

STAGE DE RECHERCHE de MASTER 2^{ème} ANNEE

Master SOAC / WAPE

Année Universitaire 2025-2026

LABORATOIRE : LOCEAN-LSCE

SUJET DU STAGE : Climat du Pliocène et dynamique ENSO–AMOC : variabilité interannuelle, circulation océanique et téléconnexions dans le cadre de PlioMIP3

COORDONNEES DU RESPONSABLE :

Nom – Prénom : Myriam Khodri

Adresse: 4 Place Jussieu, 75005 Paris

Téléphone : 06 87 47 61 11

E-mail : mkhodri@gmail.com

NATURE DU SUJET :

Théorie	Pas du tout	Un peu	Beaucoup
Modélisation num.	Pas du tout	Un peu	Beaucoup
Expérimentation	Pas du tout	Un peu	Beaucoup
Analyse de données	Pas du tout	Un peu	Beaucoup
Instrumentation	Pas du tout	Un peu	Beaucoup

SUJET :

Contexte scientifique :

Pour mieux anticiper les futurs climats, le GIEC (IPCC) s'appuie sur différents scénarios socio-économiques (SSP) projetant des réchauffements globaux allant de +1,5 °C à plus de +5 °C selon les trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre. Or, la paléoclimatologie montre que la Terre a déjà connu de tels niveaux de CO₂ : le Pliocène (5,3 à 2,6 Ma) présente des concentrations atmosphériques de 400–450 ppm, comparables à l'actuel, et un climat globalement plus chaud de 2 à 4 °C, avec des calottes polaires réduites et un niveau marin plus élevé d'environ 20 mètres (Haywood et al., 2020). Cette période est considérée comme une "fenêtre sur le futur", car elle combine une configuration géographique proche de l'actuelle et un effet de serre renforcé, ce qui en fait un terrain d'étude privilégié de la dynamique du système terre à l'équilibre avec des taux de CO₂ comparables au nôtre. Le Pliocene Model Intercomparison Project (PlioMIP) a pour objectif de mieux comprendre ce climat chaud en comparant les simulations issues de plusieurs modèles du système Terre. Les phases PlioMIP1 et 2 ont caractérisé le climat du Pliocène moyen chaud (mPWP) (~3,3 à 3,0 Ma). La phase actuelle, PlioMIP3, étend ces analyses à l'ensemble du Pliocène, y compris le Pliocène précoce (jusqu'à 5 Ma), période encore plus chaude, avec une bathymétrie différente (détroits fermés/ouverts) susceptible d'influencer la dynamique océanique et atmosphérique (Haywood et al., 2024).

Problématique scientifique : ENSO et circulation océanique au Pliocène

Un des points les plus débattus concernant la réponse de la dynamique océanique au Pliocène porte sur la nature de la variabilité ENSO (El Niño–Southern Oscillation). Certaines reconstructions basées sur les rapports isotopiques de foraminifères et les reconstructions de SST suggèrent un "ENSO permanent", c'est-à-dire un état du Pacifique tropical à faible gradient est-ouest, analogue à une condition El Niño-like quasi stable (Wara et al., 2005 ; Fedorov et al., 2006 ; Ravelo et al., 2014). Cependant, d'autres études (Brierley, 2015 ; Tierney et al., 2019) et simulations de modèles climatiques montrent une variabilité interannuelle persistante, bien que modifiée en amplitude et en fréquence par un océan plus chaud et un thermostat affaibli. Cette controverse reste ouverte, notamment quant au rôle des changements tectoniques (profondeur du détroit de Panama, ouverture du passage indonésien) et des forçages radiatifs sur la stabilité du Pacifique tropical. Parallèlement, la

circulation méridienne de retournement atlantique (AMOC), et plus largement la circulation du Pacifique Nord (PMOC), ont pu connaître des régimes différents au Pliocène (Zhang et al., 2013 ; O'Brien et al., 2014 ; Viebahn et al., 2016). Une AMOC plus vigoureuse pourrait avoir contribué à un transfert de chaleur accru vers l'Arctique, expliquant l'absence quasi totale de glace de mer dans l'Atlantique Nord. Les interactions entre ENSO, AMOC et circulation de Walker/Hadley sont aujourd'hui considérées comme cruciales pour comprendre la répartition de la chaleur et l'hydrologie globale.

Ce stage s'inscrit dans la dynamique de PlioMIP3 et le thème Paléoclimat de l'EUR-IPSL. Il vise à caractériser la variabilité interannuelle et les interactions océan-atmosphère du Pliocène en utilisant le modèle du système Terre IPSL-CM7 et la comparaison aux données pour valider les processus physiques identifiés.

Les principaux objectifs sont :

1. Tester l'hypothèse d'un ENSO permanent ou affaibli, via des diagnostics physiques dans les simulations du Pliocène moyen et précoce.
2. Évaluer la variabilité et la force de l'AMOC/PMOC, et leur influence sur le transport méridien de chaleur et sur les régimes ENSO.
3. Explorer les téléconnexions globales : impact des anomalies ENSO sur les moussons africaines et sud-américaines, la cryosphère (neige, glace de mer) et la dynamique atmosphérique.
4. Comparer les résultats aux données paléoclimatiques issues des reconstructions (SST, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) disponibles dans la base PlioMIP3.

Méthodologie :

- Utilisation des simulations IPSL-CM5A-LR et IPSL-CM6A-LR réalisées dans le cadre de PlioMIP2 (Tan et al, 2020) et la comparaison aux nouveaux jeux de simulations multi-modèles CMIP7 réalisées dans le cadre de PlioMIP3 (early, mid et late Pliocene) disponibles en Janvier 2026.
- Analyse statistique et spatio-temporelle.
- Diagnostics des bilans de chaleur océaniques, de la circulation méridienne et du transport d'énergie atmosphérique.
- Traitement et visualisation avec Python (xarray, matplotlib, cartopy), CDO, NCO, Ferret, sous environnement Linux.
- Comparaison des sorties modèles aux reconstructions paléoclimatiques publiées.

Encadrement et environnement :

Stage effectué sous la direction de M. Khodri au LOCEAN (Jussieu) en collaboration avec G. Ramstein (LSCE, Saclay) et les partenaires internationaux du consortium PlioMIP3 notamment Julia Tindall (Senior Research Fellow, U. of Leeds, UK) et Ning Tan (Associate professor at the Institute of Geology and Geophysics in Beijing, China).

POURSUITE : Ce stage peut-il donner lieu à un sujet de thèse ? Oui

Références bibliographiques principales :

- Brierley, C. M. (2015). *Interannual variability in the Pliocene tropical Pacific Ocean*. *Climate of the Past*, 11, 635–647.
- Fedorov, A. V., et al. (2006). *The Pliocene paradox (mechanisms for a permanent El Niño)*. *Science*, 312, 1485–1489.
- Haywood, A. M. et al. (2020). *The Pliocene Model Intercomparison Project Phase 2 (PlioMIP2)*. *Climate of the Past*, 16, 2095–2123.
- Haywood, A. M. et al. (2024). *Pliocene Model Intercomparison Project Phase 3 (PlioMIP3) – Science plan and experimental design*, *Global and Planetary*, <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2023.104316>.
- O'Brien, et al. (2014). *High sea surface temperatures in the early Pliocene warm period*. *Nature Geoscience*, 7, 606–611.
- Ravelo, A. C., et al. (2014). *Pacific Ocean heat transport and Pliocene tropical climate*. *Nature Geoscience*, 7, 268–274.
- Tan et al. (2020).: Modeling a modern-like $p\text{CO}_2$ warm period (Marine Isotope Stage KM5c) with two versions of an Institut Pierre Simon Laplace atmosphere–ocean coupled general circulation model, *Clim. Past*, 16, 1–16, <https://doi.org/10.5194/cp-16-1-2020>, 2020.
- Tierney, J. E., et al. (2019). *Past climates inform our future*. *Science*, 370, eaay3701.
- Viebahn, J. et al. (2016). *The role of ocean gateways on the AMOC during the Pliocene*. *Climate Dynamics*, 47,

1973–1992.

Zhang, Z. S., et al. (2013). *AMOC and global climate in the mid-Pliocene warm period*. *Paleoceanography*, 28, 983–995.

Wara, M. W., Ravelo, A. C., & Delaney, M. L. (2005). *Permanent El Niño-like conditions during the Pliocene warm period*. *Science*, 309, 758–761.