

Projet de Recherche INTERREG-V océan Indien 2014-2020 A1/OT1/OS-01a - Action II-2 TN

Bilan du projet ReNovRisk-Cyclones et Précipitations



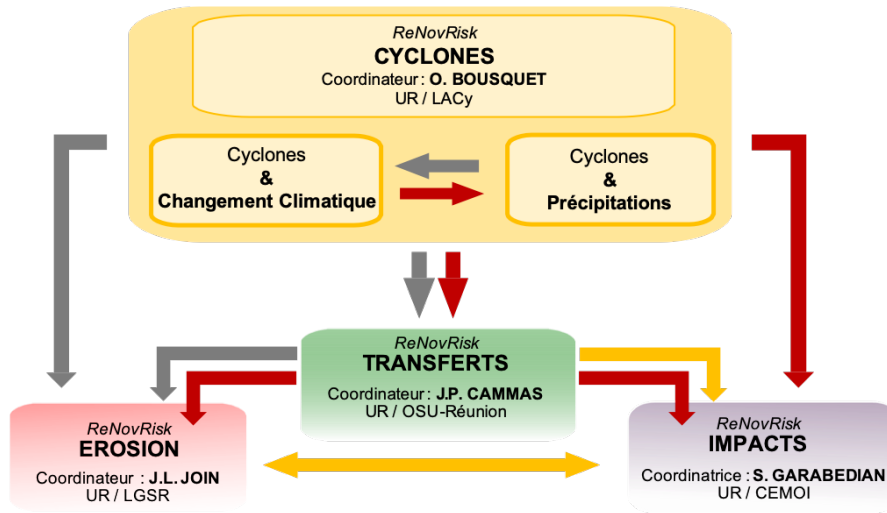
Olivier Bousquet
UMR 8105 LACy





ReNovRisk-CP

Recherche intégrée et Innovante sur les Risques Naturels



Programme ReNovRisk Cyclones
Impacts des CT sur les territoires du bassin
SOOI aux horizons actuel et futur

Cyclones et Précipitations
Cyclones et Changement Climatique





Trois pays - 7 partenaires - Pilotage LACy

France

(Réunion – Mayotte)



Mozambique



+



Madagascar





ReNovRisk-CP

Recherche intégrée et Innovante sur les Risques Naturels

Durée du projet:	Juin 2017 – Juin 2021
Activités:	Sept 2017 – Mars 2020
Budget prévisionnel	523 699,34 €
Budget effectif	444 800,89 €
Taux d'exécution des dépenses	~ 85%



Indicateurs

Indicateur	Type (Résultat / réalisation)	Unité de mesure	Valeur cible prévisionnelle / effective
CO42 : Nombre d'organisme de recherche participant à des projets de recherche transfrontalier	Réalisation	Organismes	7 / 7
IR01a – Nombre de projets de recherche collaboratifs sur des thématiques partagées au sein de la COI	Résultat	Projets / an	1
CO24 – nombre de nouveaux chercheurs dans les entités bénéficiant d'un soutien	Réalisation	ETP	1 / 3
Nombre de participation à des congrès scientifiques			3 / 3
Publications scientifiques de rang A			2 / 6



Livrables

16 livrables au total

Quasiment tous fournis sauf:

L5 : Jeux de données – Données de radiosondages (pression, température, humidité, vent) expertisées sur la période jan-avril 2019, mises en ligne via une plateforme de diffusion accessible à l'ensemble des partenaires – Rendu jusqu'en juin 2021

- Les données collectées ont été archivées sur un serveur externe accessibles via le site <http://www.renovrisk.re/> qui a été arrêté en juin 2021. L'ensemble des données sont archivées sur des postes de travail dans l'attente de pouvoir être mises à disposition via un serveur de l'université de La Réunion (valable pour C3)

L7 : Jeux de données – Mise en ligne de l'ensemble des données expérimentales collectées par les capteurs de l'OPAR déployés à Mayotte entre janvier et avril 2019 via une plateforme de diffusion accessible à l'ensemble des partenaires

- Opération annulée suite aux troubles sociaux en cours à Mayotte lors du second semestre 2018



Structuration du projet

Trois Actions

- A1** - « Observation et étude des pluies cycloniques »
 - 3 sous-actions

- A2** - « Prévision des précipitations cycloniques »
 - 2 sous-actions

- A3** - « Coordination et valorisation du projet »
 - 2 sous-actions



Bilan des activités par actions

Action 1

Observation et étude des pluies cycloniques

- A1.1 « Densification du réseau de stations météorologiques autour du Canal du Mozambique »
- A1.2 « Organisation d'une campagne de mesure expérimentale dans le Canal du Mozambique »
- A1.3 « Traitement et analyse des mesures expérimentales »

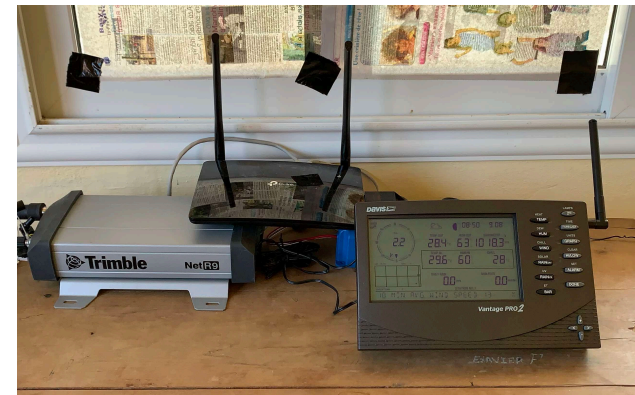


Action 1

SA- 1.1 Densification du réseau de stations météorologiques autour du Canal du Mozambique

Objectif : Augmenter le nombre de stations météorologiques échantillonnant les paramètres atmosphériques de surface dans la région du canal du Mozambique.

Station Davis Vantage Pro



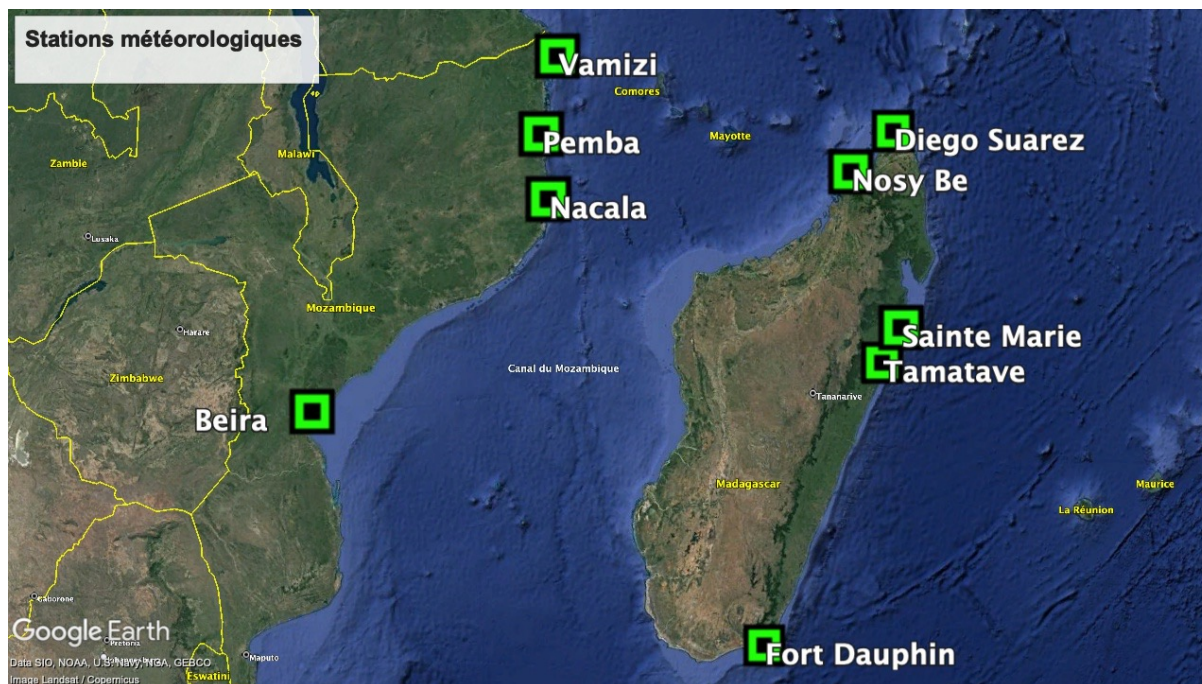
Nosy be



Action 1

SA1.1 « Densification du réseau de stations météorologiques autour du Canal du Mozambique »

9 stations déployées





Action 1

SA1.1 « Densification du réseau de stations météorologiques autour du Canal du Mozambique »

- **DIEGO SUAREZ** (Madagascar, mai 2018)
IST d'Antsiranana (1)
- **PEMBA** (Mozambique, aout 2018)
Pemba Unilurio University (2)
- **NACALA** (Mozambique, aout 2018)
Kwalala Lodge – coop PUU (3)
- **VAMIZI** (Mozambique, aout 2018)
N'eyond base camp – Coop PUU (4)
- **FORT-DAUPHIN** (Madagascar, septembre 2018) hôtel Kaleta (5).





Action 1

SA1.1 « Densification du réseau de stations météorologiques autour du Canal du Mozambique »

- **BEIRA** (Mozambique, Sept 2018)
INAM (6)
- **SAINTE-MARIE** (Madagascar, Déc 2018)
Hotel Soanambo (7)
- **NOSY BE** (Madagascar, aout 2019)
CNRO (8)
- **TAMATAVE** (Madagascar, Jan 2020)
Aéroport International (9)





Action 1

SA1.1 « Densification du réseau de stations météorologiques autour du Canal du Mozambique »

Exemples d'applications

- ⇒ Projets d'études universitaires (UPU, IST).
- ⇒ L'installation de la station de Tamatave a été réalisée dans le cadre du stage de master de deux étudiants de l'IST-D.
- ⇒ Traitement données GNSS (RNR-C3)
- ⇒ Collecte de données au voisinage de quelques cyclones dont le cyclone Idai
=> études de cas



Action 1

SA1.1 « Densification du réseau de stations météorologiques autour du Canal du Mozambique »

Problèmes rencontrés

- ❖ Activité **chronophage** et parfois épuisante
- ❖ **Nosy Be** - Déplacée **Beira** – Détruite **Tamatave** – Pannes multiples, puis déplacée - **Fort Dauphin** – Endommagée
 - Difficultés à obtenir des séries climatologiques suffisamment longues
- ❖ Problèmes de transmission et de maintenance à partir de février 2020 (Covid)
- ❖ Qualification des instruments : fonctionnement vs. investissement

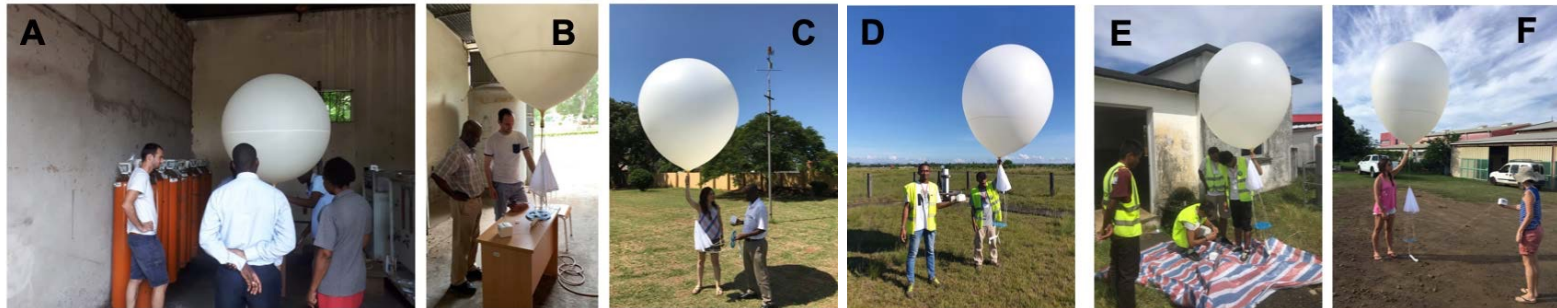


Action 1

Observation et étude des pluies cycloniques

SA1.2 Organisation d'une campagne de mesure expérimentale dans le Canal du Mozambique

Objectif : Echantillonner les systèmes dépressionnaires tropicaux dans la région du Canal du Mozambique lors d'une saison cyclonique (2018-2019).



- Obtenir des informations sur l'environnement dans lequel se développent les cyclones
- **Former des étudiants et chercheurs de la région** dans le domaine de l'observation météorologique



Action 1

SA1.2 Organisation d'une campagne de mesure expérimentale dans le Canal du Mozambique

- 3 sites expérimentaux à Mayotte (aéroport), Tamatave (aéroport) et Maputo (INAM)
- ~ 560 radiosondages réalisés en un peu moins de 3 mois (2 RS / j et par site en moyenne)
- Mobilisation de 60 participants sur l'ensemble des sites, dont une moitié d'étudiants et de personnels techniques malgaches, mozambicains, mahorais et réunionnais et une moitié de chercheurs pour les encadrer (LACy)
- **ENORME ENGOUEMENT**



Action 1

SA1.2 Organisation d'une campagne de mesure expérimentale dans le Canal du Mozambique

Problèmes rencontrés

- **Abandon de la 2ème composante de la sous-action** visant à déployer un ensemble d'instruments du LACy à Mayotte (troubles sociaux au cours du 2eme semestre 2018) *mais les instruments ont continué à fonctionner à La Réunion*
- **Enorme complexité logistique** (achat et acheminement / stockage de l'hélium et des consommables , gestion des personnels et des missions)

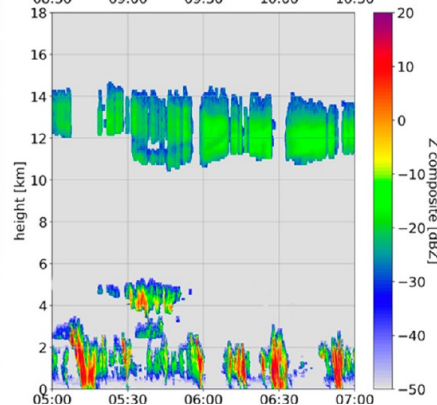
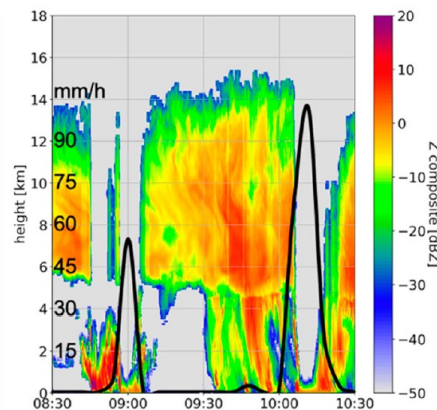
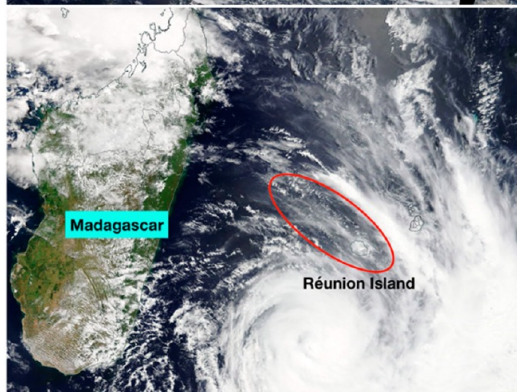
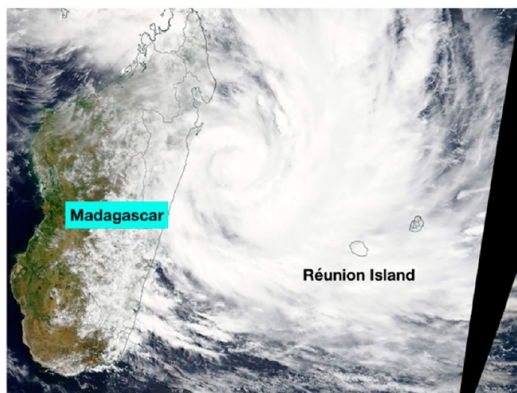
Exemples d'applications

- Prévision du temps: transmission en temps réel vers les bases de données d'observation mondiales => assimilation de données dans les modèles opérationnels
- Echantillonnage à haute fréquence, et sur l'ensemble du bassin (avec RS Réunion et Mahé), des propriétés de l'atmosphère pendant une saison cyclonique => études de cas
- Projets d'études universitaire (Stage M2 au LACy)

Action 1

SA1.2 Organisation d'une campagne de mesure expérimentale dans le Canal du Mozambique

Exemples d'applications



Etudes de cas à La Réunion

Structure du cyclone Dumazile observée par le radar nuage BASTA lors de son passage sur l'île de La Réunion et précipitations associées

Etude réalisée par J. Durand (Durand et al. 2021)



Action 1

SA1.3 Traitement et analyse des mesures expérimentales

Objectif : Exploiter les données expérimentales collectées dans le cadre du projet

- Stages de master (étudiants de l'université de Toulouse et de l'IST)
- Assimilation de données dans les modèles de prévision numérique du temps
- Travaux en physique de l'atmosphère
- Etudes climatologiques



Action 1

SA1.3 Traitement et analyse des mesures expérimentales



Article

Impact of Tropical Cyclones on Inhabited Areas of the SWIO Basin at Present and Future Horizons. Part 1: Overview and Observing Component of the Research Project RENOVRIK-CYCLONE

Olivier Bouquet ^{1,2,*}, Guilhem Barrauol ³, Emmanuel Cordier ⁴, Christelle Barthe ^{1,5,6}, Soline Bielli ¹, Radiance Calmer ^{1,6}, Elisa Rindrarharisoana ^{3,7}, Gregory Roberts ^{8,9}, Pierre Tulet ^{1,8}, Vincent Amelie ¹⁰, Frauke Fleischer-Dogley ¹¹, Alberto Mavume ¹², Jonas Zucule ¹³, Lova Zakariasy ¹⁴, Bruno Razafindradina ¹⁴, François Bonnardot ¹⁵, Manvendra Singh ¹⁶, Edouard Lees ¹, Jonathan Durand ¹, Dominique Mekies ¹, Marine Claeys ^{1,9}, Joris Pianeze ¹, Callum Thompson ¹, Chia-Lun Tsai ^{1,17}, Romain Husson ¹⁸, Alexis Mouché ¹⁹, Stephane Ciccione ²⁰, Julien Cattiaux ⁹, Fabrice Chauvin ⁹ and Nicolas Marquetstaut ^{1,4}



Citation: Bouquet, O.; Barrauol, G.; Cordier, E.; Barthe, C.; Bielli, S.; Calmer, R.; Rindrarharisoana, E.; Roberts, G.; Tulet, P.; Amelie, V. et al. Impact of Tropical Cyclones on Inhabited Areas of the SWIO Basin at Present and Future Horizons. Part 1: Overview and Observing Component of the Research Project RENOVRIK-CYCLONE. *Atmosphere* 2021, 12, 544. <https://doi.org/10.3390/atmos1205544>

Academic Editor: Coenra Matyas

Received: 31 March 2021
Accepted: 20 April 2021
Published: 23 April 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

- Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones (UMR8105 LACY), Université de La Réunion, CNRS, Météo-France, 97400 Saint-Denis, France; christelle.barthe@aero.obs-mip.fr (C.B.); soline.bielli-bouquet@univ-reunion.fr (S.B.); radiance.calmer@colorado.edu (R.C.); pierre.tulet@aero.obs-mip.fr (P.T.); edouard.lees@meteo.fr (E.L.); jonathan.durand@univ-reunion.fr (J.D.); dominique.mekies@meteo.fr (D.M.); marine.claeys@meteo.fr (M.C.); joris.pianeze@univ-reunion.fr (J.P.); callum.thompson@ucsb.edu (C.T.); chia-lun.tsai@ucr.edu (C.-L.T.); nicolas.marquetstaut@univ-reunion.fr (N.M.)
- Institute for Coastal Marine Research (CMR), Nelson Mandela University, Port-Elizabeth 6001, South Africa
- Institut de Physique du Globe de Paris, Université de Paris, CNRS, 75238 Paris, France; barrauol@ippg.fr (G.B.); elisa.rindrarharisoana@univ-reunion.fr (E.R.)
- Observatoire de Sciences, Univers de La Réunion (UMS 3365 OSU-R), 97400 Saint-Denis, France; emmanuel.cordier@univ-reunion.fr
- Laboratoire d'Aérodynamique, Université de Toulouse, UT3, CNRS, IRD, 31400 Toulouse, France
- Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, National Snow and Ice Data Center (NSIDC), University of Colorado Boulder, Boulder, CO 80304, USA
- Laboratoire Géosciences Réunion (IGSR), Université de La Réunion, 97400 Saint-Denis, France
- Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, CA 92093, USA; greg.roberts@meteo.fr
- Centre National de Recherche Météorologique (UMR3589 CNRM), Université de Toulouse, CNRS, Météo-France, 31057 Toulouse, France; julien.cattiaux@meteo.fr (J.C.); fabrice.chauvin@meteo.fr (F.C.)
- Seychelles Meteorological Authority, International Airport, Mahe 670311, Seychelles; v.amelie@meteo.gov.sc
- Seychelles Islands Foundation, Mont-Flauri, POB 853, Victoria, Mahe 670311, Seychelles; oco@isf.sc
- Department of Physics-Faculty of Sciences, Eduardo Mondlane University, Maputo CP 257, Mozambique; amavume@yahoo.co.uk
- Instituto Nacional de Meteorologia (INAM), Maputo CP 256, Mozambique; jonas_z@inam.gov.mz
- Institut Supérieur de Technologie d'Antsirana, Antsirana BP 509, Madagascar; lova.zakariasy@tsb-antsiranana.mg (L.Z.); hrazafindradina@tsb-antsiranana.mg (B.R.)
- Direction Interrégionale de Météo-France pour l'Océan Indien, 97400 Saint-Denis, France; francois.bonnardot@meteo.fr
- Mauritius Oceanography Institute, Morcellement de Chazal, Albion 95410, Mauritius; msingh@moi.mint.mt
- Department of Astronomy and Atmospheric Sciences, Center for Atmospheric Remote Sensing (CARE), Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea
- Collecte Localisation Satellites (CLS), 29280 Brest, France; rhusson@cls.fr
- Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale, Ifremer, CNRS, IRD, UBO, 29280 Plouzané, France; Alexis.Mouché@ifremer.fr
- Kelonia, Observatoire des Tortues Marines de La Réunion, 97436 Saint-Leu, France; stephane.ciccione@musseuse.reunion.re
- Correspondence: olivier.bouquet@meteo.fr

Abstract: The international research program "ReNovRisk-CYCLONE" (RNR-CYC, 2017–2021) directly involves 20 partners from 5 countries of the south-west Indian Ocean. It aims at improving the observation and modelling of tropical cyclones in the south-west Indian Ocean, as well as to foster regional cooperation and improve public policies adapted to present and future tropical cyclones risk in this cyclonic basin. This paper describes the structure and main objectives of this ambitious



Article

Cloud Radar Observations of Diurnal and Seasonal Cloudiness over Reunion Island

Jonathan Durand ¹, Edouard Lees ¹, Olivier Bouquet ^{1,2,*}, Julien Delanoë ³ and François Bonnardot ⁴



Citation: Durand, J.; Lees, E.; Bouquet, O.; Delanoë, J.; Bonnardot, F. Cloud Radar Observations of Diurnal and Seasonal Cloudiness over Reunion Island. *Atmosphere* 2021, 12, 868. <https://doi.org/10.3390/atmos1207868>

Academic Editors: Lawrence D. Casey and Filomena Romano

Received: 29 May 2021
Accepted: 29 June 2021
Published: 3 July 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

- Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones (UMR8105 LACY), Université de La Réunion, CNRS, Météo-France, 97400 Saint-Denis, France; jonathan.durand@univ-reunion.fr (J.D.); edouard.lees@meteo.fr (E.L.)
- Institute for Coastal Marine Research (CMR), Nelson Mandela University, Port-Elizabeth 6001, South Africa
- Laboratoire Atmosphère, Milieux et Observations Spatiales (UMR 8190 IATMOS), CNRS/Sorbonne Université/USVQ, 78280 Guyancourt, France; Julien.Delanoë@atmos.ipsl.fr
- Direction Inter Régionale de Météo-France pour l'Océan Indien, Saint-Denis, 97400 Sainte-Clotilde, France; francois.bonnardot@meteo.fr
- Correspondence: olivier.bouquet@meteo.fr

Abstract: In November 2016, a 95 GHz cloud radar was permanently deployed in Reunion Island to investigate the vertical distribution of tropical clouds and monitor the temporal variability of cloudiness in the frame of the pan-European research infrastructure Aerosol, Clouds and Trace gases Research Infrastructure (ACTRIS). In the present study, reflectivity observations collected during the two first years of operation (2016–2018) of this vertically pointing cloud radar are relied upon to investigate the diurnal and seasonal cycle of cloudiness in the northern part of this island. During the wet season (December–March), cloudiness is particularly pronounced between 1–3 km above sea level (with a frequency of cloud occurrence of 45% between 12:00–19:00 LST) and 8–12 km (with a frequency of cloud occurrence of 15% between 14:00–19:00 LST). During the dry season (June–September), this bimodal vertical mode is no longer observed and the vertical cloud extension is essentially limited to a height of 3 km due to both the drop-in humidity resulting from the northward migration of the ITCZ and the capping effect of the trade winds inversion. The frequency of cloud occurrence is at its maximum between 13:00–18:00 LST, with a probability of 35% at 15 LST near an altitude of 2 km. The analysis of global navigation satellite system (GNSS)-derived weather data also shows that the diurnal cycle of low- (1–3 km) and mid-to-high level (5–10 km) clouds is strongly correlated with the diurnal evolution of tropospheric humidity, suggesting that additional moisture is advected towards the island by the sea breeze regime. The detailed analysis of cloudiness observations collected during the four seasons sampled in 2017 and 2018 also shows substantial differences between the two years, possibly associated with a strong positive Indian Ocean Southern Dipole (IOSD) event extending throughout the year 2017.

Keywords: cloud radar; BASTA; Indian Ocean Subtropical Dipole; Reunion Island; integrated water vapor; Southwest Indian Ocean; GNSS; cloudiness variability; tropical clouds

1. Introduction

Because cloudiness plays a major role in distributing the radiative energy available in the atmosphere [1,2], knowledge of cloud properties is crucial for anticipating the impacts of cloud cover and, in particular, low-level cloud feedbacks in climate change projections [3]. A better knowledge of the vertical distribution of clouds is also important for numerical modelling, as errors in the location and vertical structure of clouds, which directly impact the radiative balance, are considered among the main sources of uncertainty in climate and weather numerical weather prediction (NWP) models [4–6].

In the tropics, cloudiness is principally determined by the space–time distribution of the lower-tropospheric moisture, which controls the total water content and buoyancy of



Bilan des activités par actions

Action 2

Prévision des précipitations cycloniques

- A2.1 Organisation de formations en prévision
- A2.2 Réalisation d'études climatiques et climatologiques



Action 2

SA- 2.1 Formation en prévision cyclonique

Objectif : Permettre aux prévisionnistes de la zone océan Indien de consolider leurs compétences en prévision cyclonique.

3 formations ont été organisées dans le cadre de RNR-CP

CMRS Cyclones de La Réunion en Octobre 2018 (10 jours)

Prévision cyclonique à courte échéance

2 prévisionnistes mozambicains (UEM et INAM)

~~**1 prévisionniste mahorais (DIROI)**~~

+ 2 prévisionnistes seychellois (SMA)



Action 2

SA- 2.1 Formation en prévision cyclonique

Objectif : Permettre aux prévisionnistes de la zone océan Indien de consolider leurs compétences en prévision cyclonique.

3 formations ont été organisées dans le cadre de RNR-CP

Maurice en 2018 et 2019 dans le cadre du SWIOCOF (AFD/COI/DIROI)
Climatologie et prévision saisonnière

2 x 2 agents mozambicains (UEM et INAM)

Frais pris en charge par l'AFD

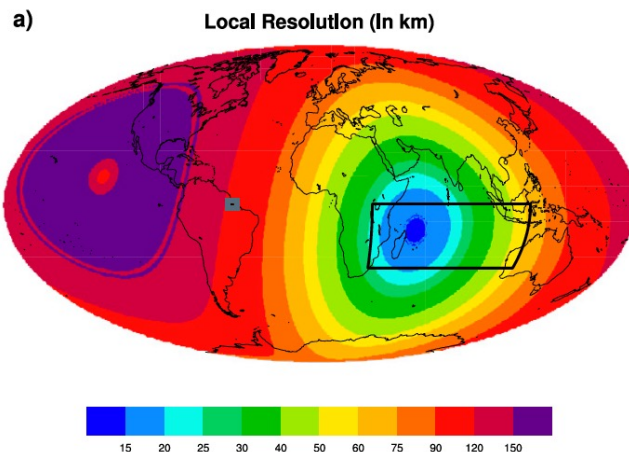


Action 2

SA- 2.2 Etudes climatiques et climatologiques

Objectif : Prévoir l'impact du changement climatique sur la distribution et l'intensité des précipitations d'origine cyclonique dans le futur

Outils: Simulations de divers modèles de climat
ARPEGE-Climat - ALADIN-Climat - GIEC



Domaine et résolution du modèle ARPEGE-CLIMAT utilisé pour RNR-CP (CNRM)

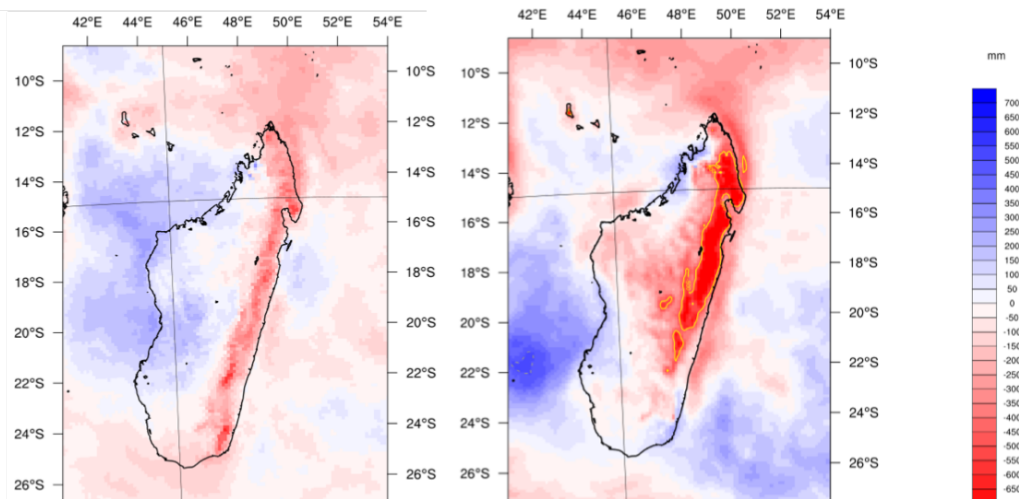


Action 2

SA- 2.2 Etudes climatiques et climatologiques

Exemples d'applications

1/ Evolution des précipitations à Madagascar



ARPEGE-climat

ALADIN-climat

Évolution des précipitations à Madagascar sur la période (2064-2093) par rapport à la période de référence (1981-2010)

Etude réalisée par la DIROI

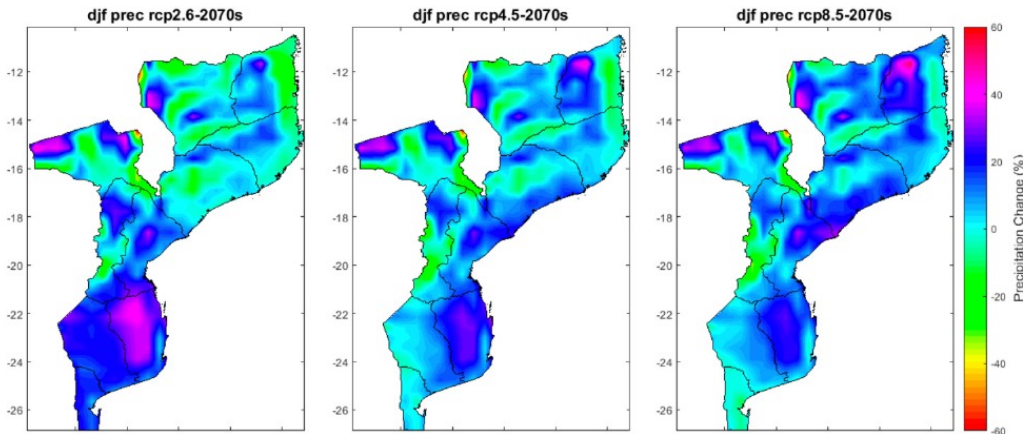


Action 2

SA- 2.2 Etudes climatiques et climatologiques

Exemples d'applications

2/ Evolution des précipitations au Mozambique



Évolution des précipitations Au Mozambique sur la période (2041-2070) par rapport à la période de référence (1961-1990) pour différent scénario du GIEC (données CMIP5)

Etude réalisée par l'INAM et l'UEM
Mavume et al. 2021

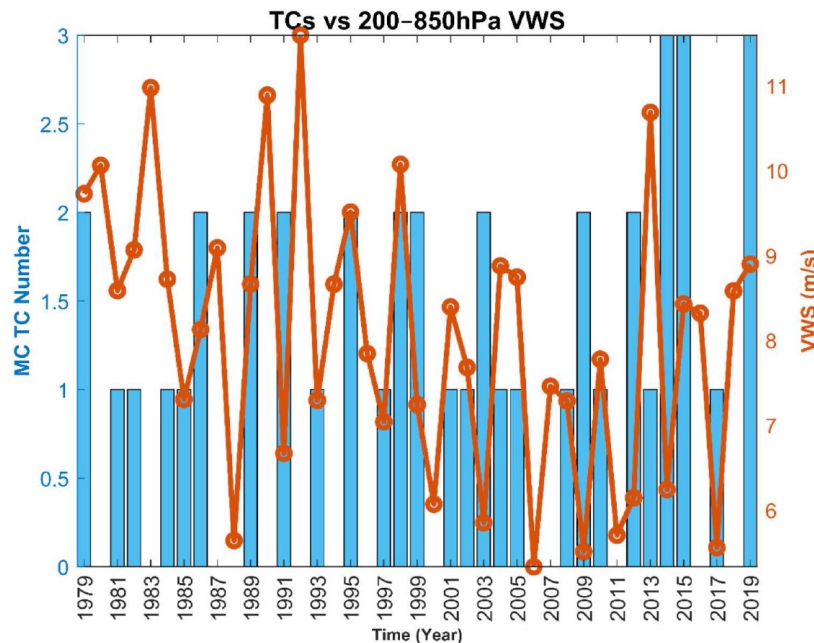


Action 2

SA- 2.2 Etudes climatiques et climatologiques

Exemples d'applications

3/ Climatologie des cyclogenèses dans le Canal du Mozambique



Nombre de cyclones ayant touché le Mozambique sur la période 1979-2019 et valeur moyenne du cisaillement de vent

Etude réalisée par l'INAM et l'UEM
Manhique et al. 2021



ReNovRisk-CP

Recherche intégrée et Innovante sur les Risques Naturels

Action 2

SA- 2.2 Etudes climatiques et climatologiques

Valorisation des études

15 JUNE 2020 CATTIAUX ET AL. 4975

Projected Changes in the Southern Indian Ocean Cyclone Activity Assessed from High-Resolution Experiments and CMIP5 Models

JULIEN CATTIAUX AND FABRICE CHAUVIN

Centre National de Recherches Météorologiques, Université de Toulouse, CNRS, Météo-France, Toulouse, France

OLIVIER BOUSQUET, SYLVIE MALARDEL, AND CHIA-LUN TSAI

Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones, Université de la Réunion, CNRS, Météo-France, Saint-Denis, France

(Manuscript received 2 August 2019, in final form 7 March 2020)

ABSTRACT

The evolution of tropical cyclone activity under climate change remains a crucial scientific issue. Physical theory of cyclogenesis is limited, observational datasets suffer from heterogeneities in space and time, and state-of-the-art climate models used for future projections are still too coarse (~100-km of resolution) to simulate realistic systems. Two approaches can nevertheless be considered: 1) perform dedicated high-resolution (typically <50-km) experiments in which tropical cyclones can be tracked and 2) assess cyclone activity from existing low-resolution multimodel climate projections using large-scale indices as proxies. Here we explore these two approaches with a particular focus on the southern Indian Ocean. We first compute high-resolution experiments using the rotated-stretched configuration of our climate model (CNRM-CM6-1), which is able to simulate realistic tropical cyclones. In a 2-K warmer world, the model projects a 20% decrease in the frequency of tropical cyclones, together with an increase in their maximum lifetime intensity, a slight poleward shift of their trajectories, and a substantial delay (about 1 month) in the cyclone season onset. Large-scale indices applied to these high-resolution experiments fail to capture the overall decrease in cyclone frequency, but are able to partially represent projected changes in the spatiotemporal distribution of cyclone activity. Last, we apply large-scale indices to multimodel CMIP5 projections and find that the seasonal redistribution of cyclone activity is consistent across models.

1. Introduction

Understanding how climate change may influence tropical cyclone (TC) activity remains a challenging scientific issue (Knutson et al. 2010; Walsh et al. 2016). As TCs cause local devastating impacts and play a crucial role in maintaining regional water resources, this question also receives particular public attention.

Detecting potential trends in observational data is limited by the quality of historical records and the difficulty to disentangle the climate change signal from the noise of internal variability. A few studies have analyzed the International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS) database, which compiles the best track datasets from diverse centers (Knapp et al. 2010). Various trends have been reported, such as an increase and a poleward shift in the TC lifetime

maximum intensity (Kossin et al. 2013; Holland and Bruyere 2014) or a slowdown of the translation speed (Kossin 2018), but it remains unclear whether these trends result from data heterogeneities (e.g., introduction of new satellites), natural variability, or anthropogenic forcings. Therefore, so far, most assessments regarding the evolution of TCs in a warmer world have been made from theoretical and/or modeling studies.

There is a theoretical expectation that a warmer climate would undergo stronger TCs, in line with higher sea surface temperatures (SST) and increased potential intensity (Emanuel 1988). However, no such robust conclusion exists for changes in TC frequency due to the lack of a generally accepted theory for cyclogenesis, even if progress has been made on identifying the environmental conditions favoring cyclone activity (e.g., Held and Zhao 2011; Peng et al. 2012; Sugi et al. 2012).

Modeling studies addressing the evolution of TCs under climate change face an implacable issue: grid resolution must be high enough to simulate realistic

Corresponding author: Julien Cattiaux, julien.cattiaux@meteo.fr

DOI: 10.1175/JCLI-D-19-0591.1
© 2020 American Meteorological Society. For information regarding reuse of this content and general copyright information, consult the AMS Copyright Policy (www.ams.org/PUBS/authors/copyright).



Article Analysis of Climate Change Projections for Mozambique under the Representative Concentration Pathways

Alberto F. Mavume^{1,*}, Bionidio E. Banzé¹, Odete A. Macie¹ and António J. Quefaça^{1,2}

¹ Departamento de Física, Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane, Avenida Júlio Nyerere, 3823, Campus Universitário Principal, 257 Maputo, Mozambique; bionidio.banze@uem.mz (B.E.B.), odete.macie@uem.mz (O.A.M.), quefaca@uem.mz (A.J.Q.)
² Instituto Nacional de Gestão e Redução do Risco de Desastres, Programa de Gestão do Risco de Desastres Resiliência, Rua Gas de Mendonça, 690 Maputo, Mozambique
* Correspondence: amavume@uem.mz; Tel.: +258-21-493-377

Abstract: Despite having contributed the least to global warming and having the lowest emissions, the African region is the most vulnerable continent to climate change impacts. To reduce the levels of risk arising from climate change, it is mandatory to combine both mitigation and adaptation. While mitigation can reduce global warming, not all impacts can be avoided. Therefore, adaptation is essential to advance strategic interventions and reduce the impacts. As part of the international effort to cope with changing climate, a set of Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX) domains have been established worldwide. The CORDEX-Africa initiative has been developed to analyze downscaled regional climate data over the African domain for climate data analysis techniques and engage users of climate information in both sector-specific and region/space-based applications. This study takes outputs of high-resolution climate multi-models from the CORDEX-Africa initiative constructed at a spatial resolution of 50 km to assess climate change projections over Mozambique. Projected spatial and temporal changes (three 30-year time periods, the present (2011–2040), mid (2041–2070), and the end (2071–2100) in temperature and precipitation under the Representative Concentration Pathways RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5 are analyzed and compared relative to the baseline period (1961–1990). Results show that there is a tendency toward an increase in annual temperature as we move toward the middle and end of the century, mainly for RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. This is evident for the Gaza Province, north of the Tete Province, and parts of Niassa Province, where variations will be Tmax (0.92 to 4.73 °C), Tmin (1.12 to 4.85 °C), and Tmean (0.99 to 4.7 °C). In contrast, the coastal region will experience less variation (values < 0.5 °C to 3 °C). At the seasonal scale, the pattern of temperature change does not differ from that of the annual scale. The JJA and SON seasons present the largest variations in temperature compared with DJF and MAM seasons. The increase in temperature may reach 4.47 °C in DJF; 4.59 °C in MAM, 5.04 °C in JJA, and 5.25 °C in SON. Precipitation shows substantial spatial and temporal variations, both in annual and seasonal scales. The northern coastal zone region shows a reduction in precipitation, while the entire southern region, with the exception of the coastal part, shows an increase up to 40% and up to 50% in some parts of the central and northern regions, in future climates for all periods under the three reference scenarios. At the seasonal scale (DJF and MAM), the precipitation in much of Mozambique shows above average precipitation with an increase up to more than 40% under these three scenarios. In contrast, during the JJA season, the three scenarios show a decrease in precipitation. Notably, the interior part will have the largest decrease, reaching a variation of ~60% over most of the Gaza, Tete, and Niassa Provinces.

check for updates
Cattiaux, Mavume, A.F., Banzé, B.E., Macie, O.A., Quefaça, A.J. Analysis of Climate Change Projections for Mozambique under the Representative Concentration Pathways. *Atmosphere* 2021, 12, 588. <https://doi.org/10.3390/atmos12060588>

Academic Editor: Mohammad Valpour

Received: 10 March 2021
Accepted: 24 April 2021
Published: 1 May 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Keywords: climate change; CORDEX-Africa; RCP; temperature; precipitation; Mozambique

1. Introduction

According to the International Panel on Climate Change (IPCC) Fifth Assessment Report (AR5), climate change warming is unequivocal, while it is extremely likely that



Article Seasonal to Interannual Variability of Vertical Wind Shear and Its Relationship with Tropical Cyclogenesis in the Mozambique Channel

Atanásio João Manhique^{1,*}, Isac Arnaldo Guirruço¹, Bernardino João Nhamumbo² and Alberto Francisco Mavume^{1,3}

¹ Departamento de Física, Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo C.P. 257, Mozambique; isaac.guirruco@gmail.com (I.A.C.); alberto.mavume@uem.mz (A.F.M.)
² Instituto Nacional de Meteorologia, Maputo C.P. 256, Mozambique; b.nhamumbo@gmail.com
* Correspondence: atanasio.manhique@uem.mz; Tel.: +258-84-305-7356

Abstract: This article explores the relationship between vertical wind shear (VWS) and tropical cyclone (TC) genesis in the Mozambique Channel (MC) for the period 1979–2019. Additionally, SST, low-level relative vorticity, 700 hPa relative humidity and upper-level divergence were also analyzed for the peak cyclogenesis months to explore their relative contributions. The analyses were done using NCEP/NCAR Reanalysis-1 for the atmospheric fields, monthly Optimum Interpolation SST V2, and for the cyclogenesis the TC best track data from the La Réunion–Regional Specialized Meteorological and Joint Typhoon Warning Centre. A total of 43 TCs generated in the MC were observed for the analysed period. The maximum frequency of cyclogenesis in the MC was observed during January and February and the spatial location of maximum TC genesis was coincident with the minimum values of the VWS. The VWS showed significant correlations with TC intensity, particularly when considering the upper atmosphere (200–300 hPa) or the bulk (200–850 hPa) VWS. The mean composites of the cyclogenesis months over the MC of SST, relative humidity at 700 hPa, divergence at upper atmosphere, showed significant values. However, linear correlations between these factors vs. TC genesis frequency and intensity were not significant. Analyses of intrannual correlations between VWS and Niño-3.4 (subtropical southwest Indian Ocean dipole-SIOD) showed statistically significant positive (negative) correlations at different lags, suggesting that La Niña and the positive phase of SIOD conditions are favorable to weaker VWS and thus to intensification of TCs in the Mozambique Channel. Thirteen landfall cases were observed with seven over the Madagascar west coast and six over the Mozambique coast. The landfall over the Madagascar (Mozambique) coast was associated with strengthened (weakened) VWS.

check for updates
Cattiaux, Manhique, A.J., Guirruço, I.A., Nhamumbo, B.J., Mavume, A.F. Seasonal to Interannual Variability of Vertical Wind Shear and Its Relationship with Tropical Cyclogenesis in the Mozambique Channel. *Atmosphere* 2021, 12, 739. <https://doi.org/10.3390/atmos12060739>

Academic Editor: Olivier Bousquet

Received: 18 March 2021
Accepted: 21 May 2021
Published: 9 June 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Keywords: cyclogenesis; vertical wind shear; Mozambique Channel

1. Introduction

The process by which tropical cyclones (TCs) form and intensify, often referred to as tropical cyclogenesis, is strongly dependent on the existence of several environmental conditions. Gray [1] listed six basic conditions favoring TC genesis, namely: (i) sea surface temperature (SST) exceeding 26 °C, (ii) enhanced mid-troposphere (700 hPa) relative humidity, (iii) conditional instability, (iv) enhanced lower troposphere relative vorticity, (v) weak vertical environmental wind shear (VWS) and (vi) a displacement by at least 5° latitude away from the equator. Chan et al. [2] suggested that VWS is one of the main governing factors of both tropical cyclogenesis and tropical cyclone intensity. Moreover, some studies indicate that the uncertainties in forecasting the environmental wind shear values prevent the improvements in TC intensity forecast [3,4]. Over the tropical Pacific, some studies have indicated that VWS is a key environmental variable that determines the TCs development [5,6]. Jones et al. [7] considered the VWS a key predictor of seasonal



Bilan des activités par actions

Action 3

Coordination et valorisation du projet

- A3.1 Gestion et pilotage
- A2.2 Valorisation des résultats



Action 3

SA- 3.1 Gestion et pilotage

1/ Création d'un comité de suivi international, composé des responsables de chaque partenaire (IST-D, UEM, INAM, MF, UR, LACy)

- Première réunion en juin 2018 (couplée à un workshop et des visites de sites)
- ~~Deuxième réunion en 2020 (annulée en raison de la crise sanitaire)~~

2/ Recrutement d'une gestionnaire en charge des questions administratives (50% RNR-CP – 50% RNR-C3)



Action 3

SA- 3.2 Valorisation

- 1/ 6 publications dans des revues scientifiques de rang A
- 2/ Participation à 3 conférences internationales
+ nombreuses communications orales lors d'évènements nationaux ou internationaux (Tropical Cyclone Committee, IWTC)
- 3/ Plusieurs dizaines de communications dans les médias (reportages TV, articles de presse, documentaires)
- 4/ Projet pris en exemple dans de nombreux articles et évènements de l'UE
- 5/ Nombreuses présentations du projet à l'étranger (Ambassadeur de France au Mozambique en octobre 2017, Alliance française de Diego-Suarez en mai 2018, séminaires IOGA / IST...)
- 6/ **Film documentaire sur ReNovRisk-Cyclones** (festival du film scientifique 2023?)



BILAN GLOBAL

- 1/ **Projet médiatiquement très porteur**, régulièrement mis en avant par l'UE et la Région Réunion dans le cadre du programme Interreg OI 2014-2020
- 2/ **Coopération internationale soutenue** (et réelle) avec l'ensemble des partenaires
- 3/ **Nombreuses applications scientifiques** autour de l'étude et de la climatologie des cyclones et des précipitations (publications / conférences)
- 4/ **Important volet formation** (renforcement des capacités)
 - **Trois stages de master2**, dont 2 destinés à des étudiants malgaches de L'IST-D;
 - Organisation de **trois formations** sur la prévision des cyclones à courte et moyenne échéances;
 - **Formation d'une trentaine d'étudiants et de chercheurs** de la région dans le domaine de l'observation météorologique;
 - **Recrutement de 3 IGR**

Aurait pu être encore plus productif sans la pandémie de Covid19...