d'indice pour repérer des fragments issus de la même tablette[5].

L'écriture cunéiforme hittite traitée par cet outil compte 375 signes. Les fragments de tablettes hittites connus à ce jour atteignent 30 000 pièces. Le professeur Daniel Schwemer, qui a dirigé la recherche, a déclaré que cet outil pouvait économiser des milliers d'heures[5].

Le prochain objectif de l'équipe est d'identifier chaque scribe. Cela signifie retrouver toutes les tablettes écrites par une même personne. Si ce travail aboutit, il sera possible de dessiner où un scribe a travaillé et vers où il s'est déplacé. La vie professionnelle de personnes d'il y a 3 500 ans apparaîtra ainsi dans les données[5].

Une autre voie pour ajuster les bords brisés de l'argile

Les recherches visant à assembler les fragments par leur forme, et non par les caractères, se poursuivent depuis longtemps. Une tablette d'argile brisée conserve une surface de rupture. On appelle cette surface une face de fracture. Si les faces de fracture de deux fragments s'emboîtent, ils proviennent de la même tablette.

Le projet représentatif de cette voie est le projet de restauration virtuelle des tablettes cunéiformes. Sandra Woolley, de l'Université de Keele au Royaume-Uni, le dirige. Tim Collins et Erlend Gehlken y participent. Les chercheurs balaient les fragments avec un scanner 3D. Ils laissent ensuite l'ordinateur

déterminer si les faces brisées de deux fragments s'emboîtent. Les vieux fragments ont des bords usés. Cette usure entre aussi dans le calcul[9].

L'un des résultats de cette méthode est venu du récit du Déluge. Il s'agissait d'un fragment de la troisième tablette de l'épopée du Déluge appelée Atrahasis. Un fragment se trouvait à Londres, l'autre à Genève. Les deux lieux sont séparés d'environ 1 000 kilomètres. Il était impossible de les mettre physiquement côte à côte, donc l'assemblage ne pouvait pas être vérifié. Quand les données 3D ont été superposées, les deux fragments se sont rejoints[9]. Cette méthode a fait l'objet d'un article en 2014[10].

Les recherches qui traitent des données 3D continuent aujourd'hui. En mars 2026, un article a été publié. Il porte sur un réseau de neurones qui classe les informations d'objets archéologiques à partir des nuages de points 3D de tablettes d'argile. Un nuage de points est une donnée qui enregistre la surface d'un objet sous forme de coordonnées de très nombreux points. Quand on balaie une tablette d'argile avec un scanner 3D, on obtient ce type de données. Les reliefs de la surface et l'épaisseur restent sous forme de nombres. Cette recherche a obtenu de meilleurs résultats que les modèles antérieurs fondés sur les transformeurs[7].

Cependant, l'arme principale que le Fragmentarium utilise aujourd'hui en pratique n'est pas la forme 3D. Ce sont les photos et les translittérations, c'est-à-dire les caractères et les images[1][2]. L'ajustement des faces de fracture demande de scanner les fragments un par un, ce qui prend beaucoup de travail. Les deux voies ne se remplacent pas. Elles avancent ensemble.

Le repérage des signes sur les photos a lui aussi progressé rapidement. En juin 2026, l'équipe d'eBL a publié un nouvel article. Il présente une méthode qui trouve automatiquement l'emplacement des signes cunéiformes dans les photos de tablettes. Les photos de fragments traitées dépassent 87 000. Les signes repérés atteignent 2,9 millions. Les résultats se sont nettement améliorés par rapport aux méthodes antérieures[11].

Références

- [1] Cobanoglu, Y., Laasonen, J., Simonjetz, F., Khait, I., Cohen, S., Földi, Z., Härtinen, A., Heinrich, A., Mitto, T., Rozzi, G., Sáenz, L., & Jiménez, E. (2024). Transliterated cuneiform tablets of the electronic Babylonian Library platform. *Journal of Open Humanities Data*, 10, 19. <https://doi.org/10.5334/johd.148>
- [2] Jiménez, E. (2023, 5월 25일). AI is helping us read ancient Mesopotamian literature. *The Conversation*. <https://theconversation.com/ai-is-helping-us-read-ancient-mesopotamian-literature-205091> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Gutherz, G., Gordin, S., Sáenz, L., Levy, O., & Berant, J. (2023). Translating Akkadian to English with neural machine translation. *PNAS Nexus*, 2(5), pgad096. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad096>
- [4] Wang, Z. (2026). TabletCraft: Bridging a 4,000-year cultural gap with bidirectional Akkadian NMT and cuneiform rendering. *arXiv:2608.02609*. <https://arxiv.org/abs/2608.02609> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Julius-Maximilians-Universität Würzburg. (2026, 5월 18일). AI reads cuneiform: A milestone for Ancient Near Eastern Studies. *EurekAlert!*. <https://www.eurekalert.org/news-releases/1128630> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] Electronic Babylonian Literature. (n.d.). ngram-matcher [소프트웨어]. GitHub. <https://github.com/ElectronicBabylonianLiterature/ngram-matcher> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Hagelskjær, F. (2026). A novel network for classification of cuneiform tablet metadata. *arXiv:2603.03892*. <https://arxiv.org/abs/2603.03892> (consulté le 3 septembre 2026)
- [8] electronic Babylonian Library. (n.d.). Fragmentarium. *ebli.mu.de*. <https://www.ebli.mu.de/fragmentarium> (consulté le 3 septembre 2026)
- [9] International Association for Assyriology. (2022, 10월 22일). In the spotlight: The "Virtual Cuneiform Tablet Reconstruction Project". *iaassyriology.com*. <https://iaassyriology.com/in-the-spotlight-the-vctr-project/> (consulté le 3 septembre 2026)

- [10] Collins, T., Woolley, S. I., Hernandez Munoz, L., Lewis, A., Ch'ng, E., & Gehlken, E. (2014). Computer-assisted reconstruction of virtual fragmented cuneiform tablets. In Proceedings of the 2014 International Conference on Virtual Systems and Multimedia (pp. 70-77). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VSMM.2014.7136691>
- [11] Che, W., Garcés Arias, E., Niaz, A., Bender, A., & Jiménez, E. (2026). Automated sign detection across the Electronic Babylonian Library: A large-scale dataset and end-to-end cuneiform OCR pipeline. arXiv:2606.22608. <https://arxiv.org/abs/2606.22608> (consulté le 3 septembre 2026)

5.3. La vérité révélée

Les lignes revenues dans l'Épopée de Gilgamesh

Le Fragmentarium a retrouvé 20 nouveaux fragments de l'Épopée de Gilgamesh. Grâce à cela, plus de 100 lignes du texte ont retrouvé leur place. Plusieurs scènes disparues ont aussi repris vie. L'une d'elles montre Enkidu qui tente de dissuader Gilgamesh de tuer Humbaba. Une autre scène nouvellement raccordée montre les deux hommes qui se rendent à Nippur après avoir tué Humbaba. Nippur était la ville religieuse centrale consacrée au dieu Enlil[1].

Un exemple montrant la vitesse de cette méthode est apparu en 2025. Ammar Fadhil, de l'Université de Bagdad, et le professeur Jiménez ont ressuscité un long poème qui loue Babylone. Ce poème était oublié depuis plus de 1 000 ans. Les chercheurs ont trouvé 30 copies appartenant au même poème grâce à la plateforme eBL. À la main, ce travail aurait pris des dizaines d'années. Une fois les copies dispersées réunies, la majeure partie d'un poème d'environ 250 lignes a été raccordée[3].

Ce poème montre une journée dans la ville de Babylone. On y voit le fleuve, les portes de la ville et les activités des gens. Il contient aussi de nouveaux documents sur le travail confié aux prêtresses. Le fait que 30 copies aient été retrouvées signifie que ce poème était largement lu. Il est fort probable qu'il s'agissait d'un texte que les élèves recopiaient à l'école[3].

Le temps nécessaire à ce travail montre la force de la méthode. Pour trouver 30 copies à la main, il faudrait fouiller une par une les listes de musées dans le monde entier. Sur la plateforme eBL, le même travail se termine par une seule recherche[3].

Cette méthode ne sert pas seulement à l'Épopée de Gilgamesh. Elle s'applique aussi aux traités divinatoires, aux traités médicaux, aux dictionnaires et aux prières de Babylonie. Les raccords trouvés par eBL couvrent plusieurs types de textes[5].

La forêt de cèdres d'abord résolue par la main humaine

La machine n'a pas tout résolu. Dans l'Épopée de Gilgamesh, une nouvelle découverte largement connue est venue de la main humaine.

En 2011, le musée de Sulaymaniyah, en Irak, a acheté une tablette d'argile. Farouk Al-Rawi et Andrew George ont lu cette tablette. Ils ont publié leurs résultats en 2014. La tablette contenait le début et la fin de la cinquième tablette de la version standard. Environ 20 lignes nouvelles en sont sorties[4].

Le nouveau texte peint la forêt de cèdres par les sons. Des singes crient bruyamment et des cigales chantent en chœur. Toutes sortes d'oiseaux gazouillent. Ces sons réjouissaient chaque jour Humbaba, le gardien de la forêt. On y voit aussi les deux hommes s'arrêter, stupéfaits, lorsqu'ils découvrent la forêt. Un passage dit encore que Gilgamesh regrette d'avoir coupé des arbres après avoir tué Humbaba[4]. Dans les plaines de Mésopotamie, il n'existe pas de forêt habitée par des singes. C'est pourquoi l'origine de cette description reste une question pour les chercheurs.

Le parcours de cette tablette n'était pas net. Le musée l'a achetée à un marchand d'antiquités. C'était une mesure destinée à empêcher la dispersion d'objets pillés en Irak après la guerre. Aucun document ne dit

de quel site elle provenait[4]. Pour ce type d'objet, il existe moins d'indices pour retrouver le fragment qui lui correspond.

Cette découverte a eu lieu sans IA. Mais la fréquence à laquelle des découvertes de ce type pourront être faites à l'avenir dépend des outils. Il a fallu le hasard et l'œil humain pour que la tablette de Sulaymaniyah soit connue du monde. eBL cherche à transformer ce hasard en recherche[5].

L'histoire de l'arche ronde

Le récit du Déluge se trouve dans une situation comparable. Si la cinquième tablette de l'Épopée de Gilgamesh contient la forêt de cèdres, la onzième contient le grand déluge[6]. La tablette que nous verrons ci-dessous n'est pas une copie de l'Épopée de Gilgamesh. C'est une tablette plus ancienne qui contient la même tradition du Déluge[8].

En 2009, le Dr Irving Finkel, du British Museum, a examiné une tablette d'argile. Un collectionneur privé l'avait apportée au musée. Il a estimé qu'elle avait été écrite vers 1750 av. J.-C. Elle mesure environ 11,5 centimètres de large et 6 centimètres de haut. Elle porte 60 lignes[8]. Son contenu raconte qu'un dieu ordonne à un homme de construire un bateau. Il y est aussi dit d'y embarquer les animaux deux par deux[7].

Ce qui frappe, c'est la forme du bateau. Ce bateau n'est pas une longue caisse, mais un bateau rond. Il a la même forme qu'un coracle, un bateau-panier rond utilisé sur les rivières[7]. La tablette mentionne des cordes et une armature en bois. Elle indique aussi la quantité de bitume à appliquer pour empêcher l'eau d'entrer. Le bitume est une huile naturelle noire et collante. Le Dr Finkel a publié cette lecture dans un livre en 2014[8].

Cette tablette n'a pas été lue par l'IA. Un humain l'a déchiffrée ligne par ligne. Le rôle de l'IA se trouve ailleurs. Il consiste à réunir en un seul lieu les copies du récit du Déluge dispersées dans le monde, puis à trouver les lignes qui se recoupent[5].

Ce que fait la machine et ce que fait l'humain

Dans ce domaine, les résultats sont traités en trois niveaux.

Le premier niveau est l'assemblage physique. Il s'agit du cas où les faces brisées de deux fragments s'emboîtent réellement. Dans ce cas, on établit que les deux fragments proviennent d'une même tablette d'argile.

Le deuxième niveau est l'assemblage textuel. Il s'agit du cas où deux fragments ne se touchent pas directement, mais où l'on établit qu'ils appartiennent à des parties différentes d'une même œuvre. La plupart des trouvailles du Fragmentarium relèvent de ce niveau[5]. Des milliers de fragments appartenant à une même œuvre ont ainsi été identifiés[2].

Ces deux niveaux ont des natures différentes. L'assemblage physique devient un fait dès qu'il est confirmé par l'œil. L'assemblage textuel repose sur la probabilité, donc il peut changer lorsqu'un nouveau fragment apparaît. eBL enregistre ces deux niveaux séparément[5].

Le troisième niveau est l'interprétation. Il s'agit de déterminer ce que signifie le texte ressuscité. La machine ne sait pas de quel souvenir viennent les cris de singes dans la forêt de cèdres. Elle ne peut pas non plus répondre à la question de savoir comment le bateau rond est devenu l'arche rectangulaire de la Bible. Ces questions relèvent des spécialistes des textes anciens et des historiens.

Les candidats proposés par la machine ne deviennent un enregistrement officiel qu'après examen humain. Le chercheur ouvre la liste des candidats et regarde côte à côte les photos des deux fragments. Il examine la forme des caractères, l'espacement des lignes et même l'épaisseur de la tablette avant de

confirmer l'assemblage[5]. Le travail de la machine s'arrête au choix de quelques paires dignes d'être examinées parmi d'innombrables possibilités[2].

Un article de synthèse paru en juin 2026 trace la même limite. L'IA actuelle ne peut pas déchiffrer l'écriture cunéiforme par elle-même. C'est un outil qui aide la recherche humaine[9]. Il en va de même pour le Paleographicum de l'Université de Würzburg. Il ne fait que réduire à cinq minutes une comparaison d'écritures qui prenait trois jours. C'est l'humain qui décide quoi comparer et qui juge le résultat[10].

Ce qui a changé, c'est la vitesse. En 150 ans, il y avait eu 5 000 raccords. En cinq ans, 1 500 autres se sont ajoutés[2]. La vie éternelle que Gilgamesh cherchait sans relâche, c'est finalement son récit qui l'a obtenue. Des phrases qui ont attendu 2 600 ans, brisées sous la terre, retrouvent aujourd'hui leur place une à une.

Il reste encore beaucoup à faire. Sur les 500 000 tablettes d'argile du monde, seule une partie a été lue[11]. Les données de translittération d'eBL contiennent 25 000 tablettes[5]. Les 30 000 fragments hittites viennent tout juste d'être organisés en photos[10]. Le travail 3D d'ajustement des faces brisées n'en est qu'à ses débuts. La prochaine génération d'étudiants reprendra cette liste. À ce moment-là, les blancs de l'Épopée de Gilgamesh seront moins nombreux qu'aujourd'hui. Les fragments laissés par l'incendie de Ninive n'ont pas encore tous été lus. Les outils qui permettront de les lire se multiplient chaque année.

Références

- [1] Ofgang, E. (2024, 8월 12일). Piecing together an ancient epic was slow work. Until AI got involved. The New York Times. https://edition.pagesuite.com/tribune/article_popover.aspx?guid=235bb893-7f2d-41cd-9857-139c7d1e8355 (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] Jiménez, E. (2023, 5월 25일). AI is helping us read ancient Mesopotamian literature. The Conversation. <https://theconversation.com/ai-is-helping-us-read-ancient-mesopotamian-literature-205091> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Fadhil, A. A., & Jiménez, E. (2025). Literary texts from the Sippar Library V: A hymn in praise of Babylon and the Babylonians. Iraq, 1-58. <https://doi.org/10.1017/irq.2024.23>
- [4] Al-Rawi, F. N. H., & George, A. R. (2014). Back to the Cedar Forest: The beginning and end of Tablet V of the Standard Babylonian Epic of Gilgameš. Journal of Cuneiform Studies, 66, 69-90. <https://doi.org/10.5615/jcunestud.66.2014.0069>
- [5] Cobanoglu, Y., Laasonen, J., Simonjetz, F., Khait, I., Cohen, S., Földi, Z., Härtinen, A., Heinrich, A., Mitto, T., Rozzi, G., Sáenz, L., & Jiménez, E. (2024). Transliterated cuneiform tablets of the electronic Babylonian Library platform. Journal of Open Humanities Data, 10, 19. <https://doi.org/10.5334/johd.148>
- [6] George, A. R. (2003). The Babylonian Gilgamesh Epic: Introduction, Critical Edition and Cuneiform Texts. Oxford University Press.
- [7] PBS NewsHour. (2014, 1월 24일). New evidence suggests Noah's ark may have been round. pbs.org. <https://www.pbs.org/newshour/world/new-evidence-suggests-noahs-ark-may-have-been-round> (consulté le 3 septembre 2026)
- [8] Finkel, I. (2014). The Ark Before Noah: Decoding the Story of the Flood. Hodder & Stoughton.
- [9] Centre for the Study of Manuscript Cultures. (2026, 6월 14일). Can artificial intelligence decipher cuneiform tablets? Universität Hamburg. <https://www.csmc.uni-hamburg.de/publications/mesopotamia/2026-06-14.html> (consulté le 3 septembre 2026)
- [10] Julius-Maximilians-Universität Würzburg. (2026, 5월 18일). AI reads cuneiform: A milestone for Ancient Near Eastern Studies. EurekAlert!. <https://www.eurekalert.org/news-releases/1128630> (consulté le 3 septembre 2026)
- [11] Wang, Z. (2026). TabletCraft: Bridging a 4,000-year cultural gap with bidirectional Akkadian NMT and cuneiform rendering. arXiv:2608.02609. <https://arxiv.org/abs/2608.02609> (consulté le 3 septembre 2026)

Chapitre 6. La traduction de l'akkadien par IA : reçus et murmures des marchands de Mésopotamie

6.1. Dossier de l'affaire

Des reçus gravés dans l'argile

Les anciens Mésopotamiens écrivaient sur des tablettes d'argile humide. Ils taillaient l'extrémité d'un roseau en angle pour fabriquer un stylet. Le stylet était un instrument d'écriture qui ne laissait que des marques, sans encre. Ils pressaient ce stylet dans l'argile, puis le retiraient aussitôt[1]. La marque imprimée prenait une forme triangulaire semblable à un coin. Cette écriture s'appelle l'écriture à coins. Le monde savant emploie aussi le nom écriture cunéiforme. Cunéiforme signifie en forme de coin.

Quand l'argile sèche, elle durcit comme la pierre. Contrairement au papier ou au cuir, elle ne pourrit pas avec le temps. Même en cas d'incendie, elle ne devient pas cendre. Au contraire, la forte chaleur cuit l'argile et la rend dure comme une brique. Quand les villes brûlaient pendant les guerres, les tablettes d'argile devenaient plus solides[3]. Grâce à cela, des registres vieux de 4 000 ans sont arrivés jusqu'à nous.

Beaucoup de tablettes d'argile tiennent dans la paume de la main. Elles ont une taille que l'on pouvait porter dans une poche. Le scribe pétrissait l'argile humide et façonnait une tablette. Le scribe était la personne qui écrivait et lisait pour les autres. Une fois le texte terminé, on le faisait sécher au soleil. On les cuisait rarement exprès dans un four. La cuisson pratiquée aujourd'hui dans les musées est une mesure de conservation[2]. Quand il fallait corriger, on frottait la surface pour effacer.

On estime à environ 500 000 le nombre de tablettes d'argile découvertes jusqu'ici[4]. D'autres tablettes restent encore enfouies sous terre. Les textes qui y figurent ne sont pas seulement des éloges royaux. On y trouve des reçus indiquant que quelques sacs de grain ont été reçus. On y trouve des contrats qui fixent un prêt d'argent et des intérêts. On y trouve aussi des lettres envoyées par des femmes à leurs maris partis au loin[6].

Un reçu est court. Le nom de l'objet et la quantité viennent d'abord. Ensuite viennent les noms de la personne qui donne et de celle qui reçoit. À la fin, on écrit la date et le nom des témoins. L'ordre ressemble à celui d'un reçu que l'on reçoit aujourd'hui dans un magasin. Pris seul, un tel document contient peu de matière. Mais quand des dizaines de milliers de pièces s'assemblent, l'histoire change. On voit en quelle année le prix du grain a monté. On voit aussi quelles villes achetaient et vendaient quels biens.

La majorité non traduite

Le problème tient au fait que ces textes sont à peine lus. Parmi les tablettes d'argile, seule une partie a été traduite en langues modernes[5]. Le reste dort dans des boîtes de musée.

Tout le monde ne pouvait pas écrire. Pour devenir scribe, il fallait étudier longtemps à l'école. Les élèves recopiaient les signes sur des tablettes d'argile. Quand une tablette était mal écrite, on la détrempeait dans l'eau et on la remodelait. Des tablettes d'exercice conservées sont aussi mises au jour comme vestiges. Elles montrent les salles de classe de cette époque.

Peu de gens connaissaient les signes. La plupart faisaient écrire les scribes à leur place. Quand ils recevaient une lettre, un scribe la leur lisait. C'est pourquoi les phrases des lettres avaient une forme polie et codifiée. La personne qui parlait et la personne qui écrivait n'étaient pas les mêmes.

Lire une seule tablette d'argile demande plusieurs étapes. On reconnaît d'abord chaque signe. Puis on détermine quel son représente ce signe. Ensuite on sépare les mots et on cherche leur sens. Enfin on relie les phrases et on traduit. Si le formulaire est familier, le travail se termine vite. Un document inconnu demande longtemps.

La raison est le manque de lecteurs. La discipline qui traite des écritures à coins s'appelle l'assyriologie. Former un seul spécialiste prend des décennies. Il faut apprendre à la fois les langues anciennes et l'histoire ancienne. C'est pourquoi très peu de personnes dans le monde lisent ces signes[5].

Le nombre de tablettes nouvellement publiées dépasse la vitesse de lecture des chercheurs. Comme les spécialistes ne se multiplient pas, les boîtes s'empilent. En juin 2026, l'Université de York, au Royaume-Uni, a lancé un nouveau projet de recherche. Son nom est « Vers un accès universel au patrimoine cunéiforme ». Le projet vise à rendre les sources cunéiformes accessibles à tous en les traduisant aussi en arabe. Il se poursuivra pendant trois ans, jusqu'en 2029[7].

Le rassemblement des sources en un même lieu avance aussi. Le projet de Bibliothèque numérique cunéiforme en est un exemple. Il rassemble les informations sur les tablettes d'argile dispersées dans le monde et les met en ligne. Il place côte à côte les photos, les translittérations et les traductions. La translittération est une écriture qui note avec l'alphabet les sons des signes cunéiformes. Plus de 400 000 objets sont déjà inscrits au catalogue[4]. La machine ne peut apprendre que si les données sont réunies.

Les tablettes d'argile sont aujourd'hui dispersées dans plusieurs pays. Beaucoup se trouvent dans les musées d'Irak et de Turquie. Les musées de Londres, de Paris et de Berlin en possèdent aussi une grande part. Elles sont également réparties entre des universités aux États-Unis et au Japon. Quand le recto et le verso d'un même document se trouvent dans deux pays différents, il est difficile de les réunir. Ce n'est qu'en mettant les photos ensemble sur Internet qu'on peut les comparer.

Des registres éclipsés par les archives royales

Si les documents ordinaires ont été relégués au second plan, cela tient à une longue histoire. Les équipes de fouilles du XIXe siècle et du début du XXe siècle ont d'abord creusé les palais et les temples. Les grandes stèles de pierre et les objets en or attiraient les regards. Les chercheurs ont eux aussi lu en premier les inscriptions royales et les codes de lois. Ils ont consacré leur temps aux mythes et aux épopées.

Pendant ce temps, les reçus et les lettres des marchands passaient après. Les listes de distribution de grain étaient vues comme des notes de petites courses. Prises une à une, elles semblaient pauvres en contenu. Les chercheurs ont repoussé le travail de copie manuelle de ces documents ennuyeux. Ainsi, les voix des gens ordinaires sont restées longtemps enterrées.

Ce biais a fait perdre quelque chose. Il est devenu difficile de savoir comment les prix montaient et baissaient. Le travail des femmes a été masqué. Les noms des enfants et des serviteurs ne sont restés que dans des listes. Les inscriptions royales écrivent la gloire. Les reçus ne se vantent pas. Ils notent seulement le fait d'une transaction. C'est pourquoi un reçu peut devenir une source plus honnête.

Un seul coin porte plusieurs sens

Même pour une machine, l'écriture cunéiforme n'est pas facile à lire. Un seul signe remplit plusieurs rôles à la fois[8]. À certains endroits, il devient un signe syllabique qui représente un son. À d'autres, il représente le sens d'un mot entier. Ailleurs encore, il ne se prononce pas. Il sert seulement de marque pour indiquer si le mot qui suit désigne un arbre ou un dieu. On appelle cette marque un déterminatif.

L'écriture cunéiforme n'a pas servi à écrire une seule langue. Le sumérien et l'akkadien ont utilisé les mêmes signes. Plus tard, le hittite et l'élamite ont aussi emprunté cette écriture. Un même signe produit des sons différents selon les langues. Le lecteur doit d'abord déterminer la langue du document.

Le signe sumérien gish, qui signifie bois, en donne un bon exemple. Placé devant le nom d'un meuble, il indique que la matière est le bois. Placé seul, il est le mot bois lui-même. Dans un autre contexte, il ne représente que le son gish. Le lecteur doit choisir son rôle en regardant les phrases qui précèdent et qui suivent.

La manière d'écrire les nombres différait aussi de la nôtre. Les Mésopotamiens prenaient 60 comme unité de groupement. Les 60 minutes et les 60 secondes de l'horloge viennent de là. Les quantités figurant sur les reçus étaient aussi écrites de cette manière. Le grain et l'argent utilisaient des unités différentes. Même avec le même signe, la valeur change selon qu'il s'agit de grain ou d'argent. La machine doit apprendre aussi ces différences d'unités.

Le fait d'écrire les mots attachés les uns aux autres crée un autre obstacle. Les anciens scribes ne mettaient pas d'espaces entre les mots. Pour un ordinateur, il est difficile de savoir où les mots se séparent[8]. Les tablettes cassées et usées posent aussi problème. Quand les empreintes cunéiformes deviennent peu profondes, même l'œil humain peine à les distinguer. Les formes des mots akkadiens changent souvent, ce qui complique encore la lecture. Plusieurs terminaisons s'ajoutent à une même racine. La finale change selon que le mot est sujet ou objet. Elle change encore selon le temps et la personne. Il faut d'abord retrouver la forme de base à chercher dans le dictionnaire.

Les tablettes d'argile se cassent pour plusieurs raisons. Sous terre, elles sont comprimées et mouillées. Pendant les fouilles, un coin peut aussi se détacher. À cause du commerce ancien des antiquités, des tablettes brisées ont été dispersées dans plusieurs pays. Après leur sortie de terre, le sel peut remonter et couvrir les signes[2]. Les chercheurs appellent lacune l'espace vide où les signes ont disparu.

À cause de ces murs superposés, des centaines de milliers de registres sont restés silencieux.

Références

- [1] Truman State University. (2026). How it works. Truman State University Cuneiforms. <https://exhibits.truman.edu/cuneiform/how-it-works/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] Guinan, A., Oller, G., & Ormsby, D. (1976). Nippur rebaked: The conservation of cuneiform tablets. Expedition, 18(3). <https://www.penn.museum/sites/expedition/nippur-rebaked/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Bouscaren, D. (2023). Assyrian women of letters. Archaeology, 76(6). <https://archaeology.org/issues/november-december-2023/features/assyrian-women-of-letters/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Cuneiform Digital Library Initiative. (2026). About the CDLI. cdli.earth. <https://cdli.earth/about> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Gutherz, G., Gordin, S., Sáenz, L., Levy, O., & Berant, J. (2023). Translating Akkadian to English with neural machine translation. PNAS Nexus, 2(5), pgad096. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad096>
- [6] Michel, C. (2020). Women of Assur and Kanesh: Texts from the Archives of Assyrian Merchants (Writings from the Ancient World 42). SBL Press.
- [7] Cuneiform Digital Library Initiative. (2026). Research Programme "Towards Universal Access to Cuneiform Heritage" 2026-2029. cdli.earth. <https://cdli.earth/postings/239> (consulté le 3 septembre 2026)
- [8] Gordin, S., Gutherz, G., Elazary, A., Romach, A., Jiménez, E., Berant, J., & Cohen, Y. (2020). Reading Akkadian cuneiform using natural language processing. PLoS ONE, 15(10), e0240511. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240511>

6.2. La traque de la police scientifique : la traduction par IA de l'akkadien

Ouvrir deux voies de traduction

En 2023, des chercheurs de l'Université de Tel-Aviv ont ouvert la voie. Gai Guthertz et ses collègues ont créé un traducteur qui rend l'akkadien en anglais[1]. L'akkadien est une langue longtemps utilisée en Mésopotamie. Il s'écrivait en écriture cunéiforme, et plus personne ne le parle aujourd'hui.

Les chercheurs ont ouvert deux voies de traduction. La première s'appelle C2E. Elle consiste à entrer des signes cunéiformes transcrits en caractères informatiques pour obtenir de l'anglais. Elle ne lit pas directement les photos de tablettes. Comme elle ne passe pas par la translittération d'un chercheur, le parcours est plus court. La seconde voie s'appelle T2E. Elle consiste à entrer un texte dans lequel un chercheur a noté avec l'alphabet les sons des signes cunéiformes. Cette mise en alphabet s'appelle translittération. À l'étape de la translittération, le sens des signes est déjà une fois clarifié. C'est pourquoi la traduction T2E est plus exacte[1].

Produire une translittération n'est pas facile non plus. Le chercheur regarde les signes et détermine les sons. S'il y a plusieurs sons possibles, il choisit selon le contexte. Ce choix est déjà un jugement. Une fois ce jugement accompli, le texte devient plus facile à traiter pour la machine. C'est pour cela que T2E obtient un score plus élevé.

L'intérieur du traducteur se divise en deux parties. La partie avant transforme le texte original en blocs de nombres. La partie arrière regarde ces nombres et choisit les mots anglais un par un. La partie avant s'appelle encodeur, la partie arrière décodeur. L'encodeur conserve ensemble le sens et l'ordre des mots. Le décodeur choisit le mot suivant en regardant les mots déjà choisis.

Les recherches qui lisent directement les signes à partir des photos se poursuivent séparément. En juin 2026, les chercheurs de la Bibliothèque babylonienne électronique ont publié leurs résultats. La machine a parcouru les photos de plus de 87 000 tablettes cassées. Elle a trouvé près de 2,9 millions d'empreintes de signes. Par rapport aux méthodes précédentes, la performance de détection a augmenté jusqu'à 37 %. Elle reste faible face aux tablettes très brisées et aux lignes désordonnées[6].

Une machine entraînée sur 8 000 documents

La machine apprend à traduire en regardant des exemples. Les chercheurs ont rassemblé des documents dans un corpus public appelé Oracc. Oracc est une ressource en ligne qui organise et publie des textes cunéiformes. Les documents rassemblés étaient au nombre de 8 056. En nombre de phrases, ils dépassaient 50 000[1].

Les documents rassemblés étaient de plusieurs types. Environ 3 000 étaient des inscriptions gravant les exploits des rois. Environ 2 000 étaient des lettres administratives. Des procès-verbaux judiciaires et des rapports astrologiques y figuraient aussi[1]. À côté de chaque document se trouvait une traduction anglaise produite par un chercheur. La machine a examiné ces paires des dizaines de milliers de fois et a trouvé elle-même des règles.

Le processus d'apprentissage de la machine ressemble à une préparation d'examen. Elle regarde d'abord ensemble la question et la réponse. Puis elle cache la réponse et essaie de résoudre seule. Si elle se trompe, elle revient sur l'endroit de l'erreur. Elle répète ce retour des millions de fois. Ce qui la distingue des humains, ce sont la vitesse et l'endurance.

La machine ne traite pas les mots comme des blocs entiers. Elle les découpe en morceaux plus petits. Ces morceaux s'appellent des tokens. Même les mots rares peuvent être traités s'ils sont découpés en morceaux. Cette méthode convient à l'akkadien, où de nombreuses terminaisons s'ajoutent aux mots.

La qualité de traduction se mesure avec un score appelé BLEU. C'est une méthode qui compte le chevauchement entre la traduction de la machine et celle d'un humain. Le score est calculé selon la proportion de groupes de mots qui se recoupent. Il va de 0 à 100. Quand il dépasse 30, on considère souvent que le sens passe. Mais ce n'est pas une norme absolue. L'interprétation change selon le type de document et la longueur des phrases.

Les chercheurs ont choisi une structure appelée réseau neuronal convolutif. C'est une structure qui apprend en regroupant les informations proches. Elle apprend vite et de façon stable quand les données sont peu nombreuses. Lors de la validation, C2E a obtenu 36,52 points. T2E a obtenu un score plus élevé, 37,47 points. Les anciennes méthodes de recherche automatique se limitaient à 27,09 et 23,51 points. Les résultats étaient bons dans les documents courts et à formulaire fixe[1].

La manière de diviser les données compte aussi. On sépare la part destinée à l'apprentissage et celle destinée au test. Si l'on montre à l'avance les documents du test, le score ne vaut rien. C'est comme connaître les questions avant un examen humain. Les chercheurs ont respecté cette séparation pour calculer les scores.

Même à partir du même original, les traductions changent selon les personnes. On ne juge donc pas seulement avec un score. On utilise aussi l'évaluation humaine. On montre les traductions à des chercheurs et on leur demande de les noter. On leur demande séparément si le sens passe. On leur demande aussi séparément s'il y a des erreurs. Les traductions jugées utilisables par les chercheurs représentaient environ 44 % pour T2E. Pour C2E, elles représentaient environ 38 %[1]. Il arrive que le score et l'évaluation humaine ne concordent pas. Dans ce cas, on donne la priorité au jugement humain.

La traduction de l'akkadien est une tâche à faibles ressources. Faibles ressources signifie qu'il y a peu d'exemples pour apprendre. Les traducteurs anglais-français apprennent avec des dizaines de millions de phrases. Les paires de phrases disponibles pour l'akkadien n'atteignent même pas un millième de ce volume. Quand les données sont rares, un grand modèle peut au contraire se perdre.

En 2025, une tâche partagée réunissant plusieurs équipes de recherche a aussi été organisée. Elle consistait à trouver la forme de base des mots et à compléter les signes manquants. Les données venaient de la Bibliothèque babylonienne électronique et d'ArchiBab. Mesurer les résultats sur les mêmes données a immédiatement montré quelle méthode était meilleure[2].

La recherche de la forme de base est un travail préparatoire à la traduction. Dans le monde savant, on appelle cette tâche la lemmatisation. Elle consiste à ramener à la forme du dictionnaire un mot allongé par des terminaisons. Une fois ce travail préparatoire terminé, la recherche par mot et les statistiques deviennent possibles.

Repérer les mensonges vraisemblables

La traduction automatique a une habitude dangereuse. Elle invente des phrases plausibles sans base solide. On appelle cette habitude une hallucination. Les chercheurs ont étudié les hallucinations en deux catégories. La première consiste à mal relier le sens malgré la lecture du texte source. La seconde consiste à ignorer le texte source et à raconter autre chose[1].

Les hallucinations apparaissent facilement sur les tablettes d'argile brisées. La machine comble par imagination les vides laissés par les signes disparus. C'est pourquoi un spécialiste doit toujours revoir la traduction. La phrase produite par la machine est un brouillon, non une décision finale.

Il existe plusieurs méthodes pour réduire les hallucinations. On signale clairement les cassures par des blancs. On laisse la machine répondre qu'elle ne sait pas pour ce passage. On traduit aussi la même

phrase plusieurs fois. Si la réponse change à chaque fois, on ne lui fait pas confiance. Le spécialiste regarde ces marques et décide où il doit revenir.

Transcrire les signes cunéiformes en alphabet et segmenter les mots vient avant la traduction. Dans le même courant de recherche, on a aussi confié cette tâche à la machine. Un réseau neuronal appelé LSTM bidirectionnel a obtenu les meilleurs résultats. Sa précision a atteint jusqu'à 97 pour cent[3].

Une porte ouverte dans les deux sens

Jusqu'ici, les traducteurs allaient dans un seul sens. Ils ne faisaient que traduire les textes anciens en anglais moderne. En mai 2026, Wang Zhaohui, de l'Université de Californie du Sud, a ouvert le sens inverse. L'outil qu'il a créé s'appelle TabletCraft[4].

TabletCraft traduit aussi l'anglais en akkadien. Il dessine le résultat en signes cunéiformes et produit même une image de tablette d'argile. Pour l'apprentissage, il a utilisé 116 000 paires de phrases bidirectionnelles. Sa table de correspondance des signes comprend plus de 14 000 entrées. Au test, le score de l'akkadien vers l'anglais a été de 49,1 points. De l'anglais vers l'akkadien, il a atteint 48,5 points[4].

Cet outil a été utilisé dans des dispositifs d'expérience muséale et dans des cours universitaires. Son créateur a aussi indiqué clairement ses limites. Il ne faut pas citer l'akkadien inventé par la machine comme s'il s'agissait d'un vrai document ancien. Les textes que l'outil traite bien sont les inscriptions royales de l'époque néo-assyrienne[5].

La traduction dans les deux sens a son utilité. Un étudiant peut transformer sa propre phrase en signes cunéiformes. Quand il dessine lui-même les signes, la structure des caractères devient visible. Au musée, les visiteurs gravent leur propre nom. L'écriture ancienne cesse d'être un objet à regarder et devient un outil à manier.

Les études précédentes ont publié ensemble les données et les programmes[1][5]. Quand tout est ouvert, d'autres équipes peuvent refaire le même test. S'il y a une erreur, elle apparaît vite. La recherche sur les langues anciennes compte peu de participants. L'ouverture des données pèse lourd dans la vitesse des progrès.

Les méthodes d'emploi des traducteurs se précisent aussi. Le spécialiste affiche le brouillon de la machine à l'écran. Il place le texte source et la traduction côte à côte, puis les compare. Il marque les mots douteux. Quand les marques s'accumulent, elles deviennent les prochaines données d'apprentissage.

Références

- [1] Gutherz, G., Gordin, S., Sáenz, L., Levy, O., & Berant, J. (2023). Translating Akkadian to English with neural machine translation. PNAS Nexus, 2(5), pgad096. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad096>
- [2] Gordin, S., Sahala, A., Spencer, S., & Klein, S. (2025). EvaCun 2025 shared task: Lemmatization and token prediction in Akkadian and Sumerian using LLMs. In Proceedings of the Second Workshop on Ancient Language Processing (pp. 242-250). Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/2025.alp-1.33>
- [3] Gordin, S., Gutherz, G., Elazary, A., Romach, A., Jiménez, E., Berant, J., & Cohen, Y. (2020). Reading Akkadian cuneiform using natural language processing. PLoS ONE, 15(10), e0240511. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240511>
- [4] Wang, Z. (2026, 5월 14일). TabletCraft: Bridging a 4,000-year cultural gap with bidirectional Akkadian NMT and cuneiform rendering. arXiv:2608.02609 (2026년 5월 14일 제출, 2026년 8월 공개). <https://arxiv.org/abs/2608.02609> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Buyukyildirim, K. (2026, 8월 11일). TabletCraft opens a two-way AI translation channel for archaeologists. Arkeonews. <https://arkeonews.net/tabletcraft-opens-a-two-way-ai-translation-channel-for-archaeologists/> (consulté le 3 septembre 2026)

[6] Che, W., Garces Arias, E., Niaz, A., Bender, A., & Jimenez, E. (2026, 6월 21일). Automated sign detection across the Electronic Babylonian Library: A large-scale dataset and end-to-end cuneiform OCR pipeline. arXiv:2606.22608. <https://arxiv.org/abs/2606.22608> (consulté le 3 septembre 2026)

6.3. La vérité révélée

Les lettres des marchands de Kanesh

Près de Kayseri, dans le centre de la Turquie, se trouve une colline appelée Kültepe. Il y a 4 000 ans, ce lieu s'appelait Kanesh. Des marchands assyriens y avaient installé un comptoir commercial. La communauté de comptoir des marchands s'appelait karum. À l'origine, karum désignait un quai au bord d'un fleuve. Le lieu où l'on déchargeait les marchandises est devenu le quartier des marchands.

Le karum de Kanesh était une organisation autonome des marchands assyriens. Ils établissaient leurs propres règles et réglaient leurs différends entre eux. Ils payaient des taxes au roi local et recevaient en échange une garantie de sécurité. Les marchandises étaient transportées sur le dos des ânes. D'Assur à Kanesh, la route était longue et prenait plusieurs semaines.

Les fouilles menées depuis 1948 ont livré une masse de tablettes d'argile. Environ 23 500 documents ont été mis au jour jusqu'à présent. Ce chiffre vient de Fikri Kulakoğlu, qui dirige les fouilles[1]. Leur contenu n'est pas la gloire d'un roi. On y trouve des reconnaissances de dette et des bordereaux de cargaison. Un bordereau de cargaison est une liste des biens expédiés. On y trouve aussi des dossiers judiciaires et des lettres familiales.

Les lettres conservent les relances et les plaintes telles quelles. On demande quand l'argent sera envoyé. On reproche le retard des marchandises. On ajoute une formule pour dire de prendre soin de soi. On dit aussi à un fils d'étudier. Les inquiétudes de personnes d'il y a 4 000 ans sont encore dans les phrases.

Ces documents ont révélé la structure de l'économie ancienne. Les marchands apportaient d'Assur des textiles et de l'étain. En Anatolie, ils les échangeaient contre de l'argent et de l'or. Les textes indiquaient aussi comment payer les taxes et les droits de passage. Ils ont conservé la manière dont les litiges étaient jugés.

L'étain est un métal indispensable à la fabrication du bronze. Le bronze se fabrique en mélangeant cuivre et étain. En Anatolie, il était difficile de trouver de l'étain. Il fallait le faire venir d'un Orient lointain[8]. Ce manque a été la force qui a créé les longues routes commerciales.

La part des femmes restées à Assur est aussi apparue. Les épouses et les filles des marchands tissaient des textiles chez elles et les envoyaient[2][8]. Elles réglaient la production et négociaient les prix. Dans des lettres adressées à leurs maris, elles discutaient aussi des cours du marché. Cécile Michel a réuni plus de 300 de ces documents et les a traduits en anglais. Michel travaille au Centre national de la recherche scientifique et à l'Université de Hambourg[2].

Lire sans ouvrir l'enveloppe

Les anciens marchands plaçaient les tablettes d'argile importantes dans des enveloppes d'argile, puis les scellaient. Pour lire l'intérieur, il fallait casser l'enveloppe. Or l'enveloppe portait aussi des empreintes de sceaux. Si on la cassait, ces informations disparaissaient.

L'enveloppe était un dispositif contre la falsification. On écrivait le contrat sur la tablette intérieure. On la recouvrait ensuite d'argile pour former une enveloppe. On réécrivait le même contenu sur la surface extérieure. Les témoins y faisaient rouler leurs sceaux. Si l'extérieur et l'intérieur ne concordaient pas, la modification devenait visible.

Il fallait une méthode pour lire l'intérieur tout en conservant l'enveloppe. En juin 2026, le musée archéologique de Kayseri a montré la réponse. Il a réussi à lire une tablette d'argile enfermée dans une enveloppe sans l'ouvrir. Le Centre national de la recherche scientifique et l'Université de Hambourg ont participé à ce travail. Ils ont utilisé une méthode du même type que le scanner CT, qui permet de voir l'intérieur d'un objet sans le découper. Le contenu intérieur était une promesse de transaction portant sur du blé et de l'orge. Kulakoğlu a déclaré que cette imagerie montrait jusqu'à un seul grain d'orge[1]. Les images de signes ainsi obtenues deviennent des données d'entrée pour le traducteur. Il faut augmenter le nombre de documents lisibles pour que la machine ait aussi de quoi apprendre.

Un concours de traduction doté de 50 000 dollars

Un concours de traduction a aussi été organisé. Une organisation appelée Deep Fast Initiative l'a préparé[3]. Le concours s'est tenu sur Kaggle, un site de compétitions d'intelligence artificielle[4]. La tâche consistait à traduire en anglais les documents commerciaux de Kanesh[3]. Le concours a commencé le 16 décembre 2025. La date limite d'inscription était le 23 mars 2026. Le prix était de 50 000 dollars. Les frais d'organisation ont été pris en charge par une société financière[7].

Les données du concours ont été publiées pour que chacun puisse les télécharger[4]. Les données ouvertes restent disponibles après la fin du concours. Le chercheur suivant repart de ces données. C'est une structure où un concours laisse derrière lui un jeu de données.

Parmi les documents de Kültepe, beaucoup n'ont pas encore été traduits[3]. Les fouilles continuent encore chaque année[1]. Quand une nouvelle tablette d'argile apparaît, elle s'ajoute au catalogue. Si le nombre de lecteurs n'augmente pas, seul le catalogue s'allonge. C'est là que l'aide de la machine devient nécessaire.

La même situation ne s'arrête pas à un seul site. Des documents semblables s'accumulent dans des musées du monde entier. Là aussi, des boîtes n'ont pas encore été lues. Les documents à formulaire fixe sont nombreux partout. C'est le cas des registres de céréales et des registres fiscaux. La méthode qui a fonctionné à Kanesh peut servir dans d'autres dépôts d'archives.

La présentation du concours mettait en avant les personnes réelles mentionnées dans les documents. Il s'agissait de noms de marchands comme Ashur-nada et Ashur-idi. Les noms d'Ishtar-lamassi et d'Ennam-Ashur y figuraient aussi[3]. Les noms d'une famille de marchands d'il y a 4 000 ans sont ainsi devenus le thème d'un concours.

Le format du concours a des avantages. Ce ne sont pas quelques laboratoires, mais des développeurs du monde entier qui s'attaquent au même problème. Comme les résultats sont mesurés avec la même règle, on voit aussitôt quelle méthode fonctionne mieux. Le prix attire les participants.

Ce corpus convient bien à la traduction automatique. Les formulaires sont fixes et les phrases sont courtes. Les mêmes expressions reviennent dans plusieurs documents. La machine repère bien les règles qui se répètent. Beaucoup de documents ont déjà été traduits par des spécialistes. Ces traductions deviennent le manuel de la machine.

Ce que la machine ne peut pas faire

Les résultats s'accumulent, mais les murs qui restent sont nets. Le premier mur est le manque de données. Les traducteurs des langues actuelles grandissent avec des centaines de millions de phrases. Pour l'akkadien, il n'existe que quelques dizaines de milliers de phrases appariées[5]. Quand les données sont rares, les noms de lieux et de personnes peu fréquents entraînent facilement des erreurs.

Le deuxième mur est la pluralité de sens des signes. Le même signe peut désigner un son, un mot ou un marqueur, ce qui crée de la confusion[6]. Quand le contexte avant et après est court, la machine se perd aussi.

Le troisième mur est la façon dont la machine juge. La machine calcule quel mot a la probabilité la plus élevée de venir ensuite. Elle ne juge pas si cette phrase est historiquement juste. C'est pourquoi la vérification par un spécialiste reste indispensable à la dernière étape[5]. Quand la machine et l'humain travaillent en paire, la traduction devient fiable.

Une répartition du travail s'installe. La machine parcourt des dizaines de milliers de tablettes et produit un sens approximatif. Le spécialiste choisit parmi elles les documents importants. Il ne relit ensuite à la main, avec soin, que les documents choisis. Ainsi, le nombre de documents lus augmente fortement.

La traduction a besoin d'étiquettes. Il faut noter quels passages ont été produits par la machine. Il faut aussi marquer les endroits corrigés par l'humain. Ainsi, le lecteur suivant peut remonter aux bases. La recherche historique commence par ce retour aux bases.

Dans la traduction, les noms sont une partie difficile. Les noms de personnes et de lieux ne peuvent pas être traduits par leur sens. Il faut transcrire leur son tel quel. Pourtant, le même nom peut être écrit différemment selon les documents. La machine transforme facilement un nom qu'elle voit pour la première fois en un mot sans rapport. On crée donc une liste de noms à part et on la donne à la machine.

La direction reste claire. Autrefois, un spécialiste lisait quelques centaines de tablettes au cours de sa vie. Désormais, la machine produit d'abord une traduction de brouillon. Le spécialiste consacre son temps à corriger ce brouillon. Les reçus vieux de 4 000 ans qui dormaient dans les boîtes attendent leur tour. Les voix des gens ordinaires, et non celles des rois, commencent à se faire entendre.

Les marchands de Kanesh ne pensaient pas que leurs lettres resteraient longtemps. Ils ont seulement noté les comptes du jour. Ces comptes montrent aujourd'hui l'économie d'une époque. Ce qui reste, ce n'est pas la fierté, mais les documents.

Références

- [1] Türkiye Today. (2026, 6월 13일). 4,000-year-old clay tablet sealed in mud envelope goes on display in central Türkiye. Türkiye Today. <https://www.turkiyetoday.com/culture/4000-year-old-clay-tablet-sealed-in-mud-envelope-goes-on-display-in-central-turkiye-3221841> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] Michel, C. (2020). Women of Assur and Kanesh: Texts from the Archives of Assyrian Merchants (Writings from the Ancient World 42). SBL Press.
- [3] Deep Past Initiative. (2026). Deep Past Challenge: Introduction. [deeppast.org. https://www.deeppast.org/challenge/intro/](https://www.deeppast.org/challenge/intro/) (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Kaggle. (2026). Deep Past Challenge: Translate Akkadian to English. [kaggle.com. https://www.kaggle.com/competitions/deep-past-initiative-machine-translation](https://www.kaggle.com/competitions/deep-past-initiative-machine-translation) (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Gutherz, G., Gordin, S., Sáenz, L., Levy, O., & Berant, J. (2023). Translating Akkadian to English with neural machine translation. PNAS Nexus, 2(5), pgad096. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad096>
- [6] Gordin, S., Gutherz, G., Elazary, A., Romach, A., Jiménez, E., Berant, J., & Cohen, Y. (2020). Reading Akkadian cuneiform using natural language processing. PLoS ONE, 15(10), e0240511. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240511>
- [7] Deep Past Initiative. (2025, 12월 16일). Deep Past Initiative partners with Kaggle on prize challenge to translate 4,000-year-old tablets. EIN Presswire. <https://www.einpresswire.com/article/875885564/deep-past-initiative-partners-with-kaggle-on-prize-challenge-to-translate-4-000-year-old-tablets> (consulté le 3 septembre 2026)
- [8] Bouscaren, D. (2023). Assyrian women of letters. Archaeology, 76(6). <https://archaeology.org/issues/november-december-2023/features/assyrian-women-of-letters/> (consulté le 3 septembre 2026)

Chapitre 7. Le plastron d'une tortue : assemblage virtuel en 3D des os oraculaires

7.1. Dossier de l'affaire

Des signes vieux de 3 000 ans découverts dans une pharmacie

En 1899, Wang Yirong, un lettré de la dynastie Qing, reconnut un signe ancien. Une histoire transmise depuis longtemps accompagne cet épisode. Elle raconte que Wang Yirong, malade, reçut un remède appelé os de dragon. L'os de dragon était une poudre médicinale faite avec de vieux os d'animaux broyés. Les anciens croyaient que ces os étaient des os de dragon. Les os qu'il reçut n'auraient pas encore été broyés. C'est sur leur surface qu'il aurait vu des motifs inconnus[1].

Cette histoire n'est pas établie comme un fait. Les milieux savants chinois estiment qu'aucune source ne la confirme. En 2007, le paléographe Li Xueqin l'a contestée dans un article. Selon lui, les os de dragon vendus comme remède étaient déjà brisés. Il était donc impossible d'y voir des caractères. En réalité, un antiquaire aurait acheté des os venus d'Anyang et les aurait transportés. Ces os seraient ensuite arrivés chez le spécialiste des inscriptions sur bronze et pierre Wang Yirong, qui les aurait examinés[2].

Wang Yirong mourut l'année suivante et ne put pas retrouver l'origine des os. Son ami Liu E publia en 1903 le premier livre rassemblant ces caractères. En 1908, le savant Luo Zhenyu identifia l'origine des os[1]. Ils sortaient des champs d'Anyang, dans la province du Henan.

Cette terre d'Anyang est Yinxu. Yinxu était le site de la dernière capitale des Shang. Les Shang gouvernèrent ce lieu du XIII^e siècle avant J.-C. au XI^e siècle avant J.-C.[3]. Les fouilles officielles commencèrent en 1928. Avant cela, les os déterrés par les paysans étaient vendus comme remèdes. Certains grattaient même la face gravée avant de les vendre[1]. Des archives qui avaient résisté pendant 3 000 ans ont failli disparaître comme simples médicaments.

Un royaume où le roi interrogeait les dieux

Les caractères gravés sur les os de Yinxu s'appellent inscriptions sur os oraculaires. En Asie orientale, on ne connaît pas de témoignage écrit plus ancien que ces inscriptions[3].

Avant les grandes affaires, les Shang interrogeaient les dieux. Ils demandaient s'il allait pleuvoir. Ils demandaient si les récoltes seraient bonnes. Ils demandaient s'ils pouvaient partir en guerre. Ils demandaient aussi le jour où la reine devait accoucher. Ce rite d'interrogation de la volonté divine s'appelle divination. La divination était une affaire d'État directement administrée par la maison royale[3].

Fu Hao, épouse du roi des Shang, était aussi une commandante qui menait des troupes. Son nom apparaît plusieurs fois dans les inscriptions sur os oraculaires. En 1976, sa tombe fut fouillée intacte à Yinxu[4]. Les bronzes et les jades de la tombe montraient son rang. Les inscriptions sur os oraculaires, avec les tombes, nous renseignent ainsi sur la vie des anciens.

Les questions inscrites sur les os ne concernaient pas seulement les affaires du royaume. Certaines s'inquiétaient du mal de dents du roi. D'autres demandaient s'il pouvait aller chasser. Ces os deviennent donc des documents qui montrent la vie quotidienne des Shang[3].

Des os chauffés au feu, des caractères gravés au couteau

Les Shang utilisaient deux matériaux pour la divination. Le premier était le plastron plat d'une tortue. Le second était la large omoplate d'un bœuf. Ensemble, ces deux matériaux sont appelés os oraculaires[3].

La préparation était minutieuse. Les scribes polissaient la surface de l'os. Ils creusaient ensuite de petites cavités alignées au revers. Ils appliquaient une tige chauffée à blanc sur ces cavités. Sous l'effet de la chaleur, la surface de l'os se fendait. Le roi et le devin observaient la direction et l'angle des fissures. Puis ils lisaient ces fissures comme la réponse des dieux[3].

Une fois la lecture terminée, les scribes prenaient le couteau. Ils gravaient le déroulement de la divination sur la surface de l'os, trait par trait. Ce texte gravé est précisément l'inscription sur os oraculaire.

Le compte rendu suivait un ordre fixe. On inscrivait d'abord la date de la divination et le nom du responsable. On écrivait ensuite la question posée aux dieux. Puis venait le jugement favorable ou défavorable rendu par le roi. Enfin, on notait ce qui s'était réellement produit. Les quatre cases étaient remplies dans cet ordre. Mais les documents où les quatre cases subsistent sont rares. L'os s'est parfois brisé et une ou deux cases ont disparu. Il arrivait aussi que le scribe laisse une case vide dès le départ[3]. L'ordre d'écriture restait pourtant régulier.

Cette régularité devient ensuite très utile. Quand la forme est fixe, on peut réduire les blancs. Si la première case contient la date, la suivante contient la question. L'ordinateur apprend lui aussi cet ordre et devine les caractères manquants[3].

La manière d'écrire la date était elle aussi fixée. Les Shang comptaient les jours en associant dix signes et douze signes. Cette combinaison revenait tous les soixante jours. Même s'il ne reste que deux signes de date sur un os, on peut examiner leur ordre. C'est là que se trouve un indice pour resserrer la période d'un document coupé[3].

Des archives brisées en 150 000 fragments

Après la chute des Shang, Yinxu fut enseveli sous la terre. Pendant ces longs siècles, les os ne purent pas rester intacts. Le poids de la terre écrasa les minces plastrons et les fendit. L'eau et les micro-organismes rongèrent la texture de l'os. Un grand plastron qui formait autrefois une seule pièce se divisa en dizaines de fragments.

À ce jour, environ 150 000 fragments d'os oraculaires sont connus dans le monde[5]. Ces objets ne sont pas rassemblés en un seul lieu. Après leur découverte à la fin du XIXe siècle, beaucoup passèrent sur le marché des antiquités[1]. Des fragments issus d'un même os se retrouvèrent ainsi dans les musées de différents pays[5]. Certains objets sont à Anyang et à Pékin. D'autres sont conservés par des institutions européennes et coréennes[6].

Le travail qui consiste à réunir des fragments dispersés pour retrouver une pièce d'origine s'appelle assemblage. Pendant longtemps, il a reposé seulement sur l'œil humain. Les chercheurs examinaient à la loupe des dizaines de milliers d'estampages en noir et blanc. Un estampage est une copie obtenue en posant du papier sur l'os et en y tamponnant de l'encre. Cela ressemble au fait de poser une feuille sur une pièce de monnaie et de frotter au crayon pour faire apparaître le motif. Les chercheurs comparaient la texture de l'os et les courbes des lignes de fracture. Ils vérifiaient aussi un par un si les extrémités des traits coupés se prolongeaient[5].

Cette méthode était lente et pénible. Il fallait parfois plusieurs années pour trouver une paire. Les fragments sans correspondant restaient dans des boîtes. Sans paire, la phrase restait elle aussi coupée. Les documents où seule la question subsistait et où le résultat avait disparu s'accumulaient.

Quand on mesure l'ampleur de la tâche, la difficulté devient plus claire. Avec 150 000 fragments, le nombre de paires possibles dépasse 10 milliards. Même en comparant cent paires par jour, une personne ne pourrait pas tout voir dans sa vie. En plus, les fragments sont dispersés entre plusieurs pays[5]. Il arrivait souvent que deux fragments ne puissent même pas être placés côte à côte.

3 000 caractères restent encore muets

Même si tous les fragments étaient réunis, le problème resterait entier. C'est que les caractères eux-mêmes ne se lisent pas tous. Dans l'ensemble des inscriptions sur os oraculaires, environ 4 500 caractères différents ont été identifiés. Pourtant, les caractères dont le sens fait consensus dans le monde savant ne sont qu'environ 1 500. Pour les quelque 3 000 autres, le sens demeure inconnu[7].

Les raisons de cette difficulté sont nombreuses. Les incisions se sont usées et les contours sont devenus flous. Quand l'os s'est brisé, la moitié de certains caractères a disparu. Chaque scribe tenait le couteau à sa manière, et un même caractère pouvait être gravé différemment. Ainsi sont apparus plusieurs caractères de même sens mais de forme différente. On les appelle variantes graphiques[3]. Les dictionnaires modernes de caractères chinois ne savent pas expliquer ces formes vieilles de 3 000 ans.

Ce silence laisse aussi des trous dans l'histoire des Shang. Si l'on ne lit pas le nom d'un sacrifice, on ne peut pas compter les types de sacrifices. Si l'on ne lit pas un nom de lieu, on ne peut pas tracer les frontières du royaume. Si l'on ne lit pas un nom de personne, on ne peut pas savoir qui était chargé de quoi. Le silence d'un seul caractère devient le silence d'une scène de l'histoire.

Il reste 3 000 caractères dont on ignore le sens et des dizaines de milliers de fragments qui ont perdu leur correspondant. Pour rompre ce silence, l'IA est entrée à Yinxu.

Références

- [1] Mark, E. (2016, 2월 26일). Oracle bones. World History Encyclopedia. https://www.worldhistory.org/Oracle_Bones/ (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] 姚小鹏. (2020, 7월 16일). 谁是甲骨文的最早发现者. 澎湃新闻. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_8297008 (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Chen, Z., Hua, W., Li, J., Zhu, Y., Zhi, X., Liu, Z., Chen, T., Zhang, W., & Zhai, G. (2026). Oracle bone inscriptions information processing: a comprehensive survey. npj Heritage Science, 14, 220. <https://doi.org/10.1038/s40494-026-02511-w> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Smarthistory. War and sacrifice: The tomb of Fu Hao. Smarthistory. <https://smarthistory.org/tomb-of-fu-hao/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Zhang, C., Wang, B., Chen, K., Zong, R., Mo, B., Men, Y., Alpanidis, G., Chen, S., & Zhang, X. (2022). Data-driven oracle bone rejoining: A dataset and practical self-supervised learning scheme. In Proceedings of the 28th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 4482-4492). ACM. <https://doi.org/10.1145/3534678.3539050>
- [6] 梁文艳. (2026, 5월 26일). 以科技赋能, 让甲骨文"活"起来. 中国青年报. https://zqb.cyol.com/pc/content/202605/26/content_426168.html (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Liu, Y., Guan, H., Wang, P., Wang, X., Wan, J., Zhang, K., Zheng, H., Liu, X., Kuang, Z., Yang, H., Li, B., Liu, Y., Jin, L., & Bai, X. (2026). AlphaOracle: Oracle bone script decipherment via human-workflow-inspired deep learning. The Innovation, 7(11), 101462. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2026.101462>

7.2. La traque de la police scientifique : modèles multimodaux spécialisés et assemblage virtuel en 3D des os oraculaires

Réunir les sources dispersées sur un même écran

L'enquête commence par la collecte des sources. Il en allait de même pour l'étude des os oraculaires. En 2019, des chercheurs de l'Université normale d'Anyang et de l'Académie chinoise des sciences sociales ont ouvert une plateforme de données appelée Yinqi Wenyuan. Yinqi Wenyuan rassemble en un lieu des estampages d'os oraculaires, des informations sur les caractères et des articles scientifiques, et les met gratuitement à disposition[1].

Cette plateforme ne se contente pas de publier des photographies. Elle photographie les fragments d'os oraculaires en haute résolution et les met en ligne sous forme de modèles en trois dimensions. Un modèle en trois dimensions est une donnée qui recrée un objet en relief dans l'ordinateur à partir de scans réalisés sous plusieurs angles. Quand on fait tourner l'image à l'écran, on voit la face avant, la face arrière et les côtés brisés de l'os. Les chercheurs fabriquent ces modèles avec une précision de l'ordre du millimètre. La profondeur des incisions peu marquées y est aussi enregistrée[1].

Le travail visant à récupérer les os oraculaires partis à l'étranger s'est aussi relié à cette plateforme. Les chercheurs ont choisi de faire revenir les données en trois dimensions plutôt que les objets eux-mêmes. En coopérant avec des institutions conservatrices en Allemagne, en Corée et en France, ils ont réuni les données de plus de 900 pièces[1]. Les objets sont restés dans leur lieu de conservation, mais leur apparence est revenue à Anyang.

En octobre 2025, un outil appelé Yinqi Xingzhi fut ajouté à cette plateforme. Il reconnaît les caractères, compare les estampages et trouve la littérature pertinente[1]. L'entrepôt où l'on accumulait les données est devenu un assistant capable de répondre aux questions.

La quantité de données accumulées se vérifie aussi par les chiffres. Un article de synthèse publié en 2026 présente 36 corpus publics liés aux os oraculaires. Certains sont destinés à la reconnaissance des caractères. D'autres servent à l'étude de l'assemblage[2].

La méthode qui utilise ensemble plusieurs types de données s'appelle multimodale. Dans l'étude des os oraculaires, ce mot signifie que l'on observe trois types de sources en même temps. Le premier est l'estampage noir et blanc obtenu à l'encre. Le deuxième est la photographie en couleur, avec couleur et texture. Le troisième est le scan en trois dimensions, qui contient l'information de profondeur. L'estampage rend les traits nets, mais perd la profondeur. La donnée en trois dimensions garde la profondeur, mais les traits peuvent sembler flous. En les superposant, on peut combler les lacunes de chacun[2].

Imiter l'ordre dans lequel une personne lit un caractère

AlphaOracle, publié en 2026, est une IA qui fonctionne sur ces données. Ce modèle a été créé par l'Université des sciences et technologies de Huazhong, l'Université normale d'Anyang et d'autres institutions. Son principe de conception consiste à suivre l'ordre de travail d'un chercheur humain[3].

Un chercheur humain passe par quatre étapes. Il examine d'abord l'estampage et organise les traits. Il analyse ensuite la forme du caractère. Puis il cherche d'autres phrases où le même caractère apparaît. Enfin, il vérifie si le sens convient à l'aide des connaissances tirées des textes anciens. AlphaOracle est divisé en composants, chacun chargé de l'une de ces quatre étapes[3].

Cette structure a une raison. Une machine qui donne seulement une réponse brute est difficile à croire pour un chercheur. Quand les étapes sont séparées, on voit à quel moment les réponses divergent. Le chercheur peut revenir à cette étape et confronter son avis à celui de la machine[3].

La quantité de données lues par ce modèle dépasse ce qu'une personne peut voir en une vie. Il a traité 73 883 estampages. Il a aussi traité 45 364 données scannées et 23 755 articles de recherche. Les chercheurs ont demandé à 86 spécialistes d'utiliser cet outil. Le temps d'analyse d'un caractère a diminué de 64 %. Parmi les participants, 79 % ont répondu que l'outil était utile[3].

Observer un caractère en le divisant en composants

Une autre équipe de chercheurs a choisi une méthode qui ne mémorise pas les caractères comme des blocs entiers. Les caractères des inscriptions sur os oraculaires sont formés de composants graphiques qui se répètent[4]. Des formes de main, de pied ou de récipient entrent dans plusieurs caractères. Quand on connaît le sens des composants, on peut aussi deviner un caractère jamais vu.

C'est à partir de cette idée qu'a été publié, en avril 2026, le corpus OB-Radix. OB-Radix contient 934 caractères différents. Les dessins des composants qui forment ces caractères sont au nombre de 1 853. Il existe 478 types de composants. Chaque composant est accompagné d'une explication vérifiée par des spécialistes[4].

Quand l'IA rencontre un caractère inconnu, elle le divise d'abord en composants. Elle examine ensuite les relations entre ces composants. Le sens change selon que deux composants sont placés l'un au-dessus de l'autre ou côte à côte. Le modèle observe aussi cette relation avant de proposer un sens[4].

En juin de la même année, un modèle appelé OracleAnalyzer est aussi apparu. Ce modèle a réentraîné sur les données des inscriptions sur os oraculaires un petit modèle de langage d'environ 3 milliards de paramètres. Les chercheurs ont ajouté de nouvelles données de raisonnement sur les inscriptions et des données de préférence. Les données de préférence rassemblent les réponses que des personnes ont jugées meilleures. Grâce à cela, le petit modèle a obtenu de meilleurs résultats que des modèles beaucoup plus grands[5]. Cela signifie que de bonnes données peuvent éviter de s'appuyer seulement sur la taille.

Un modèle qui redessine les traits effacés

Certaines recherches cherchent d'abord à rendre les caractères visibles avant de les lire. OBSD, publié en 2024, est un outil de ce type. Il utilise un modèle de diffusion qui produit de nouvelles images[6]. Un modèle de diffusion est une méthode qui crée peu à peu une image nette à partir de taches floues.

OBSD reçoit en entrée l'image d'un caractère d'os oraculaire usé et flou. Il propose ensuite, sous forme d'image, le caractère chinois moderne auquel ce signe peut se rattacher. Cette recherche a reçu le prix du meilleur article dans une conférence internationale en 2024[6]. L'idée de transformer la lecture des caractères en problème de dessin a été reconnue.

L'ordinateur ajuste les tranches des fragments brisés

En parallèle de la lecture des caractères, la recherche sur l'assemblage des fragments a aussi progressé. OB-Rejoin, rendu public en 2022, est un corpus destiné à l'étude de l'assemblage. Il contient 998 estampages réels d'os oraculaires. La même équipe a aussi proposé S3-Net, un réseau neuronal de raccordement[7].

Ce réseau neuronal calcule dans quelle mesure les courbes des bords des fragments se ressemblent. Si deux bords s'emboîtent, le score augmente. La machine classe les candidats par ordre de score. La

même équipe a publié une étude antérieure en 2020. À cette époque, le taux d'inclusion de la bonne réponse parmi les dix premiers candidats était de 98,39 %[11].

Quand une personne assemble un puzzle, elle regarde d'abord la forme des pièces plutôt que l'image. La machine utilise la même méthode. Mais elle peut faire des centaines de milliers de comparaisons par jour.

Ce que la machine fournit n'est pas une réponse définitive. C'est une liste de candidats. Il arrive que le premier de la liste soit faux. C'est pourquoi les chercheurs prennent comme critère de performance la présence de la bonne réponse parmi les dix premiers candidats[7]. Vérifier seulement dix candidats n'est pas la même chose que devoir en vérifier cent mille.

Le Centre de recherche sur les inscriptions sur os oraculaires de l'Université normale de la capitale a créé un programme d'assemblage avec l'Université du Henan. Son nom est Tiefada, et il est utilisé depuis 2020. Ce programme compare 180 000 estampages en une seule fois pour trouver des correspondances. Grâce à cette méthode, le centre de recherche a classé les données d'environ 1 500 fragments d'os oraculaires. Autrefois, trouver le fragment correspondant à un seul morceau pouvait prendre de huit à dix ans. Aujourd'hui, des candidats apparaissent en quelques jours[8].

Une épreuve qui passe à l'échelle de la phrase

Lire un caractère et comprendre une phrase sont deux choses différentes. S-OBI, publié à la fin de juin 2026, est un jeu d'épreuves qui mesure cette différence. Les chercheurs ont extrait les questions de 95 estampages originaux vérifiés par des spécialistes. Il y a 695 questions au total, et les réponses doivent être données à l'échelle de la phrase. Ils ont ensuite demandé à plusieurs grandes IA de résoudre les mêmes questions. Les résultats ont montré des écarts nets entre les modèles. Ils ont aussi révélé qu'il reste difficile de saisir le fil d'une phrase entière[9].

Cette épreuve a montré un autre fait. Les questions portant sur les inscriptions sur os oraculaires sont mal résolues par les IA généralistes[9]. Même un modèle entraîné sur de nombreux textes du monde vacille devant une phrase vieille de 3 000 ans. C'est parce qu'il rencontre des caractères et une grammaire qu'il n'a jamais appris. C'est pourquoi les recherches se poursuivent pour réentraîner les modèles spécialement sur les os oraculaires[5].

Des recherches ont aussi dépassé les cassures matérielles pour relier le contexte. Une équipe a créé une tâche consistant à déterminer si deux phrases se trouvaient à l'origine sur le même os. Elle a publié un jeu de données appelé OBID-ACR. Elle a aussi proposé une méthode qui utilise à la fois les informations sur la forme des caractères et les informations de phrase[10]. Cela a ouvert une voie pour relier le contexte avant même d'assembler physiquement les fragments.

Références

- [1] 梁文艳. (2026, 5월 26일). 以科技赋能, 让甲骨文"活"起来. 中国青年报. https://zqb.cyol.com/pc/content/202605/26/content_426168.html (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] Chen, Z., Hua, W., Li, J., Zhu, Y., Zhi, X., Liu, Z., Chen, T., Zhang, W., & Zhai, G. (2026). Oracle bone inscriptions information processing: a comprehensive survey. npj Heritage Science, 14, 220. <https://doi.org/10.1038/s40494-026-02511-w> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Liu, Y., Guan, H., Wang, P., Wang, X., Wan, J., Zhang, K., Zheng, H., Liu, X., Kuang, Z., Yang, H., Li, B., Liu, Y., Jin, L., & Bai, X. (2026). AlphaOracle: Oracle bone script decipherment via human-workflow-inspired deep learning. The Innovation, 7(11), 101462. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2026.101462>
- [4] Zhang, J., Li, R., Pang, H., Xia, D., Zhu, Z., Zhang, Q., Li, C., & Yang, X. (2026, 4월 8일). Specializing large models for oracle bone script interpretation via component-grounded multimodal knowledge augmentation. arXiv:2604.06711. <https://arxiv.org/abs/2604.06711> (consulté le 3 septembre 2026)

- [5] Song, Z., Wang, Y., Ma, Z., Yu, Z., Wang, T., Zhang, J., Wang, T., & Yu, K. (2026, 6월 24일). OracleAnalyser: Analysing implicit semantics of oracle bone scripts through MLLMs with post-training. arXiv:2606.25906. <https://arxiv.org/abs/2606.25906> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] Guan, H., Yang, H., Wang, X., Han, S., Liu, Y., Jin, L., Bai, X., & Liu, Y. (2024). Deciphering oracle bone language with diffusion models. In Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). Association for Computational Linguistics. <https://aclanthology.org/2024.acl-long.831/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Zhang, C., Wang, B., Chen, K., Zong, R., Mo, B., Men, Y., Alpanidis, G., Chen, S., & Zhang, X. (2022). Data-driven oracle bone rejoining: A dataset and practical self-supervised learning scheme. In Proceedings of the 28th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 4482-4492). ACM. <https://doi.org/10.1145/3534678.3539050>
- [8] 北京日报. (2026, 8월 28일). 高校团队"唤醒"三千年前文明碎片. 新浪教育. <https://edu.sina.com.cn/l/2026-08-28/doc-inipwhrw0020843.shtml> (consulté le 3 septembre 2026)
- [9] Li, Z., Chen, Z., Chen, T., & Zhai, G. (2026, 6월 30일). Beyond single character: Evaluating MLLMs for sentence-level oracle bone inscription understanding. arXiv:2606.31169. <https://arxiv.org/abs/2606.31169> (consulté le 3 septembre 2026)
- [10] Zhang, H., Wang, T., Zhang, Z., Li, B., Sun, H., Hou, C., Wang, N., Yu, Y., Jiao, Q., Xiong, J., & Liu, Y. (2026). A multi-modal dataset and method for bone-level association prediction in oracle bone inscriptions. npj Heritage Science, 14, 19. <https://doi.org/10.1038/s40494-025-02282-w> (consulté le 3 septembre 2026)
- [11] Zhang, C., Zong, R., Cao, S., Men, Y., & Mo, B. (2020). AI-powered oracle bone inscriptions recognition and fragments rejoining. In Proceedings of the Twenty-Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-20), 5309-5311. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2020/779>

7.3. La vérité révélée

Quand un seul caractère change, la carte change

Le premier résultat produit par AlphaOracle portait sur un seul caractère. Les chercheurs ont soumis au système un caractère longtemps débattu. C'est un caractère qui a ensuite donné le caractère chinois lao (勞)[1]. Le système a organisé la forme des traits et la composition des éléments. Puis il a recherché et listé d'autres phrases où ce caractère apparaît. Ensuite, il a confronté ces résultats aux connaissances des textes anciens pour resserrer le sens.

La réponse proposée par le système était que ce caractère désignait un nom de lieu ou un nom de clan. Un clan désigne une famille de parents issue d'un même ancêtre. Ce résultat différait des interprétations qui lisaient ce caractère comme un mot qualifiant la phrase. Les chercheurs ont indiqué que cette interprétation avait été examinée par des spécialistes des écritures anciennes[1].

Quand le sens d'un seul caractère change, toutes les phrases qui le contiennent changent. Si c'est un nom de personne, la phrase raconte l'histoire d'un individu. Si c'est un nom de lieu, la même phrase devient un document d'administration locale. Il faut aussi redessiner la manière dont la dynastie Shang gouvernait ce territoire. Les chercheurs ont rapporté que ce résultat oblige à revoir la perception de l'administration et de la société Shang[1].

Ce qu'il faut retenir dans cette étude n'est pas seulement la réponse. C'est le fait que le système a fourni ses preuves en même temps. AlphaOracle montre quelles phrases et quels éléments l'ont conduit à choisir cette réponse[1]. Le chercheur peut suivre ces preuves et décider s'il est d'accord ou non. Le point central de cette étude était de produire une réponse sous une forme vérifiable par l'humain.

Un appariement qui prenait des années se réduit à quelques jours

Des résultats sont aussi apparus dans l'assemblage. Ils viennent du programme Tiefada présenté plus haut. Ce programme a retrouvé plus de 300 correspondances que les chercheurs avaient longtemps manquées[2]. C'est un nombre ajouté aux correspondances cherchées à la main pendant plus d'un siècle.

Le travail humain demeure. Le chercheur vérifie une par une les listes données par la machine. La vérification se termine par une comparaison avec l'objet réel.

Le laboratoire de l'Université normale d'Anyang a aussi présenté ses propres résultats. Jusqu'en mai 2026, il a nouvellement assemblé 155 os oraculaires. Le même laboratoire a repéré près de 7 000 cas de doublons dans les archives[3]. Il arrivait qu'un même os soit publié séparément dans plusieurs catalogues. Dans ce cas, un seul os était compté comme deux objets différents. Le nombre de doublons repérés est beaucoup plus élevé que celui des nouveaux assemblages. Cela signifie que le travail de la machine ne consiste pas seulement à faire de nouvelles découvertes. Il sert aussi à contrôler les anciens relevés.

Quand des fragments s'assemblent, la phrase s'allonge. Souvent, la question reste d'un côté et le résultat se trouve de l'autre. Les deux fragments doivent se rejoindre pour que le jour de la divination et ce qui s'est réellement produit forment une même ligne. Plusieurs courts relevés deviennent alors le récit d'un seul événement.

Cette différence influence directement l'écriture de l'histoire. Si l'on ne voit que des relevés coupés, les événements semblent dispersés. Si l'on voit le relevé réuni, l'ordre des faits apparaît. On comprend quand le roi a posé la question et quand il a reçu le résultat.

Les 7 000 doublons repérés ont le même poids[3]. Si l'on compte deux fois le même os, le nombre de données est faussé dès le départ. Il arrive aussi que la même phrase soit citée comme deux documents différents. En comparant de nouveau en masse les estampages, la machine a filtré ces doublons. Ce n'est pas une découverte spectaculaire. Mais c'est un travail qui remet les données de base en ordre.

Des os dispersés au-delà des mers se rencontrent à l'écran

La distance était le mur qui bloquait l'assemblage. Quand des fragments issus d'un même os se trouvent dans différents pays, on ne peut pas les placer côte à côte. Même avec des photographies échangées, on ne connaît ni l'épaisseur ni les courbes. Les données en trois dimensions ont abaissé ce mur.

Les quelque 900 pièces étrangères vues plus haut sont un exemple de franchissement de ce mur[3]. Les objets réels restent là où ils se trouvent. Ce qui a été déplacé, ce sont les informations sur la forme de leur surface.

Un chercheur d'Anyang peut faire tourner ces fragments à l'écran. Il peut aussi placer sur le même écran un fragment de Pékin et un fragment d'Europe, puis comparer leurs sections.

La manière d'ouvrir les données a aussi changé. Autrefois, il fallait se rendre dans l'institution de conservation pour voir un objet. Obtenir l'autorisation pouvait prendre plusieurs mois. Aujourd'hui, même un étudiant peut consulter chez lui des données sur les os oraculaires[3]. Quand le nombre de personnes qui manipulent les données augmente, le nombre de regards qui vérifient augmente aussi. Quand les regards augmentent, les occasions de repérer de mauvais assemblages augmentent.

Ce que la machine ne sait pas encore faire

Les résultats ont aussi rendu les limites plus claires. L'épreuve S-OBI, publiée à la fin de juin 2026, a montré ces limites en chiffres. Plusieurs grandes IA ont résolu les mêmes questions portant sur des phrases d'os oraculaires. Leurs résultats ont baissé davantage dans les questions qui demandaient de comprendre toute la phrase que dans celles qui demandaient de reconnaître un seul caractère. La cause est apparue aussi. Le modèle s'est trompé dès les caractères pourtant bien conservés. En poursuivant son raisonnement avec cette erreur, il a déformé la réponse[4]. Saisir le fil d'une phrase vieille de 3 000 ans reste encore largement une tâche humaine.

Le problème qui demande le plus de prudence est l'invention. L'IA choisit ses réponses par probabilité. Dans un domaine où les données d'entraînement sont rares, comme les inscriptions sur os oraculaires, elle peut produire un caractère plausible mais qui n'a jamais existé. La langue de la fin de la dynastie Shang ne dispose pas non plus de nombreuses langues voisines avec lesquelles la comparer[5]. Il est donc difficile de vérifier la réponse dans un dictionnaire.

Le déséquilibre des données demeure. Les données d'os oraculaires réunies jusqu'à présent se concentrent sur certaines périodes et certains sites de fouilles. Une machine entraînée sur des données biaisées commet facilement des erreurs lorsqu'elle rencontre des os oraculaires provenant d'une région inconnue. Un article de synthèse publié en 2026 a lui aussi désigné la qualité et l'équilibre des données comme des tâches à venir[5].

Vu en chiffres, le chemin reste long. Il reste encore environ 3 000 caractères dont le sens est inconnu. AlphaOracle en a résolu un en fournissant des preuves[1]. Quand on pense au travail nécessaire pour résoudre un seul caractère, la tâche restante est vaste. Mais si la méthode se stabilise, le caractère suivant sera résolu un peu plus vite.

Le partage du travail entre humains et machines

C'est pourquoi la méthode de recherche actuelle s'est fixée dans une coopération entre humains et machines. La machine propose largement des candidats et organise les preuves. L'humain vérifie ces candidats dans les textes et sur les objets réels.

La réduction du temps d'analyse vue plus haut est aussi le résultat de cette répartition du travail. La machine n'a pas remplacé le jugement humain. Elle a présélectionné les données à examiner. C'est aussi pour cela que les spécialistes ont jugé cet outil utile[1].

La même méthode s'est imposée dans l'assemblage. Le programme termine en quelques jours des comparaisons qui prenaient autrefois plusieurs années[2]. Le chercheur emporte ensuite ces candidats dans la réserve. Il rapproche les os réels et vérifie si les sections s'emboîtent. Le dernier jugement se fait au bout des doigts humains.

Cette répartition du travail repose sur une condition. Les preuves de la réponse donnée par la machine doivent être visibles pour l'humain. Si les preuves ne sont pas visibles, le chercheur n'a aucun moyen de vérifier. Une réponse invérifiable ne peut pas entrer dans l'écriture de l'histoire. C'est aussi pour cela qu'AlphaOracle divise son processus en étapes[1].

Il y a 3 000 ans, le roi de la dynastie Shang interrogeait l'avenir en observant les fissures dans les os. Le chercheur d'aujourd'hui interroge le passé en observant les sections fracturées des mêmes os. La direction de la question est opposée, mais les traces observées restent les mêmes.

Références

- [1] Liu, Y., Guan, H., Wang, P., Wang, X., Wan, J., Zhang, K., Zheng, H., Liu, X., Kuang, Z., Yang, H., Li, B., Liu, Y., Jin, L., & Bai, X. (2026). AlphaOracle: Oracle bone script decipherment via human-workflow-inspired deep learning. *The Innovation*, 7(11), 101462. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2026.101462>
- [2] 北京日报. (2026, 8월 28일). 高校团队"唤醒"三千年前文明碎片. 新浪教育. <https://edu.sina.com.cn/l/2026-08-28/doc-inipwhrw0020843.shtml> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] 梁文艳. (2026, 5월 26일). 以科技赋能, 让甲骨文"活"起来. 中国青年报. https://zqb.cyol.com/pc/content/202605/26/content_426168.html (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Li, Z., Chen, Z., Chen, T., & Zhai, G. (2026, 7월 1일). Beyond single character: Evaluating MLLMs for sentence-level oracle bone inscription understanding. arXiv:2606.31169. <https://arxiv.org/abs/2606.31169> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Chen, Z., Hua, W., Li, J., Zhu, Y., Zhi, X., Liu, Z., Chen, T., Zhang, W., & Zhai, G. (2026). Oracle bone inscriptions information processing: a comprehensive survey. *npj Heritage Science*, 14, 220. <https://doi.org/10.1038/s40494-026-02511-w> (consulté le 3 septembre 2026)

Chapitre 8. Les lamelles de bois de Silla : l'IA qui lit une calligraphie sortie de la boue

8.1. Dossier de l'affaire

L'époque où l'on écrivait sur le bois

Il fut un temps où le papier était rare. Dans l'ancienne Asie de l'Est, les gens taillaient le bois en fines lamelles et y écrivaient. Ces planchettes portant des caractères sont appelées lamelles de bois. Une lamelle de bois a souvent la largeur de deux ou trois doigts joints. Beaucoup mesurent un peu plus qu'un empan. Certaines pièces de bois sont taillées comme de petits piliers. On peut alors écrire sur leurs quatre faces. On les appelle lamelles de bois multifaces, car ce sont des planchettes de bois écrites sur plusieurs côtés.

Les lamelles de bois avaient plusieurs usages. L'un était l'étiquette attachée à un objet. Quand on envoyait du grain ou des produits salés fermentés depuis une province vers la capitale royale, on attachait une lamelle avec une corde. On y inscrivait le nom du district expéditeur, le nom de l'objet et la quantité. Un autre usage était le document administratif. On a retrouvé des lamelles portant le nom et le rang d'un fonctionnaire, les objets reçus et la date[1]. Il existe aussi des lamelles d'exercice, sur lesquelles le même caractère chinois a été écrit plusieurs fois pour apprendre à écrire.

Le bois est plus solide que le papier. On pouvait donc le réutiliser. Quand une lamelle de bois n'avait plus d'usage, on raclait finement sa surface au couteau. Quand une nouvelle surface apparaissait, on y écrivait de nouveau. Les fines poussières de bois produites par ce raclage apparaissent aussi dans les sites archéologiques. Ces fragments sont appelés copeaux de raclage. Le terme désigne les débris de bois enlevés pour effacer l'écriture. Les 329 pièces de bois du site de Gwanbuk-ri, à Buyeo, le montrent bien. Parmi elles, 247 étaient des copeaux de raclage. Cela signifie qu'un lieu où l'on produisait et corrigeait des documents se trouvait à proximité[1].

Les historiens accordent une grande valeur aux lamelles de bois pour une raison précise. Les livres d'histoire sont souvent écrits après les événements. Ils contiennent le jugement de leur auteur et les circonstances de la dynastie. Les lamelles de bois sont proches de notes prises le jour même du travail. Ce ne sont pas des textes embellis pour être montrés aux générations suivantes. Elles gardent tel quel le nom de la personne qui a envoyé plusieurs seom de grain, et la date de l'envoi. Ce type de trace, produite au moment même des faits, est appelé source primaire. Les lamelles de bois contiennent aussi des erreurs et des passages corrigés. C'est pourquoi les chercheurs en comparent plusieurs côte à côte.

On trouve des lamelles de bois dans la péninsule coréenne et dans l'archipel japonais. Dans les deux régions, les documents étaient rédigés en caractères chinois. Mais chaque société cherchait aussi à écrire sa propre langue. Les gens de Silla combinaient le sens et le son des caractères chinois pour noter l'ordre des mots de leur langue. Ces systèmes d'écriture sont appelés idu et hyangchal. Les Japonais ont eux aussi emprunté le son des caractères chinois pour écrire leur langue. Les lamelles de bois sont des preuves matérielles de la date à laquelle ces tentatives ont commencé. Les documents sur papier ont presque tous disparu. C'est pourquoi les recherches qui comparent les lamelles des deux pays se poursuivent.

Mille ans protégés par la boue

Les lamelles de bois apparaissent souvent dans des lieux bien précis. Ce sont les fonds d'étangs proches des palais. Ce sont des zones humides où l'eau stagnait à l'intérieur des remparts. Ce sont des couches de boue qui ont comblé des fossés. Le bois utilisé puis jeté par les hommes a coulé dans l'eau et y a été enseveli.

Dans la boue sous l'eau, l'air entre très peu. Ce sont surtout des micro-organismes vivant avec de l'air qui font pourrir le bois. Quand l'air est bloqué, ces micro-organismes agissent difficilement. Il reste bien des micro-organismes capables de vivre sans air. Mais la décomposition du bois devient beaucoup plus lente. C'est ainsi que le bois a gardé sa forme pendant plus de mille ans. Même dans des sols où le cuir et le papier disparaissent sans laisser de trace, les lamelles de bois sont restées. Ce ne sont pas des tombes, mais des fosses à déchets, qui ont protégé les archives.

En revanche, d'autres changements se sont produits. L'eau a pénétré dans le bois et rempli les parois des cellules. Le fer et divers minéraux du sol y sont aussi entrés. Le bois s'est retrouvé saturé d'eau. Ce type de bois est appelé bois gorgé d'eau, ou bois saturé.

Le bois gorgé d'eau ne doit pas être sorti puis simplement séché. Quand l'eau s'échappe, il se rétracte vite et se fend. C'est pourquoi, sur les chantiers de fouille, les lamelles de bois sont aussitôt plongées dans des bacs d'eau. Dans les laboratoires de conservation, l'eau contenue dans le bois est remplacée lentement par des produits chimiques. Ce seul processus prend de quelques mois à plusieurs années. Le déchiffrement doit être terminé avant cela. Le traitement peut changer la couleur de la surface.

Une écriture noire sur du bois noir

Le bois pénétré de minéraux devient plus sombre. Beaucoup de pièces passent du brun au noir profond. Ce phénomène, dans lequel le bois noircit, s'appelle le noircissement. Le problème vient du matériau de l'écriture. Les anciens fabriquaient l'encre en mélangeant de la suie de pin brûlé avec de la colle animale. Le composant principal de cette encre est le carbone, et sa couleur est noire.

Sur du bois devenu noir se trouvent des caractères écrits à l'encre noire. Même sous une lumière vive, les deux ne se distinguent pas. De plus, pendant les longues années passées sous l'eau, une grande partie des particules d'encre a été emportée. Les lignes verticales sombres du veinage du bois se mêlent aux traces du pinceau. La terre et les matières décomposées remplissent les creux laissés par le pinceau. À l'œil humain, il est difficile de savoir s'il y a même des caractères.

Quand le déchiffrement est difficile, les théories divergent. Pour une même lamelle de bois, des chercheurs peuvent lire des caractères chinois différents. Si un seul caractère change, le sens de la phrase change. L'interprétation historique change aussi. C'est pourquoi les spécialistes des lamelles de bois cherchent depuis longtemps de nouveaux yeux. Ils avaient besoin d'outils capables de saisir ce que l'œil humain manque.

Le nombre de lamelles à lire continue d'augmenter. À la forteresse de Seongsan à Haman, dans la province de Gyeongnam, des lamelles de bois de Silla ont été retrouvées de manière régulière. En août 2025, deux nouvelles lamelles inscrites ont encore été confirmées[2]. Une inscription désigne les caractères écrits sur un objet. Sur le site de Gwanbuk-ri à Buyeo, dans la province de Chungnam, de nombreux fragments de lamelles de bois de la période Silla de Baekje ont été découverts[1]. À la forteresse de Daemosanseong à Yangju, dans la province de Gyeonggi, une lamelle datée du Ve siècle a été retrouvée. Si cette datation est correcte, elle appartiendrait aux plus anciens documents écrits de Baekje connus à ce jour[3].

La situation est la même au Japon. L'Institut national de recherche sur les biens culturels de Nara rassemble et publie les informations sur les lamelles de bois trouvées dans diverses régions. Cette base de données s'appelle Mokkan-ko[4]. On n'y cherche pas seulement par les caractères écrits sur les lamelles. On peut aussi chercher par usage, date, matériau et lieu de découverte[5]. Tant de bois reste ainsi à lire.

Références

- [1] 파이낸셜뉴스. (2026, 2월 5일). 부여 관북리 '백제 피리' 첫 확인..목간 329점 무더기 발견. 파이낸셜뉴스.
<https://www.fnnews.com/news/202602051448564101> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] 경남일보. (2025, 8월 7일). 함안 성산산성서 새로운 목간 2점 명문 확인. 경남일보.
<https://www.gnnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=616028> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] 뉴시스. (2025, 11월 20일). 1500년 전 '백제 문자' 깨어났다...양주 대모산성서 5세기 목간 출토. 뉴시스.
https://www.newsis.com/view/NISX20251120_0003410107 (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] 奈良文化財研究所. 木簡庫(MOKKAN-KO). <https://mokkanko.nabunken.go.jp/ja/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] カレントアウェアネス・ポータル. (2018).
奈良文化財研究所、木簡に関する情報を検索するシステム「木簡庫」(MOKKAN-KO)を公開. 国立国会図書館.
<https://current.ndl.go.jp/car/35714> (consulté le 3 septembre 2026)

8.2. Enquête scientifique 1 : une loupe numérique pour l'encre

Utiliser une lumière invisible

L'œil humain ne voit qu'une gamme étroite de lumière. Il existe aussi de la lumière au-delà du rouge de l'arc-en-ciel. Cette lumière est appelée infrarouge. Sa longueur d'onde est trop longue pour être perçue par l'œil, mais une caméra peut la capter. Le signal qu'une télécommande envoie à un téléviseur est aussi de l'infrarouge.

L'infrarouge est utilisé pour lire les lamelles de bois en raison des propriétés des matériaux. Les particules de carbone de l'encre absorbent bien l'infrarouge. Le veinage du bois noirci renvoie beaucoup d'infrarouge. Deux matières qui paraissent également noires à l'œil humain se séparent devant une caméra infrarouge. La partie qui absorbe apparaît sombre. La partie qui réfléchit apparaît claire. Les traces de pinceau que l'on croyait disparues remontent alors sur la photographie.

La lumière la plus utilisée est le proche infrarouge, autour de 800 nanomètres de longueur d'onde. Un nanomètre est un milliardième de mètre. La lumière rouge visible par l'être humain se termine vers 700 nanomètres. Cela signifie que l'on utilise la lumière située juste au-delà. La prise de vue se fait dans une pièce où la lumière extérieure est bloquée. La lumière est diffusée de façon uniforme, sans être concentrée d'un seul côté. Si elle vient d'un seul côté, de longues ombres se forment dans chaque creux du veinage.

La photographie infrarouge est devenue une procédure de base dans l'étude des lamelles de bois. Dans les rapports de fouille, une photographie infrarouge accompagne souvent la photographie ordinaire d'une lamelle. L'Institut national de recherche sur les biens culturels de Nara développe depuis longtemps des dispositifs qui rendent plus nettes les images de caractères sur lamelles grâce à des caméras infrarouges[1].

De l'infrarouge à l'hyperspectral

Une seule photographie infrarouge ne fait pas réapparaître tous les caractères. Selon la position des taches et l'état du veinage, la longueur d'onde qui donne la meilleure visibilité varie. C'est pourquoi l'imagerie hyperspectrale est apparue.

Une photographie ordinaire n'enregistre que trois valeurs : rouge, vert et bleu. L'imagerie hyperspectrale est différente. Elle divise une scène en dizaines ou en centaines de bandes étroites de longueurs d'onde. On peut imaginer qu'elle sépare finement la lumière comme les couleurs d'un arc-en-ciel, puis photographie chaque partie séparément. Pour chaque point de l'image, une suite de valeurs de luminosité par longueur d'onde est enregistrée. Au lieu d'une seule photo, on obtient donc une épaisse pile d'images.

En comparant ces valeurs, on peut distinguer les endroits où l'encre subsiste de ceux où une tache de terre s'est déposée. L'encre et la terre ne changent pas de luminosité de la même façon selon la longueur d'onde. Certains caractères se voient bien autour de 900 nanomètres. D'autres réapparaissent dans une autre zone. Le chercheur choisit les bandes de longueurs d'onde et cherche la combinaison la plus lisible. L'ordinateur peut aussi comparer automatiquement plusieurs bandes et réduire la liste des candidats. Le calcul diminue ainsi le travail que l'humain faisait autrefois image par image.

L'Institut national du patrimoine culturel de Gaya a utilisé cette méthode pour la première fois en 2025. Il a intégré l'imagerie hyperspectrale au déchiffrement des lamelles de bois de la forteresse de Seongsan à Haman. L'institut a déclaré que cette méthode était plus précise que la photographie infrarouge classique. Selon son explication, elle permet de faire réapparaître même des caractères difficiles à reconnaître à l'œil nu ou par photographie ordinaire[2].

Chercher un caractère par sa forme

Même quand la photographie devient nette, un autre problème demeure. Il faut décider quel caractère chinois correspond à une trace de pinceau floue. Les caractères écrits en cursive changent beaucoup de forme. Beaucoup de caractères ne conservent que quelques traits. Les caractères chinois se comptent par dizaines de milliers. Même consulter un dictionnaire a ses limites pour l'être humain.

L'Institut national de recherche sur les biens culturels de Nara et l'Institut d'historiographie de l'Université de Tokyo ont créé un système pour aider ce travail. Il s'appelle Mojizo. L'utilisateur découpe et téléverse l'image du caractère qu'il veut lire. Le système cherche dans des images de caractères réunies à partir de lamelles de bois et de documents anciens. Il affiche ensuite les formes qui lui ressemblent[3]. L'être humain examine les candidats et juge. Ce n'est pas une machine qui donne la réponse. C'est un outil de recherche qui fait ressortir des cas semblables.

Ce type d'outil a changé l'ordre du travail. Autrefois, le chercheur s'appuyait sur sa mémoire et sur les dictionnaires de caractères pour imaginer des candidats. Aujourd'hui, la machine sélectionne d'abord des caractères semblables parmi des dizaines de milliers de cas. L'humain choisit ensuite dans cette liste réduite en examinant le contexte. Le temps nécessaire au déchiffrement a beaucoup diminué.

Distinguer les traits dessinés par la machine

L'IA générative actuelle rend les images floues plus nettes. Elle relie les lignes coupées et remplit les vides. Si l'on applique cette technologie aux photographies de lamelles de bois, le résultat devient plus agréable à regarder. Mais il y a un piège.

Le trait rempli par la machine n'est pas de l'encre réellement restée sur le bois. C'est une hypothèse tirée de la moyenne de dizaines de milliers d'écritures apprises. Si un motif circulaire du veinage subsiste, la machine peut le lire comme un trait rond. Un caractère qui n'existait pas à l'origine peut alors apparaître de manière plausible. La source est contaminée et l'interprétation historique se déforme.

C'est pourquoi le terrain de la recherche suit des règles. La photographie originale et le résultat corrigé doivent toujours être publiés côte à côte. Les traces d'encre réellement vérifiables et les pixels créés par la machine doivent être distingués et signalés. La réponse de la machine est traitée comme une liste de

candidats, non comme une conclusion. Le déchiffrement final revient à l'être humain. Quand une proposition de lecture est publiée, il faut aussi indiquer avec quel appareil et dans quelles conditions l'image a été prise.

Une préparation à l'échelle de l'État est aussi en cours. Le Conseil consultatif national des sciences et des technologies a adopté, le 16 avril 2026, le plan d'exécution de l'Administration du patrimoine national. Ce plan prévoit d'introduire l'IA, les robots et les capteurs dans l'étude et la restauration du patrimoine national de 2026 à 2030. L'investissement prévu pour cette année est de 14 milliards de wons. Sur cette somme, 4,4 milliards de wons sont affectés au développement de technologies intelligentes avancées de conservation[4]. Le Musée national de Gimhae a organisé un colloque scientifique le 23 juin 2026. Son thème était le regard scientifique sur l'étude du patrimoine de Gaya. Sept présentations ont porté sur l'analyse non destructive, la restauration numérique et la microscopie à rayons X en trois dimensions[5]. Les méthodes qui permettent de voir l'intérieur des objets invisibles à l'œil nu s'étendent désormais au-delà des lamelles de bois.

Références

- [1] 奈良文化財研究所. 赤外線カメラを利用した木簡文字画像鮮明化システムの開発. 学術機関リポジトリデータベース. <https://irdb.nii.ac.jp/01144/0004944317> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] 경남일보. (2025, 8월 7일). 함안 성산산성서 새로운 목간 2점 명문 확인. 경남일보. <https://www.gnnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=616028> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] 奈良文化財研究所, 東京大学史料編纂所. 木簡・くずし字解読システム MOJIZO. <https://aimojizo.nabunken.go.jp/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] 뉴시스. (2026, 4월 16일). "AI, 블록체인으로 국가유산 보존관리"...과기자문회의, 유산청 시행계획 의결. 뉴시스. https://www.newsis.com/view/NISX20260416_0003594216 (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] 경남일보. (2026, 6월 17일). 국립김해박물관, 23일 '가야학술제전' 심포지엄 개최. 경남일보. <https://www.gnnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=639314> (consulté le 3 septembre 2026)

8.3. Enquête scientifique 2 : KuroNet et Miwo

Une écriture liée ne se découpe pas

Au Japon, il reste des millions de documents anciens utilisés jusqu'à l'époque d'Edo. Ces documents sont écrits dans une écriture cursive appelée kuzushiji. Le kuzushiji est une écriture manuscrite employée pendant plus de mille ans à partir du VIII^e siècle. En 1900, le Japon a modifié son système d'écriture. Après cela, cette écriture n'a plus été enseignée à l'école. C'est pourquoi la plupart des Japonais d'aujourd'hui ne peuvent pas lire même des livres vieux de 150 ans[1].

La difficulté ne vient pas seulement de la forme des caractères. Il existe une manière d'écrire au pinceau dans laquelle plusieurs caractères sont liés sans lever le pinceau du papier. Le dernier trait du caractère précédent et le premier trait du caractère suivant se rejoignent. Il ne reste alors plus de frontière entre les caractères. Une ligne entière ressemble à une seule longue ligne.

La reconnaissance informatique des caractères a longtemps fonctionné dans le même ordre. Elle découpe d'abord chaque caractère dans une boîte carrée. Elle détermine ensuite quel caractère correspond à l'image contenue dans la boîte. Cette méthode exige des frontières. Devant une écriture cursive liée, elle s'effondrait dès la première étape. Si le début est faux, la suite l'est aussi. Il n'y avait donc pas de moyen d'augmenter la précision.

KuroNet, qui ne découpe pas les caractères

Des chercheurs du Centre pour l'open data en sciences humaines du Japon ont ouvert une autre voie. Tarin Clanuwat, Alex Lamb et Asanobu Kitamoto ont créé ensemble un modèle. Son nom est KuroNet. Il a été présenté pour la première fois en 2019 à la Conférence internationale sur l'analyse et la reconnaissance de documents[1]. En 2020, sa structure a été affinée et ses résultats ont été publiés de nouveau dans une revue scientifique[2].

KuroNet ne découpe pas les caractères à l'avance. Il reçoit une page entière de document ancien. La structure centrale du modèle est U-Net. U-Net réduit peu à peu l'image pour en extraire les caractéristiques. Puis il l'agrandit de nouveau à sa taille d'origine. C'est un réseau neuronal. La partie qui réduit et celle qui agrandit sont symétriques. On le représente donc en forme de U. Pendant la réduction, il apprend l'épaisseur et la direction des traits de pinceau. Pendant l'agrandissement, il replace ces informations à leur position d'origine.

Ce réseau neuronal prédit deux choses en même temps sur toute la page. La première est l'emplacement du centre des caractères. La seconde est l'identité du caractère à cet endroit. Le résultat prend la forme d'une carte de probabilités. C'est une image qui indique, à différents points de l'écran, la probabilité qu'un caractère s'y trouve. En suivant les zones à forte probabilité, on détermine en même temps la position et le nom du caractère. Comme il n'y a pas d'étape de découpage, le système ne s'effondre pas même devant une écriture cursive continue.

L'apprentissage a utilisé des données créées par le National Institute of Japanese Literature au Japon. Elles portent le nom de jeu de données de kuzushiji classiques japonais. Elles contiennent plus d'un million d'échantillons de caractères[2]. La même équipe a aussi publié une version réduite pour faciliter son usage par les chercheurs en apprentissage automatique. Il s'agit de Kuzushiji-MNIST, conçu sur le modèle des données de chiffres manuscrits. Des versions avec plus de caractères et une autre ne rassemblant que les kanji ont aussi été publiées[3]. Grâce à cela, même des chercheurs ne connaissant pas les classiques japonais ont pu entrer dans ce domaine.

KuroNet a passé le relais en octobre 2022. Le modèle de reconnaissance a pris le nom de Ruri[4]. Ruri est un modèle qui adapte la détection d'objets à l'écriture cursive. Il lit mieux qu'avant même lorsque la couleur ou les motifs derrière les caractères sont complexes. Il a été entraîné avec le même jeu de données enrichi. Il parvient à lire des caractères que les anciens modèles ne lisaient pas[5].

Miwo dans la paume de la main

Le défi suivant consistait à faire entrer dans un téléphone portable le modèle qui tournait sur serveur. L'application née de ce travail est Miwo. Elle a été publiée pour la première fois le 30 août 2021[5]. Sa graphie japonaise est みを et sa graphie anglaise est Miwo[6].

Son usage est simple. On photographie un document ancien avec l'appareil photo du téléphone. Peu après, l'écran affiche le résultat transcrit en caractères actuels. On peut comparer l'original et le résultat en les superposant avec un curseur. L'application indique aussi quel était le hentaigana. Les hentaigana sont d'anciennes formes de hiragana qui ne sont plus utilisées aujourd'hui. Il existe aussi une fonction d'exportation du résultat en fichier texte. Les photos prises ne restent pas sur le serveur. L'application est gratuite sur Android et sur iPhone[6].

Depuis la version 1.1, sortie le 26 octobre 2022, le modèle de reconnaissance est devenu Ruri[5]. Le même mois, l'application a reçu le Good Design Award 2022[7]. Les traces d'usage se sont accumulées régulièrement. Depuis sa publication, le nombre d'images reconnues atteint 3 523 373 au 3 septembre 2026[6]. Cela signifie que des personnes photographient des documents anciens dans des bibliothèques, des temples et des archives locales.

Les citoyens lisent ensemble

La méthode où la machine lit d'abord et où l'humain corrige ensuite est utilisée ailleurs aussi. Il existe un projet de transcription en ligne appelé Minna de Honkoku. La transcription consiste à recopier une écriture ancienne en caractères actuels. Sa graphie japonaise est みんなで翻刻 et signifie recopier ensemble. Le projet a commencé en 2017 au sein du groupe de recherche sur les séismes anciens de l'Université de Kyoto. Il est maintenant exploité conjointement par le National Museum of Japanese History et l'Earthquake Research Institute de l'Université de Tokyo[8].

La participation est ouverte. Toute personne disposant d'un navigateur Internet peut transcrire des documents anciens. L'écran affiche un premier résultat lu par l'IA. L'utilisateur n'a plus qu'à corriger les caractères erronés. Le site utilise le service de reconnaissance de kuzushiji du Center for Open Data in the Humanities. À ce jour, environ 10 800 participants ont transcrit plus de 48 millions de caractères[8].

Les textes transcrits ne s'accumulent pas simplement. Les réponses corrigées par les humains redeviennent des données d'apprentissage. Plus les données d'apprentissage augmentent, plus le modèle s'améliore. Plus le modèle s'améliore, plus le premier résultat devient exact et moins l'intervention humaine est nécessaire. Lorsque ce cycle commence à tourner, la vitesse augmente.

Les documents ainsi lus ont aussi de nombreux usages. Ce projet a été lancé par des chercheurs sur les séismes. Les journaux anciens et les documents administratifs indiquent les dates des séismes, des raz-de-marée et des mauvaises récoltes, ainsi que les dégâts. Lorsque des archives jusque-là inaccessibles à cause de l'écriture cursive deviennent des données, on peut compter les cycles des catastrophes passées. Une ancienne écriture au pinceau devient une donnée utile à la prévention des risques d'aujourd'hui.

Jusqu'ici, il s'agissait des documents anciens japonais sur papier. KuroNet, Ruri et Miwo sont tous des modèles qui lisent le kuzushiji écrit sur papier. Aucun cas n'est encore confirmé où ce modèle aurait automatiquement lu des lamelles de bois sorties de la boue. Les lamelles de bois contiennent peu de caractères. Leur support est le bois. L'encre y est souvent effacée. Les données de référence utilisables pour l'apprentissage ne se sont pas accumulées autant que pour les documents anciens sur papier. Si davantage de données sur les lamelles de bois coréennes et japonaises sont réunies, la situation pourra changer. Pour l'instant, c'est une attente, non un résultat.

Références

- [1] Clanuwat, T., Lamb, A., & Kitamoto, A. (2019). KuroNet: Pre-modern Japanese Kuzushiji character recognition with deep learning. 2019 International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), 607-614. <https://doi.org/10.1109/ICDAR.2019.00103>
- [2] Lamb, A., Clanuwat, T., & Kitamoto, A. (2020). KuroNet: Regularized residual U-Nets for end-to-end Kuzushiji character recognition. SN Computer Science, 1, 177. <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00186-z>
- [3] Clanuwat, T., Bober-Irizar, M., Kitamoto, A., Lamb, A., Yamamoto, K., & Ha, D. (2018). Deep learning for classical Japanese literature. arXiv. <https://arxiv.org/abs/1812.01718>
- [4] ROIS-DS 人文学オープンデータ共同利用センター. KuroNetくずし字認識サービス(AI OCR). CODH. <https://codh.rois.ac.jp/kuronet/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] ROIS-DS 人文学オープンデータ共同利用センター. みを(miwo)とは？ CODH. <https://codh.rois.ac.jp/miwo/about/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] ROIS-DS 人文学オープンデータ共同利用センター. みを(miwo)：AIくずし字認識アプリ. CODH. <https://codh.rois.ac.jp/miwo/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] 国立情報学研究所. (2022, 10월 26일). 世界初のAIくずし字認識アプリ「みを(miwo)」が2022年度グッドデザイン賞を受賞. 国立情報学研究所. <https://www.nii.ac.jp/news/release/2022/1026.html> (consulté le 3 septembre 2026)
- [8] みんなで翻刻. みんなで翻刻について. <https://honkoku.org/> (consulté le 3 septembre 2026)

8.4. La vérité révélée

Ce que les lamelles de bois de Wolji révèlent de la vie royale

Le palais de Donggung et l'étang de Wolji à Gyeongju formaient un palais secondaire et un étang de la famille royale de Silla unifié. Les premières lamelles de bois de Wolji ont été découvertes lors des fouilles de 1975. Leur nombre a ensuite augmenté à mesure que les recherches se poursuivaient. Le Musée national de Gyeongju expose les objets découverts sur ce site dans la salle Wolji[1].

Les lamelles de bois de Wolji montrent le quotidien de la famille royale. Certaines servaient d'étiquettes attachées à des jarres. Ces lamelles-étiquettes portent des encoches à gauche et à droite à leur extrémité. On passait une corde dans ces encoches pour les fixer aux objets. Leur usage ressemble à celui des bordereaux de livraison actuels. Sur les lamelles de Wolji figurent les caractères nokgap et ong. Nokgap désigne une préparation salée faite avec du cerf. Ong désigne une jarre. Cela signifie que la cour royale de Silla consignait et gérait les types de préparations salées et leur date de mise en jarre[2].

Ces traces n'apparaissent pas dans les livres d'histoire. Le Samguk Sagi a consigné les rois, les guerres et les institutions. Il n'a pas écrit ce qui entraînait dans les cuisines. Les lamelles de bois comblent ce vide. Une simple planchette sortie de la boue devient un livre de comptes du palais.

La Société coréenne d'étude des lamelles de bois et le Musée national de Gyeongju ont organisé un colloque international les 3 et 4 avril 2026. Le thème était l'espace et la vie écrite dans la capitale royale de Silla, Gyeongju. Il s'est tenu pendant deux jours au Gyeongju Hwabaek Convention Center. Les chercheurs ont réuni les données provenant du fossé de Wolseong, de Donggung et de Wolji. Il s'agissait de redessiner l'image de la capitale royale de Silla à partir des lamelles de bois, des stèles et des inscriptions à l'encre. Des chercheurs coréens et japonais y ont présenté leurs travaux[3].

Le rapport de sanction des lamelles de bois de la forteresse de Seongsansanseong

La forteresse de Seongsansanseong, à Haman, est une forteresse de montagne construite par Silla au VI^e siècle. Des lamelles de bois y ont continué à sortir d'une zone humide située à l'intérieur du rempart. En août 2025, 247 lamelles de bois portant des inscriptions à l'encre y avaient été découvertes. Cela représente plus de la moitié des lamelles de bois anciennes trouvées en Corée[4].

Deux pièces nouvellement déchiffrées lors de la 18^e campagne de fouilles ont été fabriquées avec du bois de pin. L'une est une lamelle à faces multiples, portant du texte sur quatre faces. L'autre est une lamelle à deux faces[4]. La lamelle à faces multiples contenait des informations administratives sur trois de ses quatre faces. C'est un document relatif à une sanction infligée à une personne[5]. Sa date de fabrication est estimée au milieu du VI^e siècle[4].

Ce déchiffrement a été obtenu grâce à l'imagerie hyperspectrale évoquée plus haut. Des caractères invisibles à l'œil nu et sur les photographies ordinaires sont réapparus[4]. Le rapport d'un fonctionnaire subalterne de Silla, resté plus de mille ans dans la boue, est redevenu un texte. Les lamelles de Seongsansanseong mentionnent aussi de nombreux noms de localités qui envoyaient des céréales. Elles montrent comment Silla administrait les régions au VI^e siècle. Elles permettent aussi de suivre par quelles routes les impôts arrivaient jusqu'à la forteresse.

Le tas de documents du palais de Baekje

Le site de Gwanbuk-ri, à Buyeo, est connu comme l'emplacement du palais royal de Baekje à l'époque de Sabi. Le Buyeo National Research Institute of Cultural Heritage a mené les 16es fouilles en 2024 et 2025. Elles ont livré 329 objets de type lamelles de bois. Parmi eux, 82 sont des lamelles inscrites et 247 sont des copeaux de taille[6]. C'est la plus grande quantité jamais trouvée sur un seul site en Corée. Ces pièces appartiennent à une phase ancienne des lamelles de bois de l'époque de Sabi[7].

Certaines lamelles portent une date. Les années cycliques Gyeongsin et Gyehae y apparaissent. Elles sont interprétées respectivement comme 540 et 543. Cela signifie qu'il s'agit de documents rédigés juste après le transfert de la capitale de Baekje de Ungjin à Sabi. Des dossiers de personnel administratif, des registres des finances de l'État et des noms de fonctions officielles ont été confirmés ensemble[7]. Un véritable instrument à vent de Baekje fabriqué en bambou a aussi été découvert pour la première fois[8].

Les 22 et 23 juillet 2026, un colloque international s'est tenu. Il a été organisé conjointement par le Buyeo National Research Institute of Cultural Heritage, la Société coréenne d'étude des lamelles de bois et la Société des études sur Baekje. Le thème était les instruments et les lamelles de bois du site de Gwanbuk-ri à Buyeo. Il s'est tenu dans l'arrondissement de Haeundae, à Busan. Il a commencé par une conférence inaugurale de Park Soon-bal, professeur émérite à l'Université nationale de Chungnam. Douze communications ont été présentées dans trois sections. Des chercheurs de Corée, de Chine et du Japon ont examiné ensemble le sens des lamelles de Gwanbuk-ri[8].

Devant les stèles, il faut être prudent

La méthode qui fonctionne sur les lamelles de bois ne fonctionne pas pour tous les caractères anciens. Lorsque le support devient la pierre, la situation change. La stèle du roi Gwanggaeto en est un exemple. Cette stèle érigée en 414 porte l'histoire de Goguryeo. Sa surface a été usée par le vent et la pluie pendant longtemps. Ici, il faut lire non pas de l'encre, mais des creux gravés.

C'est pourquoi les chercheurs comparent les estampages. Les estampages de la pierre originale sont ceux qui ont été réalisés avant l'application de chaux sur la surface de la stèle. À l'origine, on appliquait du papier directement sur la pierre et on le frappait pour obtenir l'empreinte. Un peu plus de dix exemplaires sont connus à ce jour. Dans la seconde moitié du XIXe siècle, un autre type est apparu. Il s'agit d'estampages à la chaux, réalisés après avoir appliqué de la chaux sur la surface pour faire ressortir les caractères. Plusieurs exemplaires appelés copies à contours doubles et encre ajoutée ont aussi été produits. On posait du papier sur l'inscription et on traçait des lignes autour des caractères. Puis on remplissait les espaces avec une encre sombre pour donner l'apparence d'un estampage. Ce ne sont pas des estampages obtenus par frappe, mais des copies dessinées. Des caractères peuvent avoir été mal reproduits pendant leur fabrication[9]. C'est pourquoi un même caractère peut sembler différent selon les estampages.

Le cœur du débat est la phrase de l'année Sinmyo. Son interprétation touche l'histoire des relations anciennes entre la Corée et le Japon. Elle a donc été discutée pendant longtemps. La question était de savoir si les caractères avaient été modifiés par la main humaine[10]. Pour retrouver les caractères originaux, il faut comparer les premiers estampages de la pierre originale avec plusieurs estampages à la chaux. Il faut d'abord établir des critères permettant d'évaluer chaque estampage[9].

Des affirmations circulent selon lesquelles la mesure en trois dimensions et l'IA auraient apporté une réponse à ce débat. Quand on les vérifie, on constate souvent qu'il est impossible de trouver les études présentées comme preuves. L'attente selon laquelle une méthode efficace pour les lamelles de bois fonctionnerait aussi sur une stèle n'est pas la même chose qu'un résultat de recherche réel. Les

techniques vues plus haut rendent visible ce qui ne l'était pas. Déterminer le sens de ce qui est rendu visible vient ensuite.

La conclusion est donc double. L'infrarouge et l'imagerie hyperspectrale ont ravivé l'encre disparue sur les lamelles de bois de Silla et de Baekje. Les modèles de reconnaissance sans segmentation ont lu l'écriture cursive indivisible des documents anciens japonais sur papier. Les deux techniques portent sur des objets différents, mais elles vont dans la même direction. La machine repère d'abord les traits que l'œil humain a manqués. En même temps, s'il n'existe pas de règle pour distinguer les traits dessinés par la machine des traits restés sur l'original, la même technique fabrique une histoire qui n'a pas existé. C'est la machine qui a réveillé l'écriture au pinceau. Mais ce sont les humains qui répondent du texte.

Références

- [1] 국립경주박물관. 월지관. 국립경주박물관. <https://gyeongju.museum.go.kr/kor/html/sub02/0201.html> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] 국사편찬위원회. 목간. 우리역사넷. https://contents.history.go.kr/mobile/tt/view.do?levelId=tt_b36 (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] 경북일보. (2026, 3월 31일). 1500년 전 신라의 목소리 깨어난다...경주서 국제 목간 학술대회. 경북일보. <https://www.kyongbuk.co.kr/news/articleView.html?idxno=4068614> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] 경남일보. (2025, 8월 7일). 함안 성산산성서 새로운 목간 2점 명문 확인. 경남일보. <https://www.gnnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=616028> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] 경남도민일보. (2025, 8월 7일). 누군가를 처벌한 신라 행정 보고, 함안 성산산성 목간서 확인. 경남도민일보. <https://www.idomin.com/news/articleView.html?idxno=943461> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] 파이낸셜뉴스. (2026, 2월 5일). 부여 관북리 '백제 피리' 첫 확인..목간 329점 무더기 발견. 파이낸셜뉴스. <https://www.fnnews.com/news/202602051448564101> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] 경향신문. (2026, 2월 17일). 부여 관북리서 발견된 목간 329점, '백제 피리'만큼이나 중요한 이유. 경향신문. <https://www.khan.co.kr/article/202602171427001> (consulté le 3 septembre 2026)
- [8] 이데일리. (2026, 7월 21일). 백제 왕궁터 출토 목간 329점·횡적 발굴 성과, 국제학술대회서 조명. 이데일리. <https://edaily.co.kr/News/Read?mediaCodeNo=257&newsId=03276726645516816> (consulté le 3 septembre 2026)
- [9] 국립중앙박물관. 광개토대왕비 탁본. 국립중앙박물관 큐레이터 추천 소장품. <https://www.museum.go.kr/MUSEUM/contents/M0501000000.do?schM=view&relicRecommendId=254462> (consulté le 3 septembre 2026)
- [10] 국사편찬위원회. 광개토대왕릉비. 우리역사넷. https://contents.history.go.kr/mobile/kc/view.do?levelId=kc_r100300 (consulté le 3 septembre 2026)

Chapitre 9. L'énigme perdue de la mer Égée : le linéaire A et la grille géométrique

9.1. Dossier de l'affaire

Trois écritures venues des palais de Crète

Au sud de la mer Égée se trouve l'île de Crète. À l'âge du bronze, la civilisation minoenne s'y développa. Les Minoens construisaient des navires et circulaient en Méditerranée. Ils transportaient de l'huile d'olive, du vin et des céréales. Les palais collectaient ces biens, puis les redistribuaient à la population.

Vers 1900, l'archéologue britannique Arthur Evans fouilla le site du palais de Cnossos. Il découvrit sous terre des tablettes d'argile portant des signes gravés. Ces signes n'étaient pas d'un seul type. Evans les classa en trois groupes. Il s'agit des hiéroglyphes crétois, du linéaire A et du linéaire B[1].

La civilisation minoenne dura plus de mille ans. Puis elle connut de grands changements à la fin de l'âge du bronze. L'un d'eux fut l'éruption volcanique de l'île de Santorin, au nord. On situe cette éruption entre le XVIIe et le XVIe siècle av. J.-C. Sa date exacte reste débattue[7]. On pense que les cendres volcaniques atteignirent la Crète et qu'un tsunami frappa les côtes. Vers 1450 av. J.-C., les Grecs mycéniens prirent le contrôle de l'île[1]. Plus de cent ans séparent l'éruption volcanique de la domination mycénienne. Il est difficile de lier directement ces deux événements comme cause et conséquence. Après cela, la langue des Minoens disparut des archives.

Les trois écritures ne furent pas employées à la même époque. Le linéaire A fut utilisé d'environ 1750 av. J.-C. à environ 1450 av. J.-C. Le linéaire B apparut plus tard. C'est une écriture utilisée après la prise de la Crète par les Grecs mycéniens. Les deux écritures partagent plusieurs signes de forme semblable[1].

La conservation des tablettes d'argile fut due au hasard. Les Minoens ne cuisaient pas leurs tablettes. Ils gravaient les signes dans l'argile humide, les faisaient sécher, puis les utilisaient environ un an avant de les jeter. Mais quand les palais brûlèrent, les tablettes furent cuites comme de la poterie. Seules les tablettes passées au feu résistèrent pendant 3 500 ans. Les documents conservés aujourd'hui sont des documents laissés par l'incendie.

Parmi les trois écritures distinguées par Evans, les hiéroglyphes crétois apparaissent en premier. Ce sont des signes où l'on reconnaît encore des têtes humaines ou des formes de récipients. Le linéaire A ressemble davantage à une version réduite de ces images en lignes. Les deux écritures furent utilisées en même temps pendant près de deux cents ans. L'une n'est pas apparue après la disparition de l'autre. Certains pensent que le linéaire A fut créé sur le modèle des hiéroglyphes crétois. Mais on ne peut pas affirmer que les trois écritures se suivent en une seule ligne droite. Il est certain qu'elles partagent des signes, mais le chemin qui les relie n'est pas encore établi[1].

Le linéaire B a été lu

Le linéaire B fut déchiffré dans les années 1950. L'architecte britannique Michael Ventris y parvint. Il montra que la langue notée par le linéaire B était une forme ancienne du grec. Le spécialiste des études classiques John Chadwick l'aida dans ses recherches[1].

Ventris commença en traçant un tableau. Il plaça les consonnes sur les lignes horizontales et les voyelles sur les lignes verticales[8]. On appelle ce type de tableau une grille syllabique. C'est un schéma qui prépare une case pour chaque syllabe. Ventris réduisit par les statistiques les possibilités de placement de chaque signe[1].

Il inséra ensuite dans les cases ainsi réduites des noms de lieux comme Cnossos et Phaistos. Quand les noms de lieux correspondirent, les autres signes se dénouèrent les uns après les autres. Les chercheurs appliquèrent la même méthode au linéaire A. Ils transférèrent aux signes semblables les valeurs phonétiques du linéaire B[3]. Des sons apparurent. Mais personne ne comprit quelle langue ces sons représentaient[1].

Il est étrange d'obtenir des sons sans obtenir de sens. C'est parce que lire des signes et comprendre une langue sont deux choses différentes. Une personne qui connaît le hangeul peut lire une langue étrangère inconnue si elle est écrite en hangeul. Les sons sortent, mais le sens reste inconnu. Les chercheurs devant le linéaire A se trouvent dans la même situation.

Il n'existe pas de pierre bilingue

Pour lire une écriture ancienne, les chercheurs cherchent souvent un document correspondant. C'est un document qui donne le même contenu dans deux langues côte à côte. On appelle cela une inscription bilingue. Les hiéroglyphes égyptiens ont été déchiffrés grâce à la pierre de Rosette. La pierre de Rosette portait le même décret gravé dans trois écritures. L'une d'elles était le grec ancien, que les chercheurs savaient déjà lire.

L'écriture cunéiforme de Mésopotamie suivit un chemin semblable. Sur la falaise de Behistun, en Iran, une inscription en trois langues avait été conservée. Au départ, aucune des trois langues de cette inscription ne pouvait être lue. Le vieux-perse fut déchiffré en premier. Ses signes étaient peu nombreux et les mots étaient séparés. Les chercheurs utilisèrent ensuite le vieux-perse déchiffré comme point d'appui pour lire les autres langues.

En Crète, aucun document de ce type n'a été trouvé. Il n'existe pas d'objet portant une version grecque à côté du linéaire A. Les textes laissés par les Minoens sont écrits uniquement dans leur propre langue. Sans texte correspondant, il n'existe pas de moyen de vérifier le sens[1].

On ne voit pas non plus de marque pouvant servir d'indice. Champollion, qui lut les hiéroglyphes égyptiens, disposait des cartouches. Ce sont de longs cadres entourant les noms de rois. On savait d'avance que les signes placés dans ces cadres étaient des noms de personnes. Champollion en tira plusieurs valeurs phonétiques, puis déchiffré le reste. Les tablettes en linéaire A n'ont pas de tels cadres[1].

Il existe un autre problème. On ignore la racine de la langue notée par le linéaire A. Les chercheurs appellent cette langue le minoen. On ne sait pas à quelle famille de langues le minoen appartient. Certains soutiennent qu'il relève de la famille indo-européenne. D'autres le rattachent à l'Asie occidentale. Parmi ces hypothèses, les mieux étayées seraient la piste sémitique et la piste lycienne. Le lycien est une langue ancienne parlée dans le sud-ouest de l'actuelle Turquie[1]. Aucune hypothèse n'a obtenu l'accord du monde savant.

Le linéaire A n'apparaît pas seulement en Crète. On l'a aussi découvert sur plusieurs îles de la mer Égée et en Grèce continentale[1]. Il a également été trouvé sur le site de Santorin enseveli par le volcan. L'écriture s'est donc diffusée le long des routes maritimes empruntées par les Minoens. Ces documents montrent combien la Méditerranée de l'âge du bronze était largement reliée.

C'est aussi pour cette raison que les chercheurs s'attachent au linéaire A. Le linéaire A compte parmi les écritures anciennes trouvées sur le sol européen. C'est le seul ensemble de textes que les Minoens aient laissé dans leur propre langue. Si le linéaire A est déchiffré, on saura ce qu'ils croyaient et ce qu'ils achetaient ou vendaient. C'est aussi là que se trouvent les racines du récit du Minotaure conservé dans la mythologie grecque.

1 400 courts registres

La quantité de documents conservés n'est pas suffisante non plus. Une inscription désigne un texte gravé ou dessiné sur un objet. À ce jour, environ 1 370 inscriptions en linéaire A ont été confirmées. Même en additionnant tous les signes qu'elles contiennent, on obtient environ 7 400 signes[1]. C'est une quantité sans comparaison avec les archives d'Égypte ou de Mésopotamie.

Les textes sont aussi courts. La plupart des tablettes d'argile sont des registres de magasins. Elles indiquent quels biens sont entrés, en quelle quantité, et combien sont sortis pour telle personne. On y trouve surtout des noms de personnes, des noms d'objets et des nombres alignés. Les vraies phrases sont rares. Sans phrases, les moyens de comprendre la grammaire diminuent aussi.

Pour compter les signes, il faut distinguer plusieurs niveaux. Les signes qui notent les syllabes sont au nombre de 97. Les signes qui désignent des objets entiers sont environ 50. Il existe 4 signes pour les nombres et 17 signes pour les fractions. On connaît aussi environ 150 combinaisons formées par superposition de deux signes[6]. La liste standard qui réunit tout cela atteint 300 signes[2]. Parmi eux, peu de signes apparaissent souvent. Les autres ne se rencontrent que quelques fois. Pour confier les statistiques à un ordinateur, il faut que les mêmes signes apparaissent plusieurs fois. Les signes trop rares échappent aux statistiques.

Les chercheurs ont donc décidé de refaire les données elles-mêmes. Il s'agit de transformer des copies dessinées à la main en formes exploitables par l'ordinateur[2]. En 2026, une méthode est aussi apparue pour relire les traces gravées par la lumière[4]. Elle révèle même les sillons peu profonds que l'œil manquait[5]. Le travail qui réveille le silence de la mer Égée a ainsi recommencé par le nettoyage des données.

Références

- [1] Braović, M., Krstinić, D., Štula, M., & Ivanda, A. (2024). A systematic review of computational approaches to deciphering Bronze Age Aegean and Cypriot scripts. *Computational Linguistics*, 50(2), 725-779.
https://doi.org/10.1162/coli_a_00514
- [2] Salgarella, E., & Castellan, S. (2021). SigLA: The Signs of Linear A. A palaeographical database. In *Grapholinguistics in the 21st Century 2020: Proceedings (Grapholinguistics and Its Applications, Vol. 5, pp. 945-962)*. Fluxus Editions.
<https://sigla.phis.me/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Younger, J. G. (n.d.). Linear A texts and inscriptions in phonetic transcription. University of Kansas.
<http://people.ku.edu/~jyounger/LinearA/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Giorgi, L., & Lopez, S. (2026). Aegean Bronze Age writing systems through RTI: New potential and perspectives. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 41, e00508.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212054826000159> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] GreekReporter. (2026, 3월 14일). New technology reveals hidden secrets of 3,500-year-old Bronze Age Aegean scripts. *greekreporter.com*.
<https://greekreporter.com/2026/03/14/new-technology-reveals-hidden-secrets-aegean-bronze-age-scripts/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] Del Frio, M. (2022). Linear A. Mnamon: Ancient writing systems in the Mediterranean. *Scuola Normale Superiore*.
<https://doi.org/10.25429/sns.it/lettere/mnamon022> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Pearson, C. L., Brewer, P. W., Brown, D., Heaton, T. J., Hodgins, G. W. L., Jull, A. J. T., Lange, T., & Salzer, M. W. (2018). Annual radiocarbon record indicates 16th century BCE date for the Thera eruption. *Science Advances*, 4(8), eaar8241.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aar8241>
- [8] Stavrakakis, E. (2024). Ventris' Grids. *Bulletin of the Institute of Classical Studies*, 67(1), 86-103.
<https://doi.org/10.1093/bics/qbae033>

9.2. La traque de la police scientifique : ajuster une grille phonologique non supervisée

Une machine qui cherche les correspondances sans dictionnaire

Pour créer un traducteur, il faut en général des phrases correspondantes. On place côte à côte des phrases coréennes et anglaises, puis on les montre à la machine. On appelle ce type de données un corpus parallèle. Le linéaire A ne possède pas de corpus parallèle[3].

Les chercheurs ont donc choisi une méthode qui apprend sans corrigé. Elle ne fournit pas les réponses à l'avance et fait chercher les règles à partir des seules statistiques. On appelle cela l'apprentissage non supervisé. La machine compte dans quel ordre les signes apparaissent ensemble. Puis elle compare ces statistiques avec celles d'autres systèmes d'écriture pour chercher des correspondances.

En 2019, une équipe du Massachusetts Institute of Technology présenta cette méthode. Le modèle fut conçu par Jiaming Luo, Yuan Cao et Regina Barzilay. Ils transformèrent la mise en relation de deux systèmes d'écriture en un problème de flot à coût minimal. C'est une méthode qui place des voies d'écoulement entre les signes et attribue un coût au flux. La voie qui coûte le moins cher a de fortes chances de donner la bonne correspondance[1].

L'équipe testa ce modèle sur l'écriture ougaritique. Il dépassa le meilleur résultat précédent de 5 points de pourcentage. Elle le testa aussi sur le linéaire B. Parmi les mots apparentés au grec, il en translittéra correctement 67,3 %[1]. Toutefois, pour le linéaire B, la réponse était connue. Les chercheurs savaient d'avance que cette écriture notait du grec.

L'équipe avait une raison de choisir le linéaire B comme banc d'essai. Il faut un problème dont on connaît la réponse pour mesurer les résultats du modèle[1]. Si on l'applique directement à un problème sans réponse, on ne peut pas savoir si le résultat est juste. On mesure donc d'abord les performances sur une écriture déjà lue, puis on passe à une écriture non déchiffrée[3].

Ce que le modèle produit n'est pas une traduction achevée. Il donne, pour chaque signe, une liste de valeurs phonétiques possibles[1]. Les humains reçoivent cette liste, puis la filtrent en la comparant aux objets. L'ordinateur se charge de réduire la quantité de données à examiner[3].

Transformer la forme des sons en coordonnées

La situation du linéaire A est différente. On ne sait même pas à quelle langue il faut le comparer[3]. En 2021, le même laboratoire présenta un modèle pour traiter cette condition. Il fut conçu par Luo, Frédéric Hartmann et Enrico Santus, avec Barzilay et Cao[2].

Ce modèle traite deux difficultés à la fois. La première est l'absence de frontières entre les mots. Les écritures anciennes n'ont souvent pas d'espaces. La seconde est l'absence de langue apparentée déterminée[2].

Les chercheurs transformèrent la forme des sons en coordonnées numériques. À partir de l'alphabet phonétique international, ils placèrent les propriétés des consonnes et des voyelles dans un espace de coordonnées. Les sons produits avec les lèvres sont proches dans cet espace. Ils sont éloignés des sons produits avec la racine de la langue. Grâce à ces coordonnées, la machine produit moins de correspondances absurdes[2].

Les chercheurs testèrent ce modèle sur le gotique et l'écriture ougaritique. Puis ils l'appliquèrent à l'ibère, dont le sens n'est pas encore élucidé. Les valeurs phonétiques des signes ibères sont assez bien connues. Ce qui reste non résolu est la langue que ces sons notaient. Les chercheurs ne trouvèrent pas de preuve que l'ibère soit apparenté au basque. Ce résultat ne contredisait pas l'opinion dominante du

monde savant. Ils montrèrent aussi une procédure pour comparer les langues susceptibles d'être apparentées[2]. La même méthode peut être utilisée telle quelle pour l'étude du linéaire A[3].

Les règles révélées par les cases vides

La machine ne compare pas seulement la forme des signes. Elle intègre aussi la manière dont les signes se combinent avec leurs voisins. Certains signes n'apparaissent qu'au début des mots. D'autres ne s'attachent qu'à la fin. Il arrive aussi que deux signes n'apparaissent jamais côte à côte[3].

On appelle ces statistiques le degré de cooccurrence, ou statistiques de cooccurrence. Quand on rassemble ces statistiques, les cases vides du tableau apparaissent. Les signes placés sur une même ligne ont de fortes chances de partager la même consonne. Les signes placés dans une même colonne ont de fortes chances de partager la même voyelle[8]. L'ordinateur répète beaucoup plus vite le travail que Ventris faisait à la main[3].

L'ordinateur termine ce calcul bien plus vite qu'un humain. Avec 300 signes, le nombre de correspondances atteint des dizaines de milliers. C'est une quantité difficile à compter à la main sur du papier. Ventris accomplit ce travail sur plusieurs années[3].

Jusqu'ici, il s'agit de dessiner la structure sonore. Même si l'on dessine cette structure, le sens des sons n'apparaît pas. Remplir la grille et comprendre la langue sont deux tâches distinctes[3].

Transformer la forme des signes en données

Pour produire des statistiques, la machine doit disposer de données qu'elle peut lire. Des images imprimées dans un livre ne suffisent pas pour lancer des calculs. C'est à cela que sert le portail de données appelé SigLA. Il a été créé par Ester Salgarella, de Cambridge, et Simon Castellan, de Rennes[4].

SigLA contient 300 signes standard et environ 400 inscriptions copiées à la main. Dans ces inscriptions, on peut trouver plus de 3 000 signes isolés. Les données et les images sont publiées pour que tout le monde puisse les utiliser. On peut même isoler les traits d'un seul signe pour les comparer[4].

Une étude publiée en mars 2026 a élargi encore le grain des données. Lavinia Giorgi et Sara Lopez ont appliqué l'imagerie par transformation de réflectance aux écritures égéennes. Cette méthode consiste à éclairer le même objet depuis plusieurs directions et à prendre plusieurs photographies. Quand on assemble ces images, les petits reliefs de la surface apparaissent. On peut même examiner quel trait le burin a tracé en premier[7].

Quand ces données s'accumulent, elles deviennent utiles pour d'autres écritures. En 2022, des chercheurs de l'Université de Bologne ont réexaminé l'écriture chypro-minoenne. L'étude a été menée par Michele Corazza, Fabio Tamburini, Miguel Valério et Silvia Ferrara. Ils ont comparé les formes des signes avec un réseau neuronal sans connaissances préalables. Ils ont conclu qu'il fallait réexaminer la classification traditionnelle en trois groupes. Selon eux, les statistiques s'accordent mieux avec l'idée d'un seul système d'écriture[5].

Les résultats produits par l'ordinateur ne deviennent pas aussitôt des articles scientifiques. Ils passent par un nouvel examen des archéologues et des philologues[3]. On vérifie de quelle pièce provient telle tablette d'argile. On compare les habitudes de tracé pour savoir si l'écriture vient du même scribe[7]. Ce n'est qu'après cet examen que les résultats entrent dans les données reconnues par la recherche[3].

Les recherches qui traitent ensemble les trois écritures égéennes se poursuivent aussi. Elles placent côte à côte les hiéroglyphes crétois, le linéaire A et l'écriture chypro-minoenne. Quand on compare ces trois écritures, des règles invisibles dans une seule écriture apparaissent. L'ordinateur montre sa force dans ces comparaisons massives[3].

Ce que la machine ne peut pas faire à notre place

Ces méthodes n'ont pas encore révélé le sens du linéaire A. Il reste trois murs à franchir.

Le premier est l'objet de comparaison. L'alignement non supervisé est efficace quand il existe une parenté entre une écriture non déchiffrée et une écriture connue[1]. La langue minoenne n'a pas de langue parente conservée[3]. Les coordonnées peuvent être tracées, mais il n'existe pas de point de repère pour les fixer.

Le deuxième est la quantité de données. 1 370 inscriptions sont peu nombreuses pour l'apprentissage automatique[3]. Quand les données sont rares, un grand réseau neuronal fabrique des illusions vraisemblables. On appelle cette erreur une hallucination.

Le troisième est la vérification. Un article publié dans The Conversation en juillet 2026 a relevé ce problème. Il a été écrit par Jane Adkins, de Dublin City University. Elle y explique qu'ajuster des motifs par les statistiques ne peut pas créer un sens absent. Selon elle, il faut un appui, comme une langue connue ou un document bilingue, pour distinguer une coïncidence d'une vraie règle. La machine ne fait que réduire le nombre de candidats. Décider de leur validité reste une tâche humaine[6].

Références

- [1] Luo, J., Cao, Y., & Barzilay, R. (2019). Neural decipherment via minimum-cost flow: From Ugaritic to Linear B. In Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Association for Computational Linguistics. <https://aclanthology.org/P19-1303/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] Luo, J., Hartmann, F., Santus, E., Barzilay, R., & Cao, Y. (2021). Deciphering undersegmented ancient scripts using phonetic prior. Transactions of the Association for Computational Linguistics, 9, 69-81. https://doi.org/10.1162/tacl_a_00354
- [3] Braović, M., Krstinić, D., Štula, M., & Ivanda, A. (2024). A systematic review of computational approaches to deciphering Bronze Age Aegean and Cypriot scripts. Computational Linguistics, 50(2), 725-779. https://doi.org/10.1162/coli_a_00514
- [4] Salgarella, E., & Castellan, S. (2021). SigLA: The Signs of Linear A. A palaeographical database. In Grapholinguistics in the 21st Century 2020: Proceedings (Grapholinguistics and Its Applications, Vol. 5, pp. 945-962). Fluxus Editions. <https://sigla.phis.me/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Corazza, M., Tamburini, F., Valério, M., & Ferrara, S. (2022). Unsupervised deep learning supports reclassification of Bronze age cypriot writing system. PLOS ONE, 17(7), e0269544. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269544>
- [6] Adkins, J. (2026, 7월 27일). Cracking the code: can AI help us decipher ancient languages? The Conversation. <https://theconversation.com/cracking-the-code-can-ai-help-us-decipher-ancient-languages-288238> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Giorgi, L., & Lopez, S. (2026). Aegean Bronze Age writing systems through RTI: New potential and perspectives. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 41, e00508. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212054826000159> (consulté le 3 septembre 2026)
- [8] Stavrakakis, E. (2024). Ventris' Grids. Bulletin of the Institute of Classical Studies, 67(1), 86-103. <https://doi.org/10.1093/bics/qbae033>

9.3. La vérité établie

Les nombres et les fractions ont été compris

Dans le linéaire A, ce qui a été compris en premier est la façon de compter. Les Minoens utilisaient un système décimal, qui compte par groupes de dix. Un trait vertical vaut 1, et un trait horizontal vaut 10. Un cercle vaut 100, et un cercle avec des rayons vaut 1000[3]. Cette règle pouvait déjà se deviner en regardant les signes.

Les signes de fractions étaient plus difficiles. Les tablettes d'argile contiennent dix-sept signes de fractions[8]. Si l'on compte aussi les signes superposés, on approche de trente signes[9]. On n'a longtemps pas su quelle valeur correspondait à chaque signe.

En 2021, des chercheurs de l'Université de Bologne ont traité ce problème. L'étude a été menée par Michele Corazza, Silvia Ferrara, Barbara Montecchi, Fabio Tamburini et Miguel Valério. Ils ont associé l'ancienne méthode d'examen de la forme des signes aux calculs informatiques[1].

Les chercheurs ont d'abord établi les règles que les signes respectent sur les tablettes d'argile. Ils ont compté quels signes apparaissent ensemble et quels signes n'apparaissent pas ensemble. Puis ils ont testé par ordinateur les combinaisons de valeurs. Il y avait près de 4 millions de candidats. Ils ont réduit ces candidats par des tests statistiques et par comparaison avec les systèmes de fractions d'autres civilisations[1].

Le résultat restant était le suivant. Dans le système minoen de fractions, la plus petite valeur était $1/60$. Ce système permettait d'écrire la plupart des valeurs ayant 60 pour dénominateur. Le signe qui signifiait $1/10$ s'est transmis tel quel au linéaire B. Dans le linéaire B, ce signe servait d'unité pour mesurer les céréales sèches. Il existe un écart d'environ 250 ans entre les documents des deux écritures. Malgré cet écart, la méthode de calcul a survécu[1].

Une fois la méthode de calcul comprise, la structure des registres a commencé à apparaître. Les tablettes d'argile associent les signes d'articles et les quantités. Le même formulaire se répète dans plusieurs sites. Cela signifie que les palais de Crète partageaient les mêmes règles comptables[3]. Même sans connaître le sens des mots, la nature des documents apparaît ainsi.

Les noms de lieux se lisent, mais leur sens reste obscur

Il y a aussi des acquis du côté des sons. John Younger, de l'Université du Kansas aux États-Unis, publie depuis longtemps une liste des inscriptions en linéaire A transcrites en sons. Cette transcription attribue les mêmes valeurs sonores aux signes qui ont la même forme en linéaire B[2].

Dans cette transcription, plusieurs mots semblent être d'anciens noms de lieux de Crète. Ce sont des noms restés à des époques plus tardives, comme Cnossos et Phaistos[2]. Le fait que les noms de lieux correspondent signifie que l'hypothèse des valeurs sonores n'est pas entièrement fausse[3].

Cette hypothèse des valeurs sonores a aussi des limites nettes. Même si deux signes paraissent avoir la même forme dans les deux écritures, rien ne garantit qu'ils avaient le même son. Les créateurs du linéaire B ont emprunté l'écriture d'autrui pour noter leur propre langue. Le son a pu changer pendant cet emprunt[3]. C'est pourquoi les transcriptions ne servent que de lectures provisoires[2].

Mais on ne va pas plus loin. Une fois les noms de lieux retirés, le sens des autres mots ne s'enchaîne pas. On peut lire selon les sons, mais on ne sait pas ce que cela veut dire. Le pont entre le son et le sens n'est pas encore construit[3].

L'agitation de 2026

À l'été 2026, une annonce a affirmé que le linéaire A avait été lu. Elle venait de Tom Di Mino, un technicien de l'IA. Il n'a pas reçu de formation officielle en linguistique[4].

Di Mino a déclaré avoir écrit un script Python pour explorer deux portes d'accès aux données. Il s'agit de GORILA, qui rassemble des copies manuelles, et de SigLA, présenté plus haut. Dans sa première annonce, il disait avoir attribué des valeurs sonores à 40 signes et dressé une liste de 408 mots[4]. En août, il a publié un texte de 41 pages et porté la liste à 508 entrées. Il y ajoutait la lecture de 42 signes et

la traduction de 443 inscriptions. Il affirmait que la langue minoenne appartenait à la famille sémitique, celle de l'hébreu et de l'araméen[5].

Le monde universitaire n'a pas accepté cette affirmation. Aucun article évalué par les pairs n'a été publié[4]. Il a été rapporté qu'un examen était en cours à l'Université Rutgers et à l'Université de Cambridge. Mais aucune conclusion n'est encore parue[5]. Des affirmations selon lesquelles le linéaire A aurait été lu sont apparues plusieurs fois au cours des cent dernières années. Les chercheurs abordent donc toute nouvelle affirmation avec prudence[6].

Une autre interprétation est apparue le même mois d'août. Elle concernait l'inscription d'une table de pierre provenant du sanctuaire sommital du mont Juktas. C'était une table de libation, utilisée pour verser du vin en offrande à un dieu. Selon cette proposition, deux noms gravés sur la pierre seraient liés à des dieux grecs plus tardifs. Cette proposition reste elle aussi une hypothèse. Le linéaire A n'a pas été déchiffré avec certitude[7].

Cette histoire laisse aussi une leçon pour l'ensemble des recherches sur l'IA. La machine trouve bien les règles là où il y en a. Elle a obtenu des résultats avec des données qui doivent être cohérentes, comme les signes de fractions[1]. Mais il existe des zones que les règles seules n'atteignent pas. Le lien entre un son et un sens relève d'une convention. Quand tous ceux qui connaissent cette convention ont disparu, le calcul a peu de moyens de la faire revivre[6].

Garder les données restantes ouvertes

La méthode de recherche a changé elle aussi. Autrefois, les images d'inscriptions n'étaient publiées que dans des catalogues coûteux. Seules les personnes qui possédaient quelques livres pouvaient faire des statistiques. Aujourd'hui, les données sont publiées sur Internet. Un étudiant peut aussi les télécharger et compter les signes[3].

Quand les données sont ouvertes, la vérification devient plus rapide. Si quelqu'un propose une nouvelle lecture, d'autres peuvent la vérifier avec les mêmes données[6]. Dans l'agitation de l'été 2026, ce processus de vérification a fonctionné tel quel[4]. Ceux qui affirmaient et ceux qui examinaient regardaient les mêmes données[5].

L'ouverture des données a aussi abaissé le seuil d'entrée dans la recherche. Même une personne sans affiliation universitaire peut produire des statistiques sur les signes. Quand les regards nouveaux se multiplient, des règles auparavant manquées peuvent être saisies. En revanche, les affirmations non vérifiées augmentent elles aussi. L'ouverture et la vérification doivent avancer ensemble[6].

Une écriture encore illisible

L'IA a accompli quatre choses avec le linéaire A. La machine a rassemblé en un seul lieu des données dispersées. Elle a transformé la forme et les traits des signes en nombres pour permettre la comparaison[3]. La valeur des signes de fractions a été réduite grâce aux calculs informatiques, qui ont aidé la lecture humaine. Un problème comptant des millions de candidats a été ramené à une taille que les humains peuvent examiner[1].

Ce que la machine n'a pas fait est tout aussi clair. On ne sait toujours pas quelle langue était le minoen. Le document qui jouerait le rôle de pierre de Rosette se trouve peut-être encore sous terre, ou n'existe pas[3]. Même si l'on transcrit les sons, on ne découvre pas ce que ces mots désignent[6].

Le cas de l'écriture chypro-minoenne montre bien cette différence. Le réseau neuronal a produit un résultat qui ébranle la classification existante[10]. Cela ne signifie pas qu'il a lu cette écriture. Ce que la machine a organisé, c'est la structure des signes, non le sens des mots.

Deux voies semblent rester. La première est la découverte d'un nouvel objet. Un seul document écrit en deux langues changerait la situation. La seconde est d'affiner les données avec plus de précision. Si l'on enregistre jusqu'à chaque trait, les recherches futures pourront partir de cette base[3].

Le linéaire A reste aujourd'hui une écriture non déchiffrée. Face à lui, la machine n'a pas ouvert la porte. Elle a dessiné la forme de la serrure. Ouvrir la porte dépendra de nouveaux objets et du jugement humain[6]. Les tablettes d'argile de l'Égée ne parlent pas encore.

Références

- [1] Corazza, M., Ferrara, S., Montecchi, B., Tamburini, F., & Valério, M. (2021). The mathematical values of fraction signs in the Linear A script: A computational, statistical and typological approach. *Journal of Archaeological Science*, 125, 105214. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.105214>
- [2] Younger, J. G. (n.d.). Linear A texts and inscriptions in phonetic transcription. University of Kansas. <http://people.ku.edu/~jyounger/LinearA/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Braović, M., Krstinić, D., Štula, M., & Ivanda, A. (2024). A systematic review of computational approaches to deciphering Bronze Age Aegean and Cypriot scripts. *Computational Linguistics*, 50(2), 725-779. https://doi.org/10.1162/coli_a_00514
- [4] GreekReporter. (2026, 7월 30일). AI engineer claims to have deciphered Linear A. [greekreporter.com](https://greekreporter.com/2026/07/30/ai-engineer-claim-decipher-linear-a/). <https://greekreporter.com/2026/07/30/ai-engineer-claim-decipher-linear-a/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] GreekReporter. (2026, 8월 13일). AI engineer claims to have deciphered Linear A, identifies Minoan language as Semitic. [greekreporter.com](https://greekreporter.com/2026/08/13/ai-engineer-claim-linear-a-minoans-semitic-language/). <https://greekreporter.com/2026/08/13/ai-engineer-claim-linear-a-minoans-semitic-language/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] Adkins, J. (2026, 7월 27일). Cracking the code: can AI help us decipher ancient languages? *The Conversation*. <https://theconversation.com/cracking-the-code-can-ai-help-us-decipher-ancient-languages-288238> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] GreekReporter. (2026, 8월 14일). Linear A inscription points to Minoan origins of Greek gods Dionysos and Demeter. [greekreporter.com](https://greekreporter.com/2026/08/14/minoan-linear-a-inscription-greek-gods-dionysos-demeter/). <https://greekreporter.com/2026/08/14/minoan-linear-a-inscription-greek-gods-dionysos-demeter/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [8] Del Frio, M. (2022). Linear A. *Mnamon: Ancient writing systems in the Mediterranean*. Scuola Normale Superiore. <https://doi.org/10.25429/sns.it/lettere/mnamon022> (consulté le 3 septembre 2026)
- [9] Salgarella, E., & Castellan, S. (2021). SigLA: The Signs of Linear A. A palaeographical database. In *Grapholinguistics in the 21st Century 2020: Proceedings (Grapholinguistics and Its Applications, Vol. 5, pp. 945-962)*. Fluxus Editions. <https://sigla.phis.me/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [10] Corazza, M., Tamburini, F., Valerio, M., & Ferrara, S. (2022). Unsupervised deep learning supports reclassification of Bronze age cypriot writing system. *PLOS ONE*, 17(7), e0269544. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269544>

Chapitre 10. Cycles du soleil et sceaux animaux : les sons de l'écriture de l'Indus et du rongorongo

10.1. Dossier de l'affaire

Quatre signes gravés sur un sceau

La civilisation de l'Indus a duré d'environ 2600 av. J.-C. à environ 1900 av. J.-C.[1]. Son territoire se trouvait dans l'actuel Pakistan et le nord-ouest de l'Inde. Par la taille et le nombre de ses villes, elle compte parmi les grandes civilisations de l'âge du bronze. L'âge du bronze est une ancienne période où l'on utilisait davantage le bronze que le fer. On sait que les terres couvertes par ses villes et ses villages dépassaient 1 million de kilomètres carrés[2].

De grandes fouilles ont commencé dans les années 1920 à Harappa et Mohenjo-daro[1]. Elles furent dirigées par l'archéologue britannique John Marshall. Il était responsable de l'Archaeological Survey of India. Le chantier de Harappa fut fouillé en 1921 sous la direction de Daya Ram Sahni. Celui de Mohenjo-daro fut confié en 1922 à Rakhaladas Banerji. Marshall réunit ces fouilles et fit connaître au monde l'existence d'une nouvelle civilisation[3].

On a trouvé sous terre des rues droites en briques et des systèmes d'évacuation. On a aussi trouvé de nombreux petits sceaux carrés, plus petits que la paume d'une main[1].

L'aspect des villes dit déjà beaucoup. Les rues étaient droites, comme un damier. Chaque maison était reliée à un égout. Les briques étaient cuites selon des dimensions uniformes. Les poids servant à mesurer avaient aussi des normes. Cela signifie que cette société planifiait et respectait des règles. Pourtant, les textes qu'elle a laissés ne se lisent pas.

Les sceaux étaient faits de stéatite, une pierre tendre. La stéatite est une pierre que l'ongle peut marquer. Dans la partie inférieure du sceau, une image d'animal est gravée. On y voit par exemple une bête à une seule corne, un taureau à bosse ou un éléphant. Au-dessus de l'image, des signes sont alignés sur une ligne[1].

Un sceau sert à imprimer. Si on le presse sur de l'argile molle, l'image et les signes s'y transfèrent. Si l'on pose de l'argile sur la corde qui ferme un paquet et que l'on y imprime le sceau, cela devient un scellement. Dans les villes de l'Indus, on a aussi trouvé des scellements d'argile portant l'empreinte de sceaux[1].

Les chercheurs appellent cet ensemble de signes écriture de l'Indus ou écriture de Harappa[1]. Le mot écriture figure dans son nom, mais on ne sait pas encore la lire. On ne connaît ni ses sons ni son sens. Il en est ainsi depuis plus de cent ans après sa découverte[2].

Dire que l'on ne sait pas lire recouvre deux choses. La première est que l'on ignore le son des signes. La seconde est que l'on ignore leur signification. Aujourd'hui, on ignore les deux.

Le problème tient à la longueur. Un sceau porte en général seulement quatre ou cinq signes[1]. Même les inscriptions longues gravées sur une seule face ne dépassent pas dix-sept caractères. Il faut compter une inscription répartie sur trois faces pour atteindre vingt-six caractères[4]. Cela ne remplit même pas une ligne de cahier d'écolier.

Ces textes gravés sur des sceaux ou des récipients sont appelés inscriptions. Les inscriptions de l'Indus réunies jusqu'à présent sont au nombre d'environ 3 000[5]. Ce nombre n'est pas faible, mais chacune est trop courte. Avec seulement des textes courts, il est difficile de comprendre la structure des phrases. On n'a pas l'occasion de voir comment se placent le sujet et le prédicat.

Les signes des tablettes de bois de l'autre côté de la mer

Au milieu du Pacifique Sud se trouve l'île de Rapa Nui. Elle nous est plus familière sous le nom d'île de Pâques. Elle est située à plus de 2 000 kilomètres des terres habitées les plus proches. Elle est aussi connue pour ses grandes statues de pierre, les moaï. Sur cette île aussi, on a trouvé des tablettes de bois portant des signes au sens inconnu. Ces inscriptions sont aujourd'hui appelées rongorongo[6].

Les signes ne sont pas écrits au pinceau. Ils ont été incisés dans le bois avec des éclats d'obsidienne tranchants ou des outils en os. Leurs formes ressemblent à des humains, des oiseaux ou des poissons[6]. Les figures humaines levant les bras et les jambes apparaissent souvent.

Le sens de lecture est lui aussi inhabituel. Le lecteur commence en bas à gauche de la tablette. Après avoir lu une ligne, il tourne la tablette de 180 degrés. Il lit la ligne suivante alors que le haut et le bas sont inversés. Cette méthode, qui consiste à retourner la tablette à chaque ligne, est appelée écriture en boustrophédon inversé[6]. Plus simplement, c'est une lecture par retournement. Dans la Grèce ancienne aussi, il existait des textes qui changeaient de direction à chaque ligne. Mais dans ce cas, on ne tournait pas la tablette. Seule l'orientation des lettres changeait.

Cette méthode met les chercheurs à l'épreuve une fois de plus. Il faut décider quelle ligne est la première pour établir l'ordre[6]. Si l'ordre est mal fixé, toute la suite des signes est inversée. C'est un point où l'être humain doit d'abord juger avant d'entrer les données dans l'ordinateur.

Il reste peu d'objets. Les pièces authentiques dispersées dans les musées du monde et chez des collectionneurs privés sont au nombre de 26. Elles se trouvent toutes hors de l'île de Rapa Nui[6]. Même en additionnant tous les signes qui y sont gravés, on obtient environ 15 000 caractères[7]. C'est moins qu'un livre.

Ce petit nombre d'objets a une raison. Au XIXe siècle, la population de l'île a fortement diminué et beaucoup de tablettes de bois ont disparu. Celles qui ont survécu ont été dispersées dans des musées et des monastères européens. Quatre d'entre elles sont conservées par une congrégation religieuse à Rome[8].

La date de fabrication de ces tablettes de bois a longtemps été discutée. Certains soupçonnaient qu'elles avaient été fabriquées par imitation après l'arrivée des Européens sur l'île. En 2024, l'équipe de Silvia Ferrara a mesuré l'âge de quatre tablettes conservées à Rome[8]. Elle a utilisé une méthode qui détermine l'âge en mesurant la quantité de carbone restant dans le bois. Cette méthode s'appelle la datation au radiocarbone.

Parmi les quatre pièces, trois provenaient de bois du XIXe siècle. La dernière provenait d'un bois beaucoup plus ancien. Elle précède de plus de 200 ans les années 1720, époque où les navires européens atteignirent l'île[8]. La possibilité que les habitants de Rapa Nui aient créé eux-mêmes une écriture est devenue plus forte.

Les chercheurs ont toutefois ajouté une réserve. Le moment où l'arbre a été coupé n'est pas forcément celui où les signes ont été gravés. L'âge du bois indique seulement que la gravure est postérieure. Un vieux morceau de bois a pu être taillé et utilisé plus tard. Il reste aussi que seule une tablette a livré une datation aussi ancienne[8].

Est-ce vraiment une écriture ?

La communauté scientifique s'est longtemps disputée au sujet de ces deux systèmes de signes. Le débat n'a pas commencé par le déchiffrement. Il a d'abord porté sur une question : ces signes transcrivent-ils vraiment une langue parlée[1][9] ?

En 2004, Steve Farmer, Richard Sproat et Michael Witzel ont publié ensemble un article. Ils y affirmaient que les signes de l'Indus n'étaient pas une écriture. Ils s'appuyaient sur la brièveté des inscriptions et sur l'absence totale de longs documents. Selon eux, ces signes seraient donc plutôt des marques familiales, des marques de propriété ou des amulettes[9].

Le camp opposé a proposé de chercher une réponse par les statistiques. Il s'agit de compter la fréquence des signes et les règles selon lesquelles ils apparaissent avant ou après d'autres signes[5]. La langue humaine possède des habitudes statistiques, comme des habitudes de parole. Cette approche consiste à mesurer si ces habitudes existent aussi dans les signes.

L'avantage de cette méthode est qu'elle peut être utilisée même sans connaître le sens. Il suffit de remplacer les signes par des numéros et de compter leur ordre. C'est aussi une tâche que les ordinateurs accomplissent bien.

Les trois murs qui bloquent le déchiffrement

Aucun des deux systèmes de signes n'a encore été déchiffré. Trois murs barrent la route.

Il n'existe pas de texte de comparaison. Les hiéroglyphes égyptiens ont été compris grâce à la pierre de Rosette. La pierre de Rosette contenait le même contenu en grec. Le savant français Champollion a placé côte à côte une écriture connue et une écriture inconnue, puis les a associées. Un texte qui donne le même contenu dans deux langues est appelé bilingue. Aucun document de ce type n'a été trouvé dans les sites de l'Indus ni sur l'île de Rapa Nui[2][6].

On ne sait pas non plus quelle langue ces signes notaient. La langue réelle transcrite par des signes est appelée langue sous-jacente. Pour l'écriture de l'Indus, l'hypothèse dravidienne et l'hypothèse indo-aryenne s'opposent. Certains soutiennent aussi qu'elle n'appartient à aucune famille de langues connue[2].

Le dernier mur est la quantité de données. Aujourd'hui, l'intelligence artificielle grandit en absorbant d'immenses volumes de textes. Or ici, on ne dispose que de quelques milliers de sceaux de l'Indus et de 26 tablettes de bois[1][6]. Quand les données manquent, l'IA fabrique des mensonges plausibles. Ce phénomène s'appelle hallucination.

Ces trois murs se tiennent entre eux. Si l'on connaissait la langue sous-jacente, on pourrait tester les valeurs sonores. Si l'on disposait d'un texte bilingue, on pourrait identifier la langue sous-jacente. Si les données étaient nombreuses, les statistiques offriraient des indices. Comme aucun de ces éléments ne cède, les autres restent bloqués.

Le 5 janvier 2025, l'État indien du Tamil Nadu a annoncé une récompense. L'annonce a été faite lors de la cérémonie d'ouverture d'un colloque international organisé à Chennai pour le centenaire de la découverte de la civilisation de l'Indus[10]. Elle promet 1 million de dollars à la personne qui déchiffrera l'écriture de l'Indus de manière reconnue par les spécialistes de l'archéologie[10][11]. En septembre 2026, aucun lauréat connu n'a encore été annoncé.

Références

- [1] Rao, R. P. N., Yadav, N., Vahia, M. N., Joglekar, H., Adhikari, R., & Mahadevan, I. (2009). Entropic evidence for linguistic structure in the Indus script. *Science*, 324(5931), 1165. <https://doi.org/10.1126/science.1170391>
- [2] Khan, M. A., Khurshid, S. K., & Aslam, M. (2025). Modern algorithms for ancient scripts: A review of AI-based techniques in Indus civilization research. *Cultural and Historical Heritage: Preservation, Presentation, Digitalization*, 11(2), 11-21. <https://doi.org/10.55630/KINJ.2025.110201>

- [3] Grand Valley State University. (n.d.). Archaeologist of the month: John Marshall. gvsu.edu. <https://www.gvsu.edu/archaeology/module-spotlight-view.htm?entryId=A748C17B-A353-F70E-D7422D41F7889433> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Farmer, S. (n.d.). Claims concerning the longest Indus "inscription". safarmer.com. <https://safarmer.com/indus-longestinscription/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Yadav, N., Joglekar, H., Rao, R. P. N., Vahia, M. N., Adhikari, R., & Mahadevan, I. (2010). Statistical analysis of the Indus script using n-grams. PLoS ONE, 5(3), e9506. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009506>
- [6] Australian Museum. (2026, 5월 28일). Kohau Rongorongo: Talking tablet. australian.museum. <https://australian.museum/learn/cultures/pasifika-collections/rapa-nui-collections/kohau-rongorongo-talking-tablet/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Ross, L. (2026, 3월 31일). Reading Rongorongo (Version 2). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19362491> (consulté le 3 septembre 2026)
- [8] Ferrara, S., Tassoni, L., Kromer, B., Wacker, L., Friedrich, M., Tonini, F., Lastilla, L., Ravanelli, R., & Talamo, S. (2024). The invention of writing on Rapa Nui (Easter Island): New radiocarbon dates on the Rongorongo script. Scientific Reports, 14, 2794. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53063-7>
- [9] Farmer, S., Sproat, R., & Witzel, M. (2004). The collapse of the Indus-script thesis: The myth of a literate Harappan civilization. Electronic Journal of Vedic Studies, 11(2), 19-57. <https://doi.org/10.11588/ejvs.2004.2.620>
- [10] The Tribune. (2025, 1월 6일). Stalin announces \$1 mn prize for deciphering Indus Valley script. tribuneindia.com. <https://www.tribuneindia.com/news/india/stalin-announces-1-mn-prize-for-deciphering-indus-valley-script/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [11] Smithsonian Magazine. (2025, 1월 30일). Officials are offering \$1 million to anyone who can decode this ancient script. smithsonianmag.com. <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/officials-are-offering-1-million-to-anyone-who-can-decode-this-ancient-script-180985922/> (consulté le 3 septembre 2026)

10.2. La traque de la police scientifique : le mesureur d'entropie de l'information

Ceux qui mesurent les empreintes de l'écriture

Les sceaux de l'Indus et les tablettes de bois de Rapa Nui ne se sont jamais rencontrés. Pourtant, les chercheurs des deux domaines ont saisi le même outil. Face à des lignes de signes dont ils ignoraient le sens, les tâches possibles se ressemblaient.

Devant une écriture illisible, les chercheurs ont choisi une autre question. Au lieu de demander ce que cela signifie, ils ont demandé comment les signes sont disposés. Même sans connaître le sens, on peut compter l'ordre.

L'outil utilisé ici est l'entropie de l'information. L'entropie mesure la difficulté de prévoir ce qui vient ensuite. Si la valeur est élevée, la suite est difficile à prévoir. Si elle est faible, la suite est presque déterminée.

Ce concept vient de l'ingénierie des communications. Il a été conçu comme une règle pour mesurer la quantité d'information transmise par un signal sur une ligne téléphonique. Le calcul se fait à partir de l'ordre, indépendamment du sens. C'est pourquoi on peut l'appliquer à des écritures que l'on ne sait pas lire.

On le comprend facilement en pensant aux places dans une salle de classe. Si les élèves s'assoient par tirage au sort, on ne sait pas qui sera à côté de qui. L'entropie est alors élevée. Si les élèves s'assoient par ordre de numéro, la personne voisine est déterminée. L'entropie est alors faible.

La langue humaine se situe entre ces deux extrêmes. La grammaire contraint l'ordre, mais chacun choisit librement ce qu'il veut dire. L'entropie d'une langue humaine se trouve donc dans une zone intermédiaire. Le point de départ de la recherche consiste à prendre cette zone intermédiaire comme règle de mesure.

On peut le vérifier aussi en coréen. Après hakgyo-e, plusieurs mots peuvent venir. Ganda, gatda et danyeowatda sont tous possibles. Mais n'importe quel mot ne peut pas suivre. Cet état, où il existe des choix mais dans un champ réduit, est une caractéristique de la langue.

Mesurer les signes de l'Indus

En 2009, une équipe comprenant Rajesh Rao et Nisha Yadav a appliqué cette règle aux signes de l'Indus. Les chercheurs ont calculé l'incertitude du signe suivant lorsque le signe précédent est connu[1]. Cette valeur, qui mesure dans quelle mesure le signe suivant peut être prévu quand le signe précédent est connu, s'appelle l'entropie conditionnelle.

Ils ont aussi préparé des éléments de comparaison. D'un côté, ils ont placé des langues humaines comme l'anglais, le sanskrit et le sumérien. De l'autre, ils ont placé des éléments qui ne sont pas des langues humaines. Il s'agissait de séquences génétiques d'êtres vivants, de code de programmes informatiques et de suites de signes créées au hasard[1].

Le résultat a montré que les signes de l'Indus se situaient du côté des langues humaines. Ils étaient plus réguliers que des suites de signes aléatoires et plus libres que du code informatique. Les chercheurs ont publié ce résultat dans Science[1].

La même équipe a aussi proposé un modèle probabiliste. Le principe est de dresser un tableau indiquant la probabilité du signe suivant quand le signe précédent est fixé. Un modèle qui calcule ainsi la suite à partir du seul signe précédent s'appelle un modèle de Markov. En examinant le tableau, on voit quels signes apparaissent souvent au début d'un texte. On voit aussi quels signes apparaissent souvent à la fin[2].

L'année suivante, la même équipe a étudié la fréquence des signes. Elle a réuni environ 3 000 inscriptions et en a choisi 1 548 en bon état. Un petit nombre de signes représentait la majeure partie des usages, tandis que les autres signes apparaissaient rarement. Cette forme de répartition se retrouve constamment dans les langues humaines[3].

Cette répartition a un nom. On l'appelle la loi de Zipf. C'est la règle selon laquelle quelques mots fréquents remplissent la majeure partie d'un texte. En coréen aussi, des mots comme eun, neun, i et ga occupent les premières places. À l'inverse, les mots qui n'apparaissent qu'une seule fois sont très nombreux. Les signes de l'Indus présentaient la même forme[3].

Des règles sont aussi apparues dans l'ordre de placement. Vingt-trois signes représentaient 80 % des fins de textes. À l'inverse, il fallait 82 signes pour couvrir 80 % des débuts de textes[3]. Cela signifie que les signes de fin sont beaucoup plus limités. Cela ressemble à la manière dont, en coréen, les particules et les terminaisons se concentrent à la fin des phrases.

Les chercheurs ont aussi construit un modèle qui prédit le signe suivant à partir du signe précédent[2]. Ce modèle a restauré des signes usés et difficiles à lire avec une probabilité d'environ 75 %[3]. Un tel résultat suppose l'existence de règles.

Il ne faut pas mal comprendre le mot restaurer. Ce que le modèle complète, c'est seulement la forme du signe. On ignore toujours quel son ce signe représentait. Il remplit une case manquante du puzzle, mais il ne lit pas l'image.

Réfutation et contre-réfutation

Ce modèle a aussi des limites. Il prédit le signe suivant en regardant seulement un ou deux signes précédents[2]. Les phrases humaines mettent en relation des mots beaucoup plus éloignés. Quand les données sont courtes, on ne peut pas apprendre ces relations lointaines.

Ce résultat a aussitôt suscité une réfutation. Richard Sproat a publié une critique en 2010. Il soulignait que des valeurs d'entropie similaires ne suffisent pas à conclure qu'il s'agit d'une écriture. Selon lui, des systèmes de signes qui ne sont pas des langues humaines peuvent produire des valeurs semblables[4].

La même année, l'équipe de Rao a répondu dans la même revue. Elle a précisé qu'elle n'avait pas prouvé que les signes de l'Indus étaient une écriture. Elle expliquait seulement avoir appuyé par des statistiques la possibilité qu'il s'agisse d'une écriture[5].

En 2014, Sproat a poussé la critique plus loin. Il a réuni plusieurs ensembles de signes qui ne relevaient pas du langage humain. Il s'agissait de symboles divins mésopotamiens, de mâts totémiques d'Amérique du Nord et de motifs d'étoiles peints sur les murs des granges. Il y a aussi ajouté des pictogrammes utilisés dans les prévisions météorologiques. Il a comparé ces données et les signes de l'Indus avec les mêmes critères[6].

La procédure de classement qu'il a élaborée a rangé les signes de l'Indus du côté des signes non linguistiques. Sproat a écrit que les statistiques seules ne suffisaient pas. Selon lui, il fallait soit réussir le déchiffrement, soit trouver une preuve archéologique indépendante montrant que cette culture utilisait l'écriture[6]. Ce débat n'est pas encore clos.

Une nouvelle analyse publiée en avril 2026 se heurte à la même question. Ashish Nair a repris l'examen à partir de 1 916 inscriptions de l'Indus. Il a conçu par ordinateur de fausses données imitant des systèmes de signes non linguistiques. Il a ensuite comparé côte à côte les statistiques des données réelles de l'Indus et celles des fausses données[7].

Les données de l'Indus ne correspondaient exactement à aucune fausse donnée. Elles se situaient entre deux ensembles de fausses données. Aucun système réel de signes non linguistiques ne reproduisait tel quel les statistiques de l'Indus. Nair a écrit qu'il fallait suspendre le jugement sur leur statut d'écriture. Cet article est une prépublication mise en ligne avant l'évaluation par une revue scientifique[7].

L'œil qui reconnaît les signes

Avant les statistiques, il faut accomplir une autre tâche. Il faut transcrire en signes les marques floues gravées dans la pierre. Ce travail a longtemps reposé sur l'œil et la main des humains.

La transcription est plus difficile qu'on ne le pense. Les sceaux se sont usés pendant 4 000 ans. Même un même signe change un peu de forme selon la personne qui l'a gravé. Il arrive aussi que les avis divergent sur le fait de voir deux signes ou un seul. Si ce jugement change, les statistiques qui suivent changent aussi.

En 2017, Satish Palaniappan et Ronjoy Adhikari ont confié cette tâche à l'ordinateur. Ils ont créé un flux de traitement qui produit une liste de signes à partir d'une photographie de sceau[8].

En 2025, l'équipe de Vaishnavi Dixit a prolongé cette démarche. Elle a créé séparément un réseau neuronal pour reconnaître les signes sur les images de sceaux et un autre pour reconnaître les figures animales. Les données ont été divisées en cinq parts et testées tour à tour. Les deux réseaux ont montré une précision moyenne d'environ 85 %[9].

Pour réduire ce problème, il faut publier les critères de jugement et les comparer. En 2025, l'équipe de Muzaffar Ali Khan a organisé ce travail. Elle a réuni les recherches sur l'IA appliquée à l'écriture de l'Indus publiées de 2009 à 2025. Elle les a classées par type. Elle a aussi relevé les erreurs souvent répétées[10].

En 2025, Atul Sharma et Shubhajit Roy Chowdhury ont publié un outil. Son nom est AI-EPIGRAPHY. Quand l'utilisateur saisit une suite de signes, l'outil renvoie les candidats d'interprétation les plus probables. Il combine l'analyse des fréquences et le calcul des probabilités en chaîne[11].

En mai 2026, une tentative visant à reconstruire la base même des données a été présentée. L'équipe de Beata Megyesi a créé une base de données rassemblant des écritures rares et illisibles. Elle a placé dans un même cadre des photographies en haute résolution, des signes transcrits, des annotations et des informations de source. L'idée est que rassembler les données dispersées est une tâche préalable au déchiffrement[12].

Références

- [1] Rao, R. P. N., Yadav, N., Vahia, M. N., Joglekar, H., Adhikari, R., & Mahadevan, I. (2009). Entropic evidence for linguistic structure in the Indus script. *Science*, 324(5931), 1165. <https://doi.org/10.1126/science.1170391>
- [2] Rao, R. P. N., Yadav, N., Vahia, M. N., Joglekar, H., Adhikari, R., & Mahadevan, I. (2009). A Markov model of the Indus script. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(33), 13685-13690. <https://doi.org/10.1073/pnas.0906237106>
- [3] Yadav, N., Joglekar, H., Rao, R. P. N., Vahia, M. N., Adhikari, R., & Mahadevan, I. (2010). Statistical analysis of the Indus script using n-grams. *PLoS ONE*, 5(3), e9506. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009506>
- [4] Sproat, R. (2010). Ancient symbols, computational linguistics, and the reviewing practices of the general science journals. *Computational Linguistics*, 36(3), 585-594. https://doi.org/10.1162/coli_a_00011
- [5] Rao, R. P. N., Yadav, N., Vahia, M. N., Joglekar, H., Adhikari, R., & Mahadevan, I. (2010). Entropy, the Indus script, and language: A reply to R. Sproat. *Computational Linguistics*, 36(4), 795-805. https://doi.org/10.1162/coli_c_00030
- [6] Sproat, R. (2014). A statistical comparison of written language and nonlinguistic symbol systems. *Language*, 90(2), 457-481. <https://doi.org/10.1353/lan.2014.0031>
- [7] Nair, A. (2026, 4월 20일). How non-linguistic is the Indus sign system? A synthetic-baseline scorecard. arXiv:2604.17828. <https://arxiv.org/abs/2604.17828> (consulté le 3 septembre 2026)
- [8] Palaniappan, S., & Adhikari, R. (2017). Deep learning the Indus script. arXiv:1702.00523. <https://arxiv.org/abs/1702.00523>
- [9] Dixit, V., Hussain, N., Basak, S., Atturu, D., Mitra, D., & Bhattacharya, U. (2025). Deep learning in archiving Indus script and motif information. *Journal of Computer Applications in Archaeology*, 8(1), 156-169. <https://doi.org/10.5334/jcaa.175>
- [10] Khan, M. A., Khurshid, S. K., & Aslam, M. (2025). Modern algorithms for ancient scripts: A review of AI-based techniques in Indus civilization research. *Cultural and Historical Heritage: Preservation, Presentation, Digitalization*, 11(2), 11-21. <https://doi.org/10.55630/KINJ.2025.110201>
- [11] Sharma, A., & Roy Chowdhury, S. (2025). AI-EPIGRAPHY: An interactive tool for computational decipherment of the Indus Valley script. *Proceedings of IndiaHCI '25*. <https://doi.org/10.1145/3768633.3770145>
- [12] Megyesi, B., Rattenborg, R., Lang, B., Waldispühl, M., & Heder, M. (2026). Building a corpus and database for rare and undeciphered scripts. *Proceedings of the Fourth Workshop on Language Technologies for Historical and Ancient Languages (LT4HALA 2026) @ LREC 2026*, 184-196. ELRA Language Resources Association. <https://aclanthology.org/2026.lt4hala-1.17/> (consulté le 3 septembre 2026)

10.3. La vérité établie

La tablette de bois qui compte les lunes

Parmi les tablettes de bois de Rapa Nui, l'une porte le nom de Mamari. Cette tablette contient un passage dont l'aspect diffère des autres. Des signes en forme de croissant de lune s'y succèdent[1].

Le savant allemand Thomas Barthel s'est intéressé à ce passage au milieu du XXe siècle. Il y a vu un relevé des dates lunaires[1]. En 1990, Jacques Guy a réorganisé les données et défendu la même conclusion[2].

En 2011, Paul Horley a renforcé cette interprétation. Le calendrier de la tablette Mamari se compose de trente nuits. Ce nombre correspond au cycle réel de la lune. Il correspond aussi aux calendriers de plusieurs îles polynésiennes[1].

Horley a aussi comparé ce calendrier avec ceux de Tahiti et de Nouvelle-Zélande. Les noms donnés à chaque nuit étaient semblables d'une île à l'autre. Le calendrier de Rapa Nui avait environ trois jours de décalage par rapport à ceux des autres îles. Cette différence semble s'être formée pendant la longue séparation de l'île[1].

La disposition des signes obéissait aussi à une règle. D'autres signes s'insèrent entre les signes de croissant de lune et les divisent en huit groupes. Les deux derniers croissants indiquent les nuits où la lune n'est pas visible[1].

La même disposition apparaît hors des tablettes de bois. Parmi les pétroglyphes de l'île, certains montrent un motif de tortue accompagné de croissants de lune. Là aussi, les deux derniers croissants sont placés dans la carapace de la tortue. C'est la même manière que sur la tablette de mettre à part les nuits sans lune[1]. La tablette et la roche partageaient donc le même mode de calcul.

Cette interprétation est largement admise dans les études sur le rongorongo. Pourtant, ce qui a été lu est l'ordre des dates. On ne sait pas comment les habitants de Rapa Nui appelaient ces nuits.

La réponse donnée par l'IA et son poids

Compter les lunes et compter les années sont deux opérations liées. Une éclipse solaire se produit quand le soleil et la lune se superposent. Ainsi, l'affirmation selon laquelle on a lu le calendrier s'étend vite à l'affirmation selon laquelle on a lu tout le ciel.

En mars 2026, Logan Ross a publié une prépublication. Il a analysé le rongorongo en faisant fonctionner un modèle de langage sur un ordinateur personnel. Il a créé un dictionnaire composé de 89 signes. Il a affirmé que ce dictionnaire couvrait près de 97 % des documents restants. Il a aussi soutenu que la tablette Mamari était une table permettant de prévoir les éclipses solaires et lunaires[3].

Cette affirmation n'a pas encore été vérifiée par le monde scientifique. Le texte de Ross n'est pas un article accepté par une revue scientifique. C'est une prépublication d'abord déposée dans une archive en ligne[3]. N'importe qui peut déposer une prépublication. D'autres chercheurs doivent ensuite examiner si son contenu est exact.

Face à ce type d'affirmation, il faut regarder la méthode de vérification. Les documents rongorongo conservés sont au nombre de 26 et comptent environ 15 000 caractères[3]. Avec si peu de données, des résultats qui semblent correspondre par hasard peuvent facilement apparaître. Si l'on attribue librement des valeurs sonores à 89 signes, on peut produire presque n'importe quelle phrase. C'est pourquoi le monde scientifique demande d'abord si d'autres personnes obtiennent les mêmes résultats avec la même méthode.

Un vrai déchiffrement doit passer une épreuve. Il faut prendre une autre tablette de bois qui n'a pas servi à construire le déchiffrement et essayer de la lire. Là aussi, des phrases compréhensibles doivent apparaître. Le linéaire B, qui notait le grec mycénien, est un exemple de réussite à cette épreuve[4]. Le rongorongo et l'écriture de l'Indus n'ont pas encore franchi ce seuil.

Ce que la machine fait et ne fait pas

Ce que l'IA a accompli jusqu'ici avec ces deux écritures est clair.

La machine reconnaît les signes à partir de marques floues[5]. Elle termine en quelques heures un travail qui prendrait des mois à un humain par comparaison visuelle. Elle restaure aussi, grâce au

contexte, des signes usés et difficiles à lire[6]. Elle rassemble en un seul lieu les photographies et les relevés d'objets dispersés et les rend consultables[7].

Le rassemblement des données est peu visible. Pourtant, sans ce travail, aucun calcul ultérieur n'est possible. Si la luminosité et l'angle des photographies varient trop, les signes ne peuvent pas être comparés. Si les règles de transcription changent selon les chercheurs, les statistiques divergent aussi. La base de données publiée en 2026 tente d'unifier ces critères[7].

Il existe aussi des résultats du côté des statistiques. Plusieurs recherches ont confirmé que les signes de l'Indus ne forment pas une suite aléatoire[6][8]. La conclusion selon laquelle leur disposition obéit à des règles a été reproduite à plusieurs reprises. Cela ne signifie pas pour autant qu'il s'agit d'une écriture. Dire qu'il existe des règles n'est pas la même chose que dire que ces signes transcrivent une langue.

Mais ce que la machine ne parvient pas à faire reste plus important. On ignore encore la valeur sonore de chaque signe de l'Indus[9]. On ignore aussi la valeur sonore des signes rongorongo[3]. Pour les deux écritures, aucun mot n'a encore reçu un sens assuré. On ne sait pas non plus si ce qui est inscrit sur les sceaux de l'Indus désigne des noms de personnes ou des noms d'objets[9].

La raison tient à la nature des données. Un texte bilingue facilite beaucoup le déchiffrement. Ni les sites de l'Indus ni l'île de Rapa Nui ne possèdent un tel texte[9]. Il existe bien des cas résolus sans texte bilingue. Le linéaire B a été déchiffré ainsi. Mais, dans ce cas, il existait des indices sur la langue de base, et les données étaient abondantes[4]. Pour l'écriture de l'Indus, la langue de base n'est pas même établie[9]. Pour le rongorongo, les textes conservés sont trop peu nombreux[3].

L'analyse d'avril 2026 a de nouveau montré cette situation par les chiffres. Les 1 916 inscriptions de l'Indus ne correspondaient exactement ni aux statistiques d'une langue humaine, ni à celles de signes non linguistiques[10]. Cela signifie que la question ouverte depuis plus d'un siècle reste ouverte.

Se tenir du côté de l'attente

La recherche sur les écritures non déchiffrées exige deux attitudes. La première consiste à pousser les nouveaux outils jusqu'au bout. La seconde consiste à douter des résultats obtenus.

L'IA accomplit bien la première tâche. Elle compte, compare et aligne les candidats. La seconde tâche revient aux humains. Il faut juger quels candidats sont plausibles pour l'époque concernée. Ce jugement doit tenir compte de l'emplacement des sites, des objets trouvés dans les tombes et des traditions orales conservées.

L'interprétation du calendrier de Rapa Nui en est un exemple. Compter les signes de croissant de lune relève du calcul. Comparer ces trente nuits avec les calendriers de plusieurs îles polynésiennes relève de la vérification historique[1]. Quand ces deux travaux se sont rejoints, l'interprétation a gagné en force.

Les figures animales des sceaux de l'Indus relèvent du même type de données. Nous ne savons pas ce que signifiait l'animal à une seule corne. Il en va de même pour les trente nuits de la tablette Mamari. L'ordre a été compris, mais on ne sait pas ce que les gens faisaient pendant ces nuits.

Dire que l'on ne sait pas a aussi de la valeur. Il faut tracer la limite entre ce qui est établi et ce qui relève de l'hypothèse pour que la recherche suivante puisse commencer. Si cette limite devient floue, un récit vraisemblable se fait passer pour un fait. Dans l'étude des écritures non déchiffrées, tracer cette limite est aussi important que produire un résultat.

Les deux écritures étudiées dans ce chapitre ne se sont jamais rencontrées. Plus de 3 000 ans les séparent, et leurs lieux de vie se trouvent aux antipodes. Pourtant, les difficultés rencontrées par les

chercheurs sont presque les mêmes. Les données sont courtes, les textes bilingues manquent, et la langue de base est inconnue. C'est pourquoi les mêmes outils sont utilisés dans les deux cas.

Le prix de 1 million de dollars annoncé par l'État du Tamil Nadu reflète aussi cette situation[11]. Plus d'un an après l'annonce de la récompense, personne ne l'a encore remportée. Les machines à calculer sont devenues plus rapides, mais la clé n'est pas encore apparue.

Références

- [1] Horley, P. (2011). Lunar calendar in rongorongo texts and rock art of Easter Island. *Journal de la Societe des Oceanistes*, 132, 17-38. <https://doi.org/10.4000/jso.6314>
- [2] Guy, J. B. M. (1990). The lunar calendar of Tablet Mamari. *Journal de la Societe des Oceanistes*, 91(2), 135-149. <https://doi.org/10.3406/jso.1990.2882>
- [3] Ross, L. (2026, 3월 31일). Reading Rongorongo (Version 2). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19362491> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Chadwick, J. (1958). *The decipherment of Linear B*. Cambridge University Press.
- [5] Palaniappan, S., & Adhikari, R. (2017). Deep learning the Indus script. arXiv:1702.00523. <https://arxiv.org/abs/1702.00523>
- [6] Yadav, N., Joglekar, H., Rao, R. P. N., Vahia, M. N., Adhikari, R., & Mahadevan, I. (2010). Statistical analysis of the Indus script using n-grams. *PLoS ONE*, 5(3), e9506. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009506>
- [7] Megyesi, B., Rattenborg, R., Lang, B., Waldispuhl, M., & Heder, M. (2026). Building a corpus and database for rare and undeciphered scripts. *Proceedings of the Fourth Workshop on Language Technologies for Historical and Ancient Languages (LT4HALA 2026) @ LREC 2026*, 184-196. ELRA Language Resources Association. <https://aclanthology.org/2026.lt4hala-1.17/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [8] Rao, R. P. N., Yadav, N., Vahia, M. N., Joglekar, H., Adhikari, R., & Mahadevan, I. (2009). Entropic evidence for linguistic structure in the Indus script. *Science*, 324(5931), 1165. <https://doi.org/10.1126/science.1170391>
- [9] Khan, M. A., Khurshid, S. K., & Aslam, M. (2025). Modern algorithms for ancient scripts: A review of AI-based techniques in Indus civilization research. *Cultural and Historical Heritage: Preservation, Presentation, Digitalization*, 11(2), 11-21. <https://doi.org/10.55630/KINJ.2025.110201>
- [10] Nair, A. (2026, 4월 20일). How non-linguistic is the Indus sign system? A synthetic-baseline scorecard. arXiv:2604.17828. <https://arxiv.org/abs/2604.17828> (consulté le 3 septembre 2026)
- [11] The Tribune. (2025, 1월 6일). Stalin announces \$1 mn prize for deciphering Indus Valley script. [tribuneindia.com. https://www.tribuneindia.com/news/india/stalin-announces-1-mn-prize-for-deciphering-indus-valley-script/](https://www.tribuneindia.com/news/india/stalin-announces-1-mn-prize-for-deciphering-indus-valley-script/) (consulté le 3 septembre 2026)

Chapitre 11. L'IA relit les inscriptions grecques brisées : modèles de fondation et Ithaca

11.1. Dossier d'enquête

Les archives d'un pays gravées dans la pierre

Les Grecs de l'Antiquité gravaient les affaires importantes dans la pierre. Lorsqu'ils adoptaient une nouvelle loi, ils en gravaient le contenu sur une stèle et la plaçaient sur l'agora. Les registres des impôts perçus restaient aussi sur la pierre. Les listes d'objets offerts aux temples y restaient aussi. Ces textes gravés sur pierre ou sur bronze s'appellent des inscriptions. La discipline qui les rassemble et les lit est l'épigraphie. Elle étudie les textes gravés sur la pierre ou le métal[4].

Les inscriptions sont en général des documents laissés directement par les gens de leur époque. On y trouve rarement les traces de copies et de corrections faites plus tard. Elles sont donc précieuses pour les historiens. Mais elles ne gardent pas toujours leur état d'origine. Certaines stèles ont été effacées ou regravées ensuite. Il existe aussi des cas où la pierre a été poncée puis réutilisée. Les inscriptions nous disent aussi quand Athènes a conclu une alliance avec telle ou telle cité[4].

Les inscriptions étaient faites pour être vues par beaucoup de gens. On les plaçait sur l'agora ou devant les temples pour que les passants les lisent. Leur fonction ressemble à celle d'un avis affiché dans un couloir d'école. C'est pourquoi elles indiquent clairement le nom des magistrats du jour et la date. Les historiens utilisent ces noms et ces dates comme indices[4].

Lettres effacées, lacunes

Le problème, c'est le temps. Les stèles sont restées des milliers d'années sous la pluie et le vent. La surface de la pierre s'est peu à peu usée. Les creux des lettres sont devenus moins profonds. Les stèles enfouies ont été attaquées par l'humidité et les micro-organismes. Certaines se sont brisées, et il n'en reste qu'un côté[1].

Ainsi, des blancs apparaissent dans les inscriptions là où les lettres ont disparu. Les chercheurs appellent ces blancs des lacunes. En latin, c'est lacuna[1]. Une lacune perce le milieu d'une phrase. Si un nom de personne disparaît, on ne sait plus qui a fait l'action. Si un nombre disparaît, on ne sait plus combien a été payé. Si un nom de cité disparaît, on ne sait plus avec quel pays l'accord a été conclu.

Depuis longtemps, les chercheurs tentent de combler ces blancs. Ils cherchaient d'autres inscriptions de même époque et de contenu semblable, puis les comparaient. Les inscriptions grecques suivaient des formules établies. Les documents annonçant une loi présentaient presque toujours les phrases dans le même ordre. Quand le début et la fin subsistent, on peut donc deviner les mots disparus[1].

Les stèles sont trop lourdes pour être transportées au laboratoire. Les chercheurs appliquaient donc du papier humide sur la pierre et le pressaient. Une fois sec, le papier faisait ressortir les creux des lettres. Cette copie sur papier s'appelle un estampage. Les chercheurs revenaient avec l'estampage et lisaient les lettres à leur bureau. Dans les anciens catalogues imprimés, on ne trouvait souvent que les lettres transcrites, sans photographie. Les chercheurs suivants devaient donc lire les lettres sans voir l'aspect de la pierre[4].

La conjecture obéit à des règles. Il faut d'abord compter combien de lettres occupaient le blanc. On peut l'estimer en mesurant l'écart entre les lettres conservées sur la pierre. Ensuite, seuls les mots ayant le bon nombre de lettres deviennent des candidats. Les lettres ainsi ajoutées doivent toujours être écrites entre crochets. Sous les lettres dont la forme est dégradée et difficile à lire, on place un petit point. Cette

convention s'appelle le système de Leyde. Elle sert à distinguer les lettres conservées sur la pierre des hypothèses humaines[1, 4].

Le conflit autour du sigma à trois traits

Pour lire une inscription, il faut aussi savoir quand elle a été gravée. Une méthode ancienne consiste à dater le texte d'après la forme des lettres. En effet, cette forme change peu à peu selon les époques[2].

Un exemple fréquent dans les inscriptions athéniennes est le sigma. Le sigma est une lettre de l'alphabet grec. Aux périodes anciennes, on gravait un sigma à trois traits. Plus tard, le sigma à quatre traits s'est largement répandu. Pendant longtemps, les chercheurs ont pris le sigma à trois traits comme repère. Quand une inscription contenait cette lettre, ils la dataient d'avant environ 446 av. J.-C.[2].

Mais certains chercheurs ont contesté ce critère. Le rythme de changement des écritures variait selon les régions. Certaines régions ont conservé longtemps les anciennes formes. Même dans une même cité, chaque artisan avait ses habitudes de gravure[2].

C'est pourquoi les débats ont continué sur la date des inscriptions de traités conclus entre Athènes et d'autres cités. Un camp les plaçait avant environ 446 av. J.-C. L'autre les datait des années 420 av. J.-C.[2]. Les années 420 av. J.-C. correspondent au cœur de la guerre du Péloponnèse. Cette guerre a commencé en 431 av. J.-C. Si la datation change de plusieurs décennies, le récit historique change aussi. Le moment où Athènes a imposé sa puissance aux cités alliées se déplace tout entier.

Comblé les blancs comporte un risque. Un mot ajouté par un chercheur peut être lu comme le texte original par la génération suivante. Une seule édition imprimée qui omet les crochets peut transformer une hypothèse en fait[1]. C'est pourquoi les épigraphistes marquent toujours leurs conjectures.

Il faut aussi déterminer où l'inscription se dressait à l'origine. Les cités grecques utilisaient chacune leur dialecte. Un même mot pouvait s'écrire différemment selon la cité[2]. Les chercheurs déduisaient le lieu de découverte à partir de ces différences d'orthographe et des noms de fonctions publiques[4]. Le lieu de découverte est l'endroit où la stèle est sortie de terre.

La main humaine ne peut pas tout lire

Les inscriptions à lire continuent de s'accumuler. Les inscriptions grecques réunies par le Packard Humanities Institute sont au nombre de 178 551[2]. Les inscriptions latines de l'époque romaine dépassent aussi 176 000 pièces[3]. En revanche, les chercheurs capables de lire ces inscriptions sont peu nombreux dans le monde[4].

Même préparer les chiffres n'est pas simple. Quand ces données ont été nettoyées pour être lisibles par machine, il est resté 78 608 inscriptions. Plus de la moitié des données ont été écartées parce qu'elles étaient trop courtes ou en trop mauvais état. Le simple choix des données à donner à la machine était déjà un grand travail[2].

Comblé les blancs est difficile même pour les humains. Une expérience a demandé à des épigraphistes formés de compléter des inscriptions dont les lettres avaient été effacées. Le premier choix proposé par les humains était correct dans 25 % des cas[2]. Cela signifie qu'ils se trompaient trois fois sur quatre. Dans une expérience antérieure, le taux d'erreur des lettres complétées par des humains atteignait 57,3 %[1].

La situation des papyrus est encore pire. Le papyrus est le nom d'une plante qui pousse au bord de l'eau en Égypte. Les anciens découpaient finement l'intérieur de cette plante. Ils superposaient ces bandes dans les deux sens, les martelaient, les pressaient et les faisaient sécher. Le matériau d'écriture ainsi obtenu s'appelle aussi papyrus. Des centaines de milliers de feuilles ont été trouvées dans le sable sec

d'Égypte. Les papyrus grecs que personne n'a encore lus se comptent à un million[5]. On y trouve des reçus d'impôts, des lettres et des contrats. Ce sont des documents qui contiennent la vie quotidienne des anciens.

Lire ne se résume pas à ouvrir des boîtes. Le papier est déchiré et l'encre est effacée. Il faut d'abord le conserver et assembler les fragments dispersés. Ce n'est qu'ensuite que les lettres peuvent être déchiffrées. Il manque des personnes pour faire tout ce travail[4].

La manière de lire les données posait aussi problème. Pendant longtemps, les inscriptions se sont accumulées seulement sous forme de listes de lettres dans des livres. Les photographies de la pierre et les informations sur le matériau n'étaient pas conservées avec elles[4]. Cela signifie que les seules informations données à la machine étaient les lettres.

Les fouilles continuent encore aujourd'hui. Chaque année, de nouvelles stèles et de nouveaux papyrus sortent de terre. Les documents à lire augmentent, mais le nombre de lecteurs reste le même[4]. Cet écart s'est creusé avec les années.

Ainsi, de nombreux documents sont restés dans les boîtes des musées sans être lus. La pierre et le papier existaient, mais il manquait des personnes pour faire revivre les phrases qu'ils portaient. Les chercheurs ont donc appelé les machines pour dégager cette impasse[4].

Références

- [1] Assael, Y., Sommerschield, T., & Prag, J. (2019). Restoring ancient text using deep learning: a case study on Greek epigraphy. In Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP) (pp. 6368-6375). Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/D19-1668>
- [2] Assael, Y., Sommerschield, T., Shillingford, B., Bordbar, M., Pavlopoulos, J., Chatzipanagiotou, M., Androutsopoulos, I., Prag, J., & de Freitas, N. (2022). Restoring and attributing ancient texts using deep neural networks. *Nature*, 603(7900), 280-283. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04448-z>
- [3] Assael, Y., Sommerschield, T., Cooley, A., Pavlopoulos, J., Shillingford, B., Herms, B., Suresh, P., Maynard, B., Grayston, J., Wulgaert, R., Prag, J., Mullen, A., & Mohamed, S. (2025). Contextualizing ancient texts with generative neural networks. *Nature*, 645(8079), 141-147. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09292-5>
- [4] Sommerschield, T., Assael, Y., Pavlopoulos, J., Stefanak, V., Senior, A., Dyer, C., Bodel, J., Prag, J., Androutsopoulos, I., & de Freitas, N. (2023). Machine learning for ancient languages: A survey. *Computational Linguistics*, 49(3), 703-747. https://doi.org/10.1162/coli_a_00481
- [5] Reply. (2026, 3월 19일). Austrian Academy of Sciences is developing the Ancient Greek AI "Apollo" with Mistral AI and Reply. [reply.com. https://www.reply.com/en/newsroom/news/austrian-academy-of-sciences-is-developing-the-ancient-greek-ai-apollo-with-mistral-ai-and-reply](https://www.reply.com/en/newsroom/news/austrian-academy-of-sciences-is-developing-the-ancient-greek-ai-apollo-with-mistral-ai-and-reply) (consulté le 3 septembre 2026)

11.2. La piste de la police scientifique : Ithaca et Apollo, dispositifs d'autocomplétion des textes anciens

Une machine qui apprend par les blancs

La manière dont l'IA lit les textes anciens ressemble à un exercice à trous en cours de langue. On montre à la machine de nombreuses inscriptions intactes. Puis on masque quelques lettres et on lui demande ce qui doit entrer à leur place. Si la réponse est fausse, on modifie peu à peu les nombres à l'intérieur de la machine[4]. En répétant ce processus des millions de fois, la machine apprend les habitudes des phrases grecques.

Une machine ainsi entraînée ne mémorise pas simplement les mots. Elle retient sous forme de probabilités quels mots viennent souvent après quels autres[4]. Elle peut donc proposer des candidats adaptés aux blancs même dans une inscription jamais vue.

De Pythia à Ithaca

En 2019, des chercheurs ont présenté un modèle appelé Pythia. Il a été conçu par Yannis Assael, Thea Sommerschildt et Jonathan Prag. Pythia est un réseau neuronal qui prédit les lettres effacées dans les inscriptions grecques[1]. Un réseau neuronal est une structure de calcul qui apprend seule des règles à partir des données. Il imite les connexions entre les cellules nerveuses du cerveau humain.

Pythia lit à la fois au niveau des lettres et au niveau des mots. Il faut deux regards pour traiter des données où la moitié d'un mot est brisée. Quand le taux d'erreur des lettres complétées par les humains était de 57,3 %, Pythia a enregistré 30,1 %. La bonne réponse figurait parmi les 20 candidats de Pythia dans 73,5 % des cas[1].

En 2022, Ithaca est apparu. Google DeepMind l'a créé avec plusieurs universités. L'université d'Oxford, l'université Ca' Foscari de Venise et l'université d'économie et de commerce d'Athènes y ont participé. Les résultats ont été publiés en mars 2022 dans la revue Nature[2]. Son nom vient de l'île d'Ithaca dans l'épopée de l'Odyssée. Il porte l'idée d'un retour chez soi après une longue errance.

Comment Ithaca juge-t-il ?

Ithaca utilise une architecture appelée transformeur. Un transformeur est un réseau neuronal qui évalue à quel point les mots d'une phrase sont liés les uns aux autres. L'endroit où les lettres sont effacées est remplacé par un signe indiquant un blanc. Le modèle calcule la probabilité des lettres qui peuvent remplacer ce signe[2].

Ithaca accomplit trois tâches. Il complète les lettres effacées, identifie le lieu d'origine de l'inscription et estime quand elle a été gravée. Il n'apprend pas ces trois tâches séparément, mais en même temps. Les dialectes et les habitudes orthographiques donnent des indices sur le lieu. L'usage des mots et les formules de phrase donnent des indices sur la période. Quand un même réseau neuronal traite ces indices ensemble, ils se renforcent mutuellement[2].

Ithaca ne regarde pas les photographies de la pierre. Il lit seulement les lettres transcrites et juge à partir d'elles[2]. Sa voie est donc différente des anciennes méthodes qui dataient les textes d'après la forme des traits.

Sa manière de donner une date est aussi différente. Ithaca ne désigne pas une seule année précise. Il divise la période allant de 800 av. J.-C. à 800 apr. J.-C. en tranches de dix ans. Puis il attribue une probabilité à chaque tranche et l'affiche sous forme de graphique[2]. Le chercheur observe les sommets du graphique pour juger quelle période est la plus probable.

Les données d'entraînement viennent du corpus d'inscriptions du Packard Humanities Institute. Il s'agit des 78 608 inscriptions vues plus haut. Même en ne comptant que les mots apparaissant plus de dix fois, on en obtenait 35 884[2].

Lors de la création d'Ithaca, l'équipe de recherche s'est fixé trois objectifs. Travailler avec les chercheurs. Aider leur jugement. Montrer le processus de jugement. Le but n'était pas de remplacer les humains par une machine. Il s'agissait de créer un outil capable d'entrer dans la manière de travailler des chercheurs[2].

Ithaca ne donne pas une seule réponse. Il présente plusieurs candidats pour le blanc, avec leurs probabilités. Il indique aussi à l'écran quelles lettres ont conduit à ce jugement. Le chercheur peut voir de ses propres yeux sur quoi la machine s'appuie pour répondre. La décision finale reste humaine. L'équipe de recherche a publié le code et les données d'Ithaca[2].

Ce que signifient vingt candidats

La machine ne donne pas une seule réponse. Elle classe les candidats par ordre de probabilité. Le taux auquel le premier candidat est correct s'appelle la précision top 1. Le taux auquel la bonne réponse figure parmi les vingt premiers s'appelle la précision top 20[1].

Cette distinction est importante. Ce dont le chercheur a besoin n'est pas une seule bonne réponse. C'est une liste de candidats à examiner. Si la bonne réponse se trouve parmi les vingt, le chercheur peut la choisir dans cette liste[1]. Il peut aussi y découvrir un mot auquel il n'avait pas pensé[2].

Aeneas passe au latin

La même équipe de recherche a élargi son approche aux inscriptions latines. En juillet 2025, elle a présenté dans Nature un modèle appelé Aeneas[3]. Son nom vient d'Aeneas, le héros du récit de la fondation de Rome[5].

Aeneas a appris à partir de plus de 176 000 inscriptions latines. Ces données réunissent trois bases d'inscriptions : celles de Rome, de Heidelberg et de Clauss-Slaby. Dans les passages où dix caractères ou moins étaient effacés, la bonne réponse figurait parmi les 20 candidats dans 73 % des cas. Même lorsque le nombre de caractères effacés était inconnu, le taux atteignait 58 %[3]. Répondre sans connaître la longueur effacée est difficile même pour les humains.

Aeneas a aussi identifié de quelle province romaine venait l'inscription. Une province était un territoire gouverné par Rome. Parmi 62 choix possibles, il a trouvé la bonne réponse dans 72 % des cas[5]. Pour la date de gravure, il l'a resserrée en moyenne à 13 ans à l'intérieur de la fourchette fixée par les historiens[3, 5].

Aeneas possède une nouvelle fonction. Il peut juger en recevant aussi une photographie de l'inscription[3]. Cela signifie qu'il ne regarde pas seulement les lettres transcrites, mais aussi l'aspect de la pierre. Il peut aussi trouver d'autres inscriptions ayant des phrases semblables et les afficher côte à côte. Il extrait en quelques secondes des cas comparables que les chercheurs mettaient autrefois plusieurs jours à trouver[5].

Les chercheurs ont essayé cet outil sur un texte concernant l'empereur romain Auguste. Aeneas a proposé deux périodes possibles pour la date de gravure. La première allait de 10 av. J.-C. à 1 av. J.-C. La seconde allait de 10 à 20 apr. J.-C., avec une probabilité plus élevée[5]. Les deux thèses qui divisaient les spécialistes sont apparues telles quelles sur le graphique de probabilité.

Les chercheurs ont fait tester cette fonction à 23 historiens. Ceux-ci ont répondu qu'ils avaient obtenu de nouvelles idées de recherche pour neuf inscriptions sur dix[3, 5]. Le modèle a été rendu public pour que tout le monde puisse l'utiliser[5].

Apollo, qui apprend le grec dans son ensemble

En mars 2026, l'Académie autrichienne des sciences a annoncé un nouveau modèle. Son nom est Apollo. Il est développé avec l'entreprise d'IA Mistral AI et l'entreprise de technologies de l'information Sail Reply[7]. Si Ithaca est un outil qui traite une inscription à la fois, Apollo vise à devenir un modèle qui apprend l'ensemble du grec[6].

On appelle ce type de modèle un modèle de fondation. Cela signifie un modèle de base entraîné largement pour servir à de nombreux usages. Ce n'est pas un outil conçu pour une seule tâche[4]. Il utilise le même socle pour restaurer des inscriptions, rechercher des textes et lire des écritures[6].

Les données apprises par Apollo représentent environ 600 millions de mots de littérature grecque. À cela s'ajoutent des dizaines de milliers d'inscriptions et de papyrus déjà publiés[6, 7]. Les chercheurs ont indiqué qu'il s'agissait d'un des plus vastes ensembles de données grecques réunis jusqu'ici[7].

La Bibliothèque nationale d'Autriche possède de nombreux papyrus. Elle en conserve à elle seule des dizaines de milliers[7]. Des documents non encore lus s'y trouvent mêlés.

La recherche est dirigée par Anna Dolganov, de l'Institut archéologique autrichien. Elle a déclaré qu'il existe dans le monde un million de papyrus grecs que personne n'a encore lus[7]. Apollo doit restaurer les lettres dans ces documents et aider à en trouver le contenu. Lire l'écriture manuscrite fait aussi partie de ses objectifs[6, 7]. Les chercheurs ont indiqué que ce travail pourrait être accompli en quelques heures, et non en plusieurs années[7].

Références

- [1] Assael, Y., Sommerschield, T., & Prag, J. (2019). Restoring ancient text using deep learning: a case study on Greek epigraphy. In Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP) (pp. 6368-6375). Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/D19-1668>
- [2] Assael, Y., Sommerschield, T., Shillingford, B., Bordbar, M., Pavlopoulos, J., Chatzipanagiotou, M., Androutsopoulos, I., Prag, J., & de Freitas, N. (2022). Restoring and attributing ancient texts using deep neural networks. *Nature*, 603(7900), 280-283. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04448-z>
- [3] Assael, Y., Sommerschield, T., Cooley, A., Pavlopoulos, J., Shillingford, B., Herms, B., Suresh, P., Maynard, B., Grayston, J., Wulgaert, R., Prag, J., Mullen, A., & Mohamed, S. (2025). Contextualizing ancient texts with generative neural networks. *Nature*, 645(8079), 141-147. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09292-5>
- [4] Sommerschield, T., Assael, Y., Pavlopoulos, J., Stefanak, V., Senior, A., Dyer, C., Bodel, J., Prag, J., Androutsopoulos, I., & de Freitas, N. (2023). Machine learning for ancient languages: A survey. *Computational Linguistics*, 49(3), 703-747. https://doi.org/10.1162/coli_a_00481
- [5] Google DeepMind. (2025, 7월 23일). Aeneas transforms how historians connect the past. [deepmind.google](https://deepmind.google/blog/aeneas-transforms-how-historians-connect-the-past/). <https://deepmind.google/blog/aeneas-transforms-how-historians-connect-the-past/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] Mistral AI. (2026). Austrian Academy of Sciences. [mistral.ai](https://mistral.ai/customers/austrian-academy-of-sciences/). <https://mistral.ai/customers/austrian-academy-of-sciences/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Reply. (2026, 3월 19일). Austrian Academy of Sciences is developing the Ancient Greek AI "Apollo" with Mistral AI and Reply. [reply.com](https://www.reply.com/en/newsroom/news/austrian-academy-of-sciences-is-developing-the-ancient-greek-ai-apollo-with-mistral-ai-and-reply). <https://www.reply.com/en/newsroom/news/austrian-academy-of-sciences-is-developing-the-ancient-greek-ai-apollo-with-mistral-ai-and-reply> (consulté le 3 septembre 2026)

11.3. Les vérités établies

62 pour cent et 72 pour cent

Les chercheurs ont vérifié les capacités d'Ithaca par les chiffres. Le test consistait à lui donner des inscriptions dont certaines lettres avaient été volontairement masquées et à lui demander de les compléter. Le même test a aussi été soumis à des épigraphistes formés[1].

Lorsqu'une personne travaillait seule, la première réponse était correcte dans 25 pour cent des cas. Lorsqu'Ithaca travaillait seul, le taux était de 62 pour cent. L'écart était de plus du double[1].

Ce test comportait une troisième condition. Une personne résolvait le problème en consultant la liste de candidats proposée par Ithaca. Alors, la précision est montée à 72 pour cent[1]. C'est un résultat supérieur à celui de l'humain seul et aussi à celui de la machine seule.

Ce chiffre est le cœur de cette recherche. La machine calcule les probabilités avec la mémoire de 78 608 inscriptions lues. L'humain sait dans quelle histoire cette inscription prend place. Quand la machine aligne vingt candidats, l'humain les filtre avec ses connaissances historiques. La précision a été la plus élevée lorsque les deux approches ont été réunies[1, 2].

La capacité à trouver le lieu et la date a aussi été vérifiée. Ithaca a appris en divisant le monde grec en 84 régions. Il a retrouvé la patrie d'origine d'inscriptions dont le lieu de découverte était inconnu avec une précision de 71 pour cent. Pour la date de gravure, il a proposé une valeur distante en moyenne de 29,3 ans de la fourchette fixée par les historiens. Les méthodes fondées sur l'œil humain et la mesure du style des lettres pouvaient parfois atteindre une erreur de cent ans[1].

La réponse : 421 av. J.-C.

Ithaca a aussi apporté une réponse à une vieille controverse. Il s'agit du problème de datation des inscriptions des traités athéniens vu plus haut. Ces inscriptions étaient considérées comme antérieures à environ 446 av. J.-C. à cause du sigma à trois traits[1].

Les chercheurs ont soumis ces inscriptions à Ithaca. Ithaca juge non pas d'après la forme des lettres, mais d'après la phrase elle-même. Il examine quels mots sont employés avec quels autres mots. Il examine aussi quels noms de fonctions apparaissent avec quelles expressions[1].

La date moyenne proposée par Ithaca était 421 av. J.-C. C'est une génération après l'ancienne référence. Cette valeur allait dans le même sens que d'autres preuves nouvelles. Elle ne différait en moyenne que de 5 ans des datations récemment révisées par les chercheurs. Les datations établies selon l'ancien critère s'écartaient, elles, de 27 ans[1].

La machine n'a pas réécrit l'histoire toute seule. Elle a donné du poids à l'une des deux thèses longtemps opposées[1, 2]. Les chercheurs ont été amenés à réexaminer l'habitude de fixer une date à partir d'un seul style de lettre. Un outil a changé l'orientation d'un débat vieux de cent ans.

Les phrases plausibles fabriquées par la machine

Malgré ces résultats, un problème demeure. Les données apprises sont déséquilibrées. Les inscriptions grecques comprennent beaucoup de documents athéniens. Les périodes sont aussi concentrées sur l'époque classique. Les inscriptions des régions périphériques, moins nombreuses dans les données, sont donc moins précises[2].

Il existe aussi un problème d'explication. Il est difficile de savoir pourquoi la machine a répondu ainsi. Un réseau neuronal contient des millions de nombres. Il montre sur quelles lettres il s'est davantage concentré, mais il n'explique pas avec des mots pourquoi il a choisi cette réponse[2].

Un autre problème apparaît lorsque la lacune est longue. Le modèle complète bien quelques lettres, mais il peine lorsque plusieurs mots ont entièrement disparu. Dans le test d'Aeneas aussi, lorsque la longueur effacée était inconnue, le résultat est tombé de 73 pour cent à 58 pour cent[3]. Dans ce cas, le modèle peut produire une phrase grammaticalement correcte et plausible, mais qui n'a jamais existé. On appelle hallucination ce type de réponse inventée. Cela signifie une réponse fausse que la machine fabrique comme si elle était un fait. L'hallucination est dangereuse lorsqu'on traite des documents anciens. Une histoire qui n'a jamais existé peut se figer comme un fait[2].

Une étude publiée en août 2026 a affronté directement cette limite. Il s'agissait d'une expérience de restauration de documents anciens endommagés avec plusieurs modèles et dans plusieurs conditions. Les chercheurs ont conclu qu'on ne pouvait pas confier entièrement la restauration à l'automatisation. Les résultats variaient fortement selon l'endroit du document à compléter. Les documents où des formules fixes se répétaient étaient bien complétés. Les phrases écrites différemment selon les personnes étaient difficiles. Le résultat variait aussi selon que l'on connaissait ou non la longueur effacée. Les chercheurs ont déclaré qu'il fallait faire de la machine un outil d'aide pour les paléographes[4].

Pour réduire ce risque, les chercheurs ont établi des règles. Les lettres complétées par la machine sont aussi placées entre crochets. Les candidats à faible probabilité sont filtrés par les spécialistes. Les conventions de notation respectées par les anciens épigraphistes sont appliquées telles quelles à la machine[2].

Ainsi, les réponses produites par Ithaca ne sont pas des faits historiques. Ce sont des listes d'hypothèses à examiner. Elles ne deviennent des sources historiques qu'après vérification par un spécialiste au regard d'autres données[2]. Une source historique est un document de preuve qui éclaire l'histoire.

Ce qui s'est passé en sept ans

La vitesse de transformation de ce domaine peut se comparer par les chiffres. En 2019, Pythia a réduit le taux d'erreur humain de 57,3 pour cent à 30,1 pour cent[5]. En 2022, Ithaca a porté la précision de la première réponse à 62 pour cent[1]. En 2025, Aeneas est passé au latin et a réduit l'erreur de datation à 13 ans en moyenne[3]. En 2026, Apollo, qui apprend l'ensemble du grec, a été lancé[6].

En sept ans, les langues traitées se sont multipliées et la précision a augmenté. Les données traitées se sont aussi élargies, passant des lettres aux photographies[3]. Une chose n'a pas changé pendant ce temps. Le dernier jugement appartient à l'humain[2].

Photographie, contexte et prochaine étape

La recherche continue de s'élargir. Un article paru en 2026 a réentraîné un grand modèle de langage largement utilisé avec des données grecques. L'expérience utilisait le modèle Llama 3.1 publié par Meta. Dans la restauration de papyrus, la première réponse était correcte dans 73,5 pour cent des cas. Dans la restauration d'inscriptions, le taux était de 63,7 pour cent. La proportion de cas où la bonne réponse figurait parmi les 20 candidats était respectivement de 86,0 pour cent et de 83,0 pour cent. Cela signifie qu'un modèle non conçu spécialement pour les inscriptions peut aussi accomplir ce travail[7].

Des recherches sur la reconstitution des images de lettres sont aussi apparues. Mesa, publié en avril 2026, est une méthode qui complète les traits effacés sur les photographies d'inscriptions. Elle prend pour modèle les lettres bien conservées sur la même pierre et reconstitue les motifs des zones usées[8]. Les modèles qui complètent les phrases et les modèles qui complètent les photographies progressent côte à côte.

Des tragédies perdues reviennent aussi réellement. En 2022, une feuille de papyrus a été découverte sur le site de Philadelphie, en Égypte. Elle semble dater du III^e siècle apr. J.-C. En 2024, des chercheurs en ont lu et publié le contenu. Il s'agissait de 97 vers de répliques tirées des tragédies Polyidos et Ino d'Euripide. Jusqu'alors, ces deux œuvres n'étaient connues que par de brèves citations et par leur résumé[9].

Cette restauration a été accomplie par la main et l'œil humains. Ce n'est pas la machine qui l'a faite. Il reste dans le monde un million d'autres feuilles de ce type. L'œil humain seul ne peut pas lire tout cet amas de documents. C'est précisément ce que visent des modèles comme Apollo[6].

Avec la publication des outils, les méthodes de recherche ont aussi changé. Le code et les données d'Ithaca et d'Aeneas sont publics[1, 10]. Même en dehors d'un laboratoire universitaire, tout le monde peut les essayer sur le Web. Lorsqu'on téléverse une photographie d'inscription, une liste de candidats, une carte et un graphique de datation apparaissent[10]. Autrefois, ce travail de comparaison prenait plusieurs années[3].

Il reste encore beaucoup à faire. Rien que pour les papyrus grecs, un million de documents demeurent non lus[6]. Les données d'inscriptions sont inégales selon les régions et les périodes[2]. Les longues

lacunes, que la machine traite mal, restent telles quelles[3]. Ces problèmes devront être réduits un à un grâce à de meilleures données et à davantage de vérifications[4].

La machine propose des candidats, et l'humain choisit. La méthode qui a fait passer Ithaca de 62 pour cent à 72 pour cent est la réponse[1]. Pour que les pierres et les papiers silencieux parlent à nouveau, les deux côtés doivent être présents.

Références

- [1] Assael, Y., Sommerschield, T., Shillingford, B., Bordbar, M., Pavlopoulos, J., Chatzipanagiotou, M., Androutsopoulos, I., Prag, J., & de Freitas, N. (2022). Restoring and attributing ancient texts using deep neural networks. *Nature*, 603(7900), 280-283. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04448-z>
- [2] Sommerschield, T., Assael, Y., Pavlopoulos, J., Stefanak, V., Senior, A., Dyer, C., Bodel, J., Prag, J., Androutsopoulos, I., & de Freitas, N. (2023). Machine learning for ancient languages: A survey. *Computational Linguistics*, 49(3), 703-747. https://doi.org/10.1162/coli_a_00481
- [3] Assael, Y., Sommerschield, T., Cooley, A., Pavlopoulos, J., Shillingford, B., Herms, B., Suresh, P., Maynard, B., Grayston, J., Wulgaert, R., Prag, J., Mullen, A., & Mohamed, S. (2025). Contextualizing ancient texts with generative neural networks. *Nature*, 645(8079), 141-147. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09292-5>
- [4] Zhang, S., Caraffa, E., Zuffrano, A., Modesti, M., & Colavizza, G. (2026, 8월 28일). Text restoration of ancient documents with language models (arXiv:2608.28170). arXiv. <https://arxiv.org/abs/2608.28170> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Assael, Y., Sommerschield, T., & Prag, J. (2019). Restoring ancient text using deep learning: a case study on Greek epigraphy. In *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP)* (pp. 6368-6375). Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/D19-1668>
- [6] Reply. (2026, 3월 19일). Austrian Academy of Sciences is developing the Ancient Greek AI "Apollo" with Mistral AI and Reply. [reply.com. https://www.reply.com/en/newsroom/news/austrian-academy-of-sciences-is-developing-the-ancient-greek-ai-apollo-with-mistral-ai-and-reply](https://www.reply.com/en/newsroom/news/austrian-academy-of-sciences-is-developing-the-ancient-greek-ai-apollo-with-mistral-ai-and-reply) (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Cullhed, E. (2026). Instruction-tuning pretrained causal language models to restore ancient Greek papyri and inscriptions. *Digital Scholarship in the Humanities*, 41(1), 69-76. <https://doi.org/10.1093/llc/fqaf131>
- [8] Toulatzis, V., Theodoridou, S., & Fudos, I. (2026, 4월 19일). MESA: A training-free multi-exemplar deep framework for restoring ancient inscription textures (arXiv:2604.17390). arXiv. <https://arxiv.org/abs/2604.17390> (consulté le 3 septembre 2026)
- [9] O'Grady, E. (2024, 10월 11일). Unearthed papyrus contains lost scenes from Euripides' plays. *The Harvard Gazette*. <https://news.harvard.edu/gazette/story/2024/10/unearthed-papyrus-contains-lost-scenes-from-euripides-plays/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [10] Google DeepMind. (2025, 7월 23일). Aeneas transforms how historians connect the past. [deepmind.google. https://deepmind.google/blog/aeneas-transforms-how-historians-connect-the-past/](https://deepmind.google/blog/aeneas-transforms-how-historians-connect-the-past/) (consulté le 3 septembre 2026)

Chapitre 12. Une bibliothèque virtuelle qui ne brûle jamais : les archives multispectrales

12.1. Dossier d'enquête

La manière dont la bibliothèque d'Alexandrie a disparu

À Alexandrie, en Égypte, se trouvait la plus grande bibliothèque du monde antique. La dynastie ptolémaïque l'a fondée vers le III^e siècle avant notre ère. Les rois voulaient rassembler en un seul lieu les livres du monde. Les livres des navires entrant au port étaient saisis puis copiés. La copie était rendue au propriétaire, et l'original restait à la bibliothèque. Les anciens témoignages parlent de plusieurs centaines de milliers de rouleaux [1].

Beaucoup pensent que cette bibliothèque a disparu dans un grand incendie. Mais les chercheurs estiment qu'elle s'est effondrée peu à peu. En 145 avant notre ère, le roi expulsa les savants étrangers. Quand les savants partirent, les mains qui prenaient soin des livres partirent avec eux. À l'époque romaine, les bâtiments furent détruits à plusieurs reprises. L'argent pour acheter de nouveaux livres se tarit aussi [1].

Les écrits de l'Antiquité se conservent mal par nature. Les scribes de cette époque copiaient souvent des livres existants plutôt que de composer de nouveaux textes. Un rouleau de papyrus beaucoup manipulé devenait usé et difficile à lire au bout d'environ cent ans. Dans le sol sec de l'Égypte, il pouvait parfois subsister beaucoup plus longtemps. Il fallait donc que quelqu'un le recopie à temps pour que le texte continue d'exister. Quand les mains qui copiaient disparaissaient, le livre s'effaçait du monde.

Les textes antiques que nous lisons aujourd'hui ne sont qu'une partie des écrits de cette époque. Les livres dont seul le nom nous est parvenu, mais dont le texte a disparu, sont bien plus nombreux. La plupart des œuvres des auteurs de tragédies grecques antiques ont disparu de cette manière. Les livres conservés sont ceux qui ont eu la chance d'avoir des copies dispersées en plusieurs lieux.

La destruction continue aujourd'hui

Les forces qui détruisent les archives n'appartiennent pas seulement au passé. Les guerres détruisent encore des bibliothèques et des dépôts d'archives. L'UNESCO recense un par un les sites culturels endommagés en Ukraine. Au 29 juillet 2026, 545 sites avaient été confirmés. Ils comprenaient 43 musées, 22 bibliothèques et 5 dépôts d'archives. Des centaines de lieux religieux et de bâtiments anciens ont aussi été endommagés [2].

La guerre ne détruit pas seulement les objets anciens. Des objets peuvent aussi sortir en secret de réserves où la gestion a cessé. Un objet dont l'origine a été effacée perd une grande partie de sa valeur scientifique. Car savoir dans quelle pièce une tablette d'argile se trouvait, et avec quelles autres tablettes, est déjà une information.

Le climat menace aussi les archives. Les sites situés en bord de mer sont rongés par les vagues et s'effondrent peu à peu. Les objets enfouis se détériorent plus vite quand les pluies augmentent ou que la nappe phréatique monte. Dans certains lieux, la disparition va plus vite que les fouilles.

Un objet brisé ne disparaît pas toujours entièrement. Si sa forme subsiste, il existe un moyen de le reconstituer. C'est pourquoi il est important de le mesurer à l'avance, avant l'accident. Dans les régions touchées par la guerre, des travaux mesurent les bâtiments et les objets en trois dimensions.

Chaque matériau a sa propre durée de vie

Les matériaux qui portent les archives se dégradent chacun à leur manière. Les tablettes d'argile de Mésopotamie sont des plaques où les signes étaient imprimés dans la boue. La chaleur produite lors de l'incendie d'un palais a cuit les tablettes comme de la céramique. Les tablettes qui n'ont pas rencontré le feu redeviennent de la boue quand l'eau pénètre.

Les tablettes d'argile ont une autre limite. Les scribes mouillaient les tablettes déjà utilisées, lissaient leur surface et les réutilisaient. Les anciennes tablettes retournaient donc le plus souvent à l'argile. C'est pourquoi seules les quelques années précédant l'effondrement d'un royaume nous sont souvent parvenues. Seules les dernières tablettes conservées dans les archives du palais furent durcies par l'incendie.

Le papyrus, le cuir et le papier sont plus fragiles. Ces matériaux sont des matières organiques issues de plantes et d'animaux. Dans les lieux chauds et humides, ils pourrissent sans tenir plusieurs siècles. Sur les tablettes de cire utilisées par les soldats romains, la cire a entièrement disparu. Il ne reste que les faibles incisions laissées par le stylet quand il a rayé jusqu'au bois.

Même les matériaux durs ne sont pas à l'abri. Les inscriptions sur os oraculaires gravées sur des plastrons de tortue et des omoplates de bœuf se sont brisées sous la pression du sol. La plupart des os oraculaires conservés aujourd'hui sont des fragments plus petits qu'une paume. Une même phrase peut avoir été dispersée en trois fragments placés dans des réserves différentes [3].

La bibliothèque sauvée par le feu

La manière dont les archives survivent est parfois inattendue. Le roi assyrien Assurbanipal avait établi une grande bibliothèque à Ninive. Il régna à partir d'environ 669 avant notre ère. La bibliothèque rassemblait des mythes, des textes de divination, des textes médicaux et des documents administratifs [4].

Vers 612 avant notre ère, Ninive brûla. S'il s'était agi de livres de papier, tous auraient alors disparu. Mais les tablettes d'argile furent cuites par le feu et devinrent au contraire plus solides. Ces tablettes furent exhumées à plusieurs reprises entre les années 1840 et les années 1930. Le British Museum en conserve aujourd'hui plus de 30 000 fragments [4].

Cela ne signifie pas qu'elles aient été trouvées intactes. Quand la ville s'effondra, les tablettes furent volontairement brisées et jetées en divers endroits du palais. Les fouilleurs n'ont pas trouvé des rayonnages ordonnés, mais des amas de fragments dispersés. Il était courant que le début et la fin d'une même œuvre proviennent de pièces différentes [4]. Réassembler ces fragments est aujourd'hui l'un des grands défis de l'archéologie informatique. L'archéologie informatique est le domaine qui étudie les objets anciens à l'aide d'ordinateurs.

Des lettres déjà ressuscitées

La numérisation rencontre aussi des limites. Les objets anciens du monde sont beaucoup plus nombreux que les mains humaines disponibles. L'amas de fragments de Ninive vu plus haut en est un exemple [4]. Photographier chaque pièce et y rattacher le texte lu prend beaucoup de temps. Les machines doivent donc augmenter la vitesse du travail humain.

Les méthodes pour sauver les objets qui disparaissent suivent deux directions. La première est la conservation, qui protège longtemps l'objet lui-même. La seconde consiste à lire l'intérieur de l'objet sans le toucher et à le transférer dans un ordinateur. Cette seconde méthode a déjà produit plusieurs résultats.

Le rouleau découvert à Ein Gedi, en Israël, avait brûlé et s'était transformé en masse carbonisée. Si l'on avait essayé de le dérouler à la main, il se serait aussitôt brisé. L'équipe de recherche a observé l'intérieur par CT, une technique qui voit dans l'objet sans le couper. L'ordinateur a suivi mathématiquement les couches de cuir enroulées et les a déployées à plat. Sur cette surface, une encre contenant des éléments métalliques est apparue, et le début du Lévitique a pu être lu [5].

Une voie s'est aussi ouverte pour les rouleaux d'Herculaneum ensevelis sous les cendres du Vésuve. Le 25 juin 2026, les chercheurs ont annoncé avoir lu un rouleau du début à la fin. Ce rouleau porte le nom PHerc. 1667. Il contenait un texte éthique en grec long de vingt-deux colonnes [6]. Treize rouleaux scellés désignés comme défi font l'objet d'une nouvelle récompense. La date limite est le 25 juin 2027 [7].

Une bibliothèque virtuelle n'est pas un entrepôt rempli de photographies. La forme de l'objet, la composition de l'encre et le texte lu doivent être réunis en un même lieu. Ainsi, lorsqu'une nouvelle méthode apparaîtra plus tard, les anciennes données pourront être recalculées. Pour que la vérification continue même après la disparition de l'original, cet ensemble est nécessaire.

La prise d'images et le déchiffrement exigent de l'argent et des personnes. Il n'est pas facile non plus de décider quels objets photographier en premier. Dans les régions dangereuses, la prise d'images elle-même est difficile. C'est pourquoi chaque pays travaille selon un ordre de priorité.

Ces événements laissent une question. Même si l'objet finit par se briser, peut-on conserver le texte qu'il contient ? Le lieu où l'on cherche cette réponse est la bibliothèque virtuelle.

Références

- [1] Mark, J. J. (2023, 7월 25일). Library of Alexandria. World History Encyclopedia. https://www.worldhistory.org/Library_of_Alexandria/ (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] UNESCO. (2026). Damaged cultural sites in Ukraine verified by UNESCO. UNESCO. <https://www.unesco.org/en/ukraine-war/damaged-cultural-sites> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Ma, Y. R. (2026). Towards Computational Chinese Paleography. arXiv:2601.06753. <https://arxiv.org/abs/2601.06753> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] The British Museum. What was Ashurbanipal's Library? The British Museum. <https://www.britishmuseum.org/research/projects/what-was-ashurbanipals-library> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Seales, W. B., Parker, C. S., Segal, M., Tov, E., Shor, P., & Porath, Y. (2016). From damage to discovery via virtual unwrapping: Reading the scroll from En-Gedi. Science Advances, 2(9), e1601247. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601247>
- [6] Vesuvius Challenge. (2026, 6월 25일). An entire Herculaneum scroll has been read for the first time. scrollprize.org. <https://scrollprize.org/firstscroll> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Vesuvius Challenge. (2026). Open Prizes. scrollprize.org. <https://scrollprize.org/prizes> (consulté le 3 septembre 2026)

12.2. La traque de la police scientifique : graphe de connaissances et analyse du spectre lumineux

Une grande carte qui relie les objets

Dans les anciens laboratoires, on traitait séparément la forme de l'objet et son texte. Le spécialiste de la conservation mesurait la forme, et le philologue lisait le texte. Les deux résultats finissaient dans des tiroirs différents. Ainsi, même en étudiant deux fois le même objet, on ne parvenait pas à réunir les réponses.

L'archéologie informatique place ces deux éléments sur une même carte. Cette carte s'appelle un graphe de connaissances. Un graphe de connaissances représente l'information par des points et des lignes. Les points sont les choses, et les lignes sont les relations entre elles.

Sur cette carte, une tablette d'argile devient un point. Le scribe qui a écrit cette tablette devient aussi un point, tout comme la ville où elle a été trouvée. La composition de l'encre et les données de forme en trois dimensions deviennent elles aussi des points. Les noms de personnes et d'objets inscrits sur la tablette sont également extraits comme des points. L'ordinateur apprend en cherchant les lignes qui relient ces points.

Quand la carte est créée, la forme des questions change. Autrefois, on posait une tablette devant soi et l'on demandait quels signes elle portait. Désormais, on peut demander où se trouvent d'autres documents écrits avec cette même encre. On peut aussi trouver d'un seul coup dans quelles villes ont été découvertes les tablettes écrites par le même scribe.

En février 2026, une équipe de l'université Jagellonne, en Pologne, a publié une carte de ce type. Cette carte contient environ 3,2 millions de relations entre personnes, événements et objets. L'équipe a fait en sorte que la machine recommande des relations et explique même ses raisons. Des spécialistes ont lu ces explications et vérifié si elles étaient utilisables [1].

La couche qui mesure la forme

La première couche de la carte est l'aspect extérieur de l'objet. Les vieilles stèles et les tablettes d'argile s'usent en surface, et les creux des signes deviennent peu profonds. À l'œil nu, il est difficile de savoir si ces creux subsistent. Les chercheurs balayent donc la surface avec un scanner 3D.

Le scanner transforme la surface en millions de points et les enregistre. L'ordinateur relie ces points pour former un maillage de triangles. Sur ce maillage, on peut projeter une lumière virtuelle depuis plusieurs directions. Quand on change la direction de la lumière, même les creux peu profonds produisent des ombres, et les signes apparaissent.

La machine apprend aussi la forme de la coupe des creux. Les traces creusées par un outil humain ont une coupe régulière et une direction constante. Les fissures naturelles ne sont pas ainsi. Un modèle qui apprend cette différence sépare les signes des rayures.

La même méthode mesure aussi les surfaces de rupture. La machine compare les courbes des cassures de deux fragments pour voir si elles s'emboîtent. Ce calcul remplace le geste humain qui consiste à prendre les fragments et à les essayer l'un contre l'autre. Il permet aussi de comparer des fragments conservés dans des musées d'autres pays, sans les toucher.

Un autre calcul est utilisé pour les rouleaux enroulés. Dans le rouleau d'Ein Gedi, l'équipe de recherche a séparé une à une les couches de cuir dans l'ordinateur. Puis elle a déployé chaque couche à plat pour redresser les lettres [2].

La couche qui lit l'encre par la lumière

La deuxième couche de la carte est l'encre. Chaque matériau d'encre réagit différemment à la lumière. L'imagerie multispectrale est une méthode qui photographie non seulement la lumière visible, mais aussi l'infrarouge et l'ultraviolet, en les séparant. À certaines longueurs d'onde, le support devient sombre et l'encre ressort clairement.

Grâce à cette différence, les écritures effacées reviennent aussi à la lumière. Les anciens effaçaient des textes et réécrivaient sur le même parchemin pour économiser ce matériau coûteux. Il reste un peu de composant d'encre sur la surface effacée. Quand on photographie à plusieurs longueurs d'onde et qu'on superpose les images, cette trace remonte depuis le dessous. On appelle palimpseste un document écrit deux fois de cette manière.

Le monastère Sainte-Catherine du mont Sinaï, en Égypte, conserve beaucoup de documents de ce type. Des chercheurs américains et grecs y ont photographié 74 volumes par imagerie multispectrale. Les surfaces photographiées atteignent 6 800 pages. Sous ces pages, 305 textes effacés sont réapparus. Ils étaient écrits en dix langues, dont le grec et le syriaque [3].

Il existe aussi une méthode qui mesure la composition elle-même. La spectroscopie Raman envoie de la lumière sur l'encre et lit le motif de la lumière renvoyée. Ce motif varie selon la matière et sert d'empreinte. L'IA observe ce motif et distingue une encre de suie d'une encre contenant du fer. La composition de l'encre varie légèrement selon les ateliers et devient un indice pour deviner son origine.

Pour les rouleaux d'Herculaneum, une lumière plus puissante a été utilisée. Les chercheurs ont photographié l'intérieur des rouleaux avec un accélérateur synchrotron qui produit des X-ray très intenses. Le papyrus carbonisé et l'encre au carbone ont une densité semblable et ne se distinguent pas tels quels. Un modèle d'apprentissage profond a appris les fines différences de texture et a repéré les endroits où se trouvaient les lettres [4].

La couche qui relie les textes entre eux

La troisième couche de la carte est la relation entre les documents. Les livres antiques se sont diffusés par copie. À chaque copie, une petite erreur s'insérait. Les savants suivent ces erreurs pour dessiner la généalogie des copies.

L'ordinateur emprunte pour ce travail des méthodes de calcul utilisées en biologie. Elles ressemblent à la manière de comparer des séquences génétiques pour dessiner l'arbre phylogénétique des êtres vivants. En comptant les différences entre documents, il ordonne les copies pour déterminer laquelle provient de laquelle. La généalogie ainsi tracée aide à deviner l'apparence de l'original perdu.

L'écriture manuscrite est aussi un indice qui relie les documents. Chaque scribe a une pression de pinceau et un angle de trait différents. L'IA transforme ces habitudes en nombres et les enregistre. Quand on regroupe les documents dont ces nombres sont proches, un réseau de scribes apparaît.

Des archives déjà en fonctionnement

Plusieurs archives fonctionnent déjà en réunissant ces couches. Trismegistos est un projet qui attribue des numéros aux documents du monde antique. Il a regroupé dans un même système environ 960 000 données dans plus de 100 langues. Le problème des noms différents donnés au même objet selon les pays a été résolu par ces numéros [5].

Le réseau Pelagios est une communauté qui relie des données dispersées. Ses membres définissent une méthode commune pour relier les lieux, les personnes et le temps. Même quand les anciens toponymes changent selon les époques, ils les rattachent à une même coordonnée [6]. Il existe aussi la bibliothèque électronique babylonienne, gérée à Munich. Elle rassemble dans une base de données des fragments cunéiformes provenant du monde entier. Les chercheurs y recherchent des fragments pour retrouver des phrases perdues [7].

Les numéros communs semblent ennuyeux, mais ils sont puissants. Il faut le même numéro pour relier sur une seule ligne les données de différentes institutions [5]. Souvent, la photo se trouve dans un musée, le texte lu dans une université, et le journal de fouille dans un institut. Si un numéro réunit ces trois éléments, des informations dispersées deviennent l'histoire d'un même objet.

La manière de publier les données a aussi changé. Autrefois, on ne voyait les photos et les textes lus qu'après la publication de l'article. Aujourd'hui, les équipes publient souvent ensemble les scans et les programmes. Les chercheurs de pays sans équipement peuvent alors recalculer les mêmes données [8].

Les tâches encore ouvertes

Le Vesuvius Challenge a publié le 10 juillet 2026 un bilan des problèmes restants. Dans les zones comprimées et écrasées, les couches du rouleau ne se séparent pas. L'ordinateur suit parfois une couche puis passe par erreur à la couche voisine. On ne sait pas encore clairement jusqu'à quelle profondeur l'encre a pénétré depuis la surface. Un modèle appris sur un rouleau perd de sa force sur un autre. Les données sont si volumineuses qu'elles sont difficiles à traiter avec un ordinateur ordinaire. Le prochain objectif fixé par les chercheurs est juin 2027 [8].

Les autres domaines qui étudient les écritures anciennes rencontrent le même mur. Un article de 2026 sur la recherche chinoise en écritures anciennes a cité le manque de données comme un grand défi. Il a recommandé une IA qui aide le jugement humain, plutôt qu'une IA qui le remplace [9].

Références

- [1] Kutt, K., Sroka, E., Ishchuk, O., & do Valle Miranda, L. (2026). A three-stage neuro-symbolic recommendation pipeline for cultural heritage knowledge graphs. arXiv:2602.19711. <https://arxiv.org/abs/2602.19711> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] Seales, W. B., Parker, C. S., Segal, M., Tov, E., Shor, P., & Porath, Y. (2016). From damage to discovery via virtual unwrapping: Reading the scroll from En-Gedi. Science Advances, 2(9), e1601247. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601247>
- [3] Early Manuscripts Electronic Library. Sinai Palimpsests Project. EMEL. <https://www.emelibrary.org/sinai-palimpsests-project/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Vesuvius Challenge. (2026, 6월 25일). An entire Herculaneum scroll has been read for the first time. scrollprize.org. <https://scrollprize.org/firstscroll> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] KU Leuven. Trismegistos portal. Trismegistos+. <https://tmplus.kuleuven.be/trismegistos-portal> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] Pelagios Network. Pelagios Network. <https://pelagios.org/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Ludwig-Maximilians-Universität München & Bayerische Akademie der Wissenschaften. electronic Babylonian Library. <https://www.ebl.badw.de/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [8] Vesuvius Challenge. (2026, 7월 10일). Open problems: Why reading every Herculaneum scroll is still a challenge. scrollprize.org. https://scrollprize.org/2026_open_problems (consulté le 3 septembre 2026)
- [9] Ma, Y. R. (2026). Towards Computational Chinese Paleography. arXiv:2601.06753. <https://arxiv.org/abs/2601.06753> (consulté le 3 septembre 2026)

12.3. Épilogue

Revenir sur onze événements

Ce livre a suivi onze événements. Le point de départ était le rouleau d'Herculaneum enfoui sous les cendres volcaniques. L'ordinateur a déroulé virtuellement un bloc de charbon qui se brisait au toucher. Le papyrus brûlé et l'encre au carbone semblent presque identiques en X-ray. La machine a appris les différences très fines de texture laissées à la surface et a trouvé les lettres [1].

Le rouleau du Lévitique d'En-Gedi a lui aussi retrouvé ses premiers versets grâce au déroulement virtuel. Dans ce cas, l'encre contenant des éléments métalliques apparaissait clairement en X-ray [2]. Dans le rouleau d'Isaïe, l'indice venait de l'écriture. L'IA a mesuré les habitudes très fines des traits et a montré qu'il n'y avait pas un seul scribe. À l'œil humain, ces parties semblaient écrites par la même main [3].

À partir du quatrième événement, il a été question d'assemblage de fragments. Des tablettes d'argile et des fragments de parchemin dispersés ont été réunis grâce à la forme de leurs bords. Le même calcul a

servi à repérer des objets falsifiés. Les lignes manquantes de l'Épopée de Gilgamesh ont été complétées en rassemblant des fragments.

Les reçus de Mésopotamie ont retrouvé la parole grâce à la traduction automatique. Des registres de grains et des lettres vieux de plusieurs millénaires ont été rendus dans la langue d'aujourd'hui. Les inscriptions sur os oraculaires de plastrons de tortue ont été réunies grâce au scan 3D et à des modèles spécialisés [4]. Les lamelles de bois de Silla ont aussi été lues par des modèles de reconnaissance de caractères. Les documents japonais en écriture cursive ont été déchiffrés de la même manière [5].

Nous avons aussi vu des portes qui ne sont pas encore ouvertes. Le linéaire A, l'écriture de l'Indus et le rongorongo restent sans réponse. La machine a mesuré les régularités dans l'ordre des signes pour examiner s'il s'agissait ou non d'une langue. Lire le sens reste la tâche de la génération suivante.

Le dernier événement était l'autocomplétion des inscriptions antiques. Ithaca est un modèle qui complète les lettres manquantes des inscriptions grecques. En complétant les lettres, ce modèle indique aussi le lieu et la période où l'inscription a été produite [6]. Aeneas, apparu ensuite, traite les inscriptions latines. Aeneas regarde ensemble les lettres transcrites et les photos de l'inscription [7].

Ces onze événements ont un point commun. Aucun problème n'a été résolu par la machine seule. Les physiciens ont pris en charge l'imagerie et les informaticiens le calcul. Les spécialistes des langues anciennes ont vérifié les résultats et leur ont donné un sens. Il fallait que ces trois domaines se rencontrent autour du même objet pour qu'une ligne reprenne vie.

Ce que la machine ne sait pas encore faire

Tout au long de ce parcours, les faiblesses de la machine sont aussi apparues. Le premier mur est le manque de données. Même en additionnant tous les signes conservés, le linéaire A n'en compte qu'environ 7 400. Avec une telle quantité, il est difficile pour une machine d'apprendre des règles [8]. Les modèles de langue actuels grandissent en lisant des milliards de mots. Les données des langues anciennes disparues sont très loin de cette taille.

Quand on force une réponse avec peu de données, on invente des mots qui n'existent pas. Plus le blanc est long, plus la fiabilité de la réponse baisse. Une phrase vraisemblable dans le contexte, mais absente de l'histoire, peut apparaître. Si cette phrase entre une fois dans un article, l'étude suivante peut la recevoir comme un fait.

Si les données d'apprentissage penchent d'un côté, la réponse penche aussi. Quand les inscriptions d'une région sont nombreuses, la machine peut lire les inscriptions d'autres régions selon le style de cette région. Souvent, elle ne sait pas expliquer elle-même pourquoi elle a donné cette réponse. C'est pourquoi la recherche actuelle se déplace vers des résultats accompagnés de leurs preuves [9].

L'équipe qui travaille sur la lecture des rouleaux a aussi publié la liste des problèmes restants. Dans les zones comprimées et écrasées, les couches ne se séparent pas. Un modèle appris sur un rouleau peut perdre de sa force sur un autre. Dire clairement ce que l'on ne sait pas encore faire prépare l'étape suivante [10].

Il faut aussi des règles pour traiter les lettres produites par la machine. Les lettres lues avec certitude et les lettres supposées doivent être marquées différemment. Il faut aussi noter quel modèle les a lues ainsi, et avec quelles données. Ainsi, un autre chercheur pourra refaire plus tard le même calcul.

L'original reste l'original

Même une restauration numérique très précise ne remplace pas l'original. Le monde savant considère les données scannées non comme l'original, mais comme son double numérique. L'imagerie contient des choix humains. Une personne décide quelle lumière utiliser et sous quel angle photographier. Si ce choix change, l'image obtenue change aussi.

L'objet matériel conserve des informations que le scanner ne saisit pas. C'est le cas de la structure des grains de terre à la surface d'une tablette d'argile. La disposition de minuscules trous dans un plastron de tortue ne se voit aussi que sur l'objet réel. La profondeur de pénétration de l'encre dans le papyrus ne se mesure aussi que sur l'objet réel [10].

De nouvelles techniques de mesure apparaîtront encore. On ne peut pas les appliquer à un objet jeté aujourd'hui. Il faut donc éviter de couper un objet ou de le déplier de force. Le but de la bibliothèque virtuelle n'est pas d'abandonner l'original. Son but est de permettre la lecture en touchant moins l'original [2]. Quand on réduit le nombre de manipulations, la durée de vie de l'original augmente.

Lire ensemble dans l'avenir

L'IA n'est pas un outil qui chasse les historiens. L'étude d'Ithaca l'a montré par les chiffres. Quand Ithaca restaurait seule les lettres manquantes, sa précision était de 62 pour cent. Quand les historiens travaillaient seuls, elle était de 25 pour cent. Quand les deux côtés travaillaient ensemble, elle montait à 72 pour cent [6].

Ces chiffres disent deux choses à la fois. Dans cette expérience, la machine seule faisait mieux que l'humain seul. Et le résultat montait encore quand elle travaillait avec l'humain. Aucun des deux côtés n'aurait atteint seul ce niveau.

La machine propose vite de nombreux candidats. L'humain examine si ces candidats pouvaient exister à cette époque. Le monde savant appelle cette méthode de vérification alternée entre humain et machine une collaboration avec l'humain dans la boucle. Pour que cette boucle fonctionne, il faut que des personnes capables de lire les textes anciens continuent d'exister. S'il n'y a personne pour lire, les lettres extraites par la machine deviennent une nouvelle énigme.

Enseigner est aussi important que chercher. La manière de lire les langues anciennes s'est transmise de personne à personne. Si cette chaîne se rompt, il n'y aura plus personne pour vérifier les lettres produites par la machine. La nouvelle génération doit apprendre ensemble les anciennes écritures et l'informatique.

Cette boucle n'appartient pas seulement aux experts. Au Japon, l'application gratuite Miwo, qui lit l'écriture cursive, est déjà disponible. Quand on prend une photo, les caractères actuels apparaissent à l'écran. Même une personne qui voit un ancien document pour la première fois peut lire la première ligne [5]. Lever un smartphone devant une vitrine de musée peut aussi devenir le début d'une recherche.

Il reste encore beaucoup à faire. À Herculanum, des rouleaux scellés existent encore [11]. En Ukraine, des bibliothèques et des archives sont encore détruites aujourd'hui [12]. Dans le monde, les textes anciens disparaissent encore plus vite qu'ils ne sont sauvés.

Les lecteurs de ce livre peuvent eux aussi agir. Les données scannées ouvertes peuvent être téléchargées par tous [10]. Des étudiants participent aussi aux concours d'assemblage de fragments [11]. Dans de nombreux lieux, des citoyens contribuent à transcrire des documents anciens. Même si une personne prend une ligne à la fois, les données s'accumulent.

Protéger les archives ne concerne pas seulement le passé. Les données que nous produisons aujourd'hui deviendront un jour des données anciennes. Si les formats de fichiers changent, les documents d'aujourd'hui ne seront plus lisibles. C'est pourquoi les bibliothèques transfèrent sans cesse les données vers de nouveaux formats. Construire une bibliothèque virtuelle demande toujours des mains pour la gérer.

La direction est pourtant fixée. Un rouleau enfoui sous les cendres volcaniques il y a 2 000 ans a été lu de nouveau [1]. La méthode obtenue avec un rouleau devient le point de départ de l'étude du rouleau suivant [11]. Si les données et le code sont publiés, des chercheurs d'autres pays peuvent suivre le même chemin [10]. Même si l'objet retourne un jour à la terre, les phrases qu'il contenait restent. La bibliothèque qui ne brûle pas se construit ainsi, ligne après ligne.

Références

- [1] Vesuvius Challenge. (2026, 6월 25일). An entire Herculaneum scroll has been read for the first time. scrollprize.org. <https://scrollprize.org/firstscroll> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] Seales, W. B., Parker, C. S., Segal, M., Tov, E., Shor, P., & Porath, Y. (2016). From damage to discovery via virtual unwrapping: Reading the scroll from En-Gedi. *Science Advances*, 2(9), e1601247. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601247>
- [3] Popović, M., Dhali, M. A., & Schomaker, L. (2021). Artificial intelligence based writer identification generates new evidence for the unknown scribes of the Dead Sea Scrolls exemplified by the Great Isaiah Scroll (1QIsaa). *PLOS ONE*, 16(4), e0249769. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249769>
- [4] Ma, Y. R. (2026). Towards Computational Chinese Paleography. arXiv:2601.06753. <https://arxiv.org/abs/2601.06753> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] ROIS-DS Center for Open Data in the Humanities. 미를(miwo): AI 글자인식 앱. CODH. <https://codh.rois.ac.jp/miwo/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] Assael, Y., Sommerschield, T., Shillingford, B., Bordbar, M., Pavlopoulos, J., Chatzipanagiotou, M., Androutsopoulos, I., Prag, J., & de Freitas, N. (2022). Restoring and attributing ancient texts using deep neural networks. *Nature*, 603(7900), 280-283. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04448-z>
- [7] Assael, Y., Sommerschield, T., Cooley, A. E., Shillingford, B., Pavlopoulos, J., Suresh, P., Herms, B., Grayston, J., Maynard, B., Dietrich, N., Wulgaert, R., Prag, J., Mullen, A., & Mohamed, S. (2025). Contextualizing ancient texts with generative neural networks. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09292-5>
- [8] Braović, M., Krstinić, D., Štula, M., & Ivanda, A. (2024). A systematic review of computational approaches to deciphering Bronze Age Aegean and Cypriot scripts. *Computational Linguistics*, 50(2), 725-779. https://doi.org/10.1162/coli_a_00514
- [9] Kutt, K., Sroka, E., Ishchuk, O., & do Valle Miranda, L. (2026). A three-stage neuro-symbolic recommendation pipeline for cultural heritage knowledge graphs. arXiv:2602.19711. <https://arxiv.org/abs/2602.19711> (consulté le 3 septembre 2026)
- [10] Vesuvius Challenge. (2026, 7월 10일). Open problems: Why reading every Herculaneum scroll is still a challenge. scrollprize.org. https://scrollprize.org/2026_open_problems (consulté le 3 septembre 2026)
- [11] Vesuvius Challenge. (2026). Open Prizes. scrollprize.org. <https://scrollprize.org/prizes> (consulté le 3 septembre 2026)
- [12] UNESCO. (2026). Damaged cultural sites in Ukraine verified by UNESCO. UNESCO. <https://www.unesco.org/en/ukraine-war/damaged-cultural-sites> (consulté le 3 septembre 2026)

Appendice. Mon voyage archéologique avec l'IA : portail mondial d'exploration pour le grand public

A.1. Archive officielle des données du Vesuvius Challenge

Ce que l'on peut voir

Le Vesuvius Challenge est un concours international. Il met en compétition la lecture par ordinateur de rouleaux brûlés. Les rouleaux viennent d'Herculanum. C'était une ancienne ville romaine située près du Vésuve. Les rouleaux étaient faits de papyrus. Le papyrus est un ancien papier fabriqué en pressant une plante. L'adresse officielle est scrollprize.org[1]. Ce site ouvre à tous les données utilisées dans le concours[2]. Il n'est pas nécessaire de créer un compte. Il n'y a rien à payer[2][5].

En haut de la première page, les menus sont alignés. Prizes, Problems, Tutorials & In-depth et Data viennent en premier. Ils sont suivis de Milestones, Community, Press et Donate. En septembre 2026, 45 rouleaux et fragments de papyrus ont été scannés. L'un d'eux a été lu du début à la fin[1].

Le 25 juin 2026, l'équipe du concours a annoncé la nouvelle de ce rouleau. Il est appelé PHerc. 1667[3]. C'est le premier cas où un rouleau a été lu jusqu'au bout sans être déroulé[3][4]. La longueur du papyrus déroulé est d'environ 1,4 mètre. Dans les livres anciens, le texte était divisé en colonnes verticales. Une colonne de ce type s'appelle une colonne de texte. Dans ce rouleau, on a trouvé environ vingt-deux colonnes écrites en caractères grecs. Le contenu porte sur l'éthique stoïcienne. Il parle de la nature humaine, des impulsions et du progrès moral. On pense que le texte date du II^e siècle avant notre ère[3].

Le rouleau entier n'a pas été conservé intact. Ce qui reste aujourd'hui est le noyau intérieur du rouleau. Les couches extérieures se sont brisées lorsqu'on a tenté de les ouvrir à la main au XIX^e siècle et dans les années 1980. Là où la surface s'est détachée, les lettres ont disparu avec elle. Le texte lu comporte donc des blancs par endroits[3].

Le scan a été réalisé à Grenoble, en France. C'est l'ESRF, l'installation européenne de rayonnement synchrotron. C'est un grand appareil de recherche qui produit des rayons X très lumineux. La ligne de lumière BM18 a été utilisée[4]. Une ligne de lumière est un couloir expérimental qui amène les rayons X et les dirige vers un objet.

Étapes à suivre depuis chez soi

Allez d'abord sur scrollprize.org et cliquez sur le bouton Get Started. Cet écran présente trois étapes aux nouveaux visiteurs[5].

La première étape consiste à trouver l'encre. On marque à l'écran l'encre visible. Le modèle apprend alors à partir de ces marques et prédit le reste[5].

La deuxième étape est le déroulement virtuel. Il s'agit de dérouler le rouleau par ordinateur. On suit une couche de papyrus dans les images en coupe CT. Une image en coupe CT montre l'intérieur comme s'il était découpé en fines tranches. On aplatit cette couche et on vérifie le résultat[5].

La troisième étape consiste à apprendre tout le processus. On essaie, à petite échelle, d'enchaîner le scan, le déroulement et la lecture[5].

Il faut savoir que l'ordre de l'expérience et l'ordre réel de la restauration sont différents. L'expérience commence par la recherche d'encre, qui est plus facile. Dans la restauration réelle, le scan vient d'abord. Ensuite, le rouleau est déroulé virtuellement. La lecture de l'encre vient en dernier[5].

Pour télécharger directement les données, allez sur scrollprize.org/data. Les données se trouvent dans le dépôt public `s3://vesuvius-challenge-open-data/`. On peut aussi les ouvrir avec un navigateur web. Des fichiers d'exemple qui montrent comment les utiliser se trouvent sur GitHub[2].

Des prix en argent sont aussi prévus pour les participants. En septembre 2026, le montant restant des prix est de 2,14 millions de dollars. Le Grand Prix 2027 est doté de 1 million de dollars. Le premier prix reçoit 800 000 dollars. La date limite est le 25 juin 2027. Des prix sont aussi prévus pour les rouleaux où aucune lettre n'a encore été trouvée. Il faut lire dix lettres dans une surface de 4 centimètres carrés. Dans ce cas, chaque rouleau rapporte 50 000 dollars. Il existe aussi des Progress Prizes mensuels. La meilleure soumission du mois reçoit 20 000 dollars[6].

Points à noter

Les données sont publiées sous licence CC BY-NC 4.0. Elles ne peuvent pas être utilisées à des fins commerciales. Il faut citer la source quand on les utilise. Certaines données anciennes ont un article précis à citer. C'est le cas des rouleaux 1 à 4 et des fragments 1 à 6[2]. Dans ce cas, il faut citer l'article de Parsons et ses collègues publié en 2023[2][7].

Il faut aussi savoir à l'avance que les fichiers sont volumineux. Les données de scan en trois dimensions atteignent plusieurs téraoctets au total[2]. Pour faire tourner l'apprentissage profond, il faut une carte graphique puissante. Si l'ordinateur de la maison est peu performant, il vaut mieux commencer par parcourir les données à l'œil nu.

Des conditions s'appliquent si l'on participe aux prix. Il faut rejoindre le salon Discord du concours. Le code doit être publié sous une licence libre, comme MIT. Les résultats ne doivent pas être communiqués à l'extérieur avant l'annonce des lauréats[6].

Références

- [1] Vesuvius Challenge. (2026). Vesuvius Challenge: Reading the Herculaneum Scrolls with machine learning. scrollprize.org. <https://scrollprize.org/> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] Vesuvius Challenge. (2026). Data. [scrollprize.org](https://scrollprize.org/data). <https://scrollprize.org/data> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] Vesuvius Challenge. (2026, 6월 25일). An entire Herculaneum scroll has been read for the first time. [scrollprize.org](https://scrollprize.org/firstscroll). <https://scrollprize.org/firstscroll> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Angelotti, G., Parsons, S., Nicolardi, F., et al. (2026). Complete virtual unwrapping and reading of a rolled Herculaneum papyrus. arXiv:2606.29085. <https://arxiv.org/abs/2606.29085> (consulté le 3 septembre 2026)
- [5] Vesuvius Challenge. (2026). Get Started. [scrollprize.org](https://scrollprize.org/get_started). https://scrollprize.org/get_started (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] Vesuvius Challenge. (2026). Open Prizes. [scrollprize.org](https://scrollprize.org/prizes). <https://scrollprize.org/prizes> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] Parsons, S., Parker, C. S., Chapman, C., Hayashida, M., & Seales, W. B. (2023). EduceLab-Scrolls: Verifiable recovery of text from Herculaneum papyri using X-ray CT. arXiv:2304.02084. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.02084>

A.2. Portail eBL de littérature babylonienne électronique

Structure du portail

eBL est l'abréviation de electronic Babylonian Library. En français, cela signifie bibliothèque babylonienne électronique. Les anciens habitants de la Mésopotamie écrivaient avec l'écriture cunéiforme. L'écriture cunéiforme est une écriture en forme de clous, imprimée dans des tablettes d'argile humide. Ce portail rassemble ces fragments de tablettes. Il rassemble les fragments qui portent des textes de littérature babylonienne. Ce n'est pas un lieu qui contient toutes les données cunéiformes du monde[1].

Le portail se trouve à l'université Louis-et-Maximilien de Munich, en Allemagne. Il est dirigé par le professeur Enrique Jiménez. Le projet a commencé en avril 2018. Il est financé par le prix Sofia Kovalevskaja de la Fondation Alexander von Humboldt[2].

L'adresse est www.ebl.lmu.de. On peut y accéder sans connexion et sans frais. À gauche de l'écran, il y a huit rubriques. eBL Project, Library, Corpus et Signs viennent en premier. Elles sont suivies de Akkadian Dictionary et Bibliography. À la fin se trouvent News et Archaeology[1].

Library est l'espace qui rassemble les fragments un par un. On l'appelait autrefois Fragmentarium. Les chercheurs d'eBL y ont trouvé environ 1 200 cas de fragments qui se raccordent[1]. Corpus présente les textes par œuvre. L'Épopée de Gilgamesh y est organisée en environ 3 150 lignes. Le mythe de la création Enuma Elish compte 1 096 lignes[3]. Un article de données publié en 2024 indique l'ampleur du portail. Il contient environ 25 000 tablettes d'argile. Les transcriptions dépassent 350 000 lignes[4]. Une transcription est un texte qui transcrit l'écriture cunéiforme en lettres latines.

Ce que l'on peut faire à l'écran

Quand on clique sur Library, une boîte de recherche apparaît. On peut chercher par nom, année ou titre. Il existe aussi une recherche par mot et une recherche avancée. Si vous ne savez pas quoi chercher, cliquez sur le bouton « I'm feeling lucky ». Un fragment quelconque s'ouvre alors[5].

Quand on ouvre un fragment, l'écran se divise en plusieurs zones. En haut figurent l'institution de conservation, les dimensions et le lieu de découverte. Le style d'écriture et le type de document sont aussi indiqués. Par exemple, K.5743 est une pièce de la collection Kuyunjik du British Museum. Kuyunjik est la colline où se trouvait l'ancienne ville de Ninive. C'est le nom donné à l'ensemble des objets trouvés sur cette colline. Ses dimensions sont de 3,81 centimètres sur 2,54 centimètres. Le style d'écriture est néo-assyrien[6]. C'est la forme de lettres utilisée à l'époque de l'Empire néo-assyrien.

Au centre, la transcription apparaît avec les numéros de ligne. En bas, une photo de la tablette d'argile est jointe. Les fragments auxquels elle se raccorde sont aussi indiqués[6].

Le site indique aussi la méthode à employer pour citer le texte. Il faut indiquer le numéro du fragment et eBL edition. Il faut ensuite ajouter l'adresse et la date de consultation[1].

Nouveautés et points à noter

La rubrique News permet de consulter la lettre d'information. Le numéro 22, daté du 28 mai 2026, est le plus récent. Dans ce numéro, le portail présente une nouvelle organisation de l'écran. Le nombre d'institutions de conservation a aussi augmenté. Le Musée national des écritures du monde, situé à Incheon, en fait partie. Plus de 3 100 photos du British Museum ont été ajoutées. Plus de 1 000 photos du Yale Peabody Museum ont aussi été mises en ligne. Une fonction permettant d'ajouter directement de nouveaux mots au dictionnaire a également été créée[7].

Il faut savoir une chose avant de l'utiliser. Les transcriptions de Library ne sont pas des versions définitives. L'équipe de recherche continue de les corriger. Il en va de même pour les textes d'œuvres organisés dans Corpus. Ce sont des résultats intermédiaires assemblés à partir des fragments réunis jusqu'ici. Quand un nouveau fragment se raccorde, le nombre de lignes et le contenu changent. Il faut donc indiquer la date de consultation dans un devoir scolaire ou un texte[1].

Les transcriptions sont publiées sous licence CC BY-NC-SA 4.0. Les photos relèvent de conditions différentes. Pour réutiliser une photo, il faut obtenir une autorisation séparée[1]. Cette autorisation dépend du musée qui possède la tablette d'argile[1][4]. Il faut d'abord lire l'indication jointe à la légende de la photo en bas de l'écran[1].

Références

- [1] electronic Babylonian Library. (2026). About: Library. ebl.lmu.de. <https://www.ebl.lmu.de/about/library> (consulté le 3 septembre 2026)
- [2] Jiménez, E. (2023, 5월 25일). AI is helping us read ancient Mesopotamian literature. The Conversation. <https://theconversation.com/ai-is-helping-us-read-ancient-mesopotamian-literature-205091> (consulté le 3 septembre 2026)
- [3] electronic Babylonian Library. (2026). Corpus. ebl.lmu.de. <https://www.ebl.lmu.de/corpus> (consulté le 3 septembre 2026)
- [4] Cobanoglu, Y., Laasonen, J., Simonjetz, F., Khait, I., Cohen, S., Földi, Z., Härtinen, A., Heinrich, A., Mitto, T., Rozzi, G., Sáenz, L., & Jiménez, E. (2024). Transliterated cuneiform tablets of the electronic Babylonian Library platform. Journal of Open Humanities Data, 10(1), 19. <https://doi.org/10.5334/johd.148>
- [5] electronic Babylonian Library. (2026). Library. ebl.lmu.de. <https://www.ebl.lmu.de/library> (consulté le 3 septembre 2026)
- [6] electronic Babylonian Library. (2026). K.5743, eBL edition. ebl.lmu.de. <https://www.ebl.lmu.de/library/K.5743> (consulté le 3 septembre 2026)
- [7] electronic Babylonian Library. (2026, 5월 28일). eBL Newsletter 22. ebl.lmu.de. <https://www.ebl.lmu.de/news> (consulté le 3 septembre 2026)

A.3. Guide d'utilisation de Miwo

De quel type d'application s'agit-il ?

Les anciens livres et documents japonais utilisent souvent une écriture cursive. On appelle ces caractères kuzushiji. On les voit souvent dans les livres imprimés de l'époque d'Edo et dans les anciens documents[3]. Aujourd'hui, la plupart des Japonais ne savent pas les lire.

Miwo est une application pour smartphone qui photographie cette écriture cursive et la transforme en caractères actuels. Elle a été créée par le Center for Open Data in the Humanities, ou CODH, au Japon[1]. Elle est gratuite[2]. Le nom de l'application vient de Miotsukushi, le quatorzième livre du Dit du Genji. Un miotsukushi est une balise qui indique la voie navigable. Le nom signifie que l'application veut servir de guide dans la mer des anciens documents[3].

L'application est sortie pour la première fois le 30 août 2021. Elle est passée à la version 1.1 le 26 octobre 2022. À ce moment-là, un nouveau modèle de reconnaissance appelé Ruri a été ajouté. Ruri repère bien les caractères même quand le fond contient des motifs ou des couleurs[1]. L'apprentissage a utilisé le dataset japonais classique de kuzushiji. C'est un ensemble de photos de caractères anciens créé pour l'apprentissage automatique. Il contient plus d'un million de caractères. Cette application a reçu le Good Design Award en 2022[3]. En septembre 2026, elle avait reconnu plus de 3,5 millions de photos[1].

Installation et étapes d'utilisation

Ouvrez d'abord la boutique d'applications. L'iPhone et l'iPad utilisent l'App Store. Les appareils Android utilisent Google Play. Saisissez *みを* ou *miwo* dans la barre de recherche[1]. Sur l'App Store, la taille de l'application est d'environ 52 mégaoctets. Elle fonctionne sur iPhone et iPad avec iOS 11.0 ou une version ultérieure[2].

Quand on ouvre l'application, l'écran de prise de vue apparaît. Placez l'ancien document dans l'écran et appuyez sur le bouton de capture. On peut aussi importer une photo déjà prise. Ensuite, appuyez sur le bouton de reconnaissance. L'IA lit alors les caractères[1].

L'écran des résultats offre plusieurs fonctions. Une barre de réglage est placée à l'écran. Quand on fait glisser cette barre vers la gauche ou la droite, deux écrans se superposent. On peut comparer côte à côte la photo originale et les caractères lus. Il existe aussi une fonction qui permet de toucher les kana

japonais. Elle indique de quel caractère chinois le kana vient à l'origine. Le texte lu peut être déplacé vers une autre application avec le bouton de copie[1]. On peut aussi enregistrer les résultats et les rouvrir plus tard[1][3].

Il faut se rappeler que la connexion à Internet doit être activée. Les photos sont envoyées au serveur du CODH pour la reconnaissance. Les photos envoyées ne sont pas conservées sur le serveur[1].

Documents bien lus et documents mal lus

Il vaut mieux connaître les limites avant d'utiliser l'application. L'IA a été entraînée principalement sur les livres imprimés de l'époque d'Edo. Beaucoup de livres de cette période sont des impressions sur bois. Ce sont des livres imprimés sur papier à partir de caractères gravés dans des planches de bois. L'application lit donc bien les imprimés de cette période. Sa précision baisse pour les documents d'autres périodes ou les manuscrits[3].

L'état du papier modifie aussi le résultat. Les taches et les parties mangées par les insectes sont difficiles à lire. Les motifs du papier, l'éclairage et les ombres gênent aussi la lecture[3]. Il vaut mieux photographier sous une lumière claire et uniforme.

Certains supports ne peuvent pas être lus. Les écritures cursives gravées sur des stèles en pierre ou des enseignes ne sont pas prises en charge actuellement[3].

Les développeurs indiquent que les résultats de reconnaissance peuvent contenir des erreurs. Ils précisent que la reconnaissance de l'écriture cursive par IA ne deviendra pas parfaite. Les documents importants doivent donc être vérifiés de nouveau par une personne[3].

Le fait de transcrire les anciens caractères en caractères actuels s'appelle la translittération. Il existe un lieu où plusieurs personnes se partagent ce travail. C'est un site participatif de translittération appelé Minna de Honkoku. En français, on peut le traduire par « translittération par tous ». Il est géré par une institution différente de celle qui a créé Miwo. Son rôle est semblable au travail humain qui corrige le texte lu par l'application. Son adresse est honkoku.org. Jusqu'ici, plus de 10 800 personnes y ont participé. Les caractères transcrits dépassent 48 millions. Le site a fait l'objet d'une deuxième refonte en août 2025. La nouvelle version est en phase d'essai. Le Musée national d'histoire et de folklore du Japon y participe. L'Institut de recherche sur les séismes de l'université de Tokyo et des chercheurs de l'université de Kyoto le gèrent aussi ensemble[4].

Références

[1] ROIS-DS 人文学オープンデータ共同利用センター. (2026). AIくずし字認識アプリ「みを (miwo)」. CODH. <https://codh.rois.ac.jp/miwo/> (consulté le 3 septembre 2026)

[2] Clanuwat, T. (2022, 10월 27일). miwo (Version 1.1) [Mobile app]. App Store. <https://apps.apple.com/jp/app/miwo/id1581794085> (consulté le 3 septembre 2026)

[3] ROIS-DS 人文学オープンデータ共同利用センター. (2026). みを (miwo) とは?. CODH. <https://codh.rois.ac.jp/miwo/about/> (consulté le 3 septembre 2026)

[4] みんなで翻刻. (2026). みんなで翻刻 Minna de Honkoku. honkoku.org. <https://honkoku.org/> (consulté le 3 septembre 2026)

Soutenir ce livre de la Bibliothèque IA

Si ce livre vous a été utile, vous pouvez soutenir les prochaines traductions, les éditions publiques et les projets ouverts de connaissance sur l'intelligence artificielle via PayPal.

PayPal

<https://paypal.me/kimkjkj>



Scannez le code QR ou ouvrez le lien ci-dessus.

Kim Kyung-jin, avocat