

ÉVALUATION DE LA SENSIBILITÉ À L'ENSABLEMENT PAR L'APPROCHE MEDALUS DANS LA RÉGION DE GHARDAÏA (ALGÉRIE)

OULAD HEDDAR Meriem^{1,2*}, HALILAT Mohammed Tahar³, KRAIMAT Mohamed^{2,3}

⁽¹⁾Laboratoire de Mathématiques et Sciences Appliquées, Université de Ghardaïa,
47000 Ghardaïa, Algérie

⁽²⁾Département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie,
Université de Ghardaïa, 47000 Ghardaïa, Algérie

⁽³⁾Laboratoire Bio Ressources Sahariennes, Préservation et Valorisation,
Université Kasdi Merbah, 30000 Ouargla, Algérie

*E-mail: mari90440@gmail.com

(Received 2 October 2018 - Accepted 13 December 2018)

Résumé. - La région de Ghardaïa, située dans le nord Sahara Algérien a connu des aléas liés à l'ensablement qui ne cessent de s'amplifier au cours des années. Ce problème constitue une entrave au développement de la région qui se trouve face à un grand erg (erg El Anaguer). Le modèle MEDALUS est utilisé dans ce présent travail pour évaluer la sensibilité des zones à l'ensablement. La cartographie de l'indice de sensibilité est élaborée suite à la combinaison pondérée de quatre indicateurs majeurs directement liés au phénomène étudié. Les indices de qualité pour chaque couche d'information (climat, sol, végétation et aménagement) sont compilés pour obtenir par la suite une carte thématique de synthèse. Les résultats de carte de sensibilité amènent à constater que 86,31% de la surface cartographiée est considérée comme zones fragiles (sensibles à l'ensablement), alors que 9,30% des zones sont critiques (très sensible à l'ensablement). Les zones dites potentielles ne représentent que 4,39% de l'aire totale dans cette présente étude.

Mots-clés: SIG, sensibilité, ensablement, MEDALUS, aride, Ghardaïa.

ASSESSMENT OF SENSITIVITY TO SILTING BY THE MEDALUS APPROACH IN GHARDAÏA AREA (ALGERIA)

Abstract. - The region of Ghardaïa, located in the northern Algerian Sahara has experienced for many constraints related to silting which continue to grow over the years. This problem is an obstacle to the development of the region, which is facing a large erg (Erg El Anaguer). The MEDALUS model is used in this work to assess the sensitivity of areas to silting. The mapping of the sensitivity index is developed following the weighted combination of four major indicators directly related to the phenomenon studied. The quality indices for each layer of information (climate, soil, vegetation and management) are compiled to obtain a thematic map of synthesis. The sensitivity map results show that 86.31% of the area mapped is considered fragile (sensitive to silting), while 9.30% of the areas are critical (very sensitive to silting). Potential zones represent only 4.39% of the total area in this study.

Key words: GIS, sensitivity, silting, MEDALUS, arid, Ghardaïa.

Introduction

Depuis des millénaires les zones arides de l'Afrique du Nord sont caractérisées par des écosystèmes tout à fait particuliers et originaux, tant du point de vue de la flore que de la faune, et qui sont de fait parfaitement adaptés à ces conditions climatiques difficiles [1]. Dans lesquelles, les précipitations sont faibles, les sols sont couramment de texture

sableuse ce qui induit une végétation de type clairsemé et qui rend les sols de ces régions facilement érodables par le vent [2,3]. En effet, les surfaces continentales vulnérables à l'érosion éolienne sont estimées à 33 millions de km², soit 25% de la surface des continents [4-6].

En Algérie, près de 20 millions d'hectares sont menacés par ce processus de dégradation et qui s'accroît de plus en plus suite à l'irrégularité des précipitations, à la recrudescence des périodes de sécheresse, et aux pressions anthropiques accrues dans ces milieux déjà fragiles [7].

A l'instar des régions arides d'Algérie, dans la région de Ghardaïa, située au Sud-Centre, l'avancée des sables ne cesse de s'amplifier et d'engloutir le système oasien des palmeraies et d'agglomérations durant ces dernières années. Malgré les efforts déployés en termes de lutte, le processus de dégradation est loin d'être maîtrisé. Vu l'étendue du territoire et les actions menées qui sont souvent traditionnelles et à échelle restreinte (locale) [8]. L'atténuation des effets de dégradation des sols par le biais d'une approche participative et intégrée s'avère donc nécessaire afin d'évaluer les ressources naturelles et d'en assurer une gestion durable [9].

La surveillance environnementale, à l'aide des outils SIG (Systèmes d'Information Géographique), constitue donc une réponse aux besoins exprimés par les gestionnaires [10,11]. De même, l'analyse de la variabilité spatiale en associant des indicateurs de l'environnement et d'occupation des sols est considérée actuellement comme un moyen efficace pour mieux évaluer l'ampleur de dégradation et repérer les zones censées d'être critiques [12,13].

L'objectif du travail est d'étudier la vulnérabilité de la région de Ghardaïa à l'ensablement, de par sa situation proche à l'Erg occidental, par une approche analytique spatiale en se basant sur des indicateurs de qualité et en s'inspirant de l'approche MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use), préconisée pour la gestion de vulnérabilité des milieux fragiles en zones méditerranéennes [14].

1.-Matériel et méthodes

La région d'étude (Ghardaïa), est l'une de plus importantes Wilayas du Sud d'Algérie qui se localise dans la partie septentrionale et centrale du Sahara (32,5° N et 3,75° E). Elle s'étend sur une superficie de 84660,12 km², divisée en 13 communes et 7 daïras. Elle se présente essentiellement sous forme d'étendus massifs de dunes à l'Ouest (Erg El Anagueur), de plateaux crétacés découpés en petites vallées irrégulières au centre (Chebkas), de plaines caillouteuses à l'Est (Reg) et de dépressions de dimensions variables, en particulier au nord-est dans la commune de Guerrara (Dayas) (fig. 1).

L'approche cartographique utilisée dans ce présent travail s'est basée essentiellement sur une étape d'acquisition et de traitement des métadonnées caractéristiques de la région d'étude. En effet, des données climatiques durant la période 2000-2016 sont interpolées pour les sept (07) stations météorologiques les plus proches (El-Bayadh, Hssi R'mel, Ghardaïa, Goléa, Ouargla, Timimoune et In Salah), fournies par l'Office National de Météorologie [15], afin de recouvrir l'étendu de la région de Ghardaïa. Un extrait de facteur d'érodibilité de différentes classes pédologiques, est mis en évidence sur un profil de 100 cm du sol en se basant sur les bases de données HWSD (Harmonized

World Soil Database) [16].

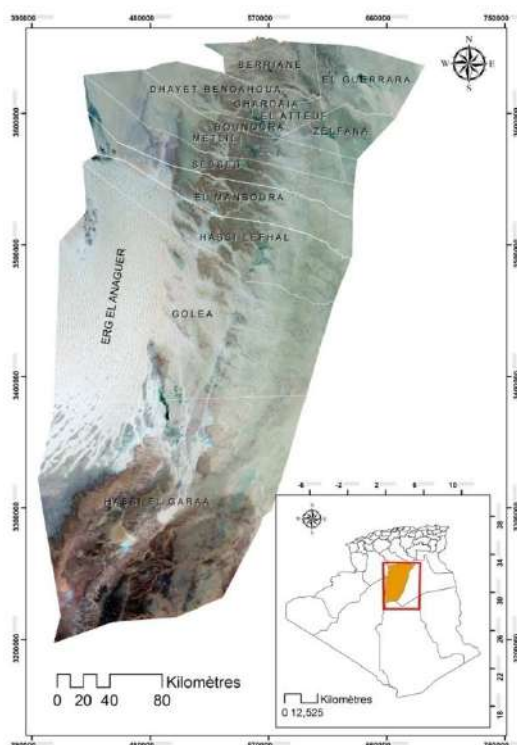


Figure 1.- Wilaya de Ghardaïa, localisation et cadre administratif (carté basée sur un mosaïquage d'images satellites LANDSAT C8 sous ARCGIS 10.0)

De même, la carte d'occupation du sol est établie à l'aide de programme ARCGIS 10.0 en utilisant un mosaïquage d'une série d'images satellites LANDSAT C8 et en se référant aux cartes topographiques de 1/50000 et 1/200000, fournies par l'Institut National de Cartographie et Télédétection (INCT). L'indice de végétation normalisé (Normalized difference végétation index NDVI) est aussi calculé pour les même scènes en se basant sur les bands spectrales R (rouge) et PIR (proche infrarouge), selon l'équation suivante : $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$ [17-20]. L'indice d'aménagement est finalement reproduit en interpolant des données relatives à la pression anthropique (densité de population, élevage, activité agricole et exploitation des mines) et aux travaux d'aménagement (mise en valeurs, installation des digues et aires protégées) [21].

Les données vont contribuer à l'élaboration d'un modèle de sensibilité constitué de quatre indicateurs de qualité : indicateur de la qualité du sol (IQS); indicateur de la qualité de végétation (IQV); indicateur de la qualité du climat (IQC); indicateur de la qualité d'aménagement (IQA), après avoir croisé les couches Raster pour chaque indicateur suivant la formule : $IQ = (Raster\ 1 * Raster\ 2 * Raster\ n)^{1/n}$ en exploitant les commandes Reclassification et Calculatrice raster sous ARCGIS 10.0. La carte de sensibilité est enfin établie selon le modèle suivant : $ISD = (IQS * IQV * IQC * IQA)^{1/4}$ [14,22,23,19].

2.- Résultats et discussion

Bien que la région d'étude soit considérée comme étant une zone très sensible à la désertification [24], à l'échelle zonale, le degré de sensibilité à l'ensablement varie en fonction de qualité de chaque indicateur utilisé dans cette approche (MEDALUS). En effet,

la dégradation des milieux en zones arides résulte principalement de facteurs du milieu, de l'activité anthropique et des variations climatiques [25,26].

Les résultats obtenus montrent que par rapport au climat, deux niveaux de qualité sont distincts. Du moment que la variabilité de certains facteurs du climat est faible (indice d'aridité, pluviométrie et température moyenne), le modèle est construit principalement par les fréquences du vent, les vitesses moyennes et l'exposition. Les zones de qualité moyenne représentées essentiellement par la région nord de Ghardaïa et centrale d'El-Goléa et Hassi El-Garaa, occupant 70,38% de la zone cartographiée. Alors que les 29,62% restants sont considérés comme de faible qualité (fig. 2) (tab.1).

Les sols des vallées sont en général, profonds, possédant une texture plus ou moins grossière que celle des sols des plateaux. Pour ce qui est des sols des plateaux, ils se caractérisent par des affleurements de dalle gréseuse et gréso-calcaire. La surface du sol présente des cailloux détritiques et de sable grossier, le tout couvert par une couche de sable éolien d'une épaisseur plus ou moins variée [27]. Les catégories de qualité du sol, générées en utilisant les couches de texture, de matériaux parentaux et de pente, révèlent que les zones de bonne qualité se localisent principalement dans les régions Est et Nord-Ouest, représentent 35,69% de la surface totale (28389,65 km²). Les sols de qualité moyenne sont ceux de la partie centrale, couvrant un taux de 49,28%, soit une superficie de 39193,95km². Les zones de l'erg situées à l'Ouest sont celles considérées de plus faible qualité s'étalant sur une superficie de 11954,47km² (15,03%) (fig. 3) (tab. 1).

La végétation de ces zones est très clairsemée, à aspect en général nu dans lesquelles les arbres sont rares que dispersés et les herbes n'y apparaissent que pendant une période très brève de l'année [28]. Les zones considérées de qualité moyenne ne représentent que 0,35% de l'aire cartographiée et sont essentiellement celles des oasis (M'zab, Guerrara, Goléa et autres zones agricoles) (fig. 4) (tab. 1).

Les facteurs anthropiques et socio-économiques impliqués dans le dysfonctionnement du milieu aride semblent très complexes et se situent à des niveaux divers [29-32]. Dans cette étude, ils sont représentés essentiellement par l'intensité d'utilisation du sol, la mise en valeur, l'accroissement démographique, la charge du cheptel et l'activité industrielle comme facteurs socio-économique pour mettre en place un modèle de qualité d'aménagement. Il ressort que 46637,73km² (58,35%) de la région sont de qualité faible alors que les zones de qualité moyenne ne représentent que 41,65% de la surface totale cartographiée (fig. 5) (tab. 1).

De part le climat et la nature très fragile des sols, les parcours présahariens et sahariens sont confrontés au problème d'ensablement. Un tel phénomène qui s'est amplifié au fil du temps en raison des transformations socioéconomiques et des mutations des systèmes de production que connaissent les parcours [33,34]. La région de Ghardaïa qui se localise dans le nord du Sahara, près d'une formation dunaire à l'Ouest (Erg EL Anagueur) qui est une extension du Grand Erg Occidental. Le gradient de sensibilité établi par SALMANI *et al.* (2012) [35], l'a mis dans une classe sensible à très sensible à la désertification à l'échelle nationale.

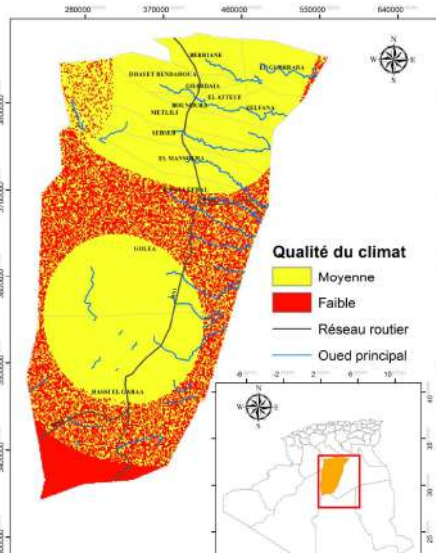


Figure 2.- Carte de qualité du climat

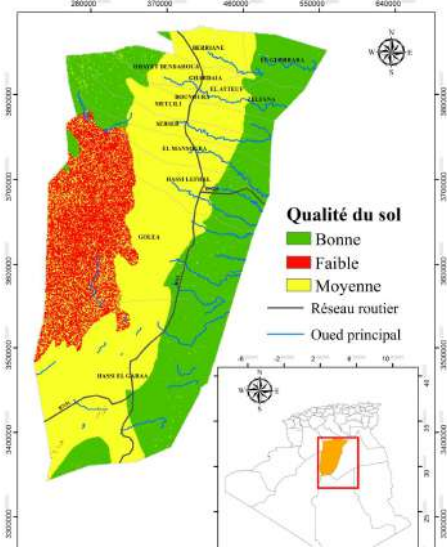


Figure 3.- Carte de qualité du sol

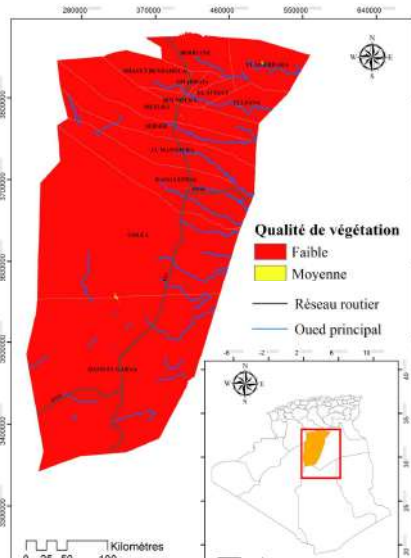


Figure 4.- Carte de qualité de la végétation

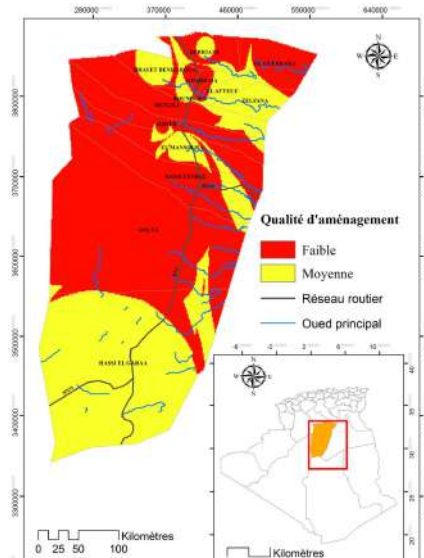


Figure 5.- Carte de qualité de l'aménagement

Tableau I.- Indices de qualité et scores selon l'approche MEDALUS

Indice	Qualité	Score	Superficie (km ²)	Pourcentage (%)
Climat	Bonne	< 1,15	0	0
	Moyenne	1,15 – 1,18	55974,95	70,38
	Faible	> 1,18	23558,54	29,62
Sol	Bonne	1,13	28389,65	35,69
	Moyenne	1,13 – 1,45	39193,95	49,28
	Faible	1,46- 3,26	11954,47	15,03
Végétation	Bonne	1 – 1,6	0	0
	Moyenne	1,7	0,002834	0,35
	Faible	2	79855,46	99,65
Aménagement	Bonne	1 – 1,25	0	0
	Moyenne	1,26 – 1,50	33283,89	41,65
	Faible	1,51	46637,73	58,35

La carte de sensibilité à l'ensablement, compilée à partir d'une matrice de décision, combinant les quatre (04) indicateurs conçus dans modèle MEDALUS, met en évidence 04 quatre classes de vulnérabilité en se référant au score d'indice de sensibilité (ISD) [14]. Il ressort de la carte de synthèse que 86,31% de la région sont considérés comme fragile (sensible) avec une superficie dominante de 68486,29 km². La classe de qualité potentielle (moyennement sensible) occupe une surface faible (3484,05km²), soit 4,39%. Les zones dites critiques (très sensible) se sont représentées par un taux de 9,30%, soit 7379,24km². Il est à noter que la classe non affectée (stable) ne représente qu'une portion négligeable de la scène d'étude (tab. 2) (fig. 6).

Tableau II.- Indice de sensibilité (ISD)

Qualité	Score	Superficie (km ²)	Pourcentage (%)	Sensibilité
Non affectée	< 1,16	0	0	Stable
Potentielle	1,17 – 1,22	3484,05	4,39	Moyennement sensible
Fragile	1,23 – 1,37	68486,29	86,31	Sensible
Critique	> 1,38	7379,24	9,30	Très sensible

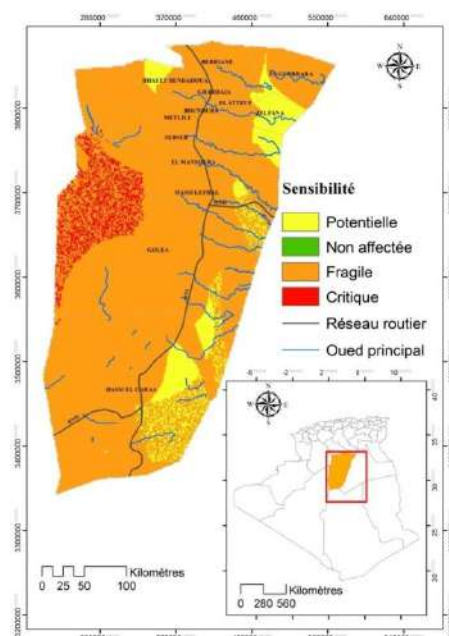


Figure 6.- Carte de sensibilité à l'ensablement

Conclusion

Les paramètres du module MEDALUS utilisé dans cette étude a permis d'élaborer la carte thématique de synthèse intégrant les quatre (04) informations de base (climat, sol, végétation et aménagement) qui pouvant récapituler l'état actuel et les potentialités de la région d'étude. Parmi les indices de qualité étudiés, celui de végétation indique les plus mauvais scores, traduisant ainsi son seuil de dégradation critique (99,65%). L'indice du sol montre des potentialités encore bonnes des milieux (35,69%). Les indices sur le climat et l'aménagement présentent des qualités assez moyennes. En effet, la synthèse de ces indices met en évidence le niveau de sensibilité élevé des milieux (86,31% fragile et 9,30% critique).

Ces premiers résultats sont d'autant d'indicateurs pouvant contribuer à la mise au point de stratégies de lutte contre l'ensablement à l'échelle régionale. Toutefois à l'échelle

zonale (grande échelle), il est recommandé d'aller plus profondément vers d'autres modèles d'évaluation en intégrant des modèles mathématiques plus adéquats et en développant d'autres indicateurs liés au phénomène d'ensablement.

Références bibliographiques

- [1].- Jauffret S., 2007.- Pourquoi la surveillance écologique à long terme dans les zones arides et semi-arides. *Sécheresse*, 18: 232-233.
- [2].- FAO-UNESCO., 2009.- Digital Soil Map of the world and derived soil properties on CD-Rom. FAO, 2 p. Rome. Available from <http://www.fao.org/ag/agl/agll/dsmw.htm>.
- [3].- Centre des Techniques Spatiales (CTS)., 2010.- Finalisation de la carte nationale de sensibilité à la désertification par l'outil spatial. *Spat, Data Infrastruct. Afr. Newsl.*, 31 p.
- [4].- Lal R., 1990.- Soil erosion and the global carbon budget. *Environ. Int.*, 29: 437-450.
- [5].- Middleton N. and Thomas D., 1997.- World Atlas of desertification. United Nations Environment Programme, 182 p.
- [6].- Shao Y., 2008.- Physics and Modelling of Wind Erosion: Atmospheric and Oceanographic sciences. Library of Congress Contro, 459 p.
- [7].- Bensaid A., 2006.- Sig et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naama (Algérie). Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier, Grenoble I, 318 p.
- [8].- Côte M., 1992.- Espoir et menace sur le Sahara: les formes récentes de mise en valeur agricole. Ghardaïa, 17 p.
- [9].- Ishii N., 2014.- Combattre la dégradation des sols dans les zones d'activité économique. Publications Professionals LLC. Global Environment Facility, 56 p.
- [10].- Sghaier M., Bennour L., Loireau M., Leibovici D., Ben Abed M.A., Fétoui M. et Jaouad M., 2005.- Système d'Information d'Environnement à l'échelle Locale (SIEL) : Cas de l'observatoire de Menzel Habib et installation de MD web. IRA ROSELT/OSS. Tunisie, 55 p.
- [11].- Khiry M.A., 2007.- Spectral Mixture Analysis for Monitoring and Mapping Desertification Processes in Semi-arid Areas in North Kordofan State, Sudan. Ph.D., Thesis, Technische, Universität Dresden. Dresden, Germany, 126 p.
- [12].- Sun D., Dawson R., Li, H. and Li B., 2005.- Modeling desertification change in Minqin County. China, *Environ. Monit. Assess.*, 108: 169-188.
- [13].- Kestens Y., Brand A., Fournier M., Goudreau S., Kosatsky T., Maloley M. and Smargiassi A., 2011.- Modelling the variation of land surface temperature as determinant of risk of heat-related health events. *International Journal of Health Geographics*, 10:7- 9.

- [14].- Kosmas K., Kirkby M. and Geeson N., 1999.- Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. European Commission, Community Research, 94 p.
- [15].- O.N.M., 2016.- Bulletin d' Office National de la Météorologique. Alger, Algérie, 54 p.
- [16].- F.A.O., 2012.- The state of food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 182 p.
- [17].- Rouse J.W., Haas R.H., Jr., Schell J.A., and Deering D.W., 1974.- Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS-1 Symposium Washington. DC: NASA : 309-317.
- [18].- Kundu A. and Dutta D., 2010.- Monitoring desertification risk through climate change and human interference using remote sensing and GIS techniques. *Int. J. Geomat. Geosci.*, 2: 21-33.
- [19].- Mohamed E.S., 2013.- Spatial assessment of desertification in north Sinai using modified MEDLAUS model. *Arab. J. Geosci.*, 6: 647-659.
- [20].- Lamchin M., Lee J.Y., Lee W.K., Lee E.J., Kim M., Lim C.H., Choi H.A. and Kim, S.R., 2016.- Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *Adv. Space Res.*, 57: 64-77.
- [21].- D.P.S.B., 2014.- Direction de Programmations et Suivi Budgétaires. Annuaire Statistique, Ghardaïa, Algérie, 134 p.
- [22].- Sepehr A., Hassanli A.M., Ekhtesasi M.R. and Jamali J.B., 2007.- Quantitative Assessment of Desertification in South of Iran Using Medalus Method *Environ. Monit. Assess.*, 134: 243-254.
- [23].- Benabderrahmane M.C. and Chenchouni H., 2010.- Assessing environmental sensitivity areas to desertification in Eastern Algeria using Mediterranean desertification and land use "MEDALUS" model ». *Int. J. Sustain. Water Environ. Syst.*, 1 :5-10.
- [24].- Salamani M., Kadi Hani H., Hirche A et Nedjraoui D., 2012.- Évaluation de la sensibilité à la désertification en Algérie. *Revue d'Ecologie*, 67 : 71 - 84.
- [25].- Belghith, A. 2003.- Les indicateurs radiométriques pour l'étude de la dynamique des écosystèmes arides (région de Zougrata, Sud-Est tunisien). *Sécheresse*, 14 :267-274.
- [26].- Aixia L., Changyao W., Jing W. and Xiaomei S., 2007.- Method for remote sensing monitoring of desertification based on MODIS and NOAA/AVHRR data, *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.*, 23:145-150.
- [27].- Khadraoui A., 2010.- Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes: Caractérisation - Contraintes et propositions d'aménagement. Office des publications Universitaires, Algérie, 311 p.

- [28].- Le Houerou H. N., 1990.- Définition et limites bioclimatiques du Sahara. *Sécheresse*, 1: 246-259.
- [29].- Helldén U.A., 2008.- Coupled human-environment model for desertification simulation and impact studies. *Glob. Planet. Chang.*, 64 :158-168.
- [30].- Mbow C., Mertz O., Diouf A., Rasmussen K. and Reenberg A., 2008.- The history of environmental change and adaptation in eastern Saloum–Senegal—Driving forces and perceptions ». *Glob. Planet. Chang.*, 64: 210-221.
- [31].- Verstraete M.M., Brink A.B., Scholes R.J., Beniston M. and Stafford Smith M., 2008.- Climate change and desertification: Where do we stand, where should we go? ». *Glob. Planet. Chang.*, 64: 105-110.
- [32].- Kairis O., Kosmas C., Karavitis C., Ritsema C., Salvati L., Acikalin S., Alcalá M., Alfama P., Atlhopheng J. and Barrera J., 2014.- Evaluation and Selection of Indicators for Land Degradation and Desertification Monitoring: Types of Degradation. Causes. and Implications for Management *Environ. Manag.*, 54: 971-982.
- [33].- Le Houérou H.N., 1992.- Climatic change and desertification. *Science and Society*. UNESCO, Paris: 183-201.
- [34].- Ousseddik A., Iftene T. et Zegrar A., 2003.- Réalisation par télédétection de la carte d'Algérie de sensibilité à la désertification. *Sécheresse*, 14: 195-201.