



**HAL**  
open science

# CARACTÉRISATION DE LA SÉCHERESSE DANS LE BASSIN DU FLEUVE SÃO FRANCISCO, BRÉSIL : ÉVOLUTION DU BILAN HYDRIQUE SUR LA PÉRIODE 1942-2016

Pedro Mutti, Vincent Dubreuil, Bergson Bezerra

► **To cite this version:**

Pedro Mutti, Vincent Dubreuil, Bergson Bezerra. CARACTÉRISATION DE LA SÉCHERESSE DANS LE BASSIN DU FLEUVE SÃO FRANCISCO, BRÉSIL : ÉVOLUTION DU BILAN HYDRIQUE SUR LA PÉRIODE 1942-2016. XXXIIIe Colloque de l'AIC, Jul 2020, Rennes, France. halshs-03615769

**HAL Id: halshs-03615769**

<https://shs.hal.science/halshs-03615769v1>

Submitted on 21 Mar 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## CARACTÉRISATION DE LA SÉCHERESSE DANS LE BASSIN DU FLEUVE SÃO FRANCISCO, BRÉSIL : ÉVOLUTION DU BILAN HYDRIQUE SUR LA PÉRIODE 1942-2016

MUTTI P.<sup>1,2</sup>, DUBREUIL V.<sup>2</sup>, BEZERRA B.<sup>1,3</sup>

1 *Climate Sciences Post-graduate Program, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, Brazil (pedromutti@gmail.com ; bergson.bezerra@gmail.com)*

2 *LETG-Rennes-COSTEL, UMR-6554 CNRS, Université Rennes 2, Rennes, France (vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr)*

3 *Department of Atmospheric and Climate Sciences, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, Brazil*

**Résumé :** La sécheresse est un phénomène caractérisé par la persistance d'un déficit en eau résultant de la variabilité naturelle du système climatique. Cependant, ses impacts sont directement liés à la vulnérabilité de la population et des régions touchées. Dans ce contexte, les bassins versants inclus partiellement ou totalement dans les régions semi-arides sont particulièrement vulnérables aux effets de la sécheresse. L'objectif de l'étude est donc de caractériser l'évolution de la sécheresse dans le bassin versant du fleuve São Francisco pendant une période de 75 ans (1942-2016). La sécheresse a été évaluée à partir du déficit d'évaporation estimé par le bilan hydrique simplifié. Les analyses ont été effectuées en tenant compte de trois périodes de 25 ans : 1942-1966 ; 1967-1991 et 1992-2016. Les résultats ont montré que les 25 dernières années ont été les plus sèches de la série historique, avec une augmentation de la fréquence d'occurrence des mois avec déficit en eau et une diminution de l'occurrence des mois avec excédent d'eau.

**Mots clés :** aridité ; déficit d'évaporation ; vulnérabilité ; évapotranspiration ; changement climatique

**Summary:** Drought characterization in the São Francisco watershed, Brazil: evolution of water balance during the 1942-2016 period. Drought is a phenomenon characterized by the persistence of a water deficit resulting from the natural variability of the climate system. However, its impacts are directly related to the vulnerability of the affected population. In this context, watersheds partially or totally located in semi-arid regions are particularly vulnerable to the effects of drought. The objective of the study is, therefore, to characterize the evolution of drought in the São Francisco watershed over a 75-year period (1942-2016). Drought was assessed based on the evaporation deficit estimated by a simplified water balance. The analyses were carried out considering three 25-year periods: 1942-1966; 1967-1991 and 1992-2016. Results showed that the last 25 years were the driest in the historical series, with an increase in the frequency of occurrence of months with water deficit and a decrease in the occurrence of water surplus months.

**Key words:** aridity; evaporation deficit; vulnerability; evapotranspiration; climate change

### Introduction

La sécheresse est un phénomène caractérisé par la persistance d'un déficit en eau résultant de la variabilité naturelle du système climatique. Cependant, ses impacts sont directement liés à la susceptibilité géographique locale de la population et des régions touchées. Dans ce contexte, les bassins versants insérés partiellement ou totalement dans les régions semi-arides sont particulièrement vulnérables aux effets de la sécheresse. Au Brésil, le bassin versant du fleuve São Francisco (BVSF), partiellement inséré dans la région semi-aride du nord-est du pays, joue un rôle stratégique régional et national dans la production hydroélectrique, l'irrigation et le transport fluvial. Dans le BVSF, le développement agricole et l'approvisionnement en eau dans les parties basses du bassin (São Francisco Semi-aride – SFSA) dépendent principalement du régime hydrologique des parties hautes du bassin, où le climat subtropical tempéré d'altitude prédomine et où les précipitations sont plus abondantes (São Francisco Subtropical – SFST).

Des études récentes montrent que dans un contexte de changement climatique, les projections indiquent une réduction du volume des précipitations et une augmentation de la température dans le BVSF (Marengo *et al.*, 2012). Par conséquent, ces scénarios indiquent un déséquilibre plus accentué dans le bilan entre les offres (précipitations – P) et les demandes (évapotranspiration potentielle – ETP) atmosphérique d'eau. Ainsi, le bilan hydrique simplifié

( $P - ETP$ ) est un indicateur simple mais important de l'évolution de ce déséquilibre, représentant les conditions de sécheresse ou au contraire d'abondance hydrique sur une certaine région. Pourtant, l'évaluation du comportement climatologique du bilan hydrique dans le SFSA et le SFST permet de comprendre, de manière préliminaire, les caractéristiques de l'incidence de la sécheresse dans les deux régions climatiques les plus contrastées du bassin. Cette étude est donc une première étape importante pour étudier en profondeur les effets de la sécheresse sur la végétation, le sol et la disponibilité des ressources en eau dans tout le bassin versant. L'objectif de l'étude est ainsi de caractériser l'évolution de l'incidence de la sécheresse dans le SFSA et le SFST pendant une période de 75 ans (1942-2016).

## 1. Données et méthodes

### 1.1. Données

Les données de précipitations et de température moyenne mensuelles interpolées du produit CRU TS v 4.02, élaboré par la *Climate Research Unit* de l'université d'East Anglia, au Royaume-Uni, ont été utilisées. Ces données sont présentées dans une grille horizontale de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  ( $\sim 56$  km, Fig.1). Une série synthétique mensuelle (1942-2016) de précipitations et de températures a été créée pour la SFSA et la SFST à partir de la moyenne des valeurs de chaque point de grille situé dans chaque région. Nous avons choisi d'utiliser les données interpolées du produit CRU TS v4.02 parce que la disponibilité des données observées dans la région est hétérogène à la fois dans l'espace et dans le temps. L'ETP a été calculée à partir des données de température en utilisant la méthode classique de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948).

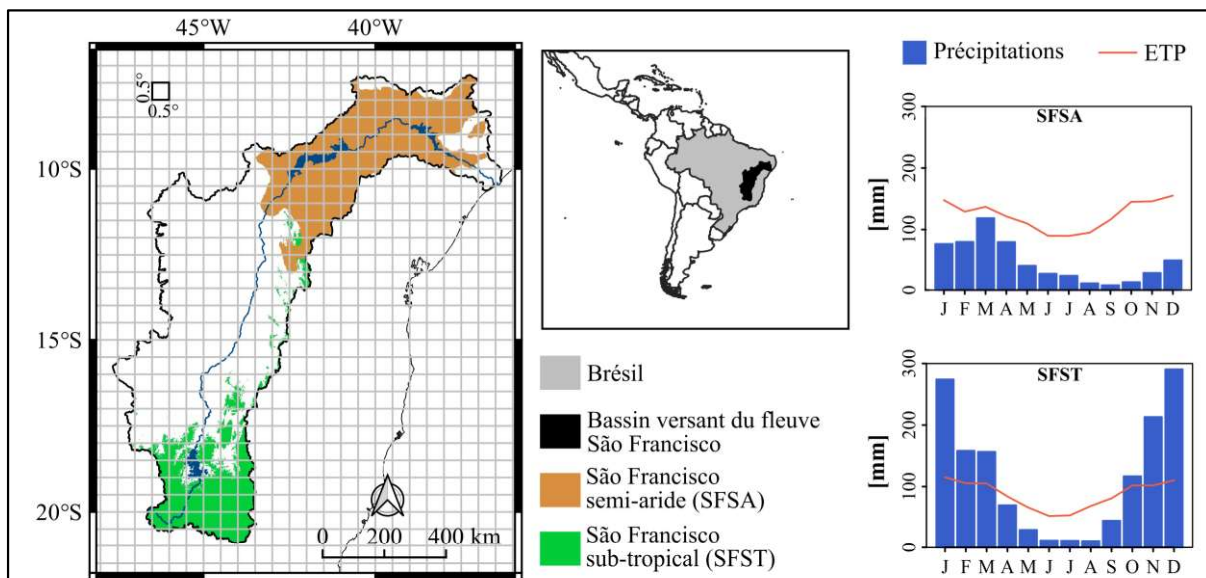


Figure 1. Localisation du bassin versant du fleuve São Francisco (à gauche) et climatologie des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) dans la région semi-aride et subtropicale du bassin au cours de la période 1942-2016 (à droite).

### 1.2. Méthodes

La sécheresse a été évaluée à partir des éléments du bilan hydrique simplifié d'abord proposé par Thornthwaite (1948) et ensuite détaillé par Thornthwaite et Mather (1955). Ce bilan hydrique est basé sur la relation entre  $P$  et  $ETP$ , en tenant compte à la fois des flux d'offre d'eau et des effets de la demande atmosphérique et de la température. Les conditions de sécheresse seront évaluées à partir du déficit d'évaporation mensuel ( $DE - mm$ ), qui consiste en la différence entre l'ETP et l'évapotranspiration réelle (ETR) mensuelle [équation 1] :

$$DE = ETP - ETR \quad [\text{éq. 1}]$$

où:

$$ETR = \begin{cases} ETP, & P \geq ETP \\ P + dRU, & P < ETP \end{cases}$$

L'ETR obtenue à partir du bilan hydrique dépend de la relation entre P et ETP. Si  $P > ETP$ , la disponibilité en eau est maximale, la surface évapotranspire dans des conditions potentielles et il n'y a pas de DE. En revanche, si  $P < ETP$ , alors ETR sera égal à la valeur de P plus un volume d'eau stocké dans le sol évapotranspirant ( $dRU - \text{mm}$ ), et DE représentera le déficit en eau atmosphérique. La valeur de  $dRU$  [équation 2] consiste en une estimation empirique de la différence entre la réserve utile d'eau dans le sol du mois précédent ( $RU_{i-1} - \text{mm}$ ) et la réserve utile d'eau dans le sol du mois considéré ( $RU_i - \text{mm}$ ) :

$$dRU_i = RU_{i-1} - RU_i \quad [\text{éq. 2}]$$

où :

$$RU = RU_0 e^{[\sum(P-ETP)/RU_0]}$$

et  $\sum(P - ETP)$  est la somme cumulée des déficits pluviométriques (lorsque  $P < ETP$ ) et  $RU_0$  est la réserve utile du sol à la fin de la saison humide. Une  $RU_0$  égale à 100 mm a été adoptée sur la base des recommandations des études antérieures du bilan hydrique dans le BVSF (dos Santos *et al.*, 2018 ; Lopes *et al.*, 2017). La méthodologie complète et détaillée de calcul du bilan hydrique se trouve dans Thornthwaite et Mather (1955), utilisée par exemple en France par Dubreuil (1996).

La classification des mois en termes de sécheresse en fonction du bilan hydrique et du DE est présentée dans le Tableau 1. Les limites de classes ont été choisies à partir d'une simple progression arithmétique.

Tableau 1. Classification des mois selon le bilan hydrique et le déficit d'évaporation (DE).

<i>Bilan hydrique</i>	<i>Classification des mois</i>
$P > ETP$ , excédent hydrique	Hyper humide
$P > ETP$ , reconstitution de la RU	Humide
$P < ETP$ , $DE < 40 \text{ mm}$	Faible déficience
$P < ETP$ , $40 \leq DE < 80 \text{ mm}$	Sec
$P < ETP$ , $80 \leq DE < 120 \text{ mm}$	Très sec
$P < ETP$ , $DE \geq 120 \text{ mm}$	Extrêmement sec

Les analyses du bilan hydrique ont été effectuées sous l'aspect climatologique, en considérant les moyennes mensuelles, et également sous l'aspect séquentiel, en suivant les conditions de déficit ou d'excédent en eau dans le temps. Ces analyses ont été effectuées en considérant trois périodes de 25 ans, à savoir : 1942-1966, 1967-1991 et 1992-2016. Les trois périodes ont été choisies pour diviser les 75 années de données validées disponibles en trois groupes d'effectifs égaux. Il est important de rappeler que dans le SFSA, les précipitations sont concentrées en automne de février à mai (Fig.1), tandis que dans le SFST, les volumes précipités sont plus importants et se produisent de la fin du printemps à la fin de l'été (Fig.1).

## 2. Résultats et discussion

La Figure 2 montre la climatologie du bilan hydrique (moyennes mensuelles) pour chaque période de 25 ans dans le SFST et le SFSA, en comparaison avec la valeur moyenne pour l'ensemble de la période de 1942 à 2016. Dans le SFST, on observe qu'au cours des 75 années, il y a une réduction du surplus d'eau observé pendant la saison humide. Au cours de la période 1992-2016, par exemple, le mois de novembre a pratiquement cessé de présenter des excédents, avec des valeurs jusqu'à 25 mm inférieures à la moyenne climatologique. Il en va pratiquement de même pour le mois de février. Les différences les plus prononcées se sont produites précisément au début et à la fin de la saison des pluies, ce qui peut indiquer un raccourcissement de celle-ci. Les résultats peuvent également être associés à une augmentation de la température à la fin du printemps et de l'été, qui a déjà été observée dans d'autres études dans la région (da Silva *et al.*, 2018). Au SFSA, la période de 1942 à 1966 a montré un comportement proche de la moyenne. Les 25 années suivantes ont montré un bilan moyen plus favorable tout au long de l'année. Cette situation s'est inversée au cours de la dernière période, de 1992 à 2016, où les déficits observés ont été plus importants que la moyenne. Dans la zone semi-aride, le bilan hydrique est principalement contrôlé par les précipitations, et les résultats indiquent donc qu'au cours des 25 dernières années, le volume des précipitations a diminué dans cette région.

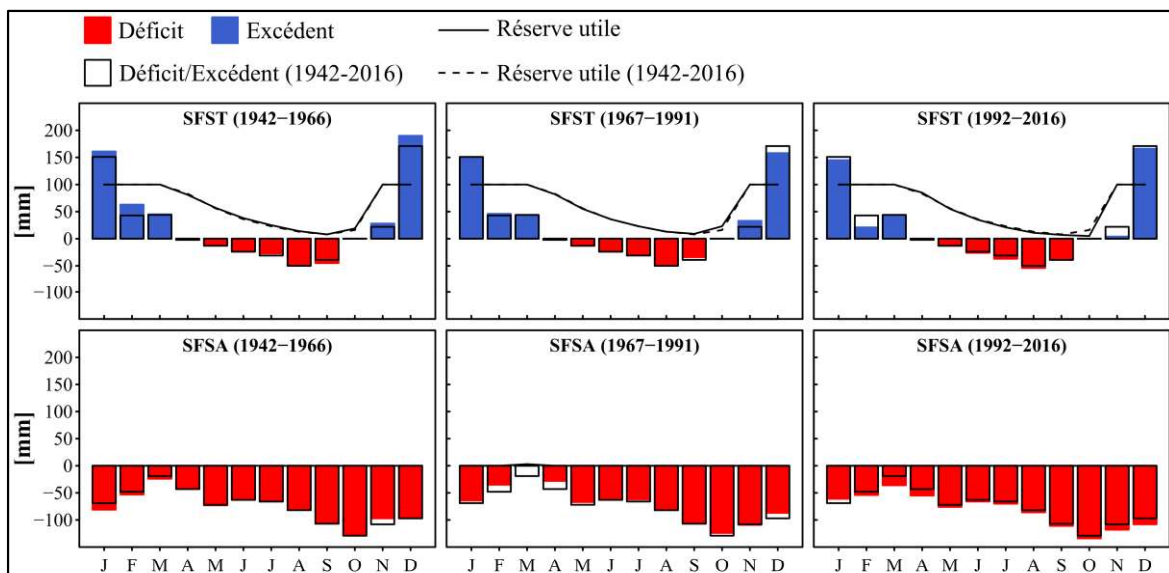


Figure 2. Bilan hydrique mensuel moyen dans le São Francisco subtropical (SFST) et semi-aride (SFSA) pour chaque période de 25 ans par rapport à la climatologie du bilan hydrique pour l'ensemble de la période 1942-2016.

Ces résultats peuvent être analysés plus en détail en observant le bilan hydrique mensuel séquentiel tout au long de la période d'étude (Fig.3). Dans le SFST, par exemple, on peut observer que les mois secs et très secs sont devenus plus fréquents à partir de 1994. À partir de 1982, on peut également noter que le mois de novembre est devenu plus fréquemment classé comme un mois humide au lieu d'être hyper humide. La figure montre également que la période de 2012 à 2016 a été l'une des plus déficitaires dans la région, avec une prolongation de la saison sèche et la saison des pluies moins intense que la normale. En fait, il s'agit de la période de sécheresse la plus sévère jamais enregistrée dans la région du nord-est du Brésil (Marengo *et al.*, 2017). Dans le SFSA, la période de 1963 à 1989 a été marquée par quelques années de fort bilan hydrique positif : 1964, 1974, 1980-81 et 1985. En revanche, de 1989 à 2016, ce n'est qu'en 2008 qu'un mois hyper humide a été observé. Comme pour la SFST, la période de 2012 à 2016 a également été critique, 95 % des mois étant classés au moins comme secs.

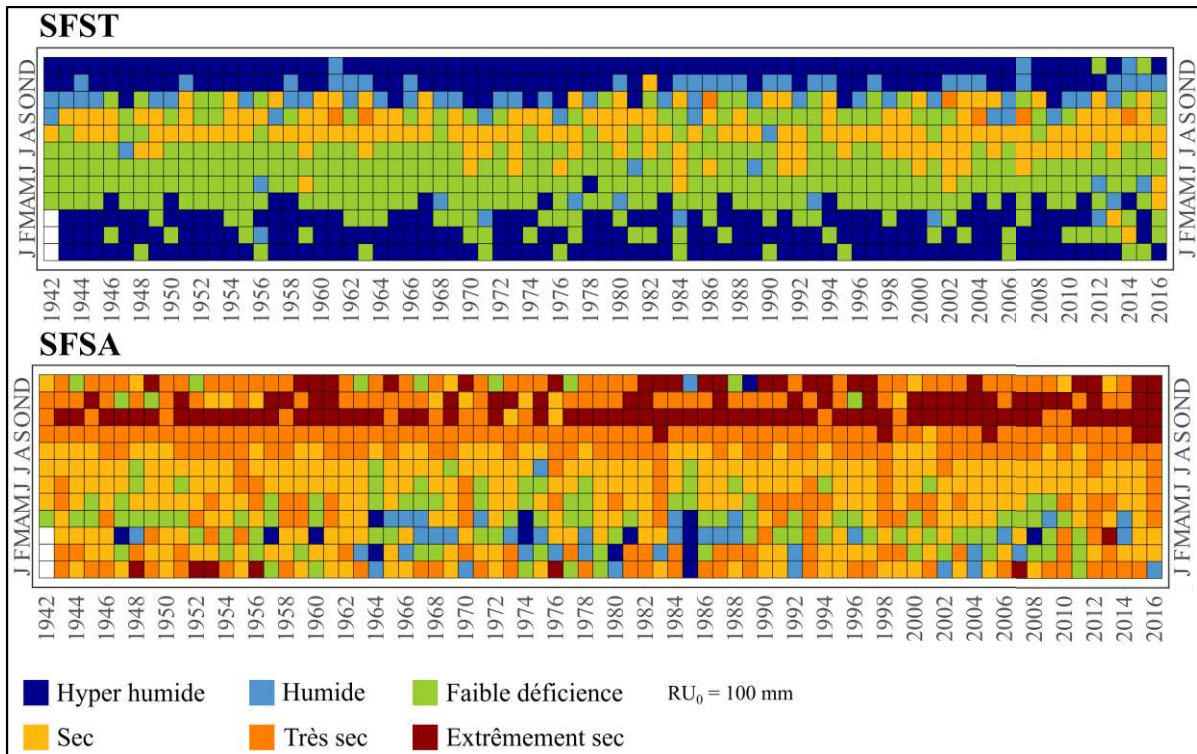


Figure 3. Variabilité interannuelle du bilan hydrique dans le São Francisco subtropical (SFST) et semi-aride (SFSA) au cours de la période 1942-2016.

Ces changements dans les fréquences d'occurrence des classes de bilan hydrique peuvent être mieux observés sur la Figure 4. Dans le SFST, par exemple, il est possible de remarquer la réduction progressive de l'occurrence des mois hyper humides aux mois de novembre, février et mars, qui sont les mois de début et de fin de la saison humide. En outre, les mois secs et très secs sont devenus plus fréquents dans cette région au cours des 25 dernières années. Dans le SFSA, la Figure 4 montre également une réduction évidente de la fréquence des mois humides et hyper humides pendant la saison des pluies. Cela indique que même pendant la saison humide, le volume des précipitations dans cette région ne peut pas satisfaire les demandes atmosphériques.

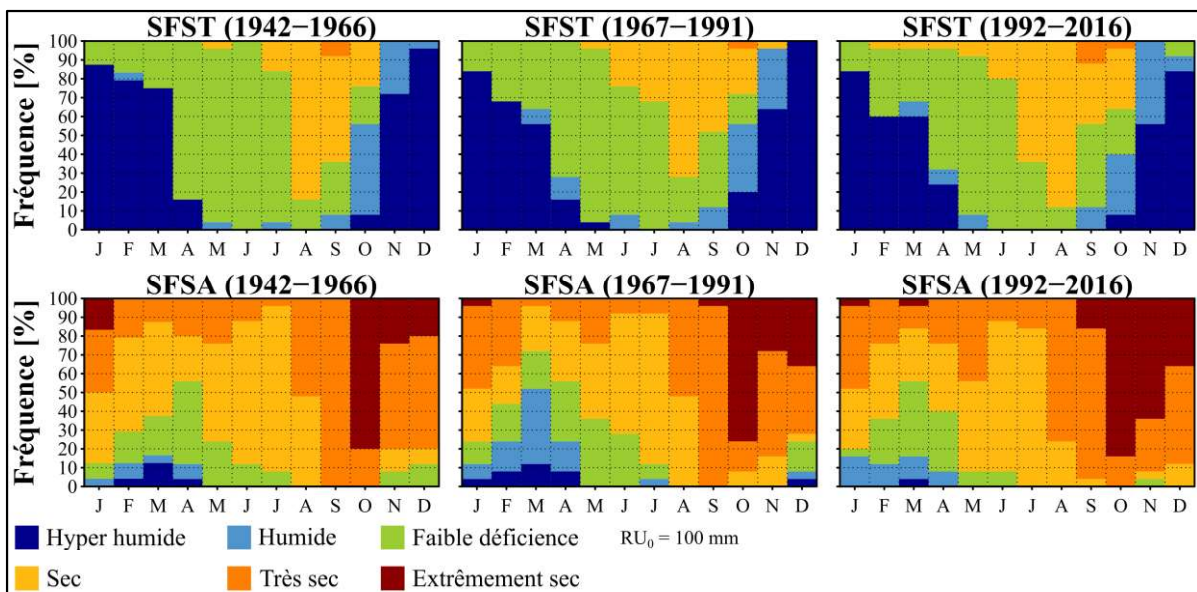


Figure 4. Fréquence mensuelle d'occurrence de chaque classe du bilan hydrique dans le São Francisco subtropical (SFST) et semi-aride (SFSA) dans chacune des trois périodes de 25 ans étudiées.

Les résultats trouvés dans cette étude préliminaire corroborent les études récentes menées dans le BVSF et dans la région du Nord-Est du Brésil. Dubreuil *et al.* (2019), par exemple, ont montré une tendance à l'intensification et à l'expansion des conditions d'aridité dans le nord-est du Brésil, qui a pu être observée avec l'évolution du bilan hydrique au cours des 75 dernières années tant dans le SFST que dans le SFSA. En ce qui concerne le SFST, Bezerra *et al.* (2019) ont également montré une tendance vers le raccourcissement de la saison des pluies, avec des volumes de précipitations moins intenses. L'analyse séquentielle du bilan hydrique a également montré les périodes de sécheresse extrême dans la région, comme 2012-2016, qui a été la plus sévère sécheresse jamais enregistrée dans la région du nord-est du Brésil (Marengo *et al.*, 2017).

## Conclusion

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'évolution du bilan hydrique dans les régions subtropicales et semi-arides du BVSF, sur la période de 1942 à 2016 (75 ans). Les résultats ont indiqué une réduction de la fréquence des mois hyper humides dans la région du SFST, en particulier au début et à la fin de la saison des pluies. Dans le SFSA, les 25 dernières années ont présenté des déficits en eau plus importants que la moyenne, ce qui indique une intensification des conditions d'aridité dans la région. Il est important de noter que ce travail présente des indications préliminaires pour une étude plus approfondie de la sécheresse dans la région, qui devrait inclure l'analyse spatiale de l'incidence de la sécheresse, ainsi que ses effets sur la végétation et les ressources en eau du bassin versant étudié.

## Bibliographie

- Bezerra B. G., Silva L. L., Santos E Silva C. M., & de Carvalho G. G., 2019. Changes of precipitation extremes indices in São Francisco River Basin, Brazil from 1947 to 2012. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(1–2), 565–576. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2396-6>
- Dos Santos D. P., Montenegro A. A. de A., Dos Santos C. S., Araújo D. C. Dos S., & Dos Santos, M. A. L., 2018. Dinâmica de vegetação, balanço climatológico, índices climáticos, na sub-bacia do Rio São Francisco. *Sustentare*, Edição Esp (II SBHSF), 44–55.
- Dubreuil V., 1996. Synthèse géographique de la sécheresse dans les régions océaniques. *La Météorologie*, 8(15), 22–34. URL : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/46994>
- Dubreuil V., Fante K. P., Planchon O., & Sant'Anna Neto J. L., 2019. Climate change evidence in Brazil from Köppen's climate annual types frequency. *International Journal of Climatology*, 39(3), 1446–1456. Doi: <https://doi.org/10.1002/joc.5893>
- Lopes I., Guimarães M. J. M., de Melo J. M. M., & Ramos C. M. C., 2017. Balanço hídrico em função de regimes pluviométricos na região de Petrolina-PE. *Irriga*, 22(3), 443–457. URL: <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n3p443-457>
- Marengo J. A., Alves L. M., Alvala R. C., Cunha A. P., Brito S., & Moraes O. L., 2017. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 1–13. Doi: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>
- Marengo J. A., *et al.*, 2012. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTec/HadCM3 climate change projections: Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. *Climate Dynamics*, 38(9–10), 1829–1848. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1155-5>
- Da Silva P. E., Santos e Silva, C. M., Spyrides M. H. C., & Andrade L. de M. B., 2018. Precipitation and air temperature extremes in the Amazon and northeast Brazil. *International Journal of Climatology*, (January), 1–17. Doi: <https://doi.org/10.1002/joc.5829>
- Thornthwaite C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55. Doi: <https://doi.org/10.2307/210739>
- Thornthwaite C. W., & Mather J. R., 1955. The Water Balance. *Climatology*, 8, 1–86.