

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

ReNovRisk-Cyclones et Précipitations



L16 : Rapport Final

Ce document propose un bilan global des activités réalisées au cours du projet ainsi qu'un bilan pour chacune des 3 actions

Olivier BOUSQUET

Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones
(UMR 8105 CNRS/Météo-France/Université de La Réunion)



1. Objectifs et structuration du projet

Réduire la vulnérabilité des populations et des territoires du sud-ouest de l'océan Indien (SOOI) aux événements cycloniques, nécessite, avant toute chose, de comprendre et prévoir plus précisément le phénomène cyclone et ses aléas.

Dans cette optique, le projet de recherche *ReNovRisk-Cyclones et Précipitations (RNR-CP)* a été conçu pour doter les chercheurs et personnels techniques de la zone SOOI d'outils, de méthodologies et de compétences leur permettant de faire face plus efficacement aux risques et impacts des cyclones tropicaux.

Ce projet de recherche collaboratif, qui constitue l'un des cinq projets du programme de recherche ReNovRisk sur la prévention des risques dans le bassin sud-ouest de l'océan Indien (SOOI), a été élaboré et conduit en partenariat avec les centres de recherche suivants :

- L'Université de La Réunion (UR), île de La Réunion
- La Direction Inter-régionale de Météo-France pour l'océan Indien (DIROI), La Réunion et Mayotte
- L'institut Supérieur de Technologie de Diego-Suarez (IST-D), Madagascar
- L'Université d'Antananarivo (IOGA), Madagascar
- L'Université Eduardo Mondlane (UEM), Mozambique
- Le Service National de Météorologie du Mozambique (INAM), Mozambique

Et structuré en trois actions complémentaires :

- Une première action, intitulée « observation et étude des pluies cycloniques » s'intéressant à l'étude des précipitations cycloniques dans la région du canal du Mozambique et aux alentours de La Réunion. Elle reposait notamment sur le déploiement de nouveaux capteurs météorologiques à Madagascar et au Mozambique, ainsi que sur l'organisation, pour la première fois dans cette région du monde, d'une campagne de mesures météorologiques intensives de plusieurs mois lors d'une saison cyclonique.
- Une deuxième action, intitulée « prévision des précipitations cycloniques » s'intéressant plus particulièrement à la prévision des précipitations cycloniques et de leurs impacts. Elle reposait notamment sur la réalisation d'études climatologiques et climatiques, ainsi que sur la mise en place d'un programme de formation visant à renforcer les compétences des prévisionnistes et des chercheurs de la région SOOI dans le domaine de la prévision des cyclones à différentes échelles spatio-temporelles, en collaboration étroite avec le Centre Météorologique Régional Spécialisé (CMRS) de La Réunion et le bureau d'étude climatologique de la DIROI.
- Une troisième action, intitulée « coordination et valorisation du projet », visant à coordonner les efforts de coopération et à valoriser les travaux et avancées scientifiques résultant de cette dernière auprès de la communauté scientifique régionale et internationale.

2. Modifications notables

Les modifications s'étant avérées nécessaires afin de mener à bien les objectifs du projet sont décrites ci-après. **Toutes ces modifications ont été réalisées après accord du service instructeur.**

2.1 Avenant

Le projet a fait l'objet d'un avenant en juillet 2019 visant à prolonger sa durée d'une année et à réajuster les lignes budgétaires au sein de chaque action.

2.2 Partenariat

L'institut Supérieur de Technologie d'Antsiranana (Diego-Suarez), dirigé par Madame Lova ZAKARIASY, a intégré le projet en tant que partenaire principal peu après son démarrage (voir lettre d'engagement). L'université de Pemba Unilurio, bien que non partenaire officiel, a également largement contribué aux activités menées dans le cadre de l'action 1 du projet.

2.3 Ressources humaines

Deux ingénieurs de recherche supplémentaires, Mr J. DURAND et Mme R. CALMER, ont été recrutés pour exploiter les mesures collectées dans le cadre de la campagne expérimentale du programme. Ces recrutements ont été réalisés afin de pallier le départ de Mr. D. VIGNELLES, qui a démissionné après quelques mois suite à l'obtention d'un CDI en métropole.

Deux stages étudiants de niveau M1, initialement destinés à des étudiants de l'UEM, ont été requalifiés en un stage de niveau Master 2 suite à l'abandon, par l'UEM, de son projet de création d'un Master en climatologie. Mme Laetitia Corale, étudiante en master 2 de l'université de Toulouse, a été sélectionnée et a effectué son stage au LACy entre février et août 2019. Elle y a, par la suite, obtenu une bourse de thèse centrée sur les thématiques de recherche abordées dans le cadre de ReNovRisk-Cyclones.

2.4 Budget

Des ajustements budgétaires ont dû être réalisés afin de prendre en compte les incertitudes et aléas rencontrés au cours de l'exécution du projet. Les conséquences de la crise sanitaire et, en particulier, la restriction des déplacements à partir de mars 2020, ne nous par ailleurs pas permis de mener à terme l'ensemble des activités initialement planifiées. Les dépenses se sont ainsi avérées moins élevées que prévues avec un taux d'exécution de l'ordre de 85%.

2.5 Modification des sites expérimentaux

Pour des raisons aussi bien pratiques que scientifiques, certains des sites expérimentaux prévus initialement ont été modifiés au cours de l'exécution du programme. Il nous est ainsi apparu plus pertinent de réaliser les radiosondages (action 1.1), prévus en 2019 au Mozambique et à Madagascar, à Maputo (au lieu de Beira) et à Tamatave (au lieu de Fort-Dauphin) - ce choix s'est par ailleurs avéré judicieux sachant que la ville de Beira a été détruite à 90% par le cyclone Idaï en mars 2019. Les sites de déploiement des stations météorologiques ont également été reconsidérés afin de prendre en compte des difficultés logistiques et l'intérêt scientifique. La répartition initiale (7 stations au Mozambique et 2 à Madagascar) a ainsi été modifiée (6 stations à Madagascar et 4 au Mozambique).

D'autre part, au vu du contexte social très préoccupant qui régnait à Mayotte en 2018, et au regard du risque de dégradation / retard lié à l'envoi d'instruments sur place, nous dû nous résigner à annuler le déploiement de matériel prévu sur cette île dans le cadre de la campagne expérimentale du projet.

2.6 Formations

La formation en climatologie destinée aux chercheurs de l'INAM et de l'UEM, initialement prévue à La Réunion en 2018, a été organisée à Maurice dans le cadre de l'atelier

“SWIOCOF” organisé par la DIROI, l’AFD et la COI. Cette formation a été dispensée par les chercheurs de la division d’études climatologiques de la DIROI à quatre agents mozambicains de l’INAM et de l’UEM, comme prévu initialement. Cette modification a permis de donner plus de visibilité au projet RNR-CP et de renforcer la collaboration régionale - le SWIOCOF accueillant des stagiaires originaires de l’ensemble des pays de la COI. Une seconde formation a également été organisée l’année suivante pour, à nouveau, quatre personnels de l’UEM et de l’INAM lors du SWIOCOF 2019. Ces deux formations ont été dispensées à titre gracieux.

La deuxième formation en prévision cyclonique, qui devait être réalisée en 2020 au CMRS La Réunion, a dû être annulée en raison de la crise sanitaire.

3. Bilan global

Malgré l’impact de la pandémie de SarsCov2 sur le déroulement du projet à partir de février 2020, les résultats obtenus dans *ReNovRisk Cyclones et Précipitations* ont généré des avancées significatives dans le domaine de l’observation et de la prévision des cyclones tropicaux dans le bassin SOOI et ont, dans l’ensemble, permis d’atteindre les objectifs attendus.

Le renforcement du réseau de stations météorologiques de surface dans le bassin s’est avéré être un atout important dans l’optique d’étudier les propriétés de cyclones tropicaux lors de leurs atterrissages le long des côtes mozambicaines et malgaches, et ce même si les matériels semi-professionnels utilisés se sont parfois avérés insuffisamment robustes pour résister aux conditions environnementales extrêmes rencontrées lors de ces événements. La campagne de radiosondage de 3 mois, réalisée lors de l’été austral 2019 à Maputo, Mayotte et Tamatave, a également permis d’échantillonner l’environnement dans lequel se sont développés plusieurs cyclones majeurs de la saison 2018-2019 et de former en parallèle près de 40 étudiants et personnels techniques malgaches, mozambicains, mahorais et réunionnais à la technique du radiosondage météorologique.

Afin de favoriser la montée en compétence des scientifiques de la région SOOI dans le domaine de la prévision des cyclones, le projet a organisé une formation en prévision cyclonique au CMRS cyclones de La Réunion pour deux agents de l’INAM et de l’UEM (une deuxième formation, prévue en 2020, a dû être annulée en raison de la fermeture des frontières) et a permis la participation de quatre autres agents de l’INAM et de l’UEM aux ateliers sur la prévision saisonnière (SWIOCOF) organisés en 2018 et 2019 par la COI, l’AFD et la DIROI à Maurice.

ReNovRisk-CP a permis de recruter de 3 jeunes chercheurs IGR et d’accueillir trois stagiaires de master originaires de Madagascar (IST-D x2) et de l’université de Toulouse - notons que les IGR recrutés dans le cadre du projet ont ensuite été embauchés immédiatement dans des organismes de recherche internationaux (USA et Canada) pour deux d’entre eux, et dans une société française privée (Modem) pour le troisième. Deux des stagiaires accueillis au LACy ont également poursuivi en thèse à Madagascar (IST-D) et à La Réunion (LACy), tandis que le troisième a été recruté dans une entreprise de télécom malgache.

Si le projet est aujourd’hui terminé, l’exploitation des observations et des outils développés dans le cadre de *RNR-CP* se poursuivra pendant de nombreuses années par les chercheurs français et étrangers spécialisés dans l’étude des cyclones tropicaux. Les liens générés par le projet ont également permis de renforcer certains partenariats régionaux initiés dans RNR-CP dans de nouveaux programmes INTERREG (cf. ESPOIRS). Le projet a également donné lieu à trois fois plus de publications scientifiques que prévu initialement, la plupart ayant été publiées dans une édition spéciale du journal *Atmosphère* sur les cyclones tropicaux de l’océan indien (éditée par le porteur de projet sur demande du journal). Les travaux ont

également donné lieu à plusieurs présentations lors de conférences internationales, ainsi qu'à de nombreux articles de presse et reportages.

4. Bilan détaillé par actions et sous-actions

4.1 Action 1 : Observation et étude des pluies cycloniques

4.1.1 - Sous-action 1.1 : Densification du réseau de stations météorologiques autour du Canal du Mozambique

Objectif

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

Résultats

Les neuf stations acquises dans le cadre du projet ont été installées entre mai 2017 et janvier 2020 sur les sites suivants :

- DIEGO SUAREZ (Madagascar, mai 2017) – IST d'Antsiranana (1)
- PEMBA (Mozambique, aout 2018) – Université Unilurio (2)
- NACALA (Mozambique, aout 2018) – Kwalala Lodge (3)
- VAMIZI (Mozambique, aout 2018) – N'eyond base camp (4)
- FORT-DAUPHIN (Madagascar, septembre 2018) - hôtel Kaleta (5).
- BEIRA (Mozambique, septembre 2018) – INAM (6)
- SAINTE-MARIE (Madagascar, décembre 2018) – Hotel Soanambo (7)
- NOSY BE (Madagascar, aout 2019) – CNRO (8)
- TAMATAVE (Madagascar, Janvier 2020) - Aéroport International (9)

- ⇒ Une procédure de transmission par Internet filaire ou 4G a été mise en œuvre en fonction des sites. Les données ont été traitées au LACy, puis distribuées aux partenaires via le serveur de données du projet jusqu'en mars 2020.
- ⇒ Les données collectées ont été exploitées par de nombreux partenaires, notamment des étudiants de l'IST-D et de l'université de Pemba dans le cadre de projets d'études universitaires.
- ⇒ L'installation de la station de Tamatave a été réalisée dans le cadre du stage de Master de deux étudiants de l'IST-D.
- ⇒ Toutes les stations météorologiques déployées à Madagascar ont été colocalisées avec les stations GNSS déployées dans le cadre du projet RNR-C3

Problèmes rencontrés

- ⇒ Cette sous-action a initialement pris du retard du fait d'une épidémie de peste à Madagascar au cours du deuxième semestre 2017, elle-même suivie d'une longue période de troubles sociaux. Ces événements imprévus ont eu pour conséquence de limiter l'accès à l'île de juin 2017 à Aout 2018. Les installations au Mozambique se sont également avérées plus longues (et plus complexes) que prévu initialement à cause du contexte sécuritaire dans la partie nord du pays. En tenant compte de l'intérêt scientifique du projet et des difficultés logistiques, il a de fait été décidé, en accord avec le SI, de modifier la répartition prévue initialement (7 stations au Mozambique et 2 à Madagascar) pour installer plus de stations à Madagascar (5 stations à Madagascar et 4 au Mozambique).

⇒ La station de Nosy Be, initialement installée dans les locaux du Centre National de Recherche Océanographiques (CNRO) courant 2019, a dû être déplacée suite à la fermeture inopinée du centre quelques mois plus tard.



Photographies des 9 stations météorologiques installées pendant RNR-CP

- ⇒ La station de Beira a été partiellement détruite lors du passage du cyclone Idai en mars 2019. Elle a par la suite été remise en service par les personnels de l'INAM présents sur place, mais une mission de maintenance, organisée quelques mois plus tard, a révélé que les dégâts sur les capteurs étaient trop importants pour obtenir des mesures fiables.
- ⇒ Du fait des conditions d'exploitation complexes, certaines stations sont tombées en panne, ce qui a parfois conduit à de longues périodes d'inactivité et à la nécessité de rapatrier le matériel à La Réunion. Les études climatologiques prévues n'ont ainsi pu être réalisées suite à l'impossibilité d'obtenir des séries suffisamment longues dans le temps. Dans l'ensemble, il apparaît que le matériel semi professionnel utilisé n'était pas

totallement adapté aux conditions d'exploitation et ce d'autant plus qu'il n'a plus été possible de les maintenir à partir de février 2020 du fait de la pandémie de Covid 19.

- ⇒ La pandémie de Covid 19, conjuguée aux troubles politiques ayant débuté début 2020 dans la partie nord du Mozambique, nous ont empêchés de nous rendre sur les lieux d'installation à partir de février 2020. Les frontières malgaches ont été ainsi fermées jusqu'en décembre 2020 et les moyens d'accès à Madagascar et de déplacement à l'intérieur du pays sont restés très limités jusqu'à la fin de l'année 2021. La région nord du Mozambique, classée en zone rouge écarlate par le MEAE dès le début de l'année 2020, était par ailleurs toujours interdite d'accès en 2022. Ces événements ont eu des conséquences sur nos capacités et acquérir et à transmettre les données sur l'ensemble des sites expérimentaux à partir de février 2020. Les abonnements internet locaux n'ont pu être renouvelés et certaines stations, endommagées suite aux passages de cyclones tropicaux, n'ont pu être maintenues.
- ⇒ Les données collectées par les stations, la plupart du temps transmises en temps réel, ont été archivées sur un serveur externe accessibles via le site <http://www.renovrisk.re/> Ce serveur, dont le financement était assuré à titre personnel par deux des participants au projet, a été arrêté en mars 2020. L'ensemble des données disponibles ont été archivées sur des postes de travail dans l'attente de pouvoir être mise à disposition via un serveur de l'université de La Réunion.

Livrables

L1 : Rapport sur le déploiement et la mise en service de neuf (9) nouvelles stations météorologiques à Madagascar et au Mozambique - **Rendu**

4.1.2 - Sous-action 1.2 : 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 de la saison cyclonique 2018-2019 et former des étudiants et personnels techniques de la région dans le domaine de l'observation météorologique.

Résultats

La campagne de mesure du programme s'est déroulée du 20 janvier au 8 avril 2019. Trois sites de radiosondages ont été déployés à Maputo (site de l'INAM), Mayotte (site de la DIROI) et Tamatave (site de l'ASECNA - aéroport).

- ⇒ Près de 60 agents permanents et d'étudiants ont participé à la campagne de radiosondage sur l'ensemble de la période.
- ⇒ La campagne de mesure a permis de former 15 étudiants malgaches du IOGA (à Tamatave), 5 étudiants mozambicains de l'UEM (à Maputo), ainsi qu'une dizaine d'agents mahorais (DIROI) et mozambicains (INAM) tout au long des 3 mois de campagne.
- ⇒ Environ 560 lâchers de ballons ont été effectués dont 80% ont été déclarés valides - les radiosondages déclarés non valides sont liés à des problèmes de sondes (dysfonctionnement), de ballons (altitude minimale non atteinte) ou à de fausses manipulations par les étudiants.
- ⇒ Les données collectées ont été distribuées en temps réel sur la base de données opérationnelle de Météo-France, afin de permettre leur assimilation dans les modèles de prévisions numériques du temps.

⇒ Les données ont été exploitées par de nombreux partenaires du projet ainsi que par un étudiant en stage de master 2 du LACy (financé par ailleurs).

413 sondages valides

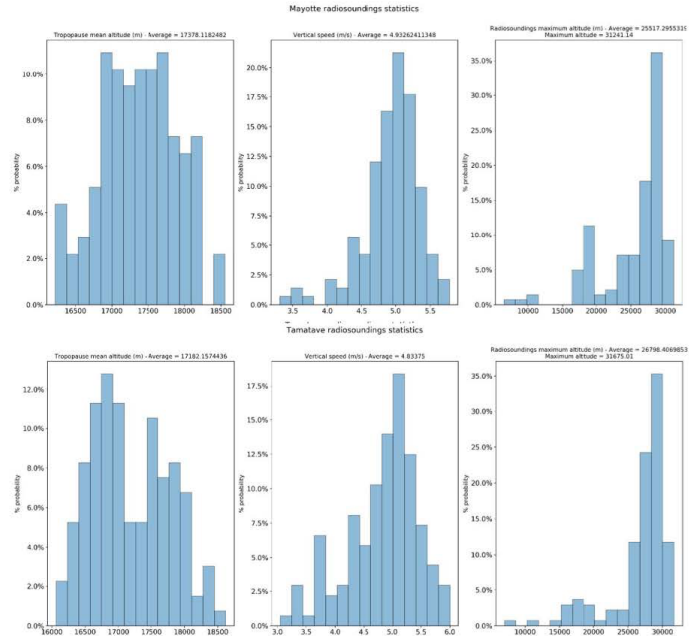
141 Mayotte
136 Tamatave
136 Maputo

+ 1 RS / j à Mahe / Fort-Dauphin
et 2 RS/j à La Réunion

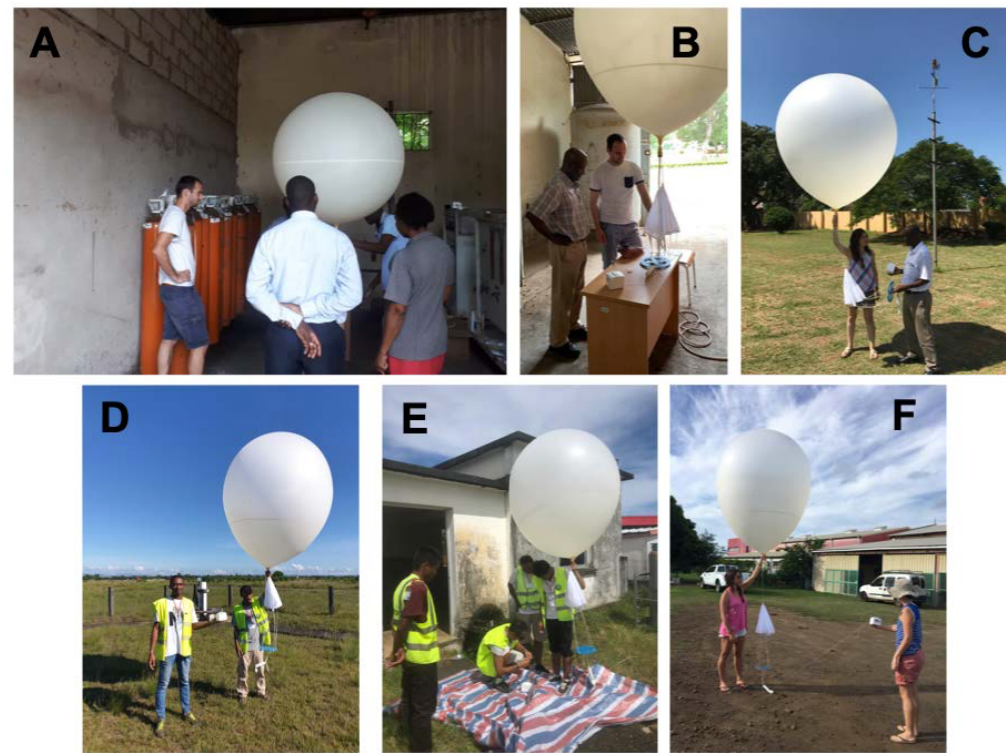
~ 75 % des RS > 27km

Tropopause moyenne

17 318m Mayotte
17 182m Tamatave
17 140m Maputo



Nombre et caractéristiques des radiosondages valides réalisés sur les sites expérimentaux de Tamatave et Mayotte.



Réalisation de radiosondages pendant la campagne expérimentale du projet. Panneau du haut : (A-C) 2 doctorants et un IGR du LACy, préalablement formés à La Réunion, forment les personnels de l'INAM à la technique du radiosondage à Maputo. Panneau du bas : (D, E) 5 étudiants du IOGA réalisent des sondages atmosphériques à Tamatave. (F) Une doctorante et une IGR du LACy réalisent un radiosondage à Mayotte.

Problèmes rencontrés

- ⇒ L'organisation de cette campagne a été particulièrement complexe d'un point de vue logistique, l'achat et la livraison de l'hélium nécessaire à la réalisation des sondages s'étant notamment révélé très compliqués à réaliser. Deux des trois sites prévus initialement ont été modifiés pour tenir compte de ces contraintes. A Madagascar les radiosondages ont été réalisés à Tamatave, plutôt qu'à Fort Dauphin, et au Mozambique, à Maputo plutôt qu'à Beira. Ces modifications ont néanmoins permis d'augmenter significativement le nombre d'étudiants formés et évité une catastrophe, la ville de Beira ayant été complètement rasé par le cyclone Idai en mars 2019.
- ⇒ Au vu du contexte social très préoccupant qui régnait à Mayotte à partir de juillet 2018, et au regard du risque de dégradation / retard lié à l'envoi d'instruments sur place, nous dû nous résigner à annuler le déploiement du matériel de l'OPAR prévu sur cette île dans le cadre de la campagne expérimentale.

Livrables

L3 : Tutoriel pour la réalisation de radiosondages atmosphériques - Rendu

- ⇒ Un tutoriel a été réalisé sous la forme d'une vidéo diffusée sur YouTube.

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 partiellement

- ⇒ Les données collectées ont été archivées sur un serveur externe accessibles via le site <http://www.renovrisk.re/>. Ce serveur, dont le financement était assuré à titre personnel par deux des participants au projet, a cependant été arrêté en juin 2021. L'ensemble des données ont été archivées sur des postes de travail dans l'attente de pouvoir être mises à disposition via un serveur de l'université de La Réunion.

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 - Non rendu

- ⇒ Ces opérations ont été annulées suite aux problèmes logistiques liés à l'existence de conflits sociaux à Mayotte au cours du second semestre 2018.

L10 : Compilation des rapports de stages étudiants réalisés au cours du projet - Rendu

4.1.3 Sous-action 1.3 : Traitement et analyse des observations atmosphériques

Objectif

Exploiter les données expérimentales collectées dans le cadre du projet pour étudier les systèmes cycloniques se développant dans la zone SOOI.

Résultats

Les données expérimentales collectées dans le cadre du projet RNR-CP, mais aussi du projet RNR-C3, ont été analysées et exploitées par de nombreux étudiants et chercheurs participant au projet. Ces travaux ont notamment fait l'objet d'un article de synthèse publié en 2021 dans la revue Atmosphère.

Bien que les capteurs de l'OPAR n'aient pu être envoyés à Mayotte, une étude sur les propriétés des nuages et des précipitations a également été réalisée à partir des capteurs de l'OPAR à La Réunion. Ces travaux ont également fait l'objet d'une publication dans la revue Atmosphère.

Problèmes rencontrés

RAS

Livrables

L6 : Rapport ou article scientifique sur l'analyse préliminaire des résultats obtenus lors de la campagne expérimentale de 2019 - **Rendu (publications)**

⇒ Deux articles (Bousquet et al. et Durand et al.) publiés dans la revue *Atmosphere* en 2021

Bousquet O, Barruol G, Cordier E, Barthe C, Bielli S, Calmer R, Rindraharisaona E, Roberts G, Tulet P, Amelie V, Fleischer-Dogley F, Mavume A, Zucule J, Zakariasy L, Razafindradina B, Bonnardot F, Singh M, Lees E, Durand J, Mekies D, Claeys M, Pianezze J, Thompson C, Tsai C-L, Husson R, Mouche A, Ciccione S, Cattiaux J, Chauvin F, Marquestaut N. 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 RENOVRISK-CYCLONE. *Atmosphere*. 2021; 12(5):544. <https://doi.org/10.3390/atmos12050544>

Durand J, Lees E, Bousquet O, Delanoë J, Bonnardot F. Cloud Radar Observations of Diurnal and Seasonal Cloudiness over Reunion Island. *Atmosphere*. 2021; 12(7):868. <https://doi.org/10.3390/atmos12070868>

4.2 - Action 2 : Prévision des précipitations cycloniques

4.2.1 - Sous-action 2.1 : Formation en prévision cyclonique

Objectif

Permettre aux prévisionnistes de la zone océan Indien de renforcer et de consolider leurs compétences en matière de prévision cyclonique.

Résultats

⇒ Une formation à destination de deux prévisionnistes de l'INAM et de l'UEM a été organisée en octobre 2018 au CMRS de La Réunion. Cette dernière a permis à ces deux agents de partager le quotidien des prévisionnistes du CMRS et de mettre à jour leurs connaissances scientifiques et techniques dans le domaine de la prévision des cyclones. Une partie de la formation a notamment consisté à "rejouer" la prévision des cyclones Fantala et DINEO qui ont respectivement frappé les Seychelles et le Mozambique en 2016 et 2018.

⇒ Deux formations ont été organisées à Maurice en 2018 et 2019 pour quatre prévisionnistes mozambicains (2 x 4) lors des ateliers SWIOCOF sur la prévision cyclonique saisonnière, organisés conjointement par la DIROI, l'AFD et la COI. La participation de ces agents à ces formations, délivrées par les chercheurs de la division d'études climatologiques de la DIROI, a permis de donner plus de visibilité au projet RNR-CP et de renforcer la collaboration régionale - le SWIOCOF accueillant des stagiaires originaires de l'ensemble des pays de la COI.

Problèmes rencontrés

⇒ Une deuxième formation en prévision cyclonique, prévue au CMRS de La Réunion en 2020, a dû être annulée en raison de la crise sanitaire.

⇒ Le prévisionniste de Mayotte censé participer à la première formation a annulé sa participation à la dernière minute pour cause de maladie.

Livrables

L11 : Rapport de synthèse sur le déroulement et les retombées des stages de formation en prévision numérique du temps effectués au CMRS cyclones de La Réunion. **Rendu**

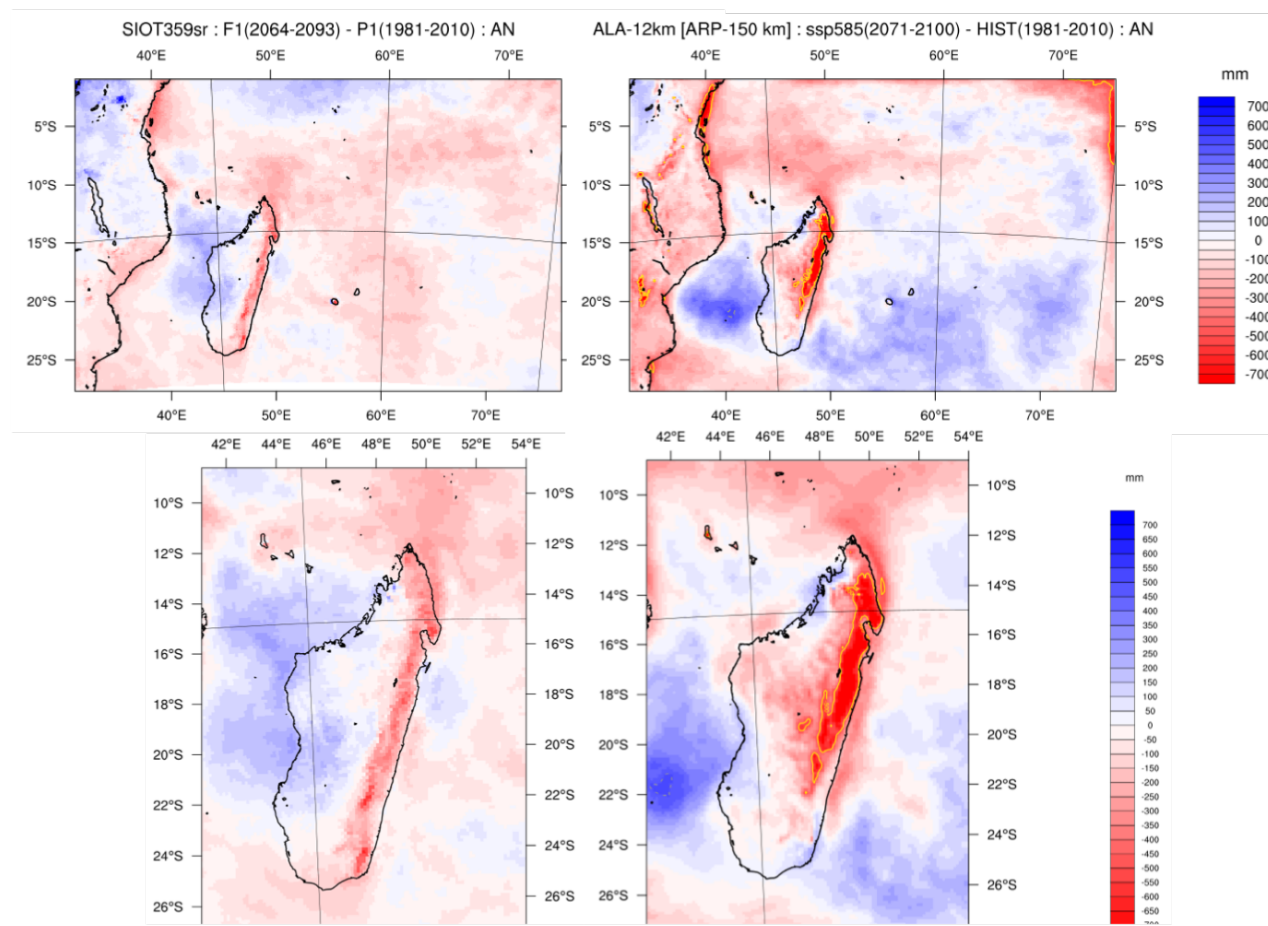
4.2.2 - Sous-action 2.1 : Études climatiques et climatologiques

Objectif

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

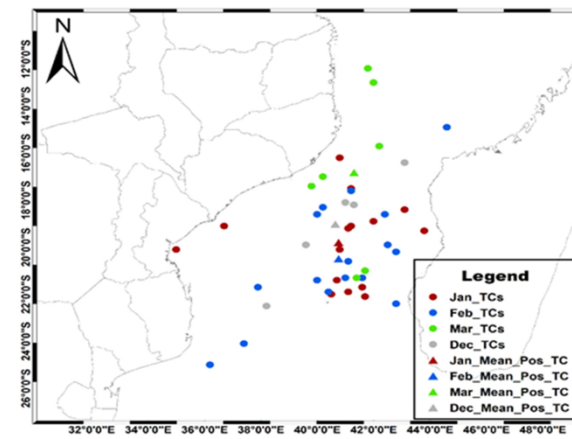
Résultats

Les données climatiques à haute résolution spatiale (10-20 km) issues de la simulation globale ARPEGE-Climat prévue dans le cadre du projet ont été exploitées en parallèle d'une simulation réalisée avec le modèle à aire limitée ALADIN-CLIMAT (12 km de résolution) par le bureau d'études climatologiques de la DIROI dans le cadre du programme AFD BRIO. Le recours à plusieurs modèles de résolution équivalente a ainsi permis d'affiner les prévisions et d'acquiescer une plus grande confiance dans les résultats obtenus.

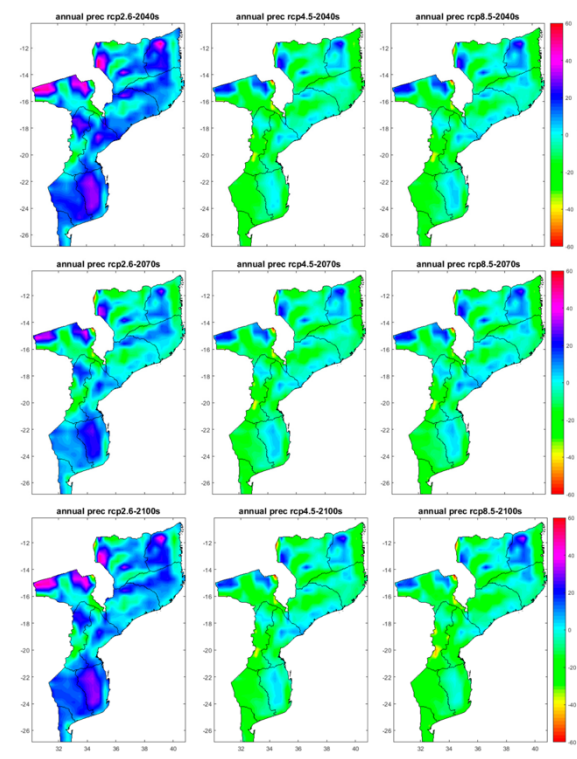


Evolution des précipitations sur la période (2064-2093) par rapport à la période de référence (1981-2010) prévue par les modèles ARPEGE-Climat (gauche) et ALADIN-Climat (droite). Un zoom sur Madagascar est montré sur le panneau du bas.

Des travaux portant sur le cas spécifique du Mozambique, ayant permis de réaliser une climatologie des cyclones tropicaux et d'évaluer l'impact du changement climatique sur l'activité cyclonique et la répartition des précipitations à l'échelle du pays ont également été réalisés par nos partenaires scientifiques de l'UEM et de l'INAM dans le cadre du projet. Ces travaux ont donné lieu à deux publications dans la revue Atmosphère.



Climatologie des cyclogenèses dans le Canal du Mozambique entre 1970 et 2019. D'après Manhique et al. 2021



Evolution du cumul de précipitation annuel au Mozambique (%) pour les périodes 2040s (2011–2040), 2070s (2041–2070), et 2100s (2071–2100) par rapport à une période de référence 1961–1990 pour chacun des trois principaux scénarios du GIEC (RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5). D'après Mavume et al. 2021.

Problèmes rencontrés

⇒ La nouvelle organisation du travail en vigueur à Météo-France à partir de mars 2020, conjuguée au manque de ressources associé, n'a pas permis de mener à bien toutes les études prévues initialement sur Madagascar et Mayotte dans le cadre du projet. D'autres sujets de recherche connexes portant sur la même thématique ont cependant été menés

à bien par nos partenaires mozambicains, permettant de compenser la réalisation partielle des objectifs initiaux, voire de les dépasser.

Livrables

L4 : Rapport sur l'évolution future de la recharge en eau des aquifères par les systèmes précipitants à Madagascar. **Partiellement rendu et complété par une étude supplémentaire**

⇒ Complété par un livrable sur la climatologie des cyclones dans le Canal du Mozambique, présenté sous forme d'article scientifique (Manhique et al. 2021).

L8 : Rapport de synthèse sur les techniques de descente d'échelle climatique appliquées aux précipitations. **Rendu**

⇒ Rendu sous forme d'articles scientifiques (Cattiaux et al. 2020) et Mavume et al. (2021)

L12 : Rapport sur l'évolution future de la recharge en eau des aquifères par les systèmes précipitants au Mozambique et à Mayotte. **Rendu**

⇒ Rendu sous forme d'article scientifique (Manhique et al. 2021)

4.3 - Action 3 : Coordination et valorisation du projet

4.3.1 - Sous-action 3.1 : Gestion et pilotage du projet

Objectif

Mettre en place un comité de suivi international (CSI) assurant la coopération et la mise en œuvre commune du projet.

Résultats

Un comité de pilotage formé des responsables de tous les partenaires a été constitué au démarrage du projet. Ce comité s'est réuni une fois à La Réunion au mois de juillet 2018. Un workshop scientifique et des visites de site (observatoire du Maïdo, CMRS) ont été organisés à cette occasion.

Problèmes rencontrés

⇒ La première réunion du comité, prévue en février 2018, a été repoussée en raison de l'activité cyclonique en cours dans le bassin, et de son impact potentiel sur les liaisons aériennes depuis et vers La Réunion.

⇒ La seconde réunion du CSI, prévue en 2020 a été annulée en raison des conséquences de la crise sanitaire sur les conditions d'accès à La Réunion (visas, vaccins).

Livrables

L2 : Rapport annuel - **Rendu**

L9 : Rapport annuel - **Rendu**

L13 : Rapport Annuel - **Rendu**

⇒ Les activités ayant été strictement limitées à de la valorisation sous forme de publications à partir de février 2020, aucun livrable annuel n'a été rendu cette année-là.

L16 : Rapport final - Rendu

4.3.2 - Sous-action 3.2 : Valorisation des travaux scientifiques

Objectif

Diffuser et valoriser les résultats du projet

Résultats

- Six articles scientifiques ont été publiés (au lieu de deux planifiés initialement)

⇒ Quatre dans la revue Atmosphere (MDPI, Impact factor 3.11)

- Bousquet et al, 2021 (<https://doi.org/10.3390/atmos12050544>)
- Durand et al. 2021 (<https://doi.org/10.3390/atmos12070868>)
- Manhique et al. 2021 (<https://doi.org/10.3390/atmos12060739>)
- Mavume et al. 2021 (<https://doi.org/10.3390/atmos12050588>)

⇒ Un dans la revue Natural Hazards (Impact factor : 3.1)

- Tulet et al. 2021 (<https://doi.org/10.1007/s11069-021-04624-w>)

⇒ Un dans la revue Journal of Climate (Impact factor : 5.48)

- Cattiaux et al. 2020 (<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0591.1>)

- Les résultats ont été présentés sous forme de présentations orale ou d'affiche lors de 3 conférences internationales

AMOS-ICSHMO 2018, Sydney, Australie, Février 2018

The SWIO-TC Experiment: A field campaign to improve understanding and prediction of tropical cyclones and their impacts in the SW Indian Ocean (Bousquet et al. 2018, présentation orale)

33rd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Ponte Vedra, USA, Avril 2018

The SWIO-TC Experiment: A Field Experiment to Improve Understanding and Prediction of Tropical Cyclone Intensification in the SW Indian Ocean (Bousquet et al. 2018, présentation orale)

AGU Fall Meeting 2019, San Francisco, USA, Décembre 2019.

Observation and forecast verification of cloud fraction over Reunion Island (21°S, 55.5°E) using a 95 GHz cloud radar (Durand et al. 2019, affiche)

Livrables

L14 : Compilation des actes et supports des présentations effectuées dans des conférences internationales. **Rendu**

L15 : Compilation des publications scientifiques. **Rendu**

