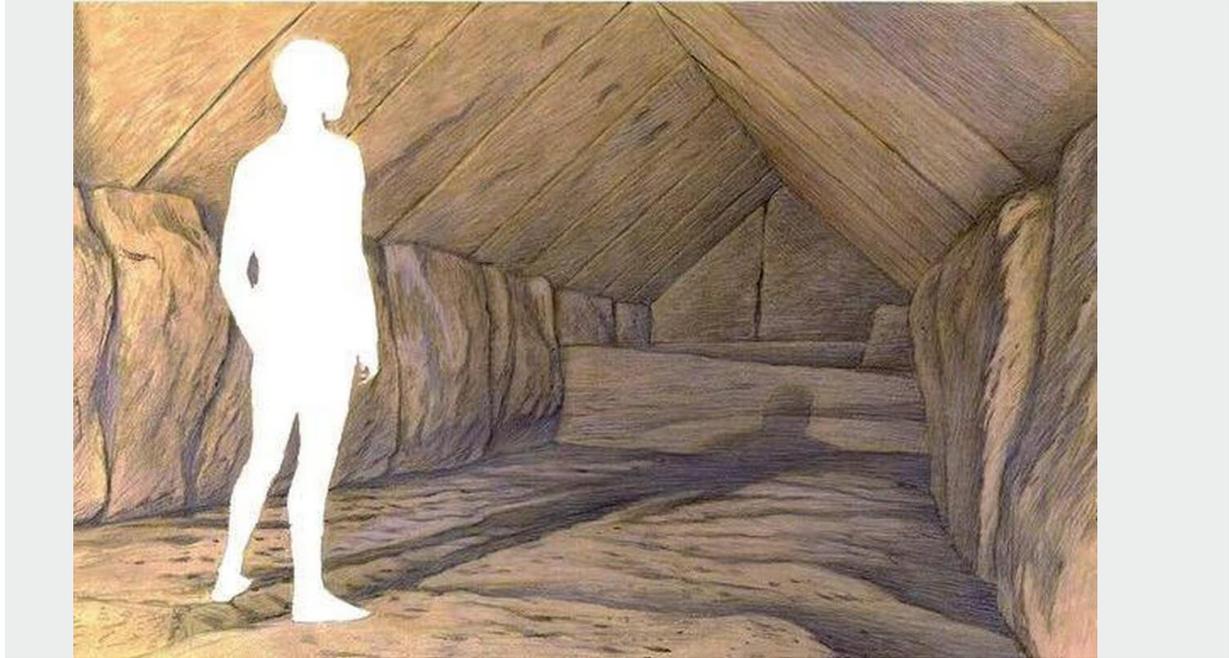


Mercredi 8 mars 2023
ÉGYPTÉ



Que sait-on de ce mystérieux couloir découvert dans la pyramide de Kheops en Égypte ?

Propos recueillis par Nicolas BLANDIN

Le ministère égyptien du Tourisme et des antiquités l'a annoncé début mars 2023. Un nouveau couloir a été identifié et photographié dans la grande pyramide de Kheops, sur le plateau de Gizeh en Égypte. Explications avec Sébastien Procureur, spécialiste en imagerie muonique et directeur de recherche au Commissariat à l'énergie atomique (CEA).



(Carte : Ouest-France)

La dernière **merveille du monde antique** encore debout se dresse toujours fièrement sur le plateau de Gizeh, en Égypte. Mais la vieille dame n'a pas encore livré tous ses

secrets, dissimulés derrière ses insondables 2 millions de blocs de calcaire d'une tonne et demie chacun. Insondables, vraiment ? Les chercheurs du projet **Scan Pyramids**, coordonné par la **faculté d'ingénierie du Caire** et par **l'Institut HIP**, ne l'entendent pas de cette oreille.

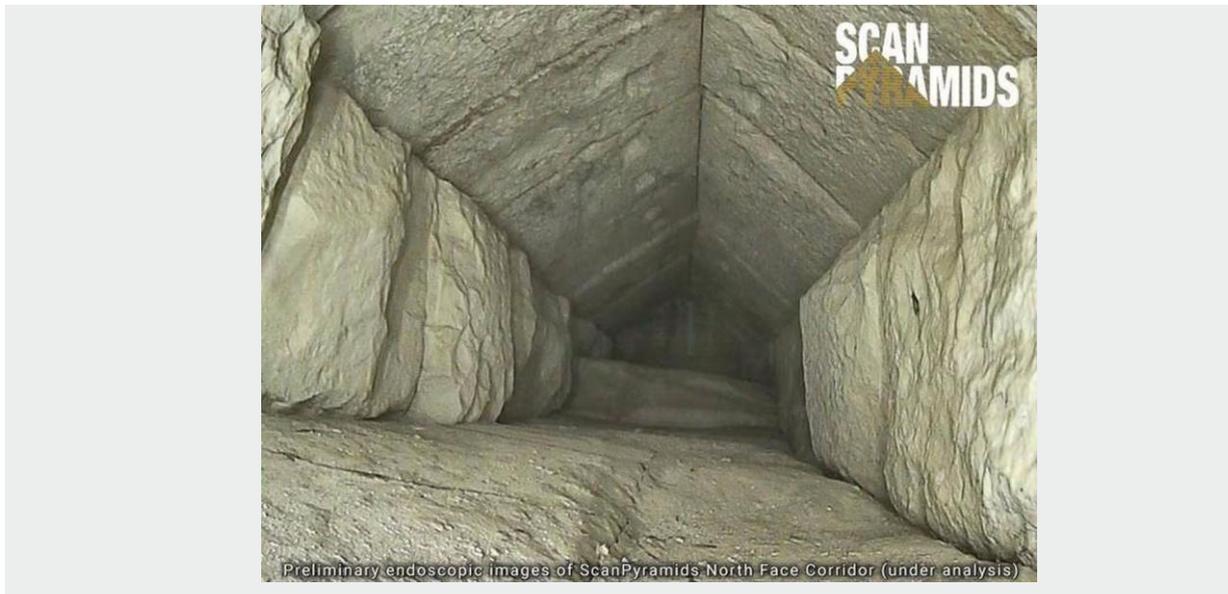
Cette collaboration entre des universités et organismes français, allemands, canadiens, japonais et un groupe d'experts égyptiens a déjà plusieurs découvertes à son actif depuis son lancement en 2015, dont deux majeures : **une immense cavité détectée en 2017** et un couloir dont la découverte a été annoncée début mars 2023 par le ministère égyptien du Tourisme et des antiquités. Des découvertes permises par des techniques non invasives, pour préserver l'intégrité du site. Explications avec Sébastien Procureur, spécialiste en imagerie muonique et directeur de recherche **au Commissariat à l'énergie atomique (CEA)**.



Le CEA a posé pour deux mois deux télescopes d'étude des muons devant les faces Nord et Est de la pyramide de Kheops. (Philippe Bourseiller / HIP Institute)

Sébastien Procureur, la découverte d'un couloir caché dans la pyramide de Kheops est-elle vraiment une nouveauté ?

On sait depuis 2016 qu'il y a un vide à cet endroit-là, proche des parois extérieures. Certains n'y ont pas cru au début car la muographie n'est pas une technique encore très répandue. La différence, c'est qu'aujourd'hui on a réussi à obtenir une photographie validant nos relevés. Une caméra endoscopique a été introduite au niveau des joints des pierres. Ce couloir était estimé à 9 m de long pour une section de 4 m². Soit environ 35 m². Les clichés ne permettent pas pour l'instant d'être plus précis mais ils semblent valider ces estimations.



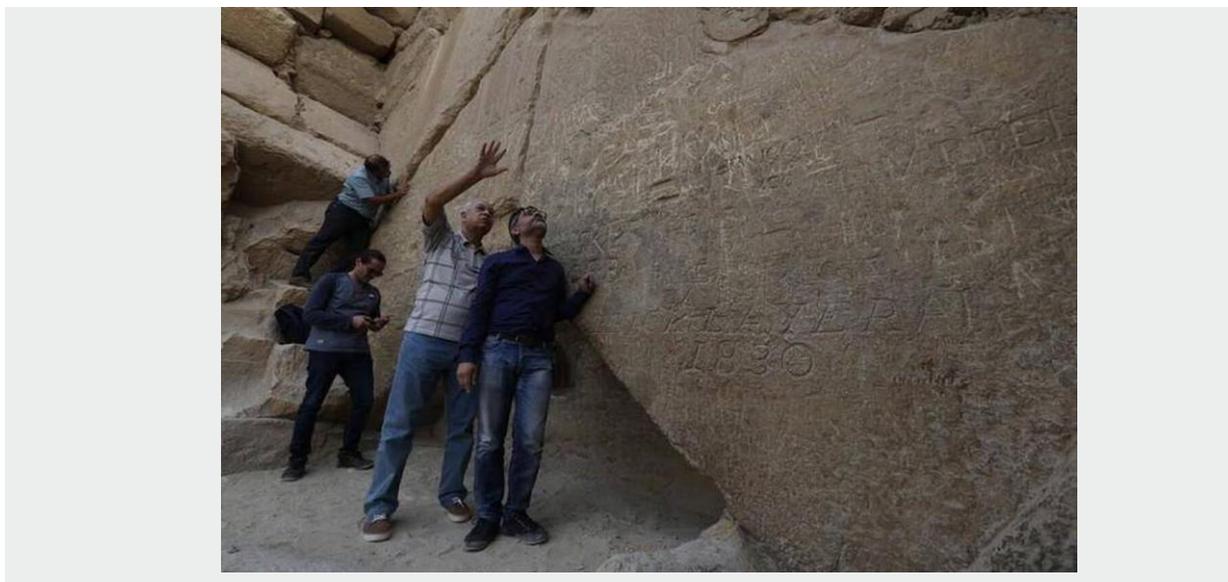
Le couloir découvert dans la pyramide de Kheops a pu être photographié avec une caméra endoscopique. (Photo : Scan Pyramids)

A-t-on une idée d'où mène ce couloir ?

Les études que l'on a pu faire en muographie montraient qu'il s'arrêtait au bout de 9 m. Ce que semblent confirmer les photographies. Toutefois, cela ne veut pas dire qu'il n'existe pas une prolongation de moindre ampleur que l'on n'a pas identifiée. Le couloir pourrait par exemple être bouché sur quelques mètres avant de laisser place à une section beaucoup plus petite non détectée. Il est donc prématuré de dire qu'il n'y a rien derrière.

Une très grande cavité avait aussi été identifiée en 2017. Les deux sont-elles liées ?

Il ne s'agit pas des mêmes espaces. Celui découvert en 2017, que l'on appelle *Big void*, soit le « grand vide » en français, est vraiment beaucoup plus grand. On l'estime à 30 voire 35 m de long pour une section de 3 m par 3 m.



L'équipe de Scan Pyramids inspecte les chevrons de la face nord de la pyramide de Kheops. (Photo : Philippe Bourseiller / HIP Institute)

Qu'a-t-on appris sur cet espace depuis l'annonce de 2017 ?

Depuis 2017, des mesures complémentaires pas encore publiées ont été effectuées pour évaluer ses dimensions exactes, son inclinaison etc. Mais cet espace est loin de tout : loin des couloirs, loin de la grande galerie et donc très difficile à sonder. Aussi, les travaux se sont principalement concentrés sur le petit couloir pour la bonne et simple raison qu'il est plus proche de l'extérieur de la pyramide, donc plus accessible.

Et on avait aussi l'espoir que les deux cavités pouvaient peut-être communiquer *via* une potentielle section plus étroite, dont je parlais précédemment. Ce qui pourrait permettre d'accéder plus facilement au *Big void*.

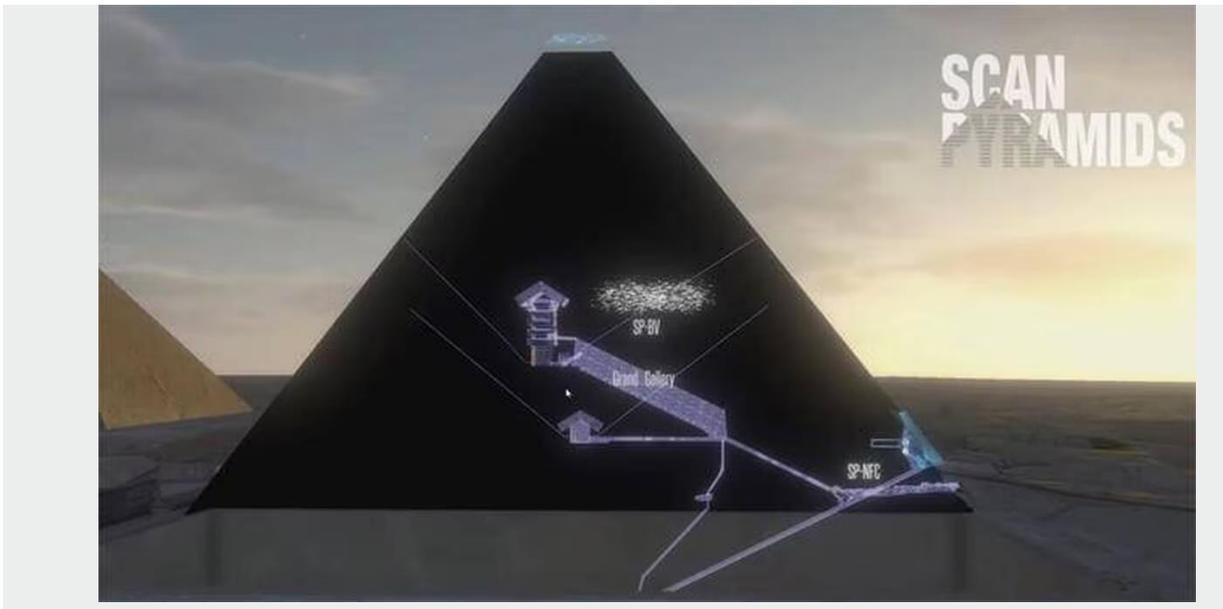
[ScanPyramids SP-NFC 2023 Report](#) from [HIP Institute](#) on [Vimeo](#).

Vidéo : <https://vimeo.com/803685954>

Quelles sont les hypothèses sur la fonction de cette grande cavité ? Pourrait-on y dénicher une chambre funéraire ?

On laisse les archéologues et spécialistes en égyptologie s'exprimer sur cette question. Certains ont émis l'hypothèse qu'il pourrait s'agir d'un grenier servant de source de nourriture pour le pharaon dans son voyage vers l'au-delà.

D'autres imaginent une deuxième grande galerie ou une chambre funéraire. La machine à imagination tourne à plein régime. Tant qu'on n'a pas exploré le lieu, on n'aura pas de certitude sur sa fonction. Des déclarations récentes émettent par exemple la possibilité qu'une chambre funéraire pourrait se trouver sous le couloir que l'on observe aujourd'hui. Cela nous paraît improbable au vu de nos observations dans cette zone. Mais la mise au jour du couloir a eu au moins l'effet de montrer aux plus sceptiques que notre technique de sondage par muographie fonctionne. Et cela permet de valider l'existence même du *Big void*.



Plan de la pyramide avec le grand vide au-dessus de la grande galerie et le nouveau couloir à proximité de l'entrée principale. (Scan Pyramids)

Pouvez-vous me résumer l'objet et les limites du projet Scan Pyramids ?

L'objectif de ce projet est de sonder les quatre plus grandes pyramides de la IV^e dynastie, avec des moyens d'investigation modernes et non invasifs, pour essayer de voir si l'on n'avait pas raté des choses dans les explorations précédentes. On peut sonder environ 80 % de la pyramide mais il restera des zones par définition difficilement accessibles, quelle que soit la technique utilisée.



Visualisation des images prises par la caméra endoscopique dans le couloir nouvellement identifié par les équipes de Scan Pyramids. (Philippe Bourseiller / HIP Institute)

Comment fonctionne la muographie ?

On peut faire une analogie avec la radiographie et les rayons X. La muographie est aussi une imagerie pénétrante mais la différence, c'est que son rayonnement est naturel et qu'il peut ainsi traverser plusieurs centaines de mètres de roche, contrairement aux rayons X.

Avec un récepteur suffisamment efficace à l'arrivée, en fonction du nombre de muons qui sont entrés depuis la surface, il est possible de calculer combien ont traversé et donc de déterminer l'épaisseur de matière ou sa densité. L'idéal est de placer le récepteur sous la structure. Pas simple dans une pyramide. Qui plus est avec des espaces intérieurs qui accueillent du public.



Préparation et mise en place de plaques de muons dans la niche de la chambre de la Reine de la pyramide de Khéops. (Photo : Philippe Bourseiller / HIP Institute)

De quand date cette technique ?

Le premier à l'avoir utilisée est le prix Nobel de physique américain Luis Alvarez. Il l'a testée dans les années 1960 sur la pyramide de Khephren, mais avec des moyens limités. Malheureusement, il n'a pas trouvé de cavité, ce qui a desservi en quelque sorte l'essor de la muographie pour plusieurs décennies. Les Japonais l'ont relancée au début des années 2000 pour sonder des volcans.

Au milieu des années 2010, la CEA a mis au point un détecteur qui avait un certain nombre de propriétés permettant de faire de la bonne imagerie muonique. On l'a d'ailleurs testé récemment sur un réacteur nucléaire en cours de démantèlement, pour l'imager avant de le déconstruire. Avec ses succès aujourd'hui, la technique pourra devenir un outil supplémentaire pour les archéologues.



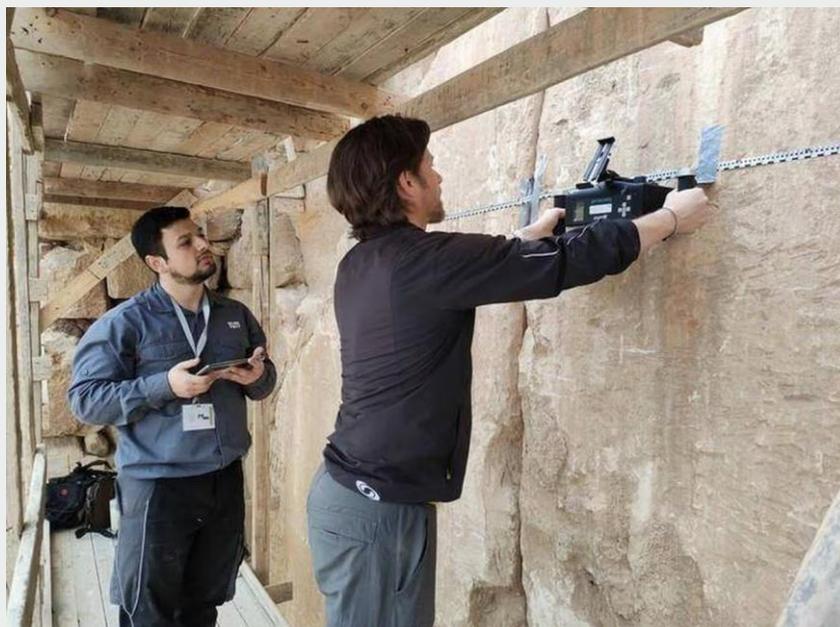
Ces plaques de détections des muons de l'Université de Nagoya installées dans le couloir d'aération supérieur de la pyramide de Kheops sont positionnées sous la zone des chevrons de la face nord. (Philippe Bourseiller / HIP Institute)

Quelle est sa précision ?

Si l'on prend l'exemple du couloir, la précision donnée par la muographie était de l'ordre de 10 à 20 cm. On n'aura pas forcément la même sensibilité sur le *Big void*, qui est plus en profondeur. Il est très difficile de donner, avec cette technique la forme exacte des espaces identifiés. Par exemple on avait globalement le volume du couloir mais on était incapable de déterminer s'il avait un toit plat ou en chevrons.

[ScanPyramids 2017 Video Report from HIP Institute on Vimeo.](https://vimeo.com/243085434)

Vidéo : <https://vimeo.com/243085434>



Mesures au moyen d'ultrasons, par une équipe de chercheurs allemande. (Photo : Université du Caire)



Mesures radar dans la zone des chevrons, par l'équipe de Scan Pyramids. (Université du Caire)

Quelles sont les autres techniques non-invasives utilisées sur la pyramide de Kheops ?

La première qui a été utilisée était l'imagerie thermique. On regarde les fluctuations de température des pierres. Mais les interprétations n'étaient pas faciles en raison de phénomènes de turbulence et de la faible profondeur d'analyse.

La muographie a pris le relais et, dernièrement, une équipe allemande a fait des mesures radar (*Ground penetrating radar*, en anglais) et par ultrasons très précises au niveau du couloir pour en déterminer la forme exacte et la profondeur. Ici, il s'agit d'envoyer des ondes qui vont se réfléchir sur les pierres à l'intérieur.