



HAL
open science

Khéops renaissance. Évolutions et nouvelles découvertes sur le chantier de la pyramide de Khéops

Jean-Olivier Gransard-Desmond

► **To cite this version:**

Jean-Olivier Gransard-Desmond. Khéops renaissance. Évolutions et nouvelles découvertes sur le chantier de la pyramide de Khéops. *Arkéolog*, 2011, 29, pp.13-19. hal-04258791

HAL Id: hal-04258791

<https://hal.science/hal-04258791>

Submitted on 2 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

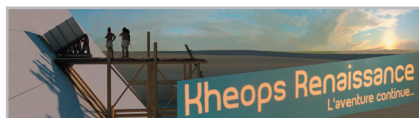
Khéops

évolutions et nouvelles découvertes

Compte rendu sur la conférence de presse

Khéops Renaissance

Évolutions et nouvelles découvertes sur le chantier de la pyramide de Khéops



La conférence de presse du 21 Janvier 2011 à laquelle ArkéoTopia a assisté fut l'occasion d'un rappel de l'aventure de Jean-Pierre Houdin par Mehdi Tayoubi (Directeur stratégie interactive et expérientielle chez Dassault Systèmes) suivi par Richard Breitner (ingénieur, responsable du programme « Passion for Innovation » chez Dassault Systèmes). Après les deux « mystères » de la pyramide de Khéops (la construction d'un énorme volume de pierre sur 146 m en un minimum de temps et la construction d'une chambre à plafond plat à 43 m de haut au cœur de l'édifice protégée par des poutres de plusieurs dizaines de tonnes), ils introduisirent un troisième « mystère », celui des funérailles de Khéops. C'est ainsi que, sous la conduite du 3DJ¹ Fabien Barati, Jean-Pierre Houdin a poursuivi l'historique tout en commençant à présenter les nouveautés découlant pour partie de ce troisième « mystère ».

Retour sur le début de l'aventure

Avant d'évoquer les évolutions et les nouvelles découvertes, rappelons les épisodes clefs de l'aventure de Jean-Pierre Houdin ainsi que les conditions qui en ont permis l'émergence.

Le 2 Janvier 1999, son père Henri Houdin regarde une émission de



Jean-Pierre Houdin
et son père Henri au travail.

télévision présentée par François de Closets consacrée à la construction de la pyramide de Khéops construite aux environs de 2547 av. J.-C. L'ingénieur confronte les théories avancées à l'époque à son oeil d'expert en construction pour établir ce qu'une large partie de la communauté scientifique sait déjà sans le dire vraiment : ces théories ne tiennent pas. C'est alors qu'il a ce déclic : les pyramides ont probablement été construites de l'intérieur ! Il fait appel à son fils Jean-Pierre, architecte DPLG rôdé à la 3D, pour l'épauler dans ses recherches. Le fils se prend au jeu. Ils commencent alors à travailler tous les deux.

Tout en collationnant le plus d'informations possible, c'est dans le courant de l'année 2000 que le duo rencontre des membres d'une équipe ayant effectué des sondages par microgravimétrie dans la pyramide de Khéops en 1986, sous l'égide de la Fondation EDF. Jean-Pierre et Henri Houdin découvrent sur les plans qui leur sont présentés une anomalie dans la construction qu'aucune des hypothèses ne peut expliquer. Cette anomalie, baptisée « construction en spirale », correspond parfaitement à l'allure d'une rampe construite à l'intérieur de la pyramide et qui aurait servi en partie à son édification.

Se transformant en archéologue en rassemblant la documentation existante sur le sujet afin de travailler sur les meilleures bases qui soient, le fils se constitue également un réseau de professionnels et d'amateurs travaillant sur des domaines permettant au duo d'approfondir leurs connaissances de la grande pyramide. Ce n'est qu'en 2005 que ce qui peut être qualifié de recherche scientifique va prendre une ampleur inattendue grâce au programme de mécénat technique « Passion for

Innovation » de Dassault Systèmes. Ce programme dirigé par Richard Breitner est destiné à accueillir des projets originaux pouvant être réalisés à l'aide des solutions de la compagnie. Dassault Systèmes dispose d'outils 3D permettant de concevoir et simuler en trois dimensions des projets industriels permettant autant la conception d'un avion géant ou d'un immeuble futuriste que celle d'une simple voiture. Pendant près de deux ans, une équipe pluridisciplinaire d'une quinzaine de personnes (ingénieurs, créatifs, développeurs) va accompagner le fils dans cette aventure.

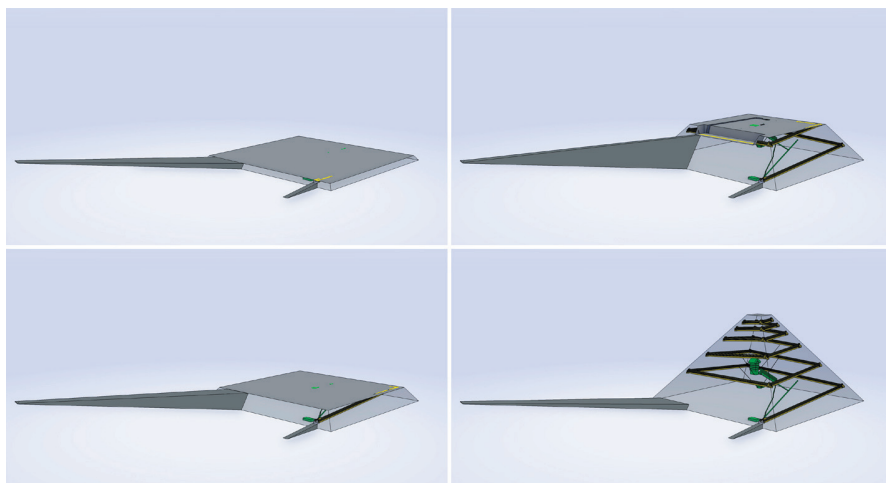
Dans un premier temps, il s'agit de modéliser la pyramide à partir des informations recueillies par le duo, notamment les caractéristiques géométriques (forme, dimensions²) et physiques (densité des matériaux, élasticité, résistance, frottements, etc.). À partir de ces éléments, une sorte de « jumelle électronique », issue des connaissances établies à cette époque³, servira d'étalon de référence permettant de passer à la seconde phase : simuler les procédés de construction de manière la plus réaliste possible et donc commencer à tester les hypothèses établies selon les grands principes suivants :

1. La majeure partie du volume (85%) est construite à l'aide d'une courte rampe extérieure qui permet un approvisionnement massif et rapide du chantier en matériaux. Elle n'est plus pertinente au-delà du tiers de la hauteur, sous peine de prendre des proportions déraisonnables.

2. C'est pourquoi la suite de la construction fait appel à une rampe intérieure en spirale qui court « sous la peau » de la pyramide. Construite dès la base de la pyramide, elle permet d'approvisionner le chantier jusqu'au sommet.

Khéops

évolutions et nouvelles découvertes



De la base au sommet, la construction en 4 temps forts.

3. Le choix d'un plafond plat pour la Chambre du Roi impose l'utilisation de granit, seul matériau capable de couvrir la pièce. La plus lourde poutre pèse ainsi 63 tonnes ! La seule force humaine est insuffisante pour déplacer et mettre en place de telles masses. Il fallait l'assistance d'un système de traction : un contrepoids circulant dans la Grande Galerie, celle-ci ne pouvant donc plus correspondre à la galerie qui aurait servi à inhumer le pharaon.

C'est le 30 Mars 2007 que sont présentés au public les résultats qui vont révolutionner la connaissance de la construction de cette géante de pierre. Sans détailler des résultats déjà présentés par Jean-Pierre Houdin⁴, nous indiquerons que de nombreux indices étayeront ses hypothèses au fil des ans. Outre ses déplacements en Égypte pour trouver des confirmations à ses hypothèses, l'archéologue



Résultat de la microgravimétrie avec, en jaune, la 4ème section sous la face sud et l'encoche.

amateur identifie un élément qui va grandement appuyer ses prédictions : une encoche sur l'arête Nord-Est de la pyramide. Cette encoche bien visible et bien connue déjà en 1628⁵, mais dont l'archéologie avait ignoré l'existence, va se révéler être une première confirmation ainsi que le point de départ de nouvelles découvertes. N'étant pas chercheur professionnel, Jean-Pierre Houdin n'aura pas l'autorisation de graver la pyramide pour atteindre ladite encoche qu'il considère comme un vestige de la rampe interne ayant servi à la construction. Ce sera le Professeur Bob Brier (Professeur de philosophie et d'égyptologie à l'Université de Long Island, Brookville, New York, USA) qui le suit depuis 2004 qui se chargera de cette ascension et qui ramènera vidéos, photographies et relevés qui permettront de reconstituer la « Bob's room » comme l'appelle l'équipe.

Ajoutées aux études de microgravimétrie, aux indices de frottements présents dans la Grande Galerie et à de trop nombreux autres éléments pour être mentionnés dans cet article, la solution et la validation de la solution auraient pu être considérées comme acquises. En chercheur consciencieux, Jean-Pierre Houdin ne s'arrête pas là, trop de questions restant encore sans réponses. C'est grâce à cette curiosité qu'il fera les

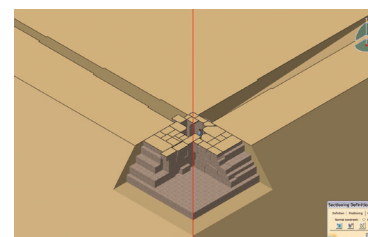
nouvelles découvertes dont il a fait état ce 27 janvier 2011 à la presse et qui seront présentées au public à la Géode les 10 Février et 8 Mars 2011 à 20 h.

Une approche évolutive

Si la solution apportait de nombreuses réponses, certains éléments posaient encore problème comme la course extérieure pour la circulation des ouvriers et cette même circulation pour les funérailles du pharaon.

Suite à la poursuite du travail à partir des informations issues de la Bob's room, la course extérieure disparaît au profit d'une rampe intérieure à deux niveaux : en bas pour la circulation des traîneaux chargés de blocs de calcaire et en haut pour le retour des équipes « à vide ». Une telle configuration est visible dans la pyramide de Meïdoum qui présente une couverture du couloir descendant par une voûte en encorbellement formant un second niveau⁶.

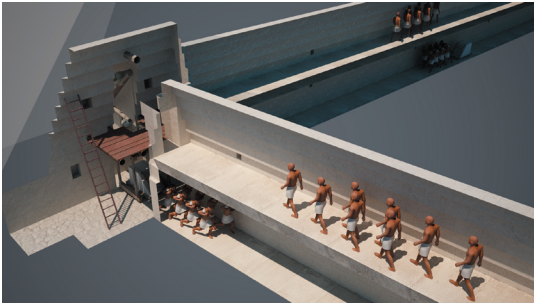
De plus, il n'y a plus de plate-forme à ciel ouvert comme en 2007. La pyramide est donc entièrement construite de l'intérieur en commençant par les faces, assise après assise, jusqu'à son sommet. Ces faces de la pyramide, d'une surface totale de plus de 84.000 m², sont définitivement réalisées au



En haut, Bob Brier sur l'encoche, devant l'entrée de la Bob's room modélisée en bas.

Khéops

évolutions et nouvelles découvertes



La coursive extérieure s'intègre maintenant à l'intérieur.

fur et à mesure de la construction, sans aucun travaux de finition supplémentaire. Une simplification remarquable et un gain de temps de plusieurs années pour le chantier lui-même.

Modification également pour la rampe extérieure qui, arrivée à la base de la Chambre du Roi, se poursuit alors par une tranchée à l'intérieur du monument jusqu'à une hauteur de 70 m, le tout avec une pente douce d'à peine plus de 8,5%.

Par rapport à la version initiale de la théorie en 2007, lors de la mise en place des plafonds, il n'y a plus d'équipe affectée au réarmement du contrepoids de la grande galerie après une traction. En effet, l'ensemble de l'équipement de la plateforme de transport des poutres est constitué de tous les éléments du contrepoids ayant circulé dans la tranchée dans l'axe de la rampe du plateau et récupérés à cet effet. À chaque fois qu'une poutre est déchargée à son niveau de mise en place, cette plateforme reprend du service en tant que contrepoids ; elle

est chargée d'une quinzaine de petits blocs de près de 3 tonnes, facilement transportables, soit suffisamment pour devenir un « contrepoids au contrepoids » et réarmer le système de la Grande Galerie.

Ainsi que nous venons de l'évoquer, une rampe et un contrepoids apparaissent sur le plateau de Gizeh. Exploitant jusqu'au bout le principe de la rampe extérieure comme « voie rapide » pour les pierres et du contrepoids en tant que « moteur », l'archéologue installe sur le plateau une rampe directe depuis le port jusqu'au pied de la rampe extérieure de la pyramide. Cette « rampe du plateau » simplifie et accélère l'approvisionnement en matériaux du chantier, particulièrement les lourds monolithes, d'autant que la force motrice pour le déplacement de ceux-ci est fournie par un système à contrepoids analogue à celui suggéré dans la Grande Galerie. Ce nouveau contrepoids circule dans une tranchée creusée directement dans le socle rocheux. Plus tard, celle-ci aura d'ailleurs une grande influence sur l'architecture de la pyramide de Khephren⁷ et sa présence est vérifiable sur place⁸. Cette rampe dessert au long de son parcours plusieurs carrières sur le plateau qui ont fourni la majeure partie des matériaux de la pyramide. Une fois ces matériaux transportés au chantier, le contrepoids de la rampe du plateau est démonté et ses éléments réutilisés sur le chantier.

C'est une des autres grandes forces de la démarche de Jean-Pierre Houdin : l'approche n'est pas figée. Cherchant à « comprendre l'architecture de la grande pyramide » selon ses propres termes, il n'hésite pas à affiner ses résultats en remettant en question les solutions proposées à la mesure des nouvelles informations acquises.

Cette démarche devrait être celle

de n'importe quel chercheur car elle est l'essence même de la méthode scientifique qui permet d'aller toujours plus loin dans la compréhension d'un phénomène comme dans celle du passé de l'être humain. C'est grâce à cette démarche que Jean-Pierre Houdin fut amené à se poser des questions autant sur l'anomalie que représentait la pyramide de Khéops en matière de pérennité de procédés architecturaux que sur la circulation des ouvriers pour sceller la Chambre du Roi comme évoqué plus haut. C'est ainsi que, dépassant la seule étude de la grande pyramide, il a porté son attention sur l'ensemble des pyramides.

Khéops renaissance

Des antichambres dans la pyramide

Aujourd'hui l'archéologue ne considère plus la pyramide de Khéops comme un monument isolé, mais il la replace dans la lignée architecturale des pyramides de la IV^e Dynastie. Depuis la première pyramide à degrés de Djoser créée par Imhotep, il voit une logique menant aux pyramides suivantes, dont celle de Khéops. Pour lui, chaque concepteur de pyramide reprenait les innovations mises en oeuvre dans la précédente et en ajoutait d'autres pour aller plus loin. On passe ainsi de la pyramide à degrés à la pyramide lisse, tandis que les chambres funéraires, d'abord creusées dans le sol, montent dans l'édifice progressivement jusqu'à celle de Khéops avec sa formidable chambre à plafond plat située au coeur du monument. Il s'agirait d'un processus d'évolution des bâtisseurs égyptiens.

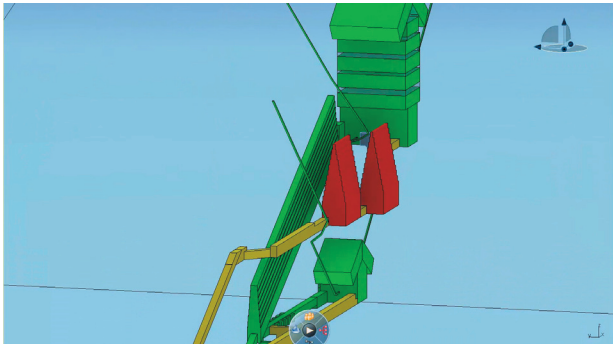
À cet égard, un certain nombre d'éléments intriguaient le chercheur. Il y avait tout d'abord le curieux décalage des couloirs de la pyramide de Khéops et de la Grande Galerie par rapport à l'axe Nord-Sud. Pourquoi un tel décalage ? Il en est de même pour la forme curieusement complexe des conduits de la Chambre du Roi et de la Chambre de la Reine. Les



L'intérieur de l'encoche, un système pour faire pivoter les blocs.

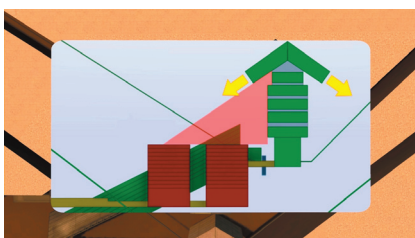
Khéops

évolutions et nouvelles découvertes



Des antichambres devant le mur Nord de la Chambre du Roi.

égyptologues ont toujours été intrigués par ces deux paires de couloirs étroits partant de la Chambre du Roi et de la Chambre de la Reine. Pourquoi ont-ils été construits ? Où mènent-ils ? Si ceux de la Chambre du Roi avaient vraisemblablement un rôle de conduits d'aération, on ne peut en dire autant de ceux de la Chambre de la Reine, ne serait-ce que parce que leur éventuel débouché en façade n'a jamais été localisé. De plus, leur géométrie intrigue : le conduit Sud est droit, alors que celui du Nord est coudé⁹. Rien ne cadre donc avec le pragmatisme dont semblent faire preuve les bâtisseurs de l'Ancien Empire. Il y avait aussi ce bloc de granit présent dans la Chambre du Roi depuis la visite du Calife Al-Mamoun, et ce jusqu'en 1998, date à laquelle il a été évacué au cours de travaux de rénovation. Il est impossible que la Chambre du Roi ait été bouchée de l'extérieur grâce à ce bloc. Compte tenu de ses dimensions, ce bloc ne pouvait être poussé que de l'intérieur. Quelle sortie auraient donc empruntée les ouvriers qui ont effectué



Des chambres de décharge pour protéger les antichambres.

cette opération ? Il y a également la disproportion entre la taille des chevrons surplombant l'entrée sur la façade de la pyramide et celle de l'entrée elle-même. Et puis surtout, il y a la pyramide Rouge, la dernière pyramide de Snefrou, le père de

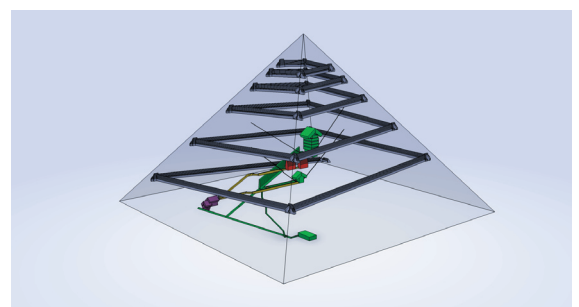
Kheops qui s'en fit construire au moins trois.

La chambre funéraire est dans l'édifice, précédée de deux antichambres. Le couloir d'accès, les antichambres et la chambre sont parfaitement dans l'axe du monument. Les antichambres servaient à entreposer le mobilier funéraire laissé au défunt. Ce plan, ces antichambres, posent à l'archéologue la question de l'héritage de Khéops. Pas d'antichambres dans sa pyramide, des couloirs étrangement décalés... ? Pourquoi cette apparente incohérence dans le plan de Khéops ? Pourquoi la technique des antichambres à voûte en encorbellement, parfaitement maîtrisée depuis longtemps, n'a-t-elle pas été reconduite ? Khéops n'aurait-il pas eu de mobilier funéraire ? Difficile à croire pour un roi qui a laissé un aussi imposant monument. Après les mystères de la construction, voici le mystère de l'héritage.

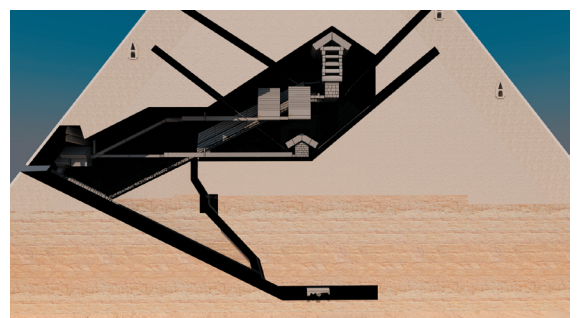
Et c'est le déclic. L'archéologue superpose le plan des deux pyramides. Il remonte le couloir de la Rouge et les antichambres de manière à ce que celles-ci deviennent celles de la chambre de Khéops. La superposition est parfaite. Mieux, elle explique maintenant le fameux décalage des couloirs descendant et ascendant et

de la Grande Galerie ainsi que la forme étrange des conduits des chambres funéraires, forme qui leur permet d'éviter le nouvel ensemble, et la raison de la succession des chambres de décharge¹⁰. Cependant, si les ouvriers n'étaient plus emmurés vivants dans la Grande Galerie, voilà qu'ils se trouvaient l'être dans la Chambre du Roi. Il restait à déterminer la circulation des derniers ouvriers, ce qui entraîna la détermination d'un nouveau couloir non identifié jusqu'à maintenant. Le début du nouveau parcours serait donc situé directement au-dessus de l'entrée du couloir descendant, dans deux pièces successives logées sous les chevrons de la façade. L'entrée actuelle, que tout le monde emprunte aujourd'hui pour visiter la pyramide, percée par le Calife Al-Mamoun en 820 ap. J.-C. pour piller le tombeau a décalé l'accès véritable vers l'Ouest. Quant aux antichambres, elles débouchent dans la Chambre du Roi par un court couloir horizontal aboutissant derrière un bloc de granit du mur Nord de celle-ci, sous un linteau astucieusement dissimulé dans la maçonnerie.

Dès lors, le plan de la pyramide s'éclaire



La pyramide de Khéops revue et corrigée en coupe et en volume.



Khéops

évolutions et nouvelles découvertes

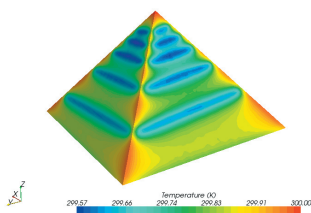
sous un jour nouveau et le véritable itinéraire de Kheops vers sa demeure d'éternité se trouverait modifié au profit d'une cohérence retrouvée. En effet, d'une part une filiation architecturale cohérente entre la Rouge et Kheops serait rétablie ; d'autre part l'étrange décalage de la distribution des couloirs connus jusqu'ici s'expliquerait. Reste bien évidemment à déterminer la validité de ces prédictions (nouveau couloir, antichambres, accès aux antichambres depuis la chambre du roi) sur le terrain.

C'est ainsi qu'un nouveau défi se présente : comment obtenir une exploration permettant de valider ou d'invalider les prédictions sans recourir à une méthode intrusive ?

Valider les nouvelles prédictions

Dès 2008, Dassault Systèmes effectue des simulations thermiques sur un modèle de pyramide pleine (sans rampe) et un modèle de pyramide avec la rampe interne pour vérifier que la thermographie infrarouge pourrait valider expérimentalement la théorie du chercheur.

Effectivement, la simulation révèle que l'air emprisonné dans la rampe interne provoque une inversion de la température au sommet du monument : l'été et de jour, par exemple, la pyramide serait plus froide au sommet alors qu'une pyramide pleine verrait son sommet plus chaud. La simulation montre enfin que la rampe interne laisse une empreinte thermique à la surface de la pyramide. Les différences



Simulation du résultat attendu d'une investigation par thermographie infrarouge sur une pyramide à rampe interne.

ArkéoLog n°29

sont faibles, mais suffisamment encourageantes pour que l'équipe envisage de creuser la question. Fin 2010, Jean-Pierre Houdin rencontre l'équipe de la chaire MIVIM (Multipolar Infrared Vision Infrarouge Multipolaire) de l'Université de Laval au Québec, un laboratoire reconnu pour ses travaux de recherche et ses traitements avancés en thermographie infrarouge.

Séduits par la théorie et le travail déjà effectué par Jean-Pierre Houdin et Dassault Systèmes, les membres de la chaire MIVIM sont à leur tour frappés par le « virus Kheops » et décident de rejoindre l'aventure au travers du programme « Passion for Innovation ».



Mathieu Klein de l'Université de Laval (Québec) présente la caméra thermographique infrarouge.

La méthode

Les cycles de variations de température extérieure d'une saison à l'autre influencent l'évolution de la température de la surface de la pyramide dans le temps. De manière assez évidente, l'évolution de la température de surface de la pyramide, que l'on appelle dans le jargon la « réponse thermique », suit donc presque la même évolution de température que celle des saisons. Mais il y a une nuance : l'évolution de la température à la surface de la pyramide va en réalité dépendre très légèrement de ce qui se trouve sous sa surface, et en particulier s'il y a un vide sous la surface, comme par exemple une hypothétique rampe.

C'est ainsi l'observation non pas des températures de surface directement,

mais plutôt l'observation de la différence d'évolution des températures d'un point à l'autre à la surface de la pyramide qui pourra donner une indication quant à la présence ou non de rampe interne.

La mesure de température pour le suivi de l'évolution de la réponse thermique est effectuée par caméra infrarouge, qui présente l'avantage de pouvoir mesurer la température de surface de la pyramide en tout point, d'un seul coup, à distance sans le moindre contact, à plus de 300 mètres.

Conséquences ? Aucun dommage, aucun trou, pas le moindre grain de sable déplacé : la méthode est non intrusive, totalement invisible du public et des touristes. De plus, les données sont recueillies à distance par internet et les traitements réalisés directement au Canada dans le laboratoire MIVIM avec l'aide de Dassault Systèmes.

Cette technique en apparence simple, mais en apparence seulement, est connue sous l'appellation barbare de « technique non destructive par thermographie active modulée ». En apparence, car la méthode est utilisée ici à une échelle infiniment plus grande, comme cela n'a encore jamais été fait dans le passé. À une telle échelle, il faut plus de temps, et une ou deux années entières de mesures 24h/24h ne seront pas de trop pour observer les très lentes évolutions de températures dans le temps au travers des 3 à 6 mètres d'épaisseur de mur qui couvriraient les rampes.

Toujours plus loin avec la 3D

Avant de conclure, nous devons insister sur les avantages d'un modèle 3D de la réalité. Non seulement, on peut l'examiner sous tous les angles, mais on peut également rejouer les simulations en changeant à loisir les paramètres, en extraire les résultats pour réaliser des vérifications sur place.

Khéops

évolutions et nouvelles découvertes

Grâce à la 3D, le chercheur peut désormais aller encore plus loin dans sa réflexion et affiner sa théorie en laboratoire, étudier et prolonger les résultats d'une mission d'observation, voire préparer et simuler les suivantes qui seront mieux ciblées et plus efficaces, donc moins longues et moins coûteuses. Mieux encore, la simulation réaliste permet de tester virtuellement des moyens d'investigations et de choisir les plus efficaces en vue de les mettre en oeuvre sur le terrain comme nous avons pu le voir avec la thermographie par infrarouge.

C'est toute la puissance de la 3D : non seulement intégrer la notion de volume qui reste encore souvent hors de réflexion dans de nombreuses spécialités de l'archéologie, mais en plus simuler le réel, ajuster le modèle en conséquence et l'améliorer jusqu'à obtenir satisfaction. Le seul obstacle actuel pour généraliser ce travail auprès de l'ensemble de la communauté archéologique reste le coût que représente une telle initiative. Que ce soit au niveau matériel comme au niveau des ressources humaines, le budget est encore bien trop important pour être à la portée de toutes les équipes, notamment celles qui ne bénéficient pas d'un sujet médiatique. Cependant, pour toutes les raisons évoquées, le travail de Jean-Pierre Houdin est fondamental et n'intéresse pas seulement les « égyptologues ». Sa portée s'étend à toute la communauté archéologique et à toutes les disciplines en relation avec l'histoire humaine car il fait office



Khéops révélé à la Géode.

de pionnier. Les américains ne s'y sont d'ailleurs pas trompés qui suivent la voie ouverte par l'archéologue¹¹. Tout comme l'auturgie, -ou archéologie expérimentale-, fut une révolution qui reste encore sous-utilisée pour les périodes dites historiques, la simulation numérique représente un enjeu majeur pour l'archéologie de demain.

Science et pédagogie

Même s'il s'agit d'une démarche visant à légitimer le travail effectué, il a été très agréable d'entendre Mehdi Tayoubi, lors de la conférence de presse, ponctuer les interventions de Jean-Pierre Houdin de remarques qui sont une véritable initiation à la culture scientifique. C'est ainsi qu'il a été question d'insister sur la démarche scientifique de l'archéologue au sens où les hypothèses étaient vérifiables sur le terrain et où il s'agissait de produire des hypothèses. Ces hypothèses se bâtissent après analyse du matériel connu pour l'époque pour en faire des simulations dont les résultats sont confrontés aux données du terrain. Autrement dit, il s'agit de prédire une information qui n'avait pas été observée jusqu'alors et dont le terrain, que ce soit celui d'aujourd'hui ou celui d'hier (récits, photographies et cartes postales anciennes) conserve une trace observable. Ces éléments obligent à l'élaboration de protocoles permettant la vérification et l'obtention de nouvelles informations comme ce fut le cas avec la thermographie dont il a été question, mais dont les résultats jugés encore insuffisants font l'objet d'une mission propre à Dassault Systèmes. De plus, comme n'importe quel travail de recherche scientifique, Jean-Pierre Houdin ne s'est pas contenté de marteler ses résultats, mais a su faire évoluer ses résultats ainsi que nous l'avons présenté plus haut.

Que nous enseigne Khéops ?

Outre la dimension pédagogique incontestable qu'ont permis aussi bien

le travail de Jean-Pierre Houdin que le suivi de Dassault Systèmes avec des présentations à la Géode contribuant autant à la vulgarisation du savoir qu'à une acquisition du savoir par l'accès à la culture scientifique, c'est à une véritable révolution que la communauté scientifique est confrontée, à la fois sur la compréhension du chantier de la pyramide de Khéops et sur le plan méthodologique en général.

Nous ne suivons pas Dassault Systèmes sur ce qu'ils qualifient de « méthode Houdin » se définissant comme une méthode consistant à poser correctement le problème. Cette « méthode » n'est pas propre à M. Houdin, mais à la démarche scientifique. Il est vrai, en revanche, qu'il faut encore qu'elle soit réalisée. Le fait est qu'en matière de pyramides, les archéologues, professionnels ou non, ne s'y étaient pas pris correctement jusqu'à ce jour. C'est ainsi que nous suivons tout fait Mehdi Tayoubi quand il commente la présentation de Jean-Pierre Houdin : « Khéops, ce n'est pas un mystère. C'est juste un problème mal posé. » Et il en est ainsi, de notre point de vue, de tous les « mystères » archéologiques.

Pour aller plus loin, nous dirons que le génie de Jean-Pierre Houdin a été de ne pas se contenter de travailler sur la pyramide, mais d'avoir étendu son intérêt à l'ensemble du chantier. Outre l'idée de la rampe interne donnée par son père, il su prendre en compte l'ensemble des contraintes qui ne pouvaient être pensées qu'avec les outils mis à disposition par Dassault Systèmes en recourant à un raisonnement d'architecte. C'est d'ailleurs une parfaite illustration de ce que défend ArkéoTopia quand nous insistons sur le rapprochement entre ceux qui font (architectes, ingénieurs, artisans, etc.) et ceux qui doivent travailler sur ce qui a été fait (archéologues, ethnologues,

Khéops

évolutions et nouvelles découvertes

philologues, etc.). À cette condition, nous considérons que n'importe quel « mystère » du passé de l'être humain pourra être résolu. Quand l'enseignement de l'archéologie intégrera que l'archéologue ne détient pas la science infuse, mais se trouve être un chef d'orchestre de compétences diverses qu'il doit savoir diriger à l'aune de la culture étudiée, alors l'archéologie sera devenue une véritable science.

Un dernier aspect à ne pas sous-estimer est la capacité de Jean-Pierre Houdin à prendre des risques en se conformant à la démarche scientifique. En effet, cette démarche implique d'accepter la contrainte d'émettre une prédiction qui peut se révéler erronée. Si pour un scientifique sur des sujets moins médiatiques, cette démarche ne pose en soi aucun problème, il va autrement d'un archéologue amateur sur un sujet aussi médiatique que la grande pyramide : le risque est énorme. Quid de la réaction de la presse, de la communauté scientifique et du public si sa prédiction se voyait invalidée ? Pour notre part, il ne s'agirait pas d'un échec, mais de la mise en évidence d'un postulat à écarter qui permettrait de poursuivre le travail sur d'autres pistes. Nous ne doutons malheureusement pas que les détracteurs de l'archéologue ne verront pas un tel résultat de cette façon. Mais Jean-Pierre Houdin a déjà montré qu'il était capable de prendre ce risque lors de ses premiers travaux avec la rampe intérieure et nous lui souhaitons le meilleur pour la suite car, quel que soit le résultat, il aura à nouveau contribué à faire avancer la recherche scientifique.

Notes de renvoi

¹. Abréviation de 3D-Jockey, expression inventée par Dassault Systèmes pour dénommer la personne qui pilote la simulation en temps réel. Il s'agit d'un réel travail du fait de la complexité d'accès sans que l'image ne devienne brouillée ou que

le public ne soit perdu dans l'espace de la simulation.

². Ces données sont principalement issues du travail de l'architecte Gilles Dormion (*La Chambre de Khéops*, 2004).

³. Il est bien entendu que toute reconstruction numérique a ses limites liées aux connaissances de celui qui a créé le modèle. Si des données de masse, de résistance, de longueur, etc. sont manquantes, elles le seront également dans le modèle. Selon l'importance de ce défaut de connaissance et l'acuité des utilisateurs, ce biais sera décelé ou non.

⁴. Cf. Houdin J.-P. et H., « La construction de la Grande pyramide. La seule solution plausible » *Travaux* 792, décembre 2002, p.51-58 ; Houdin J.-P. et H., « La construction de la pyramide de Khéops : Vers la fin des mystères ? » *Annales des ponts et chaussées* 101, 2002, p.76- 83 ; Houdin J.-P., *La pyramide de Khéops : sa construction intégralement expliquée*, 2003 ; Houdin J.-P., *Khéops : les secrets de la construction de la grande pyramide*, 2006 ; Houdin J.-P. et Brier B., *Le secret de la grande pyramide*, 2008.

⁵. Voir par exemple, *Relation des voyages de Monsieur de Brèves, tant en Grèce, Terre Sainte et Aegypte, qu'aux Royaumes de Tunis & Arger*, Paris, 1628.

⁶. Cf. Gilles Dormion et Jean-Yves Verd'hurt, « The pyramid of Meidum, architectural study of the inner arrangement », communication donnée lors du World Congress of Egyptology, Cairo, April 2000.

⁷. La rampe du plateau aurait par la suite servi de soubassement à l'allée monumentale de Khephren.

⁸. De fait, on constate sur place la présence d'un soubassement de 23m de large (pour une allée monumentale large de 10m seulement) qui n'a d'équivalent sous aucune autre chaussée monumentale de pyramide.

⁹. Cf. les missions *Upuaut* et *Upuaut2* de l'ingénieur Rudolph Gantenbrink dès 1993. Depuis 2009, l'université de Leeds qui a poursuivi les travaux avec la mission Djedi sous l'autorité du Conseil Suprême des Antiquités Égyptiennes (CSA) dirigé par Zahi Hawass, a intégré le programme « Passion of Innovation » de Dassault Systèmes. Une nouvelle mission est prévue en 2011 qui devrait permettre l'exploration complète des conduits de la Chambre de

la Reine.

¹⁰. Les chambres de décharge au-dessus de la Chambre du Roi ont une fonction technique : reporter bien plus haut dans la masse du monument les chevrons de calcaire qui couronnent l'ensemble. Si une seule chambre de décharge aurait suffi à protéger la Chambre du Roi dans l'objectif de couvrir celle-ci d'un plafond plat, cette succession de chambres de décharge n'avait pas d'explication jusqu'à aujourd'hui. Sans cette succession, les antichambres auraient été écrasées par la charge oblique transférée du versant nord du toit en chevrons, leur couverture en encorbellement ne pouvant résister qu'à une charge verticale. Ainsi la succession des chambres de décharge trouverait une autre logique, purement technique, par la présence des antichambres.

¹¹. C'est ainsi que le Museum of Fine Arts (MFA) de Boston et l'Université de Harvard avec Peter Der Manuelian ont signé un partenariat stratégique en 2010 pour modéliser le plateau de Gizeh en 3D afin d'exploiter l'immense fonds Reisner détenu par le MFA.

JOGD

Quelques liens

<http://pyramidales.blogspot.com>

<http://www.construire-la-grande-pyramide.fr>

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

<http://www.3ds.com/company/passion-for-innovation/the-projects/kheops-renaissance>

Un livre de synthèse sur les pyramides

— Lehner Mark, *The complete pyramids*, Londres, 1997.

Illustrations et photos (hors photo de la caméra) © Dossier de presse Dassault Systèmes

