

# Proposition de Sujet de thèse 2020

(1 page recto maximum)

Laboratoire (et n° de l'unité) dans lequel se déroulera la thèse :

CNRM - UMR 3589

Titre du sujet proposé :

**Evolution future de l'activité cyclonique tropicale**

Nom et statut (PR, DR, MCF, CR, ...) du (des) responsable(s) de thèse (préciser si HDR) :

Julien Cattiaux, chercheur CNRS (CRCN), pas d'HDR (demandera une dérogation)  
Fabrice Chauvin, chercheur MF, pas d'HDR

Coordonnées (téléphone et e-mail) du (des) responsable(s) de thèse :

[julien.cattiaux@meteo.fr](mailto:julien.cattiaux@meteo.fr), 05 69 07 90 29  
[fabrice.chauvin@meteo.fr](mailto:fabrice.chauvin@meteo.fr), 05 69 07 96 67

## Résumé du sujet de la thèse

L'évolution des cyclones tropicaux (fréquence, intensité, trajectoire, saisonnalité, etc.) en climat plus chaud reste largement incertaine [1]. La théorie est mal connue, les séries d'observations sont hétérogènes dans le temps et l'espace, et les modèles de climat sont jusqu'à présent trop peu résolus (100 km ou plus) pour bien représenter ces phénomènes. Deux options s'offrent néanmoins : 1. effectuer des simulations dédiées à haute résolution (50 km ou moins) et y détecter les cyclones tropicaux via des algorithmes de suivi d'objet (ou *tracking*), ou 2. exploiter les projections climatiques à basse résolution existantes en cherchant des liens entre l'activité cyclonique (en moyenne mensuelle) et l'environnement de grande échelle, i.e. des *indices de cyclogénèse*. La première approche est plus directe mais plus coûteuse : elle n'est encore réservée qu'à un nombre limité de modèles de climat. La seconde approche, certes indirecte, peut s'appliquer à un grand nombre de modèles et permet donc une meilleure estimation des incertitudes.

Jusqu'à présent, ces deux approches s'accordent sur une probable augmentation de l'intensité maximale des cyclones tropicaux (ou intensité potentielle) en climat plus chaud, en lien avec un contenu de chaleur de l'océan superficiel plus fort. En revanche, elles ne mènent pas aux mêmes résultats concernant l'évolution du nombre de systèmes par an : le tracking d'expériences à haute résolution conclut généralement à une fréquence stable ou à la baisse en climat plus chaud, tandis que les indices, même appliqués aux mêmes simulations, suggèrent une cyclogénèse accrue [e.g. 2, 3].

L'objectif de cette thèse est de comprendre ce désaccord, avec pour enjeu de mieux estimer l'évolution future de l'activité cyclonique. Un premier travail consistera à revisiter les méthodes employées, i.e. d'une part l'algorithme de suivi d'objet utilisé au CNRM pour le tracking, et d'autre part la définition et la calibration des indices de cyclogénèse.

L'algorithme de suivi d'objet utilisé actuellement [4] est contraint par de nombreux seuils à recalibrer selon les données utilisées (e.g. leur résolution spatiale), et n'est pas optimisé pour bien détecter l'initiation et le développement des systèmes (i.e. la cyclogénèse). Une partie du travail de thèse sera donc consacrée au développement d'un algorithme de détection plus souple et plus précis, utilisant éventuellement des méthodes d'apprentissage

statistique calibrées sur la réanalyse récente ERA5 (30 km de résolution) et la base de données de trajectoires observées IBTrACS.

Les indices de cyclogénèse utilisés traditionnellement sont définis via des régressions statistiques entre l'activité cyclonique observée et des variables thermiques et dynamiques de grande échelle en climat présent [5, 6]. Or il est probable que les relations calibrées sur la climatologie observée ne puissent pas rendre compte du changement climatique futur [7]. Il sera donc entrepris de revisiter ces régressions statistiques, notamment la sélection de prédicteurs et le poids donné aux prédicteurs dynamiques vs. thermiques, en les appliquant à des simulations longues de climat présent et futur déjà réalisées avec la version basculée-étirée d'ARPEGE-Climat et/ou aux simulations réalisées avec CNRM-CM6-1-HR (50 km de résolution) pour l'exercice CMIP6. En fonction des résultats, il pourra là aussi être envisagé de tester des méthodes d'apprentissage statistique plus sophistiquées.

In fine, il sera évalué comment les améliorations potentielles de l'algorithme de suivi des cyclones tropicaux et de la définition des indices de cyclogénèse permettent de réconcilier les deux approches quant à l'évolution future de l'activité cyclonique. En fonction de l'avancement de la thèse, les travaux menés sur les simulations ARPEGE-Climat / CNRM-CM6-1-HR pourront être généralisés aux projections futures multi-modèles réalisées dans le cadre de CMIP6, notamment du protocole HighResMIP. Une autre perspective possible est de généraliser l'algorithme de suivi d'objet à d'autres phénomènes météorologiques, comme les tempêtes et/ou blocages des moyennes latitudes.

#### Nature du travail attendu et compétences souhaitées

Le travail attendu est principalement de l'analyse de données appliquée à des observations, des réanalyses et/ou des sorties de modèles de climat. Que ce soit pour le développement de l'algorithme de suivi ou pour la définition d'indices de cyclogénèse, de solides compétences en statistiques et en informatique sont donc requises. La maîtrise de méthodes d'apprentissage statistique sera un atout. Par ailleurs, ce sujet nécessite une certaine culture des mécanismes physiques impliqués dans le développement des cyclones tropicaux, à la fois à méso-échelle (cyclogénèse et intensification) et à grande échelle (variables environnementales favorables à l'activité cyclonique).

Enfin, la thèse sera menée au sein de l'équipe GMGEC/AMACS du CNRM. Des interactions fortes avec l'équipe GMAP/RECYF du CNRM et l'équipe Cyclones du Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones (LACy) à la Réunion sont d'ores et déjà envisagées.

#### Références bibliographiques

- [1] Walsh et al. (2016), Tropical cyclones and climate change, Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 7 (1), 65–89. doi:10.1002/wcc.371.
- [2] Chauvin et al. (2019), Future changes in Atlantic hurricanes with the rotated-stretched ARPEGE-Climat at very high resolution, *Journal of Climate*, in press.
- [3] Cattiaux et al. (2019), Projected changes in the Southern Indian Ocean cyclone activity assessed from high-resolution experiments and CMIP5 models, *Journal of Climate*, in revision.
- [4] Chauvin et al. (2006), Response of hurricane-type vortices to global warming as simulated by ARPEGE-Climat at high resolution, *Climate Dynamics*, 27 (4), 377–399. doi:10.1007/s00382-006-0135-7
- [5] Menkes et al. (2012), Comparison of tropical cyclogenesis indices on seasonal to interannual timescales, *Climate Dynamics*, 38 (1), 301–321. doi:10.1007/s00382-011-1126-x
- [6] Tippett et al. (2010), Poisson regression index for tropical cyclone genesis and the role of large-scale vorticity in genesis, *Journal of Climate*, 24 (9), 2335–2357. doi:10.1175/2010JCLI3811.1.
- [7] Camargo et al. (2014), Testing the performance of tropical cyclone genesis indices in future climates using the HiRAM model, *Journal of Climate*, 27 (24), 9171–9196. doi:10.1175/JCLI-D-13-00505.1.