



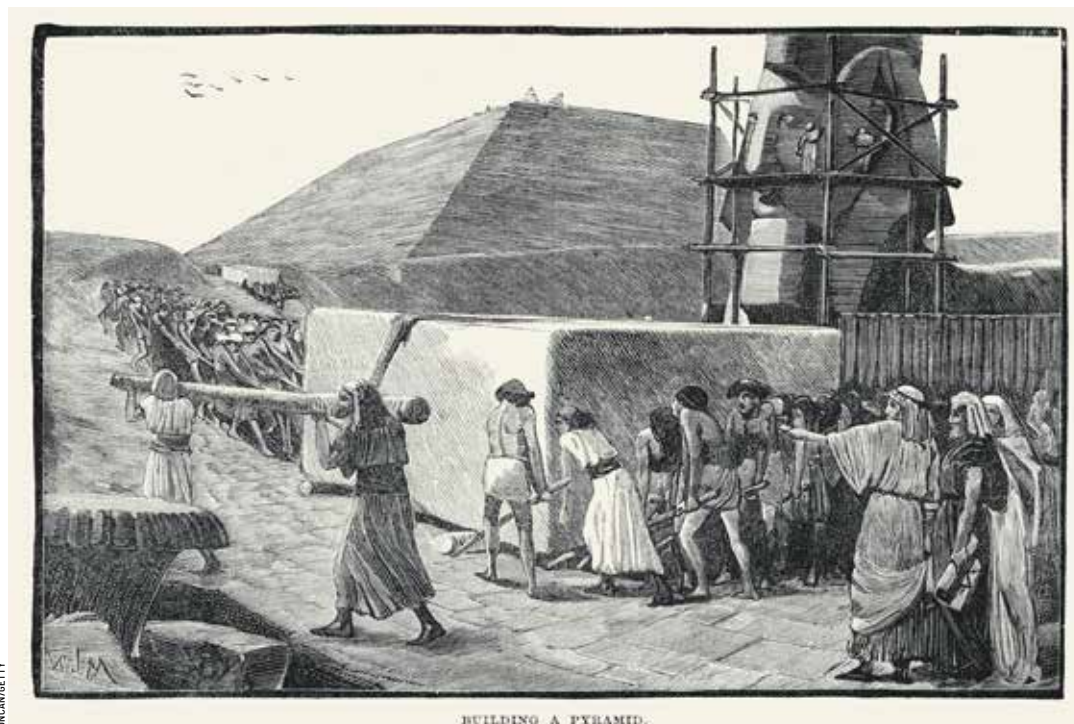
# Comment les Égyptiens ont apporté leurs pierres à l'édifice

**ARCHÉOLOGIE** Une étude inédite révèle les secrets de l'acheminement des énormes blocs de granite qui ont servi à la construction des grandes pyramides de Gizeh.

**C**omment les Égyptiens acheminaient-ils leurs énormes blocs de pierre pour construire les pyramides ? Une nouvelle étude franco-égyptienne, publiée le 29 août dans la revue *Proceedings of the National Academy of Sciences (Pnas)* vient confirmer qu'un bras du Nil, qui passait autrefois tout près de la grande pyramide de Khéops, aurait été utilisé pour transporter ces matériaux de plusieurs tonnes. Un canal artificiel, désormais disparu, qui connectait le Nil avec le plateau de Gizeh et permettait à des bateaux de déposer leur cargaison au pied des chantiers !

La pyramide de Khéops (ou de Khufu), située à Gizeh, dans l'actuelle banlieue du Caire, haute de 146 mètres, fut érigée il y a plus de 4600 ans. Et reste la seule des sept merveilles du monde antique à exister encore. Elle forme avec ses deux voisines, les pyramides de Khéphren et Mykérinos, le complexe de Gizeh qui impressionne et intrigue l'humanité depuis des millénaires. Bon nombre de leurs secrets de construction demeurent : trois pyramides, c'est plus de 10 millions de tonnes de pierre, chacune pesant au moins une tonne et demie. La majorité de ces pierres en calcaire provenait de la carrière de Tourah, éloignée d'une quinzaine de kilomètres, au sud du Caire, sur la rive est du Nil. Mais d'énormes masses de granite arrivaient aussi d'Assouan, à 800 kilomètres plus au sud. Comment les bâtisseurs égyptiens ont-ils pu les acheminer jusqu'au chantier de Gizeh ?

On savait, depuis l'identification d'un ancien port par l'archéologue américain Mark Lehner, à partir d'un modèle cartographique, que les Égyptiens utilisaient ce cours d'eau pour le transport des matériaux. Hypothèse confirmée par une mission archéologique franco-égyptienne qui a découvert en 2013 des papyrus décrivant ces aménagements fluviaux servant à la livraison de matériaux par bateaux entre la carrière de Tourah et le plateau de Gizeh.



BUILDING A PYRAMID.

En revanche, la question demeurait de savoir si la hauteur du fleuve était suffisante pour acheminer les pierres sur le chantier. La réponse est apportée par l'équipe franco-égyptienne qui a réalisé des carottages sur le site où pouvait se trouver cet ancien bras du Nil et analysé les sédiments qui renferment des grains de pollen fossilisés. Cette démarche illustre combien « *l'archéologie a changé en vingt ans* », nous confie Christophe Morhange, professeur au Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement (Cerege) d'Aix-en-Provence et directeur de l'étude : « *Elle contextualise l'environnement. Une partie des réponses aux questions archéologiques se trouvent dans les sédiments de la vallée du Nil* » (lire ci-contre). Ce type d'analyse de l'évolution des pollens s'appelle la palynologie, une branche de l'archéobotanique. Elle a permis aux chercheurs de reconstituer, en utilisant des modèles de végétation dérivés du pollen, huit mille ans de variations fluviales dans la plaine inondable de Gizeh. En effet, les pollens indiquent la nature des terrains où la végétation s'est développée.

#### LA FIN DU « SAHARA VERT »

La doctorante égyptienne Hadeer Sheisha, membre du Cerege et première auteure de l'article, a établi qu'il y avait plus de pollens de milieux « humides » que de pollens de milieux « secs » déposés dans les sédiments. Autrement dit, les plantes du site poussaient dans une zone marécageuse près du Nil dont le niveau était élevé. Elle a calculé que le fleuve avait connu un débit maximal vers 3500 ans avant J.-C. et qu'à l'endroit des carottages, ce niveau était supérieur de plus de sept mètres au niveau actuel. Tous ces éléments caractérisent la fin du « Sahara vert », une période humide qui sévissait sur le nord de l'Afrique.

À cette époque, il y a environ 5000 ans, le Sahara couvert de prairies verdoyantes a connu une aridification induite par des flux de poussières et par l'ensoleillement qui ont entraîné un déclin du débit du fleuve. Mais son niveau demeurait suffisant pour que le bras qui arrivait jusqu'au plateau de Gizeh soit navigable. Les scientifiques ont ainsi confirmé qu'une branche du Nil, dite « bras de Khufu », desséchée par la suite, disposait des niveaux d'eau suffisants pour atteindre Gizeh, situé à sept kilomètres du fleuve. Ils ont aussi démontré que le niveau de l'eau dans le fleuve pouvait, à l'époque de la construction des pyramides, permettre la navigation, donc le transport des matériaux de construction vers le plateau de Gizeh. De quoi éclaircir l'un des mystères pharaoniques de la grande pyramide... ■

ANNA MUSSO

## « Il y a 4500 ans, le paysage végétal était plus humide que de nos jours »

Directeur de l'étude franco-égyptienne publiée dans la revue *Pnas*, Christophe Morhange détaille la prouesse technique des constructeurs de pyramides.

### Quelle est la portée de votre étude par rapport aux connaissances antérieures sur la construction des pyramides de Gizeh ?

Une des questions principales est l'origine géographique des pierres des pyramides. Les études géologiques montrent que les calcaires viennent de Tourah, au sud du Caire, sur la rive orientale du Nil, à environ 15 km, et le granite d'Assouan, à 800 km plus au sud. Pour transporter ces volumes cyclopéens de blocs, le seul moyen est la voie fluviale. Il est donc logique de postuler la présence d'un port fluvial au pied des rampes des pyramides qui ont permis de les hisser. C'est ce qu'a fait l'archéologue américain Mark Lehner en proposant un modèle cartographique à partir de la topographie du tissu urbain et de données de carottages pour installer les égouts de la ville moderne de Gizeh. Notre objectif est de tester cette hypothèse cartographique par des études géo-archéologiques car des fouilles ne sont guère envisageables dans une ville très dense et pauvre de plusieurs millions d'habitants.

### Qu'apporte la palynologie à cette connaissance ?

Les pollens démontrent qu'une branche (ou un canal) du Nil était très proche du pied des pyramides. Ma doctorante Hadeer Sheisha a compté les pollens, puis les a déterminés. David Kaniewski, de l'université de Toulouse, a effectué des analyses statistiques qui permettent d'identifier deux principaux groupes : les pollens de milieux secs, sur le plateau des pyramides, et les pollens de milieux humides et marécageux, caractérisant la proximité du Nil et sa plaine fluviale inondable pendant la crue. Il y a 4500 ans, le paysage végétal était donc beaucoup plus humide que de nos jours et le Nil plus proche.

### Quelle est la nature de la collaboration franco-égyptienne ?

C'est une amitié de plus de vingt ans. J'ai formé au moins quatre doctorants égyptiens, et deux cosignataires de l'article sont

actuellement à l'université d'Aix et bénéficient d'un contrat doctoral français. C'est aussi un partenariat de qualité avec le Centre de géophysique du Caire (Nriag) qui délivre les autorisations de carottages sur place et dirige une étude géophysique du sous-sol de Gizeh, car l'essentiel des surfaces est urbanisé et nous sommes obligés d'appliquer des méthodologies indirectes pour essayer de retrouver des vestiges archéologiques sous la ville.

### Quelles sont les suites prévues de vos travaux sur les mystères de la construction des pyramides ?

Démontrer que les sédiments de la vallée du Nil sont, d'un point de vue scientifique et archéologique, aussi importants que les pyramides elles-mêmes. L'archéologie a beaucoup changé en vingt ans. Elle contextualise l'environnement beaucoup plus. Par exemple, nous nous intéressons actuellement aux impacts des pollutions lors de la construction des pyramides. Une partie des réponses aux questions archéologiques se trouvent dans les sédiments de la vallée du Nil. Pour l'instant, le Covid et des financements ridicules nous pénalisent. ■

ENTRETIEN RÉALISÉ PAR A. M.



**CHRISTOPHE MORHANGE**  
Professeur au Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement d'Aix-en-Provence

### La rentrée scolaire au lycée n'a pas vu le grand retour des mathématiques, annoncé par Emmanuel Macron.

Pap Ndiaye a dû en reconnaître l'échec, avec une très faible demande de cours facultatifs en terminale. Une nouvelle illustration de la rapidité de la démolition du système éducatif actuel et de la lenteur de la construction d'une nouvelle offre éducative permettant à un pays de former les scientifiques dont sa population a besoin. La réforme Blanquer de 2019 a été dévastatrice. Le nombre d'élèves en terminale scientifique (1) a chuté de 25 % : 150 000 en 2021, contre 200 000 en 2019. Et le nombre d'élèves ayant au moins 6 heures de maths par semaine a diminué de moitié, ils ne sont plus que 100 000.

**Est-ce grave, docteur ? Oui. Très. Pour affronter les défis du siècle - climat, énergies, santé, biodiversité -**, nous avons besoin de concevoir, fabriquer et utiliser des technologies puissantes et compatibles avec nos objectifs écologiques et climatiques. Le CNRS vient de publier une étude selon laquelle 18 % du PIB national, ainsi que 13 % des emplois salariés en France (soit 3,3 millions) sont impactés par les mathématiques. Former des dizaines



### LA CHRONIQUE SCIENTIFIQUE DE SYLVESTRE HUËT

## Les maths, l'école, l'avenir

de milliers de scientifiques, dont environ 50 000 ingénieurs chaque année, est une nécessité, pas un luxe. Déjà, les promotions actuelles sont très inférieures aux besoins - à peine plus de 33 000 ingénieurs. Le manque de développeurs en informatique est criant. Dans cinq à six ans, l'effet retard de la réforme Blanquer risque de diminuer encore ce chiffre.

Les causes de cet effondrement sont profondes. Elles se lisent dans le discrédit du métier d'enseignant, avec des concours de recrutement infructueux liés à sa dévalorisation financière et symbolique par les gouvernements. Dont le fameux « *les mathématiques ne servent à rien dans la vie quotidienne* » de Luc Ferry, le ministre de l'Éducation nationale de Sarkozy. Elles proviennent également de l'incapacité d'Emmanuel Macron à écouter les experts : les professeurs de mathématiques avaient parfaitement prédit les effets délétères de la réforme du lycée, leurs alertes ont été méprisées.

**Pour remonter la pente, il va falloir agir fort et longtemps. Redonner le goût des sciences**, des technologies et des mathématiques à la jeunesse, notamment aux filles, suppose une mobilisation générale. Quant à la réflexion sur le contenu des enseignements du secondaire et des mathématiques dans l'orientation scolaire, elle doit s'appuyer sur les expériences des professeurs. ■

(1) <https://smf.emath.fr/actualites-smf/22913reformelycee/ilsscience1>