



## **Reconstruction of carbon cycle-climate interactions between 600 and 800 thousand years ago from the analysis of the air trapped in the deep ice of the EPICA Dome C Antarctic core**

Many uncertainties remain on the future and past interactions between climate and the carbon cycle, as well as their impact on the different components of the Earth system. In this context, paleoclimatology provides useful information. The Quaternary climate (last 2.58 million years, Ma), is punctuated by warm periods called interglacials, each of them lasting between ~5,000 and ~30,000 years. These interglacials are characterized by reduced ice cover on the Northern Hemisphere continents and alternate with cold periods, called glacials, associated with large ice caps in the Northern Hemisphere. The cyclicity associated with this succession of glacial-interglacial periods changed during the Middle Pleistocene Transition (occurring between ~1.2 Ma and ~700,000 years ago) from ~41,000 to ~100,000 years. Interglacial periods provide relevant information in the context of global warming as they offer a series of natural laboratories to study the processes within the Earth system for a wide range of warm conditions.

Analyses of the ice and the air trapped in the bottom of the EPICA Dome C (EDC) Antarctic ice core could identify several particularly-interesting interglacial periods between 600,000 and 800,000 years ago: Marine Isotope Stage 15 (MIS 15), MIS 17 and MIS 19. MIS 15 and MIS 17 stand out from the climate variations of the last 800,000 years because of the particular pattern of polar warming during these periods, while MIS 19 is the best analogue for understanding the interactions between the carbon cycle and climate change in a context of natural forcings because of its similarity in orbital configuration to the current interglacial. Finally, these 'old' interglacials occur in an intriguing context where glacial-interglacial cyclicity is no longer ~41,000 years but not yet ~100,000 years. However, the study of the 800 000-600 000-year time interval remains globally limited as few Antarctic ice cores record this old period while the analysis of the deep ice in the EDC core that covers this time-interval remains challenging. Thus, we still lack a precise determination of the sequence of events between climate change, carbon cycle variations and orbital forcing during the MIS 15, MIS 17 and MIS 19 interglacial periods and the deglaciations that precede them.

In close collaboration with our colleagues at the Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (Saclay, France), this PhD project proposes to study several climate and environmental tracers measured in the air trapped in the last 200 m of the EDC ice core over the period 800,000-600,000 years. In particular, it will rely on new measurements of ice air content, O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ratio, and O<sub>2</sub> isotopic composition ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{atm}}$ ) with the goal of producing a new dating of the EDC core over this time interval. New millennial- and sub-millennial scale measurements of atmospheric greenhouse gas concentrations (CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>), carbon isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$  of CO<sub>2</sub>), and impurities will provide unique sequences of events between climate variations, carbon cycle changes, and orbital forcing during these 'old' interglacials and the preceding deglaciations. These new data will be compared to existing millennial-scale data on more recent interglacials (MIS 5, MIS 7) to refine our understanding of interglacials in the context of the last 800 000 years.

This project consists of (1) an analytical part of data acquisition from the analysis of ice core samples with innovative methods developed in the framework of the national analytical platform [PANDA](#), including a new optical spectrometer for the measurement of CO<sub>2</sub> and  $\delta^{13}\text{C}$  of CO<sub>2</sub>, (2) an analytical part of the new records for dating purposes involving the PALEOCHRONO dating model developed at the IGE (3) an interpretation part to identify the carbon sinks and sources that modulate the CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere and the changes in the carbon cycle from simple models and finally (4) a synthesis part to propose new reference climate sequences between 800 000 and 600 000 years ago.

We are looking for a student highly motivated by the study of climate and paleoclimate with a strong background in physics and/or geosciences. This PhD project requires the ability to work as part of a team and to collaborate with teams outside IGE, in France and abroad. A good written and spoken English is required.

This project is funded through the project ToBE by the French National Research Council (ANR) and it has some strong interaction with the European Project Beyond EPICA Oldest Ice Core.

**Contacts :**

Emilie Capron ; [emilie.capron@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:emilie.capron@univ-grenoble-alpes.fr)

Frédéric Parrenin ; [frederic.parrenin@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:frederic.parrenin@univ-grenoble-alpes.fr)

## **Reconstitution des interactions entre le cycle du carbone et le climat entre 600 et 800 mille ans avant nos jours à partir de l'analyse de l'air piégé dans la glace profonde de la carotte antarctique EPICA Dome C**

De nombreuses incertitudes demeurent sur les interactions futures et passées entre climat et cycle du carbone, ainsi que leur impact sur les différentes composantes du système Terre. Dans ce contexte, la paléoclimatologie apporte des informations indispensables. Le climat du Quaternaire (les derniers 2.58 millions d'années, Ma), est ponctué de périodes chaudes appelées interglaciaires, chacune d'entre elles couvrant entre ~5 000 et ~30 000 ans. Ces interglaciaires sont caractérisés par une couverture réduite en glace sur les continents de l'hémisphère nord et alternent avec des périodes froides, dites glaciaires, associées à de larges calottes de glace dans l'hémisphère nord. La cyclicité associée à cette succession de périodes glaciaires-interglaciaires a changé au cours de la Transition du Pléistocène Moyen, se produisant entre ~1.2 Ma et ~700 000 ans, passant de ~41 000 à ~100 000 ans. Les périodes interglaciaires apportent des informations pertinentes dans le contexte de réchauffement global puisqu'ils offrent une série de laboratoires naturels qui permettent d'étudier les processus au sein du système Terre pour un large éventail de conditions chaudes et comparables à aujourd'hui.

L'analyse de la glace et de l'air piégé dans le bas de la carotte de glace antarctique EPICA Dome C (EDC) a permis de mettre en évidence plusieurs périodes interglaciaires particulièrement intéressantes entre 600 000 et 800 000 ans avant nos jours : le Stade Marin Isotopique ou 'Marine Isotope Stage' 15 (MIS 15), MIS 17 et MIS 19. Les MIS 15 et MIS 17 se détachent des variations climatiques des derniers 800 000 ans de par la structure particulière du réchauffement polaire lors de ces périodes tandis que de par la ressemblance de sa configuration orbitale avec celle de l'interglaciaire actuel, le MIS 19 représente le meilleur analogue pour comprendre les interactions entre cycle du carbone et changement climatique dans un contexte de forçages naturels. Enfin, ces 'vieux' interglaciaires se produisent dans un contexte intrigant où la cyclicité glaciaire-interglaciaire n'est plus vraiment de ~41 000 ans, ni encore tout à fait de ~100 000 ans. Toutefois, l'étude de l'intervalle de temps 800 000-600 000 ans est globalement limitée car peu de carottes de glace antarctique enregistrent cet intervalle de temps très reculé tandis que l'analyse de la glace profonde de la carotte EDC qui couvre cette période reste délicate. Ainsi, nous manquons toujours d'une détermination précise des séquences d'événements entre changements climatiques, variations au sein du cycle du carbone et forçage orbital au cours des périodes interglaciaires MIS 15, MIS 17 et MIS 19 et des périodes de déglaciations qui les précèdent.

Dans le cadre d'une collaboration étroite avec nos collègues du Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, ce projet de thèse propose d'étudier plusieurs traceurs climatiques et environnementaux mesurés dans l'air piégé dans les derniers 200 m de la carotte de glace EDC et qui couvrent la période 800 000-600 000 ans. En particulier, il reposera sur des nouvelles mesures de la teneur en air de la glace, du rapport  $O_2/N_2$  et de la composition isotopique de  $O_2$  ( $\delta^{18}O_{atm}$ ) dans le but de produire une nouvelle datation de la carotte EDC sur cet intervalle de temps. Des nouvelles mesures à l'échelle millénaire et sub-millénaire des concentrations atmosphériques en gaz à effet de serre ( $CO_2$  et  $CH_4$ ), des isotopes du carbone ( $\delta^{13}C$  du  $CO_2$ ) et des impuretés permettront d'apporter des séquences d'événements inédites entre les variations du climat, les changements du cycle du carbone et le forçage orbital au cours de ces 'vieux' interglaciaires et des déglaciations qui précèdent. Ces nouvelles données seront comparées à celles qui existent à l'échelle millénaire sur les interglaciaires plus récents (MIS 5, MIS 7) afin d'affiner notre compréhension des interglaciaires dans le contexte des derniers 800 000 ans.

Ce projet se compose (1) d'une partie analytique d'acquisition de données à partir de l'analyse d'échantillons issus de carottes de glace avec des méthodes innovantes développées dans le cadre de la plateforme analytique nationale [PANDA](#), dont un nouveau spectromètre optique pour la mesure du  $CO_2$  et  $\delta^{13}C$  du  $CO_2$ , (2) d'une partie d'analyses des nouveaux enregistrements à des fins de datations impliquant le modèle de datation PALEOCHRONO développé à l'IGE, (3) d'une partie d'interprétation pour identifier les puits et les

sources de carbone qui modulent la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère les changements au sein du cycle du carbone à partir de modèles simples et enfin (4) d'une partie de synthèse pour proposer de nouvelles séquences climatiques de référence entre 800 000 et 600 000 ans.

Ce projet s'adresse à un(e) étudiant(e) motivé(e) par l'étude du climat et du paléoclimat avec des bases solides en physique et/ou géosciences. Il nécessite de bonnes capacités pour travailler en équipe et collaborer avec des équipes extérieures à IGE, en France et à l'étranger. Une maîtrise de l'anglais est nécessaire.

Ce projet est financé par le projet ANR ToBE et en forte interaction avec le projet européen Beyond EPICA.

**Contacts :**

Emilie Capron ; [emilie.capron@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:emilie.capron@univ-grenoble-alpes.fr)

Frédéric Parrenin ; [frederic.parrenin@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:frederic.parrenin@univ-grenoble-alpes.fr)