

la barrière hémato-encéphalique *via* le récepteur des lipoprotéines LDL. Sur des cultures de neurones, ils ont montré que la toxicité due à l'agrégation du peptide bêta-amyloïde est encore plus inhibée par ces nanovecteurs que par la curcumine libre.

D'autres résultats plus étonnants montrent que le peptide bêta-amyloïde aurait de l'affinité pour les nanoparticules elles-mêmes. En 2008, Celia Cabaleiro-Lago, de l'University College Dublin, en Irlande, et ses collègues, ont proposé l'utilisation de nanoparticules de 40 nanomètres préparées à partir d'un copolymère (PNIPAAm-co-PBAM) pour retarder l'agrégation du peptide bêta-amyloïde. Ils ont observé que ces particules perturbent l'agrégation en retardant, voire en bloquant, l'amorçage (la nucléation) des agrégats. Plus récemment, en 2012, notre équipe a mis en évidence que des nanoparticules recouvertes de PEG ont une affinité pour le peptide bêta-amyloïde et sont capables de le capturer, même dans un environnement aussi riche que du sérum (le sang dont on a ôté les cellules).

Tous ces résultats, même s'ils ont été en général obtenus *in vitro* et nécessitent

des confirmations *in vivo*, devraient aider à mieux comprendre l'agrégation du peptide bêta-amyloïde dans la maladie d'Alzheimer et à identifier et concevoir des nanoparticules avec des propriétés de surface optimales pour obtenir un effet bénéfique sur les patients atteints de la maladie.

Diagnostiquer plus tôt la maladie

Les nanoparticules pourraient aussi faciliter la mise en place d'un diagnostic plus précoce des maladies cérébrales. Elles sont de plus en plus utilisées pour le diagnostic de diverses maladies. Des nanoparticules magnétiques d'oxyde de fer servent déjà, par exemple, d'agent de contraste pour l'imagerie par résonance magnétique du foie.

Dans le cas de la maladie d'Alzheimer, un diagnostic précoce, avant que les symptômes cliniques ne se manifestent, est critique pour agir avant la formation des lésions irréversibles des neurones qui conduisent à la démence. Et ce d'autant plus que peu de méthodes existent pour examiner le cerveau humain vivant. La

formation des agrégats de peptide bêta-amyloïde étant le premier phénomène visible de la maladie, beaucoup d'efforts ont été dirigés vers la détection et l'identification *in vivo* des plaques amyloïdes par l'imagerie avec des nanoparticules, telles celles d'oxyde de fer ciblant le peptide bêta-amyloïde, mises au point en 2005 par Jolanda de Vries, du Centre des sciences de la vie moléculaires de Nimègue, aux Pays-Bas, et ses collègues. Une autre approche est fondée sur la détection et la quantification des biomarqueurs sanguins de la maladie d'Alzheimer, le peptide bêta-amyloïde et la protéine tau. Pour l'heure, cependant, seules des nanoparticules métalliques (en or, par exemple) ont été décrites comme des outils potentiels pour cette approche.

Ainsi, de par leur biocompatibilité, leur biodégradation et leur capacité de ciblage, les nanoparticules représentent une piste prometteuse pour améliorer le traitement et le diagnostic de certaines maladies cérébrales, telle la maladie d'Alzheimer. Toutefois, nous sommes encore loin de disposer d'une formulation à base de vecteurs colloïdaux pour traiter cette maladie. ■



{ Partagez
les savoirs }

**LES
RENDEZ-
VOUS DU
MUSÉUM**

Entrée
gratuite

COURS PUBLICS

Cycle : "Évolution animale et humaines : de l'Histoire à l'actualité des sciences"

Jeudi 10 octobre – 18h
Les Humains : une longue histoire, puis un retour à la nuit des temps ?
A. Langaney, Professeur au Muséum

Grand Amphithéâtre du Muséum — 57 rue Cuvier — Paris 5^e

BAR DES SCIENCES

Dimanche 13 octobre – 16h30 : Bicentenaire de la naissance de Claude Bernard
Intervenants : R. Fischmeister, physiologiste, Inserm, M. Goyffon, toxicologue, attaché honoraire, Muséum, W. Rostène, spécialiste de neurosciences, Inserm, P. Wise, médecin, auteur de *Un défi sans fin – la vie romancée de Claude Bernard*

Café restaurant la Baleine — 47 rue Cuvier — Paris 5^e

CONFÉRENCE EXCEPTIONNELLE

Bicentenaire de la naissance de Claude Bernard
Lundi 21 octobre – 18h : Claude Bernard et la pharmacologie d'aujourd'hui
J.-P. Changeux, professeur honoraire au Collège de France et à l'Institut Pasteur, membre de l'Académie des Sciences

Grand Amphithéâtre du Muséum — 57 rue Cuvier — Paris 5^e

MÉTIER DU MUSÉUM

Dimanche 27 octobre – 15h : Écologie des champignons, M.-A. Selosse

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution — 36 rue Geoffroy St-Hilaire — Paris 5^e

**Au Jardin
des Plantes**

Détails sur jardindesplantes.net, dans "l'agenda du jardin"



La naissance de L'ÉCRITURE EN ÉGYPTE

Gwenola Graff

Les gravures rupestres, les vases peints ou les sceaux de l'Égypte du IV^e millénaire relèvent de cinq systèmes graphiques. Les plus anciens de ces systèmes préfigurent l'écriture hiéroglyphique.

La volonté d'enregistrer des messages se manifeste dès la fin du Paléolithique, avec les premières peintures pariétales apparues il y a 35 000 ans. Les plus anciennes connues sont celles de la grotte Chauvet, dans le Sud-Est de la France. Dans des grottes occupées plus tardivement, telle celle de Lascaux (environ 18 000 ans avant notre ère), on a même retrouvé des signes non figuratifs (traits, triangles ouverts, points, etc.) à côté des grandes peintures d'animaux. Les multiples études effectuées n'ont pu percer leur signification. D'autres ensembles de signes ont été découverts ailleurs dans le monde, notamment en Égypte, et sur des supports variés, tels que des parois rocheuses, des vases ou des os.

Nous désignerons ces ensembles par l'expression « systèmes graphiques ». Un certain nombre de règles s'y appliquent, aussi bien pour la construction de chaque élément que pour leur combinaison.

S'agit-il d'écritures ? Le débat est vif, en particulier pour les signes non figuratifs. On considère classiquement que l'écriture a été inventée de façon indépendante en Égypte, vers -3250, et en Mésopotamie,

L'ESSENTIEL

- Les plus anciens écrits égyptiens connus datent de 3250 avant notre ère.
- À cette époque, plusieurs systèmes graphiques existent déjà. Il s'agit d'ensembles structurés de signes retrouvés sur divers supports, tels que des roches ou des vases.
- Les Égyptiens se sont ainsi habitués à attribuer un sens à des signes graphiques, indépendamment de leur support, et à les associer selon des règles précises.
- L'innovation ayant donné naissance à l'écriture a été l'attribution d'un caractère phonétique aux signes.

© Gwenola Graff

quelque 200 ans plus tard, ainsi qu'en Chine et en Amérique (dans le monde maya), au I^{er} millénaire avant notre ère. Une écriture, nommée proto-élamite, aurait aussi été élaborée en Iran à peu près en même temps qu'en Mésopotamie, mais elle n'est pas déchiffrée aujourd'hui. Existerait-il d'autres foyers d'invention de l'écriture, plus anciens ?

L'une des raisons de la polémique est l'absence de consensus sur la définition de l'écriture. Je proposerai et utiliserai ici une définition fondée sur les travaux récents de spécialistes de l'écriture, et présenterai ensuite les systèmes graphiques égyptiens, que j'étudie depuis les années 2000 et que l'on commence à mieux comprendre. Je montrerai ainsi que, si ces systèmes graphiques ne peuvent être considérés comme des écritures, ils en constituent une sorte d'expérience préparatoire.

Dans un article publié en 1993, l'égyptologue français Pascal Vernus a défini l'écriture comme un système de signes capable d'encoder des énoncés linguistiques pour former un message ; ce dernier doit pouvoir être déchiffré hors de son contexte de production (c'est-à-dire à un



autre moment ou dans un autre lieu, par des personnes différentes du scripteur et qui n'ont pas les mêmes références culturelles), du moment que l'on connaît le code. Au début des années 2000, John Baines, de l'Université d'Oxford au Royaume-Uni, soulignait que l'écriture doit enregistrer une information. Dans un ouvrage publié en 2001, Anne-Marie Christin, de l'Université Paris Diderot, indiquait que l'écriture unit « deux modes de communication hétérogènes et complémentaires qui la précédaient depuis longtemps : l'image [...] et la langue ». Elle précisait ainsi un aspect fondamental de l'écriture, déjà souligné par Jean-François Champollion (1790-1832) : l'écriture doit restituer les sons d'une langue.

Une écriture transcrit les sons d'une langue

On ne peut donc pas déchiffrer une écriture sans connaître la langue qu'elle note – tandis qu'on peut comprendre des systèmes de logogrammes, où un signe représente un objet, indépendamment de la langue. Le déchiffrement des écritures antiques n'a d'ailleurs été possible que grâce à la parenté entre les langues qu'elles transcrivaient et d'autres encore parlées. Champollion, par exemple, a compris que le copte, la langue liturgique des chrétiens d'Égypte, était dérivé de l'ancienne langue du pays (tandis que la langue parlée à son époque, l'arabe égyptien, était celle des envahisseurs du VII^e siècle). Il a alors pu reconstituer approximativement cette langue et déchiffrer les hiéroglyphes. En revanche, on ne sait pas lire le proto-élamite iranien – c'est l'une des dernières écritures non déchiffrées –, car on ignore la langue transcrite.

1. LES VASES DÉCORÉS (D-WARE) apparaissent autour de 3700 avant notre ère, plus de quatre siècles avant l'écriture. La scène représentée ici évoque le renouvellement de la vie après la mort. Elle comprend un élément dominant (la peau animale tendue sur des bâtons, en bas, qui renvoie à un rite d'enveloppement des défunts dans une peau au V^e millénaire avant notre ère) et des éléments secondaires, déterminés par des règles d'association. Ces systèmes graphiques représentent une étape déterminante sur la voie de l'invention de l'écriture.

En Égypte, l'écriture est apparue à la fin du IV^e millénaire avant notre ère. Les plus anciennes inscriptions hiéroglyphiques connues ont été découvertes en 1986 par l'équipe de l'archéologue allemand Günther Dreyer, dans la tombe U-j de la nécropole d'Umm el-Qa'ab, à Abydos, appartenant au roi Scorpion. Ces inscriptions figuraient sur de petites étiquettes en os, en bois et en ivoire attachées à des jarres. Très courtes, elles ne comportent que quelques signes (voire un seul).

Les hiéroglyphes sont figuratifs, c'est-à-dire qu'ils représentent des éléments identifiables. Quelqu'un ne sachant pas les lire peut reconnaître une vache, une main, un homme assis, un escalier, etc. Cependant, certains signes ne signifient pas ce qu'ils figurent, mais ont une valeur phonétique. Ainsi, sur un hiéroglyphe de la tombe U-j, un dessin de cigogne est associé à celui d'un siège (*voir la figure 4*). La cigogne se dit «ba» en égyptien, le siège «set». «Basset» est le nom d'une ville antique du Nord de l'Égypte. Les deux signes de la cigogne et du siège ne veulent pas dire «le siège de l'oiseau», mais renvoient, grâce aux sons, à une réalité non liée aux objets représentés. En d'autres termes, ce sont des sortes de rébus. Dans

les cas ambigus, pour préciser qu'un signe figuratif doit être lu phonétiquement, un petit trait vertical était ajouté derrière lui.

Au moment où l'écriture est née, cinq systèmes graphiques avaient déjà vu le jour en Égypte (*voir la figure 2*) : les gravures rupestres (effectuées sur des roches), les peintures sur vases, les sceaux, les *potmarks* (des incisions sur des récipients) et les marques à l'encre. Certains ont été retrouvés dans la tombe U-j, avec les premiers écrits. Quelques-uns ont encore perduré plusieurs siècles alors que d'autres s'étaient déjà éteints. Ils semblaient remplir des fonctions différentes (comptable, rituelle, politique ou funéraire). Décrivons-les plus en détail.

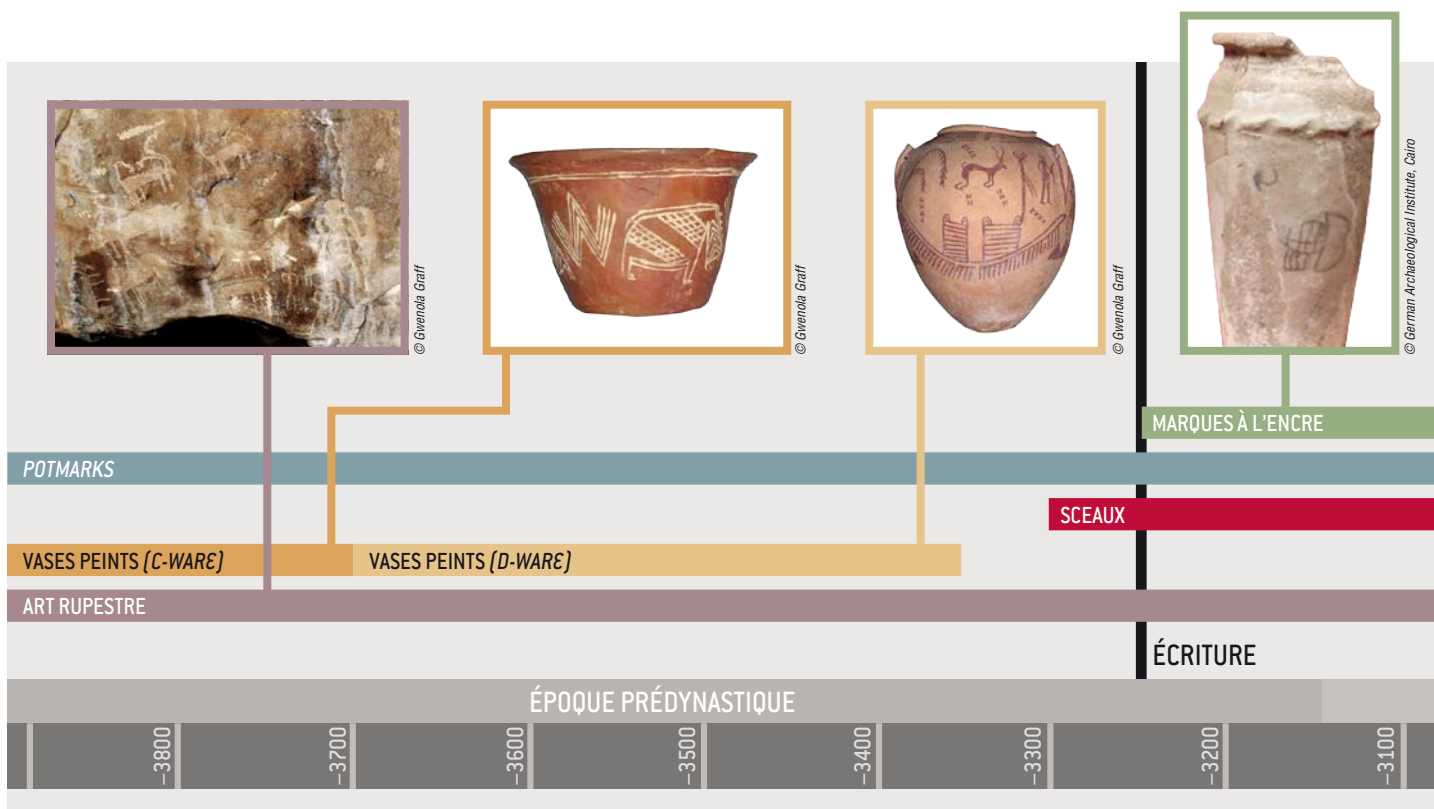
Des roches gravées dans le désert

Les gravures rupestres ont été découvertes sur des roches dans le désert. On en trouve aussi bien à l'Ouest du Nil, dans le Sahara, qu'à l'Est. Les plus anciennes, dans la région d'Assouan, remontent au Paléolithique (sur les sites de Qurta et du Wadi Abu Subeira), environ 18 000 ans avant notre ère. Elles sont contemporaines des peintures de Lascaux. Les roches gravées

sont en général situées dans les oueds, des vallées sèches creusées par d'anciens cours d'eau temporaires. Ces vallées constituent des voies naturelles pour traverser les zones désertiques.

Jusqu'à la fin du IV^e millénaire avant notre ère, les scènes gravées représentent principalement la chasse aux animaux du désert (antilopes, gazelles, girafes), la domination par la violence (combats, massacres d'ennemis) et des rites funéraires. Elles traduisent une thématique récurrente à cette époque : la maîtrise du chaos par les forces de l'ordre, c'est-à-dire le souverain ou les dieux. Le désert est une zone frontière, de transit, dangereuse et incontrôlée, d'où probablement la nécessité d'y laisser des marques de telles scènes.

À l'époque pharaonique (à partir de -3150), les voies de passage continuent à être ponctuées de gravures. Certaines représentent des scènes de navigation, ce qui s'expliquerait par les bateaux transportés en pièces détachées par les expéditions traversant le désert ; à l'arrivée aux ports de la mer Rouge, les bateaux étaient remontés. Cependant, la plupart des gravures de cette époque sont plutôt des inscriptions en hiéroglyphes, laissées



à l'occasion d'expéditions militaires, commerciales ou liées à l'exploitation minière du désert. Elles présentent le commandant de l'expédition, le nombre d'hommes, le pharaon commanditaire, l'objectif du déplacement...

Sur les céramiques, des peintures qui se codifient

Le deuxième système graphique égyptien est constitué de scènes complexes peintes sur des récipients en céramique, entre -3900 et -3350. Jusqu'à -3700, les supports sont principalement des bouteilles et de larges coupes (semblables à des bols ou des écuelles), rouges avec des peintures blanches. On les nomme des *White cross-lined ware* ou *C-ware* (céramique à décor en hachures blanches). Entre -3700 et -3350, les céramiques sont plutôt des vases d'une quinzaine de centimètres de hauteur, beige rosé avec des peintures brunes à rouge violacé. On les qualifie de *Decorated ware* ou *D-ware* (céramique décorée).

Sur les *C-Ware*, les éléments peints sont répartis de façon plus ou moins aléatoire à la surface du récipient. En revanche, sur

les *D-Ware*, leur disposition obéit à des règles de composition. Les éléments qui déterminent la mise en place du décor se situent sur la moitié supérieure du vase (entre les deux anses) : ils sont peints en premier et les autres éléments sont placés par rapport à eux.

Les éléments représentés sont beaucoup moins variés que sur les vases de la première période : tout devient très codifié, il n'y a plus de place pour l'improvisation ou la fantaisie. Les signes sont presque toujours organisés autour d'un couple d'éléments, choisi parmi deux possibles : soit une femme vue de face, les bras au-dessus de la tête, associée à un addax (une grosse antilope du désert), soit un arbre associé à une peau animale tendue sur des bâtons croisés. On a découvert environ 60 vases avec le couple femme-addax et 85 avec le couple arbre-peau. Les deux couples ne sont jamais représentés ensemble sur un même vase.

Le couple présent est l'élément dominant, qui détermine les éléments secondaires, choisis en fonction de règles d'association. Un bateau, une ligne ondulée (évoquant l'eau) ou des triangles pleins (figurant des montagnes) peuvent par exemple être associés aux deux couples.

L'AUTEUR



Gwenola GRAFF est chargée de recherche à l'IRD (Institut de recherche pour le développement)

et membre de l'Unité mixte de recherche PALOC (Patrimoines locaux), IRD-Muséum national d'histoire naturelle.

2. CINQ SYSTÈMES GRAPHIQUES

ont existé dans l'Égypte antique. Le premier a été retrouvé gravé sur des roches (*en violet*) ; le deuxième peint sur des céramiques (*en orange foncé et clair*) ; le troisième gravé sur des sceaux, petits objets dont les empreintes étaient imprimées sur des tablettes d'argile ou des bouchons de jarre (*en rouge*) ; le quatrième incisé sur des vases (*en bleu*) ; et le cinquième tracé à l'encre (*en vert*), également sur des vases. Ils avaient des fonctions différentes (comptables, rituelles, politiques ou funéraires).



© W. Peñe, The royal tombs of the First Dynasty



© Institut archéologique allemand du Caire

ÉPOQUE PHARAONIQUE

-3000 -2900 -2800 -2700 -2600 -2500 -2400 -2300



© Radius Images/Corbis



3. ABYDOS EST L'ANCIENNE CAPITALE du royaume de Haute-Égypte. L'écriture y aurait été inventée vers 3250 avant notre ère par un groupe d'administrateurs royaux. La capitale a été plus tard transférée à Memphis, près du Caire, mais la ville est restée un important centre religieux dédié au dieu Osiris (à gauche, un temple construit par le pharaon Séthi I^{er} et terminé par son fils Ramsès II au XIV^e siècle avant notre ère).

En revanche, les ibex (un bouquetin) et les personnages masculins sont surtout associés au couple addax-femme.

Les scènes peintes sur les *C-Ware* figurent la chasse aux grands animaux aquatiques (hippopotame et crocodile), différents paysages (milieux semi-arides et steppiques, zones humides) ou des personnages masculins qui dominent d'autres groupes humains (scènes dites de victoire). Sur les *D-Ware* sont représentés des scènes de navigation, des défilés d'animaux (antilopes, gazelles ou autruches) et des rites de régénération. Ils traduisent une préoccupation des Égyptiens de cette époque pour le renouvellement de la vie après la mort, imaginé comme un retour du défunt vers une forme embryonnaire ; il reste dans cet état et évite ainsi un nouveau cycle de naissance et de mort. Plus tard, à l'époque pharaonique, l'âme du défunt peut aller se reposer dans une sorte de paradis, nommé les Champs d'Ialou, après avoir été jugée par le tribunal du dieu Osiris.

Des scènes évoquées et non racontées

Les vases peints évoquent ces conceptions et ces scènes, mais ne les décrivent pas en détail, comme le ferait une écriture. Celui qui observe le vase doit déjà les connaître pour les comprendre. Les éléments représentés lui permettent juste de s'en souvenir, puis de les recomposer avec ce qu'il sait. Les vases peints avec des scènes complexes disparaissent rapidement, environ un siècle avant l'apparition de l'écriture.



© German Archaeological Institute, Cairo

4. L'ÉCRITURE SE DISTINGUE des systèmes graphiques par son caractère phonétique : elle transcrit les sons d'une langue. Ainsi, ce hiéroglyphe représente une cigogne et un siège, qui se disent respectivement « ba » et « set » en égyptien ancien. Il désigne Basset, une ville antique. Il figure sur une étiquette de jarre découverte à Abydos et compte parmi les plus anciens connus.

Le troisième système graphique correspond aux *potmarks*, des marques incisées dans l'argile avant cuisson, sur la paroi externe des jarres. Apparus en Égypte dès le début du Néolithique, au VI^e millénaire avant notre ère, ils se multiplient à partir de -3200 et disparaissent 300 ans plus tard.

Un *potmark* est constitué d'un signe seul ou de la combinaison de quelques signes, rarement plus de quatre. Les signes figurent des animaux, des parties du corps humain, des corps célestes, des outils, des éléments architecturaux ou des formes géométriques. On en connaît des centaines, voire des milliers. Certains deviendront des hiéroglyphes, d'autres non. Sur quelques *potmarks* postérieurs à l'invention de l'écriture, on trouve également des signes nommés *serekhs* : ce sont des représentations de la façade du palais royal, à l'intérieur desquelles est inscrit le nom du souverain régnant.

Des règles syntaxiques ?

Les combinaisons de signes semblent obéir à des règles d'association et d'exclusion. Selon Edwin Van den Brink, du Service israélien des antiquités, elles sont assimilables à une grammaire, définie comme un ensemble de règles codifiées et arbitraires s'appliquant à un système de signes. Je parlerais plutôt de syntaxe, préférant réserver le terme de grammaire à l'écriture. Quoi qu'il en soit, des travaux complémentaires sont nécessaires pour préciser ces règles.

On sait que les *potmarks* ont un rôle comptable, car ils figurent toujours sur des jarres contenant des denrées. Ils semblent avoir été utilisés par les administrations pour gérer les biens transitant sur de longues distances. Cependant, on ignore leur sens précis. Ils n'évoquent en tout cas ni le propriétaire, ni le contenu, ni la contenance, ni la provenance des jarres.

Parmi les cinq systèmes graphiques considérés ici, ceux figurant sur des sceaux sont les seuls à ne pas être d'origine égyptienne. Les sceaux sont de petits objets hauts de quelques centimètres, en pierre ou en ivoire, dont on se sert pour imprimer une empreinte sur une tablette d'argile ou un bouchon de jarre. Ils ont été élaborés en Mésopotamie, puis introduits en Égypte à la fin du IV^e millénaire avant notre ère. Ils y ont été utilisés pendant près de 1000 ans.

Dans la vallée du Nil, on a retrouvé assez peu de ces sceaux, mais beaucoup de tablettes affichant leur empreinte.

Les plus anciens sceaux égyptiens proviennent de la nécropole U d'Abydos, où ont aussi été retrouvés les premiers documents écrits. Ils portent une iconographie mésopotamienne. Aux environs de -3000, les Égyptiens se réapproprient l'image véhiculée par les sceaux et y représentent des thèmes qui leur sont propres.

Des récépissés pour les marchandises

À quoi servent les sceaux ? Leurs empreintes dans les plaquettes d'argile gardent trace et font office de récépissé pour des échanges de biens voyageant sur de longues distances, probablement avec plusieurs intermédiaires entre l'expéditeur et le destinataire. Ils indiquent qui sont ces

derniers et valident les différentes étapes du transfert. Comme les *potmarks*, ils sont liés à l'essor des administrations royales (en Mésopotamie ou en Égypte) et au commerce de denrées précieuses (huile, textile, vin, etc.). Ainsi, des sceaux égyptiens ont été retrouvés en Nubie (un pays antique correspondant au Sud de l'Égypte et au Nord du Soudan actuels) et en Palestine, partenaires commerciaux du pays.

Notons que si les premiers sceaux donnent des indications sur le propriétaire ou le destinataire des denrées, ce ne sont pas pour autant des supports d'écriture : un roi-prêtre mésopotamien peut, par exemple, être représenté par une marque spécifique, telle une silhouette d'arbre ou d'animal. En revanche, les sceaux élaborés plus tardivement comprennent des inscriptions hiéroglyphiques, qui mentionnent parfois un nom ou un titre. Ainsi, des sceaux retrouvés à Gizeh portent les

Signes d'écriture

En comptant le nombre de signes d'une écriture, on peut déterminer de quel type elle est.

■ **Moins de 40 signes :** écriture alphabétique (un signe représente un son)

■ **De 40 à 100 signes :** écriture syllabique (un signe représente une syllabe)

■ **Plusieurs centaines de signes :** écriture logo-syllabique (un signe représente un mot complet ou une syllabe)

L'écriture égyptienne ne provient pas de Mésopotamie

Les plus anciens écrits mésopotamiens sont des tablettes retrouvées dans le temple d'Eanna, à Uruk, datées de -3100. Il s'agissait des premières traces d'écriture connues, jusqu'à ce qu'on découvre la tombe du roi Scorpion, à Abydos, en 1986 : datés de -3250, les écrits qu'elle recelait ont fait reculer de plusieurs siècles notre idée de l'origine de l'écriture en Égypte.

Une hypothèse classique attribuait alors une origine mésopotamienne à l'écriture égyptienne. Pourtant, tandis que cette dernière est héritée de systèmes graphiques complexes, l'écriture mésopotamienne a des précurseurs plus simples : les seuls connus sont les calculi (des jetons d'argile utilisés pour le comptage des têtes de bétail) et les sceaux. En outre, l'écriture égyptienne est restée figurative, alors que dans celle de Mésopotamie, la forme des signes s'est très vite écartée des éléments représentés : les signes sont devenus abstraits. L'écriture mésopotamienne est qualifiée de cunéiforme, du latin *cuneus* (clou), la forme des signes utilisés évoquant des clous et l'outil qui les imprime dans l'argile fraîche ressemblant à un clou.

Un autre argument contre l'hypothèse de l'origine mésopotamienne est qu'une écriture doit retranscrire



L'écriture mésopotamienne (à gauche) est abstraite, tandis que l'écriture égyptienne est figurative (à droite).

les sons d'une langue, à laquelle elle est de ce fait intimement liée. Or l'égyptien ancien et le sumérien (la langue qu'encode l'écriture proto-cunéiforme et qui était parlée par la plus ancienne civilisation de Mésopotamie) sont deux langues très différentes, qui n'ont pas les mêmes sonorités. Il semble donc peu probable que les Égyptiens aient adapté un système créé pour une autre langue et peu approprié à la leur.

L'examen des systèmes numériques, qui alimentent une grande part des écrits retrouvés, confirme les différences. Les Sumériens utilisent les bases de numération 60 et 120 (et ponctuellement la base 10), selon ce qu'ils comptent. Par exemple, on compte en base 60 des textiles et des animaux vivants ou des humains de statut élevé, tandis que la base 10

sert pour les êtres vivants (humains ou animaux) de statut inférieur. Le système de mesures varie aussi en fonction des catégories d'objets pris en compte. Initialement, l'écriture cunéiforme disposait de 13 systèmes de mesures différents.

Le système de numération égyptien, lui, est de base 10. Il est unique, quel que soit l'objet dénombré. Les systèmes de mesures (surfaces, volumes, liquides, poids...) sont également standardisés. Le boisseau (en égyptien ancien *hequat*), par exemple, sert pour presque toutes les mesures de volumes ; il correspond à la contenance d'un seau d'une trentaine de litres, avec des variations de quelques litres selon les régions. Ces variations peuvent sembler étonnantes, mais, à titre de comparaison, les valeurs des unités en France n'ont été harmoni-

sées que sous Louis XVI ! On utilise aussi des multiples décimaux de ces unités, à l'instar de nos grammes, kilogrammes, tonnes.

L'hypothèse d'une écriture héritée de la Mésopotamie n'est pas abandonnée pour autant : des découvertes futures pourraient faire reculer l'origine de l'écriture mésopotamienne, et des éléments ponctuels attestent de contacts entre les deux régions. Cependant, de plus en plus d'experts pensent que l'écriture a été inventée localement et de façon indépendante en Égypte. C'est probablement l'œuvre d'un petit groupe d'administrateurs royaux, à Abydos, la capitale de l'époque, peu avant -3250. L'étude des systèmes graphiques égyptiens confirme qu'ils étaient déjà engagés dans une évolution vers l'écriture.



5. CERTAINES RÈGLES DE COMPOSITION des vases décorés (*D-Ware*) ont été reprises dans les hiéroglyphes. La triple répétition d'un élément indique ainsi le pluriel, sur les *D-Ware* (*en haut à gauche, des autruches*) comme pour certains hiéroglyphes simples (*en haut à droite, des maisons*). Autre exemple : le sens d'un élément central est précisé ou légèrement modifié par l'ajout de préfixes et de suffixes. Sur ce motif d'un *D-ware* (*au milieu*), l'élément central évoque un rituel de régénération, et les éléments autour en précisent le contexte cérémoniel (bâtiments, animaux sacrifiés). De même, dans les hiéroglyphes (*en bas*), les éléments secondaires (*en bleu*) introduisent diverses nuances, transformant par exemple « penser » en « réfléchir ».

noms des pharaons Kheops et Khephren, qui ont régné vers le milieu du III^e millénaire avant notre ère.

Le dernier des cinq systèmes graphiques consiste en des marques à l'encre ornant certaines céramiques retrouvées dans des tombes. Les plus anciennes (vers -3250) ont été découvertes sur des jarres de la tombe U-j, tandis que les plus récentes proviennent des galeries souterraines de la pyramide du pharaon Djoser, à Saqqara, datée de -2640. Elles ressemblent peu aux premiers hiéroglyphes, gravés sur les étiquettes d'une jarre de la même tombe. Les inscriptions sont très courtes, de un à quelques signes. Ces signes n'ont pas d'équivalent dans les autres systèmes graphiques et ne peuvent être lus phonétiquement. C'est un système d'annotation différent de l'écriture, et qui reste incompris.

Les cinq systèmes graphiques présentés ici sont très différents les uns des autres. Cela tient en partie à leurs usages variés (comptable pour les sceaux et les *potmarks* ; rituel, politique et funéraire pour les gravures rupestres, les vases décorés et les marques à l'encre) et à la façon dont les signes sont organisés. Quoi qu'il en soit, ceux qui précèdent l'écriture en introduisent certains aspects essentiels.

Pour les plus anciens, le support semble crucial : la forme tridimensionnelle de l'objet qui accueille la représentation joue un rôle dans le message. Les gravures rupestres intègrent parfois cette forme dans la scène.

SUR CERTAINES GRAVURES, des animaux sont représentés entrant ou sortant de fissures dans la roche, pour symboliser le passage d'un monde à l'autre.

Ainsi, sur certaines gravures, des animaux sont représentés entrant ou sortant de fissures dans la roche, pour symboliser le passage d'un monde à l'autre.

Sur les vases peints, l'agencement des signes sur le support, leur emplacement (au-dessus d'un autre ou à un endroit plus ou moins visible) sont porteurs de sens. Certains vases sont aussi thériomorphes, c'est-à-dire en forme d'animaux : l'un d'eux a une forme d'hippopotame, et les harpons qui servaient à chasser l'animal sont peints dessus.

L'importance du relief du support diminue à la fin du IV^e millénaire. Cette évolution commence avec les *potmarks*, un peu avant l'écriture. L'objet devient alors une sorte de tableau en deux dimensions. Ce changement de statut permet au signe de s'affranchir : peu à peu, il est considéré

comme un tout en soi et non comme une partie d'un ensemble qui comprend son support. Les signes sont placés les uns derrière les autres, en ligne, ou en petits groupes resserrés plus ou moins rectangulaires. Dans le cas des représentations sur des récipients (les *potmarks* et les marques à l'encre), ils n'occupent plus qu'une petite partie de la surface disponible.

En outre, les systèmes graphiques ont fourni des règles syntaxiques à l'écriture. Certaines règles des vases peints se retrouvent ainsi dans la grammaire hiéroglyphique (voir la figure 5). Par exemple, sur les *D-ware* comme dans les hiéroglyphes, le pluriel s'exprime par la triple répétition d'un signe ; un dessin d'addax répété trois fois désigne ainsi « des addax », un pluriel indifférencié. Autre exemple : on modifie le sens d'un mot par l'ajout d'un préfixe ou d'un suffixe. Sur un vase peint, la scène évoquée est ainsi différente selon les éléments qui entourent l'élément central. De même, le hiéroglyphe *kai* (penser) précédé du signe phonétique « ne » donne *nekai*, signifiant réfléchir.

Les systèmes graphiques ne sont pas des écritures, car ils ne remplissent pas les critères énoncés précédemment : ils ne peuvent pas être compris sans un contexte culturel partagé et ils ne transcrivent pas les sons de la langue égyptienne. Cependant, les prémices de l'écriture y sont perceptibles. Certains de leurs signes sont à l'origine de hiéroglyphes, mais cela reste rare et la stylisation est assez différente. Leur héritage essentiel est ailleurs. Il est dans l'habitude d'enregistrer des informations avec des ensembles de signes codifiés par des règles et dans l'affranchissement de ces signes vis-à-vis du support.

Le dernier pas vers l'écriture

Vers -3250 se produit l'innovation déterminante qui marque la frontière avec l'écriture : l'acquisition d'un aspect phonétique. Les quelques centaines de plaquettes de la tombe U-j comportent 51 signes d'écriture différents. On y distingue des monilitères, des bilitères et des trilitères, c'est-à-dire des signes qui portent un nombre de phonèmes respectivement égal à un (A ou M par exemple), deux (KA, ST) ou trois (SAB, TCHR). Un lien avec le langage est ainsi créé. Dès lors, il n'est plus besoin de connaître à l'avance l'information enregistrée, ni le

contexte culturel : on ne se contente plus de se souvenir d'une histoire grâce à une représentation servant d'aide-mémoire, on lit un nouveau message.

De la liste de courses aux écrits religieux

Les déterminatifs, une autre catégorie majeure de signes de l'écriture hiéroglyphique, n'apparaissent que 300 ans plus tard, selon Ilona Reguluski, de l'Université de Berlin. Ce sont des signes qui s'écrivent, mais ne se prononcent pas, et indiquent à quelle catégorie appartient le mot (objet en bois, animal, divinité, etc.). Ils permettent de préciser le message et de lever le doute en cas d'homophonie. Sans doute le vocabulaire écrit était-il si limité initialement qu'il n'y avait pas d'ambiguïté à lever.

Les premiers textes égyptiens et mésopotamiens comportent non seulement des mots, mais aussi des chiffres. Dans les deux cas, les inscriptions sont des enregistrements comptables. On dénombre d'abord

■ BIBLIOGRAPHIE

G. Graff, *Construire l'image, ordonner le réel - Les vases peints du IV^e millénaire en Égypte*, Errance, 2013.

E. Teeter (éd.), *Before the Pyramids - The Origins of Egyptian Civilization*, Oriental Institute Museum Publications, 2011.

C. Woods et al., *Visible language - Inventions of Writing in the Ancient Middle East and Beyond*, Oriental Institute Museum Publications, 2010.
(oi.uchicago.edu/pdf/oimp32.pdf)

G. Graff, *Les peintures sur vases de Nagada I-Nagada II*, Presses Universitaires de Louvain, 2009.

C. Orgogozo, Champollion. *Comment il a déchiffré les hiéroglyphes*, *Les Génies de la science*, n°23, 2005.

des denrées, puis des surfaces, du temps de travail... Les textes tiennent plus de la liste de courses que de l'ode poétique!

À partir du III^e millénaire avant notre ère, l'écriture se complexifie. Elle n'est plus un simple système graphique d'enregistrement de denrées, elle permet de transcrire le discours oral. C'est manifeste notamment dans les *Textes des pyramides*, les plus anciens écrits religieux connus, retrouvés dans les tombeaux des pharaons ayant régné de -2300 à -2100. Ils transcrivent des formules magiques censées guider et protéger le souverain dans son périple vers l'au-delà.

En Égypte, les débuts de l'écriture apparaissent donc comme ancrés dans une tradition graphique ancienne, riche et variée. Conçue au départ comme un outil supplétif à la mémoire ou permettant d'échanger des informations à distance, l'écriture n'a pas été une invention soudaine, surgie de nulle part. Elle n'en a pas moins connu un succès rapide et considérable à travers le monde, et modifié en profondeur le mode de vie des populations humaines. ■



les conférences

Entrée gratuite dans la limite des places disponibles

à la Cité des sciences et de l'industrie

La frontière entre quantique et classique

mardi 1^{er} octobre à 19h La physique quantique cent ans après l'atome de Bohr
Serge Haroche, École normale supérieure de Paris, colauréat du prix Nobel de physique de 2012.

mardi 8 octobre à 19h À la limite du quantique : chat de Schrödinger et décohérence
Michel Brune, École normale supérieure de Paris.

mardi 15 octobre à 19h Le calcul quantique : défis et perspectives
Philippe Grangier, Groupe optique quantique de l'Institut d'optique.

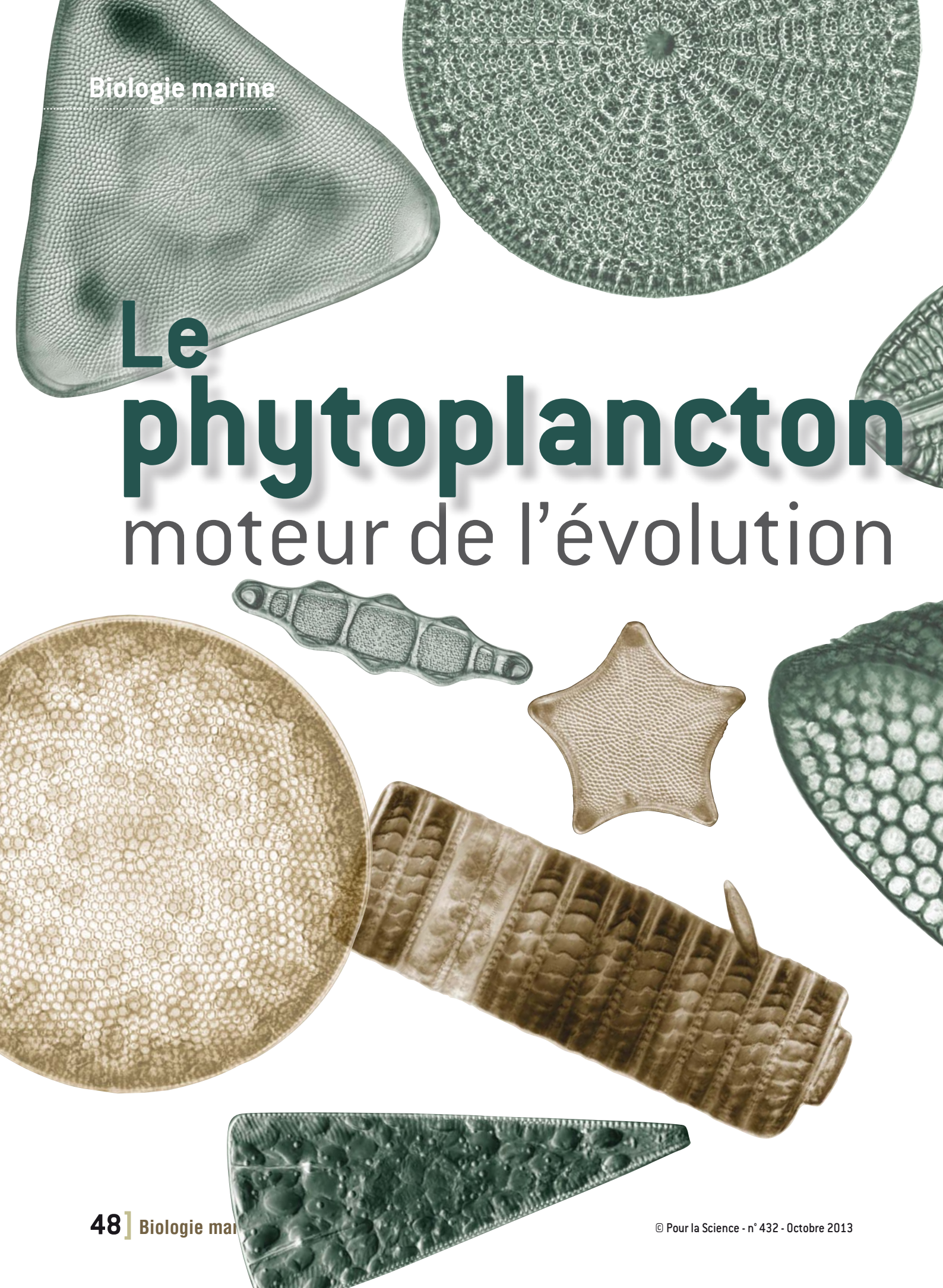
Avec le soutien de   

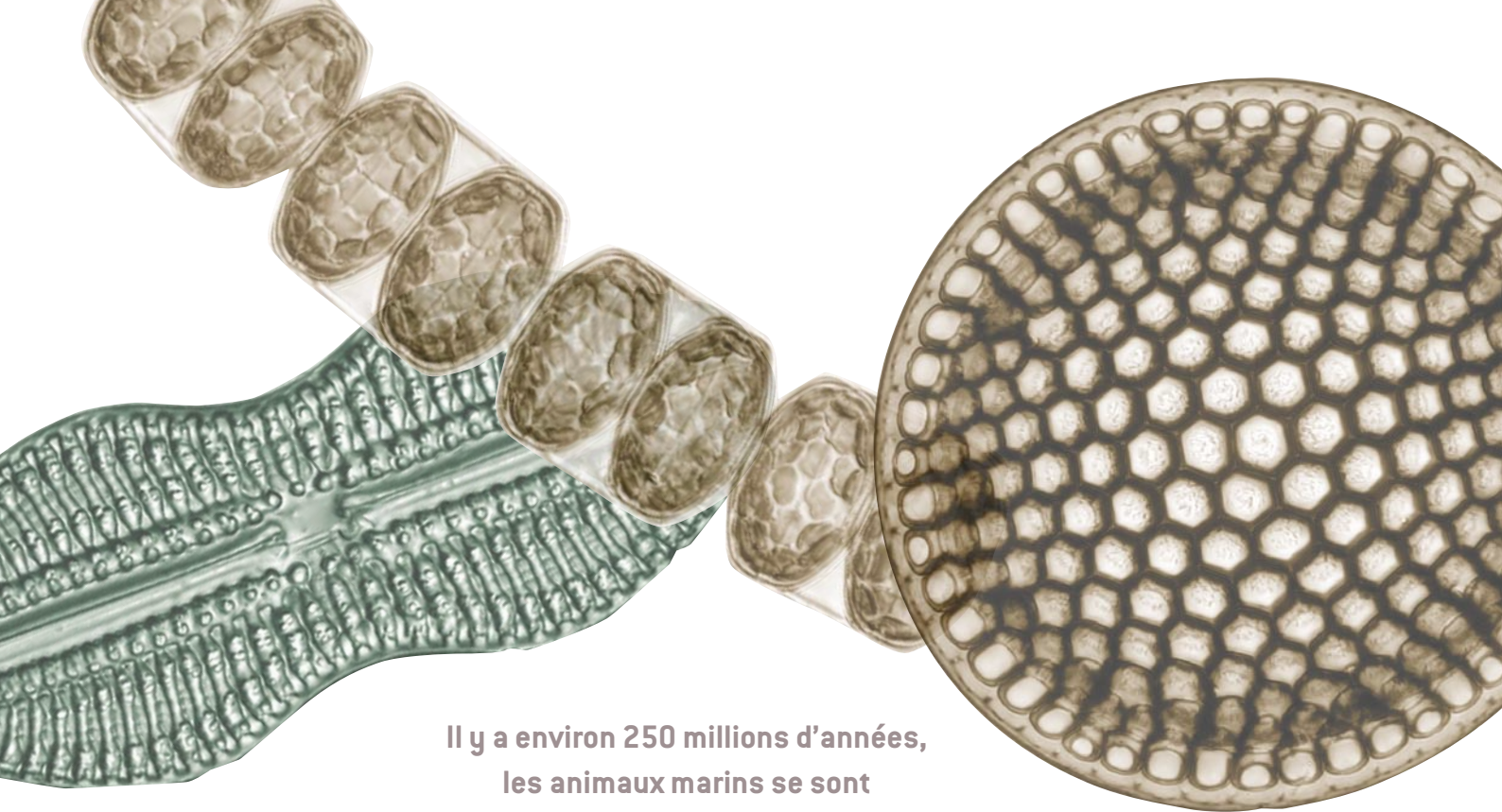
programme complet sur www.universcience.fr

Biologie marine

Le phytoplancton

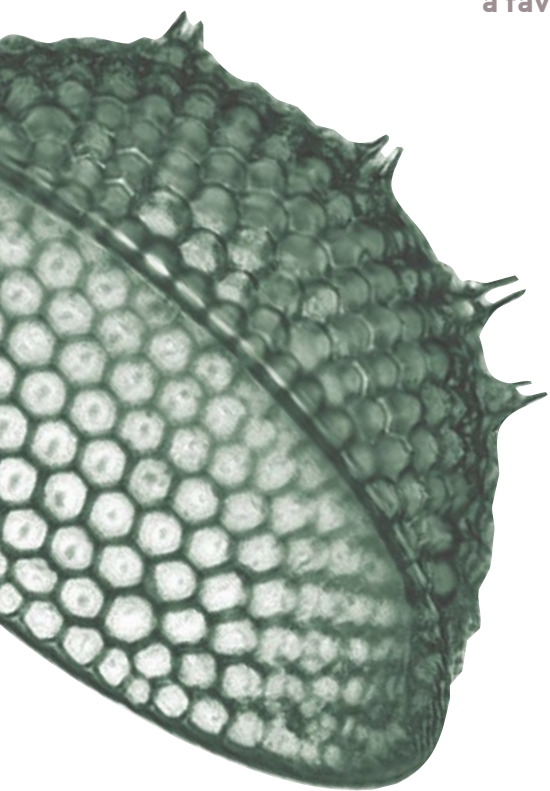
moteur de l'évolution





Il y a environ 250 millions d'années,
les animaux marins se sont
diversifiés rapidement. Le développement
du phytoplancton, des végétaux microscopiques,
a favorisé cet essor spectaculaire.

Ronald Martin et Antonietta Quigg



L'ESSENTIEL

- Après l'extinction massive des espèces marines survenue il y a 250 millions d'années, de nouvelles formes de vie très diverses se sont développées.
- Les biologistes ont attribué cette explosion évolutive à des facteurs physiques tels que le changement du niveau des mers.
- D'après plusieurs indices, le rôle du phytoplancton a été négligé. Son augmentation en quantité et en qualité nutritive aurait permis aux animaux marins modernes d'apparaître.

1. **DES DIATOMÉES** et d'autres organismes du phytoplancton de la lignée dite « rouge » ont commencé à remplacer le phytoplancton de la lignée « verte » il y a quelque 250 millions d'années.

© Charles Krebs

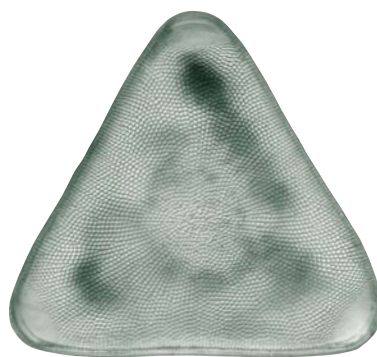
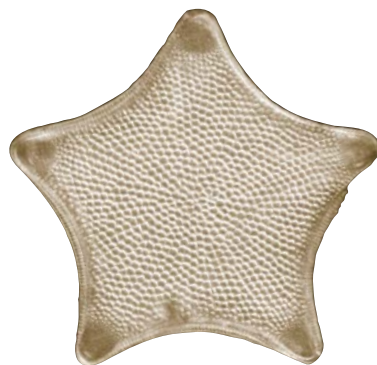
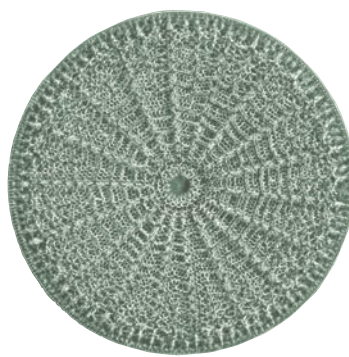
Si vous pouviez remonter le temps et visiter la Terre telle qu'elle était il y a 500 millions d'années, au Paléozoïque, vous ne reconnaîtriez pas votre planète. Les continents étaient, pour la plupart, concentrés dans l'hémisphère Sud ; les océans présentaient des configurations et des courants différents ; les Alpes et le Sahara n'étaient pas encore formés. Les plantes terrestres n'existaient pas. Une différence tout aussi notable concerne les animaux. La plupart des organismes multicellulaires vivaient en mer. Les maîtres des océans étaient les brachiopodes et les trilobites, des cousins disparus des crustacés et des insectes d'aujourd'hui, reconnaissables à leurs exosquelettes, leurs longues antennes et leurs yeux composés.

Après la crise, un boom des espèces

La diversité des animaux marins a augmenté progressivement jusqu'à l'extinction du Permien, il y a 250 millions d'années, qui a vu disparaître plus de 90 pour cent des espèces océaniques. Cela a mis fin à l'ère du Paléozoïque. Le vide laissé par cette catastrophe a entraîné une importante phase de réorganisation, au cours de laquelle s'est établie la domination de nouveaux groupes d'animaux, qui règnent aujourd'hui dans les mers. On retrouve, par exemple, les poissons prédateurs, les mollusques, les crustacés ou encore les oursins.

L'étude des fossiles présents dans les sédiments permet de recenser les espèces et d'estimer l'importance des différentes populations (voir l'encadré page 51). Ces analyses montrent qu'au Mésozoïque et au Cénozoïque, les ères qui ont suivi le Paléozoïque, la vie marine s'est diversifiée à un rythme sans précédent.

Pour expliquer cet essor, les chercheurs ont d'abord pensé que les fossiles les plus anciens avaient disparu sous l'effet de l'érosion, ce qui donnait l'illusion d'une diversification importante. Mais des travaux ultérieurs ont indiqué que cet épanouissement apparent d'espèces marines a été bien réel. Afin d'expliquer le phénomène, les biologistes ont étudié divers facteurs, notamment les changements climatiques et les variations du niveau de la mer, ainsi que l'extinction de certaines espèces, susceptibles de créer de nouvelles opportunités de développement. Pour-



tant, bien que tous ces éléments aient pu contribuer à la diversification amorcée il y a 250 millions d'années, ils ne peuvent à eux seuls être responsables de l'explosion évolutive observée.

Un autre facteur a été sous-estimé : la nourriture disponible sous forme de plantes microscopiques, le phytoplancton. L'étude des fossiles montre que le phytoplancton a connu, après la crise du Permien, une augmentation en quantité et en diversité. Les espèces se nourrissant de phytoplancton y ont trouvé d'abondants nutriments. Ainsi, le développement de ces végétaux microscopiques a accompagné la spectaculaire émergence de nouvelles créatures marines au Mésozoïque et au Cénozoïque.

Selon nous, l'évolution de ces plantes microscopiques, qui sont à la base de la chaîne alimentaire marine, a été le moteur du développement de la faune marine moderne. En outre, cette compréhension nouvelle de la façon dont le phytoplancton a transformé la vie dans les mers anciennes ouvre des pistes de réflexion sur l'avenir des océans actuels. Le phytoplancton reste un élément clé de la chaîne alimentaire ; mais qu'advient-il si les changements climatiques perturbent leur prolifération, comme ils ont déjà commencé à le faire ?

Source d'énergie

Comment le phytoplancton a-t-il joué un rôle crucial dans l'évolution des animaux marins ? Comme toutes les plantes, le phytoplancton exploite l'énergie du Soleil pour fabriquer de la matière organique grâce à la photosynthèse. De minuscules organismes herbivores dérivants – le zooplancton – se nourrissent du phytoplancton et sont à leur tour mangés par des prédateurs situés plus haut dans la chaîne alimentaire. L'azote, le fer, le phosphore et d'autres nutriments présents dans l'eau stimulent la croissance du phytoplancton. Plus ces nutriments sont disponibles, plus le phytoplancton croît et plus le zooplancton s'en nourrit et prolifère.

Non seulement le phytoplancton est plus abondant, il est aussi plus nutritif pour le zooplancton. Ces micro-organismes se développent et se reproduisent alors plus efficacement. Leurs populations augmentant, ils se dispersent et conquièrent de nouveaux territoires. Certaines populations se retrouvent isolées de leurs populations