

POTENTIEL DES INDICES SPECTRAUX POUR LE SUIVI EN TEMPS QUASI-RÉEL DU RISQUE DE LA SÈCHERESSE AUTOMNALE DANS LE BASSIN VERSANT DE MAJERDA (TUNISIE)

Mustapha MJEJRA. *Lab. BICADE ; Institut Supérieur des Sciences Humaines de Jendouba 8159*
[\[mustaphamjejra@yahoo.fr\]](mailto:mustaphamjejra@yahoo.fr)

Résumé : Cette étude, a pour objet de promouvoir un outil qui peut être utilisé pour la cartographie du risque de la sécheresse automnale dans le bassin versant de la Majerda en Tunisie. L'étude est basée sur l'analyse de l'évaluation de la sécheresse à l'échelle saisonnière en utilisant des images satellitaires qui sont des synthèses hebdomadaires de NDVI et de LST (température de surface) issues du capteur MODIS-Terra. La méthode consiste à créer deux indices : VCI (Vegetation Condition Index) pour la végétation et TCI (Temperature Condition Index) pour la température. Ainsi, leur combinaison à l'aide d'un algorithme, a permis de produire des images de l'indice de la santé de la végétation VHI (Vegetation Health Index). Cet indice a donné la possibilité de déterminer les étendues géographiques des différentes classes de sécheresse.

Mots clés : Bassin versant Majerda, sécheresse automnale, indices de végétation.

Summary: The purpose of this study is to promote a tool that can be used for mapping the risk of autumn drought in the watershed of Majerda in Tunisia. The study is based on analyzing the assessment of seasonal drought by using satellite images which are weekly syntheses of NDVI and LST (surface temperature) from the MODIS-Terra sensor. The method consists of creating two indexes: Vegetation Condition Index (VCI) for vegetation and Temperature Condition Index (TCI) for temperature. Thus, their combination with an algorithm produced images of the Vegetation Health Index (VHI). This index provided the opportunity to determine the geographical extent of the different classes of drought.

Keywords: Majerda watershed, autumn drought, vegetation indices.

Introduction

La sécheresse est parmi les phénomènes climatiques à risques les plus complexes, elle se développe lentement, le début et la fin sont indistincts (Nasser et al. 2020). Ce risque tend à s'aggraver dans le contexte du changement climatique, en particulier, dans le secteur agricole, considéré comme le secteur le plus vulnérable face à cet aléa climatique (6^{ème} rapport d'évaluation du GIEC, 2021). En Tunisie, la sécheresse automnale est un phénomène très préjudiciable pour, essentiellement, l'agriculture pluviale. En effet, une sécheresse automnale constitue un scénario redouté qui fait craindre, en cas de prolongement de l'épisode sec, une sécheresse annuelle très grave (Henia et al. 2013).

Etant donné que la sécheresse est multidimensionnelle, un seul indicateur est souvent insuffisant. Dans ce cas, la combinaison de plusieurs indicateurs peut être utile. Et puisque le premier maillon de la sécheresse agricole se situe au niveau des besoins en eau des cultures, la plupart des indices sont fondés sur les caractéristiques de la végétation et qui sont dérivés des données de la télédétection. En effet, l'indicateur de Vegetation Health Index (VHI), qui combine les indicateurs de végétation (VCI) et de température de surface (TCI), donne la possibilité d'identifier les mois et les années les plus secs (Fei Xie et al. 2021). En outre, pour la surveillance de la sécheresse, l'Indice Standardisé de Précipitation et d'Evapotranspiration (SPEI) donne des résultats fiables (Bouly et al. 2020), et il est souvent utilisé comme référence pour valider l'indice de sécheresse télédétekté (Cooley et al., 2019). Ces indices de sécheresse comme le VCI, le TCI et le VHI sont recommandés par l'OMM comme des indices de sécheresse globaux à locaux (OMM et PME, 2016).

Notre objectif, dans ce travail, est de montrer l'apport des indices spectraux qui pourraient permettre aux agriculteurs d'avoir une estimation préliminaire sur les besoins en eau des cultures durant la campagne agricole. Une détection anticipée de ce risque est importante, puisqu'elle permet de mieux gérer la saison agricole. En effet, il existe, en Tunisie, une corrélation nette entre la

pluie de l'automne et la pluie annuelle. En cas où l'automne est sec, il y'a une forte probabilité d'avoir une année sèche (Henia et al .2013).

1. Cadre géographique, données utilisées et approche méthodologique

1.1. Cadre géographique : une région vulnérable à la sécheresse agricole

Le bassin versant de la Majerda, support de cette étude, est une région critique pour les décideurs politiques en termes de développement social, économique et infrastructurel ; de plus elle est une région à vocation agricole d'une surface d'environ 16400km², dont plus de 65 % sont des terres arables. Cette région se caractérise par un climat à hiver doux et été chaud, avec un gradient allant de l'étage bioclimatique humide sur le secteur nord-ouest à semi-aride sur les marges sud-ouest (Mjejra., 2015). Dans le même ordre d'idées, et à la base du déficit d'évaporation qui détermine, le plus souvent, le degré du stress hydrique de la végétation, la région de l'étude s'inscrit dans un climat très variable qui se caractérise, notamment, par un régime hydrique variant de l'humide au semi-aride, avec une sensibilité plus nette des secteurs abrités et les versants sud à la sécheresse saisonnière (Mjejra., 2015). Au total, le schéma spatial et dynamique de la sécheresse agro-climatique est compatible avec la carte de l'occupation du sol, l'état de la réserve utile dans le sol, les facteurs radiatifs, les facteurs advectifs et l'effet du relief (Mjejra., 2015).

1.2. Données utilisées

Pour apporter des éléments de réponse à la problématique de cette étude, nous avons exploité les données suivantes :

- Les données satellites : il s'agit des séries à l'échelle hebdomadaire EVI (NDVI amélioré des effets atmosphériques) extraites du produit MOD13Q1 et MYD13Q1 (Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250 m), ces données sont utilisées pour déterminer l'état hydrique de la végétation. Par contre les données de LST issues du produit MOD11A2 et MYD11A2 (Land Surface Temperature and Emissivity Day L3 Global 1 km) sont utilisées pour déterminer la température de la surface.
- Les données de l'indice standardisé de précipitations et d'évapotranspiration (SPEI): ces données sont utilisées pour surveiller et quantifier la sécheresse dans la région étudiée. Les données sont extraites du moniteur mondial de la sécheresse SPEI: <http://spei.csic.es/index.html>. Ce moniteur offre des informations en temps quasi réel sur les conditions de sécheresse à l'échelle mondiale, avec une résolution spatiale de 0,5 degré et une résolution temporelle mensuelle (nous avons utilisé les SPI à 3 mois pour donner un sens plus précis à la sécheresse en termes saisonnières et pour montrer la variabilité pluie sur les saisons distinctes). Les données de SPEI sont utilisées, ici, pour valider les indices de la sécheresse issues des images satellites
- En ce qui concerne la période d'étude, la notion de la sécheresse automnale dans le bassin versant de la Majerda est abordée ici par une comparaison entre deux situations contrastées sur le plan climatique. Ces deux situations ont été retenues car elles sont les plus représentatives du climat tunisien : une campagne agricole pluvieuse ; celle de 2018-2019 et une campagne agricole déficitaire celle de 2015-2016¹.

1.3. Approche méthodologique

Le bassin versant de la Majerda est caractérisé par une utilisation- occupation du sol très variable (cultures annuelles, arboricultures, maraichères, prairies, végétation naturelle), Il fallait donc un indice de végétation polyvalent. A cet égard, le VHI a montré son efficacité pour le suivi et

¹ Selon les rapports annuels de l'Institut National de la Météorologie, depuis les années 1990, l'automne de 2018 est classée parmi les automnes pluvieux et l'automne de 2015 occupe les premiers rangs en temps que saison sèche.

l'évaluation des sécheresses sur différents types de cultures (Nasser et al., 2020) L'indice VHI est défini de telle sorte que plus l'indice NDVI est bas et la température de surface est élevée, plus la couverture végétale est mauvaise. Il combine deux indicateurs, l'un de végétation (*Vegetation Condition Index*, VCI) et l'autre de température (*Temperature Condition Index*, TCI).

Le VCI est calculé à partir des données de l'indice de végétation (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI), selon la formule suivante (Kogan, 2015) :

$$VCI = \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} * 100$$

Avec NDVI_i représente le NDVI de la période étudiée, le NDVI_{min}, celle de la valeur minimale de la période étudiée et NDVI_{max}.

Le TCI est basé sur la température de surface et se calcule selon la formule suivante :

$$TCI = \frac{T_{max} - T_i}{T_{max} - T_{min}} * 100$$

Avec T_{max} correspond à la température maximale ; T_{min} à la température minimale et T_i à la température de la période étudiée (Kogan 2015)

Le VCI est en fonction des conditions écologiques et évalue la réponse de l'état de végétation pour le climat sous différents conditions climatiques et écologiques ; par contre le TCI est utilisé pour déterminer le stress thermique des végétations et le stress causé par une humidité excessive (Sassine et al., 2019). Par la suite l'indice VHI est calculé par la formule suivante :

$$VHI = a * VCI + b * TCI$$

a et b sont utilisés pour montrer la contribution de VCI et TCI à VHI, avec a=0,3 et b=0,7 et les résultats sont classés en catégories suivantes :

Tableau 1 : Catégorisation du degré de sécheresse selon les différents indices

Normes	VCI	TCI	VHI	SPEI
Normal	(40 ; 100]	(40 ; 100]	(40 ; 100]	(0 ; +∞)
Légèrement sec	(30 ; 40]	(30 ; 40]	(30 ; 40]	(-0,99 ; 0]
Modérément sec	(20 ; 30]	(20 ; 30]	(20 ; 30]	(-1,49 ; -1]
Sévèrement sec	(10 ; 20]	(10 ; 20]	(10 ; 20]	(-1,99 ; -1,5]
Extrêmement sec	(0 ; 10]	(0 ; 10]	(0 ; 10]	(-∞ ; -2]

Source :

L'indicateur SPEI repose sur le même principe que le SPI, mais se calcule à partir de la différence P-ETP. Le principal avantage de SPEI est son caractère quasi temps réel. Cette caractéristique convient le mieux à la surveillance de la sécheresse et à l'alerte rapide. Le SPEI est considérée comme un indice de sécheresse amélioré, particulièrement adapté à l'analyse de l'effet du réchauffement climatique sur les conditions de sécheresse (Beguería et al., 2014). Il faut noter que, après le calcul, les deux indices SPEI et VHI sont normalisés par des valeurs comprises entre 0 et 100.

2. Résultats et discussion

2.1 pendant l'automne sec: une région à risque de sécheresse sévère

A travers la figure 1 et le tableau 2, il ressort que le degré et l'étendue spatiale de la sécheresse du couvert végétal touchent la majorité du bassin versant Majerda, mais avec des particularités d'un secteur à un autre. Ainsi, les secteurs d'altitude et les versants de la rive gauche du cours d'eau

Majerda ont des VHI supérieures à 40 % ce qui correspond à un secteur n'ayant pas de sécheresse. A l'inverse, le sud-ouest de la région et les secteurs abrités enregistrent des valeurs de VHI inférieures à 40 % ce qui correspond à une zone sèche. Ce changement d'amélioration des conditions du risque de la sécheresse, en allant du sud vers le nord, s'explique par la dégradation du climat tunisien du nord vers le sud, ce qui convient mieux avec l'ambiance climatique de la région. Selon la classification de VHI, la région est dominée par une sécheresse sévère, avec une proportion d'environ 55 % du territoire.

Pendant l'automne 2015, les sécheresses légères sont rares et très localisées dans l'espace. Les sécheresses modérées sont survenues dans la basse vallée de Majerda, ceci est expliqué par l'extension, qui peut durer jusqu'à six mois (de l'été à l'automne), d'un déficit d'évaporation assez élevé (Mjejr., 2015). Il est noté que les surfaces de part et d'autre du cours d'eau Majerda ne sont pas affectées par la sécheresse car elles sont caractérisées par la prédominance de cultures irriguées. Au total, 78,8 % de la végétation est affectée par la sécheresse, dont 35,7 % est de type sévère. Par contre, la sécheresse de faible intensité a touché 21,5 % du couvert végétal et la sécheresse de type extrêmement sec ne représente que 3,2 % du total de la région étudiée. Ici, le stress hydrique aigu est évident pendant la saison automnale ce qui peut anticiper une mauvaise saison d'agriculture pluviale, en particulier, les céréales.

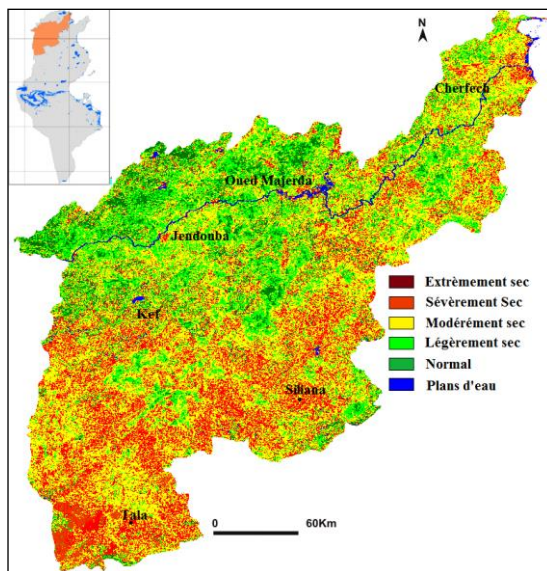


Tableau 2 : Répartition spatiale de l'intensité de la sécheresse d'après le VHI pendant l'automne sec (2015-2016)

Intensité de la sécheresse	Pourcentage de VHI du total
Normal	21,2
Légèrement sec	16,1
Modérément sec	22,8
Sévèrement sec	35,7
Extrêmement sec	3,2

Figure 2 : Sécheresse de l'automne sec (2015-2016)

2.2 Pendant l'automne humide : une région caractérisée par des conditions normales

La figure 2 et le Tableau 3 témoignent d'un bon état de végétation sur l'ensemble du bassin versant Majerda sauf dans les secteurs du haut tell et les dépressions, on observe une condition de sécheresse modérée et légère. Toutefois, Les valeurs élevées de VHI (plus que 40%) sont associées aux formations forestières du versant sud de la Kroumirie et l'axe du cours d'eau de Mejerda où se trouvent les périmètres irrigués. Tandis que, les faibles valeurs occupent les plateaux sud-ouest du haut Tell (moins 30%). cette répartition spatiale laisse apparaître que la vallée du cours d'eau de Mejerda s'impose comme une véritable limite entre les versants nord non touchés par la sécheresse et les versants sud à forte risque de sécheresse, dans la mesure où on assiste à une dégradation des conditions climatiques et le développement de la sécheresse peut s'aggraver. A cet effet, la rive gauche de l'oued Mejerda est exposée aux flux arrosés du nord, on a donc, la reconstitution rapide de la réserve utile des sols et une remontée cupulaire facile (Mjera., 2015). A l'inverse, les secteurs du sud-ouest se caractérisent par des sols nus et perméables dont la recharge de la réserve utile n'est pas toujours assurée, indiquant la manifestation des phénomènes de sécheresse modéré à sévère.

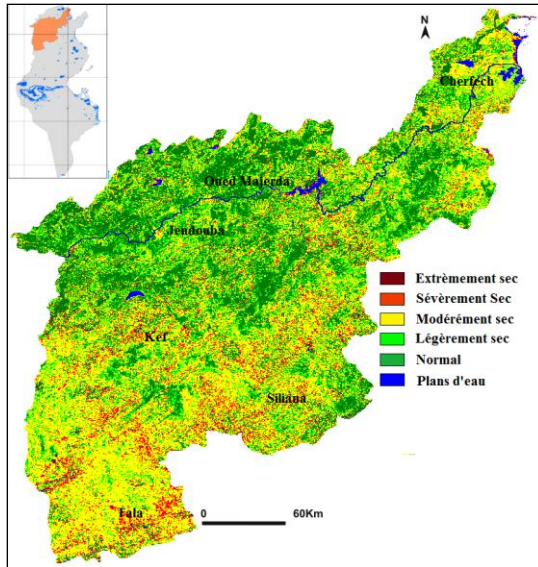


Figure 2 : Sécheresse de l'automne Humide (2018-2019)

Tableau 3 : Répartition spatiale de l'intensité de la sécheresse d'après le VHI pendant l'automne sec (2018-2019)

Intensité de la sécheresse	Pourcentage de VHI du total
Normal	53,2
Légèrement sec	23,1
Modérément sec	20,4
Sévèrement sec	3,3
Extrêmement sec	0

2.3 Croisement des résultats de SPEI/indices spectraux

Pour mieux interpréter les résultats du VHI et pour valider les résultats issus de l'imagerie satellitaire, il était jugé nécessaire de croiser les résultats de SPEI et les indices spectraux. Les résultats de SPEI justifient la distinction entre l'automne sec de 2015-2016 et l'automne humide de 2018-2019 (Les mois ayant une valeur positive représentent des périodes humides et les valeurs négatives sont associées aux périodes sèches, figure 3). Mais, selon le degré de la sévérité de la sécheresse le VHI présente plus de détails par rapport au SPEI. A titre d'exemple, le VHI présente une sécheresse sévère pour la station de Tala et Siliana et elle n'est qu'une sécheresse légère par l'indice SPEI (Tableau 4). Pour la typologie humide les valeurs de VHI ne dépassent pas le seuil 1. Par contre, elles peuvent atteindre le seuil 2 pour les résultats de SPEI. Alors, le VHI n'évolue pas, seulement, en fonction du déficit ou du surplus pluviométrique dans le bassin versant de Majerda mais aussi il est en relation avec la nature de l'occupation des sols et la recharge de la réserve utile du sol.

Tableau 4 : SPEI dans quelques stations météorologiques du bassin versant Majerda

Stations	Automne sèche 2015				Automne humide 2018			
	Sep	Oct	Nov	Moyenne	Sep	Oct	Nov	Moyenne
Jendouba	-0.47	-1.04	-0.29	-0,61	-0.08	0.63	0.32	0,35
Tala	-1,03	0,02	-0,22	-0,43	1.36	2.17	1.56	1,70
Siliana	-1.64	-0.69	-0.17	-0,84	0.02	1.55	1.34	0,97
Cherfech	-1.92	-0.96	-0.42	-1,11	0.92	1.98	1.50	1,47

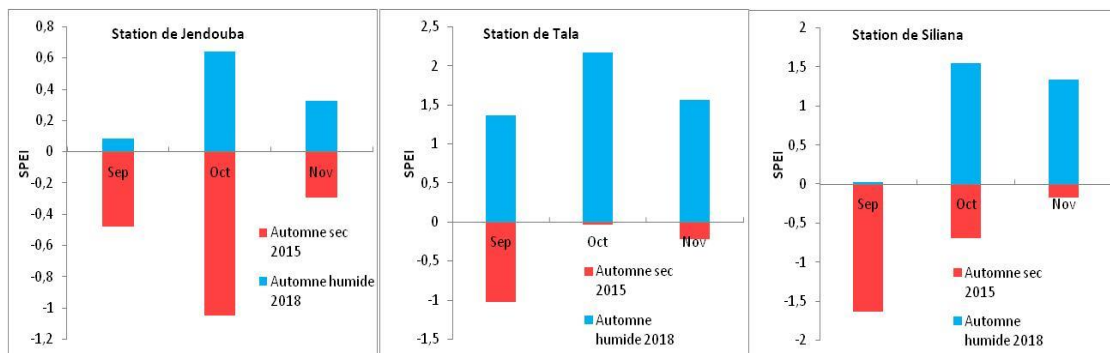


Figure 4 : SPEI et VHI dans quelques stations météorologiques du bassin versant

Conclusion

À la lumière des résultats obtenus, il s'avère que l'aléa climatique est aggravé même dans une région considérée le plus souvent comme le château d'eau de la Tunisie (bassin versant Majerda), et même en saison humide. Les cartes de la sécheresse, dérivées de l'indice VHI et validées par SPEI, décrivent très bien les secteurs affectés par ce risque et permettent aisément de suivre son étendu spatial pour, en particulier, les surfaces destinées aux cultures pluviales (les céréales à sec). Cet indice peut, également, ouvrir des pistes pour mettre au point un système en matière de prédiction et alerte précoce de la sécheresse en temps quasi réel ; à partir duquel on peut prévoir quel type d'agriculture est affecté et va causer des dégâts économiques, quel ensemble forestier est vulnérable aux risques d'incendies, une meilleure image de la structure pluviométrique de la saison culturale, etc.

Enfin, ces indices spectraux (TCI, VCI et VHI) prouvent et justifient l'utilité de la télédétection pour identifier l'intensité et l'étendu spatial de la sécheresse dans les cultures pluviales ; mais « dans le cas des cultures irriguées les résultats obtenus doivent être utilisés avec une certaine prudence, puisque cet indice masquerait les conditions climatiques du site étudié » (Dipanwita et al. 2015). Un autre inconvénient se rapporte à l'approche du suivi de la sécheresse de la végétation par l'imagerie satellitaire est que la sécheresse est déjà avancée lorsque le stress hydrique est observable à partir du couvert végétal.

Bibliographie

- Beguiria S., Vicente-Serrano S.M., Reig F., Latorre B. 2014 : Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: Parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *Journal Climatology*, **34**, 3001–3023.
- Bouly S., Cisse A., Faye .C , Sane T., 2020 : Utilisation de l'indice standardisé de précipitation et d'évapotranspiration (SPEI) de 1950 à 2018 pour caractériser la tendance de la sécheresse sur la BASSE CASAMANCE. *Revue espace géographique et société marocaine*,**32**, 107-133.
- Dipanwita D., Arnab K., Patel N., Saha S.K., et Siddiqui A.R., 2015: Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. **18**, 53-63.
- Fei Xie , Hui Fan, 2021: Deriving drought indices from MODIS vegetation indices (NDVI/EVI) and Land Surface Temperature (LST): Is data reconstruction necessary. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*,**101**, 102352.
- Henia L., et Hlaoui Z., 2015 (coordination). *Contribution à l'étude des aléas et risques climatiques en Tunisie*. Faculté des Sciences Humaines et sociales de Tunis, unité de recherche GREVACHOT, Tunis, 319 pages.
- Henia L., Hlaoui Z., Ben Boubaker H.,2013: La pluie de l'automne : comme indicateur de la qualité de la saison céréalière en Tunisie, *XXVIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 273-278.
- I.N.M (les Rapports annuels)
- Kogan F., Guo W., 2015: 2006–2015 mega-drought in the western USA and its monitoring from space data. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, **8**, 651–668.
- OMM et PME, 2016: *Manuel des indicateurs et indices de sécheresse*. OMM-N° 1173, 52 pages.
- Mjeira, M. 2015. *Etude de l'évapotranspiration dans le bassin versant de l'Oued Majerda (en Tunisie) : Apport de la Télédétection Satellitaire et des Systèmes d'Information Géographiques*. Thèse de Doctorat en Géographie, Rennes2, France. 300 pages.
- Moutia S., Sinan M., et Lekhlif B., 2021. Assessment of agricultural drought in Morocco based on a composite of the Vegetation Health Index (VHI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), *E3S Web of Conferences*, **314**, 04003.

Nasser T., Faour Gh., et Touchart L. , 2020 : Suivi de la sécheresse dans un territoire agricole du Liban : la plaine de la Beqaa, *Méditerranée*, **131** ,2020.