

Premier déploiement réussi d'un spectromètre à amplification résonnante d'absorption pour analyser les gaz dissous dans l'océan

Une mission originale vient de s'achever en mer Méditerranée: des glaciologues et des physiciens des lasers ont embarqué à bord d'un navire scientifique pour déployer pour la première fois en mer un spectromètre laser basé sur la technologie à amplification résonnante d'absorption brevetée à Grenoble. L'instrument utilisé - unique en son genre - a été conçu en vue d'un projet de forage à venir dans la calotte de glace antarctique. Cette campagne en Méditerranée a permis de le tester dans un premier temps pour une toute autre application et dans un milieu bien différent : l'analyse à haute résolution spatio-temporelle des gaz dissous dans l'océan. Le succès de cette mission ouvre des perspectives prometteuses pour élargir encore le spectre des applications de cette technologie particulièrement sensible.

Depuis 2012 et dans le cadre des projets ERC ICE&LASERS¹ et ANR SUBGLACIOR², un partenariat original s'est mis en place entre des chercheurs glaciologues, étudiant les climats et l'atmosphère du passé grâce aux carottes de glace, et des spécialistes de la physique des lasers pour la détection de gaz-traces. Ces projets visent en particulier à construire une sonde révolutionnaire – dénommée Subglacior – visant à analyser en continu la composition isotopique de l'eau (signal relié aux variations du climat) et la concentration en gaz à effet de serre au sein de la glace de l'immense glacier antarctique. Cette sonde doit percer la glace sur près de 3000 mètres d'épaisseur et embarquer un spectromètre laser permettant ces analyses géochimiques en temps réel au sein même du glacier. L'objectif scientifique justifiant ce projet audacieux consiste à étudier la transition climatique majeure du mi-Pléistocène ayant pris place il y a environ un million d'années, voyant la rythmicité des variations climatiques terrestres changer dramatiquement et pour une raison encore inconnue³.

La technologie qui sera utilisée pour l'instrument de la sonde Subglacior a été brevetée dans les années 2000 à l'université Joseph Fourier de Grenoble. Dénommée « spectrométrie à amplification résonnante d'absorption » ou SARA⁴, elle repose sur une rétroaction optique entre un laser infrarouge et une cavité de faible volume dans laquelle circule le gaz-échantillon. Par rapport à d'autres techniques de détection optique de traces gazeuses, elle offre une sensibilité particulièrement élevée et une excellente statistique de mesure. Alors que des instruments SARA ont déjà été construits pour des utilisations en laboratoire ou sur le terrain⁵, le défi ici consiste à considérablement réduire les dimensions de l'appareil afin qu'il puisse intégrer une sonde de faible diamètre. Au terme de plus de deux années de R&D, l'instrument testé ici pour la première fois possède un diamètre réduit à seulement 7 cm et une longueur de 120 cm.

Afin de tester son comportement et ses performances avant son utilisation dans la glace antarctique, les chercheurs de Grenoble ont eu l'idée de le déployer dans un premier temps

¹ European Research Council Advanced Grant "Innovative concepts for extracting climate and atmospheric composition records from polar ice cores using new laser sensors" (<http://www.iceandlasers.org>). Coordinateur : Jérôme Chappellaz, LGGE.

² Agence Nationale de la Recherche, projet Blanc « Sonde in-situ pour explorer la glace profonde polaire et le couplage entre climat et forçage orbital » (<http://www.subglacior.org>). Coordinateur : Olivier Alemany, LGGE.

³ <http://www.insu.cnrs.fr/environnement/cryosphere/ice-et-lasers-un-projet-erc-pour-l-etude-du-climat-et-de-l-atmosphere-passe>

⁴ <http://www.liphy.ujf-grenoble.fr/SARA-a-analyzer-of-gas-traces>

⁵ <http://www.ujf-grenoble.fr/universite/medias-et-communication/actualites/quand-sara-fait-parler-les-glaces-du-groenland-1438665.htm>

dans l'océan, en mesurant les gaz dissous en son sein. Il a fallu pour cela concevoir une interface spécifique, comprenant une séparation membranaire entre l'eau de mer et le gaz dissous ainsi qu'une circulation forcée d'un gaz vecteur embarqué pour renouveler très rapidement le contenu de la cavité optique et obtenir un faible temps de réponse de l'instrument.

Du 8 au 14 juillet 2014, cet instrument unique a pris son premier bain en mer Méditerranée grâce au navire scientifique Téthys II de la division technique de l'INSU⁶. Les conditions météorologiques défavorables (forte houle) ont obligé à limiter la profondeur de déploiement à environ 600 mètres sous la surface de la mer. Les premiers résultats s'avèrent toutefois très prometteurs : pour la première fois, un profil très détaillé de la concentration en méthane dissous dans l'eau a été obtenu, montrant des variations le long de la colonne d'eau à l'échelle de seulement quelques dizaines de mètres, qui semblent corrélées à des variations de la teneur en oxygène mesurée grâce à un autre instrument embarqué.

Ce succès ouvre la voie à d'autres développements très prometteurs. En effet plusieurs gaz-traces autres que le méthane pourraient être analysés à l'avenir dans l'eau de mer, en utilisant des longueurs d'onde différentes d'absorption infrarouge. L'accès aux rapports isotopiques de certains gaz est aussi envisageable. Grâce à la résolution exceptionnelle dans l'espace et dans le temps offerte par cette technologie, plusieurs questionnements scientifiques en océanographie pourraient être abordés par des observations originales en technologie SARA, qui concernent aussi bien la dynamique océanique grâce à l'analyse de traceurs gazeux échangés avec l'atmosphère, que l'étude de sources profondes à l'interface entre le sédiment et l'océan (dégazage d'hydrates de méthane, sources hydrothermales,...).

Outre les apports de l'ERC et de l'ANR, ce projet a bénéficié du soutien du comité national de la flotte côtière.

Contacts :

LGGE :

- Jérôme Chappellaz (tél : 04 76 82 42 64 ; jerome@lgge.obs.ujf-grenoble.fr)
- Jack Triest (tél : 04 76 82 42 02 ; jack.triest@lgge.obs.ujf-grenoble.fr)

LIPhy :

- Daniele Romanini (tél : 04 76 51 47 67 ; daniel.romanini@ujf-grenoble.fr)
- Roberto Grilli (tél : 04 76 51 47 67 ; roberto.grilli@ujf-grenoble.fr)

Illustrations : cf pages suivantes

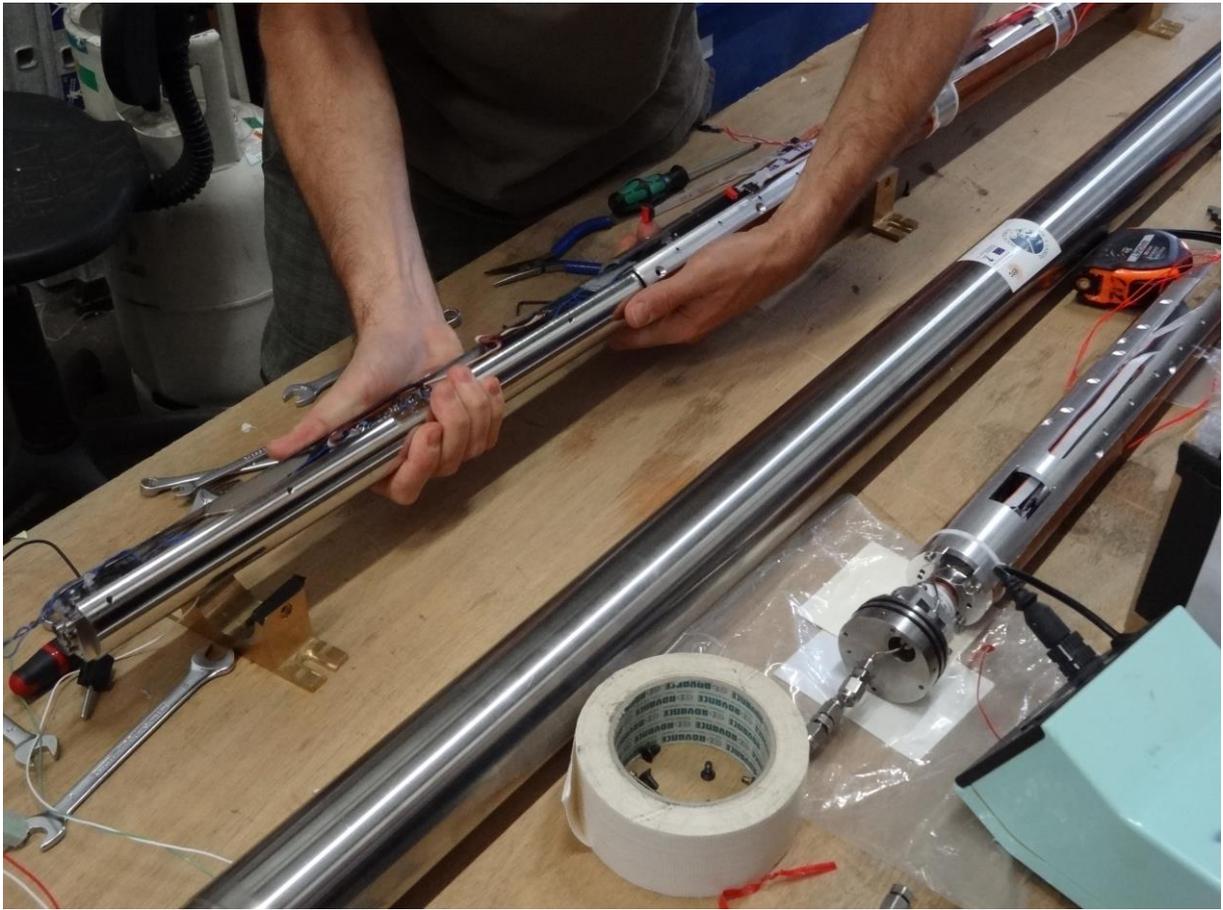
⁶ <http://www.dt.insu.cnrs.fr/flottille/tethys.php>



Légende : premier déploiement de l'instrument de type SARA en Méditerranée. Crédit : Jérôme Chappellaz (LGGE, OSUG, CNRS/UJF).



Légende : L'équipe de glaciologues, physiciens des lasers et marins ayant pris part à ce premier déploiement de l'instrument SARA que l'on voit au premier plan. Crédit : Jérôme Chappellaz (LGGE, OSUG, CNRS/UJF).



Légende : La cavité optique du spectromètre SARA en cours d'assemblage. Crédit : Jérôme Chappellaz (LGGE, OSUG, CNRS/UJF).



Légende : le système de gestion de l'échantillon gazeux. Crédit : Jérôme Chappellaz (LGGE, OSUG, CNRS/UJF).