

# Un nouvel indice bivarié pour la cartographie des paramètres de la sécheresse agricole dans les agrosystèmes semi-arides du bassin fluvial du sahel central

HANADE HOUMMA Ismaguil <sup>(1), (2)\*</sup>, EL MANSOURI Loubna<sup>(1)</sup>, GADAL Sébastien <sup>(2), (3)</sup>, GARBA

Maman<sup>(4), (5)</sup>, HADRIA Rachid <sup>(6)</sup>

(1) Hassan II Institute of Agronomy and Veterinary, Department of Geodesy and Topography, Geomatics Science and Engineering, Rabat, Morocco.

(2) Aix Marseille Univ, Université Côte d'Azur, Avignon Université, CNRS, ESPACE, UMR 7300, 84000 Avignon, France

(3) Department of Ecology and Geography, Institute of Environment, North-Eastern Federal University, Republic of Sakha-Yakutia

(4) International Institute of Tropical Agriculture (IITA) - Visiting Scientist

(5) Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN)

(6) National Institute of Agricultural Research, (INRA), Morocco

(\*) [ismaguil.hanade-houmma@etu.univ-amu.fr](mailto:ismaguil.hanade-houmma@etu.univ-amu.fr)

**Mots-clés** : télédétection, sécheresse agricole, indices, semi-arides, sahel central

## Introduction

La cartographie quantitative des impacts cumulés ou retardés des aléas climatiques comme les épisodes des sécheresses sévères est essentielle pour améliorer la gestion de cet aléa climatique. Dans la littérature, au sujet de la cartographie quantitative des paramètres de la sécheresse, plus de 150 indices ont été proposés et testés dans plusieurs régions du monde aux conditions climatiques souvent très contrastées (Svoboda and Fuchs, 2016). Cependant, qu'ils soient des indices simples, bivariés ou composites très peu d'approches se sont intéressées à intégrer dans la formulation des indices biophysiques les incertitudes ou imprécisions éventuelles qui pourraient provenir de la non prise en compte des conditions antérieures et/ou environnementales en plus des anomalies des variables biophysiques et/ou climatiques. Ainsi, bien qu'il soit largement admis dans la littérature scientifique que les précipitations sont le principal facteur de la sécheresse notamment dans les régions arides et semi-arides tropicales, l'effet bénéfique des précipitations est fortement influencé par d'autres facteurs auxiliaires non climatiques. Une même quantité de pluies, distribuée de la même manière sur deux années consécutives, pourrait s'avérer différentes en termes de productivité des écosystèmes selon les conditions antérieures qui prévalaient. Les conditions antérieures sont très déterminantes dans le délai de récupération post stress. L'efficacité des pluies serait particulièrement affectée par l'état environnemental d'un écosystème. Un écosystème fortement dégradé aura tendance à nécessiter une quantité de pluies plus importante pour produire les services écosystémiques qu'un écosystème en bon état environnemental.

Plusieurs études ont démontré que la récupération post sécheresse est une variante essentielle qu'il convient d'intégrer dans le suivi et l'évaluation de la sécheresse. Jiao et al. (2021) ont démontré par exemple que la récupération post sécheresse est fortement influencée par la durée, la fréquence et l'intensité des sécheresses antérieures, les conditions d'humidité post sécheresse et le cadre bioclimatique. Les indices bivariés actuellement disponibles sont basés sur des approches qui établissent une relation directe entre les conditions de la végétation observées par le capteur et les anomalies des précipitations. Les incertitudes qui pourraient provenir des conditions antérieures et/ou de l'état de l'environnement sont faiblement considérées bien qu'elles peuvent être sources d'imprécisions en matière de suivi ou d'évaluation de la sécheresse. La relation linéaire entre les conditions de la végétation et les anomalies des précipitations connues sous le nom d'efficacité des pluies serait potentiellement représentative des impacts directs et antérieurs du stress hydrique mieux que les précipitations et/ou le NDVI pris individuellement. L'efficacité des pluies est l'un des facteurs environnementaux le plus important qui permet de mettre en évidence le potentiel productif des précipitations dans les écosystèmes où la pluviométrie est la seule source d'approvisionnement en eau (Lacaze et al.

2003 ; San Emeterio et al. 2012). La prise en compte de cette variable dans la modélisation descriptive de la sécheresse agricole pourrait réduire les incertitudes liées à une mauvaise distribution spatio-temporelle de l'intensité et de la concentration des précipitations pendant la période de croissance des cultures pluviales.

Dans le contexte du sahel central, il a été démontré que l'effet bénéfique des cumuls des précipitations sur la productivité des agrosystèmes est fortement dépendant d'une bonne distribution des précipitations sur les cinq mois du calendrier agricole. Cette variante des précipitations est particulièrement significative dans le contexte du sahel où les stratégies d'irrigation de complément sont faiblement développées voire inexistantes par endroit. Il convient donc de comprendre l'intérêt de proposer des nouvelles indices biophysiques qui seront à même de représenter quantitativement la relation entre les paramètres climatiques, environnementaux et les impacts cumulés des sécheresses antérieures. Notre hypothèse de base consiste à croire que l'efficacité des pluies serait fonction des facteurs à la fois climatiques, environnementaux et des empreintes des sécheresses antérieures. Ainsi, cette étude vise à développer un nouvel indice bivarié pour le suivi et l'évaluation des conditions de la sécheresse agricole des agrosystèmes du sahel central.

## Zone d'étude

Le bassin fluvial du sahel central est le segment du bassin du fleuve Niger à cheval entre trois pays le Niger, le Mali et le Burkina Fasso (Fig 1). Il draine une superficie de 340 723 Km<sup>2</sup> mais la partie active et exploitée du bassin reste très faible par rapport à son étendue géographique. Les conditions climatiques du bassin sont comprises entre les domaines sahariens (150 et 250mm/an) et soudaniens (500 à 750 mm/an) considérés le plus souvent comme le point chaud d'influence climatique mondiale à plusieurs échelles. Il enregistre une alternance bien contrastée entre une courte saison humide sous l'influence de la ZCTI et une longue saison sèche sous l'influence des alizés.

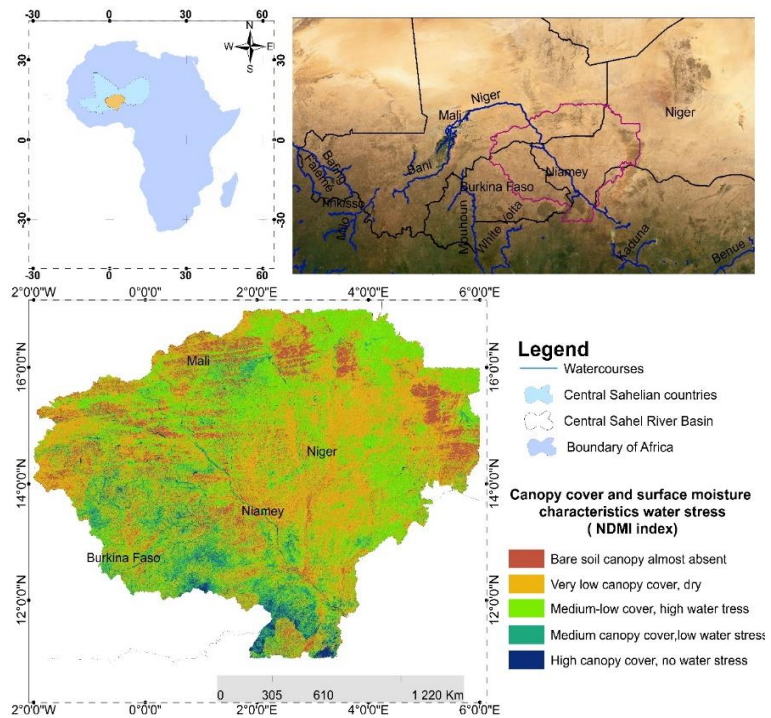


Figure 1. Situation géographique de la zone d'étude

## Données et méthodologie

Dans cette étude, une nouvelle approche basée sur le principe d'efficacité des pluies a été développée et testée pour la cartographie des paramètres de la sécheresse agricole. La base de données expérimentales de NOAA AVHRR et les données des précipitations par satellite CHIRPS acquises sur le site de FEWSNET/USAID ont été utilisées à cette fin. Les données du capteur AVHRR et VIIRS sont obtenues sur le site Web de <https://www.ncei.noaa.gov/>. Il s'agit de l'indice de végétation par différence normalisée lissé (SMN), de l'indice d'état de la végétation (VCI), de l'indice d'état de la température (TCI) et de l'indice de santé de la végétation (VHI). En s'appuyant sur la formulation du coefficient d'efficacité des pluies, le rapport normalisé de l'indice de l'état de la végétation (VCI) sur les précipitations CHIRPS a été utilisé dans cette étude pour la cartographie historique des paramètres de la sécheresse agricole (1). Les autres indices et variables biophysiques ont été utilisés pour la validation.

$$NRUE = (("%max%" - "%RUE_{2010.tif}%" ) / ( "%max%" - "%min%" ) ) \quad (1)$$

NRUE est l'indice normalisé d'efficacité des précipitations, « %max% » et « %min% » sont les valeurs extrêmes des pixels du RUE. L'indice normalisé d'approvisionnement en eau de la végétation (NVSWI) a été utilisé à la même échelle temporelle pour évaluer l'efficacité du RUE. Le NVSWI est basé sur le rapport entre le NDVI et la LST alors que le NRUE s'appuie sur le principe d'efficacité des pluies calculée à partir de l'NDVI et des précipitations.

## Résultats et discussions

Pour évaluer les compétences du nouvel indice bivarié, une cartographie comparative a été établie avec l'indice normalisé d'approvisionnement en eau des cultures NVSWI (Fig. 2). L'analyse de la dynamique interannuelle de ces deux indices sur la période 1981 à 2001, montre une concordance spatio-temporelle élevée entre les deux indices. La dernière décennie la plus sèche dans la région du sahel central a été mise en évidence de façon similaire. Plusieurs études s'accordent sur le fait que la décennie 1981 à 1990 est la plus sèche des dernières années au sahel central (Nicholson 2005 ; Lebel et al. 2009 ; San Emeterio et al. 2012). De la même manière, l'ampleur et l'intensité de la sécheresse des années 1986 à 1988 ont été détectés. Pour ces années, les deux indices ont montré des conditions des sécheresses exceptionnelles généralisées sur l'ensemble du bassin versant. Cependant, bien que cette concordance spatio-temporelle entre le NRUE et le NVSWI soit globalement significative, quelques nuances qui caractérisent certaines années sont à relever. Pour l'année 1998, par exemple, le NRUE a relevé des poches de sécheresses exceptionnelles à extrêmes alors que le NVSWI a relevé des conditions relativement normales. Cette nuance pourrait s'expliquer par le fait que le NRUE serait sensible aux impacts cumulés des trois années consécutives des sécheresses (1995 à 1997) qui ont précédé l'année 1998.

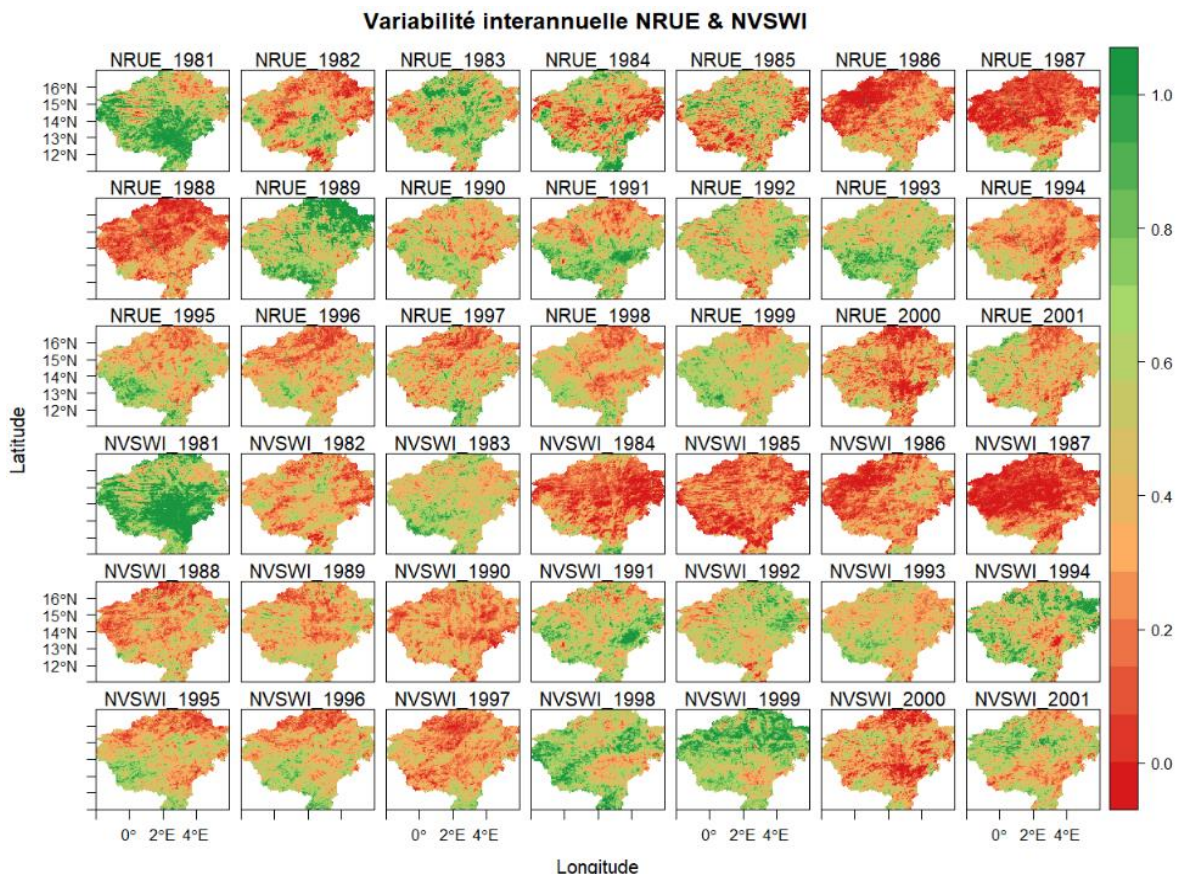


Figure 2. Cartographie comparative pluriannuelle NRUE et NVSWI

Les analyses statistiques par corrélations (Fig 3) illustrent la concordance spatio-temporelle ci-haut établie. Sur la base des analyses présentées par la Fig 3, le NRUE montre des corrélations significatives avec les autres indices de la sécheresse par télédétection et les anomalies des rendements par hectare. Toutefois, ce qui est particulièrement frappant et incite à explorer davantage l'importance de ce



nouvel indice en matière du suivi de la sécheresse est la relativité de ces corrélations avec les autres indices couramment utilisés et les anomalies des rendements. En considérant les valeurs corrélatives sur quatre décennies séparément il convient de voir que les valeurs des corrélations du NRUE varient considérablement selon la décennie considérée. Sur la décennie 1981-1990, la plus sèche de la série chronologique, le NRUE est négativement corrélé (-0.64) avec les anomalies des rendements par hectare (aY). Il indique une corrélation positive de 0.4 avec les anomalies des rendements sur la décennie 1990-2000 et une corrélation négative de -0.57 sur la décennie 2000 à 2010. De même, selon la décennie, les corrélations entre les NRUE et le VCI, VHI, TCI, NVSWI, SMT, SMN et les précipitations varient respectivement entre **(0.91 à 0.33)**, **(0.57 à -0.28)**, **(-0.6 à -0.39)**, **(0.81 à -0.11)**, **(0.7 à 0.23)**, **(0.95 à 0.54)** et **(-0.73 à -0.43)**.

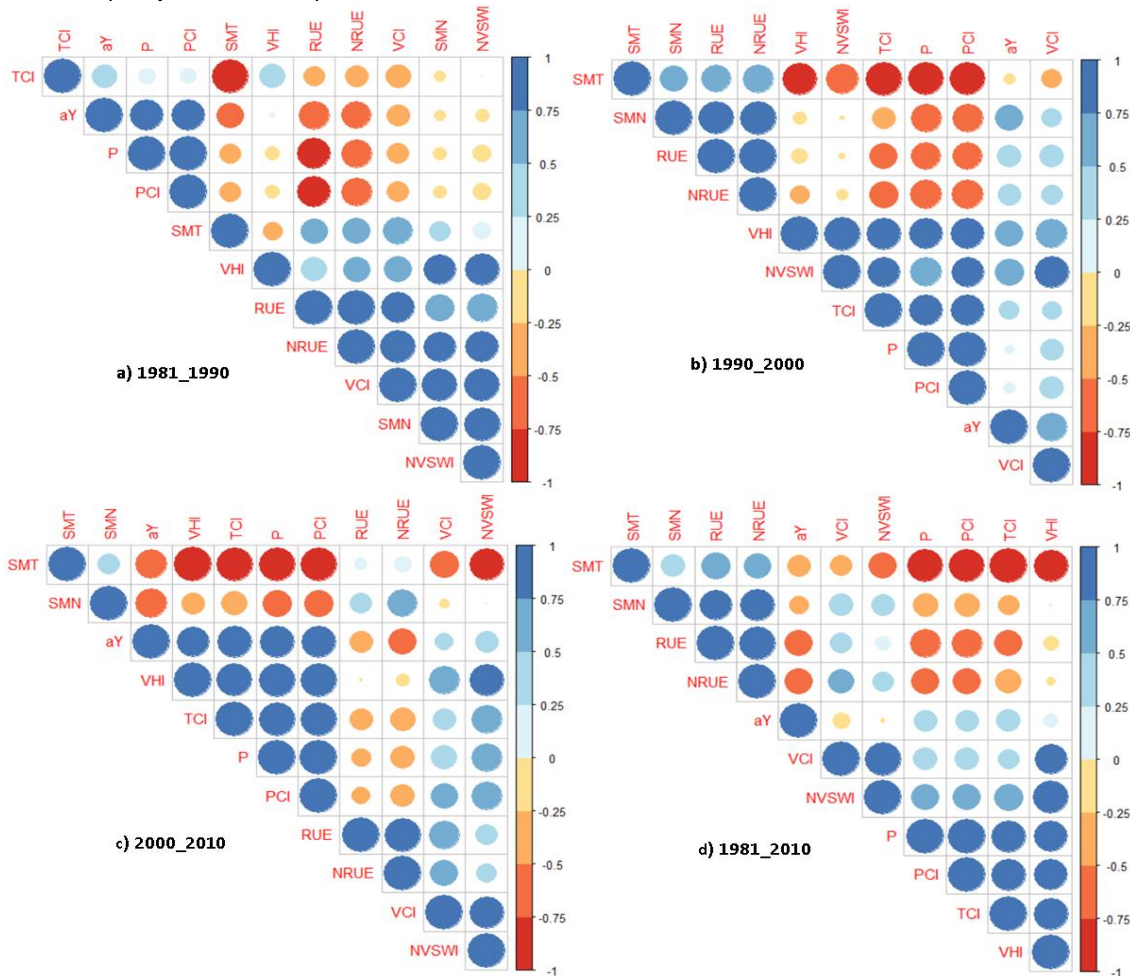


Figure 3 : Corrélations décennales de l'indice NRUE avec les autres indices

## Conclusion

Dans cette étude, un nouvel indice bivarié basé sur le principe d'efficacité des pluies a été proposé pour prendre en compte l'influence des conditions de l'état de l'environnement dans la cartographie de la sécheresse par télédétection. Le NRUE (Normalized Rain Use Efficiency) s'est avéré comparable aux autres indices (VHI, NVSWI, VCI, TCI) pour la cartographie des paramètres de la sécheresse agricole. Il indique des corrélations positives très élevées avec le NDVI lissé **(0.95 à 0.54)** et des corrélations négatives avec les précipitations **(-0.73 à -0.43)**. Toutefois bien que le NRUE ait une concordance cartographique significative, ses relations corrélatives avec les VHI, NVSWI et les anomalies des rendements par hectares sont très variables selon la décennie. Ce qui suggère que le NRUE a une caractéristique supplémentaire par rapport aux autres indices qui est à mettre en lien avec la variabilité de la relation entre le NDVI et les précipitations. Il convient donc d'étudier plus en détails les caractéristiques de ce nouvel indice bivarié.

## Références

*Svoboda M, Fuchs B. 2016. Handbook of Drought Indicators and Indices; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, Switzerland, 2016.*

*Jiao T, Williams CA, De Kauwe MG, Schwalm CR, & Medlyn BE 2021. Patterns of post-drought recovery are strongly influenced by drought duration, frequency, post-drought wetness, and bioclimatic setting. Global change biology. 27(19) :4630-4643.*

*Nicholson S. 2005. On the question of the “recovery” of the rains in the West African Sahel. Journal of arid environments. 63(3): 615-641.*

*Lebel T, & Ali A. 2009. Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990–2007). Journal of hydrology, 375(1-2), 52-64.*

*Lacaze B, Aït-Bachir S, & Sommer S. 2003. Analyse diachronique de l'efficacité des pluies pour la production végétale dans le bassin méditerranéen de 1982 à 1996. Télédétection, 3(2-3-4), 165-174.*

*San Emeterio JL, Lacaze B, & Mering C. 2012. Détection des changements de la couverture végétale au Sahel durant la période 1982-2002 à partir des données NDVI et précipitation. Télédétection, 10(2-3): 135-143.*