

VARIABILITÉ DES PRÉCIPITATIONS AU SUD DU BRÉSIL ET SON ASSOCIATION AVEC DIFFÉRENTS TYPES D'EL NIÑO - OSCILLATION AUSTRALE (ENSO)

Gabriela GOUDARD¹, Leila LIMBERGER², Francisco MENDONÇA¹

¹ LABOCLIMA – Laboratoire de Climatologie, Département de Géographie, Université Fédérale du Paraná, Brésil. [gabigoudard.ufpr@gmail.com] ; [chico@ufpr.br].

² Département de Géographie, Université d'Ouest du État du Paraná, Brésil. [leila.limberger@unioeste.br]

Résumé : El Niño – Oscillation Australe (ENSO) jouent un rôle très important sur la variabilité interannuelle au Brésil, notamment sur les régimes de pluie. Cependant, bien que ses effets soient bien connus, il existe des différences significatives dans la variabilité des précipitations lorsque l'on considère ENSO Est (EP) et Central (CP). Ainsi, l'objectif de ce travail est d'analyser la variabilité des précipitations au sud du Brésil associées à différents types d'ENSO. Les résultats indiquent que les ENEP présentent les caractéristiques les plus classiques d'El Niños au sud du Brésil. Ils sont plus forts et ont des anomalies pluviométriques positives plus marquées, tandis que les ENCP présentent des effets différents (plus faibles) et même contraires (anomalies négatives) par rapport aux précipitations.

Mots-Clés : Téléconnexions climatiques ; ENSO Est ; ENSO Central ; *Global Precipitation Climatology Centre*.

Abstract: Precipitation variability in southern Brazil and its association with different types of El Niño - Southern Oscillation (ENSO). El Niño – Southern Oscillation (ENSO) play a very important role on interannual variability in Brazil, especially on rainfall patterns. However, although its effects are well known, there are significant differences in rainfall variability when considering ENSO East (EP) and Central (CP). Thus, the objective of this work is to analyze the variability of precipitation in southern Brazil associated with different types of ENSO. The results indicate that the ENEPs exhibit the most classic characteristics of El Niños in southern Brazil. They are stronger and have more marked positive rainfall anomalies, while ENCPs show different (weaker) and even opposite (negative anomalies) effects with respect to precipitation.

Keywords: Climate teleconnections; ENSO East; ENSO Central; *Global Precipitation Climatology Centre*.

Introduction

El Niño – Oscillation Australe (ENSO) est un mode de variabilité interannuelle couplé océan-atmosphère, marqué par le réchauffement / refroidissement du centre-est du Pacifique. En Amérique du Sud, ces épisodes modifient la circulation atmosphérique, les précipitations, les événements extrêmes, la température de surface, les débits, la production agricole et hydroélectrique (Tedeschi, Grimm et Cavalcanti, 2015).

Au sud du Brésil (Figure 1a), situé dans un climat subtropical (marqué par des régularités dans la distribution des précipitations tout au long de l'année – Figure 1b-e), la plupart des catastrophes naturelles sont liées à des anomalies pluviométriques (positives et négatives). De plus, c'est l'une des régions les plus sensibles à ENSO, lors de la phase chaude (El Niño - EN) les précipitations augmentent, alors que pendant la phase froide (La Niña - LN) les pluies diminuent (Grimm, Ferraz et Gomes, 1998 ; Grimm, 2009).

Cependant, bien que ces dynamiques et leurs effets sur les précipitations soient bien connues, des études récentes ont démontré l'existence des ENSO EP - *Eastern Pacific* (Est / Conventionnel / Canonique), CP - *Central Pacific* (Central / Modoki) et *Mix* (MX), dont les différences se produisent en fonction de la zone de réchauffement (refroidissement) dans l'océan Pacifique (Ashok *et al.*, 2007; Kao et Yu, 2009; Ashok et Yamagata, 2009 ; Tedeschi, Grimm et Cavalcanti, 2015; 2016; Andreoli *et al.*, 2016; Kayano *et al.*, 2016; Cai *et al.*, 2020). Ces processus se traduisent par divers effets sur la variabilité des précipitations dans la zone d'étude.

Sur la base de ces prémisses, l'objectif de ce travail est d'analyser la variabilité des précipitations au sud du Brésil associées à différents types d'ENSO, visant à démontrer que les événements varient considérablement et que des analyses plus détaillées sont nécessaires pour aider à l'amélioration des prévisions climatiques régionalisées.

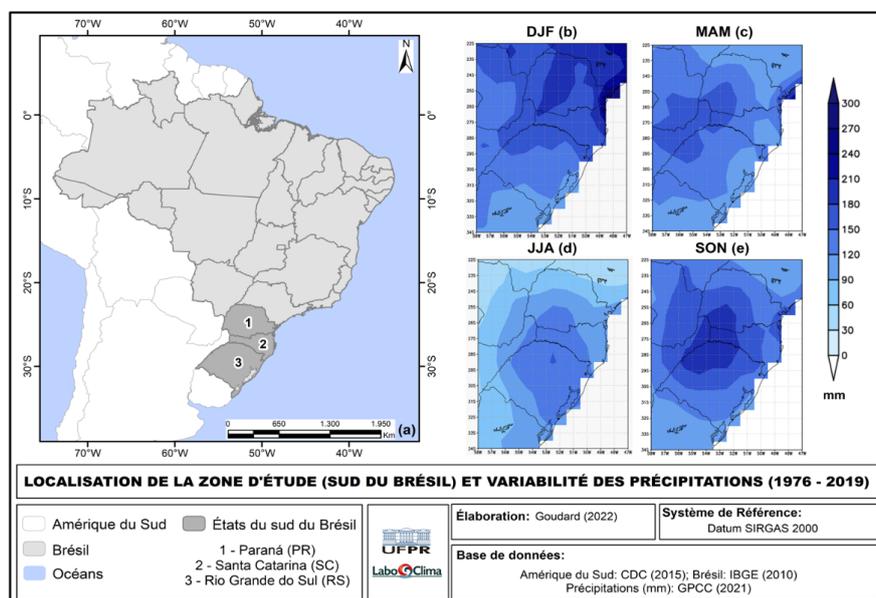


figure 1. Localisation de la zone d'étude (a) et variabilité des précipitations (1976 – 2019): (b) DJF – décembre, janvier et février; (c) MAM – mars, avril et mai ; (d) JJA – juin, juillet et août et (e) SON – septembre, octobre et novembre.

1. Données et méthodes

1.1. Base de données

L'étude utilise des données mensuelles de précipitations du GPCC (*Global Precipitation Climatology Centre*) pour la période de 1976 à 2019. En ce qui concerne les données de température de surface de la mer (TSM), celles-ci ont été obtenues du site de la CDC/NOAA, qui sont le résultat de la version 5 de la réanalyse faite par le NCEP/NCAR (Huang *et al.*, 2017), avec une résolution spatiale de 2 degrés.

1.2. Identification des événements ENSO

La détermination des épisodes ENSO est basée sur la méthode de Trenberth (1997) et sur l'indice ONI (*Oceanic Niño Index*), selon lequel les événements ENSO sont considérés comme étant égaux ou supérieurs à $+0,5^{\circ}\text{C}$ (égaux ou inférieurs à $-0,5^{\circ}\text{C}$) dans la phase chaude (phase froide) pendant au moins six mois. L'intensité était basée sur la GGWS - *Golden Gate Weather Services* (2021), en tenant compte des événements faibles (anomalies TSM de 0,5 à 0,9), modérés (1,0 à 1,4), forts (1,5 à 1,9) et très forts ($\geq 2,0$).

La caractérisation des événements en EP, CP et MX est basée sur les études de Tedeschi, Grimm et Cavalcanti (2015 ; 2016) et Andreoli *et al.* (2016). ENSO Est se produit avec des anomalies de TSM dans la région Niño 3 ($140^{\circ}\text{W}-90^{\circ}\text{W}$, $5^{\circ}\text{N}-5^{\circ}\text{S}$) et ENSO Central dans la région 4 ($160^{\circ}\text{E}-150^{\circ}\text{W}$, $5^{\circ}\text{N}-5^{\circ}\text{S}$) – Figure 2, selon la méthodologie appliquée par Tedeschi, Grimm et Cavalcanti (2015 ; 2016). Les ENSO Mix ont également été inclus dans l'analyse, selon les travaux faits par Yu et Kim (2013) et Andreoli *et al.* (2016).

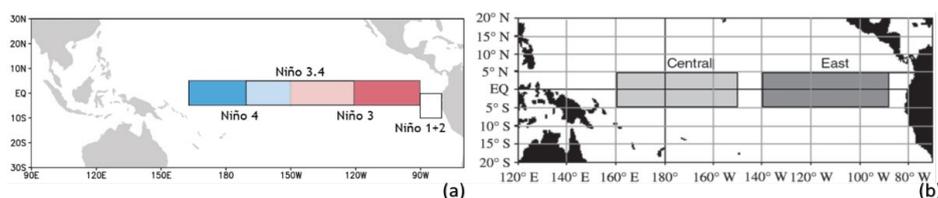


figure 2. Localisation des zones d'ENSO Est (EP) et Central (CP). (a) Régions d'ENSO - NOAA ; (b) Zones d'ENSO EP (Est) et CP (Central) - Tedeschi, Grimm et Cavalcanti (2015).

Le cycle ENSO commence à l'hiver austral (année 0 de l'événement) et se termine à l'automne/hiver austral de l'année suivante (+) (Wolter et Timlin, 2011). De cette façon, l'évolution spatiale mensuelle des anomalies TSM a été analysée au cours de cette période (juin 0 à mai +1) pour la détermination d'ENSO EP, CP et MX (Tableau 1), en tenant compte de la localisation des zones d'ENSO (Figure 2). Ces analyses ont été effectuées avec les données de TSM - version 5 de la réanalyse du NCEP/NCAR.

1.3. Caractérisation de la variabilité pluviométrique associée à ENSO

Pour caractériser la variabilité pluviométrique associée aux différents types d'ENSO, les événements El Niño EP et CP ont été sélectionnés et la composition des anomalies pluviométriques mensuelles ont été analysées de juin (année 0) à mai (année +1) pour les années classées dans les deux typologies. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel GrADS (*Grid Analysis and Display System*).

2. Résultats et discussion

Au cours de la période analysée dans cette étude, 30 événements ENSO ont été identifiés, dont 16 épisodes El Niño (EN) et 14 épisodes La Niña (LN) avec différents types (EP – Est / Conventionnel / Canonique ; CP – Central/Modoki et MX - Mix) et intensités (faible, modérée, forte, très forte) - Tableau 1.

Tableau 1. Événements ENSO : types et intensité (1976 - 2019).

El Niño (EN)	Type	Intensité	La Niña (LN)	Type	Intensité
1976 – 1977	EP	Faible	1975 - 1976	CP	Forte
1977 – 1978	CP	Faible	1983 - 1984	MX	Faible
1979 - 1980	MX	Faible	1984 - 1985	MX	Faible
1982 - 1983	EP	Très forte	1988 – 1989	CP	Forte
1986 - 1987	MX	Moderée	1995 - 1996	EP	Moderée
1987 - 1988	MX	Forte	1998 – 1999	CP	Forte
1991 - 1992	CP	Forte	1999 – 2000	MX	Forte
1994 - 1995	CP	Moderée	2000 – 2001	CP	Faible
1997 - 1998	EP	Très forte	2005 - 2006	EP	Faible
2002 - 2003	CP	Moderée	2007 - 2008	EP	Forte
2004 - 2005	CP	Faible	2008 - 2009	CP	Faible
2006 - 2007	MX	Faible	2010 - 2011	MX	Forte
2009 - 2010	CP	Moderée	2011 - 2012	MX	Moderée
2014 - 2015	MX	Faible	2017 - 2018	EP	Faible
2015 - 2016	EP	Très forte			
2018 - 2019	MX	Faible			

Élaboration : Goudard (2022).

Parmi ces événements (Tableau 1), 8 étaient EP, où l'anomalie TSM maximale se produit dans la région équatoriale du Pacifique Est (Région 3) ; 11 CP, où le maximum d'anomalie TSM se produit dans le Pacifique central (Région 4) ; et 11 MX, marqué par la combinaison EP et CP tout au long de l'évolution spatio-temporelle de l'événement. Il est à noter que dans cette étude, seul El Niños (phase chaude) EP et CP sont analysés par rapport à la variabilité des précipitations au sud du Brésil.

Concernant les anomalies pluviométriques mensuelles (Figure 3) associées aux événements ENEP (1976-1977 ; 1982-1983 ; 1997-1998 et 2015-2016), on peut noter que pratiquement tous les mois de juin (0) - (Figure 3b) à mai (+1) - (Figure 3m) présentent des anomalies positives (10 mm à plus de 60 mm par mois), à l'exception de septembre (0) (Figure 3e), au cours duquel des anomalies négatives (-10 à -60 mm) sont observées dans l'est du Paraná (PR) et à Santa Catarina (SC), ainsi que dans de grandes parties de Rio Grande do Sul (RS). Les mois de juillet (0) - (Figure 3c), janvier (+1) - (Figure 3i) et mai (+1) - (Figure 3m) présentent également des anomalies négatives dans la zone d'étude, respectivement au sud-ouest du RS, au nord-est du PR et au sud du RS.

Ces processus reflètent les conditions les plus fréquentes des événements ENEP, avec une augmentation des précipitations dans le sud du Brésil, en particulier au printemps (SON) et en été (DJF), selon Grimm (2009) et Tedeschi, Grimm et Cavalcanti (2015 ; 2016). De plus, les précipitations les plus importantes en JJA (0), SON(0) et MAM(+) en ENEP résultent d'un courant jet de bas niveau plus fort, transportant plus d'humidité vers les régions subtropicales d'Amérique du Sud (Tedeschi, Grimm et Cavalcanti, 2015, 2016 ; Cai *et al.*, 2020).

D'après Tedeschi, Cavalcanti et Grimm (2013), Kayano *et al.* (2016) et Andreoli *et al.* (2016) la structure dipolaire typique des événements ENSO, avec une diminution de précipitations dans le nord de l'Amérique du Sud et un excès dans le sud-est, est plus accentué pour l'ENEP que pour l'ENCP. Cette dynamique découle également d'un modèle PSA (Pacifique-Amérique du Sud) plus fort dans l'ENEP (Cai *et al.*, 2020).

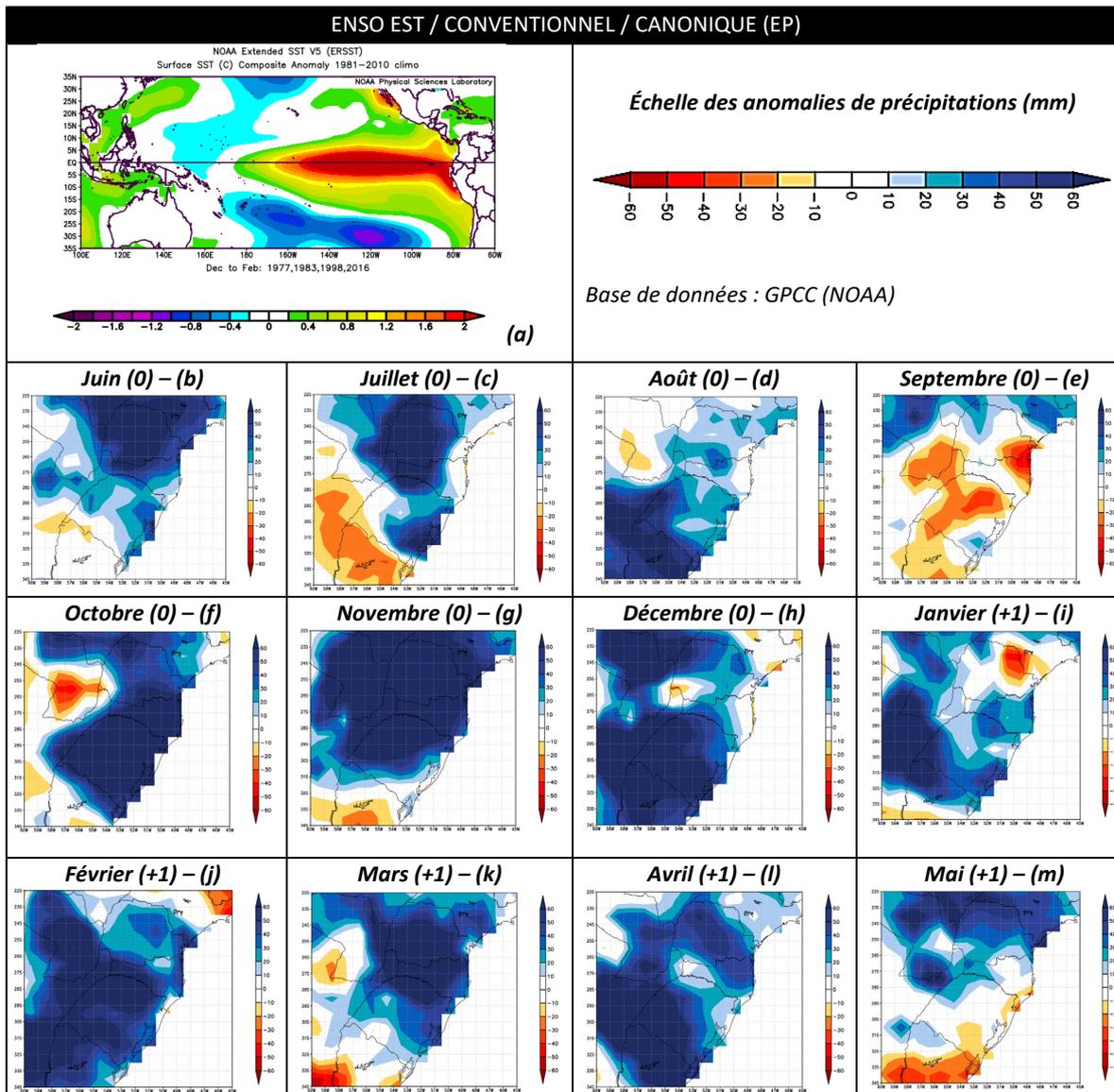


figure 3. Composition des anomalies TSM (DJF) et des anomalies de précipitations mensuelles pour les ENEP (a) - anomalies TSM pour les mois DJF des événements ENEP ; anomalies des précipitations en (b) juin (0), (c) juillet (0), (d) août (0), (e) septembre (0), (f) octobre (0), (g) novembre (0), (h) décembre (0), (i) janvier (+1), (j) février (+1), (k) mars (+1), (l) avril (+1) et (m) mai (+1). Élaboration : Goudard (2022).

En revanche, les ENCP (1977 – 1978 ; 1991-1992 ; 1994-1995 ; 2002-2003 ; 2004-2005 et 2009-2010) ont des anomalies TSM moins intenses (Figure 4a) par rapport à EP (Figure 3a) et ne sont pas marqués par des anomalies de précipitations positives homogènes dans toute la zone d'étude (Figure 4).

Les augmentations les plus importantes de précipitations associées à l'ENCP ne se vérifient qu'aux mois de novembre (0) – (Figure 4g) et décembre (0) – (Figure 4h) dans le sud du Brésil, se concentrant à l'ouest et au sud-ouest de la zone d'étude. Les mois de juillet (0) – Figure 4c et d'octobre (0) – Figure 4f montrent également une augmentation des précipitations, surtout au RS (sud de la zone d'étude). Les autres mois les anomalies positives sont ponctuelles, comme en juin (0) – Figure 4b, août (0) – Figure 4d, janvier (+1) – Figure 4i, février (+1) – Figure 4j, mars (+1) – Figure 4k et mai (+1) – Figure 4m.

Ainsi, pendant de nombreux mois, il y a des anomalies de précipitations négatives pour les ENCP, ce qui n'est pas prévu dans les conditions ENSO lorsque leurs typologies (EP, CP e MX) ne sont pas prises en compte.

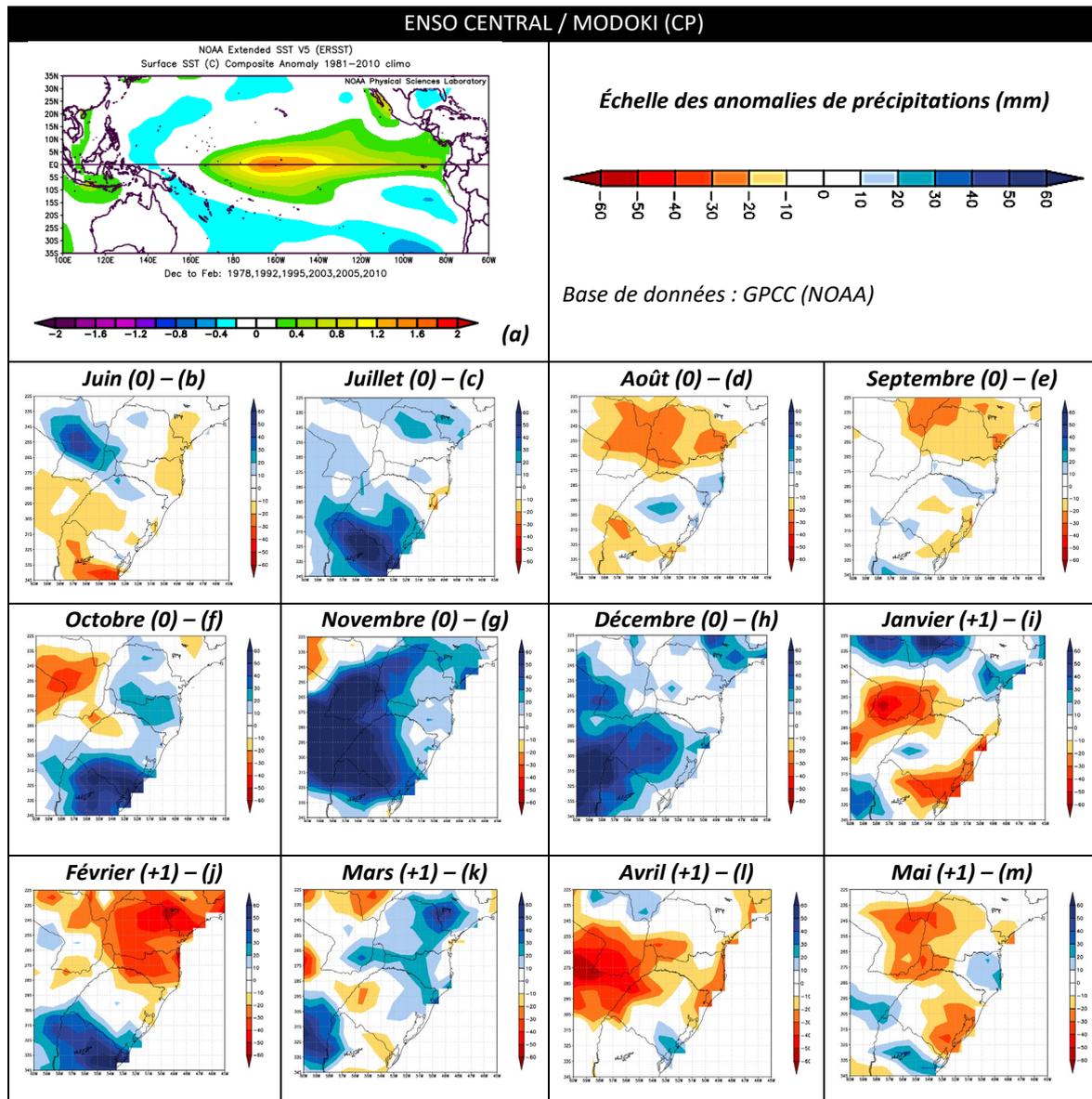


figure 4. Composition des anomalies TSM (DJF) et des anomalies de précipitations mensuelles pour les ENCP. (a) - anomalies TSM pour les mois de DJF des événements ENCP ; anomalies des précipitations en (b) juin (0), (c) juillet (0), (d) août (0), (e) septembre (0), (f) octobre (0), (g) novembre (0), (h) décembre (0), (i) janvier (+1), (j) février (+1), (k) mars (+1), (l) avril (+1) et (m) mai (+1). Élaboration : Goudard (2022).

Les analyses développées dans cette étude et les travaux de Tedeschi, Grimm et Cavalcanti (2015, 2016) et Cai *et al.* (2020) démontrent que les composés de précipitation pour les deux types d'ENSO présentent des schémas similaires avec des différences d'intensité pour SON (0) – Figure 3 (e,f,g) et Figure 4 (e,f,g), mais en DJF il y a une augmentation des précipitations dans l'ENEP et une diminution de l'ENCP dans le sud du Brésil - Figure 3 –(h,i,j) et Figure 4 (h,i,j). En MAM (+) il y a des augmentations (diminutions) des précipitations dans l'ENEP (ENCP), qui s'expliquent par l'intensification (affaiblissement) des jets de bas niveau - Figure 3 (k,l,m) et Figure 4 (k,l,m).

En général, la différence dans la localisation des anomalies maximales de TSM et leurs impacts sur les précipitations sont attribués à un déplacement des schémas de circulation atmosphérique à grande échelle : la cellule de Walker sous les tropiques, les ondes de Rossby dans la région extratropicale et aussi de la circulation des courants jets de bas et haut niveaux. Ces processus modifient, par conséquent, le flux d'humidité et les anomalies des précipitations dans la zone d'étude.

Conclusion

Le présent travail a permis de vérifier la variabilité des précipitations dans le sud du Brésil associée à différents types d'ENSO. Au sud du Brésil, en toutes saisons, les anomalies de précipitations sont plus fortes pour ENEP par rapport à ENCP. Les ENCP sont plus faibles en termes d'anomalies de TSM et ne montrent que des augmentations de précipitation pour la période de SON dans le sud du Brésil. Ces résultats corroborent les analyses de Tedeschi, Grimm et Cavalcanti (2015 ; 2016) et Cai et al. (2020) pour l'Amérique du Sud.

Les résultats obtenus renforcent la nécessité d'analyser ENSO selon leurs typologies (EP, CP et MX), et non seulement se limiter à considérer les phases chaudes et froides du phénomène. Ces processus sont fondamentaux pour améliorer les prévisions climatiques aux échelles régionales et pour apporter de meilleures réponses en termes de mesures d'adaptation de la société.

Remerciements : CAPES (Coordination de l'amélioration du personnel de niveau supérieur - Ministère de l'Éducation du Brésil) pour le support financier de cette recherche.

Bibliographie

- Andreoli RV, Oliveira SS, Kayano MT, Viegas J, Souza RAF, Candido LA. 2016: The influence of different El Niño types on the South American rainfall. *International Journal of Climatology* (published online), **37**. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4783>.
- Ashok, K.; Behera, S.K, Rao, S.A, Weng, H.Y.; Yamagata, T. 2007: El Niño Modoki and its possible teleconnection. *Journal of Geophysical Research*, **112**: C11007.
- Ashok, K.; Yamagata, T. 2009: The El Niño with a difference. *Nature*, **461**, n. 7263, p. 481-484.
- Cai, W. et al. 2020: Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment*, **1(4)**, p. 215-231.
- Grimm, A. M.; Ferraz, S. E. T.; Gomes, J. 1998: Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, **11**, n.10, p. 2863-2880.
- Grimm, A. M. 2009: Variabilidade interanual do clima do Brasil. In: Cavalcanti, I, F. A; Ferreira, N. J; Silva, M, G, A, J; Dias, M. A. F. S (Orgs). *Tempo e clima no Brasil*. Oficina de Textos, p. 260 -275.
- GGWS. 2021: El Niño and La Niña Years and Intensities. <https://ggweather.com/enso/oni.htm>
- Huang, B., Peter W. Thorne, et al. 2017: Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons. *Journal of Climate*. **30**. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1
- Kao Hy, Yu J-Y. 2009: Contrasting eastern-Pacific and central-Pacific types of ENSO. *Journal of Climate*, **22**, p. 615-632.
- Kayano, M. T. et al. 2016: El Niño e La Niña dos últimos 30 anos: diferentes tipos. *Revista Climanalise*. Edição Comemorativa, **30**. p. 7-12.
- Tedeschi, R.G, Cavalcanti, I.F.A, Grimm, A.M. 2013: Influences of two types of ENSO on South American precipitation. *International Journal of Climatology*. **33**: 1382-1400, doi: 10.1002/joc.3519.
- Tedeschi, R. G., Grimm, A. M., & Cavalcanti, I. F. A. 2015: Influence of Central and East ENSO on extreme events of precipitation in South America during austral spring and summer. *International Journal of Climatology*, **35(8)**, 2045-2064. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.4106>.
- Tedeschi, R. G., Grimm, A. M., & Cavalcanti, I. F. A. 2016: Influence of Central and East ENSO on precipitation and its extreme events in South America during austral autumn and winter. *International Journal of Climatology*, **36(15)**, 4797-4814. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.4670>.
- Trenberth K.E. 1997: The definition of El Niño. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **78**: 2771–2777.
- Wolter K, Timlin M.S. 2011: El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *International Journal of Climatology*. **31**: 1074–1087.
- Yu J-Y, Kim ST. 2013: Identifying the types of major El Niño events since 1870. *International Journal of Climatology*. **33**: 2105-2112, doi: 10.1002/joc.3575.