

reusement, dans ces expériences, nous ne contrôlons pas assez les caractéristiques des sons pour tester si le robot préfère certains chants à d'autres.

Lorsque le chant est partagé entre les deux haut-parleurs, en revanche, les syllabes provenant alternativement d'un côté puis de l'autre, le robot s'embrouille et se déplace entre les deux sources. Un grillon femelle confronté à ce scénario fait plus ou moins de même. Dans la nature, une telle situation ne dure pas : si deux mâles commencent à chanter en alternance, ils se synchronisent rapidement, parce que le chant de l'un stimule celui de l'autre.

Les similitudes entre les comportements du robot dans diverses situations et celui de véritables grillons ne prouvent pas que les mécanismes qui contrôlent la recherche du son chez ces derniers soient ceux que nous avons choisis pour nos expériences. Toutefois, elles permettent de proposer un modèle simple. Plus généralement, elles montrent qu'un comportement efficace et complexe peut résulter d'un mécanisme de contrôle simple, dès lors que celui-ci interagit de façon adéquate avec son environnement. Nous construisons aujourd'hui, avec le même mécanisme, un robot plus petit qui traite les sons plus rapidement ; nous le testerons avec des enregistrements de véritables chants de grillons pour voir si son comportement est encore plus proche de celui des grillons femelles.

Barbara WEBB est professeur de psychologie à l'Université de Nottingham.

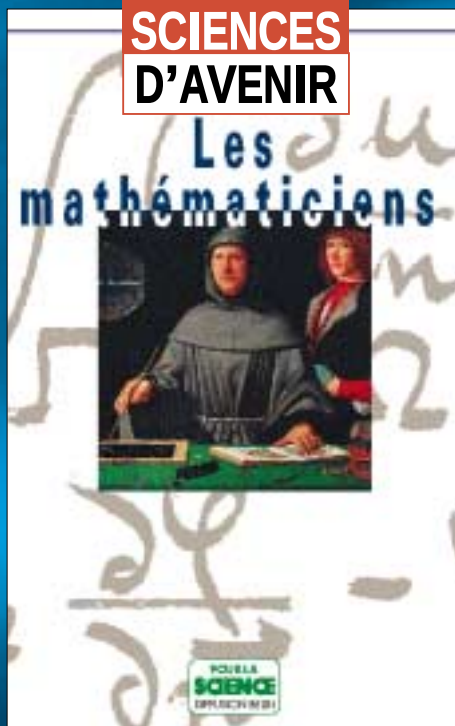
Franz HUBER et John THORSON, *La communication auditive chez le grillon*, in *Pour la Science*, février 1986.

T. WEBER et J. THORSON, *Auditory Behavior of the Cricket*, vol. 4 : *Interaction of Direction of Tracking with Perceived Temporal Pattern in Split-Song Paradigms*, in *Journal of Comparative Physiology A*, vol. 163, n° 1, pp. 13-22, janvier 1988.

Cricket Behavior and Neurobiology, sous la direction de F. Hubert, T.E. Moore et W. Loher, Comstock Publishing Associates, 1989.

A. MICHELSEN, A.V. POPOV et B. LEWIS, *Physics of Directional Hearing in the Cricket Gryllus bimaculatus*, in *Journal of Comparative Physiology A*, vol. 175, n° 2, pp. 153-162, février 1994.

Barbara WEBB, *Using Robots to Model Animals : A Cricket Test*, in *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 16, n° 2-4, pp. 117-132, 1995.



LES MATHÉMATICIENS

Pour comprendre le processus de la création mathématique, il faut saisir ce qui fait l'originalité d'un mathématicien. Cet ouvrage réunit les portraits de quinze grands mathématiciens. Leurs rapports avec leur époque, le regard qu'ils portent sur leur activité sont plus qu'anecdotiques : ils révèlent la genèse des idées nouvelles et mettent en lumière le caractère audacieux, dynamique et imaginatif de l'invention mathématique.

Voir bon de commande p. 98

**POUR LA
SCIENCE**
DIFFUSION BELIN

La vie quotidienne dans l'Égypte ancienne

ANDREA MCDOWELL

Des ouvriers-artisans et leurs familles ont vécu, il y a 3 000 ans, dans le village nommé aujourd'hui Deir el-Medina. Des écrits provenant de cette communauté exceptionnellement instruite décrivent de nombreuses activités quotidiennes.

Durant le Nouvel Empire (1552-1085 avant notre ère), la ville de Thèbes, capitale de Haute-Égypte, devint l'un des plus grands centres urbains du monde antique. Les temples imposants de Karnak et de Louxor furent construits à cette époque ; ils dominent encore la rive droite du Nil dans la ville moderne de Louxor. La Vallée des Rois, toute

proche sur la rive gauche du Nil, contient une soixantaine de tombeaux, dont celui du pharaon Toutankhamon. Des centaines de tombes privées, parfois magnifiquement décorées, s'alignent également sur cette rive.

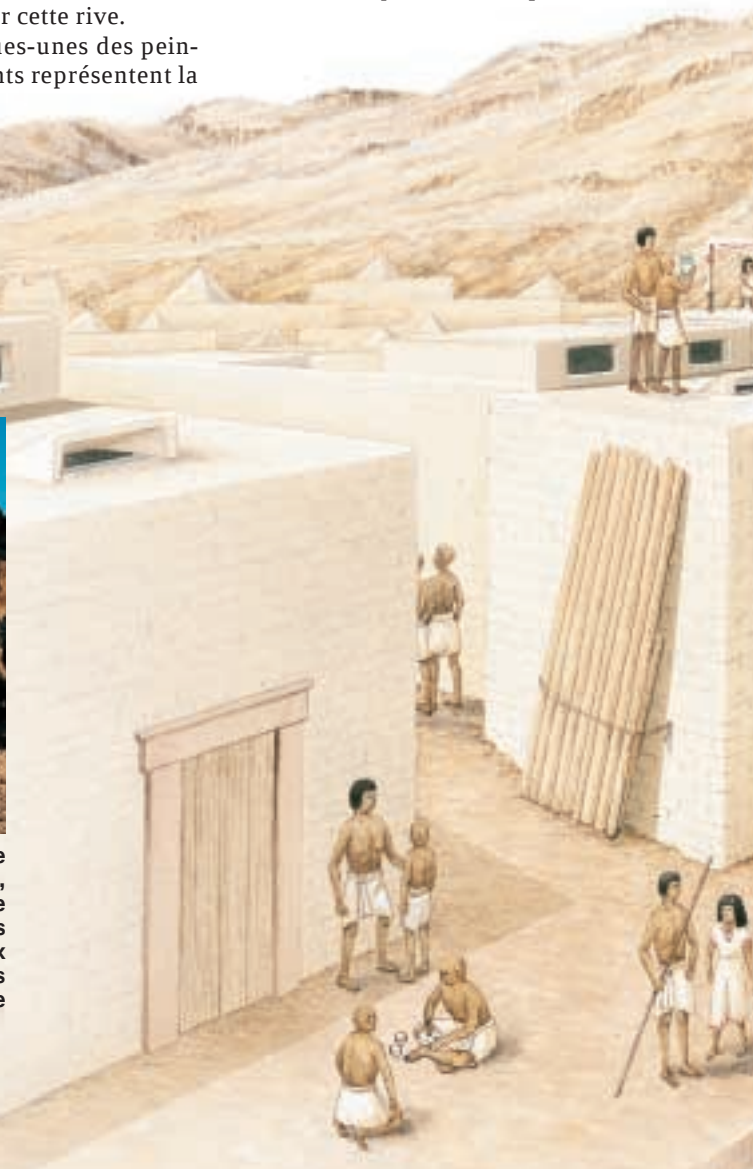
Bien que quelques-unes des peintures des monuments représentent la

vie fastueuse de la haute société, le reste des temples et des tombeaux nous renseigne davantage sur les préoccupations religieuses et les croyances en l'au-delà que sur les aspects de la

Photo : O. Louis Mazza/anta. National Geographic Image Collection. Dessin : Tono Narashima



1. DEIR EL-MEDINA (ci-dessus) est situé près des ruines de la ville de Thèbes. Il y a 3 000 ans, ce village était celui des tailleurs de pierre, des scribes et des peintres-décorateurs qui travaillaient à la nécropole de la Vallée des Rois. Ces ouvriers-artisans utilisaient des fragments de pierre nommés «ostraca» comme supports d'écriture peu coûteux pour les documents officiels ou privés, les lettres, les poèmes et les croquis. Des milliers d'ostraca ont été trouvés sur le site de ce village remarquablement préservé, reconstitué ci-contre.



vie quotidienne. Si moins de vestiges témoignent de cette dernière, c'est que la majorité des demeures, contrairement aux monuments de pierre parvenus jusqu'à nous, étaient bâties en briques de terre séchées au soleil qui n'ont pas résisté à l'humidité de la vallée. L'ameublement et toutes traces écrites qui nous auraient documentés sur les modes de vie des quelques lettrés ont également disparu. Toutefois, à la lisière occidentale de l'ancienne cité, les vestiges d'une petite communauté ont échappé à la destruction générale. Dans ce village, aujourd'hui Deir el-Medina, vivaient des ouvriers-artisans qui taillaient et ornaient les tombes royales de la Vallée des Rois.

Situé dans une région aride et relativement isolée, le site est remarquablement préservé : en certains endroits, les restes des habitations et des chapelles atteignent encore une hauteur de deux mètres. Pendant la première moitié de ce siècle, les archéologues

ont surtout trouvé une très grande quantité de monuments religieux et de biens domestiques, ainsi que des tombes intactes contenant des cercueils, des meubles et des vêtements. En outre, ils ont découvert, sur toute la surface du site et, plus particulièrement, dans les décharges de la ville, des milliers de documents écrits qui datent pour la plupart de la période située entre 1275 et 1085 avant notre ère. Quelques-uns de ces textes sont sur des rouleaux de papyrus, mais la plupart sont écrits sur des tessons de poterie ou des éclats de calcaire : les «ostraca», qui, pour cette communauté, servaient de «papier».

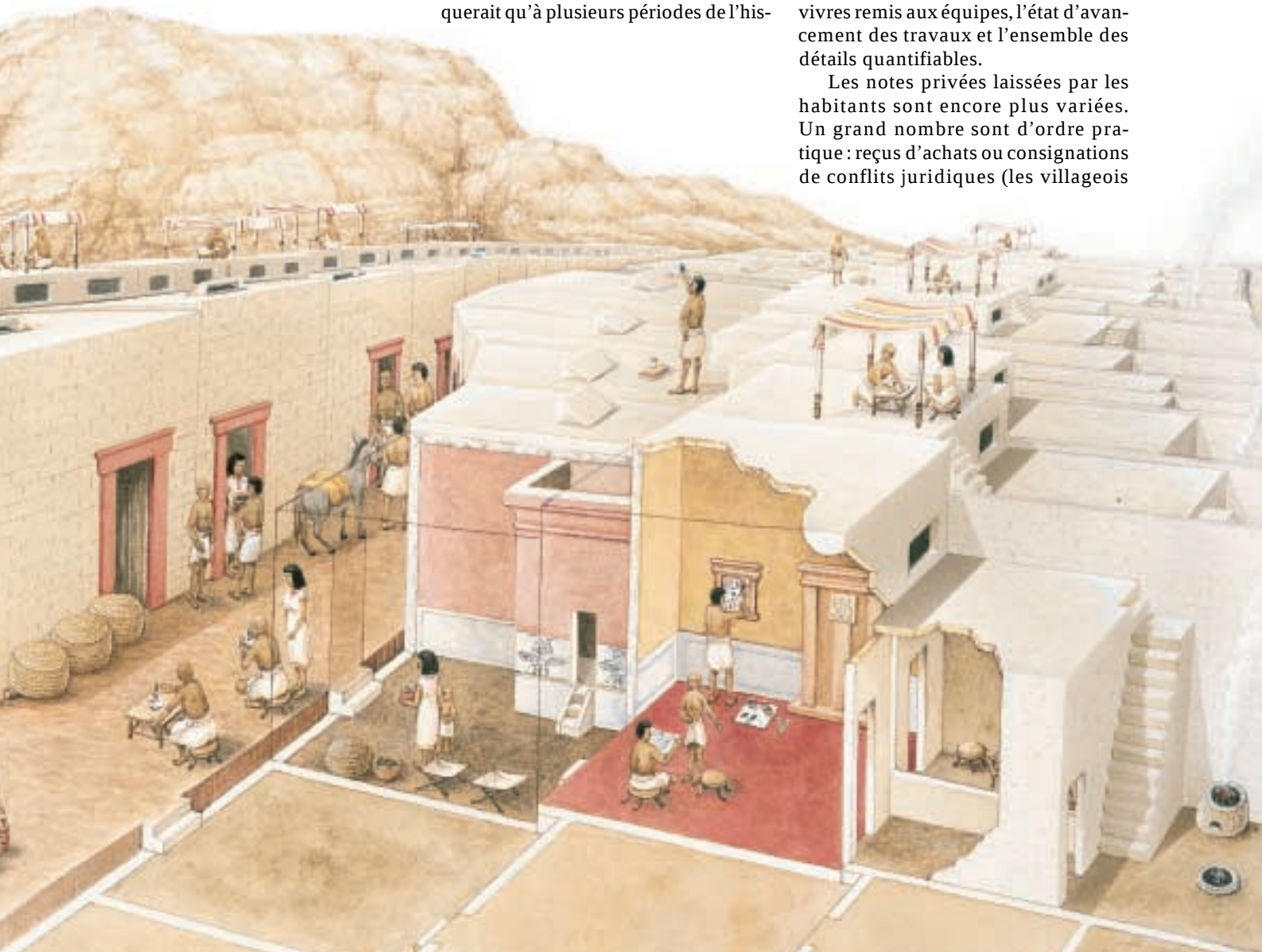
Tous ces écrits révèlent la vie quotidienne d'il y a trois millénaires : on y trouve aussi bien des documents administratifs que des poèmes d'amour ou des correspondances privées qui mentionnent des différends familiaux, des problèmes de santé ou des conflits juridiques. Ces écrits nous renseignent aussi sur le système éducatif de l'Égypte ancienne. L'abondance des textes indiquerait qu'à plusieurs périodes de l'his-

toire de la ville de nombreux hommes savaient lire et écrire (on ignore si beaucoup de femmes, à Deir el-Medina, étaient instruites ; on sait qu'elles échangeaient des lettres, mais peut-être en dictaient-elles le contenu à des hommes). Ce niveau d'instruction élevé était exceptionnel en Égypte ancienne, où une très faible proportion de la population était alphabétisée sous le Nouvel Empire. Les ostraca révèlent comment s'est instaurée cette particularité.

Apporte-moi un peu de miel pour les yeux

Avant d'examiner le système éducatif de Deir el-Medina, utilisons quelques-uns des ostraca afin de reconstituer la vie du village et le contexte dans lequel s'est installé ce système d'instruction exceptionnel. Le grand nombre de documents administratifs l'attestent : les Égyptiens étaient des bureaucrates maniaques, notant avec le plus grand soin les outils qui étaient confiés aux ouvriers travaillant à la nécropole, les vivres remis aux équipes, l'état d'avancement des travaux et l'ensemble des détails quantifiables.

Les notes privées laissées par les habitants sont encore plus variées. Un grand nombre sont d'ordre pratique : reçus d'achats ou consignations de conflits juridiques (les villageois



étaient des plaideurs acharnés). Textes étonnants, les lettres personnelles plongent le lecteur dans ce monde antique du Nouvel Empire. Par exemple, dans l'une de ces missives, un homme nommé Pay écrit à son fils au sujet d'une affection oculaire qu'il a vraisemblablement contractée lors de la construction des tombes, en pleine poussière, sous un mauvais éclairage, avec des éclats de pierre qui volaient :

«Le décorateur Pay dit à son fils le décorateur Preemhab : ne te détourne pas de moi, je ne vais pas bien. Ne cesse pas de plaindre mon sort, car je suis dans l'obscurité depuis que mon dieu Amon m'a abandonné.

«Peux-tu m'apporter un peu de miel pour les yeux, et aussi un peu d'ocre qui sert à faire des briques, et aussi de la poudre de

galène véritable pour les yeux? Dépêche-toi! Je compte sur toi! Ne suis-je pas ton père? Me voilà maintenant bien malheureux. Je suis à la recherche de ma vue, et je ne la trouve pas.»

Les lamentations de Pay ne sont pas étonnantes : la cécité était l'un des pires maux pour un ouvrier qui peignait des personnages et des hiéroglyphes dans les tombes. Le mélange de miel, d'ocre et de galène pour les yeux que Pay réclame est décrit dans des papyrus médicaux ; il s'agissait apparemment d'un remède courant. Le miel a des propriétés antiseptiques et l'ocre, ingrédient utilisé dans beaucoup d'autres prescriptions de l'époque, était censé réduire les enflures parce qu'il rafraîchit les paupières. Comme beaucoup d'ouvriers souffraient de ces affections des yeux, le traitement en question devait être bien connu ; Pay a pu le demander de lui-même ou après avoir consulté un médecin.

La moitié des textes trouvés à Deir el-Medina sont religieux ou littéraires. Des copies d'un grand nombre d'œuvres «classiques» de la littérature égyptienne ancienne y ont été trouvées ; parfois, les ostraca retrouvés dans ce village constituent les seuls exemplaires des œuvres. L'étude de ces textes classiques faisait partie du programme éducatif de base d'un étudiant : des



Ministère de la Culture et de l'environnement, Musée égyptien de Turin

2. LES SCRIBES utilisaient des brosses de plusieurs tailles, un pot de pigment rouge et des matériaux bruts pour peindre les personnages et les hiéroglyphes dans les tombes royales.



Musée Fitzwilliam, Université de Cambridge

3. CES PORTRAITS d'un tailleur de pierre (à gauche) et d'un scribe (à droite) révèlent deux styles de dessins retrouvés sur les ostraca de Deir el-Medina. Le tailleur de pierre, avec son ciseau et son maillet, est dessiné sommairement ; son nez bulbeux, son menton mal rasé et sa bouche ouverte, lui confère un aspect presque caricatural. L'autoportrait du scribe Amenhotep adorant le dieu Thot est, lui, conforme aux canons de l'art égyptien antique.



Musée égyptien du Caire

dizaines de textes scolaires comportent des extraits d'œuvres majeures de la littérature du Moyen Empire (environ 2000-1640 avant notre ère), écrits dans une langue aussi éloignée du langage ordinaire des étudiants que le français de Rabelais l'est du français d'aujourd'hui. De surcroît, beaucoup de villageois écrivaient eux-mêmes des textes destinés à l'enseignement, des hymnes et des lettres. Le scribe Amennakhte écrivit, par exemple, un poème à la gloire de la ville de Thèbes :

«Au fond de leur cœur, chaque jour, que se disent ceux qui sont loin de Thèbes?

Ils passent la journée

à rêver de son nom, disant

«Si seulement sa lumière était la nôtre!»...

Le pain qu'on y trouve a plus de saveur que les gâteaux à la graisse d'oie.

Son eau est plus douce que le miel ; on peut en boire jusqu'à l'ivresse.

Voyez, c'est ainsi qu'on vit à Thèbes!

Pour elle, le ciel a redoublé sa brise rafraîchissante.»

De l'importance de l'instruction

Un papyrus trouvé dans les archives d'un scribe du village montre que les villageois prisait les connaissances et les aptitudes littéraires. Dans cet extrait, l'auteur rend un hommage inhabituel à l'apprentissage : là où d'autres mettent en valeur l'art de l'écriture et la connaissance des œuvres classiques, sa description de la profession de scribe souligne plutôt la notion d'auteur, de créateur de textes, et la renommée qui peut en découler après la mort ; il en appelle à la profonde aspiration de l'Égyptien à l'immortalité :

«Quant aux scribes érudits de l'époque qui succéda à celle des dieux, ceux qui ont prédit les événements à venir, leurs noms vivent à jamais, alors même qu'ils ne sont plus, que leur vie est achevée et que leurs proches sont oubliés.

«Ils ne se sont pas bâti de pyramides de bronze avec des stèles d'airain, ils n'ont point projeté de laisser derrière eux, pour héritiers, des enfants de leur chair qui perpétueraient leur nom. Ils se sont fait pour héritiers les enseignements qu'ils ont écrits.»

L'alphabétisation exceptionnelle des ouvriers de Deir el-Medina est certainement due aux particularités de leur métier : la plupart des artisans qualifiés devaient comprendre les hiéroglyphes pour travailler dans les tombes royales. Aux débuts de l'histoire du village, les tombes des pharaons ne contenaient que de simples instructions pour l'au-delà, écrites en cursive et accompagnées de hiéroglyphes dessinés. Cependant, à la fin du XIV^e siècle avant notre ère, quand des peintures plus élaborées et des sculptures apparurent dans les tombes, le nombre de textes écrits s'accrut, ce qui pourrait s'interpréter comme une élévation du niveau d'instruction.

Le roi Horemheb, qui gouverna vers 1323 avant notre ère, introduisit les reliefs peints dans la Vallée des Rois. Les projets ambitieux d'Horemheb et de ses successeurs néces-

sitaient la présence de toute une équipe de dessinateurs pour faire les dessins initiaux et réaliser la peinture finale ; comme les œuvres peintes des tombes comportaient de nombreux hiéroglyphes, ces ouvriers devaient savoir lire.

Dans l'Égypte ancienne, les personnes éduquées accédaient à un statut social supérieur. Cette éducation distinguait la classe des ouvriers-artisans de celle des paysans. Ces connaissances pouvaient aussi permettre aux ouvriers-artisans de se recycler. En outre, cette ambiance intellectuelle peut aussi avoir stimulé efficacement les jeunes gens, les poussant à étudier pour être au niveau général.

Nous savons encore mal comment les habitants apprenaient réellement à lire et à écrire. Les textes égyptiens du Nouvel Empire ne mentionnent pas directement des écoles, attestant simplement leur existence et leur

Un cours de littérature égyptienne

Cet ostrakon comporte un extrait du poème *Satire des métiers*, une œuvre classique du Moyen Empire. Ce poème décrit des activités variées, telles celles de tisserand, de fabricant de flèches et de messenger, que l'auteur considère comme inférieures à celle de scribe, tout à fait digne d'estime. L'étudiant qui en a fait cette copie n'était apparemment pas familier du langage archaïque utilisé dans le poème – écrit plus de 700 ans auparavant – et a dénaturé le texte d'origine. Lorsque le cours était terminé, l'étudiant inscrivait la date à l'encre rouge.



Media Services, Hunterian Museum, Université de Glasgow

Texte original de l'extrait :

Le messenger pénètre dans le désert,
Laissant ses biens à ses enfants ;
Il redoute les lions et les Asiatiques,
Et ne se connaît lui-même que lorsqu'il est en Égypte.
Lorsque, à la nuit il retrouve sa demeure,
La marche l'a épuisé ;
Que sa maison soit de toile ou de briques,
Son retour est sans joie.

Sa copie par l'étudiant :

Le messenger pénètre dans le désert,
Laissant ses biens à ses enfants ;
Il redoute les lions et les Asiatiques,
Qu'en est-il lorsqu'il est en Égypte ?
Lorsque, désespéré, il retrouve sa demeure,
Le trajet l'a partagé.
Tandis qu'il s'avance hors de sa maison
de toile ou de briques,
Il ne le fera pas dans la joie.

troisième mois d'hiver, 1^{ère} journée

Deir el-Medina : un cas unique dans l'histoire de l'archéologie

Ce site civil bien conservé, alors que la plupart des villes et villages de la vallée ont été détruits en raison de leur occupation permanente, a livré des milliers de documents écrits d'époque ramesside, ainsi qu'un grand nombre d'objets (stèles, statues, objets de la vie quotidienne, etc.). C'est à l'Institut français d'archéologie orientale (IFAO) qu'il revint de mener à bien l'exploration systématique du site.

Bien avant les fouilles, Deir el-Medina fut la proie des agents de «collectionneurs», souvent des consuls, qui revendirent leurs trouvailles à leur gouvernement. En 1832, l'expédition française venue chercher l'obélisque offert par Méhémet-Ali pour commémorer l'expédition d'Égypte se livra à des fouilles dans ce secteur. Au fond d'un puits, on découvrit le magnifique sarcophage en basalte de la reine Ankhnesneferibrê, qui fut acquis par l'Angleterre. En 1886, une mission française mit au jour la sépulture inviolée de Sennedjem (un ouvrier de la nécropole) et de sa famille. L'inventaire fait état d'un mobilier ramesside pour la première fois complet : meubles, statuettes, paniers, linge, vaisselle, etc. Une autre sépulture intacte fut trouvée par des fouilleurs italiens, celle du chef des travaux, Khâ, et de son épouse (fin de la XVIII^e dynastie).

D'autres missions travaillèrent sur le site, mais c'est l'IFAO qui mena à bien une longue série de fouilles sous la direction de Bernard Bruyère, de 1922 à 1940, puis de 1945 à 1951. Les résultats furent spectaculaires : on ne mentionnera que la trouvaille de la tombe décorée de l'ouvrier Sennefer et de son épouse. Lors de son dernier chantier, Bruyère mit au jour le «Grand Puits», profond de 50 mètres, et qui fut comblé dans l'Antiquité, avec des déblais

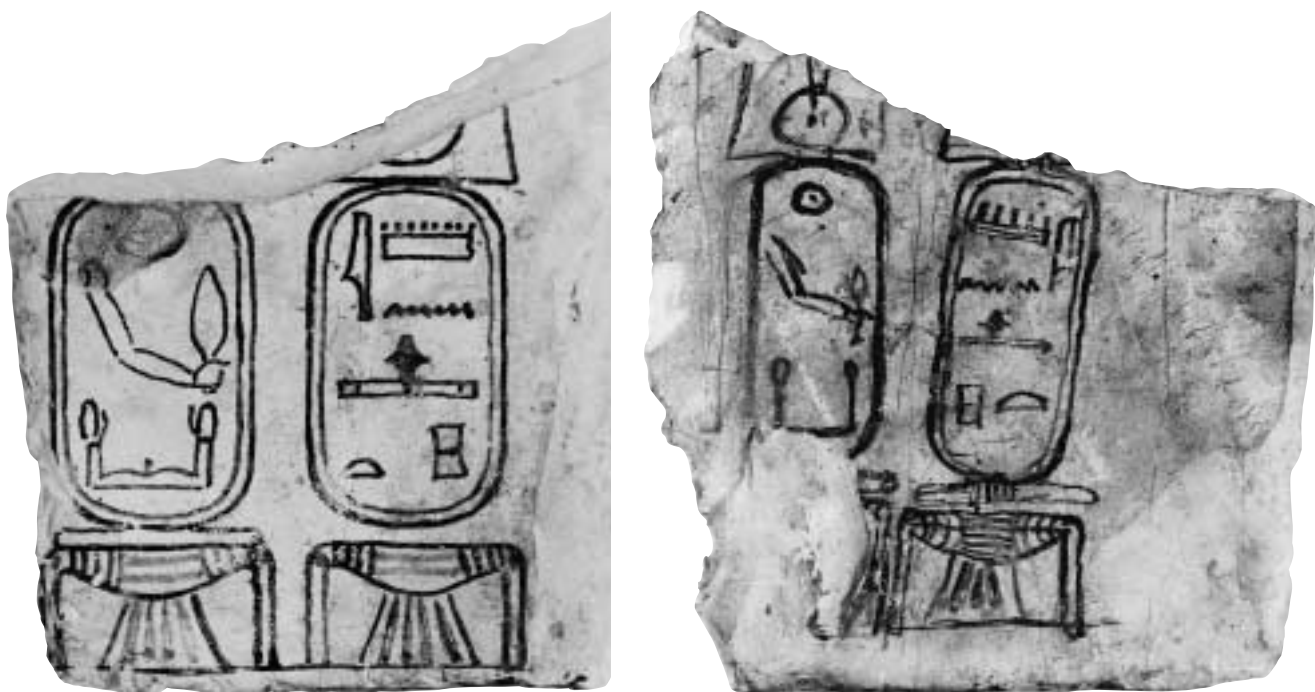
du village riches d'objets archéologiques de toutes sortes ainsi qu'en textes documentaires et littéraires. Les tombes, souvent décorées de peintures splendides, le site du village et les maisons des ouvriers furent mis au jour un à un et soigneusement restaurés.

Sur ce chantier travaillèrent des égyptologues qui consacrèrent leur vie à l'étude de cette manne de documents. Jaroslav Černý étudia les sources documentaires, Georges Posener les textes littéraires et Jean-Jacques Clère devint un maître de l'épigraphie. Par leurs travaux, ils firent connaître la vie quotidienne des ouvriers-artisans de la «Place de Vérité», le nom antique de Deir el-Medina. Leurs apports furent décisifs pour notre connaissance de l'époque ramesside et de la civilisation de l'Égypte pharaonique.

Depuis 1969, de nouvelles études sont en cours, sous l'impulsion de Serge Sauneron, qui était alors directeur de l'IFAO : couverture photographique du site et des tombes, dont beaucoup sont décorées, publication des graffiti que les ouvriers laissèrent dans la montagne thébaine ; entre 1974 et 1976, trois campagnes de fouilles permirent de mieux comprendre l'histoire du village et la chronologie relative du site.

La publication de documents inédits provenant de Deir el-Medina se poursuit encore aujourd'hui (étiquettes de jarres, ostraca, papyrus, sparteries, documents épigraphiques, etc.). Nombre de ces objets de la vie quotidienne sont exposés au musée du Louvre avec d'autres plus imposants.

Yvan KOENIG, Institut d'égyptologie thébaine,
Musée du Louvre



Medelhavsmuseet, Musée des Antiquités méditerranéennes et du Proche-Orient, Stockholm

4. CETTE REPRÉSENTATION des cartouches du roi Amenotep I^{er} a été dessinée d'une main assurée par le professeur sur l'une des faces de cet ostracon (à gauche). Un étudiant a alors retourné l'ostracon et l'a reproduite (à droite), en inversant certains des signes.



Musée égyptien, Université de Leipzig

5. LES FOURS étaient dans la «cuisine», à l'arrière des maisons de Deir el-Medina. Sur ce dessin, les mots «soufflant dans le four» sont visibles dans le texte, à gauche de la femme.

fréquentation par de jeunes enfants. Voici par exemple une petite histoire qui décrit l'expérience scolaire d'un jeune garçon du village dont la mère n'est pas mariée :

«Il fut envoyé à l'école et y apprit à écrire remarquablement. Il pratiqua tous les arts militaires et surpassa ses camarades plus âgés, qui étaient à l'école avec lui. Alors ceux-ci lui dirent : «De qui es-tu le fils ? Tu n'as pas de père !» Et ils l'injurèrent et le narguèrent : «Eh toi ! Tu n'as pas de père !»

Certains ostraca abandonnés sur place nous informent sur ce qu'étaient l'apprentissage de la lecture, de l'écriture et des connaissances générales. De nombreux documents trouvés dans le village sont, à l'évidence, des exercices d'étudiants, parfois signés de deux noms : celui de l'élève et celui du professeur. Certains portent une date qui indique la fin d'une leçon, et certains portent même plusieurs dates, sans doute parce que les étudiants réutilisaient le même ostracon pour différents cours.

Les signatures présentes sur les ostraca montrent que, bien souvent, les pères ou les grands-pères supervisaient l'éducation de leurs fils ou petits-fils ; cependant des pères – même instruits – envoyaient parfois leurs fils chez un maître d'un rang plus élevé, pour parfaire son apprentissage (une

signature, malheureusement mal conservée, semble être celle d'une étudiante, témoignage qu'une femme, au moins, aurait été instruite ainsi). Les professeurs étaient issus des classes supérieures : les ostraca mentionnent que des scribes, des dessinateurs et des ouvriers en chef occupaient cette fonction.

Les dates figurant sur les ostraca montrent que les étudiants semblent avoir accordé le rythme de leurs cours avec celui de leur activité professionnelle : des textes comportent souvent une série de dates espacées de plusieurs jours parce que, peut-être, les élèves ou les professeurs étaient partis travailler dans les tombes. Malgré leur activité professionnelle, les ouvriers avaient du temps pour étudier. Vers la fin du règne d'un pharaon, lorsque la tombe était presque achevée, ils avaient plus de journées disponibles : lors des étapes finales, ils ne passaient probablement pas plus d'un jour sur quatre dans la Vallée des Rois.

La différence principale de ce système éducatif par rapport à celui des autres cités d'Égypte tient à la diversité de ceux qui apprenaient à lire et à écrire. D'autre part, les matériaux utilisés pour l'écriture, ainsi que le temps disponible pour s'instruire, étaient très différents de ce qui était pratiqué ailleurs. Les travaux d'étudiants retrouvés en d'autres sites



AU MOIS DE FÉVRIER :

Mardi 4 février à 20 h :
La première photographie.
Le trafic routier.
Ondes et particules.
L'évolution.
Analyse d'un Rembrandt.

Mardi 11 février à 20 h :
Toiles d'araignées.
Héliographie.
La solubilité.
Datation de la grotte Chauvet.
Les embouteillages.

Mardi 18 février à 20 h :
Tourbillons et turbulence.
La rosée sur les toiles.
Les hémisphères du cerveau.
Le codage des images.
Stalactites et climat.

36 15 ARTE (1,29 F/mn)
<http://www.arte-tv.com>

arte

Institut français d'archéologie, Le Caire



6. UN DESSIN D'ÉTUDIANT représentant un portrait royal a été corrigé en blanc par son professeur. À Deir el-Medina, les jeunes gens avaient des tuteurs individuels qui leur enseignaient la lecture, l'écriture et les connaissances générales.

étaient rédigés sur du papyrus ayant déjà servi (palimpseste) que pouvaient facilement se procurer ceux qui occupaient un poste officiel (le papyrus était cher). Ces travaux étaient l'œuvre de jeunes apprentis que l'on formait pour des tâches administratives. Chaque jour, ces élèves remplissaient l'équivalent de plusieurs pages de papyrus.

Malgré les particularités du système scolaire adopté à Deir el-Medina, les étudiants du village étudiaient les mêmes matières que les autres, et de la même façon. Dans ce village d'ouvriers-artisans, les professeurs ins-

truaisent, certes, les tailleurs de pierre entre leurs journées de travail, les faisant écrire sur des fragments de pierre (le matériau qu'ils avaient sous la main), mais ils enseignaient les œuvres classiques de la littérature égyptienne, avec pour objectif de leur communiquer une sagesse qui les préparerait à une carrière réussie. Comme un scribe du village l'écrivait à un jeune élève :

«Prends très à cœur l'écriture, car c'est une profession bien utile pour celui qui l'exerce. Ton père savait écrire en hiéroglyphes, et il était respecté de par les rues.»

Andrea McDOWELL a participé à des fouilles sur le site de Deir el-Medina.

Morris BIERBRIER, *Les bâtisseurs de Pharaon*, éditions du Rocher, Monaco, 1986.

Viviane KOENIG, *Un village d'artisans égyptiens sous Ramses IV : Deir el-Médineh*, éditions Albin Michel Jeunesse, 1984.

Pascal VERNUS, *Affaires et scandales sous les Ramsès*, éditions Pygmalion, 1993.

Dominique VALBELLE, *Les ouvriers de la Tombe*, IFAO, Le Caire, 1985.

Yvan KOENIG, *Magie et magiciens dans l'Égypte ancienne*, éditions Pygmalion, 1994.

Jaroslav ČERNÝ, *A Community of Workmen at Thebes in the Ramesside Period*, French Institute of Eastern Archaeology, Le Caire, 1973.

Jac. J. JANSSEN, *Commodity Prices from the Ramessid Period : An Economic Study of the Village of Necropolis Workmen at Thebes*, E.J. Brill, Leiden, 1975.

Morris BIERBRIER, *The Tomb-Builders of the Pharaohs*, British Museum Publications, Londres, 1982.

Letters from Ancient Egypt, traduction de Edward F. Wente, sous la direction de Edmund S. Meltzer, Scholars Press, 1990.

La neige artificielle



LES CRISTAUX DE NEIGE ont des formes variées, mais ils ont toujours une symétrie d'ordre six. La microphotographie à gauche montre la forme hexagonale d'un cristal de glace agrandi 4 200 fois. Le point noir au centre du flocon est une particule de protéines produites par la bactérie *Pseudomonas syringae*

lorsqu'elle est refroidie à sec. Ces particules sont des centres de nucléation qui favorisent la cristallisation des molécules d'eau.

Les skieurs sont souvent inquiets à l'approche de l'hiver : la couche de neige sur les pistes sera-t-elle assez épaisse pour qu'ils puissent pratiquer leur sport favori ? Les stations de sports d'hiver qui souhaitent que la réponse à cette question soit toujours positive se sont équipées de canons à neige.

La neige naturelle se forme dans les nuages par la lente solidification de la vapeur d'eau. La condensation des molécules est favorisée par des particules de poussière. De tels germes de nucléation sont indispensables : l'eau distillée ultrapure peut rester liquide jusqu'à -40°C , un phénomène nommé surfusion.

Les canons à neige ne sont pas alimentés par de l'eau très pure, et le risque de surfusion est faible. Toutefois, pour être certains que les gouttelettes d'eau gèlent dans l'air et ne s'étalent pas sur le sol en plaques de verglas, ils ajoutent à l'eau des particules, protéines ou enzymes, autour desquelles les cristaux de glace se forment.

La neige artificielle n'a pas la même structure que la neige naturelle fraîche : elle est constituée de petites billes de glace, pas de flocons. Elle ressemble toutefois à la neige naturelle qui a évolué et s'est tassée, quelques jours ou quelques semaines, selon les conditions météorologiques, après être tombée. C'est un excellent revêtement pour skier.

LE CANON À NEIGE, relié à une borne d'alimentation par un tuyau, pulvérise l'eau, qui contient des particules autour desquelles les cristaux de neige se forment. Quand l'eau rencontre l'air froid, elle cristallise, puis tombe au sol. Les amas de neige ainsi formés sont ensuite damés sur les pistes.



L'EAU EST POMPÉE, à travers des conduites, jusqu'aux bornes d'alimentation situées sur les flancs de la montagne. La plupart des canons à neige sont alimentés par des cours d'eau ou par des réservoirs installés près des pistes de ski. L'air est mélangé dans le canon à neige après son passage dans le compresseur.

Les carrés alphamagiques

IAN STEWART

Les beautés des carrés magiques, numériques et linguistiques.

Le carré magique, où les sommes par lignes, par colonnes et suivant chaque diagonale sont toutes égales, est un thème important des jeux mathématiques. Si l'on en croit une légende chinoise, le plus simple des exemples représenté ci-contre (1), fut révélé à l'empereur Yü sur le dos d'une tortue, au XXIII^e siècle avant J.-C. Le total commun, ou «constante magique», de ce carré est 15, et sa taille, ou «ordre», est 3.

Des carrés magiques existent pour tout ordre supérieur, ainsi qu'une pléthore de généralisations : cubes, hexagones, octogones, cercles magiques...

On pourrait penser que tout ce qui peut être dit sur de tels carrés l'a déjà été depuis longtemps. Mais il y a dix ans, Lee Sallows inventa une «race» entièrement nouvelle : le carré alphamagique. L. Sallows, un expert de jeux de mots, se spécialisa en combinant la linguistique et la mathématique des jeux (une autre de ses inventions, la *New Merology*, a été décrite dans *Pour la Science*, en mai 1994). Ma participation est fondée sur

deux des articles de L. Sallows dans *The Lighter Side of Mathematics*, édité par Richard Guy et Robert Woodrow (*Mathematical Association of America*, 19XX). Le concept est séduisant. En voici un exemple en anglais :

five	twenty-two	eighteen
twenty-eight	fifteen	two
twelve	eight	twenty-five

D'une part, les mots, quand ils sont transcrits en chiffres, donnent le carré magique conventionnel (2), de constante 45. Mais, d'autre part, si l'on compte le nombre de lettres de chaque mot (traits d'union exclus), le carré obtenu (3) est aussi magique, cette fois de constante 21.

L. Sallows a développé une théorie générale de telles constructions. Il commence en définissant $\log(x)$, ou «logarithme» de l'entier x , comme le nombre de lettres du mot x (L. Sallows a combiné le grec *logos*, signifiant «mot», et *arithmos*, signifiant «nombre», en un élégant jeu de mots : logorithme). Un nombre a , dans différentes langues, des logarithmes différents. Nous envisagerons plusieurs langues. Commençons par l'anglais.

Pouvons-nous trouver d'autres carrés alphamagiques en anglais ? Oui, et pour une raison simple : il suffit d'ajouter avant chaque chiffre «one million and». La constante magique du carré numérique augmente de trois millions, et celle de son «dérivé logarithmique», le carré obtenu en remplaçant chaque nombre par son logarithme, croît de trois fois le nombre de lettres de «one million and», soit $3 \times 13 = 39$. En conséquence, il existe une infinité de telles extensions des carrés alphamagiques d'ordre trois. L. Sallows dit que ces carrés sont des «harmoniques» du carré initial et, raisonnablement, les écarte comme des variantes triviales.

Existe-t-il d'autres variantes plus intéressantes ? Au XIX^e siècle, le mathématicien français Édouard Lucas imagina une formule (4), pour tout carré magique d'ordre 3 :

$a+b$	$a-b-c$	$a+c$
$a-b+c$	a	$a+b-c$
$a-c$	$a+b+c$	$a-b$

Pour toutes valeurs de a , b et c , le résultat est magique, et tout carré magique d'ordre 3 est de cette forme. Sa constante est $3a$. Remarquez que toute ligne passant par le terme central porte trois termes en progression arithmétique, c'est-à-dire telle que deux termes successifs diffèrent d'une constante. Par suite, une stratégie raisonnée pour trouver des carrés alphamagiques est de rechercher des triplets d'entiers en progression arithmétique, tels que les logarithmes correspondants soient aussi en progression arithmétique.

Choisissons, par exemple, 15 comme nombre central, puisque nous savons qu'un tel carré alphamagique existe. Alors la table des logarithmes révèle cinq triplets adéquats : (2,15,28), (5,15,25), (8,15,22), (11,15,19) et (12,15,18). Nous pouvons alors essayer avec toutes les paires possibles de ces triplets, par exemple sur les deux diagonales. Ainsi, avec les deux premiers, nous avons le carré (5).

La formule de Lucas nous enseigne que la constante magique vaut toujours trois fois le terme central, soit ici 45. Il n'y a donc qu'une seule manière de compléter le carré, comme indiqué en (6).

Nous pouvons soit rejeter ce cas à cause du terme négatif -8, soit l'écrire «minus eight», de logarithme 10. Dans ce dernier cas, le carré logarithmique dérivé est (7), qui, hélas, n'est pas magique. Cependant, les essais avec les autres paires fournissent rapidement un nouveau carré alphamagique. La réponse à cet excellent exercice d'entraînement est donnée plus loin.

Et si le terme central n'est pas 15 ? L. Sallows écrivit un programme informatique pour chercher d'autres carrés alphamagiques d'ordre 3 et en trouva de nombreux. Un exemple (toujours en anglais) est indiqué en (8).

Le même jeu peut être joué dans d'autres langues. L'encadré de la page 97 indique des exemples en swahili, en gallois, en français

(1)

4	9	2
3	5	7
8	1	6

(2)

5	22	18
28	15	2
12	8	25

(3)

4	9	8
11	7	3
6	5	10

(5)

2	25
15	
5	28

(6)

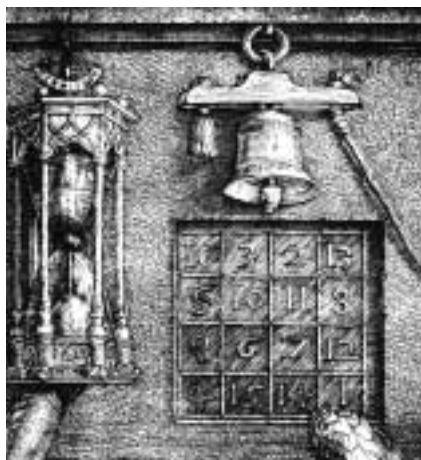
2	18	25
38	15	-8
5	12	28

(7)

3	8	10
11	7	10
4	6	11

(8)

15	72	48
78	45	12
42	18	75



1. Ce carré magique d'ordre 4 est extrait de la gravure de Dürer, *Melencolia*.