

ARCHEOPORTAIL

La Revue

NUMERO SPECIAL



L'imagerie virtuelle
au service de la science
Le cas Kheops



numéro 05
jan. - fév. - mars 2009

ÉDITO

Une fois n'est pas coutume, ArchéoPortail ne va pas s'intéresser à une valorisation multimédia d'un site patrimonial. Pour ce premier numéro de l'année 2009, nous vous invitons à élucider l'un des plus vieux mystères de l'humanité : celui qui entoure la construction de la Grande Pyramide du pharaon Kheops, bâtie il y plus de 45 siècles. Jean-Pierre Houdin, un architecte français, pense avoir trouvé la clé de l'énigme.

Son raisonnement repose sur des éléments concrets, mais aussi sur un système architectonique conceptuel tout à fait original, en marge des hypothèses acceptées par la communauté scientifique. Son intuition s'avère tout à fait plausible, puisque, cas qui nous intéresse fortement, le monumental travail déployé par Jean-Pierre Houdin a été numériquement vérifié par des logiciels de simulations 3D dont la fiabilité est irréprochable.

La démonstration de sa théorie, vous allez le voir, est d'une limpidité déconcertante.

« On n'a découvert aucune impossibilité dans la théorie de Jean-Pierre. [...] Vis à vis de la mécanique, tout colle, c'est vraisemblable, ça tient la route ».

Richard Breitner
responsable du programme « *Passion for Innovation* »

Frédéric ANQUETIL

Rédacteur en chef

SOMMAIRE

>>> EDITO	01
>>> ACTU INTERNATIONALE	03
• La Chine numérise son patrimoine culturel	
>>> ACTU NATIONALE	04
• Les CAUE mettent en ligne leurs productions	
>>> AGENDA	05
• Panama, un canal au coeur des amériques	
• De Toumaï à Sapiens, la ruée vers l'Homme	
>>> DOSSIER SPECIAL	06
• L'imagerie virtuelle au service de la science : le cas Kheops	06
. I/ Les théories développées jusqu'alors...	07
. II/ Une théorie révolutionnaire : Kheops Révélé !	09
. III/ Des preuves sans équivoque	12
. Pour en savoir plus...	15
>>> LE COIN DES ADHERENTS	16
>>> L'ANNUAIRE	17

• La Chine numérise son patrimoine culturel

Le 8 décembre 2008 s'est tenu à Beijing (Pékin) un Forum qui intéresse considérablement les « ArchéoPortaliens » que nous sommes puisque les spécialistes présents étaient invités à concentrer leurs travaux sur un thème majeur : la préservation et la présentation du patrimoine culturel à l'ère du numérique.



Gardien léonide, Cité Interdite – Wikimedia Commons

A l'heure où la Chine — et plus particulièrement la côte ouest industrialisée — connaît de profondes mutations économiques et sociales, les acteurs d'un patrimoine historique et culturel très malmené lors de la Révolution culturelle (1966 - 1976) s'efforcent de le protéger par l'intervention des technologies numériques. Ils bénéficient aujourd'hui des récents — bien que encore très ciblés — efforts du gouvernement dans le domaine de la protection de la culture chinoise. Ces dernières années, celui-ci a été à l'origine de l'organisation de nombreuses conférences, de la formulation de législations, de la création d'instituts. Les universités et musées ont pu profiter de cette impulsion nouvelle pour s'affirmer en tant qu'acteurs incontournables de la préservation et de l'inventorisation du patrimoine culturel tangible et intangible chinois. Leur travail est absolument nécessaire pour conserver notamment un patrimoine anthropologique considérablement menacé par son exploitation commerciale.

Le chantier est de grande ampleur, mais de nombreux travaux ont déjà été réalisés, qui ont permis de mesurer les bénéfices de la conservation numérique, comme l'ont souligné les spécialistes présents au Forum. Li Wenru, vice-président du Musée du Palais (ou Cité Interdite), a indiqué que « *la technologie numérique stimulait, d'une manière et d'une rapidité sans précédent, la réalisation des valeurs majeures de son musée, du bien-être public et du bien commun* ». Les supports multimédias permettent effectivement d'instaurer un équilibre entre mise en tourisme et conservation du patrimoine, deux notions naturellement antagonistes mais que, pour des raisons économiques, on associe bien volontiers aujourd'hui. Souvent didactiques, novateurs et attractifs, ils permettent de drainer un public très varié et à l'inverse, de protéger un patrimoine profondément altérable. La constitution d'inventaires est essentielle sur ce point, et de nombreux projets sont en cours. La Bibliothèque Nationale de Chine a d'ores et déjà procédé à la construction de la base de données du catalogue des livres chinois et à la numérisation des principales œuvres en sa possession, dans le but de réaliser une bibliothèque nationale numérique. Citons également le remarquable travail présenté par Li Mei, Chercheur à l'Institut musical de l'Académie Nationale des Arts de Chine, dont la collection de musiques folkloriques couvre 31 provinces, municipalités et régions autonomes et comprend la musique de plus de 40 minorités ethniques, dont environ 7000 heures d'enregistrements audio et sonores.

A l'issue du Forum et des présentations des multiples possibilités de protéger le patrimoine culturel grâce aux nouvelles technologies, les spécialistes ont insisté sur un point essentiel : ces nouvelles méthodes et techniques devraient être davantage mises en application.

▪ CLÉMENCE AYRAULT

http://www.french.xinhuanet/french/2008-12/10/content_776873.htm

• Les CAUE mettent en ligne leurs productions

Créés en réponse aux décrets de 1978 qui prévoient que tout commanditaire d'une construction de plus de 170m² doit impérativement faire appel à un architecte, les Conseils d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement sont des associations type 1901, acteurs indispensables de l'harmonisation de l'habitat urbain, de la qualité du cadre de vie et du développement durable.



(c) Fédération nationale des CAUE

Les CAUE travaillent en partenariat avec les conseils généraux. Outre leur rôle de conseil auprès des élus et partenaires locaux et leur rôle d'accompagnement de ces derniers dans leurs démarches et projets, ils sont aussi présents sur le terrain pour sensibiliser professionnels, particuliers et scolaires à la nécessité de préserver leur environnement vital, et pour constituer la mémoire architecturale de leur département. Expositions, publications de livres, inventaires permettent de diffuser, sensibiliser, animer, mettre en mémoire, et sont des supports didactiques adoptés par nombre d'entre eux pour communiquer.

Certains ont mis leurs travaux et actions en ligne sur Internet. Parmi ceux-là, il faut citer le très dynamique CAUE de l'Oise qui enrichit régulièrement une base de données des éléments architecturaux remarquables du département et, comme le CAUE du Morbihan, inventorie via des fiches techniques les projets de restructuration urbaine auxquels il participe. Beaucoup de CAUE ont agrémenté leur service d'un Centre de Documentation, et comme le cas de celui du département du Nord, un système de catalogage numérique rassemblant l'ensemble des productions et références documentaires peut être consulté en ligne. L'ensemble des productions des 87 associations de France est consultable sur la base de données du site officiel des CAUE :

<http://www.archi.fr/docae/>

De manière générale, les CAUE ne sont pas connus en France, et, bien entendu, leurs actions le sont encore moins ! Ce sont pourtant des acteurs incontournables de la qualité de notre cadre de vie et du développement durable. Les sites Web que certains ont mis en ligne sont des interfaces riches en informations, et méritent amplement le détour !!!

▪ CLÉMENCE AYRAULT

Site officiel des CAUE de France :

<http://www.fncaue.asso.fr/>

Base de données des CAUE de France :

<http://www.archi.fr/docae/>

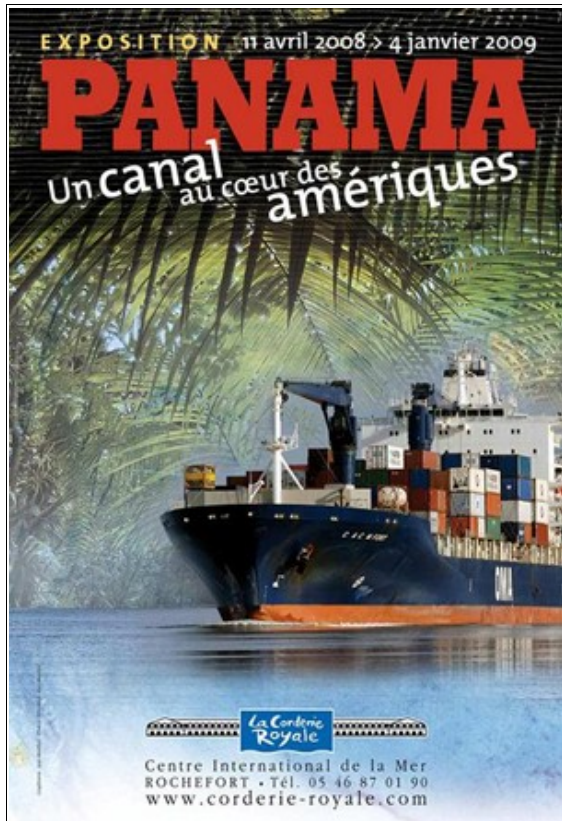
Site du CAUE de l'Oise : <http://www.caue60.fr>

Site du CAUE du Morbihan : <http://www.caue56.fr/>

Site du CAUE du Nord : <http://www.caue.nord.com/>

AGENDA

• Panama, un canal au coeur des amériques



(c) La Corderie Royale - CIM

Ouverte en avril 2008 au Centre International de la Mer, l'exposition « *Un canal au coeur des amériques* », qui retrace la construction du canal de Panama, est prolongée **jusqu'au 3 janvier 2010**. Merveilleusement didactique, cette exposition nous plonge au coeur de l'extraordinaire aventure que fut ce titanesque chantier. Une prouesse humaine qui permet d'ouvrir une voie indispensable au commerce maritime.

Plus d'informations :

La Corderie Royale, Tél : 05.46.87.01.90
<http://www.corderie-royale.com/fr/actuellement/exposition-panama.html>

▪ CLÉMENCE AYRAULT

• De Toumaï à Sapiens, La ruée vers l'Homme



(c) P. Plailly - Eurolios

Voilà 200 ans que Darwin, le père de la théorie de l'Evolution des Espèces, venait au monde. A cette occasion, la Cité des Sciences et de l'Industrie s'est associée à quatorze muséums d'Histoire Naturelle régionaux pour présenter, **du 12 février au 7 juin 2009**, l'exposition « *La ruée vers l'Homme* ». Quatre thèmes sont explorés : Fossiles : à la recherche du plus vieil ancêtre ; Outils et dernières techniques de la paléanthropologie ; Origines de l'homme : nouveaux scénarios et débats en cours ; Demain, quels enjeux pour la paléanthropologie ?

Plus d'informations :

La Cité des Sciences, Tél : 01.40.05.80.00
http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/evenements/ruee-vers-lhomme/

▪ FRÉDÉRIK ANQUETIL

DOSSIER SPECIAL

• L'IMAGERIE VIRTUELLE AU SERVICE DE LA SCIENCE : LE CAS KHEOPS

Seule rescapée des Sept Merveilles du Monde antique, la Grande Pyramide a été édiflée vers l'an 2580 avant J.-C. sur le plateau calcaire de Gizeh, situé sur la rive gauche du Nil, à 16 kilomètres de la capitale égyptienne, Le Caire. Elle a été imaginée par le vizir et architecte Hemiounou pour le pharaon de la IV^{ème} dynastie, Kheops. Culminant à l'origine à plus de 146 mètres, large de 230 mètres, elle a été jusqu'au XIX^{ème} siècle le monument le plus imposant jamais bâti par l'homme. Le mystère a longtemps reposé sur la méthode utilisée pour hisser jusqu'au dernier les massifs blocs qui la composent. Peut-être jusqu'à aujourd'hui...

30 mars 2007. la Géode de Paris est transformée en gigantesque salle de réalité virtuelle. Un événement hors du commun se prépare. Dans quelques instants, les spectateurs assis confortablement dans leur fauteuil, lunettes à cristaux liquides sur le nez, vont être les premiers à découvrir, images à l'appui, ce qui pourrait être la résolution d'une des énigmes qui a suscité depuis plus de 4500 ans d'incessants débats : le défi architectural qui a permis la réalisation de la Grande Pyramide. Plusieurs théories ont vu le jour, certes, mais celle-ci mérite une attention particulière : elle est la première à répondre remarquablement à toutes les questions auxquelles elle est soumise... Depuis, cette réflexion s'évertue à se propager dans le milieu scientifique et profane, afin de démontrer sa pertinence. En tout cas, elle nous a convaincus.

Tout commence fin 1999 alors qu'un certain Henri Houdin regarde un documentaire télévisé sur la manière dont aurait pu être édiflée la pyramide. Ingénieur en retraite, il voit tout de suite que toutes les techniques développées présentent des lacunes. D'ailleurs, toutes supposent une construction de l'extérieure¹. Or, Selon Henri Houdin, elle n'a pu être bâtie que de l'intérieure. Il décide de contacter son fils Jean-Pierre, architecte, pour lui soumettre son point de vue. Intrigué, Jean-Pierre Houdin allait désormais consacrer toute son énergie à développer l'intuition de son père. Sa réflexion est la suivante : « *Si j'avais eu à la bâtir, comment m'y serais-je pris ?* ».

¹ Pour les différentes théories relatives à la construction de la Grande Pyramide, se reporter au chapitre suivant.

Celle-ci est considérée avec beaucoup d'intérêt, à tel point que Jean-Pierre Houdin est contacté, en 2005, par Richard Breitner, Responsable du programme de mécénat « *Passion for Innovation* » de Dassault Systèmes, et se voit bientôt entouré d'une équipe d'une quinzaine d'ingénieurs. Pendant deux années, toute la théorie est testée avec des logiciels de simulations 3D², appuyant la faisabilité du système proposé par Jean-Pierre Houdin dans la réalité. Ce sont ces résultats qui sont projetées à la Géode.



Jean-Pierre Houdin (c) Dassault Systèmes

La démonstration est d'une cohérence sidérante. Avec l'aimable accord de Jean-Pierre Houdin, ArchéoPortail vous la résume en trois points...

² Ces logiciels, principalement mis au point par Dassault Systèmes, permettent de simuler avant de créer. Leurs résultats sont donc indiscutables.

• I/ Les théories développées jusqu'alors...

Depuis l'Antiquité les hommes ont tenté de savoir de quelle manière ont pu être bâties les pyramides, alors que la technique avait été perdue depuis des siècles déjà. Beaucoup de travaux ont été rédigés à ce sujet, certains sont intéressants, d'autres plus fantaisistes. Retour sur les trois plus populaires.

LES MACHINES D'HERODOTE

Cette hypothèse nous a été rapportée par l'historien grec Hérodote, lequel visita l'Égypte en 450 avant J.-C., soit plus de 2000 ans après la fin des travaux. On lui raconta que la Grande Pyramide avait été édifiée sous forme d'assises, avant que celles-ci ne soient recouvertes de « pierres de complément » c'est à dire les blocs de parement : « Voici comment on construisit cette pyramide, par le système des gradins successifs que l'on appelle tantôt *krossai* (corbeaux), tantôt *bomides* (plateformes). On la construisit d'abord sous cette forme, puis on hissa les pierres de complément à l'aide de machines faites de courtes pièces de bois : on montait la pierre du sol jusqu'à la première plateforme ; là, on la plaçait dans une autre machine installée sur le premier gradin, et on la tirait sur jusqu'au deuxième gradin, où une troisième machine la prenait »¹.



Les machines de levage (c) Dassault Systèmes

On constate que ce témoignage ne renseigne que très peu sur la technique employée pour bâtir l'intégralité du monument. Il rapporte surtout que l'utilisation de ces fameuses machines de levage n'aurait été effective que pour la pose des blocs de calcaire

de Tourah² qui recouvraient l'édifice.

Cette hypothèse se heurte à plusieurs écueils. En admettant que ces grues antiques, aient été utilisées pour l'édification de l'ensemble de la pyramide, il en aurait fallu très probablement des dizaines, voire même des centaines. Or, le bois était extrêmement rare en Égypte, il aurait fallu donc en importer des quantités énormes. Dans cette optique, seules des chèvres construites en cèdre du lointain Liban, avec lequel commerçait l'Égypte, auraient pu supporter le levage des blocs, d'un poids moyen de 2,5 tonnes, qui constituent l'ensemble du monument. En revanche, les machines n'auraient jamais pu soulever les immenses et massifs blocs de granit constituant la chambre du roi, et dont certains pèsent près de 65 tonnes. Enfin, de quelles manières auraient pu être stabilisées ces machines quand on sait que le rebord des assises ne fait guère plus de 50 centimètres environ ?

Cette hypothèse est donc irrecevable.

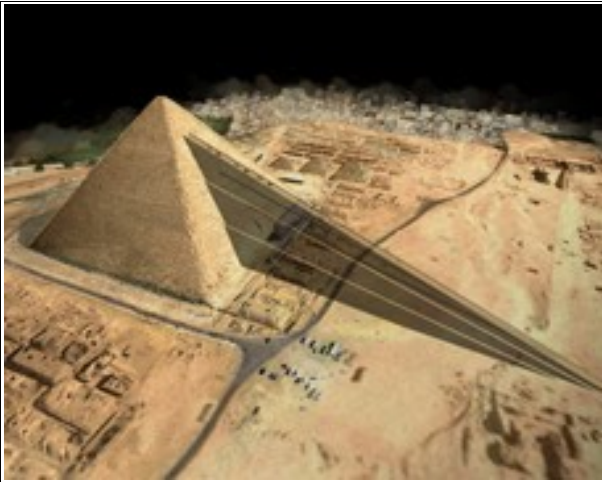
LA RAMPE FRONTALE

Ludwig Borchardt³ fut le premier à avoir émis la théorie de la rampe frontale. Selon lui, les Égyptiens avaient utilisé une rampe unique d'inclinaison constante qui s'allongeait au fur et à mesure de l'édification de la pyramide. Cependant, il a été déterminé que la pente ne devait pas excéder les 8%, afin que les ouvriers ne se fatiguent pas à l'ascension en tirant les blocs de calcaire déposés sur des traîneaux. Cette théorie soulève ainsi un gros problème : à inclinaison constante, la rampe aurait atteint un volume aussi considérable que celui de la pyramide, puisqu'elle se serait développée à son maximum sur près de 2 kilomètres. Par ailleurs, son démontage aurait été long et aurait laissé des traces.

¹ Hérodote, *L'Enquête* II-124, traduction d'Andrée Barquet.

² Tourah est situé au sud du Caire. Les Égyptiens utilisaient son calcaire très fin et d'un blanc éclatant pour bâtir des édifices nobles, ainsi que pour recouvrir les pyramides.

³ Egyptologue allemand (1863-1938).



La rampe frontale (c) Dassault Systèmes

C'est pour cette raison que Jean-Philippe Lauer⁴ reprit le procédé de Borchardt en modifiant quelques paramètres, notamment celui de l'angle d'inclinaison : pour éviter un allongement trop conséquent de la rampe, Lauer imagina une rampe de longueur constante où seul l'angle d'inclinaison était modifié au fur et à mesure de l'édification. Mais là encore un problème se pose : nous l'avons vu précédemment, le meilleur rapport angulaire ne doit pas excéder les 8% pour rendre la tâche réalisable. Une inclinaison supérieure rendait tout halage extrêmement pénible, voire impossible. Ajoutons pour finir que le chantier devait dans cette hypothèse être régulièrement stoppé afin d'élever constamment la rampe frontale.

On peut donc considérer l'utilisation d'une unique rampe frontale comme peu probable.

LA RAMPE EN SPIRALE

Il s'agit de la théorie la plus en vogue aujourd'hui parmi la communauté scientifique. Elle suppose la création d'une rampe de forme hélicoïdale, externe, enveloppant la pyramide. Construite en brique crue, elle aurait permis de passer d'une assise à une autre tout en conservant une pente de faible inclinaison, d'où peu d'effort de traction, rendant aisé le travail des ouvriers affectés au halage des blocs.

⁴ Egyptologue français (1902-2001). Connue notamment pour avoir remonté une grande partie du complexe funéraire de Djoser, à Saqqarah.



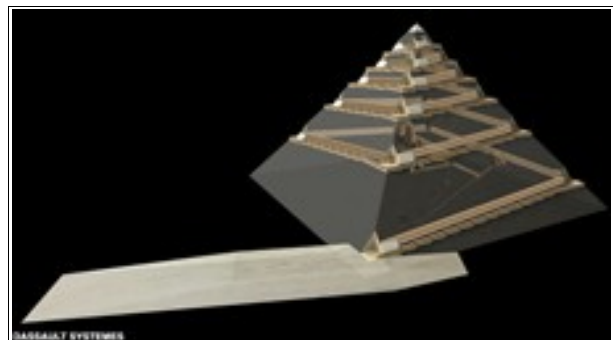
La rampe en spirale (c) Dassault Systèmes

Mais une fois de plus, des soucis d'ordre technique se dévoilent : comment amorcer les virages ? De plus la rampe de brique se révèle trop faible pour supporter des halages de blocs successifs, les arrêtes d'angles de cette supposée rampe étant affaiblis selon le principe de la résistance des matériaux : les effondrements auraient été réguliers. Il est également impossible de contrôler la parfaite inclinaison des angles. Enfin, comment aurait-elle pu être accrochée sur une pyramide lisse ? Il est fort peu probable que les Egyptiens aient pris de tels risques.

Cette théorie non plus ne peut être concevable.

ALORS ?

Aucune de ces hypothèses ne tient la route. Vraiment ? Pas tout à fait. En vérité, elles ont bien été réalisées, mais pas de la manière dont elles ont été exposées précédemment. D'ailleurs, la technique imaginée par Jean-Pierre Houdin en reprend les concepts avec une ingéniosité certaine.



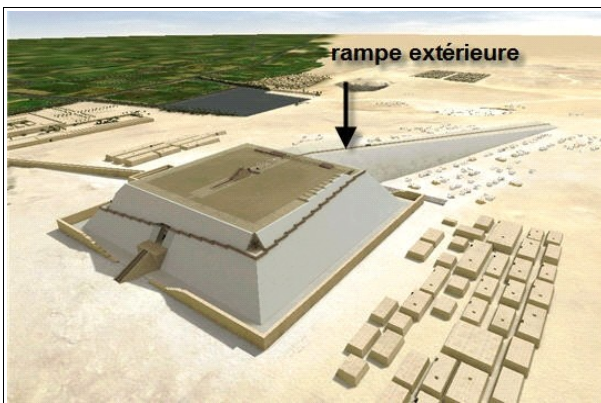
La théorie de Jean-Pierre Houdin (c) Dassault Systèmes

• II/ Une théorie révolutionnaire : Kheops Révélé !

Voici les résultats obtenus par Jean-Pierre Houdin et l'équipe de *Dassault Systèmes*. L'argumentation est appuyée par des images 3D d'un réalisme véritablement convaincant. Remontons le temps de 45 siècles pour voir de nouveau surgir le plus grand chantier de construction de tous les temps.

LES DEBUTS DU CHANTIER : LA RAMPE EXTERIEURE (1^{ère} à 15^{ème} année)

La construction a inévitablement commencé par l'approvisionnement du chantier à l'aide d'une rampe extérieure, créée à partir de blocs débités dans la carrière de calcaire de Gizeh, au sud du chantier. Elle est réalisée dès le début au maximum de sa longueur, c'est à dire 500 mètres, et sa pente avoisine les 8%. Celle rampe se révèle fonctionnelle jusqu'à 43 mètres, soit jusqu'à la 50^{ème} assise. Au delà, elle deviendrait trop pentue pour continuer à alimenter les niveaux supérieurs.

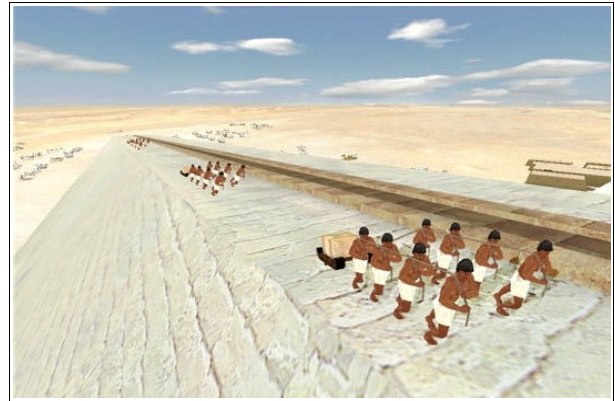


La rampe extérieure (c) Dassault Systèmes

Cette rampe frontale est à double voie : l'une sert à monter les blocs pendant que l'autre est réhaussée afin de ne pas immobiliser le chantier, et ainsi de suite au fur et à mesure de l'élévation de la pyramide. Elle possède en outre une chaussée centrale maçonnée pour le halage des gros blocs de granit qui serviront plus tard à la construction de la chambre du roi. La rampe extérieure permet de réaliser près de 70% du volume de la pyramide.

Dans le même temps, une seconde rampe, intérieure cette fois, est édifiée. Son entrée se trouve sur l'arête sud-est à 7 mètres de hauteur, correspondant à la 6^{ème} assise. Mais elle n'entrera en action qu'après la fin de construction de la chambre du roi. Nous

y reviendrons plus tard.



La rampe extérieure, détail (c) Dassault Systèmes

LA CREATION DES ASSISES

Il semble certain que les blocs de parement n'aient pas été biseautés après la pose du pyramidion comme on a tendance à le croire, mais avaient déjà été surfacés. Il semble même qu'ils furent posés en premier, assise par assise, permettant par la même occasion de contrôler l'inclinaison parfaite des angles. Derrière ces blocs de calcaire blanc de Tourah, les Egyptiens ont directement placé des blocs de calcaire de Gizeh bien taillé. Le reste de la pyramide est constitué de pierres plus ou moins bien dégrossies, réduisant ainsi le temps de construction de l'édifice¹.

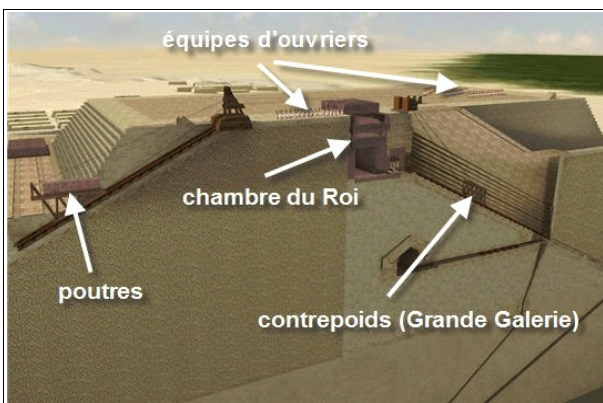


La pose des blocs de parement (c) Dassault Systèmes

1 La construction aurait duré 20 ans selon Hérodote.

LA GRANDE GALERIE : UN MONTE CHARGE (15^{ème} année)

La Grande Galerie, gigantesque couloir menant à la chambre du roi, paraît n'avoir aucune signification particulière ; elle est même unique puisqu'on n'en trouve aucun équivalent dans aucune des pyramides découvertes jusqu'à présent. Pourquoi donc un tel gigantisme ? Selon Jean-Pierre Houdin, elle est un des éléments d'un formidable dispositif de levage : la Grande Galerie sert en réalité à accueillir un énorme contrepoids composé de 3 blocs de granit, lesquels reposent dans un chariot en bois à glissière. Mais dans quel but ? Celui d'apporter les massifs blocs de granit de 60 tonnes formant le complexe de la chambre du roi ! Le principe de fonctionnement est un peu compliqué, mais après analyses et simulations virtuelles, il s'avère complètement opérationnel.

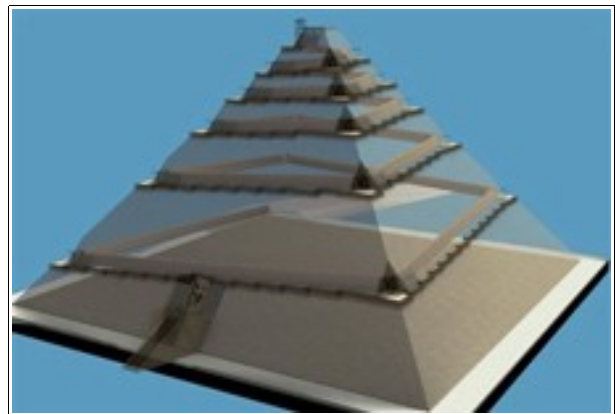


Le système de contrepoids (c) Dassault Systèmes

Pour résumé, les énormes monolithes de granit sont amenés sur la chaussée centrale maçonnée de la rampe externe. Tour à tour, les blocs sont raccordés au contrepoids armé dans la Grande Galerie. Ce dernier glisse alors suivant un angle de $26,2^\circ$ sur une distance de 48 mètres. Le système doit donc être régulièrement réarmé pour qu'enfin les blocs se retrouvent au niveau 43 mètres où ils sont stockés temporairement. Parallèlement, durant son édification, la chambre du roi se retrouve englobée par une structure maçonnée, une sorte de pyramide sur la pyramide, ouverte sur sa partie sud pour accueillir une rampe de même inclinaison que la Grande Galerie et dans son prolongement. Elle permettra de monter les blocs constituant les cinq plafonds de la chambre du roi : les chambres de décharge.

L'USAGE DE LA RAMPE INTERIEURE (15^{ème} à 20^{ème} année)

Une fois la chambre du roi et le deuxième degré de la pyramide achevés, la rampe intérieure devient pleinement opérationnelle. Comme la rampe extérieure n'a plus de rôle à jouer, on commence à la démonter et à retailler ses blocs. Ce sont eux qui emprunteront la rampe intérieure pour construire les niveaux supérieurs de la pyramide. Rien ne se perd, tout est réutilisé. La rampe intérieure s'enroule littéralement autour et dans la maçonnerie de la pyramide. Elle est constituée de 21 volées ou galeries parallèles aux côtés de la pyramide et qui, si elles étaient mises bout à bout, se développeraient sur plus de 1600 mètres. La rampe s'élève en pente douce d'environ 7%.



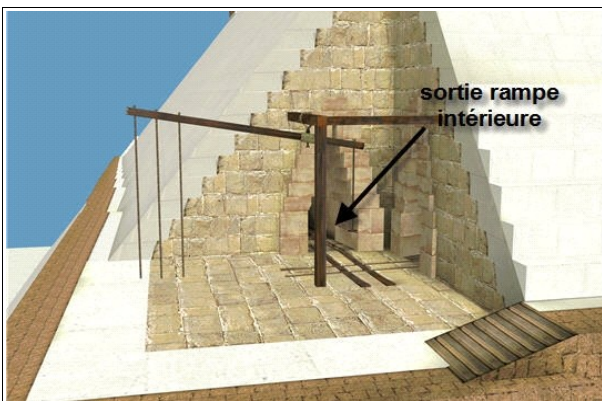
Aspect de la rampe interne (c) Dassault Systèmes

Elle présente les mêmes caractéristiques que la Grande Galerie, à savoir une structure en encorbellement² afin de mieux supporter les masses extrêmes qui s'appuient sur elle. Elle est à quart tournant car chaque volée débouche sur une plateforme en encoche, ouverte sur une arête de la pyramide et où perpendiculairement débute un nouveau tronçon de la rampe interne qui lui-même débouche sur une encoche et ainsi de suite jusqu'au niveau 130 mètres. Jean-Pierre Houdin imagine un système de guidage des traineaux de halage par l'intermédiaire de sillons creusés à même le sol. Cependant, une question se pose : de quelle manière pouvait se faire la rotation des blocs une fois que l'on arrivait en bout de volée ?

² Construction en saillie du plan vertical d'un mur, soutenue par des consoles, des corbeaux ou un segment de voûte.

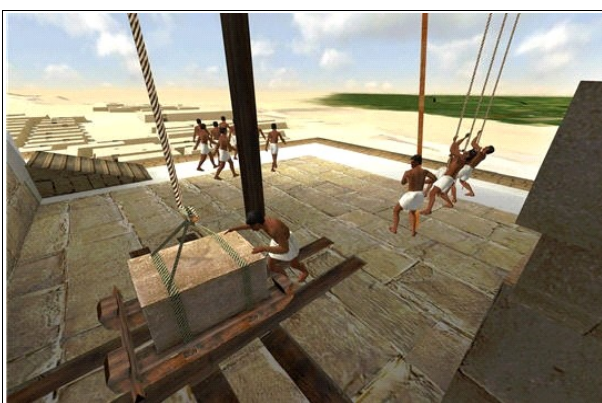
LES MACHINES

C'est la raison même de l'existence des encoches. Jean-Pierre Houdin reprend l'évocation d'Hérodote quant à l'usage de machines en bois. Il imagine en effet qu'à chaque encoche se trouve une machine de levage destinée à la rotation des traineaux sur lesquels reposent les blocs de pierre qui servent à alimenter les assises en cours de construction dans les niveaux supérieurs. Des ouvriers en charge de cette action attachent le traineau à la machine, soulevent un palan, orientent les patins du traineau dans les sillons de la volée suivante, le reposent et les équipes de traction reprennent leur service et ainsi de suite. Plusieurs équipes de traction sont associées à une volée et une seule.



Le système de rotation des blocs (c) Dassault Systèmes

Une fois qu'ils ont monté un bloc à l'encoche supérieure, ils redescendent non pas par la volée qu'ils viennent d'emprunter, sous peine de gêner le passage d'une autre équipe dévouée à ce même tronçon, mais par une coursive extérieure et parallèle à la rampe intérieure, qui repose sur des blocs de parement non biseautés. Cela permet aussi aux équipes de halage de se reposer un peu.



La rotation d'un bloc (c) Dassault Systèmes

LA POSE DU PYRAMIDION

Nous l'avons vu, la rampe interne n'est utilisée qu'au niveau 130 mètres, soit jusqu'à la 188^{ème} assise. Pourtant, la pyramide s'élève à 146 mètres de hauteur. Comment ont été bâties les assises restantes ? Par une sorte de tour de levage. Parfaitement réalisable puisqu'à partir de cette hauteur, les blocs se révèlent beaucoup plus petits. Mais, pour le pyramidion ? Il est bien trop large pour passer par la rampe intérieure. Alors ? Alors, il a toujours été sur le chantier, dès les débuts. Suspendu à une machine spéciale, peut-être une sorte de chèvre espagnole, il a été élevé assise par assise jusqu'à sa place définitive, au sommet de l'édifice.



Derniers travaux (c) Dassault Systèmes

LA PYRAMIDE ACHEVEE (21^{ème} année)

Une fois Le pyramidion posé, les encoches sont rebouchées, la coursive de circulation extérieure est démantelée, les blocs sur lesquels elle reposait sont lissés. La pyramide est achevée après 21 ans de construction. Kheops y sera inhumé 2 ans plus tard...



La pyramide achevée (c) Dassault Systèmes

• III/ Des preuves sans équivoque

La théorie est alléchante, mais Jean-Pierre Houdin peut-il justifier ses propos ? Existe-t-il des preuves concrètes de ce qu'il affirme ?

LA POSE DES BLOCS DE PAREMENT

Jean-Pierre Houdin suppose que les blocs de parement en calcaire de Tourah ont été posés en premier lors de la construction de chaque assise. Cela permettait ainsi un contrôle systématique de la forme de la pyramide et de son inclinaison angulaire. Il était manifestement plus aisé aux ouvriers de déblayer les blocs de parement depuis la carrière plutôt que lors de leur mise en place sur la pyramide. Le calcaire de Tourah est spécifique en ce sens qu'il est tendre à son extraction et a tendance à durcir au contact de l'air libre. Les Egyptiens n'ayant utilisé que des outils de cuivre, métal très malléable, l'hypothèse se retrouve renforcée. Ce procédé rendait plus facile le transport des blocs jusqu'à leur emplacement, puisqu'ils se débarrassaient d'un poids superflu.

Cette technique semble d'ailleurs avoir été utilisée lors de l'édification de la pyramide rhomboïdale du pharaon Snéfrou, père de Kheops, située à Dahchour¹.



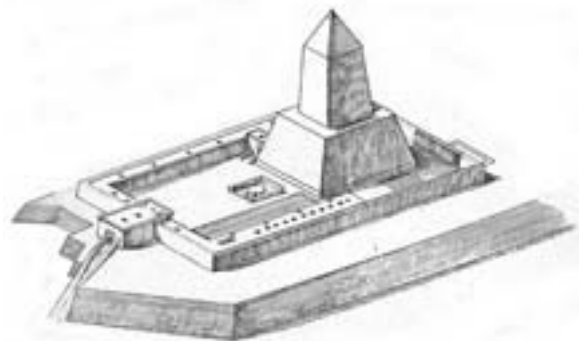
*Parement de la pyramide rhomboïdale
– image Wikimedia Commons*

¹ A une quinzaine de kilomètres de Saqqarah. Snéfrou s'y est fait bâtir deux pyramides : la rhomboïdale, caractérisée par sa forme originale à double pente, et la pyramide rouge.

Jean-Pierre Houdin a remarqué que si les blocs de parement de la rhomboïdale avaient été installés à la fin du chantier, alors ils devraient être parfaits. Or, on s'aperçoit que des éclats ont été réparés un peu partout, preuve qu'ils furent installés au début et qu'ils ont été endommagés durant leur transport et durant la construction des assises supérieures. Enfin, l'architecte français a également constaté que les blocs de parement de cette pyramide ont plus de 2 mètres de profondeur, soit presque le double des blocs situés derrière ; ils ne pouvaient donc être mis en place qu'avant le remplissage des assises. Le même principe a ensuite été appliqué à la pyramide de Kheops quelques années plus tard.

LA PRESENCE DE LA RAMPE INTERIEURE

La rampe intérieure est le cœur de la théorie de Jean-Pierre Houdin. Cependant, les Egyptiens de l'époque étaient-ils en mesure de concevoir un tel couloir ? Il semblerait bien que oui. Une telle preuve existe, à quelques kilomètres de Gizeh, à Abou Ghorab². Même s'il est aujourd'hui très abîmé, le temple solaire de Niousserê, pharaon de la V^{ème} dynastie présente la caractéristique d'avoir été bâti grâce à une rampe intérieure, dont le modèle se rapproche de celle pensée par Jean-Pierre Houdin.



*Le temple solaire de Niousserê, d'après Borchardt
– image Wikimedia Commons*

² A vingt-cinq kilomètres et au sud-ouest du Caire.

Il est difficile de s'en rendre compte aujourd'hui, tant l'édifice est ruiné, mais certaines traces en attestent la véracité. Un dessin de ce temple réalisé par Borchardt au XIX^{ème} siècle représente une structure en colimaçon qui permettait d'accéder à la terrasse dudit temple. Après une étude plus méticuleuse, il s'avère que la rampe était à l'origine beaucoup plus large et fut ensuite modifiée en couloir en encorbellement.

Les Egyptiens étaient donc en mesure d'édifier des rampes intérieures. Mais l'avaient-ils fait pour bâtir la pyramide de Kheops ? En 1986, une campagne de mesures micro-gravimétriques, sous l'égide d'EDF, avait pour mission de déterminer des variations de masse et de densité pour localiser des zones de sous-densité, c'est à dire des vides. Cette campagne scientifique cherchait à déceler une hypothétique chambre secrète près de la chambre de la reine. Les résultats furent décevants, mais l'interprétation des données révéla un manque de 15% de la masse totale de la pyramide, visible sur l'image produite à l'époque. Ci-dessous, l'image en question : les zones de sous-densité sont en blanc et vert, traduisant la présence de vides.



Zones de sous-densité (c) Dassault Systèmes

Cette découverte renforce la théorie de Jean-Pierre Houdin, qui y voit la présence de la rampe intérieure en colimaçon. C'est ce que pense également Huy Dong Bui, directeur de recherche à l'Institut Polytechnique et membre de l'Académie des Sciences, qui d'ailleurs était en charge à l'époque de l'analyse des mesures microgravimétriques. Pour finir, Jean-Pierre Houdin fait noter que des bandes claires, parallèles, sont visibles sur les faces de la pyramide. Un indice de plus sur la présence de la rampe intérieure ?



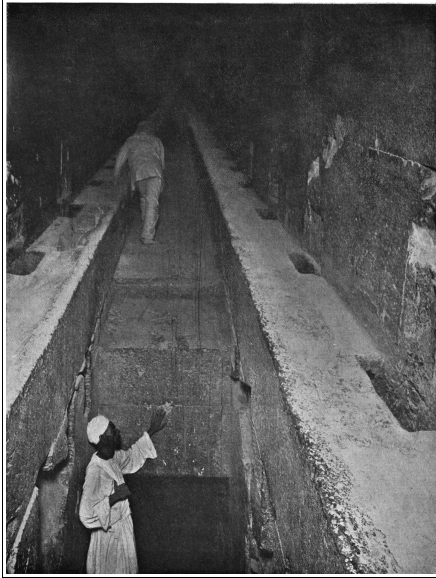
Bandes claires : la rampe ? (c) Dassault Systèmes

LE SYSTEME DE LA GRANDE GALERIE

Selon Jean-Pierre Houdin, la Grande Galerie, vaste couloir en encorbellement, haute de 8 mètres et longue de 48 mètres, a été édifiée pour permettre la réalisation de la chambre du roi, située à 43 mètres au-dessus de la base de la pyramide. Il aurait en effet fallu une quantité incroyable d'hommes pour pouvoir monter les immenses et massifs blocs de granit constituant cette chambre, ainsi que pour mettre en place les éléments des cinq plafond successifs de granit de cette chambre, nécessaire pour dévier les forces de la chambre du roi et de la Grande Galerie. Cette dernière aurait donc joué le rôle d'un gigantesque système de contrepoids. Voici son principe de fonctionnement : des rondins de bois reposaient sur les banquettes qui courent le long de la Grande Galerie. Les mortaises³ de ces banquettes sont aussi une énigme, sauf pour Jean-Pierre Houdin qui suppose qu'on y insérait des poutres pour maintenir les rondins en place. Sur ces rondins reposait un énorme chariot à contrepoids. Cette hypothèse semble confirmée par la présence de traces brunâtres et de rayures sur la partie verticale supérieure des banquettes ; ces rayures ont pu être créées par le coulisement systématique du chariot le long de la galerie et les traces brunâtres seraient des marques de graisse. Jean-Pierre Houdin fait remarquer que ces rayures sont exactement parallèles aux banquettes. Et si l'on observe le 3^{ème} encorbellement, on peut constater des traces de burins tout le long. Il postule qu'y étaient insérés des glissières en bois où s'appuyait le

³ Cavités pratiqués dans une pièce pour recevoir le tenon d'une autre pièce. On en compte 28 paires, 14 dans chaque banquette.

chariot, glissières qui furent par la suite récupérées en raison de la forte valeur du bois à l'époque.



La Grande Galerie au début du Xxème siècle.
- image Wikimedia Commons

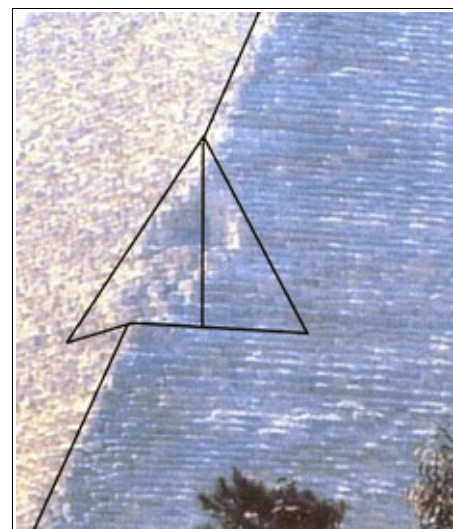
LES FISSURES DES BLOCS DE GRANIT

On s'est toujours demandé comment les blocs de granit formant les chambres de décharge de la chambre du roi ont pu se fissurer. L'équipe de *Dassault Systèmes* a réussi à l'expliquer. On a supposé que cet accident a eu lieu durant les travaux de construction de la chambre. Il n'en est rien. L'incident s'est produit bien après, lors de l'édification des niveaux supérieurs. Le scénario semble s'être déroulé ainsi : la rampe frontale, située sur la façade sud de la pyramide, a été démantelée pour édifier les assises supérieures. Après avoir installé plus de 80 mètres de pierre au-dessus de la chambre du roi, les poutres craquent. Les simulations 3D ont montré que cela a été dû à un affaissement de 3 cm du mur sud de la chambre du roi. Pourquoi ? Parce que la force exercée autrefois par la rampe externe sur la face sud de la pyramide se répercutait sur la chambre du roi. Lors du démontage de la rampe, la force exercée s'est amenuisée, d'où un affaissement du mur sud. CQFD !

LES ENCOCHES SONT-ELLES LÀ ?

Dévoilée dans le numéro de janvier

2009 du magazine *Sciences et Avenir*, l'étude d'une mystérieuse encoche, visible aux 2/3 de la pyramide, plus précisément sur l'arête nord-est à 80 mètres de haut et qui correspond à la 9^{ème} encoche du modèle théorique de Jean-Pierre Houdin. Bien qu'elle soit très ancienne, elle n'a paradoxalement jamais été mentionnée⁴. En avril 2008, l'égyptologue américain Bob Brier a pu obtenir une autorisation spéciale pour y grimper, lors du tournage d'un documentaire télévisé. Il s'est retrouvé sur une plateforme carrée de 4,5 mètres de côté. On est en droit de supposer que les carriers du Moyen-Age qui ont arraché les blocs de parement ont aussi retiré des blocs au niveau de l'encoche. Or, le sol y est plat et les murs sont verticaux et à angle droit. Les carriers n'avaient aucune raison de ravalier aussi bien cet endroit. Dans la paroi verticale ouest, une fente haute de 70 centimètres et large de 35 centimètres laisse deviner une cavité. Bob Brier s'est retrouvé dans une pièce d'environ 3 mètres sur 3 mètres et de 2,20 mètres de haut, où le sol est parfaitement plat. Jean-Pierre Houdin ajoute que cette pièce ne peut être un trou de voleurs : comment auraient-ils pu faire sortir les blocs par cette ouverture peu espacée ? Cette cavité est d'origine. Après simulation 3D, il s'avère que cette cavité colle parfaitement avec la rampe interne. Jean-Pierre Houdin aimerait l'étudier à l'aide d'une caméra thermique. Mais il lui faut l'autorisation du patron des Antiquités Egyptiennes, Zahi Hawass, qui n'a pas encore donné sa permission.



L'encoche (c) Dassault Systèmes

4 Il n'existe qu'une unique mention de cette cavité, dans *Journal of a Route across India and through Egypt to England in 1817-18*, par le Lieutenant-Colonel George A. F. Fitzdarence et publié en 1819.

• Pour en savoir plus...

Si vous avez été convaincus par les travaux de Jean-Pierre Houdin et que vous voulez poursuivre cette aventure, voici quelques orientations disponibles :

Kheops Révélé : le site officiel



Ce site est une véritable mine d'informations concernant la théorie de la rampe intérieure.

Il est possible de consulter un dossier détaillé, d'observer les indices qui attestent de la véracité des recherches, et de s'abonner aux prochains épisodes de l'aventure pour suivre son déroulement. Côté multimédia, le site possède deux animations 3D : la bande annonce et la théorie elle-même, commentée par un avatar à l'image de Jean-Pierre Houdin. Enfin, petit bonus : les musiques des vidéos sont téléchargeables gratuitement.

<http://khufu.3ds.com/introduction/fr/>

Immersion totale à La Géode

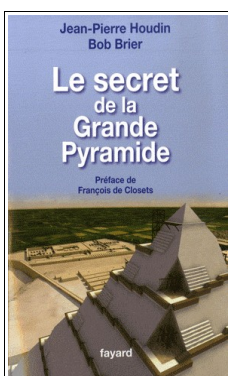


Pour l'occasion, La Géode fait preuve neuve en s'offrant une "pharaonique" salle de réalité virtuelle. Un écran de 25 mètres de large pour une surface de 400m² permet aux spectateurs de se retrouver sur le chantier de construction de la Grande Pyramide. Véritable odyssée immersive, l'animation 3D, pilotée en temps réel par 7 ordinateurs, est présentée une fois par mois par Jean-Pierre Houdin en personne.

Le site de La Géode met à disposition un dossier de presse ainsi qu'un espace de réservation en ligne.

<http://www.lageode.fr/kHEOPS.html>

La genèse de l'aventure Kheops

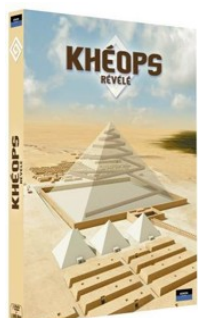


Cet ouvrage fort détaillé raconte les prémices de l'aventure ainsi que son déroulement. Bob Brier l'a alimenté de riches explications et de nombreuses illustrations. Retraçant l'épopée de -2850 avant J.-C. à nos jours, la pyramide de Kheops n'aura plus aucun secret pour vous.

Ce livre passionnant est à mettre en toutes les mains.

Le secret de la Grande Pyramide

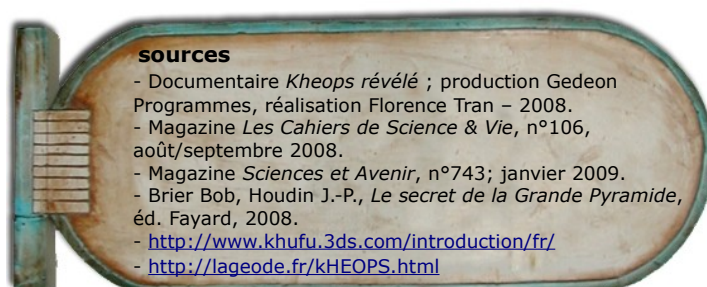
Jean-Pierre Houdin – Bob Brier
Préface de François de Closets
Editions Fayard – octobre 2008
252 pages
ISBN : 978-2-213-63671-9



PROCHAINEMENT...

Jean-Pierre Houdin annonce la sortie prochaine d'un coffret DVD contenant le documentaire de Gedeon Programmes consacré à *Kheops Révélé* et un DVD-Rom des animations 3D de La Géode livré avec lunettes 3D relief.

SORTIE LE 7 AVRIL 2009



sources

- Documentaire *Kheops révélé* ; production Gedeon Programmes, réalisation Florence Tran – 2008.
- Magazine *Les Cahiers de Science & Vie*, n°106, août/septembre 2008.
- Magazine *Sciences et Avenir*, n°743; janvier 2009.
- Brier Bob, Houdin J.-P., *Le secret de la Grande Pyramide*, éd. Fayard, 2008.
- <http://www.khufu.3ds.com/introduction/fr/>
- <http://lageode.fr/kHEOPS.html>

LE COIN

DES ADHÉRENTS

• Transfert du siège social

Le siège social de l'association ArchéoPortail a bien été transféré au 11 rue de Panama, appartement 20, 27000 Evreux. Rappelons en effet que l'adresse postale d'ArchéoPortail est rattachée à celle du président de l'association. Néanmoins, cela ne change en rien notre principe de fonctionnement.

• Expiration des adhésions de la première session 2008

Les membres ayant adhéré entre janvier et juin 2008 (première session 2008) ont vu leur attestation expirée. Des courriers postaux ont été envoyés aux personnes concernées afin de renouveler ou non leur soutien à ArchéoPortail. Les membres ayant adhéré entre juillet et décembre 2008 (deuxième session 2008) seront également avisés de l'expiration de leur attestation au mois de juin 2009.

• Acquisition de matériel

L'association s'est dotée d'un caméscope numérique au mois de janvier 2009. Ce matériel permettra de continuer, avec plus d'efficacité, notre collecte de témoignages filmés de rescapés des camps de la Seconde Guerre Mondiale. Nous envisageons également de l'utiliser dans le cadre de documentaires futurs à définir, lesquels seront mis à disposition des publics intéressés.

▪ *FRÉDÉRIK ANQUETIL*

L'ANNUAIRE

• adhérents individuels (25)

membre : Virginie Allard
statut : correspondante locale
courriel : virg.allard@yahoo.fr
ville : Evreux (27)
profession : *Master 2 Patrimoine, Sorbonne / Ecole du Louvre / attachée de conservation du patrimoine, musée des instruments à vent, la Couture-Boussey.*

membre : Frédérick Anquetil
statut : président ; infographiste ; correspondant local
courriel : frederick_anquetil@yahoo.fr
ville : Evreux (27)
profession : *Master 2 Patrimoine et nouvelles technologies / assistant d'éducation / guide vacataire Maison Pierre Loti, Rochefort.*

membre : Gaëlle Artu
statut : infographiste ; correspondante locale
courriel : gaelle.artu@wanadoo.fr
ville : Tonnay-Charente (17)
profession : *Maîtrise Histoire contemporaine, sociale et culturelle / D.U. d'archéologie et Histoire de l'art / D.I.U. Tourisme et développement du patrimoine local / assistante d'éducation.*

membre : Christian Ayrault
statut : non actif
courriel : christian.ayrault@free.fr
ville : Colombiers Rochelle (17)
profession : artiste peintre / sculpteur / infographiste.

membre : Clémence Ayrault
statut : trésorière ; infographiste ; correspondante locale
courriel : clemence.ayrault@voila.fr
ville : La Rochelle (17)
profession : *Master 2 Patrimoine et nouvelles technologies / agent immobilier.*

membre : Marie-Laure Billodeau
statut : correspondante locale
courriel : marie_billodeau@yahoo.fr
ville : Matha (17)
profession : agent d'accueil office de tourisme pays de Matha.

membre : Michel Billodeau
statut : non actif
courriel : aucun
ville : Fontaine-Chalendray (17)
profession : agriculteur céréalier en retraite.

membre : Denis Briand
statut : correspondant local
courriel : expressionhist@gmail.com
ville : Angoulins (17)
profession : président fondateur de l'association Expression-Hist.

membre : Anne Chapelet
statut : infographiste ; correspondante locale
courriel : anne.chapelet@laposte.net
ville : Ozillac (17)
profession : réceptionniste.

membre : Audrey Charrier (Boucard)
statut : correspondante locale
courriel : audrey_boucard@yahoo.fr
ville : Saintes (17)
profession : professeure des écoles.

membre : Jean-Michel Charrier
statut : correspondant local
courriel : jenmiandco@hotmail.fr
ville : Saintes (17)
profession : professeur des écoles.

membre : Emmanuelle Collado
statut : infographiste
courriel : emmacollado@free.fr
ville : Villenave d'Ornon (33)
profession : *Master 2 Patrimoine et nouvelles technologies / technicienne de fouilles et dessinatrice (DAO) INRAP GSO, Bordeaux / chargée de TD en CAO et DAO, Université de Poitiers.*

membre : Laurie Coppin
statut : correspondante locale
courriel : coppinlaurie@yahoo.fr
ville : Paris (75)
profession : *Maîtrise d'Histoire / DIU Patrimoine et développement local / archiviste - documentaliste.*

membre : Georges Durand
statut : non actif
courriel : durand.g@free.fr
ville : Lagord (17)
profession : prospecteur amateur auprès de la DRAC Poitou-Charentes.

membre : Julie Gaborit
statut : correspondante locale
courriel : julie.gaborit@orange.fr
ville : Angliers (17)
profession : enseignante.

membre : Thomas Gaudin
statut : infographiste ; correspondant local
courriel : thomasgaudin2@yahoo.fr
ville : La Rochelle (17)
profession : archéologue.

membre : Alexis Grolaud
statut : non actif
courriel : alexis_grolaud@yahoo.fr
ville : Paris (75)
profession : *Master 2 informatique / ingénieur informatique.*

membre : Julien Lagarde
 statut : secrétaire ; infographiste ; correspondant local
 courriel : lagardejulien@hotmail.com
 ville : Soubise (17)
 profession : *Master 2 Patrimoine et nouvelles technologies / commercial.*

membre : Emilie Lefebvre
 statut : non actif
 courriel : micraspalax@yahoo.fr
 ville : Hyères (83)
 profession : *Master 2 Histoire ancienne / Master 2 Patrimoine et nouvelles technologies.*

membre : Régis Levrault
 statut : non actif
 courriel : mammouth25@hotmail.com
 ville : Ramonville St Agne (31)
 profession : *BTS informatique de gestion / technicien informatique CNRS, Toulouse.*

membre : Anne Nadeau-Dupont
 statut : correspondante locale
 courriel : anadupont@orange.fr
 ville : Escalquens (31)
 profession : *Master 2 Patrimoine et nouvelles technologies / assistante d'édition électronique, INHA.*

membre : Marina Pellerin
 statut : correspondante locale
 courriel : pellerinmar@yahoo.fr
 ville : Rochefort (17)
 profession : *Histoire de l'art / archiviste adjointe, Hôtel de ville de Rochefort.*

membre : Anne Renard-Ayrault
 statut : correspondante locale
 courriel : annick.ayrault@free.fr
 ville : Colombiers (17)
 profession : *documentariste / écrivaine.*

membre : Arel Tallon
 statut : infographiste ; correspondant local
 courriel : arel.tallon@laposte.net
 ville : Ozillac (17)
 profession : *technicien informatique.*

membre : Jean-Guy Vigier
 statut : non actif
 courriel : aucun
 ville : Pouffonds (79)
 profession : *exploitant apiculteur.*

• adhérent professionnel (01)

membre : Service du Patrimoine de Rochefort
 responsable : Florence Dubois
 courriel : patrimoine@ville-rochefort.fr
 adresse : BP 60030 – 17301 Rochefort Cedex
 téléphone : 05.46.82.91.74 (secrétariat).



www.archeoportail.weebly.com

archeoportail@online.fr

ArchéoPortail

11 rue de Panama apt.20
27000 EVREUX

Président

Frédéric Anquetil

Trésorière

Clémence Ayrault

Secrétaire

Frédéric Anquetil

Comité de rédaction

Frédéric Anquetil
Clémence Ayrault

Rédacteur en chef

Frédéric Anquetil

Conception graphique

Frédéric Anquetil

Graphisme couverture

Frédéric Anquetil

Ont collaboré à ce numéro

Frédéric Anquetil
Clémence Ayrault

association W172002331