



10.12.2016 > 12.02.2017

# SCAN PYRAMIDS MISSION

UNE EXPLORATION INÉDITE  
DES PYRAMIDES



● GUIDE DE VISITE  
SUPPLÉMENT ENFANTS

PALAIS BEAUX-ARTS LILLE



Philippe BOURSEILLER

Plateau de Giza : les pyramides de Khéops (tout au fond), Képhren, Mykérinos et les pyramides des reines, 2015

Une mission  
sous l'égide de



ARAB  
REPUBLIC  
OF EGYPT  
MINISTRY OF  
ANTIQUITIES

Conçue et  
réalisée par



HIP.INSTITUTE  
HERITAGE  
INNOVATION  
PRESERVATION



FACULTY OF  
ENGINEERING  
CAIRO  
UNIVERSITY

Soutenue par



Présentée grâce à



Héritage millénaire du génie d'un peuple mythique, les pyramides d'Égypte ne cessent depuis des siècles d'intriguer, de fasciner, d'émerveiller. Étudiée depuis de nombreuses années, cette prouesse architecturale réalisée il y a 4500 ans renferme encore bien des secrets.

Une poignée de scientifiques et d'artistes ont relevé le défi exaltant, à travers la mission ScanPyramids, de percer le mystère de leur construction.

Un pari ambitieux, sous l'égide du Ministère des Antiquités Égyptiennes, mené à l'appui de technologies dites "non invasives" offrant l'atout d'une exploration douce, non destructive.

Une aventure humaine inédite qui pourrait aboutir à des découvertes spectaculaires. Pour la première fois en France, les premiers résultats de cette mission pluridisciplinaire se dévoileront sous les yeux du grand public.

Je veux remercier l'Institut HIP (Heritage Innovation Preservation) et la Faculté des ingénieurs de l'Université du Caire qui dirigent cette mission, toute l'équipe de l'expédition et particulièrement les artistes - François Schuiten, Nicolas Godin, Alexandre Obolensky et Philippe Bourseiller - pour leurs regards sensibles qui s'entremêleront dans une mise en scène originale et poétique. Les œuvres d'art issues des collections du Palais des Beaux-Arts et d'autres institutions compléteront cette invitation à se plonger pleinement au cœur des pyramides d'Égypte. C'est une grande fierté pour Lille de mettre en lumière cette expérience archéologique moderne, qui se vit aujourd'hui. Elle témoigne d'une quête ininterrompue de la connaissance. Celle qui a relié les hommes de tous temps dans la marche du progrès. Celle qui aujourd'hui, grâce aux évolutions technologiques, ouvre de nouveaux horizons et de nouveaux possibles. Tant reste en effet à comprendre, à apprendre et à expliquer.

En musée ouvert et pleinement ancré dans notre temps, le Palais des Beaux-Arts démontre à nouveau qu'il y contribue remarquablement.

Martine Aubry  
Maire de Lille

# SOMMAIRE

<b>AVANT-PROPOS</b>	page <b>6</b>
<b>L'ÉGYPTOLOGIE, UNE SCIENCE ENCORE JEUNE</b>	page <b>8</b>
<b>UNE SECONDE VIE</b>	page <b>12</b>
<b>ZOOM... LA PYRAMIDE DE KHÉOPS</b>	page <b>14</b>
<b>A LA DECOUVERTE DE LA GRANDE PYRAMIDE</b>	page <b>15</b>
<b>MISSION SCANPYRAMIDS</b>	page <b>18</b>
<b>ETUDIER LE COMPORTEMENT THERMIQUE DES PYRAMIDES</b>	page <b>20</b>
<b>PARTICULES COSMIQUES POUR MONUMENTS MASSIFS</b>	page <b>21</b>
<b>CONFRONTER LE RÉEL ET LE VIRTUEL / DES VIDES AU CŒUR DE LA GRANDE PYRAMIDE</b>	page <b>23</b>
<b>EGYPTOKID</b>	page <b>25</b>
<b>Glossaire, repères chronologiques</b>	page <b>30</b>
<b>Remerciements</b>	page <b>31</b>

Charles-Jean HALLO dit ALO (1882-1969)  
Le Sphinx de Gizeh  
1ère planche de l'album Au fil du Nil, 1923  
Lille, Palais des Beaux-Arts



# AVANT-PROPOS

La collection d'antiquités du Palais des Beaux-Arts de Lille est riche de nombreux objets provenant du bassin méditerranéen, et en particulier de l'Égypte. Lors de l'exposition *Sésostris III, pharaon de légende* en 2014, ce fut l'occasion de faire découvrir des trésors méconnus au public. Avec ScanPyramids, le musée souhaite poursuivre cette plongée dans l'archéologie d'hier et d'aujourd'hui.

François SCHUITEN  
Le sphinx dans l'axe de la Grande  
Pyramide de Khéops, 2016

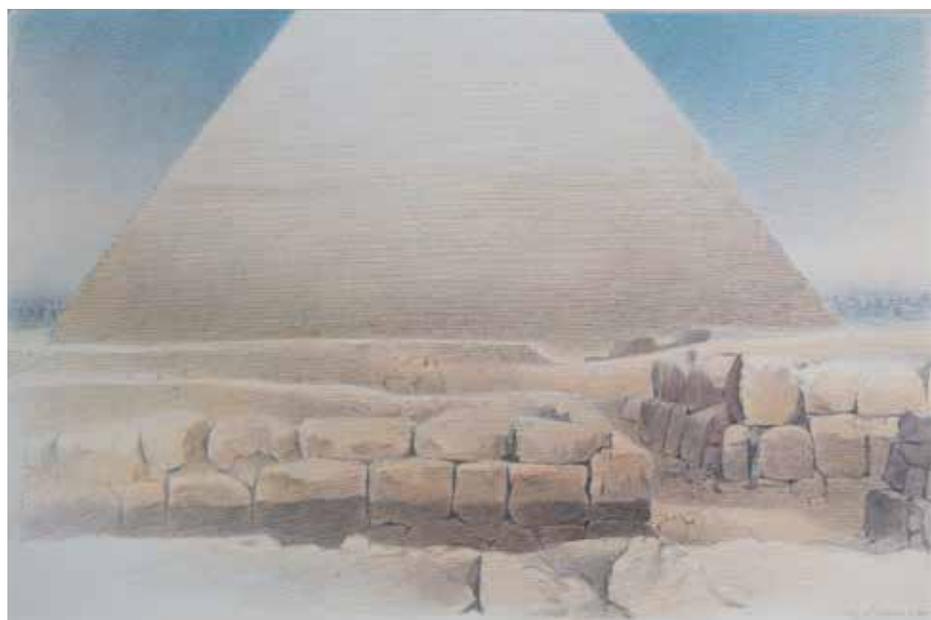
François SCHUITEN  
La pyramide de Khéops.  
Au loin, la ville du Caire, 2015

\* voir glossaire page 30

La mission ScanPyramids a débuté le 25 octobre 2015, sous l'égide du Ministère des Antiquités Égyptiennes, initiée, conçue et coordonnée par la Faculté des Ingénieurs du Caire et l'Institut français HIP (Heritage, Innovation, Preservation). Elle associe les technologies les plus innovantes (radiographie par **muons\***, thermographie infrarouge, photogrammétrie, scanner et reconstruction 3D) aux regards d'artistes comme le dessinateur François Schuiten, le photographe Philippe Bourseiller, le peintre Alexandre Obolensky et le musicien Nicolas Godin. Tous ces regards conjugués tentent de comprendre comment les pyramides d'Égypte ont été construites.

La mission s'est d'abord intéressée aux premières pyramides de l'histoire égyptienne édifiées par le roi Snéfrou (2620-2590 av. J.C.) à Dachour. Après des premières analyses concluantes, les recherches se sont orientées vers le plateau de Giza au sud du Caire et la Grande Pyramide du Pharaon Khéops (2590-2565 av. J.C.). Considérée comme l'une des sept merveilles du monde, la seule encore existante, elle ne fut jamais égalée et sa construction reste un mystère.

Après un an d'exploration, ScanPyramids présente ses découvertes pour la première fois au public dans le cadre d'une exposition. À l'image de la mission, nouvelles technologies et œuvres d'art se côtoient dans les salles du musée pour faire découvrir l'archéologie ancienne et contemporaine en Égypte. Des photos des premiers voyageurs aux explorations en 3D du plateau de Giza, des momies aux dieux égyptiens, le Palais des Beaux-Arts et la mission ScanPyramids vous invitent à un voyage au cœur des pyramides et des rites funéraires de l'Égypte ancienne.





## L'EGYPTOLOGIE, UNE SCIENCE ENCORE JEUNE

Le 24 août 394, les derniers prêtres du **paganisme\*** égyptien gravaient sur les murs du temple de Philae une ultime inscription hiéroglyphique en l'honneur de la déesse Isis. Quelques années plus tard, ils livraient leurs sanctuaires au christianisme triomphant, dont le clergé utilisera une écriture alphabétique inspirée du grec. Quand les Arabes conquièrent l'Égypte en 642, plus personne dans le pays ne sait lire ces signes étranges ni interpréter les scènes encore visibles sur les temples.

Il faut attendre l'expédition de Bonaparte en Égypte (1798-1799), dont les troupes sont accompagnées par une cohorte de savants, puis la publication, entre 1809 et 1822, des dix-neuf tomes de la *Description de l'Égypte* pour que soient fondées les bases scientifiques de l'égyptologie.



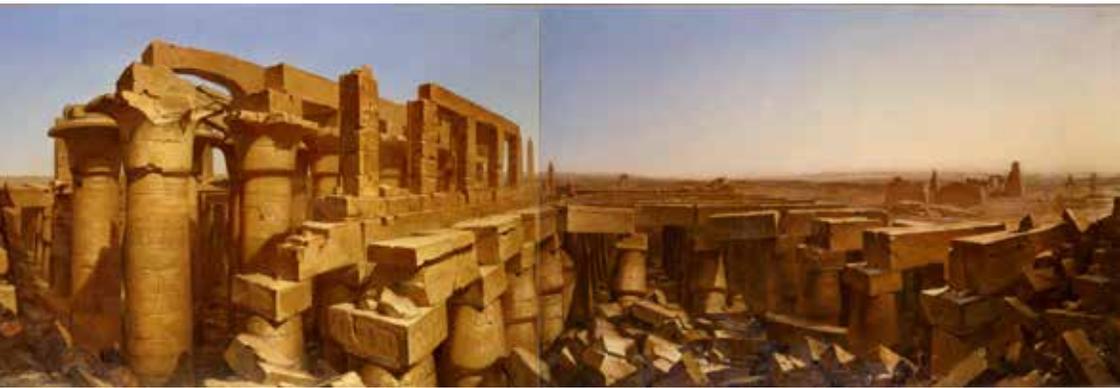
Il reviendra au Français Jean-François Champollion (1790-1832) de rendre la parole à l'Égypte ancienne. S'appuyant sur une copie de la Pierre de Rosette, découverte en 1799, Champollion comprit que son inscription pouvait être la clé de la compréhension de l'écriture **hiéroglyphique\***. Il s'agit d'une pierre noire gravée d'un décret transcrit en trois écritures : grec, **démotique\*** et hiéroglyphique. Il semblait vraisemblable que le texte grec était une traduction des deux autres écritures égyptiennes : Champollion a trente-deux ans lorsqu'il a l'intuition fulgurante qui lui révèle le fonctionnement du système hiéroglyphique. Sa *Lettre à Monsieur Dacier* (1822) est l'acte de naissance officiel de l'égyptologie.

Il y a chez l'immense savant que fut Champollion un lyrisme empreint de romantisme que l'on retrouve régulièrement dans les œuvres réalisées en Égypte tant par les égyptologues, successeurs du maître, que par les artistes qui se rendirent en Égypte. Le XIXe siècle a été un moment de grande exaltation, d'immense créativité autour de l'Égypte ancienne, de fascination pour cet art exotique, d'envie pour certains d'enregistrer les témoignages du passé au plus près de la réalité tandis que d'autres l'interprétaient pour créer une œuvre relevant de l'art des orientalistes et de "l'égyptomanie".

Artiste anonyme  
Famille égyptienne dans une barque  
sur le Nil au large des pyramides  
Tirage moderne d'un original de 1924

Alexandre Obolensky  
François Schulten dessinant  
près de l'entrée de la Grande Pyramide  
2016

\* voir glossaire page 30



Les techniques artistiques et scientifiques se diversifient : à la peinture à l'huile, à l'aquarelle, à la gravure et aux copies manuelles des textes et des scènes à la plume, s'ajoute à partir du milieu du XIXe siècle une technique révolutionnaire : la photographie.

*Le Panorama du site des temples de Karnak*, peint en 1850 par Jean-Charles Langlois (1789-1870), est un magnifique exemple de cette époque où l'approche archéologique et le regard photographique se rejoignent pour donner à voir ces ruines d'un point de vue à la fois scientifique et esthétique.

De la même époque (1858) datent les photographies prises dans le temple de Karnak par François de Campigneulle (1826-1879). Ce dernier fit le *Voyage en Orient* et en rapporta un reportage exceptionnel, sous forme de **calotypes\*** très contrastés, souvent retouchés par l'auteur. A la fin du XIXe siècle des photographes européens s'installent en Egypte et commencent à commercialiser les tirages de leur production sur plaques. C'est à cette catégorie qu'appartient la photographie anonyme montrant une barque chargée d'un groupe familial, un jour où la crue du Nil se rapproche du plateau des Pyramides de Giza (voir page 8). L'intérêt de cette photographie réside dans le fait qu'elle aurait pu être prise du temps des Pharaons, le paysage n'ayant guère changé pendant plus de trois millénaires. Du début du XXe siècle date l'album *Au fil du Nil*, qui réunit dix **eaux-fortes\*** de Charles Hallo, dont le style reflète avec force l'atmosphère envoûtante des monuments égyptiens.

Tout au long du XXe siècle, l'égyptologie prend ses lettres de noblesse et trouve une place de choix dans l'étude des civilisations de l'Antiquité. Depuis des décennies, archéologues et **philologues\*** s'emploient à comprendre et faire connaître les spécificités de cet univers unique et spectaculaire, tandis que les technologies les plus innovantes se plient aux exigences des chercheurs.



Jean-Charles Langlois  
Le Panorama du site des temples  
de Karnak, 1850  
Musée des Beaux-Arts de Caen

François Joseph Édouard Fougeroux  
De Campigneulles  
Temple d'Amon vu de l'Est, 1858  
Calotype  
Lille, Musée d'Histoire Naturel

\* voir glossaire page 30

C'est à ce titre que se distingue la dernière aventure, celle de ScanPyramids et des ingénieurs qui s'y associent en ce début de XXI<sup>e</sup> siècle. Parfaitement ancrée dans l'esprit scientifique qui fait sens pour mieux comprendre ce qu'on peut toujours appeler "le mystère des pyramides", les découvertes de cette équipe ouvrent des perspectives que les techniques traditionnelles n'auraient pu envisager. Et on applaudit à leur souhait de maintenir la tradition d'une présence artistique sur le terrain, puisque le dessinateur François Schuiten et le peintre Alexandre Obolensky, membres de l'équipe, ont sorti leurs crayons et pinceaux sur le plateau de Giza, pour nous livrer des œuvres contemporaines et intemporelles.



Momie d'enfant, Lille, Palais des Beaux-Arts

## UNE SECONDE VIE

Des temps immémoriaux à l'Égypte romaine, les différentes civilisations du Croissant Fertile se succédèrent et s'imprégnèrent les unes les autres, mêlant leurs mythologies, leurs traditions et leurs cultures. Des crânes sur-modelés de Jéricho aux portraits de momies du Fayoum, elles s'appliquèrent à immortaliser la vie dans la matière, en confinant l'allégorie d'une âme dans l'inaltérable.

Cette aspiration à l'immortalité est constitutive de la croyance de l'homme en une existence post-mortem. Invoquant les dieux pour vivre une seconde fois, les Égyptiens se confièrent à la permanence du minéral et produisirent un art funéraire qui dialogue avec l'éternité. La force

d'incarnation de leur statuaire, de leurs objets comme de leurs fresques et textes gravés provient de cette allégation de la vie dans la pierre sculptée. Leurs éloquences sibyllines s'animent des couleurs de la survivance. Au sein de cette iconographie éminemment allégorique, plaçant l'homme au centre de leur attention, des premiers embaumements de l'Ancien Empire (2800-2300 av. J.C.) aux momies chrétiennes de l'Égypte romaine (III-IVe siècle ap. J.C.), le projet des Égyptiens de conserver à leurs défunts l'apparence du vivant a durablement imprégné la représentation de l'être humain. Les Égyptiens croyaient en l'immortalité des formes du réel si celles-ci composaient avec la langue comprise des dieux.

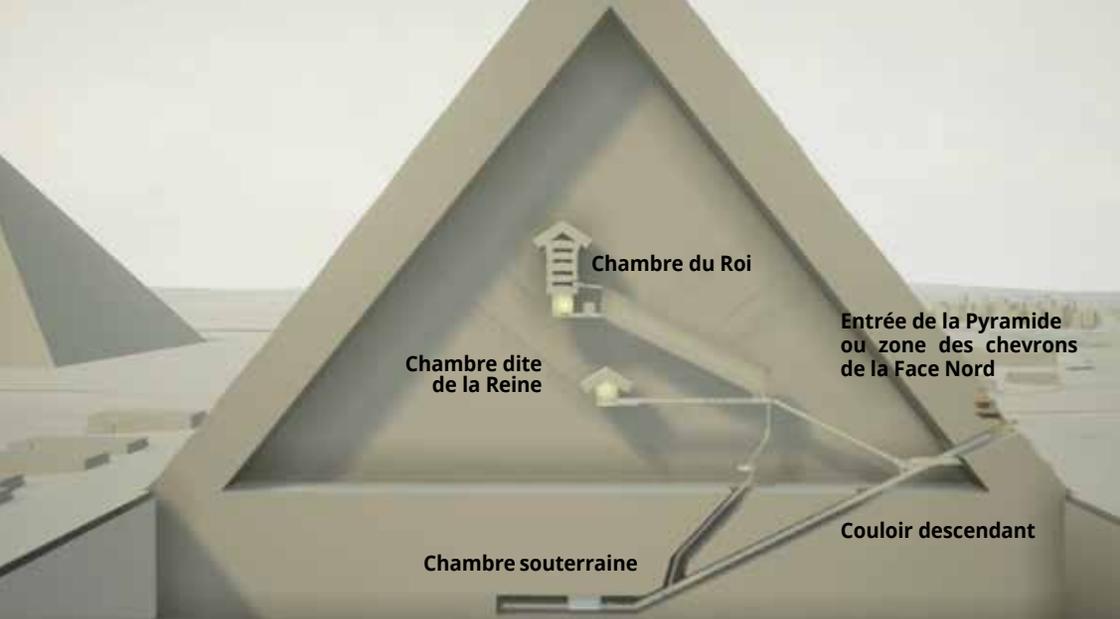
Accordant le mouvement de la vie à l'équanimité de l'éternité, ils résorbèrent le vivant dans l'art, déterminant – pour toujours ? – qu' "à l'origine de la peinture et de la sculpture (se) trouverait le "complexe" de la momie. La religion égyptienne dirigée toute entière contre la mort, faisait dépendre la survie de la pérennité matérielle du corps. Elle satisfaisait par là un besoin fondamental de la psychologie humaine : la défense contre le temps. La mort n'est que victoire du temps. Fixer artificiellement les apparences charnelles de l'être c'est l'arracher au fleuve de la durée : l'arrimer à la vie. Il était naturel de sauver ces apparences dans la réalité même du mort, dans sa chair et dans ses os. [...] Ainsi se révèle, dans les origines religieuses de la statuaire, sa fonction primordiale". (A. Bazin)

Le Palais des Beaux-Arts de Lille conserve dans ses réserves une momie d'enfant particulièrement saisissante et son matériel. La voir provoque une forte émotion ainsi qu'une vive impression esthétique. L'expression de son visage anime littéralement la pétrification de son corps. Elle était préservée dans un sarcophage en bois polychrome du Nouvel Empire et dans des cartonnages d'époque ptolémaïque. Avant restauration, la momie était enserrée sous plusieurs couches de textiles destinés à un adulte ayant vécu vraisemblablement à l'époque romaine. Un premier fragment de linceul peint avec une scène de pleureuses était posé sur le corps, laissant la tête dégagée. Une courte et large bande imitant une résille de perles était placée à la base du cou telle une parure de fortune. Un troisième textile à motif de serpent recouvrait la momie comme une tunique d'où émergeaient ses pieds.

De la préservation d'un corps à sa translation symbolique dans les tissus qui le recouvrent, l'histoire de l'art est là : les toiles de lin peintes épousent l'anatomie, pétrifiée comme une statue dans le but d'immortaliser son image, précieusement conservée dans des cartonnages et un sarcophage. Enrubanné dans des tissus assignés à une personne adulte, l'imagination projette autour de la mort de cet enfant la précipitation des parents à lui trouver une sépulture décente selon la tradition. La tâche brune du linceul aux pleureuses, selon les analyses du C2RMF (Centre de recherche et de restauration des musées de France), proviendrait d'une lampe à huile. Sa vision stimule l'invention d'une veillée mortuaire autour de la momie. Près du sarcophage qui lui a permis d'échapper à la terre à laquelle il aurait été destiné, le corps momifié de cet enfant sauvé par les fouilles émeut.

Son expression et sa présence ouvrent "un horizon de sens au-delà des limites de notre vie ici-bas." (J. Assmann). Mais plus que la valeur symbolique de la momification vers une existence *post-mortem*, la pétrification du corps en tant que signe de divination rappelle que l'imitation de la vie n'est pas la vie. En Egypte, la préservation de l'intégrité physique du corps sans ses organes établit une nouvelle relation avec le défunt.

"Dans le rituel de l'embaumement, en effet, il s'agit de remédier à l'état de démembrement et de décomposition provoqué par l'arrêt du cœur et de la circulation sanguine, en substituant par les moyens du rituel et de la chimie une nouvelle connectivité, symbolique, à la marionnette qu'est le corps." (J. Assmann)



## ZOOM ... LA PYRAMIDE DE KHÉOPS

La forme pyramidale est née en Egypte dans l'esprit d'Imhotep, architecte du pharaon Djéser (vers 2700 av. J.C.). Elle évoque un rayon de soleil pétrifié en écho à l'ascension du roi défunt vers les puissances célestes et solaires.

Chaque pyramide est réalisée dès le début du règne d'un pharaon pour qu'il y soit enterré et honoré. La pyramide de Khéops (2590-2565 av. J.C.) est la plus grande d'entre elles et ne sera jamais égalée. Elle concilie prouesses mathématiques, technologiques et logistiques. Plus de 30 000 hommes se sont relayés pendant une vingtaine d'années pour acheminer et assembler 2 300 000 pierres provenant du plateau de Giza et de sites beaucoup plus éloignés. Chaque bloc pèse 2,5 tonnes qui était tiré par 70 hommes.

La pyramide de Khéops a une forme géométrique parfaite (230 m de côtés, 147 m de hauteur) la plus grande différence

de longueur entre les côtés de la pyramide est de 4,4 cm ! Le monument est aussi parfaitement aligné sur le Nord.

L'organisation intérieure est extrêmement complexe et a évolué en fonction du programme architectural qui a dû être modifié plusieurs fois en cours de chantier.

### On observe 2 réseaux de tunnels distincts :

- Le plus bas est similaire à ceux trouvés dans les autres pyramides. Il descend en pente jusque dans la roche et se termine sur une chambre inachevée.
- Le plus haut n'existe que dans la Grande Pyramide, dissimulé à 17 m au-dessus du sol sur la face nord. Il mène à une série de chambres funéraires. Le couloir ascendant était obstrué par trois blocs bouchons de granit rouge et l'entrée du couloir descendant était dissimulée par une dalle de calcaire identique aux pierres environnantes. Puis la grande galerie au plafond de 8,60 m menait à la chambre dite de la reine (la reine n'y a jamais été enterrée) et à la chambre du roi.

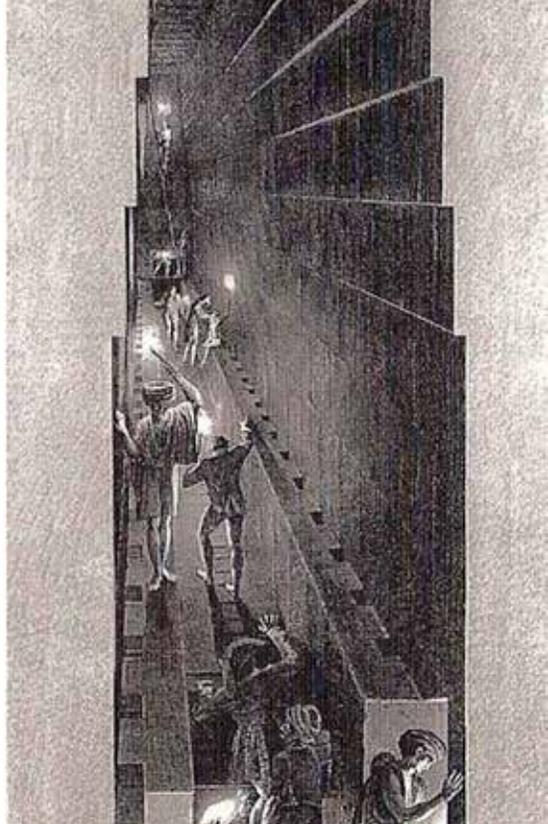


## LA DÉCOUVERTE DE LA GRANDE PYRAMIDE

Érigée par les Grecs comme l'une des sept merveilles du monde et dernier monument de cette liste encore visible aujourd'hui, la pyramide de Khéops suscite admiration et questionnements depuis l'Antiquité. Le Mystère de la Grande Pyramide est devenu emblématique des recherches incessantes menées par les archéologues jusqu'à nos jours.

L'une des premières interrogations réside dans le terme de pyramide. Les égyptologues débattent encore sur la question, oscillant entre le terme grec *pyramis*, gâteau de miel et de farine de forme pyramidale, ou *pyros*, blé, froment, rappel de l'assimilation des pyramides aux greniers de Joseph. "Pyramide" pourrait aussi dériver de l'égyptien *pr-m-ous*, terme de géométrie signifiant hauteur ou arête d'une pyramide.

Hérodote (IV<sup>e</sup> siècle av. J.C.) est un des premiers à utiliser ce terme dans son *Enquête*, récit de son voyage en Egypte. En historien, il tire ses renseignements des prêtres égyptiens de l'époque. Mais les deux mille ans qui les séparent des grandes pyramides sont sources de légendes et de mauvaises interprétations. Hérodote, cependant, attribue avec exactitude la construction des pyramides du plateau de Giza aux trois pharaons de l'Ancien Empire, Khéops (2538-2516), Képhren (2509-2484) et Mykérinos (2480-2462). La description qu'il fait de la Grande Pyramide alimentera, pendant longtemps, l'idée d'un tombeau caché à retrouver : "le tombeau de Khéops se trouve dans une île et (...) est environné des eaux du Nil, qui s'y rendent par un canal construit à ce dessein".



Diodore de Sicile (1er siècle av. J.C.), dans la *Bibliothèque historique*, alimente lui aussi le mystère : "Quoique ces deux rois [Khéops et Khéphren] eussent fait construire ces pyramides pour leur servir de sépulture, aucun des deux n'y a pourtant été enseveli. Car les peuples irrités des travaux insupportables auxquels ils avaient été condamnés et des autres violences de ces deux rois, jurèrent qu'ils tireraient leurs corps de ces monuments pour les mettre en pièces. Les deux rois, qui furent informés avant leur mort, recommandèrent à leurs amis de déposer leurs corps dans des lieux sûrs et secrets." Afin de s'en assurer, les voyageurs entreprennent d'entrer dans la pyramide. Il semble que ce soit le cas des auteurs grecs, comme Strabon (1er siècle av. J.C.), qui décrit avec exactitude son intérieur dans la *Géographie* : "Vers le milieu de la hauteur d'un des côtés est une pierre que l'on peut lever. Elle ferme un canal oblique, qui conduit au cercueil déposé dans l'intérieur de la pyramide."

Mais, avec la disparition de la religion égyptienne et de la connaissance des hiéroglyphes, les pyramides tombent dans l'oubli jusqu'à ce que les Arabes puis les Croisés les redécouvrent. C'est au calife de Bagdad, al-Mamoun, qu'il reviendrait d'être entré dans la Grande Pyramide en 820.

Page 14 - 15

Coupe de la pyramide de Khéops

Philippe BOURSEILLER

Sur la face Nord de la pyramide de Khéops, l'entrée creusée au IXe siècle pour pénétrer dans la pyramide et, au-dessus, les chevrons au-dessus du couloir descendant. 2015

ci-dessus

La grande galerie vers 1799

Tiré de la *Description de l'Égypte*

\* voir glossaire page 30

Les récits qui en sont faits 300 ans plus tard, mêlent hommage à la gloire du souverain arabe et légendes autour des monuments. Le plus étonnant est que l'on ne sait même plus qui sont les pharaons qui ont construit les pyramides. Se développe le mythe que l'on y aurait caché des merveilles, des pièces d'or, des statues en pierres précieuses et un corps richement paré.

De leurs côtés, les Croisés et les pèlerins tentent de retrouver en Egypte les traces de la Bible et de l'Exode des Hébreux. Ils veulent voir dans les pyramides, les greniers que Joseph aurait fait construire pour les années de disette prédites au pharaon. C'est ainsi que l'on trouve les trois pyramides représentées sur une mosaïque de la basilique Saint-Marc à Venise. Mais cette idée est rapidement battue en brèche. Dès le IXe siècle, Denys de Tell-Mahré, patriarche jacobite d'Antioche, affirme : "Ce ne sont point, comme on le croit, des greniers de Joseph, mais bien des mausolées étonnants, élevés sur les tombeaux des anciens rois ; ils sont obliques et solides et non pas creux et vides." Ce n'est qu'en 1486 que Breydenbach, venant de Mayence, refuse d'y voir les greniers de Joseph et les attribue aux tombes des anciens rois.

Les voyageurs suivants iront dans son sens et la plupart d'entre eux pénétreront jusqu'à la chambre du sarcophage.

Il faut attendre le début du XVIIe siècle pour avoir pour la première fois une étude objective sur les pyramides, écrite dans un esprit scientifique et tentant de discerner la part d'histoire et de légende.

Le professeur John Greaves explore les différentes galeries et chambres de la grande pyramide et en fait une description et des relevés précis, dans son ouvrage *Pyramidographie* (1646, Londres). S'ensuivent les travaux de Benoit de Maillet, Frédéric-Louis Norden et Richard Pococke qui nous livrent des coupes des pyramides et étudient précisément l'organisation des couloirs. Dans la *Description de l'Egypte* (1809-1822), plusieurs chapitres sont consacrés aux pyramides. La coupe de la Grande Pyramide par l'architecte Le Père montre pour la première fois avec une assez grande exactitude les inclinaisons relatives des faces et des différentes galeries, alors que tous les dessins précédents donnaient des pentes trop prononcées. Pour autant, le mode de construction laisse perplexe : "Tout est mystérieux, je le répète, dans la construction et la distribution du monument."

En 1839, l'ingénieur Perring confirme avec certitude que la grande pyramide a bien été élevée pour Khéops. Dans les pièces de décharge de la chambre du roi, il découvre des marques de **carriers\*** au nom du pharaon. les études de ses successeurs tels Brochardt et Petrie, permettront de mieux comprendre les techniques de construction.

La pyramide de Khéops n'a pourtant pas fini de livrer tous ses secrets. Son plan inhabituel continue d'interroger les archéologues et laisse penser que d'autres chambres pourraient encore se cacher dans ses entrailles.



# MISSION SCANPYRAMIDS

## CE N'EST PAS PARCE QU'UN MYSTÈRE A 4500 ANS QUE L'ON NE DOIT PAS TENTER DE LE RÉSOUDRE !

Les pyramides et leurs secrets bien gardés renvoient d'abord à notre civilisation, à notre mémoire, à ce que nous serons capables de léguer aux générations futures. Au-delà de l'aspect scientifique et des défis technologiques, la mission ScanPyramids est, avant tout, un hommage à la créativité et à l'invention humaine.

Notre société digitalement hypnotisée, qui vit au rythme des rumeurs qui se succèdent et des tweets à 140 caractères, ne croit plus l'homme capable d'avoir élevé ces montagnes architecturales. Nombreux sont ceux qui pensent que la pyramide de Khéops est l'œuvre d'extra-terrestres ! Voilà où conduisent la peur et la perte de confiance dans nos capacités : à invoquer les forces surnaturelles pour expliquer la construction de ces colosses de la même façon qu'on

invoque, pour exorciser ses angoisses, des hommes providentiels que l'on voudrait super-héros ou pharaons au sommet d'une pyramide.

N'importe quelle personne munie d'un téléphone portable a entre les mains le pouvoir d'accéder à un savoir incommensurable, a le pouvoir de changer le monde incomparable avec celui des anciens Egyptiens qui ne connaissaient ni le fer, ni la roue. Pourtant, ces bâtisseurs ont hissé des poutres de 60 tonnes sans que nous sachions encore comment. Ils composaient un peuple uni politiquement, conscient de la brièveté de l'existence terrestre, mû par une spiritualité forte et ils ont érigé à 146 mètres de hauteur la dernière des 7 merveilles du monde antique encore debout.

# "LE PLUS COURT CHEMIN VERS L'AVENIR EST CELUI QUI PASSE PAR L'APPROFONDISSEMENT DE NOTRE PASSÉ".

Aimé Césaire

Nous avons besoin de réparer la machine à rêver, de nourrir nos imaginaires, de dépasser nos limites, de réhabiliter la mémoire longue, de bâtir durablement et d'avoir envie de demain. Donner cette envie sur laquelle repose la vision ne peut se faire qu'à travers des actions concrètes et des exemples universels qui peuvent résonner au-delà des frontières et des croyances !

Tenter de résoudre collectivement, sur le terrain, ce mystère emblématique, c'est expliquer pourquoi l'impossible a été possible et affirmer qu'il doit, plus que jamais, l'être à nouveau ! C'est prouver que les artistes, les scientifiques, les ingénieurs, les architectes et vous, le public, qui ferez peut-être partie de cette aventure collective, peuvent gravir ensemble cette montagne. C'est réhabiliter l'importance de la diversité des regards, des origines, des sensibilités et des compétences dans le respect de chacun et dans la bienveillance.

Ingénieurs, scientifiques et artistes rassemblés devant les chevrons de l'entrée principale de Kheops.

De gauche à droite : Pierre Gable, Clemente Ibarra-Castanedo, Yaser El-Shayeb, Mehdi Tayoubi, Hany Helal, Nicolas Godin, François Schuiten, Alexandre Obolensky, Louis Arlette.

François SCHUITEN

Arête de la pyramide de Khéops (détail), 2016





Philippe BOURSEILLER, Mesures thermiques devant la pyramide rhomboïdale du roi Snéfrou à Dachour (au sud du Caire), 2015

## ETUDIER LE COMPORTEMENT THERMIQUE DES PYRAMIDES

La thermographie infrarouge permet de sonder la matière en observant le comportement thermique des surfaces d'un monument. Le principe en est simple : tous les matériaux diffusent de l'énergie en fonction de leur température. Ils émettent des ondes infrarouges mesurées par des caméras équipées de capteurs. Grâce à un modèle numérique, celles-ci génèrent des images dont chaque couleur correspond à une température donnée. Dans le cas des pyramides, la thermographie infrarouge permet d'identifier sur les immenses surfaces des monuments, des zones d'intérêts où le

comportement thermique observé n'est pas celui attendu. La réponse thermique des pierres dépend de plusieurs paramètres : les matériaux utilisés, les facteurs environnementaux et structurels. En cas de présence de vides ou de cavités, la chaleur thermique dégagée par les pierres est différente du reste de la surface. Ce sont ces anomalies thermiques qui sont ensuite vérifiées par d'autres techniques, comme la muographie, qui permettra de valider avec certitude l'existence de cavités.



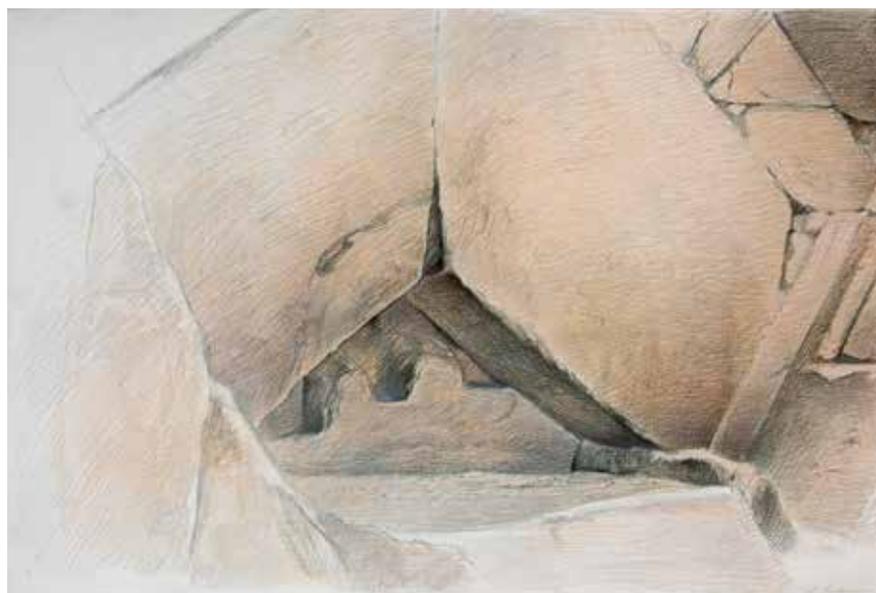
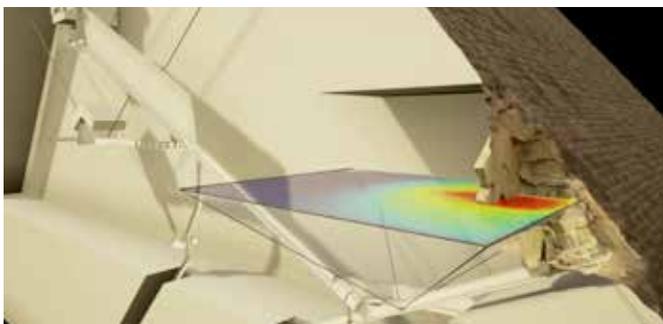
Coupe de la Pyramide de Khéops recevant une pluie continue de muons.

## PARTICULES COSMIQUES POUR MONUMENTS MASSIFS

Les muons sont des particules qui proviennent des hautes couches de l'atmosphère et tombent en permanence sur la Terre à une vitesse proche de la lumière (10 000 par m<sup>2</sup> par minute). A l'instar des rayons X qui traversent notre corps et permettent de visualiser notre squelette, ces **particules élémentaires\***, invisibles à l'œil nu, traversent facilement de grandes épaisseurs, tels les volcans ou des constructions massives. Des détecteurs, placés à des endroits judicieux, permettent de capturer les traces de muons à des endroits précis, de les compter et de connaître leur angle d'arrivée. Plus on a de muons, plus la probabilité est forte d'avoir des vides. A l'inverse, moins il y en a, plus ils ont été absorbés.

Dans le cadre de la mission ScanPyramids, trois types de détecteurs ont été développés. L'université de Nagoya utilise des détecteurs chimiques à base d'émulsions **argentiques\*** au temps de pose long (80 jours). Le KEK japonais (High Energy Accelerator Research Organization) a développé des scintillateurs électroniques fonctionnant avec un plastique sensible aux muons pouvant couvrir de grandes surfaces, même dans des environnements hostiles. Quant aux télescopes à muons du CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives), ils fonctionnent avec un mélange gazeux à base d'**argon\*** et produisent des données en temps réel. Toutes ces techniques complémentaires permettent d'obtenir des images des entrailles des pyramides.

\* voir glossaire page 30



# CONFRONTER LE RÉEL ET LE VIRTUEL

La mission ScanPyramids a aussi pour ambition de reconstituer en 3D l'ensemble des monuments du plateau de Giza et de Dachour. Ces reconstitutions 3D, véritables doubles numériques, permettent d'obtenir une empreinte digitale la plus précise possible des monuments réels dans un souci de préservation du patrimoine. Elles s'appuient sur différentes technologies : la modélisation 3D à partir de photographies et de plans, les relevés laser sur le terrain ou encore la photogrammétrie qui, à partir de prises de vue réelles (photos, vidéos) d'un objet reconstruit un objet en 3 dimensions. Les données 3D permettent aussi aux scientifiques de réaliser des simulations architecturales, muoniques ou thermographiques de différentes hypothèses pour les tester et les analyser : quel serait le comportement thermique d'une zone précise en cas de présence d'un couloir ? Quelle image la technique des muons doit-elle donner si un vide est présent derrière une paroi ? ... Pour tirer des conclusions, il suffit ensuite de comparer les résultats réels aux simulations scientifiques.

## DES VIDES AU CŒUR DE LA GRANDE PYRAMIDE

Après une première année de recherche sur le terrain, l'association de la muographie avec la thermographie infrarouge et les simulations 3D est un véritable succès.

Dans la Grande Pyramide de Khéops, deux découvertes majeures de vides inconnus à ce jour ont été réalisées. La première cavité se trouve derrière la face Nord, au niveau des chevrons masqués de l'entrée originelle de la pyramide. La thermographie infra-rouge a détecté des anomalies dans cette zone, qui a ensuite été scrutée grâce aux émulsions à muons de l'Université de Nagoya placées dans le couloir descendant. La confrontation des données des émulsions et des simulations en 3D muoniques a abouti à la confirmation à 99,9999% de la présence d'un vide situé entre les chevrons et le couloir descendant. La cavité s'enfonce dans le cœur de la pyramide laissant penser à un circuit resté inconnu à ce jour. D'autres mesures vont permettre de préciser la taille, la forme et la position exacte du vide détecté avec certitude. La deuxième cavité a été trouvée à l'aide des télescopes à muons du CEA sur l'arrête Nord Est de la Grande Pyramide, à une hauteur de 105 m. D'autres données et anomalies sont actuellement en cours d'analyse, de nouveaux détecteurs vont être déployés en différents endroits des pyramides de l'Ancien Empire : la mission ScanPyramids continue...

Coupe 3D de la pyramide de Khéops. La Pyramide doit être reconstituée très précisément en 3D à travers différentes méthodes pour pouvoir réaliser des simulations et comprendre les résultats du terrain.

Vue schématique de la cavité découverte derrière les chevrons de la face nord de la pyramide de Khéops (la position et la forme exacte sont en cours d'analyses).

François SCHUITEN  
Les chevrons de la face Nord  
de la pyramide de Khéops  
2016





# EGYPTOKID

## POURQUOI LES EGYPTIENS SE FAISAIENT-ILS MOMIFIER ?

Parce qu'ils croyaient en la vie après la mort. Ceci à cause d'une légende, celle du dieu Osiris...

Egypte, Magdôla  
Epoque ptolémaïque ou romaine (332 av. J.C - 395 ap. J.C.)  
Plastron de momie



Egypte, Fayoum  
Epoque ptolémaïque ou romaine  
(332 av. J.C. - 395 ap. J.C.)  
Déesse Nephthys, sœur d'Osiris, agenouillée  
sur le signe de l'or (noub)  
et  
Dieu Osiris assis sur un trône  
Collection IPEL, Université Lille3

Egypte, Fayoum, Medinet el-Nahas  
Epoque ptolémaïque  
Déesse Isis  
Collection IPEL, Université Lille3

Page de droite :  
Egypte  
Epoque romaine (30 av. J.C. - 337 ap. J.C.)  
Momie d'un enfant  
Lille, Palais des Beaux-Arts



IL ÉTAIT UNE FOIS 4 FRÈRES ET SŒURS :  
OSIRIS ET SETH, LES GARÇONS, ISIS ET NEPHTYS,  
LES FILLES.

**Osiris**, bon et sage, fut le premier des Pharaons à régner sur l'Égypte, aux côtés de sa sœur et épouse **Isis** (les Pharaons épousaient souvent leur sœur pour régner ensemble).

Malheureusement **Seth**, son frère jaloux, le fit enfermer dans un coffre qu'il jeta dans le Nil. Désespérée, **Isis** parvint à le retrouver mais **Seth** le coupa alors en 14 morceaux qu'il dispersa dans toute l'Égypte. Patiemment, **Isis** partit à travers l'Égypte, ramassant chaque partie du corps de son bien aimé qu'elle reconstitua grâce à des bandelettes et grâce, surtout, à l'aide du dieu **Anubis** (dieu à tête de chacal). A deux, ils rendirent la vie à **Osiris**.

Depuis ce jour, les Egyptiens, comme le dieu **Osiris**, veulent être momifiés, avoir leur corps entouré de bandelettes et être ainsi prêts pour vivre une nouvelle

## QU'EST-CE QUE LA MOMIFICATION ?

C'est conserver le corps du mort pour lui permettre l'accès au paradis et à la vie éternelle.

Ce sont les prêtres embaumeurs – des professionnels de la momification – qui réalisent ce rituel. Tout au long de la momification, ils récitent des formules sacrées.



## RECETTE POUR FAIRE UNE BELLE MOMIE

1. Prendre un corps, le laver et le raser.
2. Ensuite, enlever les organes : le foie, les poumons, l'estomac et les intestins et les mettre dans 4 vases canopes représentant les 4 fils d'Horus
3. Retirer le cerveau à l'aide d'une longue tige de fer glissée dans les narines du mort.
4. Bien laisser le cœur en place car il est le siège de la pensée.
5. Recouvrir le corps ainsi nettoyé d'un sel que l'on appelle du natron qui le dessèchera et le conservera.
6. Laisser reposer 70 jours minimum
7. Remplir le corps de diverses choses : tissu, graisse parfumée, sciure de bois...
8. Après lui avoir mis perruque et bijoux, entourer le corps de bandelettes de lin. Entre les bandelettes, glisser des amulettes car elles sont chargées de protéger le mort dans l'au-delà.
9. Placer un masque funéraire sur sa tête.
10. Et enfin, recouvrir la momie de cartonnage peint de motifs colorés divers réalisé grâce à un mélange de tissu et de plâtre.

**La momie est prête pour la vie éternelle !**



1



2



3

1. Soudan, Mirgissa  
Moyen Empire ((1987-1650 av. J.C.)  
Sarcophage de la Dame Ibet  
Collection IPEL, Université Lille3

2. Soudan, Mirgissa  
Epoque napatéenne, 650-310 av. J.C.  
Amulette en forme d'oeil oudjat  
Collection IPEL, Université Lille3

3. Egypte, Basse Epoque, XXVe-XXVIe  
dynasties (780-525 av. J.C.)  
Vases canopes  
Lille, Palais des Beaux-Arts

## VERS L'INFINI ET L'AU-DELÀ

Le corps embaumé est rendu à la famille et placé dans un cercueil de bois peint. Des membres de la famille et des amis conduisent le mort pour sa dernière traversée du Nil.

Les funérailles ressemblent à un véritable déménagement : chaises, lits, coffres... sont empilés sur les chars pour assurer une vie confortable dans l'au-delà.

Le sarcophage, tiré par des vaches, arrive devant une porte décorée, avec les yeux du dieu Horus, appelés yeux d'Oudjat, qui protègent le mort.

C'est ce que l'on peut voir sur le côté du sarcophage de la Dame Ibet. Derrière le sarcophage, des "pleureuses" au visage barbouillé de boue et de poussière, le sein découvert, la robe déchirée, gémissent ou hurlent, en se frappant la tête et la poitrine. Elles sont payées par la famille pour pleurer très fort !

## LE ROYAUME D'OSIRIS SE MÉRITE !

Le défunt doit bien suivre les indications contenues dans le *Livre des Morts*, un papyrus sur lequel figurent des formules magiques, pour déjouer les esprits et les mauvais génies qui le guettent et lui tendent des pièges.

Mais, avant de pénétrer dans le royaume des morts, son cœur doit être pesé. Placé sur l'un des plateaux de la balance de Maât, déesse de la justice et de la vérité, il doit être aussi léger que la plume placée sur l'autre plateau.

Si les deux s'équilibrent, le défunt accède à la vie éternelle. Si son cœur est trop lourd, il finit dévoré par un monstre mi-hippopotame, mi-crocodile : "la grande dévoreuse" !

Ce n'est que quand il atteindra le *Champ des Roseaux* (Paradis des égyptiens), son nouveau lieu de vie, qu'il sera hors de danger et pourra pleinement profiter de sa vie éternelle.

# QUE FAISAIENT LES EGYPTIENS DANS L'AU-DELÀ ?

Dans l'au-delà, les Egyptiens vivaient comme sur terre. Voilà pourquoi on retrouve dans leurs tombes de nombreux objets de la vie quotidienne dont voici quelques exemples :

## 1. LES SEMELLES DE SANDALE

Les sandales étaient un luxe car la plupart des Egyptiens marchaient pieds nus. Ces semelles nous rappellent qu'on les fabriquait à l'époque avec des roseaux cueillis sur les berges du Nil. En les regardant de près, on voit que cette paire n'a jamais été portée, c'est en fait une fausse semelle, faite en cartonnage exprès pour être mise aux côtés du défunt.

## 2. LE CHAOUABTI

Quand la momie rejoignait les *Champs des Roseaux*, nom que les Egyptiens donnaient au paradis, elle devait effectuer les mêmes travaux que sur terre comme cultiver des céréales ou fabriquer de la bière. Les Egyptiens les plus fortunés se faisaient enterrer avec des chaouabtis, de petites statuettes qui faisaient le travail à leur place dans l'au-delà.

## 3. LE SCARABÉE DE CŒUR

Ce bijou est une amulette, c'est-à-dire un petit objet magique servant à éloigner le mal. On appelle celui-ci un scarabée de cœur : les Egyptiens plaçaient l'intelligence dans le cœur et non pas dans le cerveau. La placer sur la momie lui assurait de conserver toute sa raison dans l'au-delà.

## 4. LA PALETTE DE SCRIBE

Dans les tombes, on trouve également des vases à parfum, des boîtes à fard, des rasoirs (car se raser pour les Egyptiens était une façon de se purifier l'esprit) ou des objets qui se rapportent à leur métier. Cette palette rappelle donc que l'homme momifié était un écrivain (également appelé un scribe en Egypte) qui y posait de l'encre et des couleurs.



Egypte Nouvel Empire, XVIIIe dynastie (1550-1295 av. J.C.)  
Semelles de sandales  
Lille, Palais des Beaux-Arts  
Egypte, Thèbes (?) Nouvel Empire (1550-1069 av. J.C.)  
Chaouabtis (serviteurs funéraires)  
Lille, Palais des Beaux-Arts  
Soudan, île de Saï Nouvel Empire (1550-1069 av. J.C.)  
Scarabée de cœur  
Soudan, île de Saï. Nouvel Empire (1550-1069 av. J.C.)  
Palette de scribe  
Collection IPEL, Université Lille3

## Glossaire

**p. 21 - Argentique** : Technique photographique qui permet d'obtenir une photo à l'aide d'un film sensible à la lumière de son exposition.

Le film (pellicule) est alors développé puis généralement tiré sur papier.

**p. 21 - Argon** : Gaz simple, incolore et inodore qui rentre dans la composition de l'air.

**p. 10 - Calotype** : Négatifs papiers uniques permettant de réaliser plusieurs tirages.

**P. 17 - Carrier** : Ouvrier qui extrait la pierre dans une carrière.

**p. 11 - Démotique** : Langue et surtout écriture cursive, utilisées par les Egyptiens à partir du viii<sup>e</sup> siècle av. J.-C.

**p. 10 - Eau-forte** : Procédé de gravure sur une plaque métallique à l'aide d'un acide.

**p. 9 - Hiéroglyphes** : Système d'écriture des anciens Egyptiens.

**p. 6 - Muon** : particules qui proviennent des hautes couches de l'atmosphère et tombent en permanence sur la Terre à une vitesse proche de la lumière (10 000 par m<sup>2</sup> par minute).

**p. 8 - Paganisme** : Désigne les systèmes religieux des civilisations antiques polythéistes.

**p. 28 - Papyrus** :

- Plante qui pousse au bord du Nil.

- Feuille fabriquée à partir de la tige de cette plante et qui servait aux égyptiens pour écrire

**p. 21 - Particules élémentaires** : Les plus petits objets physiques dont sont constitués la matière et les forces de l'univers.

**p. 10 - Philologue** : Savant qui étudie les civilisations passées grâce aux documents écrits qu'elles nous ont laissés.

## Chronologie de l'Egypte ancienne

ÉPOQUE	DYNASTIE	PHARAON	ANNÉE AV. J.C.
<b>ÉPOQUE PRÉDYNASTIQUE</b>			» VERS 5000-3100
<b>ÉPOQUE THINITE</b>	1 <sup>ère</sup> -2 <sup>ème</sup>		» VERS 3100 - 2700
<b>ANCIEN EMPIRE</b>			» VERS 2700 - 2200
	3 <sup>ème</sup>		» VERS 2700 - 2620
	4 <sup>ème</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Pharaon <i>Snéfrou</i></li> <li>» Pharaon <i>Khéops</i></li> <li>» Pharaon <i>Rédjedef</i></li> <li>» Pharaon <i>Khéphren</i></li> <li>» Pharaon <i>Mykérinos</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» VERS 2620 - 2500</li> <li>» 2620-2590</li> <li>» 2590-2565</li> <li>» 2565-2558</li> <li>» 2558-2533</li> <li>» 2533-2515</li> </ul>
	5 <sup>ème</sup>		» VERS 2500 - 2350
	6 <sup>ème</sup>		» VERS 2350 - 2200
<b>1<sup>ÈRE</sup> PÉRIODE INTERMÉDIAIRE</b>	7 <sup>ème</sup> -11 <sup>ème</sup>		» VERS 2180 - 2025
<b>MOYEN EMPIRE</b>	11 <sup>ème</sup> -13 <sup>ème</sup>		» VERS 2025 - 1680
<b>2<sup>ÈME</sup> PÉRIODE INTERMÉDIAIRE</b>			» VERS 1680 - 1550
<b>NOUVEL EMPIRE</b>	18 <sup>ème</sup> -20 <sup>ème</sup>		» VERS 1550 - 1069
<b>3<sup>ÈME</sup> PÉRIODE INTERMÉDIAIRE</b>	21 <sup>ème</sup> -25 <sup>ème</sup>		» VERS 1069 - 664
<b>BASSE ÉPOQUE</b>	26 <sup>ème</sup> -30 <sup>ème</sup>		» 664 - 332
<b>ÉPOQUE PTOLÉMAÏQUE</b>			» 332 - 30
<b>Annexion de l'Égypte par Auguste, début de l'époque romaine</b>			» 30 AV. J.-C.



Egypte Moyen Empire (2025-1680 av. J.C.) Pleureuses, Musées Royaux d'Art et d'Histoire, Bruxelles

## Remerciements

### Le Palais des Beaux-Arts remercie :

Les artistes François Schuiten, Philippe Bourseiller, Alexandre Obolensky et Nicolas Godin.

Les musées prêteurs Musée des Beaux-Arts de Caen, Scriptorial d'Avranches, Musée d'Histoire Naturelle de Lille, et les Musées Royaux d'Art et d'Histoire, Bruxelles. L'institut HIP et la Faculté des Ingénieurs de l'Université du Caire coordinateurs de la mission ScanPyramids.

Guillemette Andreu-Lanoë, directrice honoraire département des Antiquités égyptiennes, Musée du Louvre.

Et la Fondation Crédit Mutuel Nord Europe.

### Exposition organisée par le Palais des Beaux-Arts

Commissariat PBA : Fleur Morfoisse , Régis Cotentin

Commissariat HIP : Nicolas Serikoff

Avec la collaboration exceptionnelle de Guillemette Andreu-Lanoë

Auteurs des textes :

Guillemette Andreu-Lanoë (p. 8-11), Juliette Barthélémy (p.26-29), Régis Cotentin (p.12-13), Fleur Morfoisse (p.14-17), Mehdi Tayoubi et Nicolas Serikoff (p.18-23), Céline Villiers (p.27-28).

Coordination éditoriale : Eugénie Brown.

Conception graphique : Claire Masset, PBA 2016.

### La Mission ScanPyramids remercie :

#### Ses soutiens :

NHK, Dassault Systèmes et sa Fondation, Emissive, Itékube, Suez, Schneider Electric , Batscop, Bonne Pioche, Kurtzdev, Gen-G, le Groupe Dassault.

#### Ses partenaires scientifiques :

Université de Nagoya (Japon), CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives-France), KEK (High Energy Accelerator Research Organization-Japon), INRIA (Institut national de recherche en informatique et en automatique-France), Université Laval de Québec (Canada), Jean-Claude Barré, Iconem

#### Ses partenaires 3D et réalité virtuelle :

Emissive, Dassault Systèmes

### Crédits photos :

Jean-Marie Dautel, PBA 2016 : pages 6, 19, 25, 26, 27, 28, 29 // Régis Cotentin, PBA : page 12 // M.Seyve photographe, Musée des Beaux-Arts de Caen : page 11 // ScanPyramids : page 16 // Philippe Bourseiller pour ScanPyramids : pages 16, 19, 20 // Emissive pour ScanPyramids : pages 21, 22 // Franck Raux et Stéphane Maréchal, RMN : pages 28, 29 // Musées Royaux d'Art et d'Histoire, Bruxelles : page 31.

Impression : Nord Imprim, 2016

---

## A VOS AGENDAS !

### ÉVÉNEMENTS AUTOUR DE MISSION SCANPYRAMIDS :

#### **Judi 15 décembre 2016, à 17 h 30**

» L'envers du décor "Le mystère de la grande Pyramide",  
avec Fleur Morfoisse et Régis Cotentin

#### **Vendredi 16 décembre 2016, de 18 h à 21 h**

» Nocturne gratuite

#### **Mercredi 21 décembre 2016, à 14 h 30**

» Musée amusant "Le mystère de la momie",  
avec Le Collectif de la Girafe

#### **Mercredi 18 janvier 2017, à 18 h 30 :**

Rencontre publique avec les acteurs du projet  
Gratuit

#### **Dimanches gratuits**

» Dimanche 8 janvier 2017 (au lieu du 1<sup>er</sup> janvier - férié)  
» Dimanche 5 février 2017



Partagez votre  
expérience du musée

**#pbalille #ScanPyramids #wikimuseum**

#### **Plus d'info :**

[www.pba-lille.fr](http://www.pba-lille.fr)

[www.scanpyramids.org](http://www.scanpyramids.org)

[www.hip.institute](http://www.hip.institute)