

Titre: Aérosols marins du bassin de l'Océan Indien: émission, variabilité et impact

Directeur: Jérôme Brioude (Maître de conférences, HDR, LACy) jerome.brioude@univ-reunion.fr

Co-directeur: Olivier Pujol (Maître de conférences, HDR, LOA, Lille) olivier.pujol@

Les aérosols marins jouent un rôle important dans notre compréhension du climat. Ils sont la plus grande source d'aérosols (en masse) par rapport aux autres sources naturelles et anthropiques (rapport du GIEC) et servent également de noyaux de condensation (CCN) initiant la formation de nuages. L'impact d'une augmentation ou réduction de la concentration en aérosols atmosphériques sur le climat n'est pas linéaire et va dépendre de la présence d'aérosols d'origine naturelle tels que les aérosols marins. Une méthode de géo-ingénierie pour réduire le réchauffement climatique est d'ailleurs proposée en augmentant l'albédo des nuages marins et la diffusion du rayonnement solaire en émettant des sels marins dans la couche limite marine tropicale (Latham, 2002). Cependant, l'estimation de l'effet indirect des aérosols marins sur les nuages tropicaux est particulièrement complexe car les interactions entre aérosols marins, nuages et précipitation sont intimement liés, et couvrent différentes résolutions spatiales et temporelles. Ces interactions peuvent être simulées par des modèles LES à résolution sub-kilométrique, mais restent un challenge pour les modèles climatiques. Pour faire progresser les modèles climatiques, il est nécessaire de développer des approches simplifiées (Rosenfeld et al., 2014).

À l'heure actuelle, de larges incertitudes existent sur l'estimation des flux océan-atmosphère d'aérosols et de gaz traces ainsi que leur temps de résidence atmosphérique. Le mécanisme principal responsable de l'émission d'aérosols marins est l'interaction du vent de surface avec la surface océanique, représentée par la vitesse du vent à 10m et un coefficient de traîné dans les paramétrisations actuelles. Or des études ont montré que la température de surface (ou SST) devait être prise en compte pour réduire les incertitudes des flux d'aérosols marins (e.g. Ovadnevaite et al., 2014, Grythe et al., 2014). Les modèles climatiques prédisent une augmentation de 2 à 4K de la SST en 2100. Si l'on tient compte de la dépendance en SST des émissions d'aérosols marins, les flux augmenteraient de 7 à 10% par °C, avec une augmentation de l'AOD des aérosols marins et du nombre de CCN en milieu océanique, et ainsi une diminution partielle du réchauffement climatique.

Les paramétrisations actuelles ont été développées sans prendre en compte les phénomènes tels que la turbulence et les rafales de vent. Or, la dépendance des paramétrisations aux paramètres météorologiques étant fortement non-linéaire, ces phénomènes non-résolus peuvent biaiser les estimations de flux moyen d'aérosols marins. De plus, des questions se posent sur la portabilité de ces paramétrisations dans des modèles à différentes résolutions (mésosécherelles, globaux et climatiques).

Struthers et al. (2013) ont montré que l'océan Indien est un bassin où les flux d'aérosols marins sont importants à cause de forts vents de surface et d'une forte houle. Par ailleurs, Jaégle et al. (2011) ont montré que c'est l'un des océans les plus susceptibles à voir ses émissions changer avec les changements en vitesse de vent et de température de surface.

Ainsi, l'île de la Réunion est idéalement située dans le bassin de l'Océan Indien pour l'étude des aérosols marins et les masses d'air d'origine marine observées à la Réunion et dans le bassin peuvent être considérées comme purement marines car éloignées de sources terrestres, comme montré par le projet AEROMARINE (PI: J. Brioude; Mascout et al., 2022).

Questions scientifiques :

La thèse s'articulera autour de 3 axes de recherche:

- Caractériser les aérosols marins (distribution en taille, nombre) en couche limite marine sur le bassin de l'Océan Indien.
- Estimer l'impact des phénomènes non résolus dans les paramétrisations (turbulence, rafales) sur l'incertitude des flux moyens d'aérosols marins.
- Développer un modèle non linéaire simplifié de microphysique aérosol-nuage-pluie

Méthodologie

Pour mener à bien cette thèse, le candidat s'appuyera sur les observations existantes et futures d'aérosols marins à bord du

bateau Marion Dufresne dans le cadre du projet MAPIO développé au sein du LACy. Le candidat analysera la distribution en taille et nombre des aérosols en lien avec l'état thermodynamique de l'atmosphère. L'influence d'émissions anthropiques ou terrestres sera identifiée à l'aide de mesures de gaz trace à bord du bateau.

La capacité des paramétrisations existantes à simuler les aérosols marins et leur dépendance à la résolution spatiale et temporelle sera évaluée à l'aide du modèle Lagrangien FLEXPART couplé à différents modèles Eulériens (Brioude et al., 2013; Verreyken et al., 2019; Pisso et al., 2019). Les champs d'AROME-OI (2.5km de résolution) et de l'ECMWF disponibles à différentes résolutions (de 10km à 100km et de 1 heure à 6 heures) permettront de simuler la distribution en taille et en nombre des aérosols marins à différentes résolutions.

Enfin, une approche originale développée au sein du projet AEROMARINE (Pujol and Jensen, 2019; Mascout et al., 2022) montre que la modélisation des interactions aérosol-nuage-précipitation peut être simplifiée à l'aide d'un modèle non-linéaire proie-prédateur où la pluie est le prédateur et les gouttelettes nuageuses la proie. Cette approche est équivalente à développer une paramétrisation à l'aide d'un réseau de neurones, mais dont les interactions sont contraintes par nos connaissances de la dynamique des systèmes non-linéaires dans des problèmes de physique. Ce modèle sera finalisé dans le cadre de cette thèse, et optimisé pour le bassin de l'océan indien où des observations de l'observatoire du Maito (radiomètre microonde, RADAR) et du Marion Dufresne (aérosols) permettront de contraindre les paramètres du modèle.

Partenariat et Collaborations

Ce projet sera mené en collaboration avec les partenaires nationaux du LACy: le LA, CNRM, LAMP, LOA pour les observations et modélisation. De plus le LACy bénéficie de collaborations étroites avec la NOAA (Etats-Unis) dont les thématiques de recherche sur les émissions marines sont proches de celle du LACy. Cette implication active avec des partenaires nationaux et internationaux favorisera une dynamique d'échanges dans le cadre de cette thèse.

Références:

- Pujol, O.** ; J. Andrew: Cloud–rain predator–prey interactions: Analyzing some properties of the Koren–Feingold model and introduction of a new species-competition bulk system with a Hopf bifurcation. *Phys. Nonlinear Phenom.* 399, 86–94
- Mascout F.: Interactions aérosols-vapeur d'eau-nuage en régions océaniques prêtes, manuscrit de doctorat en préparation, 2022
- Mascout F., **O. Pujol**, ..., **J. Brioude**: Aerosol characterization in an oceanic context around Reunion Island (AEROMARINE field campaign), *Atmos. Environ.*, 268, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118770>, 2022
- Pisso, I., ..., Fouilloux, A., **Brioude, J.**, et al. : The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 10.4, *Geosci. Model Dev.*, 12, 4955–4997, <https://doi.org/10.5194/gmd-12-4955-2019>, 2019
- Verreyken, B., **Brioude, J.**, and Evan, S.: Development of turbulent scheme in the FLEXPART-AROME v1.2.1 Lagrangian particle dispersion model, *Geosci. Model Dev.*, 12, 4245–4259, <https://doi.org/10.5194/gmd-12-4245-2019>, 2019
- Brioude J.**, D. Arnold, A. Stohl et al.: The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART-WRF version 3.1, *Geosci. Model Dev.*, 6, 1889-1904,

Modalité d'encadrement:

Le candidat sera basé au LACy (Université de la Réunion). Des visites seront organisées au LOA. Des réunions à distances seront organisées de manière régulière.

Jérôme Brioude est MCF, HDR au Laboratoire de l'atmosphère et des Cyclones (LACy) à l'université de la Réunion. Il est spécialisé dans le transport atmosphérique, modèles Lagrangiens, méthodes inverse, qualité de l'air, émission marines. Il a plus de 70 articles de rang A, et a dirigé ou codirigé 2 thèses portant sur les émissions d'aérosols (PI du projet AEROMARINE) et de gaz trace (co-I du projet international OCTAVE) d'origine marine. Il est un développeur actif du modèle FLEXPART à mésoéchelle. Il est responsable des mesures d'aérosols par POPS et OPC-N3 sur le Marion Dufresne. Il est responsable de l'équipe troposphère au LACy, directeur du département de physique de l'université de la Réunion, et éditeur du journal *Atmospheric Chemistry and Physics* de l'EGU.

Olivier Pujol est MCF, HDR au laboratoire d'optique atmosphérique de Lille et agrégé de physique. Il cosigne une quarantaine d'articles dans des revues de rang A et a dirigé ou codirigé 5 thèses portant sur son domaine de spécialité : la physique des nuages et des précipitations, la vapeur d'eau, les interactions aérosols-vapeur-nuage et les techniques de télédétection active et passive. Il est actuellement responsable de deux radiomètres micro-ondes (LOA,OPAR) et travaille sur la formation des champs nuageux en contexte océanique. Il a développé des modèles permettant de rendre compte de certaines propriétés de ces champs. Olivier Pujol est aussi enseignant en Licence, Master et préparation à l'agrégation de Lille