

M2 SOAC : Fiche de stage de recherche en laboratoire

Laboratoire : CNRM (UMR 3589 CNRS/Météo France)

Titre du stage : Évaluation des émissions **océaniques** de N₂O produites par les modèles de climat/système Terre

Nom et statut du (des) responsable (s) de stage : Sarah Berthet (CR) et Roland Séférian (DR)

Coordonnées (téléphone et email) du (des) responsable (s) de stage :

Sarah Berthet : sarah.berthet@meteo.fr +33 5 61 07 93 88

Roland Séférian : roland.seferian@meteo.fr +33 5 61 07 99 32

Sujet du stage :

Le protoxyde d'azote (N₂O) est un composé gazeux responsable de deux mécanismes de rétroaction clés au sein du climat terrestre. Premièrement, le N₂O est un gaz à effet de serre puissant et à longue durée de vie (Prather et al., 2012), qui occupe la troisième place en termes de forçage radiatif anthropique, après le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄) (AR6 WGI, IPCC 2021). D'autre part, dans le climat futur le N₂O risque d'être le principal responsable de la diminution de la couche d'ozone (O₃), une fois que les réductions drastiques des émissions de CFC commenceront à produire leurs effets sur les niveaux de chlore stratosphérique (Ravishankara et al., 2009). La concentration atmosphérique en N₂O est déterminée par l'équilibre naturel entre les sources terrestres et océaniques, et sa destruction dans l'atmosphère est en grande partie due à la photolyse (Crutzen, 1970). Le très récent budget global de N₂O (Tian et al. 2020) a permis d'estimer les émissions naturelles de N₂O par les continents et les océans à environ 9.7 TgN/an et 3.4 TgN/an, respectivement.

Des projections du 21^{ème} siècle basées sur un modèle de climat suggèrent un affaiblissement du niveau d'émission de N₂O par les océans d'environ 7 à 15% entre 2020 et 2100 (Martinez-Rey et al. 2015). Les mécanismes en cause sont encore mal compris mais les simulations numériques du climat suggèrent que la stratification des océans (induite par le réchauffement global) pourrait contrecarrer l'accumulation de N₂O dans les océans et donc limiter leur capacité à en émettre dans le futur. Si ce mécanisme est vérifié, le cycle du N₂O océanique participerait donc à une des rares boucles de rétroactions climatiques négatives au sein du système Terre. Toutefois, l'ampleur de cette rétroaction est soumise à de nombreuses zones d'ombre : notre compréhension du cycle du N₂O océanique reste encore limitée et nous disposons de peu d'observations globales de N₂O dans l'océan.

Les avancées récentes portant sur l'élaboration de base de données globale comme MEMENTO, de produits d'évaluation globale tel que GCP-N₂O ou de l'utilisation de produit d'observation basé sur de l'apprentissage supervisé (Yang et al., 2020) vont justement nous permettre de progresser sur la compréhension du cycle du N₂O océanique, de quantifier les performances des modèles de climat sur la période actuelle et de comprendre leur comportement en climat futur.

Dans ce contexte, l'objectif du stage sera de caractériser les émissions de N₂O océanique modélisées par différents modèles de climat, afin de mieux comprendre leur évolution future.

À cette fin l'étudiant•e utilisera un ensemble d'opportunité basé sur 3 modèles du système Terre¹ ayant simulé le cycle du N₂O océanique dans le cadre de l'exercice d'intercomparaison CMIP6 (CNRM-ESM2-1, MIROC-ES2L et MPI-ESM1-2-LR). L'analyse de cet ensemble se déroulera en plusieurs phases : dans un premier temps, une comparaison des paramétrisations du cycle du N₂O océanique telles qu'implémentées dans ces 3 modèles, ainsi que de leurs performances à simuler les observations récentes, sera conduite par l'étudiant•e. Puis, l'étudiant•e analysera le comportement des 3 modèles dans différentes projections futures (produisant une large gamme de réchauffement global) afin de mettre en lumière le rôle des processus clés pilotant les changements des émissions océaniques de N₂O. Enfin, si le temps le permet, l'étudiant•e pourra également comparer le comportement des modèles de climat basse résolution par rapport à des modèles à plus haute résolution, ce qui lui permettra de discuter la fourchette d'incertitude liée à des processus manquants dans la réponse des modèles basse résolution.

¹ i.e. modélisant les compartiments i) océan et biogéochimie marine, ii) atmosphère et chimie atmosphérique, iii) surfaces continentales

Références :

Crutzen, P. J.: Influence of nitrogen oxides on atmospheric ozone content, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 96, 320–326, doi:10.1002/qj.49709640815, 1970.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Martinez-Rey, J., Bopp, L., Gehlen, M., Tagliabue, A., and Gruber, N.: Projections of oceanic N₂O emissions in the 21st century using the IPSL Earth system model, *Biogeosciences*, 12, 4133–4148, <https://doi.org/10.5194/bg-12-4133-2015>, 2015.

Prather, M. J., Holmes, C. D., and Hsu, J.: Reactive greenhouse gas scenarios: Systematic exploration of uncertainties and the role of atmospheric chemistry, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L09803, doi:10.1029/2012gl051440, 2012.

Ravishankara, A. R., Daniel, J. S., and Portmann, R. W.: Nitrous Oxide (N₂O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century, *Science*, 326, 123–125, doi:10.1126/science.1176985, 2009.

Tian, H., Xu, R., Canadell, J.G. *et al.* A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature* **586**, 248–256 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2780-0>

Yang, S., B. X. Chang, M. J. Warner, T. S. Weber, A. M. Bourbonnais, A. E. Santoro, A. Kock, R. E. Sonnerup, J. L. Bullister, S. T. Wilson, D. Bianchi: Global reconstruction reduces the uncertainty of oceanic nitrous oxide emissions and reveals a vigorous seasonal cycle, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117 (22) 11954–11960; DOI: 10.1073/pnas.1921914117, 2020.