

SCAN PYRAMIDS MISSION



HIP.INSTITUTE
HERITAGE
INNOVATION
PRESERVATION



**ARAB
REPUBLIC
OF EGYPT**
MINISTRY OF
ANTIQUITIES



**FACULTY OF
ENGINEERING**
CAIRO
UNIVERSITY

Communiqué de presse
Le Caire, 15 octobre 2016

#ScanPyramids – Premiers résultats concluants grâce à la muographie dans la pyramide de Kheops

Jeudi 13 octobre, l'équipe de #ScanPyramids a rencontré, au Ministère égyptien des Antiquités, le Comité scientifique des égyptologues, afin de présenter les premiers résultats de la campagne de muographie conduite sur la pyramide de Kheops depuis juin 2016.

Le comité scientifique du Ministère a été missionné par le docteur Khaled El-Enany, ministre des Antiquités. Il est dirigé par l'ancien ministre des Antiquités, le docteur Zahi Hawass, et composé du docteur Mark Lehner, directeur d'Aera (Ancient Egypt Research Associates), du docteur Miroslav Barta, directeur de la mission archéologique tchèque de Saqqara et du docteur Rainer Stadelmann, ancien directeur de l'Institut archéologique allemand.

Les découvertes

Face Nord de la pyramide de Kheops

Au mois de novembre 2015, plusieurs anomalies thermiques ont été détectées par le spécialiste des mesures infrarouges Jean-Claude Barré (France). Parmi elles, l'une, très significative, est située sur la face Nord de la Grande Pyramide, dans la zone où 4 chevrons visibles surplombent le couloir descendant.

Une campagne de 3 fois 24 heures a été conduite par l'université Laval (Canada), afin de confirmer l'intérêt de cette zone. Celle-ci comporte différents blocs de même composition et orientation, censés présenter un comportement thermique similaire. Or, ce ne fut pas le cas.



Image 1 - Infrared short survey



Image 2 - Infrared 3 x 24 hours survey

Ces résultats ont convaincu l'équipe de ScanPyramids de poursuivre l'examen de la zone suspecte avec des techniques complémentaires.

L'analyse et la reconstruction 3D de cette zone d'intérêt ont été effectuées grâce à l'aide et à l'expertise de la Fondation Dassault Systèmes et de la société Emissive.

Les nombreuses questions soulevées par cette zone d'intérêt ont conduit ScanPyramids à lancer une campagne complète de muographie dans le couloir descendant qui se trouve juste dessous.

Il faut se souvenir qu'à l'achèvement de la pyramide, il y a 4500 ans, les chevrons étaient invisibles, cachés derrière une couche de blocs qui ont été démantelés au cours des siècles.

Aujourd'hui, on peut toujours voir, dans la zone, des portions de blocs et des assises obliques, sans doute les vestiges de chevrons manquants qui devaient couvrir une sorte de cavité avant que les pierres soient retirées.

Il faut aussi se souvenir que, dans la pyramide, il existe des chevrons dans deux autres endroits : au-dessus de la Chambre du Roi et au-dessus de la Chambre de la Reine. Dans l'architecture antique, les chevrons ne sont pas un décor, ils ont une fonction pratique. Ils protègent une cavité et préviennent l'effondrement de son toit.

D'où la question qui se pose ici : pourquoi tant de chevrons pour protéger une zone si réduite que le début du couloir descendant ?

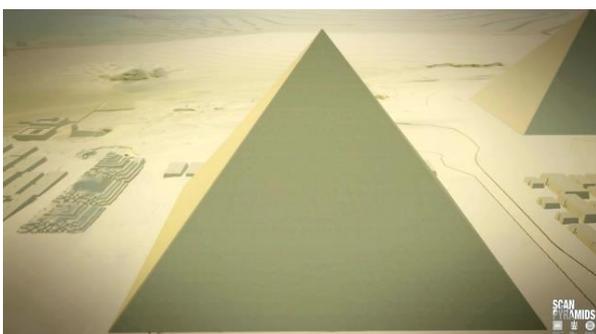


Image 3 - Khufu with casing stones 4500 years ago

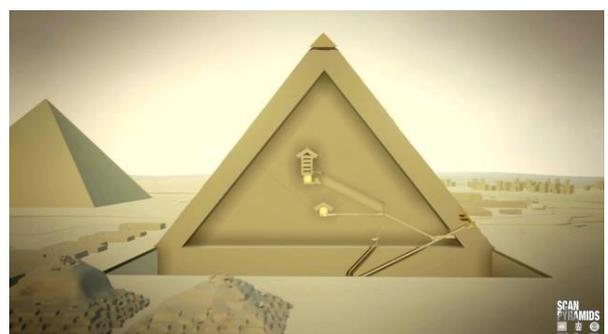


Image 4 - Khufu's internal view of known structures



Image 5 - 3D reconstruction - Khufu Pyramid's chevrons zone



Image 6 - 3D reconstruction - Remains of chevrons



Image 7 - 3D reconstruction - Oblique Stops

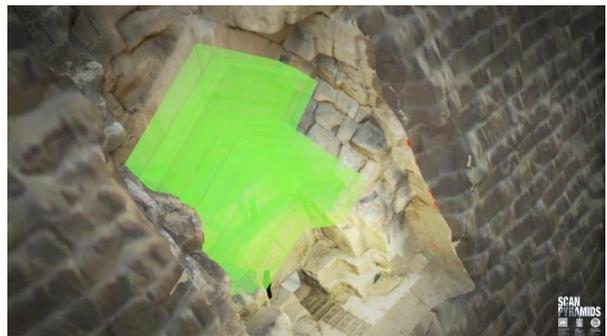


Image 8 - 3D reconstruction - Reconstitution of disappeared chevrons

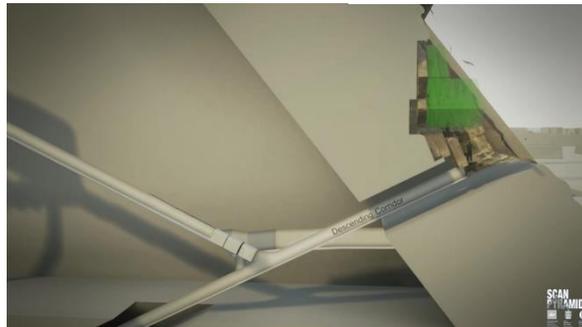


Image 9 - 3D reconstruction - Cut view of disappeared chevrons above descending corridor

L'équipe a donc validé le recours à la muographie pour observer l'intérieur de la pyramide dans la zone des chevrons. Les muons, des particules cosmiques, ont déjà prouvé leur efficacité pour détecter des cavités à l'intérieur de structures massives (volcans, centrales nucléaires, pyramides...). L'équipe #ScanPyramids a donc décidé d'utiliser la muographie pour observer la zone derrière les chevrons.

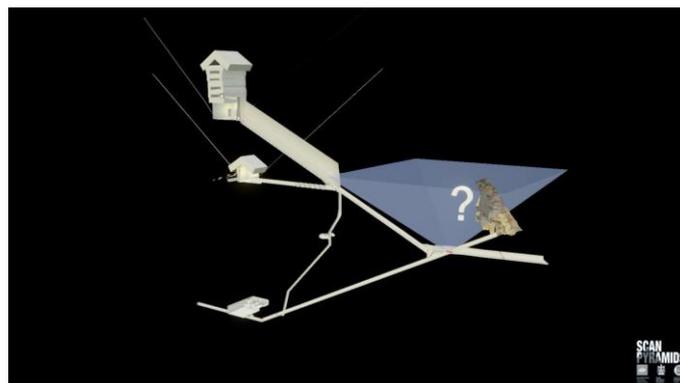


Image 10 - 3D reconstruction - Area analyzed by Muon plates positioned in the descending corridor

En juin 2016, trois plaques d'aluminium contenant des films à émulsion sensible aux muons ont été installées en bas du couloir descendant dans le but de « voir » d'éventuelles cavités au-dessus d'elles. Les films ont collecté des données muographiques durant 67 jours avant d'être analysés à l'université de Nagoya (Japon).



Image 11 - Nagoya University Muon sensitive plates in descending corridor that have been analyzed



Image 12 - Nagoya University emulsion film setup in the descending corridor

Chaque plaque a révélé un excès significatif de muons dans la même direction. Plusieurs études ont été menées afin d'apporter la preuve que cet excès, qui pouvait être interprété comme la preuve d'une cavité, ne résultait pas de fluctuations statistiques ou d'un biais quelconque. La comparaison avec des simulations détaillées montre que cet excès est largement au-dessus de 5 sigmas. Un excès de 5 sigmas valide un événement à 99,9999 %. Cette valeur est communément utilisée en physique des hautes énergies comme le seuil permettant de valider une découverte. Cet excès a une forme de ligne droite.

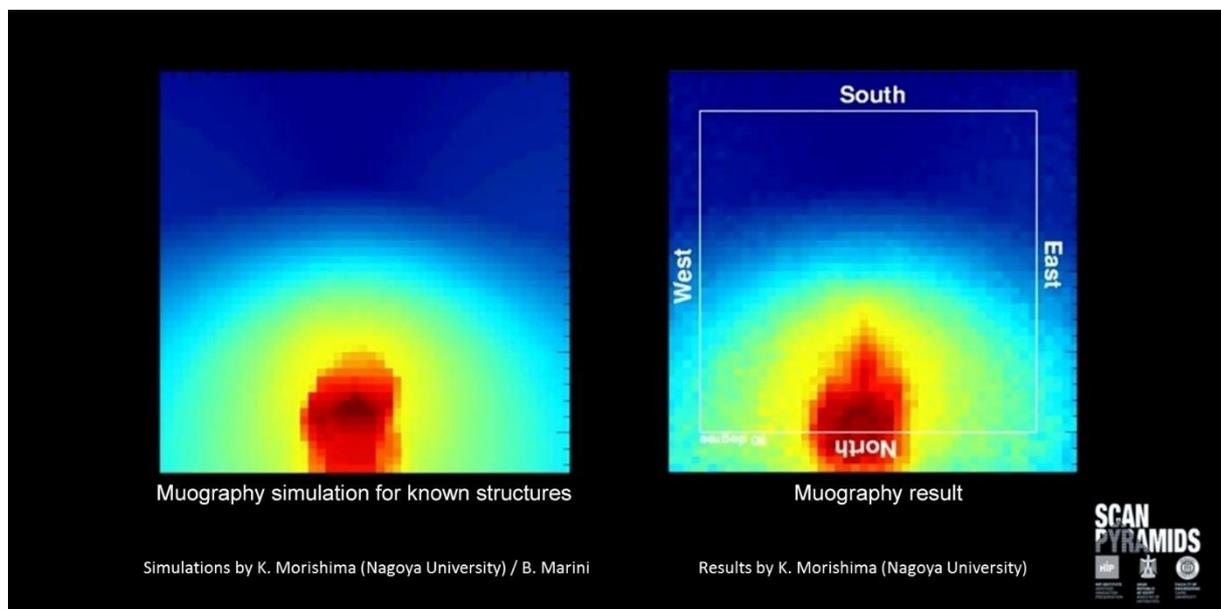


Image 11 - Comparison of muography simulation and results for descending corridor

Après avoir mis en œuvre ces trois techniques complémentaires, nous pouvons confirmer l'existence d'une « cavité », cachée derrière la face Nord, qui laisse deviner un ou plusieurs couloirs superposés qui s'enfoncent dans le cœur de la Grande Pyramide. La forme précise, la taille et la position exacte de cette structure doivent encore être affinées. Pour ce faire, 12 nouvelles plaques sensibles aux muons ont été installées. Elles seront retirées à la fin du mois d'octobre 2016.



Image 12 - 3D reconstruction - Schematic view of the void behind north face (shape exact position and size to be tuned)

L'équipe de ScanPyramids va aussi recourir, pour cette nouvelle phase d'investigation, à la modélisation 3D de différentes hypothèses architecturales qui seront testées dans des simulateurs muoniques.

Muographie de l'arête Nord-Est de Kheops

Au début du mois de juin, des détecteurs de muons à gaz (télescopes) ont été déployés à l'extérieur de la Grande Pyramide, autour de l'arête Nord-Est, deux côtés Est, un côté Nord. Ils étaient pointés vers une encoche située à 150 mètres de distance et à une hauteur de 83 mètres. But de cette campagne : valider la technique en détectant dans cette zone une cavité (C2) de 9 m² déjà documentée par les chercheurs.

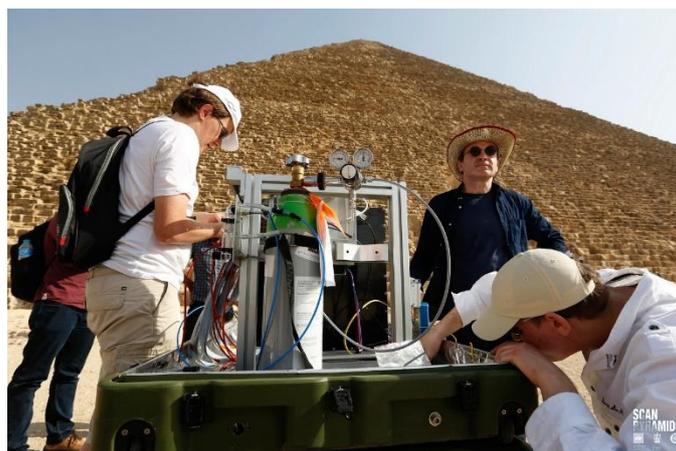


Image 13 - CEA Muon telescope setup on Khufu

Ces instruments innovants, conçus par le CEA/Irfu, ont fonctionné sans interruption durant trois mois et accumulé, à eux trois, environ 50 millions de particules cosmiques. L'analyse de leurs données a révélé trois encoches connues (N1, N2, N3).

Autour de la zone de l'encoche N2, les télescopes ont mesuré un excès statistiquement significatif de muons (6,3 sigmas). Cet excès est parfaitement compatible avec les caractéristiques de la cavité connue C2. Ce qui valide le fonctionnement des instruments. La cavité en question se trouve à 6 mètres de profondeur sous la surface actuelle de la pyramide.

Outre cette validation, un autre excès de muons statistiquement significatif (5,1 sigmas) a été détecté près de l'arête, à environ 105 mètres de haut, proche d'une petite niche (N1), invisible depuis la base de la pyramide. Cet excès correspond à une cavité inconnue C1 qui montre à peu près les mêmes dimensions que C2. D'autres analyses sont en cours pour vérifier la présence de cavités supplémentaires du même genre. Dans les mois à venir, les télescopes seront pointés vers les autres arêtes de la pyramide pour acquérir de nouvelles données.

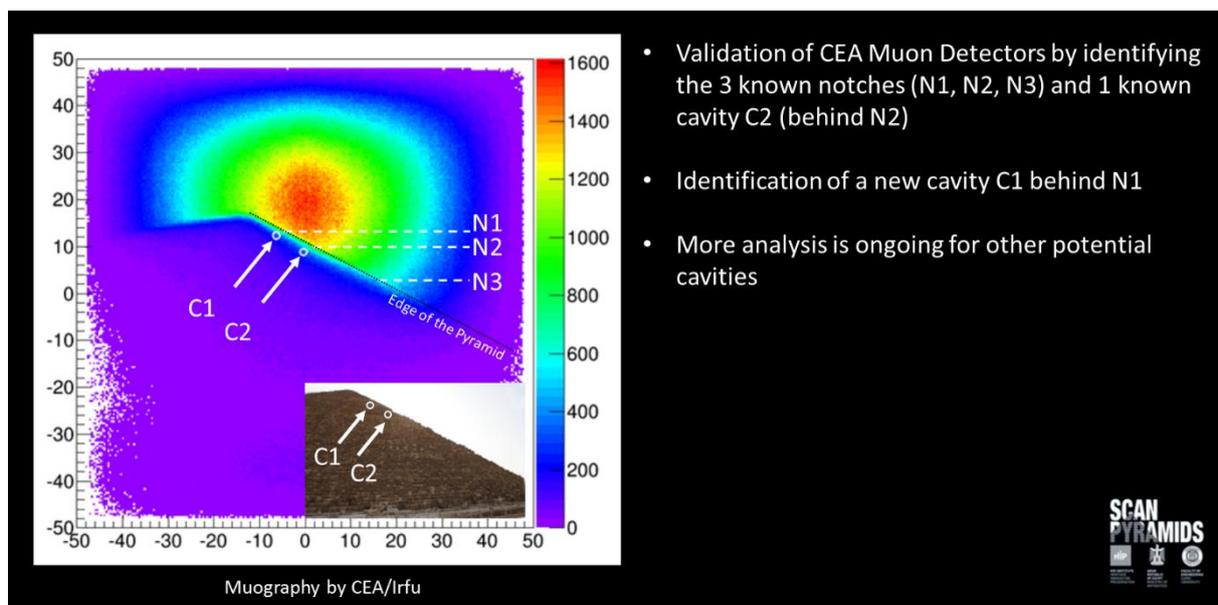


Image 16 - CEA Muography results for Khufu's north east edge

La Chambre de la Reine de Kheops

L'équipe de ScanPyramids continue d'acquérir des données muographiques à l'intérieur de la Chambre de la Reine avec des films sensibles aux muons et un scintillateur électronique installé par le KEK (Japon). Les résultats sont attendus pour le premier trimestre 2017.

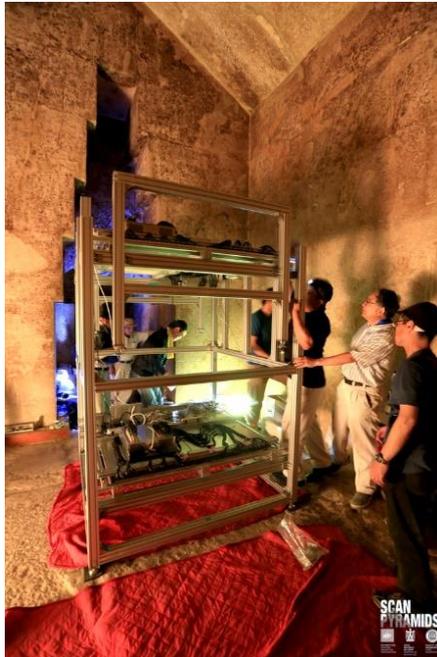


Image 16 - KEK Muons electronic scintillator in Khufu's Queen chamber

Conclusion :

L'équipe a présenté au Comité Scientifique du Ministère des Antiquités ses découvertes après une année de travail. Celles-ci peuvent se résumer de la façon suivante :

1. Pour la première fois dans l'histoire, des techniques complémentaires fondées sur les muons, l'infrarouge et la modélisation 3D ont été utilisées pour « scanner » la Grande Pyramide de Gizeh.
2. L'équipe de #ScanPyramids peut confirmer la présence d'une cavité inconnue sur l'arête Nord-Est de la pyramide, à une hauteur d'environ 105 mètres du sol.
3. L'équipe de #ScanPyramids peut confirmer la présence d'une cavité inconnue derrière les chevrons au-dessus du couloir descendant de la Grande Pyramide. Sa forme précise, sa taille et sa position exacte sont encore à affiner.

Plus d'information sur la muographie

Les muons, qui tombent en permanence sur la Terre à une vitesse proche de la lumière avec un débit d'environ 10 000 par m² par minute, proviennent des hautes couches de l'atmosphère, où ils ont été créés lors de collisions entre des rayons cosmiques issus de notre environnement galactique et les noyaux des atomes de l'atmosphère. A l'instar des rayons X qui traversent notre corps et permettent de visualiser notre squelette, ces particules élémentaires, sorte d'électrons lourds, peuvent traverser très facilement des roches de grande épaisseur, telles les montagnes. Des détecteurs, placés à des endroits judicieux (par exemple à l'intérieur de la pyramide, sous une possible chambre encore non détectée), permettent, par accumulation dans le temps des particules, de discerner les zones de vide (que les muons ont traversé sans interagir) et les zones plus denses où certains d'entre eux ont pu être absorbés ou déviés. Tout l'art de la mesure consiste à réaliser des détecteurs extrêmement sensibles puis à accumuler suffisamment de données (pendant plusieurs jours ou mois) pour accentuer les contrastes.

La radiographie par muons est aujourd'hui fréquemment utilisée dans l'observation des volcans, notamment par les équipes de recherche de l'université de Nagoya. Dans le cadre de la mission ScanPyramids, 3 types de détecteurs ont été développés. L'université de Nagoya utilise des détecteurs chimiques à base d'émulsions argentiques. Le KEK a développé des scintillateurs électroniques fonctionnant avec un plastique sensible aux muons. Ces instruments ont notamment permis de scanner l'intérieur des réacteurs de la centrale de Fukushima. Quant aux télescopes à muons du CEA qui a rejoint la mission le 15 avril, ils fonctionnent avec un mélange gazeux à base d'argon. Les scintillateurs électroniques (plastique ou gaz) contrairement aux émulsions chimiques permettent une analyse en temps réel.

A propos de ScanPyramids

La Faculté des ingénieurs de l'Université du Caire et l'Institut HIP (Heritage Innovation Preservation) ont conçu et coordonnent depuis le 25 octobre 2015, sous l'autorité du Ministère des Antiquités égyptien, le projet « #ScanPyramids » (www.scanpyramids.org) visant à « scanner », les grandes pyramides d'Égypte (Kheops, Khephren, La Pyramide Rhomboïdale et la Pyramide Rouge). #ScanPyramids combine plusieurs disciplines non invasives et non destructives pour tenter de révéler la présence de structures internes méconnues à ce jour dans les monuments antiques et de mieux comprendre à la fois leur plan et leur construction. Les technologies utilisées mêlent la thermographie infrarouge, la radiographie par muons et la reconstruction en 3D.

#ScanPyramids réunit plusieurs institutions scientifiques internationales dont le CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives/France), l'université de Nagoya (Japon), le KEK (High Energy Accelerator Research Organization – Tsukuba Japon), l'université Laval (Quebec Canada).

IMAGES

You can request pictures at contact@hip.institute or - patricia.attar@gen-g.com

COPYRIGHT

All rights of the project and its outputs, including Video, Pictures, News, and all Electronic Outputs are reserved to the Egyptian Ministry of Antiquities, HIP Institute and the Faculty of Engineering (Cairo University).

CONTACTS

Site officiel : <http://www.hip.institute>

#ScanPyramids: <http://www.scanpyramids.org>

Twitter account: @HIP_i_

HIP Institute Press Contact :

Agence Gen-G - Patricia Attar - patricia.attar@gen-g.com - 01 44 94 83 66 – +33 6 25 792 795
or contact@hip.institute



Image 18 - ScanPyramids team inspecting North Face Chevron Area