



Etude de la prévisibilité intra-saisonnière de la migration de la ZCIT et des fortes pluies associées sur le nord du bassin sud-ouest de l'océan Indien

A. Cachard *1, S. Malardel², F. Bonnardot³ et Hélène Vérèmes²

¹ INPT-ENM, Toulouse, France, Université de la Réunion, Saint-Denis, La Réunion.

² LACy, Université de La Réunion, Météo-France, CNRS, Saint-Denis, Réunion, France.

³ Météo-France, DIROI/EC, Sainte-Clotilde, Réunion.

August 14, 2022

RÉSUMÉ

Une méthode de détection automatique de la position de la Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT) à l'échelle intrasaisonnière a été développée à l'aide de champs de sorties de modèle de prévision. Cette technique a permis d'élaborer une climatologie de la position de la ZCIT sur le nord du bassin sud-ouest de l'océan Indien à partir des données ERA5 sur la période 1979-2021. Les résultats sont en accord avec la littérature, montrant une variation méridionale de 3°S à 10°S de la ZCIT entre novembre et avril. Un produit probabiliste à partir de la prévision d'ensemble à échéance étendue (jusqu'à 46 jours) du CEPMMT a été conçu pour aider à la prévision de la migration de la ZCIT semaine par semaine. Des scores permettant d'évaluer les performances du produit pour la prévision du passage de la ZCIT sur les Seychelles montrent des résultats encourageants.

Mots clés: ZCIT, prévision, méthode automatique, intrasaisonnière.

1 Introduction

La zone de convergence inter-tropicale (ZCIT) est une zone de basses pressions s'étirant d'est en ouest le long de laquelle les flux d'alizés du sud-est et du nord-est se rencontrent. Cette zone de convergence est à l'origine des ascendances de grande échelle favorisant des systèmes convectifs, générateurs de fortes précipitations et d'orages. Pour faire face à ces événements météorologiques extrêmes, les acteurs de terrain de la protection des biens et des personnes sont demandeurs de prévisions leur permettant d'anticiper ce type d'évènement le plus longtemps possible à l'avance. Le projet PISSARO (Prévisions Intra-Saisonnières à Saisonnières avec AROme) a pour objectif de répondre à ces besoins en développant et en évaluant des produits de prévision à l'échelle intra-saisonnière, c'est-à-dire en faisant des prévisions allant de 2 semaines à 2 mois. L'objectif de cette étude était de développer une méthode de détection automatique de la position de la ZCIT dans le nord du bassin sud-ouest de l'océan Indien (SOOI) à l'aide des champs de sorties de modèle de prévision. Puis, à partir de cette méthode, de concevoir un produit probabiliste pour prévoir la migration de la ZCIT. Ce produit est destiné aux prévisionnistes de la Réunion et des Seychelles et à des utilisateurs tels que la plateforme d'intervention de la Croix-Rouge de l'océan Indien (PIROI).

La position de la ZCIT à l'échelle saisonnière est relativement bien connue. Plusieurs études ont été réalisées en utilisant différents paramètres d'identification tels que la température du sommet des nuages (Waliser and Gautier 1993), les précipitations maximales (Gu et al. 2005) ou encore le champ de vents (Berry and Reeder 2014). Waliser and Gautier (1993) ont réalisé la première climatologie de la position de la ZCIT dans les différents bassins à l'aide des images satellites infrarouges sur la période 1971-1987. La figure 1 illustre cette climatologie pour l'océan Indien (b) et à l'échelle du globe (h). A l'échelle du globe, la ZCIT est localisée dans l'hémisphère nord (resp. l'hémisphère sud) pendant l'été boréal (resp. l'été austral). Concernant l'océan Indien, la migration de la ZCIT vers l'hémisphère nord montre une intensification de la convection associée à la mousson indienne en été boréal.

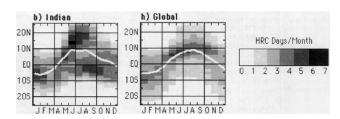


Figure 1: Graphiques mois-latitude du cycle annuel de la ZCIT pour l'océan Indien et le globe. L'échelle représente le nombre de jour de convection profonde sur 1 mois avec une résolution horizontale de 1°x1°. La ligne blanche représente l'estimation de la position mensuelle moyenne de la ZCIT (Waliser and Gautier 1993).

La ZCIT est caractérisée par une bande de convection profonde. Les champs de convergence à 850hPa et divergence à 200hPa ainsi que les précipitations permettent de caractériser cette convection profonde. Par conséquent, ce sont ces paramètres qui vont être utilisés dans cette étude pour prévoir la position et l'intensité de la ZCIT. Les données utilisées et la méthode de détection automatique sont décrites dans la section 2. Les résultats sont présentés dans la section 3, suivi d'une conclusion et des perspectives en section 4.

2 Données et méthode

2.1 Données et domaine d'étude

Dans cette étude, on se limite à l'analyse de la position de la ZCIT dans le nord du bassin SOOI. Le domaine d'étude est le suivant: longitude 40°E-90°E et latitude 10°N-30°S. Etant donné que la ZCIT est localisée dans l'hémisphère nord pendant l'été boréal, on s'intéresse à la période allant d'octobre à mai. On utilise les données de la réanalyse ERA5 du centre européen de prévision météorologique à moyen terme (CEPMMT) comme référence avec

^{*}Contact: andrea.cachard@meteo.fr

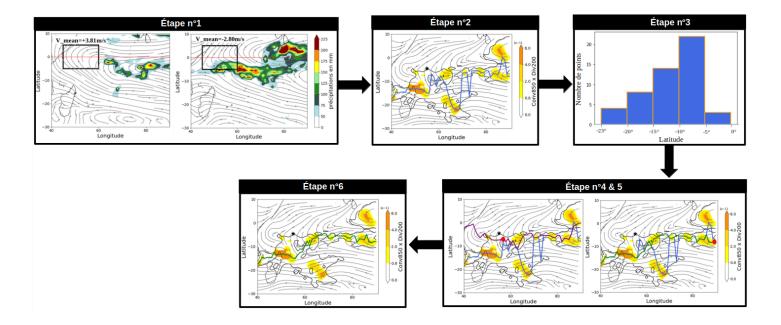


Figure 2: Représentation des différentes étapes de la méthode de détection automatique de la position de la ZCIT pour la semaine du 7 au 13 mars 2022.

une résolution horizontale de 1° sur la période 1979-2021. Les diagnostics de prévision seront réalisées à partir des données de la prévision d'ensemble (EPS) du CEPMMT qui fournit des prévisions allant jusqu'à 46 jours d'échéance sur une grille de résolution horizontale de 1°. Les champs prévus sont moyennés à l'échelle hebdomadaire, la semaine S1 représente la semaine en cours et la semaine S5 la quatrième semaine d'échéance. Les champs sélectionnés sont les champs de vents zonaux (u) et méridionaux (v) à 850hPa et 200hPa ainsi que celui des précipitations. Ils vont servir pour le développement de la méthode détaillée dans la partie suivante.

2.2 Méthode de détection automatique ZCIT

La figure 2 illustre les différentes étapes de la méthode de détection automatique de la position de la ZCIT qui a été mise en place lors de cette étude. A l'échelle intra-saisonnière, l'arrivée de la ZCIT dans le nord du bassin SOOI varie d'une année à l'autre. Dans un premier temps, un indice de flux de mousson (IFM) a été calculé afin de savoir si le bassin est dans un configuration de ZCIT ou dans une configuration de thalweg proche equatorial (TPE) qui correspond à la configuration du bassin durant les inter-saisons (octobre/novembre et avril/mai). L'indice de flux de mousson est défini comme étant la moyenne du vent méridional entre 45°E-60°E et 5°N-5°S (étape n°1 de la figure 2). Si cet indice est positif (resp. négatif) alors le bassin est dans une configuration dite de TPE (resp. ZCIT). En pratique, le seuil retenu est inférieur à -1m/s puisque entre en -1m/s et 0m/s le flux de nord-est n'est pas totalement établi et donc la ZCIT n'est pas formée dans le bassin. Les prochaines étapes de la méthode sont expliquées sur la figure 2 en prenant l'exemple de la deuxième semaine du mois de mars 2022 à partir des données ERA5. La deuxième phase consiste à regarder le maximum du champ Conv850 × Div200. La multiplication des deux champs permet de supprimer les divergences/convergences de petite échelle qui ne sont pas liées à la ZCIT. Pour obtenir le maximum de ce champ, on applique la formule suivante adaptée de l'article de Adam et al. (2016):

$$\phi_{max} = \frac{\int_{\phi_1}^{\phi_2} \phi[\cos(\phi)P]^{10} d\phi}{\int_{\phi_1}^{\phi_2} [\cos(\phi)P]^{10} d\phi}$$
[1]

avec:

- P le champ *Conv850* × *Div200*
- ϕ_1 et ϕ_2 les latitudes entre lesquelles on recherche le maximum de la position du champ d'entrée

Pour le diagnostic, on applique la formule entre les latitudes 0°N et 23°S. Cela nous permet d'obtenir une premiere ébauche de la position de la ZCIT (ligne bleue sur la figure 2 de l'étape n°2). Les étapes suivantes permettent de lisser cette courbe qui est généralement fortement bruitée. Pour cela, on cherche l'intervalle de latitude où il y a le plus grand nombre de points (étape n°3) puis on cherche les deux premiers points (points rouges sur les deux figures de l'étape n°4 & 5) qui appartiennent à cet intervalle en partant de l'est et de l'ouest du bassin. En partant de chacun de ces points de confiance, on applique de nouveau la formule [1] mais cette fois-ci entre les latitudes ϕ_1 = ϕ_n -2° et ϕ_2 = ϕ_n +2° avec ϕ_n la position du point précédent. Ceci permet d'obtenir deux diagnostics plus lisses (courbes verte et violette). Enfin, la dernière phase de cette méthode permet de garder le meilleur des deux diagnostics en prenant celui qui est le plus en accord avec le champ de précipitations. Dans le cas de cette exemple, le diagnostic retenu est le diagnostic représenté par la courbe verte, celui en partant de l'est du bassin.

3 Résultats

3.1 Climatologie

Une climatologie de l'indice de flux de mousson à partir d'ERA5 sur la période 1979-2021 est représentée par la ligne bleue sur la figure 3. Cette figure montre que le basculement du flux de mousson en flux de nord-est se produit en moyenne la troisième semaine du mois de novembre et l'alizé de sud-est devient de nouveau prédominant à partir de la troisième semaine du mois de mars. Cette climatologie nous informe donc en moyenne sur la semaine d'arrivée et de départ de la ZCIT dans le bassin sud-ouest de l'océan Indien.

La méthode décrite dans la section 2.2 a été utilisé pour pour établir une climatologie de la position mensuelle de la ZCIT sur le domaine d'étude. Cette climatologie a été calculée avec les données ERA5 sur la période 1979-2021. Sur la figure 4, la position

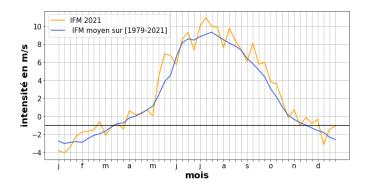


Figure 3: Représentation de l'IFM pour chaque semaine de janvier à décembre 2021 (en orange) et de la moyenne de l'IFM sur la période 1979-2021 (en bleu).

moyenne de la ZCIT est repérée par la ligne continue noire. Elle arrive dans le bassin durant le mois de novembre où elle est localisée proche de l'équateur. Ensuite, elle s'établit dans l'hémisphère sud à partir du mois de décembre puis elle atteint sa position maximale pendant les mois de février et mars aux alentours de 10°S. Elle finit par remonter en direction de l'hémisphère nord à partir du mois d'avril. Ces résultats concordent avec la climatologie établie par Waliser and Gautier (1993) ou encore avec les résultats de Keshtgar et al. (2020), qui montrent la position moyenne de la ZCIT à l'échelle saisonnière dans le bassin océan Indien avec les paramètres de précipitations et de température de surface de la mer.

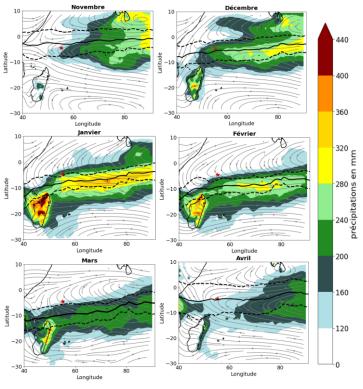


Figure 4: Climatologie mensuelle de la position de la ZCIT sur le nord du bassin SOOI allant de novembre (en haut à gauche) à avril (en bas à droite). La position moyenne de la ZCIT correspond à la ligne continue noire et l'écart type aux lignes en pointillés noirs. Les précipitations moyennes accumulées sur un mois sont représentées en couleurs (en mm) et les Seychelles sont indiqués par l'étoile en rouge.

3.2 Produit pour la prévision d'ensemble à l'échelle intrasaisonnière

Toujours à partir de la méthode de la section 2.2, un produit probabiliste a été développé permettant de localiser et d'estimer l'intensité de la ZCIT. Ce produit est illustré par la figure 5. Le chiffre en haut à gauche indique le nombre de membres qui réalisent un diagnostic de ZCIT. Ce chiffre ne peut pas dépasser 50 puisque l'EPS comporte 50 membres de prévisions. La position de la ZCIT correspond au panache de couleur, celui-ci représente la densité de probabilité de la position de la ZCIT. Plus la densité est élevée, plus les membres sont en accord sur la position de la ZCIT et donc meilleure est la confiance. La médiane n'est indiquée que lorsque le nombre de membres qui réalisent un diagnostic de ZCIT est supérieur à 35. Enfin, afin d'estimer l'activité de la ZCIT, on indique le champ de précipitation avec des contours en pointillé noir (resp. continus bleues) dès que le cumul de pluie est supérieur à 50mm (resp. 100mm).

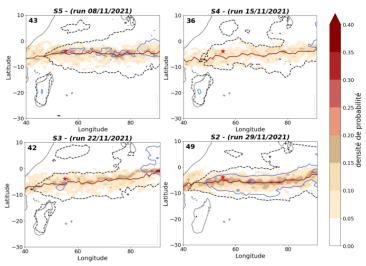


Figure 5: Prévisions hebdomadaires de l'arrivée de la ZCIT dans le bassin pour l'année 2021 à partir de la prévision d'ensemble du CEPMMT. La plage de couleur représente la densité de probabilité des diagnostics. Le chiffre en haut à gauche correspond au nombre de membres établissant un diagnostic de ZCIT. Les précipitations prévues par le CEPMMT à 50mm et 100mm sont représentées respectivement par les contours en pointillé noir et en bleu. L'étoile rouge représente les îles principales des Seychelles.

La ZCIT passe deux fois par an au-dessus des Seychelles apportant des cumuls de pluies importants. La migration du nord vers le sud de la ZCIT marque le démarrage de la saison des pluies. Nous avons testé le produit pour identifier le passage de la ZCIT au-dessus de l'archipel pour l'année 2021. La figure 3 montre que le basculement du flux de mousson s'est produit pour la deuxième semaine du mois de décembre 2021. On souhaite vérifier si le passage de la ZCIT était bien prévu par le modèle EPS. La figure 5 représente la prévision de la semaine du 6 au 12 décembre 2021 allant de quatre (en haut à gauche) à une semaine (en bas à droite) d'échéance. On remarque qu'à quatre semaines d'échéance, le modèle EPS avait bien prévu le passage de la ZCIT avec un nombre de membre de 43 sur 50 réalisant un diagnostic et des précipitations supérieures à 100mm. En revanche, à trois semaine d'échance, on a une diminution du nombre de membres et un affaiblissement des précipitations. Plus l'échéance se rapproche et meilleures sont les prévisions avec de nouveau une augmentation du nombre de membres et une intensification des précipitations. Ainsi pour l'année 2021, le modèle EPS avait bien anticipé l'arrivée de la ZCIT avec deux semaines d'avance. Une évaluation du produit sur les cinq dernières années (de 2017 à 2021) est présentée dans la partie suivante.

3.3 Les scores

Un score a été établi pour permettre l'estimation des incertitudes associées à la position de la ZCIT prévue par rapport au diagnostic obtenu dans les réanalyses. Ce score se concentre sur le passage de la ZCIT au-dessus des Seychelles lors de la migration du nord vers le sud. Par conséquent, on s'intéresse aux semaines des mois de novembre et de décembre. Pour établir ce score, le domaine suivant a été défini : de 2°S à 7°S et 50°E à 65°E et la médiane des membres de l'EPS est comparée avec le diagnostic obtenu dans ERA5. On considère que si plus de la moitié du diagnostic est dans le domaine alors il y a une ZCIT. Ainsi trois cas de figure sont possibles :

- 1. Une ZCIT avec ERA5 et EPS : bonne prévision
- 2. Une ZCIT avec ERA5 et pas de ZCIT avec EPS : non détection
- 3. Pas de ZCIT avec ERA5 et une ZCIT avec EPS : fausse alarme

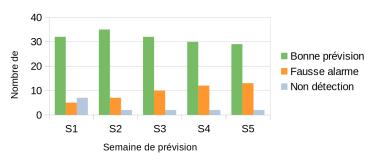


Figure 6: Scores évaluant le produit sur le passage de la ZCIT audessus des Seychelles sur la période 2017-2021. La référence prise est la ZCIT élaborée par ERA5.

La figure 6 illustre le résultat de ce score pour les semaines des mois de novembre et décembre pour les années allant de 2017 à 2021, ce qui fait un total de 44 semaines de prévisions. Les scores présentent une bonne proportion de bonnes prévisions. Toutefois, on remarque que le nombre de fausses alarmes augmente en s'éloignant de la date de la prévision. Ce résultat est en symbiose avec les modèles. En effet plus on s'éloigne de l'observation plus les prévisions s'éloignent de la réalité et donc le nombre de fausse alarme devient plus important. Le taux de non détection est faible quelle que soit l'échéance avec une légère hausse à courte échéance. Cette hausse en **S1** n'est pas expliquée, des recherches plus poussées devront être réalisées.

4 Conclusions

Les événements météorologiques extrêmes engendrent de dramatiques conséquences sur la population et les biens. Il est important de pouvoir les prévoir assez longtemps à l'avance afin que les organismes humanitaires et les services de protection civile puissent intervenir. La ZCIT fait partie de ces événèments météorologiques extrêmes puisqu'elle engendre des orages et des fortes précipitations. La ZCIT n'a pas que des conséquences négatives. Dans certains cas, son arrivée est un soulagement pour les populations puisqu'elle met fin à une période longue de sécheresse. Cette étude s'est concentrée sur le nord du bassin sud-ouest de l'océan Indien. A l'aide des champs de vents à 850hPa et 200hPa et le

champ de précipitations, une méthode de détection automatique a été développée pour localiser la ZCIT. En appliquant cette méthode aux réanalyses ERA5 sur la période 1979-2021, une climatologie de la position mensuelle de la ZCIT dans le domaine a pu être établie. Ces résultats montrent une variation méridionale de la ZCIT selon le mois. Elle est localisée à 3°S pour le mois de novembre puis elle descend dans l'hémisphère sud, jusqu'à 10°S, entre décembre et mars avant de remonter en direction de l'hémisphère nord à partir du mois d'avril. L'objectif principal du développement de cette méthode était de pouvoir l'utiliser en milieu opérationnel afin que les prévisionnistes ou des utilisateurs puissent prendre connaissance de l'évolution future de la position de la ZCIT dans le nord du SOOI. Un produit probabiliste a été conçu pour cette raison en utilisant le modèle de prévision d'ensemble du CEPMMT. Ce produit a été évalué dans le cadre du rejeu de situation du passage de la ZCIT sur les Seychelles pour l'année 2021. Les résultats sont satisfaisants, montrant une bonne prévisibilité (à deux semaines d'échéances) du passage de la ZCIT. En se focalisant sur les Seychelles, un score a pu être réalisé pour évaluer les incertitudes de ce produit sur les cinq dernières années (2017-2021). Les résultats sont concluants montrant un bon nombre de bonnes prévisions et un taux de fausses alarmes grandissant en s'éloignant des observations.

Les perspectives de cette étude sont d'établir d'autres scores pour évaluer le produit ailleurs que sur les Seychelles et de s'intéresser au lien entre la position de la ZCIT dans le bassin et certains indices tels que l'IOD (Indian ocean dipole), l'ENSO (El Nino southern oscillation) ou encore la MJO (Madden-Julian oscillation).

Remerciements. Mes remerciements vont à l'équipe du LACy/Cyclones ainsi qu'à Sylvie Malardel, François Bonnardot et Hélène Vérèmes pour leur encadrement et leur relecture.

References

Adam, O., T. Bischoff, and T. Schneider, 2016: Seasonal and interannual variations of the energy flux equator and ITCZ. part i: Zonally averaged ITCZ position. *Journal of Climate*, **29** (**11**), 3219–3230, doi:10.1175/JCLI-D-15-0512.1.

Berry, G. and M. Reeder, 2014: Objective identification of the intertropical convergence zone: Climatology and trends from the ERA-Iterim. *Journal of Climate*, **27** (**14**), 1894–1908, doi: 10.1175/JCLI-D-13-00339.1.

Gu, G., R. F. Adler, and A. H. Sobel, 2005: The eastern pacific ITCZ during the boreal spring. *Journal of atmospheric science*, **62** (22), 1157–1174, doi:10.1175/JAS3402.1.

Keshtgar, A.-C. O., and I. P., 2020: Seasonal and interannual variations of the intertropical convergence zone over the Indian Ocean based on an energetic perspective. *Climate Dynamics*, **54** (**12**), 3627–3639, doi:10.1007/s00382-020-05195-5.

Waliser, D. and C. Gautier, 1993: A satellite-derived climatology of the ITCZ. *Journal of Climate*, **32** (**12**), 2162–2174, doi:10. 1175/1520-0442(1993)006<2162:ASDCOT>2.0.CO;2.