

## ÉVALUATION DE LA SÉCHERESSE CLIMATIQUE ET DE SON IMPACT SUR LE PLAN D'EAU DU BARRAGE HASSAN ADDAKHIL (MAROC)

**Abderrazzak SADIKI<sup>1</sup> , Mohamed HANCHANE<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Laboratoire Dynamique, espace, patrimoine et développement durable, USMBA Fès.*

*([sadiki.abderrazzak.geo@gmail.com](mailto:sadiki.abderrazzak.geo@gmail.com));*

<sup>2</sup> *Laboratoire Territoire, Patrimoine et Histoire, USMBA Fès, Maroc ([mohamed.hanchane@usmba.ac.ma](mailto:mohamed.hanchane@usmba.ac.ma)).*

**Résumé :** La présente étude porte sur l'analyse de l'impact de la sécheresse climatique sur l'étendue du lac de barrage Hassan Addakhil en milieu aride oasien du bassin de Ziz qui est situé au sud-est du Maroc. Elle est basée sur les données de l'indice standardisé des précipitations (IPS), calculé pendant la période septembre-mars (période 1983-2017), et sur l'indice d'étendue du lac du barrage Hassan Addakhil durant la période des hautes eaux du mois d'avril (NDWI: Normalized Difference Water Index) qui est extrait d'imageries satellitaires pendant la même période. Les résultats obtenus montrent que la sécheresse climatique qui sévit au niveau des stations climatiques n'expliquent qu'une partie de la variabilité de l'étendue du barrage. On suppose que des informations supplémentaires sur la demande évaporatoire de l'air et sur les contributions neigeuses au niveau du Haut Atlas peuvent améliorer les résultats obtenus.

**Mots clés:** Sécheresse; indice NDWI; Barrage Hassan Addakhil; Oasis de Tafilalet.

**Abstract : ASSESSMENT OF CLIMATE DROUGHT AND ITS IMPACT ON THE WATER PLAN OF THE HASSAN ADDAKHIL DAM (MOROCCO)**

This study focuses on the analysis of the impact of climatic drought on the extent of the Hassan Addakhil dam lake in an arid oasis environment of the Ziz basin which is located in the south-east of Morocco. It is based on data from the standardized precipitation index (IPS), calculated during the September-March period (period 1983-2017), and on the extent index of the Hassan Addakhil dam lake during the high period. waters of the month of April (NDWI: Normalized Difference Water Index) which is extracted from satellite imagery during the same period. The results obtained show that the climatic drought prevailing at the climatic stations only explains part of the variability of the extent of the dam. It is assumed that additional information on the evaporative demand of the air and on the snow contributions at the level of the High Atlas can improve the results obtained.

**Keywords :** Drought; NDWI index; Hassan Addakhil Dam; Tafilalet Oasis.

### Introduction

La sécheresse est un phénomène naturel qui a des effets négatifs importants sur les conditions socioéconomiques, agricoles et environnementales (Pradhan *et al.*, 2011). On distingue quatre grands types de sécheresse : météorologique, agricole, hydrologique et socioéconomique. Ces types de sécheresse peuvent ne pas se manifester simultanément, mais la sécheresse météorologique reste l'élément moteur des autres (Stour et Agoumi, 2008). La sécheresse climatique est une caractéristique normale et récurrente du climat, bien qu'elle soit souvent considérée à tort comme un événement inattendu et dangereux (Isendahl et Schmidt, 2006). Son impact est abordé par plusieurs études selon différents angles (Potop *et al.*, 2013).

La présente étude s'intéresse plus particulièrement à l'impact de la sécheresse climatique sur le plan d'eau du lac du barrage Hassan Addakhil qui joue un rôle crucial dans le développement socio-économique de la plaine de Tafilalet. Sa vulnérabilité à la sécheresse constitue un enjeu majeur pour la région aride des oasis du Tafilalet au Sud-est du Maroc. La position géographique de la plaine de Tafilalet sur les versants sud des montagnes du Haut Atlas et de l'Anti Atlas et son ouverture sur le désert sont les facteurs dominants du climat aride à subdésertique de ces milieux oasiens marocains. Leur disponibilité en eau dépend en grande partie de celle du barrage Hassan Addakhil en amont du bassin versant de l'Oued Ziz. Cette installation hydraulique contribue à mobiliser les ressources en eau de surface pour l'irrigation des cultures oasiennes par les lâchés du barrage et de protéger la plaine de Tafilalet contre les inondations. Ainsi, l'évaluation pour la première fois de son étendue en fonction des conditions est indispensable pour le suivi des ressources en eau et de leur disponibilité pour les milieux oasiens de la plaine de Tafilalet.

## 1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin de Ziz se situe au sud-est du Maroc entre les parallèles 30,°63'N et 32,61°1'N et les méridiens 3°52'O et 5°48'O, avec une superficie d'environ 14400 km<sup>2</sup> (figure 1). Il est limité au Nord par la crête du Haut Atlas (Jbel Al Ayachi: 3757m), au sud par les limites algériennes, à l'est par les le bassin du Guir et à l'ouest par le bassin de Rheris. Son climat est de type aride en amant à subsaharien en aval, avec des précipitations faibles et irrégulières. Sur le plan administratif, le bassin du Ziz se trouve dans le territoire des provinces de Midelt et d'Errachidia. La quasi-totalité du bassin relève de la province d'Errachidia, seulement la partie Nord appartient à la province de Midelt.

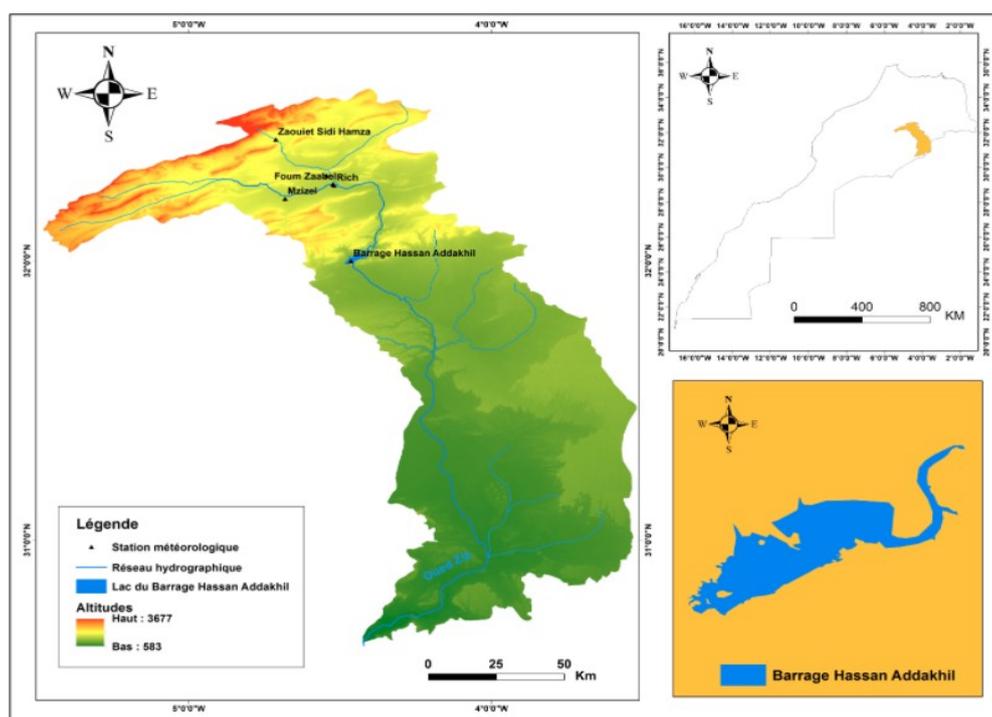


figure 1. Situation du Barrage Hassan Addakhil dans le bassin de Ziz

**Tableau 1.** Description géographique des stations étudiées

Stations	longitude	Latitude	altitude (m)
Barrage Hassan Addakhil	-4,46	31,99	1093
Foum Tillicht	-4,54	32,30	1400
Foum Zaabel	-4,52	32,27	1230
Mzizel	-4,68	32,22	1441
Rich	-4,52	32,27	1322
Zaouiyet Sidi Hamza	-4,71	32,43	1641

## 2. Données et méthodes

Parmi les nombreux indices proposés pour la surveillance météorologique de la sécheresse, l'indice standardisé des précipitations (SPI) développé par McKee et al. (1993, 1995) qui quantifie le déficit des précipitations à différentes échelles de temps. Cet indice se compare très favorablement à plusieurs autres indices de sécheresse et a été adopté par le US National Drought Mitigation Center pour une utilisation opérationnelle (Pradhan *et al.*, 2011). Le SPI prend en compte la variabilité de la pluie pour des périodes définies, de préférence les plus longues possibles. Il est calculé grâce à l'ajustement des séries pluviométriques à une courbe de probabilité (McKee et al. 1993). Les données pluviométriques mensuelles utilisées dans cette étude sont issues des stations de mesure de l'Agence du Bassin Hydraulique de Ziz-Guir-Rheris (Tableau 1). Avant tout, ces données ont été contrôlées, complétées et homogénéisées à l'aide du package CLIMATOL développé sous R par Gujjaro (2014) et (2018).

L'indice SPI est utilisé pour le suivi de la sécheresse météorologique à différentes échelles de temps (Hayes et al., 1999). Dans notre cas, nous avons calculé l'SPI pour une période de 7 mois consécutifs, de septembre à mars, qui couvrent la saison probable des pluies au Maroc. Pour cette période, nous avons fait ressortir les éventualités des séquences sèches (ou humides) et leurs intensités selon la classification décrite par McKee et al (1993). Les calculs de SPI sont effectués grâce à l'application SPI Generator de « National Drought Mitigation Centre » de l'université de Nebraska. A partir des séquences choisies, 9 combinaisons de successions de périodes sèches et/ou humides sont possibles (Tableau 2). L'évaluation des périodes sèches et/ou humides est réalisée sur la période 1983-2017 et, elle est appliquée au niveau de 6 stations de la zone d'étude (Tab. 1). Elle renseigne sur les conditions hydriques qui alimentent le barrage avant la période des hautes eaux du mois d'avril.

**Tableau 2.** Catégories de sécheresse IPS (McKee et al. 1993)

Valeurs de IPS	Catégorie de IPS
$\geq 2$	Humidité extrême
1,5 ; 1,99	Humidité forte
1 ; 1,49	Humidité modérée
0,01 ; 0,99	Humidité légère
0	Normal
-0,99 ; -0,01	Sécheresse légère
-1,49 ; -1,01	Sécheresse modérée
-1,99 ; -1,5	Sécheresse forte
$\leq -2$	Sécheresse extrême

Pour l'évaluation de la superficie du plan d'eau du lac du barrage, des images satellitaires Landsat TM, ETM+ et OLI ont été téléchargées à partir du site de « 39393 United States Geological Survey (USGS) » (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Elles couvrent la période 1983-2017. Mais, avant l'étape d'extraction de l'information à partir des données satellitaires, nous avons effectué des corrections atmosphériques sur les bandes utilisées. Les images extraites ont une résolution spatiale de 30m x 30m. L'extraction de la superficie du plan d'eau du lac du barrage Hassan Addakhil à partir de l'imagerie satellitaire Landsat a adopté la méthode développée par Verpoorter *et al* (2012), nommée GeoCover, qui est une méthode d'extraction des plans d'eau en combinant les images multi-temporelles Landsat. Elle permet de calculer l'indice "Normalized Difference Water Index" (NDWI) qui utilise la bande proche infrarouge (PIR) et la bande de l'infrarouge à courtes longueurs d'onde (ShortWave InfraRed, SWIR) (McFEETERS, 1996).

$$NDWI = (PIR - SWIR) / (PIR + SWIR) (-)$$

Les images extraites correspondent au mois d'avril qui représente la fin de la période des hautes eaux dans le contexte hydroclimatique marocain (Fig. 2). Les changements spatio-temporels de la superficie du plan d'eau du lac du barrage ont été évalués entre 1984 et 2017.

### 3. Résultats et discussions

#### 2.1. Evaluation de la sécheresse selon l'indice IPS

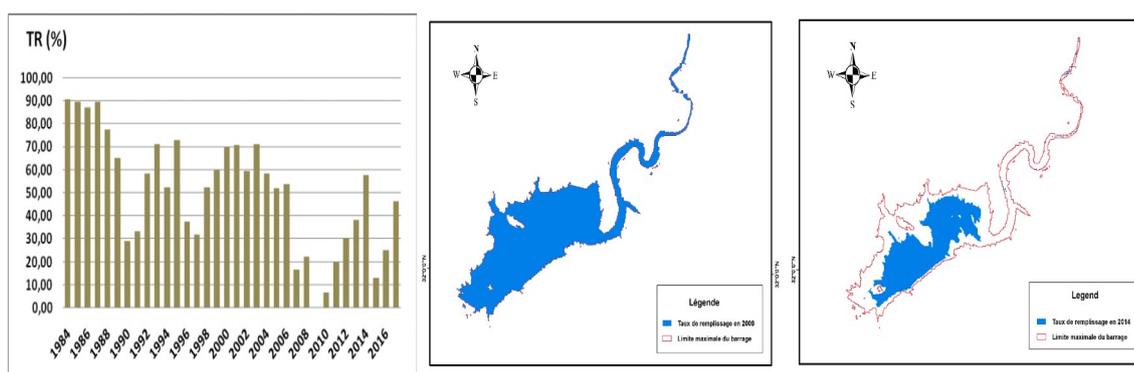
L'examen des variations chronologiques de SPI Durant la période septembre-mars entre 1983-2017 (Tableau 3), permet de constater que les valeurs extrêmes de la sécheresse ne sont pas nombreuses. On note une dominance de la fréquence de la sécheresse légère sur la majorité des catégories sèches avec une moyenne générale de 10%. Par contre, on note une dominance de l'humidité légère sur la majorité des catégories humides avec une moyenne de 13,3%.

**Tableau 3.** Fréquences des séquences sèches et humides (%), calculées selon l'indice IPS d'une durée de 7 mois septembre-novembre (1983-2011).

Station	Barrage Hassan Addakhil	Foum Tillich	Foum Zaabel	Zaouiyet Sidi Hamza	Mzizel	Rich	Moyenne
Humidité extrême	2	1	1	1	1	0	1,0
Humidité forte	0	1	1	0	1	2	0,8
Humidité modérée	3	1	3	3	4	4	3,0
Humidité légère	13	16	13	17	11	10	13,3
Normal	1	0	1	0	0	0	0,3
Sécheresse légère	10	11	10	6	13	10	10,0
Sécheresse modérée	1	2	1	4	0	7	2,5
Sécheresse forte	3	2	4	2	4	1	2,7
Sécheresse extrême	1	0	0	1	0	0	0,3

#### 2.2. Impact de la sécheresse sur le plan d'eau du barrage Hassan Addakhil

L'estimation de la superficie du plan d'eau du lac du barrage Hassan Addakhil selon l'indice NDWI durant la période des hautes eaux du mois d'avril est réalisée durant la période 1983-2017. Par comparaison avec la limite maximale du lac barrage qui est de 15,79Km<sup>2</sup>, atteinte en 2009 de notre période d'observation, le taux de réduction moyen (TR %) de la superficie est de 50.20 %. En revanche des taux de réduction inférieurs à 50 % ont marqué les périodes 1989- 1991, 1995-1997, 2007-2013 et 2014-2017. Le taux de réduction maximal de 90.34% a concerné l'année 1984. Des réductions maximales ont caractérisé les périodes 1983-1989, 1991-1995, 1997-2006 et l'année 2013-2014. (Fig. 2).



**figure 2.** (à gauche): Taux de réduction (TR %) de l'étendue d'eau du barrage Hassan Addakhil en (%); **figures 3 à 4:** Extraction à partir de l'indice NDWI de l'étendue du barrage d'eau pendant la période des hautes eaux (mois d'avril) en 2009 (au milieu) et en 2014 (à droite).

La variation du taux de réduction de l'étendue du lac du barrage en fonction de la durée de l'intensité de la sécheresse est présentée sur le tableau 4.

**Tableau 4:** Intensité de la sécheresse pendant la période septembre-mars et taux de réduction (TR %) d'étendue d'eau du barrage Hassan Addakhil (période 1983-84 à 2016-17) (voir tableau 3 pour la légende)

Année	Barrage Hassan Addakhil	Foum Tilicht	Foum Zaabel	Zaouiyet Sidi Hamza	Mzizel	Rich	TR (%)
1983/1984	Red	Yellow	Red	Red	Red	Yellow	90,34
1984/1985	Dark Blue	Cyan	Blue	Blue	Blue	Blue	89,53
1985/1986	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	86,81
1986/1987	Grey	Cyan	Yellow	Cyan	Cyan	Blue	89,36
1987/1988	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Blue	77,29
1988/1989	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Dark Blue	64,92
1989/1990	Cyan	Yellow	Cyan	Cyan	Cyan	Yellow	29,14
1990/1991	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Yellow	33,28
1991/1992	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Cyan	58,36
1992/1993	Blue	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Yellow	71,12
1993/1994	Cyan	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	52,44
1994/1995	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	72,95
1995/1996	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	37,38
1996/1997	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Yellow	31,82
1997/1998	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	52,22
1998/1999	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	59,58
1999/2000	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	69,63
2000/2001	Red	Red	Yellow	Yellow	Red	Red	70,53
2001/2002	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Blue	Cyan	59,46
2002/2003	Cyan	Grey	Cyan	Cyan	Yellow	Yellow	71,07
2003/2004	Blue	Blue	Blue	Blue	Dark Blue	Blue	58,21
2004/2005	Cyan	Yellow	Yellow	Yellow	Cyan	Yellow	51,86
2005/2006	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Yellow	53,65
2006/2007	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	16,52
2007/2008	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	22,27
2008/2009	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	0,00
2009/2010	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Yellow	Yellow	6,69
2010/2011	Red	Yellow	Red	Red	Yellow	Yellow	19,87
2011/2012	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	Cyan	30,32
2012/2013	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Cyan	38,19
2013/2014	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	57,48
2014/2015	Cyan	Blue	Blue	Blue	Cyan	Cyan	13,03
2015/2016	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	25,22
2016/2017	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	46,38
Moyenne							50,20

Si les résultats obtenus montrent une certaine dépendance entre l'intensité de la sécheresse climatique et le TR (%) de l'étendue du barrage Hassan Addakhil, on décèle des contradictions pour certaines années où le TR (%) est maximum alors que l'ensemble des stations enregistrent des périodes pluviométriques humides (ex. 1984-85, 1988-89). De même, des TR% faibles sont relevés pour des années où la sécheresse a été transcrite au niveau de toutes les stations (ex. 2007-2008, 2010-2011, 2013-2014 et 2015-2016).

## Conclusion

Les fluctuations interannuelles et la variabilité spatiale de l'intensité de la sécheresse climatique en milieu aride oasien du bassin de Ziz (plaine de Tafilalet) n'explique qu'une partie des variations de l'étendue du lac du barrage Hassan Addakhil. Le contexte climatique subdésertique de la zone d'étude conjugué aux influences montagneuses du Haut Atlas peuvent expliquer certaines discordances au niveau des résultats. D'une part, nous supposons que la demande évaporatoire de l'air en ces milieux subdésertiques joue un rôle primordial dans les variations de l'étendue du barrage, d'autre part, les contributions neigeuses sur les sommets du haut Atlas semblent agir sur le remplissage du barrage. Une prise en compte de ses deux facteurs peuvent, sans doute, apporter des explications significatives aux résultats obtenus.

## Bibliographie

- Ghenim A. N., et Megnounif A., 2011 : Caractérisation de la sécheresse par les indices SPI et SSFI (nord-ouest de l'Algérie). *Revue scientifique et Technique*. LJE N°18 . Juin, 59-77.
- Guijarro J. A., 2014 : User's guide to climatol An R contributed package for homogenization of climatological series Version 2.2. State Meteorological Agency (AEMET), Balearic Islands Office, Spain, 33 p.
- Guijarro J. A., 2018 : Homogenization of climatic series with Climatol Version 3.1.1. State Meteorological Agency (AEMET), Balearic Islands Office, Spain, 20 p.
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A., Vanyarkho, O., 1999: Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **80**(3), 429-438.
- Isendahl N., Schmidt G., 2006: *Drought in the Mediterranean: WWF Policy Proposals*. Ed. WWF/Adena (Spain). 41 p.
- McKee. T.B., Doesken N.J., et Kleist J., 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. In : Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim. California. 17- 22 January. Boston, American Meteorological Society, 179-184.
- McFeeters S. K., 1996: The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, **17**, 1425-1432.
- Potop, V., Boroneanþ, C., Mo·ný, M., @típánek, P., et Skalák, P., 2013: Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology*, **115**(3-4), 563-581. doi:10.1007/s00704-013-0908-y
- Pradhan S., Sehgal V.K., Das D.K. et Singh R., 2011 : Analysis of meteorological drought at New Delhi using SPI. *Journal of Agrometeorology*, **13** (1): 68-71.
- Stour L., et Agoumi A., 2008 : Sécheresse climatique au Maroc durant les dernières décennies. *Hydroécol. Appl.* Tome **16**, pp. 215 - 232.
- Verpoorter C., Kutser T., Tranvik L. (2012). Automated mapping of water bodies using Landsat multispectral data. *Limnology and Oceanography: Methods*, **10**, 1037-1050.