

**Intitulé de la thèse :** Etude d'événements solaires extrêmes, de l'activité solaire et du champ géomagnétique pendant la dernière déglaciation à partir du béryllium-10 et du chlore-36 mesurés sur le forage de glace du site de Dôme Talos (Antarctique)

**Laboratoire d'accueil :** CEREGE (Centre de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement, <https://www.cerege.fr/fr/>), Aix-en-Provence.

**Descriptif du sujet de thèse :**

L'étude des nucléides cosmogéniques, le béryllium 10 ( $^{10}\text{Be}$ ) et le chlore 36 ( $^{36}\text{Cl}$ ) dans les glaces polaires et le carbone 14 ( $^{14}\text{C}$ ) dans les cernes d'arbres, permet de reconstituer les variations de leur taux de production dans l'atmosphère. Ils sont constamment produits par l'interaction du rayonnement cosmique galactique sur des atomes cibles présents dans l'atmosphère terrestre. Leur taux de production dépend de l'intensité des champs magnétiques du Soleil et de la Terre qui modulent le flux de particules chargées sur Terre. En mesurant les cosmonucléides dans différentes archives, il devient donc possible de reconstituer les variations de l'activité solaire ou celles du champ géomagnétique pour des périodes passées pendant lesquelles les indicateurs directs n'étaient pas encore disponibles.

Les cosmonucléides permettent également de détecter des événements solaires singuliers liés à des émissions extrêmes de particules provenant du Soleil. Ces événements extrêmes provoquent une surproduction de cosmonucléides que l'on retrouve dans les archives géologiques au sens large. La découverte de ces pics de production de cosmonucléides remet en question les connaissances des tempêtes solaires qui sont basées sur les observations instrumentales du dernier siècle pendant lequel des éruptions solaires ont été beaucoup plus faibles que celles mises en évidence avec les cosmonucléides. Pourtant, il est nécessaire de déterminer la limite supérieure de l'énergie émise pendant ces événements afin de préparer nos sociétés aux risques qu'elles encourent telles que des pannes sévères ou des coupures d'électricité et des systèmes de télécommunications. La fréquence de ces événements solaires extrêmes est faible, mais les conditions dans lesquelles ils se sont produits restent à déterminer. Il est donc nécessaire d'améliorer nos connaissances afin de pouvoir espérer les prévoir.

Un événement solaire extrême a été détecté dans les données de  $\Delta^{14}\text{C}$  de cernes d'arbres à 14300-14299 ans B.P. (Before Present, avant 1950), suivi d'un minimum d'activité solaire entre 14 000 et 13 900 ans B.P. (Bard et al., 2023 ; <https://doi.org/10.1098/rsta.2022.0206>). Ces nouvelles informations issues du  $^{14}\text{C}$  doivent être confirmées par des données indépendantes. A ce jour, il n'existe pas de données de  $^{10}\text{Be}$  et de  $^{36}\text{Cl}$  de carottes de glace à une résolution suffisante pour discuter de ces deux périodes avec une grande précision. De plus, la détermination du spectre d'énergie d'un événement solaire est basée sur le rapport isotopique  $^{36}\text{Cl}/^{10}\text{Be}$ . Il est donc primordial d'acquérir de nouvelles données de  $^{10}\text{Be}$  et de  $^{36}\text{Cl}$ . Un autre événement solaire ayant eu lieu au début de l'Holocène, à 9124 ans B.P., devrait aussi être l'objet d'une telle étude (Paleri et al., 2022 ; <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27891-4>).

Le projet de thèse inclura les mesures des concentrations de béryllium-10 ( $^{10}\text{Be}$ ) et de chlore-36 ( $^{36}\text{Cl}$ ) à partir de la carotte de glace provenant du site de Dôme Talos, en Antarctique (<https://www.taldice.org/>). Cette étude sera dédiée à la dernière déglaciation et au début de l'Holocène, entre 18 000 et 9 000 ans B.P., avec une focalisation autour de 14 000 et de 9000 ans B.P. En parallèle aux changements de l'activité solaire, il faudra aussi tenir compte des variations lentes du champ géomagnétique. De plus, la dernière déglaciation est une période complexe car le cycle du carbone a été modifié, influençant les valeurs du  $^{14}\text{C}$  atmosphérique sans lien avec son taux de production par le rayonnement cosmique. La comparaison des données de  $^{14}\text{C}$  avec les enregistrements des flux de  $^{10}\text{Be}$  et de  $^{36}\text{Cl}$  devra tenir compte de ces complications, un travail qui pourra être complété par l'utilisation de modèles numériques.

Les échantillons seront préparés dans l'unité de chimie des glaces polaires du CEREGE (Laboratoire de Géochimie Organique, Inorganique et Isotopique, LGO21) et mesurés grâce au spectromètre de masse par accélérateur ASTER, instrument national installé au CEREGE.

Cette thèse est soutenue financièrement par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du projet collaboratif franco-suisse AEON (Volcanic and solar particle events in the past: Atmospheric Effects and cOsmogenic Nuclides in ice cores) porté par le CEREGE et l'Observatoire de Physique et de Météorologie de Davos (<https://www.pmodwrc.ch/en/home/>).

Le candidat/la candidate sera rattaché(e) à l'équipe Climat du CEREGE et aura de fortes interactions avec l'équipe du Laboratoire National des Nucléides Cosmogéniques (LN2C).

**Compétences requises :**

Des connaissances solides en chimie analytique, chimie des solutions, et un goût prononcé pour l'expérimentation sont requis. Le/la candidat(e) devra avoir de bonnes connaissances en sciences de la Terre et en climatologie/paléoclimatologie. Des compétences en modélisation seraient fortement appréciées.

**Encadrants :**

**Directrice de thèse**

Mélanie Baroni

Maître de conférences à Aix-Marseille Université

CEREGE (Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, INRAE, Collège de France)

Le Trocadéro, Technopôle de l'Arbois BP80, 13545 Aix-en-Provence cedex 4

email: [baroni@cerege.fr](mailto:baroni@cerege.fr)

**Co-Directeur de thèse (HDR):**

Edouard Bard

Professeur au Collège de France, Chaire de l'évolution du climat et de l'océan

CEREGE (Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, INRAE Collège de France)

Le Trocadéro, Technopôle de l'Arbois BP80, 13545 Aix-en-Provence cedex 4

e-mail: [bard@cerege.fr](mailto:bard@cerege.fr)

**Date limite d'envoi des candidatures (Curriculum Vitae et lettre de motivation):**

24 juin 2024

**Date du début du contrat :**

1<sup>er</sup> Octobre 2024