

Modélisation des Données pour la Prévision de la Sécheresse via l'Indice Standard de Précipitations (SPI) : Cas de la Région Atsimo Andrefana de Madagascar

Rija Santaniaina Rakotoarimanana, Doctorant

Ecole doctoral GENESIS,

Université d'Antsiranana, Madagascar

Tiana Razefania Ramahefy, Docteur Ingénieur

Université d'Antananarivo, Madagascar

Solofo Randrianja, Professeur titulaire

Université d'Antsiranana, Madagascar

[Doi: 10.19044/esipreprint.12.2023.p931](https://doi.org/10.19044/esipreprint.12.2023.p931)

Approved: 28 December 2023

Posted: 30 December 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Rakotoarimanana R.S., Ramahefy T.R. & Randrianja S. (2023). *Modélisation des Données pour la Prévision de la Sécheresse via l'Indice Standard de Précipitations (SPI) : Cas de la Région Atsimo Andrefana de Madagascar*. ESI Preprints.

<https://doi.org/10.19044/esipreprint.12.2023.p931>

Resume

Dans cet article, nous avons caractérisé les sécheresses dans la région d'Atsimo Andrefana, située au sud-ouest de Madagascar, à l'aide de l'indice de précipitation standard (SPI). Cet exercice consiste à calculer les différents SPI basés sur 03, 06, 09, 12, 24 et 48 mois dont les données utilisées sont les valeurs de précipitations mensuelles de cette Région Atsimo Andrefana de Madagascar. Par la suite, les courbes de variation de ces différents SPI sont représentées graphiquement, interprétées et analysées pour la caractérisation de ce phénomène. Ils constitueront une étape importante dans la prédiction des sécheresses et pour la prise de décision par les acteurs nationaux et internationaux du développement et de l'environnement.

Mot-cles: Prédiction, Caractérisation de la sécheresse, Indice de sécheresse, SPI, IA prédictif

Data Modeling for Drought Prediction via Standard Precipitation Index (SPI) : Case of the Atsimo Andrefana Region of Madagascar

Rija Santaniaina Rakotoarimanana, Doctorant

Ecole doctoral GENESIS,

Université d'Antsiranana, Madagascar

Tiana Razefania Ramahefy, Docteur Ingénieur

Université d'Antananarivo, Madagascar

Solofo Randrianja, Professeur titulaire

Université d'Antsiranana, Madagascar

Abstract

In this article, we characterized droughts in the Atsimo Andrefana region, located in southwest Madagascar, using the Standard Precipitation Index (SPI). This exercise consists of calculating the different SPIs based on 03, 06, 09, 12, 24 and 48 months whose data used are the monthly precipitation values of the Madagascar Atsimo Andrefana Region. Subsequently, the variation curves of these different SPIs are graphically represented, interpreted and analyzed for the characterization of this phenomenon. They will be useful as an important step for drought prediction and for decision-making by national and international development and environmental actors.

Keywords: Prediction, Drought characterization, Drought index, SPI, predictive AI.

Introduction

La hausse des températures, l'intensification des précipitations, la fréquentation des cyclones tropicaux violents, l'élargissement des périodes d'aridité et de sécheresse sont les exemples des conséquences directes du changement climatiques qui favorisent par la suite d'autres conséquences néfastes comme les crises alimentaires et en eau surtout dans les pays en voie de développement, les maladies, les crises économiques, la perte de la biodiversité et la dégradation de l'environnement. En rappelant qu'elles sont tous causées par les activités humaines.

A Madagascar, selon le rapport de la banque mondiale, une sécheresse prolongée a touché le sud de Madagascar entre 2018 à 2022 et un système de surveillance de la sécheresse basé sur des indicateurs des sécheresses y a été déjà développé.

Plusieurs indices de sécheresses sont déjà inventés et utilisés par des chercheurs mais le problème c'est de voir par expérimentation ceux qui sont plus simples, plus faciles et plus adaptés aux données utilisées.

Dans cet article, nous avons utilisé le Standard Precipitation Index (SPI) pour la caractérisation des sécheresses dans la région d'Atsimo Andrefana, dans le Sud-Ouest de Madagascar dont les données requises pour le calcul sont les valeurs de précipitation moyennes mensuelles de cette région.

Methodes

La modélisation des données utilisant la SPI permet de donner les caractérisation à priori des sécheresses. Elle donne un aperçu sur les procédures de calcul et l'utilisation de SPI. C'est une étape importante nécessaire pour avoir une prédiction des quantités de précipitations en dessous de la normale dans une région, comme le cas de l'Atsimo Andrefana de Madagascar.

Définition de la sécheresse

Plusieurs définitions de la sécheresse sont retrouvées dans la littérature. Mais Selon Palmer, la définition de la sécheresse varie en fonction de l'intérêt particulier de l'étude. Quant au paysan, elle désigne un manque d'humidité dans la partie de la racine de la culture. L'hydrologue la propose comme de niveau d'eau qui est inférieur à la moyenne dans les cours d'eau, dans les lacs et dans les réservoirs d'eau. Selon l'économiste, elle marque une pénurie d'eau qui nuit à l'économie établie.

Classification des définitions de sécheresse

Les définitions se regroupent en fonction des facteurs d'influence comme la précipitation, évapotranspiration, la météorologie, le débit, l'humidité du sol et la végétation.

Les définitions qui sont basées sur la précipitation, l'évapotranspiration et la météorologie se réfèrent à la sécheresse météorologique. Celle qui est en fonction du débit se réfère aux sécheresses hydrologiques et celles qui sont en fonction de l'humidité du sol et la végétation se rapportent aux sécheresses agricoles.

Indice de sécheresse

L'indice de sécheresse est une valeur numérique qui est en relation avec des effets cumulatifs du prolongation et d'anomalie. En hydrologie, il montre la différence entre les niveaux des cours d'eau, des lacs et des réservoirs avec leurs valeurs moyennes. En agriculture, les effets cumulatifs

d'un déficit de transpiration absolu ou anormal sont en rapport avec cet indice.

Types d'indice de sécheresse

Les indices les plus utilisés sont l'indice de l'écart à la moyenne (Em), le rapport à la normale des précipitations (RN), l'indice de déficit pluviométrique (Indice de l'écart à la normale (En)), l'indice de sévérité de la sécheresse de Palmer, l'indice de pluviosité (Ip), l'indice d'approvisionnement en eau de surface (SWSI), l'indice de sécheresse de Keetch Byram (KBDI) et l'indice de précipitation standardisé (SPI). Mais dans cette étude nous ne s'intéresse que l'indice de Précipitation standardisé (SPI).

L'Indice Standardisé de Précipitation (SPI)

L'Indice Standardisé de Précipitation (SPI) a été développé en 1993 par Mc Kee, N.J. Doesken & J. Kleist de l'Université de l'Etat du Colorado, pour la détermination des déficits pluviométriques pour une période donnée. C'est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer. Les données sur les précipitations constituent en fait le seul paramètre requis. En outre, l'indice SPI se révèle tout aussi efficace pour analyser les périodes humides que les périodes sèches.

Procédure de calcul et utilisation du SPI

Le SPI d'une région se calcule par le relevé de la série temporelle de précipitations cumulée, sur une échelle de temps donnée dans cette région. Cette série est de préférence sur une période d'au mois de 30 ans (McKee et al., 1993). Elle devrait être ajustée à une loi de probabilité adéquate et transformée après à la distribution normale de moyenne égale à 0 et d'écarte type égale à 1, appelée Z-distribution, qui dans notre cas le SPI (Edwards and McKee, 1997). Le SPI a de valeurs positives pour des précipitations supérieures à la médiane et négatives pour les précipitations inférieures à ma médiane.

Thom a conclu en 1966 que les précipitations sont adaptées beaucoup plus sur la loi gamma. Cette loi est définie par sa fonction de densité de probabilité donnée par la formule suivante (Edwards and McKee, 1997), pour $x > 0$:

$$g(u) = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} u^{a-1} e^{-u/\beta} \quad (1)$$

Dont a est le paramètre de forme, b est le paramètre d'échelle, u est la quantité de précipitations et $\Gamma(a)$ est la fonction gamma, définie par la formule :

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} v^{a-1} e^{-v} dv \quad (2)$$

L'ajustement de la distribution gamma se fait par déterminer les paramètres a et b qui sont estimés par Thom, en 1966 par :

$$\hat{a} = \frac{1}{4X} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4X}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\hat{b} = \frac{\bar{u}}{\hat{a}} \quad (4)$$

$$X = \ln(\bar{u}) - \frac{\sum \ln(u)}{k} \quad (5)$$

Où \bar{u} est la moyenne de précipitations et k est le nombre d'observations.

La valeur de la probabilité cumulée $G(u)$ est obtenue par intégration de la fonction de densité $g(u)$, avec les deux paramètres a et b estimés. Cette valeur donne la probabilité d'observation d'une quantité de précipitation (inférieure ou supérieure à la médiane) pour un mois et une échelle de temps bien définis. Elle est donnée pour $u > 0$ par :

$$G(u) = \int_0^u g(u) du = \frac{1}{b\hat{a}\Gamma(\hat{a})} \int_0^u u^{\hat{a}-1} e^{-u/\hat{b}} du \quad (6)$$

Etant donnée que la fonction de distribution gamma n'est pas définie sur 0 ainsi que pour le total de précipitation qui pourrait être est égal à 0 sur l'échelle de temps déterminée, la valeur de probabilité cumulée est donnée par la formule suivante :

$$H(u) = p + (1 - p)G(u) \quad (7)$$

Avec $p = P(u = 0) > 0$ est la probabilité d'obtenir des précipitations nulles. La transformation de la fonction $H(u)$ en distribution normale standardisée correspond à la valeur du SPI. Cette transformation peut être encore approximée par les formules suivantes (Abramowitz, 1965) :

$$z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad (8)$$

$$\text{Et } t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(H(u))^2} \right)} \quad \text{Pour } 0 < H(u) \leq 0,5 \quad (9)$$

$$z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad (10)$$

$$\text{Et } t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(1-H(u))^2} \right)} \quad \text{Pour } 0,5 < H(u) \leq 1 \quad (11)$$

Et :

$$c_0 = 2.515517; \quad c_1 = 0.802853; \quad c_2 = 0.010328.$$

$$d_1 = 1.432788; \quad d_2 = 0.189269; \quad d_3 = 0.001308.$$

On effectue le calcul séparément pour chaque échelle de temps, en général sur 3, 6, 12 et 24 mois. Comme l'indice est dans ce cas normalisé, en effet, on peut figurer de même manière les climats humide et aride. La sécheresse commence quand la valeur du SPI est inférieure ou égale à -1 et elle se termine quand cette valeur devient positive.

Tableau 1. Probabilité d'occurrence des catégories climatique selon (McKee et al 1993)

<i>SPI</i>	<i>Catégorie</i>	<i>Nb. de fois sur 100</i>	<i>Fréquence</i>
De 0 à 0,99	Légère sécheresse	33	1 fois tous les 3 ans
De -1,00 à -1,49	Sécheresse modérée	10	2 fois tous les 10 ans
De -1,5 à -1,99	Grande sécheresse	5	3 fois tous les 20 ans
<-2	Sécheresse extrême	2	4 fois tous les 50 ans

L'Organisation Mondiale de la Météorologie a adopté 7 classes de climat différentes. Elles varient de l'extrême chaude à l'extrême humide dont montre le tableau suivant :

Tableau 2. Valeurs de SPI et classes de sécheresse

Valeur SPI	Séquence de sécheresse
2,0 et plus	Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99	Très humide
de 1,0 à 1,49	Modérément humide
de -0,99 à 0,99	Proche de la normale
de -1,0 à -1,49	Modérément sec
de -1,5 à -1,99	Très sec
-2.0 et moins	Extrêmement sec

Les anomalies, c'est-à-dire, les écarts par rapport à la moyenne, des précipitations totales observées pour une zone, pendant une période donnée, sont montrées par le SPI. La probabilité de la gravité d'un évènement humide ou sec est mesurée par l'ampleur de l'écart par rapport à cette anomalie. Puisqu'on peut faire le calcul de SPI sur différentes périodes d'accumulation de précipitations qui sont généralement de 1 à 48 mois, il permet à l'estimation des impacts potentiels d'une sécheresse météorologique :

- **SPI-1 à SPI-3 mois** : l'utilisation de ces SPI sont préférables pour des périodes d'accumulation de précipitations plus courtes, de 1 à 3 mois par exemple. Ils sont comme des indicateur des impacts immédiats tels que la réduction de l'humidité du sol, du manteau neigeux, et l'écoulement dans des plus petits ruisseaux.

- **SPI-3 à SPI-12 mois** : on peut utiliser ces SPI pour des périodes d'accumulation moyennes, de 3 à 12 mois par exemple, pour voir la réduction du débit des cours d'eau et du stockage dans les réservoirs.

- **SPI-12 à SPI-48 mois** : ces SPI sont pratiqués pour des périodes d'accumulation plus longues de 12 à 48 mois par exemple, ils peuvent être considérés comme indicateur d'une recharge réduite des réservoirs et des eaux souterraines.

Etude de la sécheresse en fonction de l'échelle interannuelle

Le SPI-12 mois doit être utilisé pour la caractérisation des années sèches. Le modèle de précipitation à long terme a été reflété à cette échelle

de temps par ce SPI. Il fait comparer le cumul des précipitations des 12 mois consécutifs avec celle de la moyenne du même mois sur toutes les années de la série temporelle des données disponibles. Cela signifie que le SPI-12 de la fin janvier 2023 compare le total des précipitations de la période Décembre 2022 à janvier 2023 avec la même période dans la série temporelle.

Etude de la sécheresse en fonction de l'échelle intra saisonnière SPI-3

Le SPI-3 mois produit des informations sur le cumul sur de trois mois avec le total de précipitations de la même période de trois mois sur toutes les années de la série temporelle. Ce qui implique que le SPI-3 mois de la fin du mois de Juin compare le total des précipitations de Avril – Mai – Juin de cette saison avec le total des précipitations de mois d'Avril au Juin pour toute la saison dans la série temporelle étudiée.

Etude de la sécheresse en fonction de l'échelle mensuelle SPI-2

Le SPI -2 mois donne la comparaison entre la précipitation de cette période avec la même période de deux mois sur toutes les années de la série temporelle. C'est-à-dire que le SPI-2 mois de la fin du mois d'Août compare le total des précipitations de la période Juillet-Août, le raisonnement est toujours le même pour la fin de mois Septembre, on fait la comparaison entre le total des précipitations de la période Août-Septembre avec tout le total de la même période. Le SPI-2 mois est ici utilisé, pour la saison chaude et pluvieuse de Novembre à Avril, de la fin du mois de Novembre pour le début de la pluie et Avril pour la fin de la pluie.

Tableau 3. Phénomènes reflétés par SPI de durée spécifique et leurs applications

<i>Durée de SPI</i>	<i>Phénomène reflété</i>	<i>Application</i>
1 mois	Conditions à court terme	Humidité du sol à court terme et stress des cultures
3 mois	Conditions d'humidité à court et moyen terme	Une estimation saisonnière des précipitations
6 mois	Tendances à moyen terme des précipitations	Potentiel pour montrer efficacement les précipitations au cours de saisons distinctes
9 mois	Modèles de précipitations au-delà de l'échelle de temps moyenne	Si $SPI_9 < -1,5$ alors c'est une bonne indication que des impacts substantiels peuvent se produire dans l'agriculture (et éventuellement d'autres secteurs)
12 mois	Modèles de précipitation à long terme	Peut-être lié aux débits des cours d'eau, aux niveaux des réservoirs et également aux niveaux des eaux souterraines

Données utilisées

Les données utilisées sont de données pluviométriques dans les relevés mensuels de précipitation, du mois de janvier 2010 jusqu’au mois de mai 2022 dans la Région d’Atsimo Andrefana, ex-Province de Toliara, se trouvant dans le Sud-Ouest Madagascar fournies par le Service météorologique de Madagascar. Elles recouvrent 149 observations.

Resultats

Les graphes suivants montrent la variation des résultats du calcul de SPI-3 mois, SPI-6 mois, SPI-9 mois, SPI12, SPI-24 et SPI48 :

|SPI-03 mois

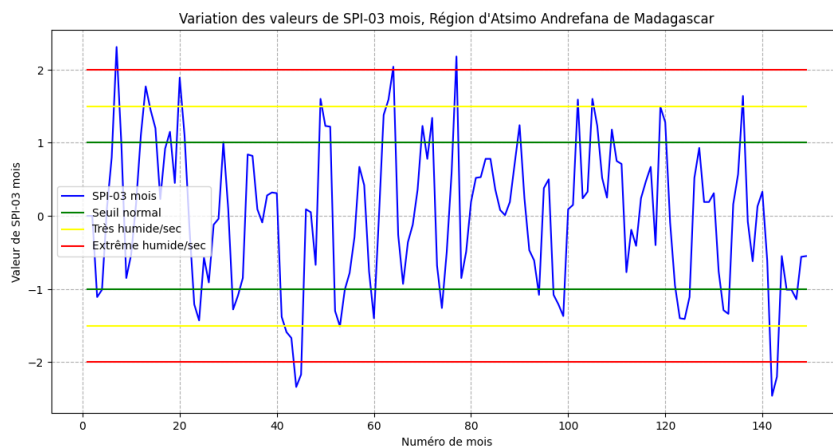


Figure 1. Variation de SPI-03 mois

SPI-06 mois

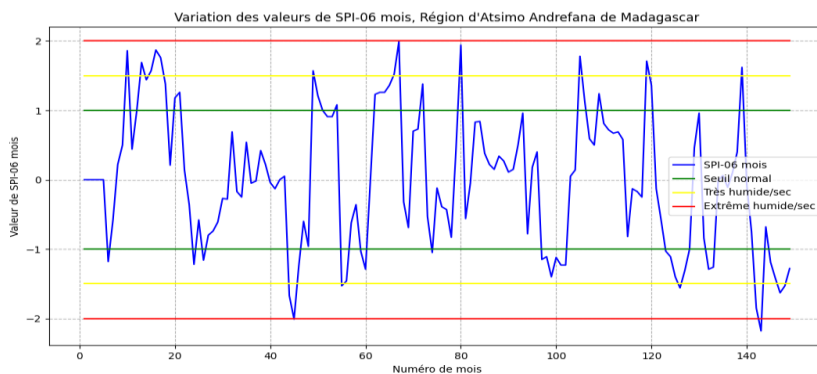


Figure 2. Variation de SPI-06 mois

SPI-09 mois

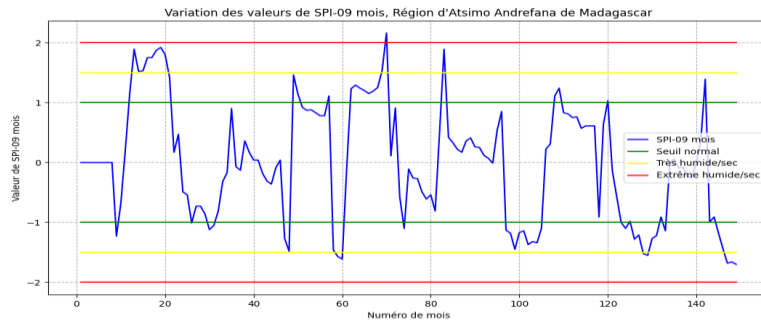


Figure 3. Variation de SPI-09 mois

SPI-12 mois

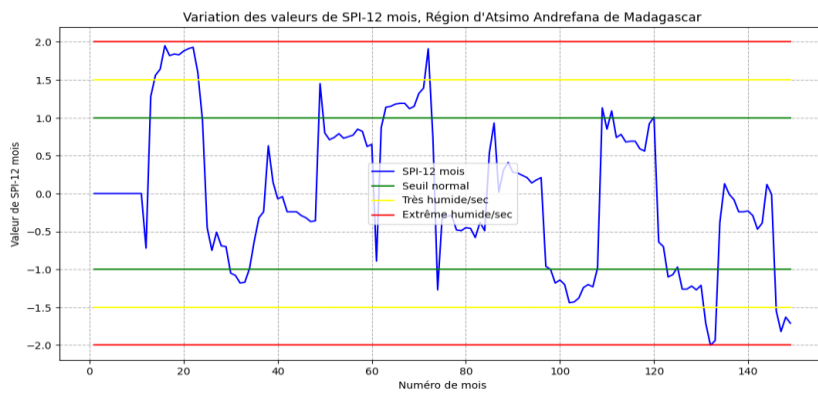


Figure 4. Variation de SPI-12 mois

SPI-24 mois

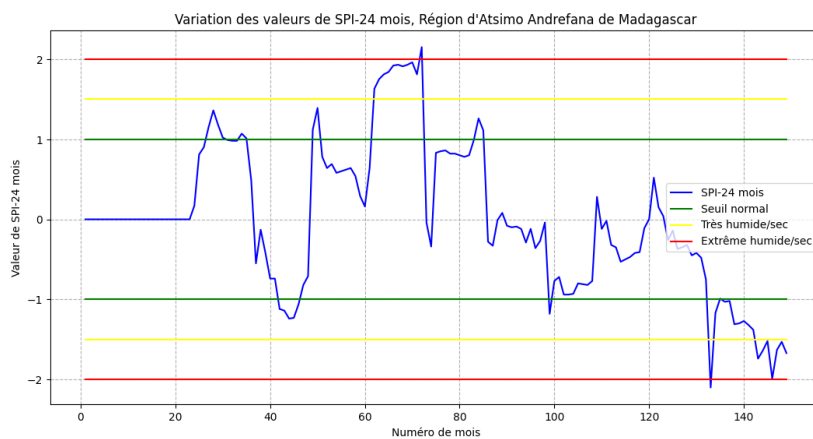


Figure 5. Variation de SPI-24 mois

SPI-48 mois

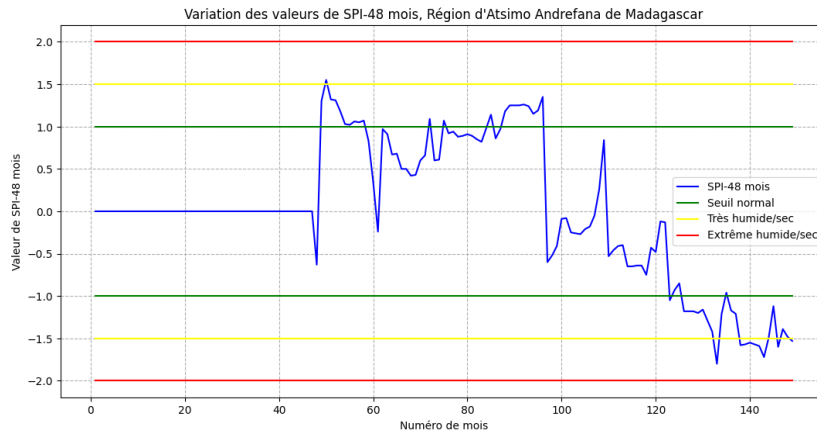


Figure 6. Variation de SPI-48 mois

Discussion

En général, la tendance de la courbe décroît de la période de très humide, passant par le climat normal et allant vers la période sèche jusqu'à l'extrêmement sèche. Cette décroissance est commencée à partir de 60 à 70 mois.

Les courbes de variation de SPI03, SPI06 et SPI09 montrent que dans 149 mois d'observations, les valeurs de SPI sont passées de 11 à 13 fois en dessous de -0,99 et de 1 à 2 fois en dessous de 2. Cela implique respectivement de passages en période sèche et en période extrêmement sèche.

Les courbes de variation de SPI12, SPI24 et SPI48 montrent que dans 149 mois d'observations, les valeurs de SPI sont passées de 2 à 5 fois en dessous de -0,99 et de 1 à 2 fois en dessous de -1,49. Cela implique respectivement de passages en période sèche et en période très sèche.

Nous remarquons qu'à partir de 130 mois, selon SPI 24 et SPI 48, cette situation sort de la normale et se caractérise par de sec jusqu'à extrêmement sec.

Conclusion

Cette étude nous a permis d'identifier la tendance décroissante des courbes de SPI. Cette décroissance implique la dégradation continue du climat qui est de très humide vers l'extrêmement sec. Ce qui caractérise encore la situation actuelle de sécheresse dans la région d'Atsimo Andrefana qui, se trouve dans le Sud-Ouest de Madagascar, est la zone la plus touchée par le changement climatique et la sécheresse.

Cette expérience est encore limitée par le nombre des données d'observations restreint mais prochainement nous essayons de faire une étude sur la prévision de sécheresse dans cette région ou autre par des méthodes plus efficaces et pour des données temporelles s'étalant sur au moins 20 à 30 ans.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

Références:

1. N. R. Patel, P. Chopra, V. K. Dadhwal. (2007). Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. *Meteorological Applications* 14:10.1002/met. v14:4, 329-336
2. Panagiotis Angelidis, Fotios Maris, Nikos Kotsovinos, Vlassios Hrisanthou. (2012). Computation of Drought Index SPI with Alternative Distribution Functions. *Water Resources Management* 26, 2453-2473.
3. Guttman, N.B., (1999). Accepting the Standardized Precipitation Index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(2), 311-322
4. Belayneh A, Adamowski J, Khalil B, Ozga-Sielinski B (2014) Long-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural networks and wavelet support vector regression models. *J Hydrol* 508: 418-429
5. DJERBOUAI Salim (2016) Méthodes de l'intelligence artificielle pour la prévision des sécheresses 137 :36 à 39