

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT
D'ILE DE France N° 129

Proposition de sujet de thèse pour la rentrée 2019

Nom du Laboratoire d'accueil : **LOCEAN**

N° UMR : **7159**

Nom du Directeur du laboratoire : **Jean-Benoit Charrassin**

Adresse complète du laboratoire : **LOCEAN – Case 100 – UPMC 4, Place Jussieu – 75252 Paris Cedex 05**

Nom de l'Equipe d'accueil et adresse si différente de celle du laboratoire : **VALCO**

Nom du Directeur de thèse **HDR** : Bruno TURCQ

Nom du co-directeur **non HDR** : Delphine DISSARD

(HDR prévue en 2020)

et Delphine DESMARES (CR2P)

Mail : bruno.turcq@ird.fr Tel : 0665448610

Mail: Delphine.Dissard@ird.fr

delphine.desmares@sorbonne-universite.fr

• **Titre de la thèse en Français** : Les foraminifères traceurs des changements climatiques actuels (Moderne) et passés (Paléogène) : Processus, calibration et application d'une approche couplée écologie et géochimie

• **Titre de la thèse en Anglais**: Foraminifera as a tool to reconstruct actual (Modern) and past (Paleogene) climatic changes: Towards improved calibrations using both ecological and geochemical proxies, application.

• **Résumé Sujet en Français (1page maximum)**

Introduction

La reconstitution des conditions environnementales passées s'appuie le plus souvent sur des modèles actualistes, c'est-à-dire sur une transcription des liens observés dans la nature entre une propriété de l'environnement et un paramètre mesurable sur des objets susceptibles d'être conservés dans les séries géologiques. La mesure des compositions isotopiques de l'oxygène est, par exemple, devenue l'un des principaux traceurs des paléotempératures. La calibration dans l'actuel de traceurs nouveaux et indépendants est un enjeu majeur pour valider les reconstitutions paléoenvironnementales et évaluer les modèles paléoclimatiques. Le registre fossile offre en effet des analogues au changement climatique actuel pouvant permettre de contraindre l'impact des changements globaux sur les processus de calcification des micro-organismes. Ces biocalcificateurs se trouvent au cœur de la régulation du cycle du carbone, un des principaux paramètres de contrôle du climat. Le développement et la validation de nouveaux traceurs requièrent la mise en commun de l'expertise des communautés des paléontologues, géologues et géochimistes, ainsi que celles des océanographes, biologistes et écologues. Aujourd'hui, il devient urgent pour ces communautés d'allier leurs connaissances aussi bien sur le vivant que sur le fossile, mais également sur les différentes méthodologies et calibrations appliquées afin de développer une démarche commune qui permettra d'obtenir les informations clés nécessaires à la compréhension des grandes crises climatiques du passé mais aussi de l'évolution future du climat.

Les reconstructions paléoclimatiques reposent principalement sur la lecture des signaux géochimiques et écologiques enregistrés dans les fossiles. Les foraminifères, abondants dans les archives sédimentaires, offrent une opportunité unique de reconstruire les changements des paramètres environnementaux au cours du temps et d'évaluer ainsi la validité des scénarios sur les changements climatiques à venir. Cependant, certains problèmes demeurent quant à la compréhension et la calibration de ces traceurs, limitant leurs applications.

1) Traceurs géochimiques :

Les alcalino-terreux (Mg, Sr) et les isotopes stables ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$) des tests calcitiques des foraminifères sont des outils géochimiques couramment utilisés par les paléocéanographes pour reconstruire les conditions physico-chimiques de l'océan passé. Ces outils documentent les variations de température, qui est admis être le principal paramètre contrôlant leurs variations, sur de très longues échelles de temps, tel que le Paléogène, pour lesquelles nous ne possédons aucune autre donnée. Cependant, la précision des reconstructions peut être impactée i) par l'état de préservation des coquilles de foraminifères ii) par la méconnaissance de certains paramètres de l'eau de mer ayant évolué au cours du temps (ex. la concentration en Mg de l'eau de mer) et iii) par l'impact de paramètres environnementaux autres que la température (ex. le pH, la salinité) pouvant avoir une incidence sur ces signaux.

2) Traceurs morphologiques :

Parmi les traceurs écologiques, la porosité des tests est un paléothermomètre potentiel qui n'a pas encore été calibré. Les tests des foraminifères planctoniques sont criblés de pores micrométriques dont la densité, la distribution et le diamètre rendent compte des conditions environnementales. La densité de pores et le diamètre de ces pores permettent de définir la porosité (%).

Dans l'**actuel**, il existe encore très peu de données reliant la porosité des tests de foraminifères planctoniques aux paramètres physico-chimiques de la tranche d'eau (température, salinité). La porosité, étroitement liée à l'activité métabolique, permet les échanges gazeux à travers le test (respiration). Plusieurs études (Bé, 1968 ; Bijma et al., 1990 ; Burke et al., 2018) sur des espèces récentes ou actuelles tendent à montrer que le principal facteur de contrôle de la porosité est la température. Toutefois, ces foraminifères ont été soumis à des conditions extrêmes et la réponse de la porosité à des changements progressifs et réalistes de température n'a pas encore été testée.

Dans le **registre fossile**, seules de rares publications se sont intéressées à la porosité de différentes espèces de foraminifères planctoniques du Crétacé supérieur où, comme dans l'actuel, les données rendent compte d'une variation latitudinale (Fisher et al., 2003). Desmares et al. (2016) observent une forte diminution de la porosité lors de brèves périodes de refroidissement à la fin du Cénomani. Mais en l'absence de calibration, il est impossible d'estimer l'ordre de grandeur des variations de température qui pourraient causer ces variations de porosité. Pourtant la porosité pourrait permettre de mieux contraindre la dynamique climatique de ces périodes très anciennes où la mauvaise préservation des archives sédimentaires rend difficile l'estimation des paléotempératures par les traceurs géochimiques.

Objectifs: Allers-Retours actuels paléo pour une meilleure compréhension des changements climatiques passés et à venir.

Etablir des calibrations sur des foraminifères modernes pour lesquels tous les paramètres environnementaux sont connus (T°C, pH, salinité, $\delta^{18}\text{O}$ eau de mer) et appliquer ces calibrations aux archives paléogènes pour une meilleure lecture des anomalies climatiques passées.

Pour la première fois pourront être mesurés **sur les mêmes spécimens** :

1) les concentrations en Mg/Ca grâce à l'utilisation de la technique LA-ICPMS qui nécessite des 'spots' d'ablation de 40 microns de diamètre seulement, sur la dernière loge d'un foraminifère, 2) puis la mesure successive de la porosité sur la même dernière loge de ces mêmes spécimens, 3) et enfin la composition isotopique ($\delta^{18}\text{O}$) qui sera déterminée en regroupant par trois les foraminifères tous précédemment analysés pour le Mg/Ca et la porosité.

La détermination de ces trois traceurs à partir de mêmes spécimens devrait permettre de réduire les problèmes de qualité de l'échantillonnage/contamination/préservation et ainsi d'obtenir les meilleures calibrations possibles.

Matériel :

Référentiel actuel :

L'étudiant en thèse aura accès à des échantillons d'exception collectés en 2005 à bord du navire océanographique Polarstern (ANT XXIII/1, Bremerhaven-Cape Town, 2005), sur une section Nord-Sud de l'Océan Atlantique (de 22°38'N à 22°26'S avec des variations de température allant de 18°C à 30°C environ). Plus de 70 échantillons de foraminifères planctoniques (où les espèces *Globigerinoides sacculifer*, *Globigerina bulloides*, descendants actuels du genre *Subbotina*, sont représentées dans plus de la moitié d'entre eux) ont été collectés en continu toutes les huit heures, dans les eaux de surface (0-10m). Pour chaque échantillon, la température, la salinité, la chimie du carbonate et la composition isotopique en oxygène des eaux de surface ont été enregistrées.

Paléoclimatologie et paléocéanographie du Paléogène :

L'étudiant en thèse pourra accéder aux échantillons de deux sites à très bonne préservation :

-Un site Atlantique Nord situé autour de 55°N. Pour ce site, les mesures de porosité seront couplées aux analyses géochimiques ($\delta^{18}\text{O}$ et Mg/Ca). Situées aux mêmes latitudes que les stations de prélèvements des foraminifères actuels, les données acquises permettront d'estimer l'impact de la qualité de préservation des foraminifères sur les données écologiques et géochimiques. De plus, ce site couvre le PETM (*Paleocene-Eocene Thermal Maximum*) et le Paléocène. Avec l'étude du PETM, la réponse de la porosité, mais également de la calcification et de l'abondance des foraminifères, à un événement hyperthermal analogue à ce que l'on observe actuellement en terme de changement global, pourra être précisée.

-Un site de basse latitude TDP (Tanzania Drilling Project) qui permettra de réaliser des mesures géochimiques de qualité et de calibrer la réponse de la porosité avec des estimations de températures robustes.

Références :

- Bé A.W. (1968). Shell porosity of recent planktonic foraminifera as a climatic index. *Science*, 161, 881-161
- Below B (2018). Caractérisation du gradient latitudinal de températures au Paléogène : une analyse multiproxies. Mémoire de recherche de M2 GAELE*, 69p. *Master GAELE : Aménagement, Urbanisme, Développement et Prospective (Faculté des Lettres, Sorbonne Université).
- Burke J. E., et al. (2018). Factors Influencing Porosity in Planktonic Foraminifera. *Biogeosciences*, 15, 6607-6619.
- Bjima J., et al. (1990). Temperature and salinity limits for growth and survival of some planktonic foraminifera in laboratory cultures. *Journal of Foraminiferal Research*, 20, 95-116.
- Desmares D., et al. (2016). A new proxy for Cretaceous paleoceanographic and paleoclimatic reconstructions: Coiling direction changes in the planktonic foraminifera *Muricohedbergella delrioensis*. *Palaeogeography, Palaeoceanography, Palaeoecology*, 445, 8-17.
- Dissard D., et al. (2010a). Impact of seawater pCO₂ on calcification and Mg/Ca and Sr/Ca ratios in benthic foraminifera calcite : results from culturing experiment with *Ammonia tepida*. 81-93.
- Dissard D., et al. (2010b). The impact of salinity on the Mg/Ca and Sr/Ca ratio in the benthic foraminifera *Ammonia tepida*: Results from culture experiments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74, 928-940.
- Fisher C.G., et al. (2003). Planktic Foraminiferal Porosity Analysis as a tool for Paleocceanographic Reconstruction, Mid-Cretaceous Western Interior Sea. *Palaios* 18, 34-46.
- Fontanier C.; Dissard D. et al. (2018). Living (stained) deep-sea foraminifera from the Sea of Marmara : A preliminary study DSR-II V153-61-78.
- Lessa DVO et al., (2014). Planktonic foraminifera in the sediment of a western boundary upwelling system off Cabo Frio, Brazil. *Marine Micropaleontology*, 106, 55-68.
- Lessa DVO et al., (2016). Holocene oscillations of Southwest Atlantic shelf circulation based on planktonic foraminifera from an upwelling. *The Holocene*, 1-13.
- Solé F., Noiret C., Desmares D., et al. (2018). Reassessment of historical sections from the Paleogene marine margin of the Congo Basin reveals an almost complete absence of Danian deposits. *Geoscience Frontiers*, In press.

• Type de financement autre que ED 129, précisez si envisageable ou acquis (CNES, CEA, ADEME etc...) :

D. Dissard et D. Desmares ont obtenu le financement d'un projet Fédérateur du Département Origine et Evolution du MNHN (Projet TempO de 3K€) pour l'année 2019 qui couvrira les couts des premières analyses de l'étudiant poursuivant en thèse. Les collaborations des directeurs et encadrants permettront à l'étudiant d'avoir un accès privilégié à la plateforme d'analyses isotopiques de l'ISTeP où les mesures sont réalisables sur une très faible quantité de matériel (3 foraminifères nécessaires), mais également à la plateforme Alyses et US Imago (Mg/Ca).

• Encadrement :

. Liste des autres doctorants que vous encadrez au 1^{er} janvier 2019

En tant qu'encadrant principal :

Bruno Turcq : 1 Doctorant : Marco Yseki, bourse ARTS IRD, première inscription janvier 2018.

En tant que co-encadrant :

Delphine Dissard: aucun

Delphine Desmares :0,5

• Résumé Sujet en Anglais (*1 page maximum*)

The Earth has experienced many climate perturbations (e.g. K/T, PETM, G-IG...) that have occurred at different rates and intensities. The Paleogene period is marked by a global cooling trend, punctuated by brief events of extreme warming which are the closest analog to what observed on earth today. To overcome the lack of long-term instrumental records, paleo-reconstructions using geochemical signatures (or so-called "proxies") preserved in the carbonate skeleton of marine organisms such as foraminifera (found in virtually every marine habitats, over a geological period running from the pre-Cambrian to actual), provide a unique opportunity to reconstruct changes in seawater environmental parameters over time and evaluate the validity of climate change scenarios. Due to their calcitic shells, these microfossils are frequently preserved in sediments and are widely used for the reconstruction of past oceanic environments. Certain limitations remain however, one of them being the accuracy of proxy reconstructions. Most geochemical proxies (isotopic composition, elemental ratios...) are affected by more than one environmental parameter and by the 'vital-effects' superimposed by the living organisms (foraminifera, coral etc). Moreover, diagenesis and other alteration of the calcitic tests overtime can have an important impact on the geochemical signatures and therewith on the paleoenvironmental reconstructions.

Therefore, for a few decades now, studies have focused on the search of different tools to verify existing Paleogene data. Recently, works on porosity have shown its relationship with temperature. But so far, and even though this proxy appears much less sensitive to preservation problems, it has not been properly calibrated on the appropriate range of temperature. To date the combination of these different type of proxies (geochemical and ecological) seems the only way to resolve the incoherence observed in paleoenvironmental reconstructions. Increasing the accuracy of these reconstructions and understanding the biological response to actual and past global change **remain among the most urgent challenges in Biogeology today.**

1) Geochemical proxies

Over the last decade, sea surface temperature (SST) reconstructed from both the Mg/Ca ratio and isotopic composition ($\delta^{18}\text{O}$) of foraminiferal calcite have increasingly been used by paleoceanographers to reconstruct past environmental parameters of the ocean, over long period of time such as the Paleogene, for which no other data are available. However, the accuracy of the reconstructions can be impacted by i) the preservation condition of the calcitics tests, ii) the lack of knowledge regarding certain parameters of ocean seawater that are known to have varied over time (ex: Mg concentration in Seawater) and iii) the impact of other environmental parameters (pH, salinity).

2) Morphological proxies :

Among morphological proxies, inner porosity is a potential paleothermometer that has not been calibrated yet. Inner porosity (%) is the total percent area of the test that is occupied by pores. Pores are small perforations in the shells of all planktonic foraminifera. The density and the diameters of those perforations seem to be dependent of environmental conditions.

For actual specimen: Only a few studies are documenting the response of modern shell porosity to water masses parameters (temperature, salinity). Several studies (Bé, 1968 ; Bijma et al., 1990 ; Burke et al., 2018) on extant or modern species conclude that porosity is principally driven by temperature habitat. However, during laboratory experiments, planktonic foraminifera have been submitted to extreme conditions and the porosity response to natural and realistic temperature change have not been tested yet.

For fossil record, some papers are dedicated to the inner porosity of Upper Cretaceous planktonic foraminifera. Latitudinal distribution of porosity is documented by Fisher et al. (2003). Desmares et al. (2016) report on the decrease of inner porosity related to cooling episodes. But in the absence of calibration, it is impossible to estimate the order of magnitude of these temperature variations that could have caused porosity variations. Improved porosity calibrations should allow to better constrain the climatic dynamics of these past periods where poor preservation of the sedimentary record renders difficult the paleotemperatures reconstructions based on geochemical proxies.

Goals: Combined geochemical and ecological approach on modern and paleo archives for an improved understanding of Past and Future Climatic anomalies.

The aim will be to establish calibration on modern planktonic foraminifera for which every environmental parameters are known ($^{\circ}\text{C}$, pH salinity, and $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$) and apply these calibration to Paleogene archives for a better understanding of past climatic anomalies.

For the first time will be measured on the same specimens:

- 1) Mg/Ca concentrations using LA-ICPMS, for which only two ablation spots (of 40 micrometers of diameter) are necessary.
- 2) followed by the measurement of porosity on the same last chamber of the exact same specimen.
- 3) and finally the isotopic composition ($\delta^{18}\text{O}$) will be determined grouping three tests of foraminifera all previously analyzed for both elemental composition and porosity.

The determination of these three proxies on the same specimen should drastically reduce problems linked to samples quality/contamination/preservation and should allow for improved calibration.

Material :

Modern (living foraminifera at the time of collection)

The PhD student will have access to rare samples collected in 2005 on board of the research vessel Polarstern (ANT XXIII/1, Bremerhaven-Cape Town, 2005), along a North-South Transect of the Atlantic Ocean (from $22^{\circ}38'\text{N}$ to $22^{\circ}26'\text{S}$ with temperature varying from about 18°C to 30°C). Samples of planktonic foraminifera (among which *Globigerinoides sacculifer* and *Globigerina bulloides*, which are direct descendants of *Subbotina*) were collected in surface waters from 0-10 meters. For each sample, temperature, salinity, carbonate chemistry and the oxygene isotopic composition were recorded.

Paleogene:

PhD student will have access to two sites with exceptionally well preserved planktonic foraminifera (glassy).

- DSDP Site 401 (55°N) is a North Atlantic site located on the northern margin of the Bay of Biscay. Inner porosity measurements will be associated with geochemical analyses ($\delta^{18}\text{O}$ and Mg/Ca). In addition, this site covers the Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM). With the study of PETM, the response of the porosity, but also the calcification and the abundance of foraminifera, to an hyperthermal event similar to what is currently observed in terms of global change, can be specified.

- the low latitude site TDP (Tanzania Drilling Project) is the only paleogene drill where tropical foraminifera are glassy. With such a material, the PhD student will provide high quality geochemical measurements and will calibrate the porosity response to temperature changes (for highest temperature range).

(see reference above).