

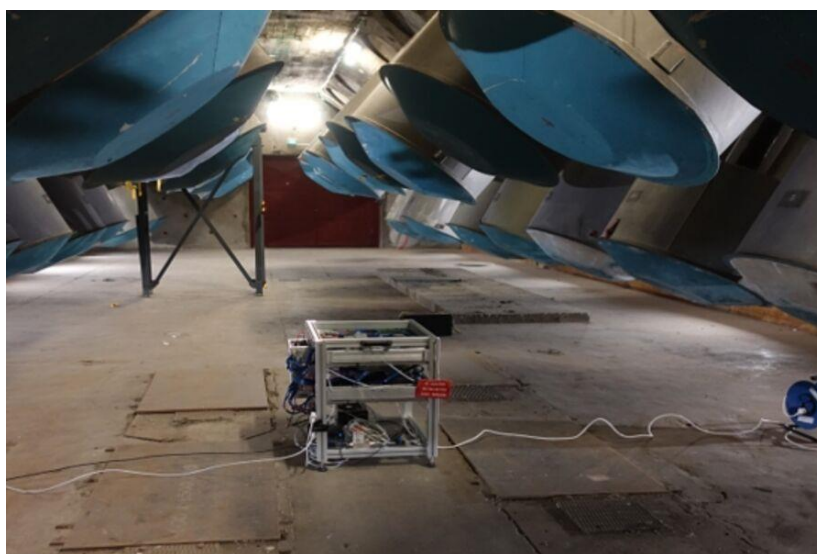
[L'instant tech] Le CEA cartographie réacteurs nucléaires et pyramides grâce à la muographie

En exploitant le flux de muons, des particules élémentaires venues de la haute atmosphère, des chercheurs du CEA développent un système de cartographie 3D d'installations vastes et difficiles d'accès, comme un réacteur nucléaire ou une pyramide. Leur solution doit être commercialisée dans l'année.

Gautier Viroi

22 Février 2023 \ 11h00

4 min. de lecture



© CEA - Le muographe du CEA, dans le réacteur nucléaire G2.

C'est une pluie infinie qui inonde, en permanence, la terre entière. Et passe totalement inaperçue. Produits dans la haute atmosphère, les muons sont des particules élémentaires « environ 200 fois plus lourdes qu'un électron », présente le chercheur du CEA Sébastien Procureur. « Ce sont des particules très pénétrantes : elles nous traversent et peuvent, selon leur énergie, parcourir plusieurs dizaines voire centaines de mètres dans la roche sans s'arrêter », développe-t-il. Invisible, mais pas indétectable, ce flux perpétuel de particules peut être exploité pour cartographier des structures grandes et inaccessibles. Comme un volcan, une pyramide ou, plus récemment, un réacteur nucléaire.

« Le concept n'est pas récent, les premières expériences de ce qu'on appelle la muographie remontent aux années 1950, rappelle Sébastien Procureur. La nouveauté réside dans les capteurs, beaucoup plus précis et robustes, et la possibilité de combiner suffisamment de prises de vue pour faire une reconstruction 3D ». Ces dernières avancées ont notamment permis à des chercheurs du CEA de cartographier en 3D un réacteur du site militaire de Marcoule (Gard), pour aider à son démantèlement. Leurs travaux ont fait l'objet d'une publication, le 3 février, dans la revue Science Advances.

Comme des rayons X

Le chercheur schématise le fonctionnement de la technologie. Comme dans un système d'imagerie à rayons X, la muographie se base sur un capteur qui collecte un flux de particules après qu'il a traversé un élément à cartographier. « Le nombre de muons qui arrivent au

capteur nous renseigne sur la densité de la matière qu'ils ont traversé : il y en aura davantage s'ils ont traversé une sous-densité, comme une cavité, que des murs pleins », explique-t-il. Cet instantané offre une image en 2D. « Comme en imagerie médicale, il suffit de faire différentes mesures et de les combiner pour faire de la 3D ; c'est ce qu'on appelle la tomographie », compare-t-il.

Si la comparaison avec l'imagerie à rayons X est parlante, les deux méthodes divergent sur plusieurs points. D'abord car l'une utilise une source de rayonnements artificielle, très puissante, quand l'autre se base sur une source naturelle, plus diffuse. « *Les rayons X fournissent une image en quelques secondes. Avec la muographie, il faut quelques heures, jours voire semaines pour obtenir une image*, relate Sébastien Procureur. *Et il faut beaucoup d'images pour faire une reconstruction 3D* ». Chaque prise de vue du réacteur de Marcoule a ainsi demandé « *quelques jours* », précise-t-il.

Ce temps de pose empêche d'accumuler les milliers d'images utilisés pour effectuer un scanner. « *Nous cherchons à imager des structures plus grosses avec moins d'images* », sourit Sébastien Procureur. Sans surprise, cette équation aboutit à une résolution moindre. Impossible par exemple de détecter une fissure dans un mur. « *Mais nous pouvons observer l'affaissement d'un mur, même s'il est de quelques centimètres* », tempère le scientifique. Qui précise que « *de toute façon, il n'existe aucune méthode pour identifier une fissure dans une structure de béton de large épaisseur* ».

Une fois l'instantané capté – grâce à un capteur conçu au CEA – les chercheurs effectuent un important travail d'optimisation des données, modélisées par « *des millions d'équations et d'inconnues* », relate Sébastien Procureur. « *Sans optimisation, le traitement des images aurait demandé 43 ans de calcul*, développe-t-il. *Au final, il a fallu un jour et demi pour traiter la cartographie du réacteur, c'est plus raisonnable* ».

Des douanes à l'archéologie

Plus lente, moins précise, la muographie est pourtant loin d'être dénuée d'intérêt. Déjà car elle se passe d'un coûteux (et difficilement transportable) générateur pour effectuer ses mesures. Surtout car les muons sont partout et pénètrent bien davantage la matière que les rayons X, qui peuvent « *difficilement traverser 1 ou 2 mètres de béton* », relate Sébastien Procureur. De quoi envisager pouvoir percer les secrets de structures massives et inaccessibles.

Le projet mené au CEA a ainsi permis de détecter deux divergences entre les plans du réacteur G2 et sa structure réelle. Il a fallu pour cela modéliser une maquette numérique de la centrale, en se basant sur des plans datés des années 1950, et la comparer aux mesures effectuées. Considérée comme une réussite par le laboratoire, l'expérience sera ainsi répétée sur le réacteur G3, lui aussi en cours de démantèlement, ainsi que sur des colis de déchets radioactifs. Elle va aussi essaimer, au-delà du CEA, via une cession de licence auprès du fabricant Iris Instruments.

L'entreprise, issue du BRGM, devrait ainsi commercialiser dans l'année un instrument de muographie prêt à l'emploi, basé sur trois brevets du CEA. Les applications de la technologie sont nombreuses et variées : de la recherche de gisements dans le sous-sol à l'archéologie, en passant par la surveillance de l'état d'un barrage comme la sécurité et les douanes – des projets visant à détecter des matériaux nucléaires illégaux ou des convois de cigarettes de contrebande dans des wagons remplis de billes d'acier sont notamment déjà en cours. Mettant la physique des particules en pratique, sur le terrain.

Ecoutez le pionnier de l'imagerie par muons Jacques Marteau dans cette vidéo du CNRS :

<https://www.youtube.com/watch?v=6p1aZxfyZIU>