

ÉQUIPEMENT DE LABORATOIRE DE TRITRI OU TRIAxIAL VRAI POUR ROCHES

FICHE N° 1288

PRÉSERVER
SAUVEGARDER
VALORISER

Période de fabrication : -

Fabricant : 3SR Laboratoire Sols, Solides, Structures, Risques ; Spretec ; Outilleux

Domaines : Physique

Sous-domaines : Physique du solide

Organisme : Mécanique des solides

Ville : Saint-Martin d'Hères (Isère)

Modèle :

Matériaux : Acier inoxydable, Métal, Saphir, Composants électroniques, Composants électriques

Description

Cet équipement de laboratoire est composé d'un appareil triaxial vrai pour roches muni d'un dispositif de visualisation sous chargement, ainsi que de pièces annexes comme les membranes d'étanchéité enveloppant les échantillons prismatique (de forme rectangulaire à six faces). Il a été conçu en deux phases, une pré-conception de principe en interne, au laboratoire du 3SR, puis une conception finale par le bureau d'étude SPRETEC (Seyssins). L'usinage des pièces a été réalisé par l'entreprise OUTILLEX (Echirolles). Le montage-assemblage s'est fait en interne au sein du laboratoire 3SR.

Dans une structure métallique cubique surmontée d'un prisme triangulaire servant de bâti de manutention, se trouve un ensemble de plusieurs éléments. La partie centrale de l'appareil constitue le cœur de la cellule triaxiale : une pièce métallique cylindrique de forte épaisseur, dite chambre de confinement, dans laquelle est placé l'échantillon protégé par une membrane étanche souple ; l'ensemble étant amovible. Le fluide de confinement (huile) qui en cours d'expérimentation remplit la chambre de confinement est chargé d'appliquer une contrainte sur l'échantillon (via la membrane d'étanchéité) dans une des deux directions horizontales de l'échantillon prismatique (contrainte mineure). Une des faces de la chambre de confinement est fermée par un hublot transparent en saphir. Sur la face opposée, une fois l'échantillon mis en place, se positionne un vérin hydraulique dont le rôle est d'appliquer la contrainte dans la seconde direction horizontale de l'échantillon prismatique (contrainte intermédiaire). Enfin, dans la direction verticale, un second vérin hydraulique est fixé à la chambre de confinement, son rôle est d'appliquer la contrainte verticale sur l'échantillon (contrainte majeure). La chambre de confinement et les deux vérins hydrauliques sont reliés à trois pompes hydrauliques (Sanchez Technologie – modèle VPSSV 300/1000 S) de capacité 100 MPa et 300 cm³. Si la contrainte mineure exercée par le fluide de confinement, dans une première direction horizontale de l'échantillon, peut monter à 100 MPa, la contrainte intermédiaire dans la seconde direction horizontale peut monter quant à elle jusqu'à 630 MPa et la contrainte majeure dans la direction verticale à 770 MPa.

Enfin, deux pompes hydrauliques annexes (ST Stigma 300) de capacité 100 MPa et 300 cm³ viennent compléter le dispositif si besoin. Elles peuvent avoir plusieurs rôles, par exemple d'imposer un écoulement de fluide à l'intérieur de la porosité de l'échantillon pour réaliser des mesures de perméabilité de la roche ou bien d'exercer une pressurisation interne à l'échantillon si celui-ci contient une cavité préalablement forée (modèle réduit de forage ou de galerie souterraine). Les cinq pompes hydrauliques sont pilotées par le logiciel ST Falcon afin de contrôler le chemin de chargement imposé à l'échantillon. Un grand ensemble de connectiques (électronique, hydraulique) protégé par des passages étanches, permet soit de contrôler l'appareil, soit d'établir des mesures de suivi (mesures externes ou internes à la cellule).

La visualisation se fait à travers le hublot en saphir (qualité optique) via un appareil photographique de haute résolution et un système d'éclairage à fibres optiques positionnés en face de l'appareil pour illuminer l'échantillon sous chargement. Les photographies réalisées au cours des essais sont analysées par des méthodes de corrélation d'image numérique pour quantifier la cinétique de déformation des échantillons (champs de déplacement, champs de déformation).

Les échantillons prismatiques sont de forme rectangulaire et sont généralement extraits, par découpage et surfacage, de blocs de roches tendres. Ce sont les grès et les roches argileuses qui sont les plus étudiées avec cet appareil. Les dimensions des échantillons sont : hauteur 50 mm ; largeur 25 mm ou 50 mm ; profondeur 30 mm ; diamètre de la cavité centrale (facultatif) 10 mm. Les membranes qui entourent les échantillons et qui les protègent du fluide de confinement sont conçues et fabriquées par moulage au laboratoire, par injection de polyuréthane. Une seule membrane peut être utilisée une vingtaine de fois

et nécessite quelques heures de travail.

Il existe environ une dizaine d'appareils triaxial vrai pour roches dans le monde. Celui du laboratoire 3SR présente une spécificité unique via son dispositif optique de visualisation des échantillons sous chargement, offrant la possibilité de mener une analyse quantitative des modes de déformation des échantillon (déformation diffuse, localisée, fissuration, etc...).

Utilisation

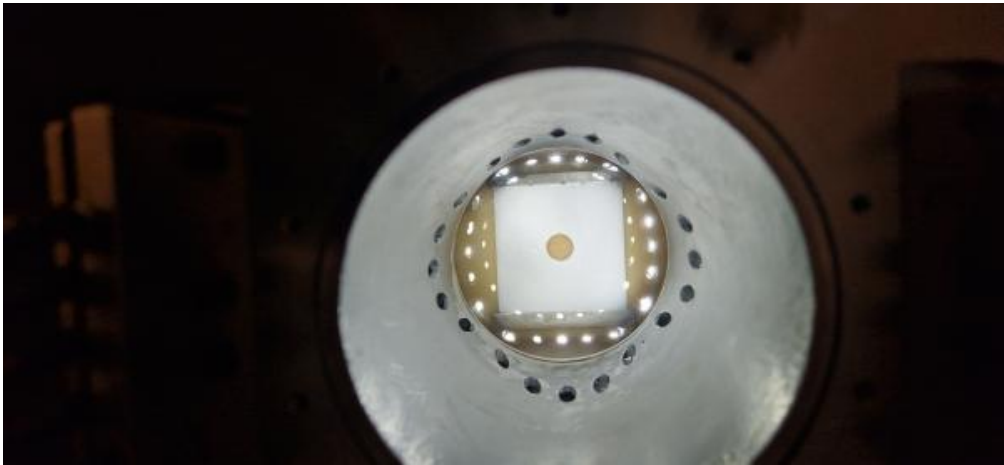
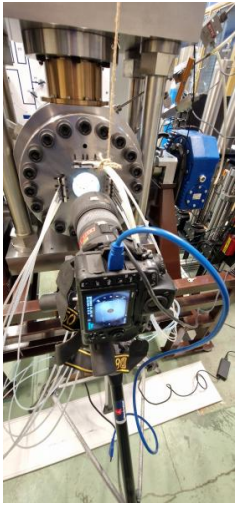
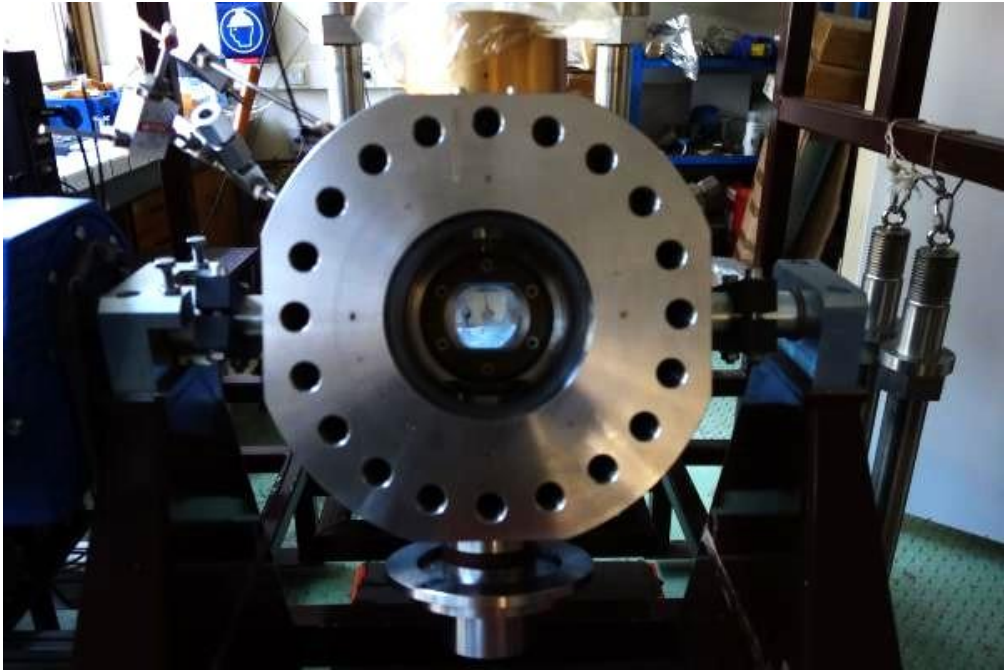
L'appareil, mis en service en 2009, a pour objectif de reproduire les états de contraintes sur les premiers kilomètres de profondeur sous la surface terrestre sur des échantillons de roche. Pour cela, il peut appliquer tout type d'état de contrainte pouvant exister en profondeur grâce à un contrôle indépendant des trois contraintes principales (mineure, intermédiaire et majeure), d'où son nom de triaxial vrai. La seule limite est que la direction de ces contraintes principales est fixe dans le temps. Les contraintes sont obtenues de deux manières : grâce à un fluide (huile) de confinement, isolé de l'échantillon par une membrane souple, pour la direction mineure (à 100 MPa) tandis que pour les contraintes intermédiaire (à 630 MPa) et majeure (à 770 MPa), cela se fait grâce à deux vérins hydrauliques en contact direct. Les contrôles du chargement deux contraintes intermédiaire et majeure peuvent se faire soit via une consigne sur la contrainte, soit une consigne sur le déplacement des vérins. Par des disposition originales, l'état des contraintes dans l'échantillon est précis et homogène afin d'éviter les principaux écueils rencontrés dans les appareils triaxiaux vrais, où les arêtes de l'échantillon sont souvent des amorces de fissuration.

Le dispositif de visualisation via le hublot transparent permet d'observer une des faces de l'échantillon tout au long de l'expérience. Cela permet donc d'avoir une vision de l'évolution de la géométrie et de réaliser des prises de vue photographiques. Ces dernières sont ensuite analysées par corrélation d'image (étude de la transformation d'une image à l'autre) afin de quantifier les déplacements et déformation en lien avec le chargement appliqué par l'appareil. La corrélation d'image nécessite une préparation préalable de la surface de l'échantillon pour créer un mouchetis via un dépôt aléatoire de gouttelettes très fines de peinture sur l'échantillon. La qualité des images est telle qu'un pixel de l'image correspond à environ 10 μm sur l'échantillon. La corrélation appliquée à ces images permet de mettre en évidence des détails extrêmement fin dans le champ de déformation mesuré (apparition de déformation localisée, de fissures, etc...).

Cet équipement du laboratoire du 3SR permet ainsi, outre le fait de pouvoir appliquer des états de contrainte non standards en mécanique des roches, d'étudier le phénomène de localisation de la déformation dans les roches et de le mettre en lien avec leur réponse mécanique (échantillon qui se fissure) et la nature des sollicitations appliquées (mesure précise des contraintes appliquées). Ces déformations localisées dans les roches sont généralement un marqueur de rupture car elles entraînent plus ou moins progressivement une perte de résistance du matériau. De plus, les zones de localisation peuvent devenir des chemins d'écoulement préférentiels du fluide présent la porosité de la roche. Des modifications récentes apportées sur les échantillons ou sur l'appareil permettent de travailler de nouvelles thématiques (perméabilité ou pressurisation interne par exemple). Différents domaines d'application sont concernés par ces études : enfouissement de déchets nucléaires, stabilité de galerie ou de forage, fissuration induite de la roche, etc...









Pour nous citer :

Base de la Mission nationale de sauvegarde et de valorisation du patrimoine scientifique et technique contemporain, PATSTEC, Équipement de laboratoire de Tritri ou triaxial vrai pour roches (3SR Laboratoire Sols, Solides, Structures, Risques ; Spretec ; Outillex), <https://www.patstec.fr/ressources/objets/detail?id=31902>, consulté le 2026-07-24