

Analyse multi-échelles des épisodes de fortes pluies aux Seychelles

Nino GUIDA^{*1}, François BONNARDOT² and Philippe PEYRILLÉ³

¹ INPT-ENM, Toulouse, France.

² DIROI, Étude Climat, Météo-France, La Réunion, France.

³ CNRM, Université de Toulouse, Météo-France, CNRS, Toulouse, France.

August 7, 2023

RÉSUMÉ

Situées en climat équatorial, les Seychelles sont touchées par des épisodes de fortes pluies (EPEs) provoquant inondations ou glissements de terrain. Naturellement, la climatologie de ces événements extrêmes suit le cycle saisonnier avec un pic d'occurrences lors de la saison des pluies, entre novembre et mars. L'analyse des mesures de pluies quotidiennes sur l'île de Mahé révèle néanmoins que les EPEs ont aussi lieu en saison sèche. La forte variabilité intersaisonnière observée s'explique en partie par les téléconnexions imposées par des indices de température de surface de la mer (SST) comme l'ENSO (El Niño Southern Oscillation), dont la phase positive tend à provoquer des saisons avec plus d'EPEs que la moyenne. À plus fine échelle, le passage d'ondes atmosphériques couplées à la convection (CCEWs) engendre des conditions atmosphériques favorables à l'occurrence des EPEs (convergence de surface, apport en eau précipitable, ...).

Mots clés: *pluies extrêmes, eau précipitable, SST, téléconnexions, ondes atmosphériques*.

Introduction

Malgré l'existence du Seychelles Meteorological Authority (SMA) depuis plusieurs décennies, les épisodes de fortes pluies (EPEs) qui touchent les îles habitées (Mahé et Praslin principalement) restent à ce jour peu documentés. L'absence de modèles de prévision du temps à haute-résolution couvrant l'archipel seychellois et le caractère convectif en climat équatorial font de ces EPEs des phénomènes difficilement anticipables (Pezzoli and Franza 2003).

À ce jour, des études ont montré les liens existant entre les oscillations de température de surface de la mer (SST) dans l'Océan Indien et la variabilité des précipitations aux Seychelles (Harou et al. 2006). À plus fine échelle, Peyrillé et al. (2023) ont montré le rôle majeur des ondes atmosphériques équatoriales couplées à la convection (CCEWs) dans l'occurrence de pluies extrêmes en climat équatorial, plus particulièrement sur le Sahel. Cette étude s'inspire de ces travaux pour faire ressortir des prédictors des EPEs à différentes échelles.

Ainsi la Section 1 présente les méthodes et données utilisées, d'abord pour établir les caractéristiques et la climatologie des EPEs aux Seychelles (distribution, intensités, durées, localisation, ...), puis pour l'étude de leur modulation par différents drivers. Dans un second temps, la Section 2 présente les caractéristiques des EPEs aux Seychelles, et démontre brièvement l'intérêt des prédictors étudiés. La Section 3 donne les résultats obtenus concernant la

prévisibilité des EPEs, et pour finir, la Section 4 conclut et propose des pistes d'amélioration pour la prévision des EPEs s'appuyant sur les résultats de l'étude.

1 Méthodes et données utilisées

Commençons par présenter les données utilisées pour réaliser cette étude, ainsi que les méthodes appliquées pour l'obtention des résultats qui seront présentés plus tard.

1.1 Données disponibles

Notre étude vise tout d'abord à établir une climatologie des pluies extrêmes aux Seychelles, pour cela, une longue période de données est nécessaire (l'Organisation Météorologique Mondiale préconise 30 ans d'observations). Ainsi, sur la quarantaine de pluviomètres installés par le SMA, seuls ceux disposant d'une période de mesure suffisante ont été sélectionnés. Le jeu de données de pluies sur les Seychelles se constitue ainsi de pluies quotidiennes (RR24h) pour 13 stations (12 sur Mahé et 1 sur Praslin), pour la période janvier 1979 - mars 2023. En plus de ces données de pluies quotidiennes, on dispose aussi des pluies horaires sur la station principale de Mahé (Seychelles International Airport). Ces données seront utiles pour analyser les caractéristiques des EPEs à fine échelle.

La base de données IBTrACS contenant les informations relatives aux systèmes tropicaux à proximité des Seychelles entre 1979 et 2023 permet d'estimer la part d'EPEs liée à de l'activité cyclonique.

Pour l'étude des téléconnexions entre les indices de SST et les pluies aux Seychelles, nous utilisons les indices ENSO, IOD et SIOD mensuels de la NOAA.

Enfin, pour l'analyse des contributions des ondes atmosphériques aux EPEs, nous disposons de réanalyses ERAI sur une grille 2.5°x2.5°, de 1980 à 2016. Ces données ont été au préalable filtrées par Philippe Peyrillé³ afin d'en dégager les contributions individuelles des différentes ondes atmosphériques aux anomalies de paramètres images de la convection (eau précipitable, Outgoing Longwave Radiation, ...).

1.2 Méthodes utilisées

La première mission de l'étude est d'établir une climatologie des EPEs en identifiant les événements extrêmes ayant eu lieu entre 1979 et 2023 aux Seychelles. Notre but n'est pas d'identifier les orages isolés mais plutôt les épisodes de fortes pluies de grande échelle pouvant concerner Mahé et sa région dans son intégral-

*Contact: nino.guida@meteo.fr

ité ou presque. Pour cela, nous fixons les règles suivantes pour l'identification d'un EPE :

- * au moins 3 stations dépassent simultanément leurs percentiles 95 des RR24h

- * au moins 1 station dépasse son percentile 99 des RR24h

Ces critères nous assure de sélectionner des épisodes de fortes intensités mais aussi étendus spatialement. L'étude des distributions à plusieurs échelles (mensuelle, infrasaisonnaire et intersaisonnaire) permet de dégager la climatologie des EPEs aux Seychelles.

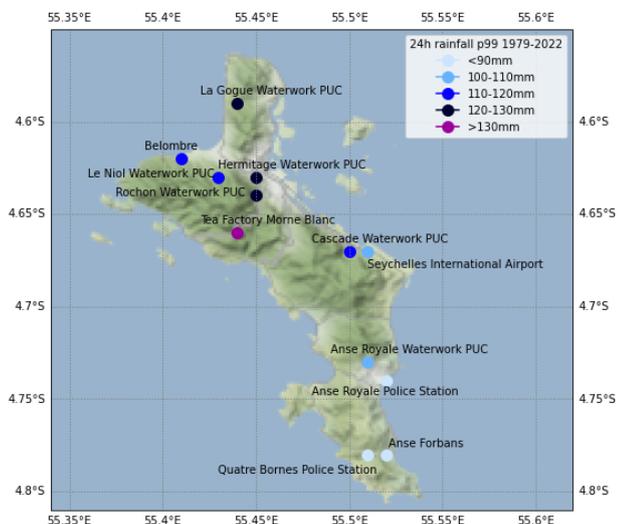


Figure 1: Percentiles 99 des RR24h de la période 1979-2022 pour les 12 stations de Mahé. Le P99 de Praslin (située à 40 km à l'Est de Mahé) est de 105.4mm.

En s'inspirant d'une étude de sensibilité réalisée par Erwan Cornillaut³ dans le cadre de sa thèse sur les fortes pluies en outremer, la sélection des EPEs concomitant avec la présence d'un système tropical à 2000 km ou moins de Mahé permet d'estimer la proportion d'EPEs qui sont générés par des systèmes tropicaux.

Pour l'étude des téléconnexions avec les indices de SST, le calcul des 1ers (q25) et 3èmes (q75) quartiles de la distribution des indices permet de discriminer les événements positifs (indice>q75), négatifs (indice<q25) et neutres. Une première approche vise à étudier le lien entre 3 indices de SST (IOD = Indian Ocean Dipole, SIOD = Subtropical Indian Ocean Dipole, et ENSO) et les EPEs, en considérant chaque indice individuellement. Cette approche n'est pas satisfaisante pour rendre compte de la réalité et des configurations de bassin observées à l'échelle planétaire. Ainsi, nous classons chaque année selon le triplet ENSO/IOD/SIOD qui le caractérise. Cette classification permet de compter une seule et unique fois chaque saison étudiée, et ensuite d'établir un nombre moyen d'EPEs par saison pour chaque triplet.

Enfin, les données filtrées d'anomalies d'OLR permettent de quantifier, pour chaque date d'EPE, la contribution de 5 ondes atmosphériques d'intérêt (Kelvin, MJO, Rossby, Mixte Rossby-Gravité, Ondes d'Est). Pour cela, les contributions de chaque onde aux anomalies sont moyennées sur une boîte de 5°x5° centrée sur Mahé. Une onde est considérée comme active (contribution à l'EPE) si son anomalie est significative (écart de 0.5 écart-type par rapport à la climatologie).

2 Analyse multi-échelles des EPEs et de leur variabilité

Cette section présente la climatologie et les caractéristiques des EPEs obtenues à partir des RR24h du SMA. Elle démontre ensuite l'intérêt de l'étude de prédictors multi-échelles qui en découle.

2.1 Climatologie et caractéristiques des EPEs

La sélection d'EPEs basée sur les critères évoqués dans la Section 1 permet de dresser la climatologie de ces événements. Une forte variabilité intersaisonnaire est observée avec 6 EPEs en moyenne par saison. La distribution mensuelle révèle logiquement une tendance suivant le cycle saisonnier liée à la Mousson (de novembre à mars). On observe néanmoins qu'une part non négligeable des EPEs se produit en dehors de la saison des pluies. Certains ont même lieu en saison sèche.

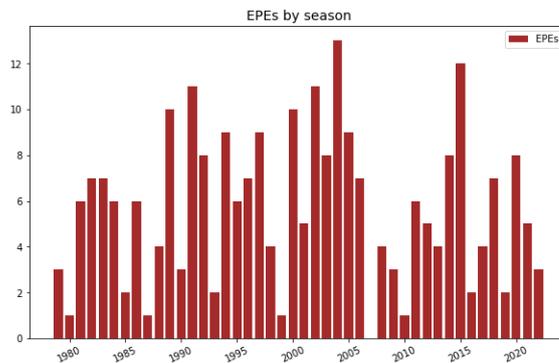


Figure 2: Distribution des EPEs par saison sur la période 1979-2022.

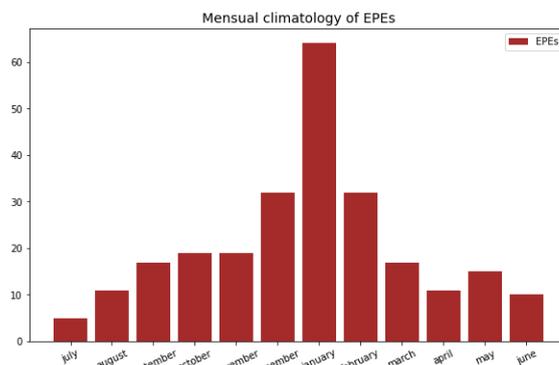


Figure 3: Nombre total d'EPEs par mois sur la période 1979-2022.

Les EPEs présentent une large gamme d'intensités. Si les percentiles 99 (constituant des seuils de détection) se situent souvent entre 100 mm et 120 mm, les RR24h records dépassent souvent les 200 mm avec des valeurs approchant parfois les 300 mm. L'étude des pluies horaires lors des EPEs à l'aéroport de Mahé montre que ces épisodes sont souvent de courtes durées, avec l'essentiel des précipitations tombant souvent en 5h ou moins.

2.2 Variabilité multi-échelles

Le traitement des données de RR24h du SMA a déjà mis en lumière une forte variabilité des EPEs aux échelles intra et intersaisonnaire. L'analyse de l'anomalie d'OLR filtrée selon plusieurs échelles de temps révèle aussi l'intérêt de s'intéresser à des prédictors multi-échelles. L'anomalie filtrée 367j montre qu'un signal d'échelle saisonnière ou intersaisonnaire est présent. On retrouve notamment une anomalie négative d'OLR (associée à de la convection) sur les Seychelles. Mais aussi, des structures de grande échelle sont identifiables telles que les phases positives de l'ENSO (El Niño) et de l'IOD (IOD+) avec respectivement une anomalie convective sur le Pacifique et un dipôle anomalies positive/negative sur l'Est/l'Ouest de l'Océan Indien.

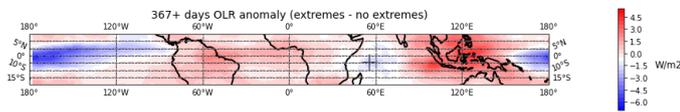


Figure 4: Anomalie d'OLR filtrée basse fréquence (367 jours et plus) lors des dates d'EPEs (moyenne).

Enfin, l'anomalie d'OLR filtrée 2-90j correspond quant à elle à la variabilité infrasaïsonnière, à l'échelle de quelques jours à quelques mois. La moyenne de cette anomalie sur les dates d'EPEs montre que ces événements bénéficient aussi d'une modulation à cette échelle. En climat équatorial, les ondes atmosphériques modulent justement la convection et les pluies à cette échelle de temps (de quelques jours pour l'onde de Kelvin à plusieurs semaines pour la MJO par exemple).

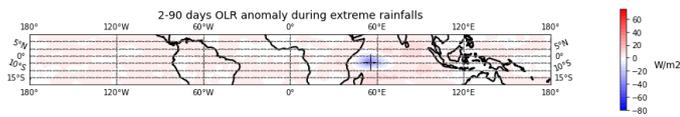


Figure 5: Anomalie d'OLR filtrée 2-90j lors des dates d'EPEs (moyenne). Nota Bene : l'échelle est différente de la Fig. 4.

Cette partie a ainsi développé l'intérêt de s'intéresser à des prédictors des EPEs tels que les indices de SST et les CCEWs, ces phénomènes modulant localement la convection respectivement à l'échelle saisonnière et à l'échelle synoptique voire suprasynoptique. Par ailleurs, nous avons aussi exploré l'influence de l'activité cyclonique. En effet, les systèmes tropicaux, même en restant relativement éloignés des terres habitées, pilotent parfois la circulation à très grande échelle, et peuvent provoquer de fortes pluies jusqu'à plusieurs centaines/milliers de kilomètres de leurs centres.

3 Résultats

Cette troisième section présente les résultats concernant les liens entre les EPEs et les prédictors évoqués précédemment. Après un court paragraphe consacré aux cyclones, on présentera d'abord la part d'EPEs ayant eu lieu en phase positive/négative des trois indices de SST, avant de présenter les anomalies d'occurrence d'EPEs par configuration composites en considérant le triplet ENSO/IOD/SIOD. Cette section s'achèvera par les résultats concernant les configurations d'ondes lors des EPEs de la période 1980-2016.

3.1 Contribution de l'activité cyclonique

La situation géographique des îles principales des Seychelles en font une zone plutôt épargnée des impacts cycloniques. Il est rare que des systèmes dépassant le seuil de tempête tropicale s'approchent de Mahé. De janvier 1979 à décembre 2022, 156 systèmes ont circulé à moins de 2000 km de Mahé. Seuls 19 d'entre eux (13%) sont concomitants avec un EPEs aux Seychelles. En adoptant un autre point de vue, sur les 254 EPEs identifiés, seuls 21 (8%) sont associés à la présence d'un système tropical à 2000 km ou moins.

Ce comptage permet de réaliser que l'activité cyclonique n'est pas un facteur clé dans l'occurrence des pluies extrêmes sur les Seychelles, avec d'une part très peu d'événements coïncidant avec

la présence d'un cyclone à proximité, mais aussi beaucoup de cyclones ne donnant pas lieu à des fortes pluies.

3.2 Configurations d'indices de SST

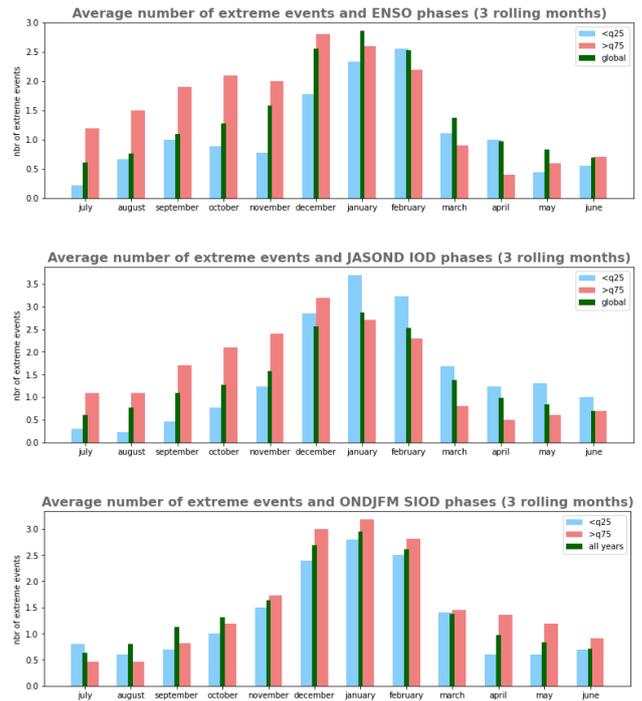


Figure 6: Nombre moyens d'EPEs sur 3 mois glissants. Phases positives/négatives des indices de SST en rouge/bleu, et moyenne globale en vert. Pour une meilleure caractérisation des événements positifs/négatifs de l'IOD et du SIOD, on utilise une moyenne de ces indices, respectivement sur les périodes juillet-décembre et octobre-mars, nommées JASON D et ONDJFM.

De manière générale, les phases positives des indices de SST étudiés dominent les phases négatives. Sur la période 1980-2022, davantage d'EPEs ont eu lieu lorsque les indices IOD, SIOD et ENSO étaient en phase positive. Néanmoins, si cela est vrai à l'échelle de la saison, la distribution mensuelle ci-dessus montre un signal plus complexe. Les phases négatives de l'IOD et de l'ENSO deviennent par exemple prédominantes en deuxième moitié de saison. Pour certains mois, les trois moyennes sont très proches, il est donc impossible de dégager une modulation sur ces périodes.

Les résultats ci-dessus tiennent compte des trois indices de SST considérés séparément. Il est néanmoins beaucoup plus réaliste d'étudier leur configuration sous forme d'un triplet, représentant beaucoup mieux les configurations de bassins pouvant être observées à l'échelle d'une saison. La Fig. 3 présente les anomalies du nombre d'EPEs par saison selon la configuration ENSO/IOD/SIOD observée. Cette anomalie est calculée en moyennant le nombre d'EPEs ayant lieu dans les différentes configurations, puis en faisant le rapport avec le nombre moyen global d'EPEs par saison, ce dernier étant de 6.

Une attention particulière est portée aux deux premières catégories (en haut de la figure), car celles-ci sont les deux configurations canoniques, habituellement observées. Elle sont d'autant plus intéressantes que les anomalies d'occurrence d'EPEs associées sont fortes et de signes opposés (-65% et +65%). Autrement, on remarque que les phases négatives et neutres de l'IOD et de l'ENSO n'apparaissent pas dans les configurations favorisant plus d'EPEs qu'en moyenne. À l'inverse, dans les configurations de modulation négatives, l'ENSO- est très présent.

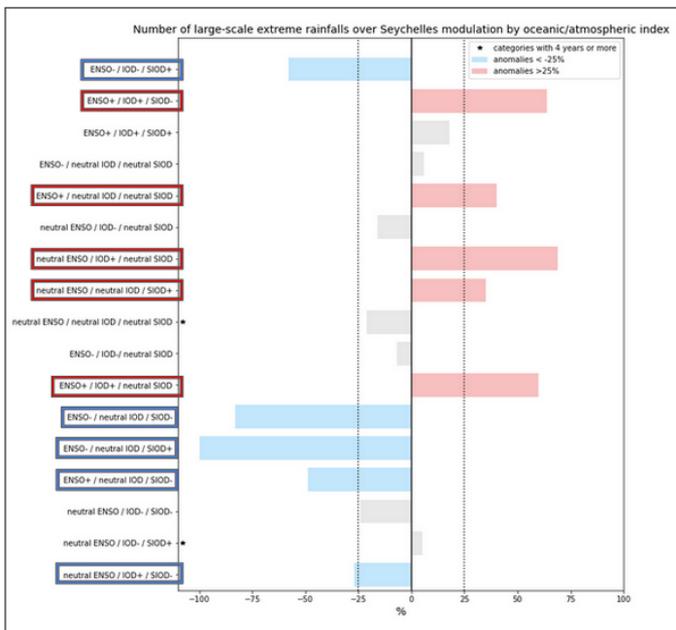


Figure 7: Anomalie d'occurrence d'EPEs par configuration d'indices de SST.

3.3 Contribution des ondes atmosphériques

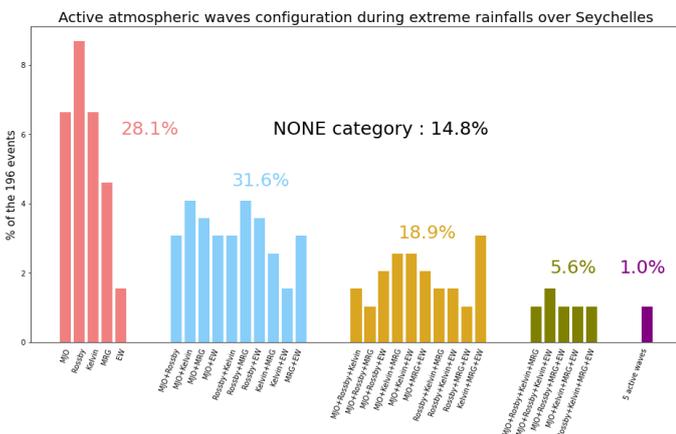


Figure 8: Proportions des EPEs observés (1980-2016) et configurations d'ondes associées. La catégorie "NONE" comprend les situations où aucune onde active n'est présente.

La Fig. 8 synthétise les résultats obtenus concernant les contributions des CCEWs aux occurrences d'EPEs aux Seychelles. Il est important de noter que seuls 15% des EPEs environ ont eu lieu dans des situations où les réanalyses ERAI ne permettent pas d'identifier la présence d'une ou plusieurs ondes actives aux alentours de Mahé. On note aussi qu'environ la moitié des cas est associée à la présence d'une ou deux CCEWs actives, et près de 20% avec la présence de 3 CCEWs actives. La MJO, les ondes de Rossby et de Kelvin ressortent plus largement de manière individuelle, mais aussi dans les configurations de croisement d'ondes (plusieurs ondes actives simultanément). Les ondes d'est (EW) sont quant à elles rarement identifiées comme unique onde active, mais leurs combinaisons avec les Mixte Rossby-Gravité (MRG) et avec le couple Kelvin+EW ressortent davantage.

4 Conclusions

L'objectif de cet article était d'exposer les caractéristiques des EPEs aux Seychelles, obtenues à partir des données de pluies quotidiennes sur 13 stations depuis 1979, puis d'explorer des pistes d'amélioration de leur prévisibilité à partir de drivers de grande échelle. Jusqu'à maintenant, aucun traitement statistique n'avait été fait sur ces données, et les EPEs étaient peu documentés et quantifiés, leur prévisibilité étant difficile en l'absence de modèle de fine échelle (indispensable pour une bonne prévision de pluies convectives).

L'analyse des données de RR24h a permis d'établir des résultats tels que la climatologie des EPEs ou leur gamme d'intensité. Suivant le cycle saisonnier, les EPEs sont évidemment plus nombreux en période de Mousson (de novembre à mars), mais de nombreux cas ont aussi lieu en dehors de la saison humide, et certains événements recensés parmi les plus intenses ont d'ailleurs eu lieu en août par exemple. Une dissymétrie est aussi observée entre le nord de l'île (plus affecté) et le sud, suivant là aussi assez logiquement la variabilité spatiale des pluies à Mahé (nord de l'île plus pluvieux).

Si les cyclones ne sont pas des acteurs majeurs dans la modulation des EPEs aux Seychelles, les ondes atmosphériques et les configurations d'indices de SST se révèlent être de potentiels prédicteurs d'intérêt. En effet, plus de la moitié des événements observés entre 1980 et 2016 (196 au total) étaient liés à la présence d'une ou deux CCEWs actives dans la zone et seulement 15% ne sont associés à aucune onde. Des prévision d'ondes atmosphériques sur la bande équatoriale sont disponibles (Hovmoller prévus sur <https://misva.aeris-data.fr/>), et permettent de repérer des périodes propices à l'occurrence d'EPEs, à l'échelle allant de quelques jours à la semaine environ. Concernant les indices de SST, l'étude a mis en lumière une modulation parfois forte des EPEs par ces modes de variabilité à l'échelle saisonnière voire intersaisonnière. Ces indices bénéficient de suivis et de prévisions (via la NOAA ou le BOM notamment) qui se révèlent utiles pour l'anticipation de saisons particulièrement à risque concernant la survenue de pluies extrêmes aux Seychelles.

Remerciements. Je tiens à remercier mes encadrants, François et Philippe, pour toute l'aide et le soutien apporté lors de la réalisation de cette étude. Je remercie aussi chaleureusement les autres personnes ayant contribué à ce travail : les collègues de Météo-France, du Lacy et du SMA.

References

Harou, A. P., R. Lajoie, D. Kniveton, and M. Frogley, 2006: The influence of the indian ocean dipole mode on precipitation over the seychelles. *International Journal of Climatology*, **26**, 45–54, doi:10.1002/joc.1239.

Peyrillé, P., R. Roehrig, and S. Sanogo, 2023: Tropical waves are key drivers of extreme precipitation events in the central sahel.

Pezzoli, A. and M. Franza, 2003: Rainfall forecasting in tropical-equatorial environments: a case study of the seychelles zone. *Meteorological Applications*, **10** (671), 101–110, doi:10.1017/S1350482703002019.