

SCÉNARIOS D'ESTIMATION DU RISQUE D'ÉROSION DANS UN BASSIN VERSANT MEDITERRANÉEN A L'AIDE DE LA TÉLÉDÉTECTION, RUSLE ET LE SIG - CAS DU BASSIN DE LA MEDJERDA

SCENARIOS OF EROSION RISK ESTIMATION IN A MEDITERRANEAN WATERSHED USING REMOTE SENSING, RUSLE AND GIS - CASE OF MEDJERDA BASIN

Réception : 22/11/2022

Acceptation : 15/05/2023

Publication : 20/06/2023

MENASRIA Amine¹, MEDDI Mohammed², HABAIEB Hamadi³¹Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique – Blida, LGEE, Algeria- a.menasria@ensh.dz.²Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique – Blida, LGEE, Algeria- m.meddi@ensh.dz.³Institut National d'Agronomie de Tunis, University of Carthage- Tunis, Tunisia- habaieb.hamadi@yahoo.fr.

Résumé- La quantification des taux de sédiments est essentielle pour élaborer un plan d'aménagement visant à protéger les sols et les infrastructures hydrauliques contre l'érosion. L'objectif général de ce travail est d'estimer le taux d'érosion des sols dans le bassin de la Medjerda (entre Algérie et la Tunisie) à l'aide de la télédétection, du SIG et la RUSLE avec différents modèles de l'érosivité de la pluie. Le taux d'érosion moyen est estimé à 13,27 t/ha/an. 2,11% du bassin est très sensible à l'érosion, 13,64% du bassin est sensible, 22,13% est à risque moyen et 62,12% est à faible risque d'érosion. Les résultats obtenus par cette étude ont montré que la formule de Rango & Arnoldus sous-estime le risque érosif et son utilisation nous donne des taux d'érosion très faibles par rapport à ceux mesurés par bathymétrie.

Mots - clés : Erosion de sol, Télédétection, SIG, RUSLE, Medjerda.

Abstract- The quantification of sediment rates is essential for making a development plan in order to protect soil and hydraulic infrastructure against erosion. The general aim of this work is to estimate soil erosion rate in the Medjerda basin (between Algeria and Tunisia) using remote sensing, GIS and RUSLE with different models of the erosivity of rain. The average erosion rate is estimated at 13,27 t/ha/year. 2,11% of the basin is very sensitive to erosion, 13,64% of the basin is sensitive, 22,13% is at medium risk and 62,12% is at a low risk of erosion. The results obtained by this study showed that the Rango & Arnoldus model underestimates the erosion risk and its use gives us very low erosion rates compared to those measured by bathymetry.

Keywords: Soil erosion, Remote sensing, GIS, RUSLE, Medjerda.

1-Introduction

L'érosion des sols est très fréquente dans les pays du bassin méditerranéen et constitue un aspect majeur de la dégradation des paysages aux côtés des variations spatio-temporelles brutales des précipitations, des débits d'eau et de l'action du gel et du dégel : Réfs. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Elle est devenue un problème majeur dans la région du Maghreb en général où elle peut atteindre 2000t/km²/an en Algérie par exemple. L'érosion hydrique est la forme la

plus répandue et la plus dangereuse. Elle dépend de l'agressivité climatique et de la résistance du milieu. Des quantités de sédiments en suspension, estimées à environ 47 millions de t/an, se déposent sur le littoral méditerranéen des côtes algériennes. Réf. [8]. Le volume annuel de sédiments déposés dans les barrages algériens est d'environ 45 millions de m³, Réf. [9]. Actuellement, en Algérie, les problèmes d'érosion et de désertification sont classés parmi les plus nocifs pour l'environnement. Ce

problème est directement lié à la menace de 14 millions d'hectares de terres agricoles en Algérie. Trois millions d'hectares (27% des terres agricoles) ont déjà été touchés par l'érosion en Tunisie, parmi lesquelles, 1,5 million d'hectares sont modérément à fortement touchés et nécessitent des interventions à court et moyen terme, Réf. [3]. Cette étude est très importante d'un point de vue pratique car elle donne une idée sur la répartition spatiale du risque d'érosion hydrique, en particulier l'érosion en nappe, dans la zone d'étude. Les futurs scénarios d'estimation de l'érosion sont simulés pour des événements similaires. Les résultats de cette étude peuvent être un outil d'aide à la décision nécessaire pour les décideurs et les planificateurs afin de préserver les terres agricoles et les barrages contre la sédimentation.

2- Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant concernée par cette étude s'étend entre l'amont du barrage Oldjet Mellègue en Algérie et le barrage de Sidi Salem en Tunisie. Il occupe une superficie de 20700 Km². Il est encadré par le constantinois et le Seybouse au nord, le chott Melghir au sud-ouest et la basse vallée de la Medjerda à l'est. Sur le plan topographique, la région d'étude, en général, a un relief accidenté fort dans plusieurs positions, ce qui favorise le ruissellement et l'érosion hydrique. Le climat de la zone est de type méditerranéen semi-aride caractérisé par un hiver humide est doux et un été chaud. La moyenne annuelle des précipitations varie entre 60 mm à Ouenza (bassin versant d'oued Mellègue) et 432 mm à Siliana et peuvent atteindre les 1300mm à Tabarka (figure 1).

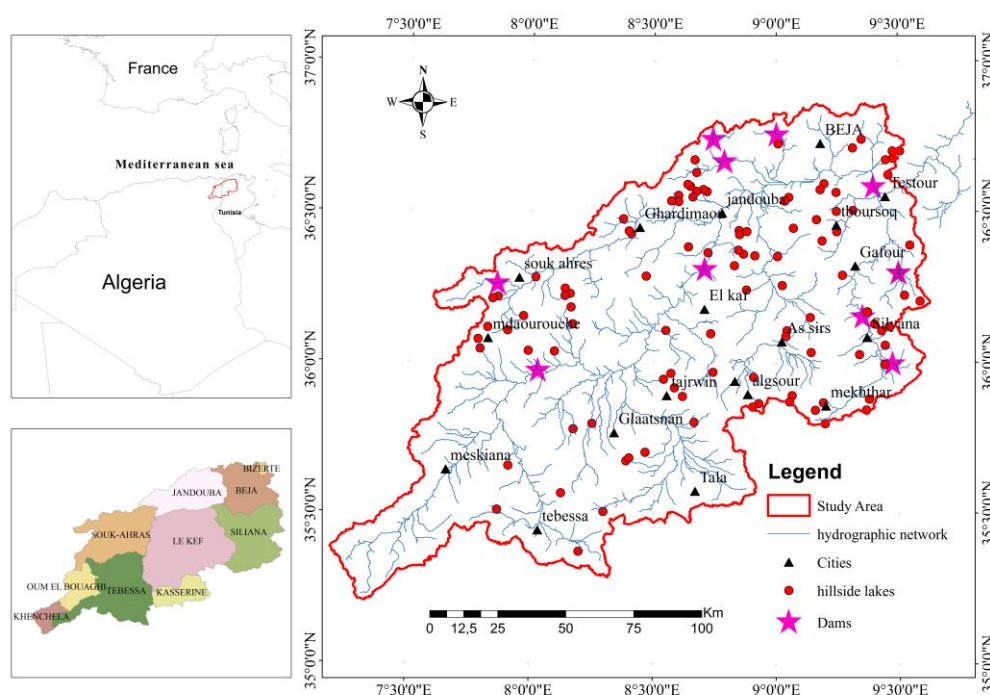


Figure 1 Présentation de la zone d'étude
Figure 1 Presentation of study area

3-Matriels et Méthodes

Pour les besoins de l'étude, nous avons utilisé les données suivantes : extraits d'images Google Earth (année 2017), deux images satellitaires téléchargées gratuitement en deux périodes (sèche et humide) de 2017 et 2018, à partir du

site <https://earthexplorer.usgs.gov/> de l'USGS (United States Geological Survey), des séries de pluie mensuelle homogènes en (mm) de la période allant de 1969 à 2007 et des mesures bathymétriques effectuées sur 8 barrages situés sur la zone d'étude.

Tableau 1 : Caractéristique des données satellitaires utilisées dans l'étude.

Table 1: Characteristic of the satellite data used in the study.

Periode	Acquisition	Sensor	Bands	Path/Row
Humide	02/04/2018	OLI	2,3,4,5	191-192/34-35
Seche	27/07/2017	OLI	2,3,4,5	191-192/34-35

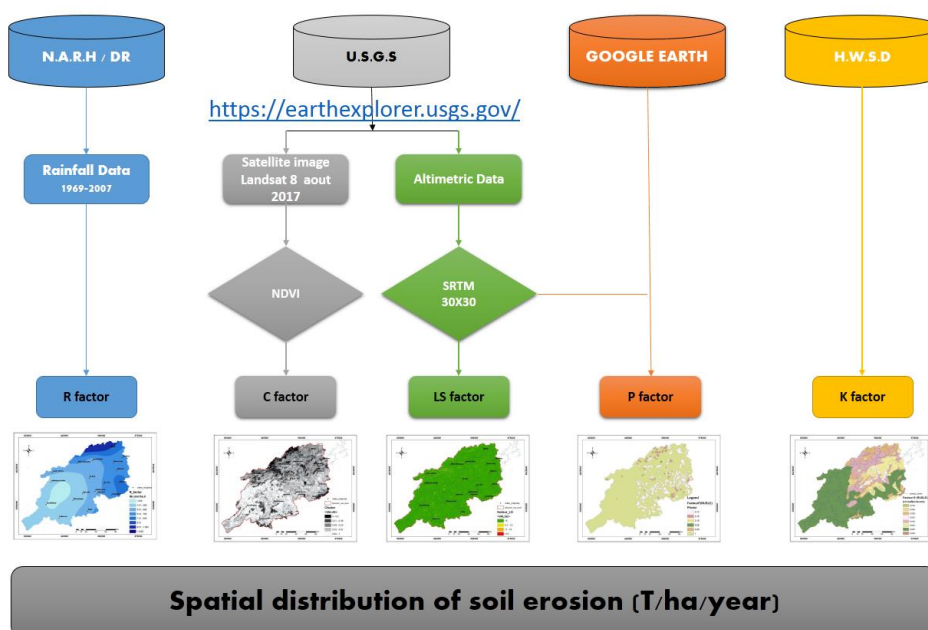
La méthode utilisée consiste à cartographier les facteurs qui déclenchent l'érosion, en utilisant l'équation universelle de la perte de sol révisée (RUSLE) (Eq.1) intégrée à l'imagerie satellitaire (Landsat 8 Oli).

$$A=R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

Avec : A représente les pertes de terre annuelles moyennes en tonnes par hectare par an ; R correspond au facteur de pluie et de ruissellement par secteur géographique ; K est le facteur d'érodibilité du sol ; LS est le facteur de longueur et d'inclinaison de la pente ; C correspond au facteur de culture (végétation)

et de gestion ; P correspond au facteur de pratique de conservation.

Chaque facteur avait une taille de cellule de 30 m. Toutes les couches ont été projetées dans la zone UTM 32N en utilisant le WGS1984. Les scénarios de risque d'érosion des sols proposés dans cette étude correspondent aux situations suivantes : (a) érosivité (R) calculée en utilisant le modèle de Belaid [10] ajustée à la Tunisie sur la base des précipitations annuelles et mensuelles ; (b) érosivité (R) calculée en utilisant le modèle de Rango & Arnoldus [11] et des précipitations annuelles et mensuelles. Le facteur d'occupation du sol (C) a été évalué par une relation expérimentale sur la base de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI). Le facteur pédologique (K) a été tiré de la base de données mondiale harmonisée sur les sols (HWSD). Le facteur topographique (LS) a été estimé selon les équations du modèle RUSLE. La méthodologie suivie est illustrée sur la figure. 2.



N.A.R.H : National Agency for hydraulic Resources / DRE: Direction OF Water Resources
 U.S.G.S : United states Geological survey.
 H.W.S.D : Harmonized Word soil Database

Figure 2 : Méthodologie suivie
Figure 2 : Methodology followed

4-Résultats et discussion

4.1-Erosivité de la pluie (R)

Les résultats de la simulation de l'érosivité de la pluie, par les deux modèles de Belaid [10] et de Rango & Arnoldus [11], sont affichés dans le tableau 2.

Selon le modèle de Belaid [10], les valeurs de R sont très variables d'une année à une autre et d'une station à une autre. Elles varient de 400 MJ.mm/ha.h.an au centre-est du bassin à environ 1000 MJ.mm/ha.h.an dans le nord-ouest avec une valeur moyenne de l'ordre de 543,26MJ.mm/ha.h.an. Un gradient croissant de l'amont du bassin à son exutoire avec une forte augmentation du sud au nord a été remarqué. La région de Tabarka est la plus érosive.

Selon le modèle de Rango & Arnoldus [11], l'érosivité de la pluie varie de 35 MJ.mm/ha.h.an au centre-est du bassin à environ 125 MJ.mm/ha.h.an dans le nord-ouest. Nous avons observé toujours un gradient croissant de l'amont du bassin à son exutoire avec une forte augmentation du sud au nord. Nous avons constaté aussi que les régions de Teberda et Siliana sont toujours les plus érosives et que la moyenne annuelle est de l'ordre de 63,81 MJ.mm/ha.h.an.

Tableau 2 : Indices de l'érosivité des pluies (MJ mm/ha.h.an)

Table 2 : Rainfall erosivity indices (MJ mm/ha.h.year)

Stations pluviométriques	X (km)	Y (km)	Z (km)	R (Belaid, 2015)	R (Rango & Arnoldus (1987))
Tabarka	477,083	4089,17	165	1361,31	125,22
Jendouba	480,604	4039,43	185	514,87	62,81
Kef	473,889	4002,67	491	531,25	65,08
Tunis	604,485	4071,6	52	551,21	67,72
Siliana	531,656	4001,31	431	737,64	87,54
Testour	540,29	4045,08	112	620,62	76,01
Ouenza	419,793	3991,18	588	370,33	35,64
Boukhadara	416,222	3964,19	602	392,3	41,53
Souk Ahras	401,71	4016,33	852	527,22	75,23
Meskiana	388,936	3952,13	787	396,06	42,56
Babar	327,058	3893,35	1103	391,12	41,52
Tebessa	415,537	3924,54	776	415,9	44,87

4.2- Risque érosif

Le croisement des cartes des facteurs topographique, pédologique, d'occupation du sol et d'aménagement anti érosive, permet d'obtenir les cartes des pertes en sols des figures 3 et 4.

Les valeurs du risque d'érosion ont été regroupées en 5 classes présentées dans le tableau 3 selon les travaux de Sadiki et al., [15]. La valeur de 7,41 t.ha⁻¹.an⁻¹ a été retenue comme étant la limite moyenne de tolérance du sol à l'érosion, Réf. [15].

En utilisant le modèle RUSLE avec l'érosivité des pluies estimée par le modèle de Belaid [10], les pertes de sol varient entre 0 et 100 t/h/an avec une moyenne de l'ordre de 13,27 t/ha/an.

En utilisant l'érosivité simulée par le modèle de Rango & Arnoldus [11] et en appliquant le modèle RUSLE, les pertes en sols trouvées varient entre 0 et 100 t/ha/an avec une perte moyenne de l'ordre de 1,54 t/ha/an.

La répartition spatiale des différentes classes de perte de sol montre que :

- Pour le scénario (a), 62,12% de la zone ont une érosion hydrique inférieure à 15 t/ha/an, et 22,13% ont une perte comprise entre 15

et 30 t/ha/an et 13,64% ont une perte comprise entre 30 et 60 t/ha/an. Les terres avec des pertes supérieures à 60 t/ha/an ne représentent que 2,11%.

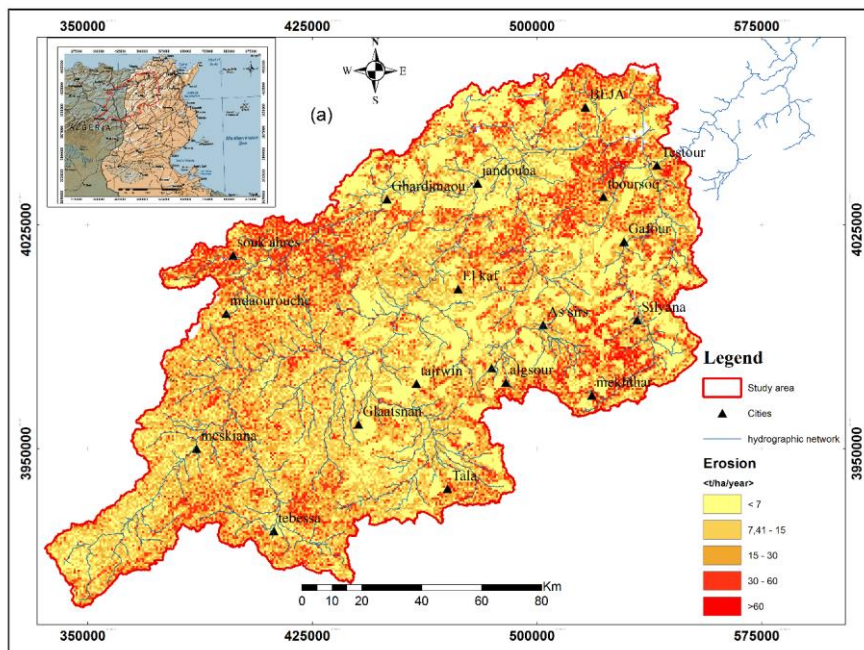


Figure 3 : Carte de perte de sol déterminée par le modèle RUSLE avec R_Belaid (2015)

Figure 3 : Soil loss map determined by RUSLE model with R_Belaid (2015)

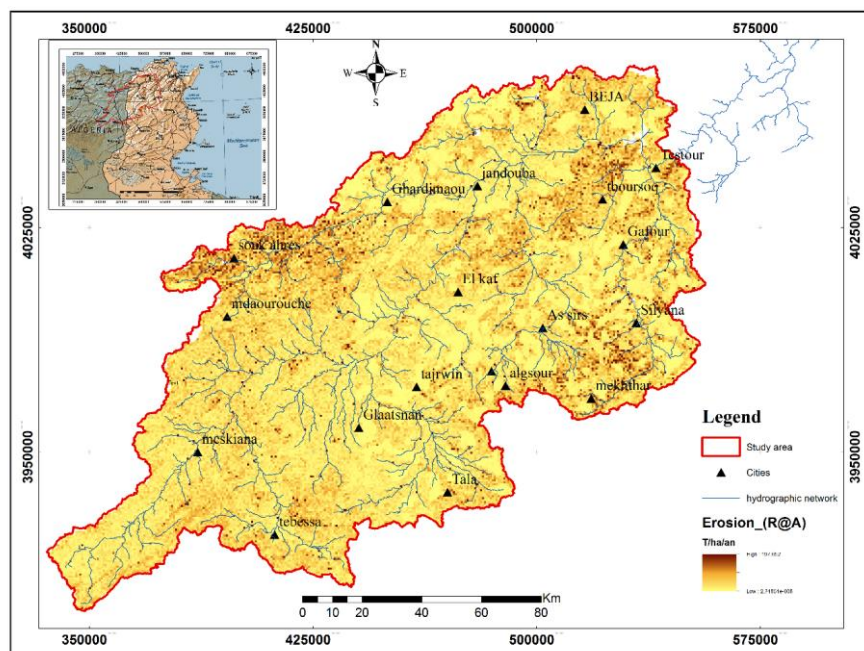


Figure 4 : Carte de perte de sol déterminée par le modèle RUSLE avec R_Rango & Arnoldus (1987)

Figure 4 : Soil loss map determined by RUSLE model with R_Rango & Arnoldus (1987)

- Pour le scénario (b), 98,16% de la zone ont une érosion hydrique inférieure à 7,41 t/ha/an. Ces terres sont très peu sensibles à l'érosion à cause de leur topographie et leur couvert végétal. Tandis qu'environ 1,5 % du bassin ont une perte de sol moyenne de 7,41 à 15 t/ha/an, alors que 0,26 % du bassin ont une forte perte de sol (supérieure à 30 t/ha/an).

Tableau 3 : Superficie des classes des pertes de sol

Table 3 : Area of soil loss classes

Erosion hydrique (T/ha/an)	Scenario (a) %	Scenario (b) %
<7,41	36,21	98,16
7,41 - 15	25,91	1,59
15 - 30	22,13	0,18
30 - 60	13,64	0,04
>60	2,11	0,04

La figure 5 représente l'érosion déterminée par des mesures bathymétriques (observées) effectuées sur 8 barrages de la zone d'étude et celles calculées par le modèle RUSLE selon les deux scénarios (a) et (b). [RUSLE.B et RUSLE.A respectivement).

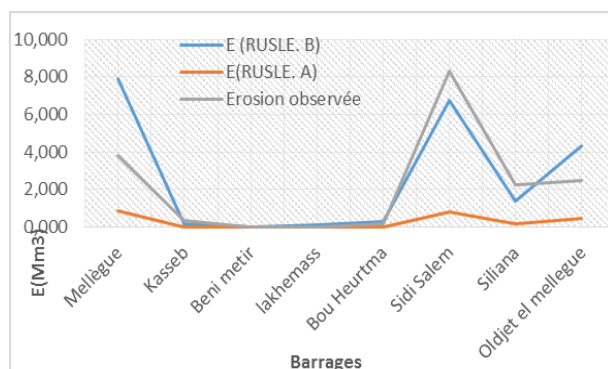


Figure 5 : Variation moyenne interannuelle de l'érosion (RUSLE) calculée et observée.

Figure 5 : Calculated and observed mean interannual erosion variation (RUSLE).

En comparant les courbes de la figure entre elles, nous avons constaté que :

- Toutes les courbes ont la même allure;
- Le modèle RUSLE donne des résultats assez satisfaisants ;
- Les pertes de sol calculées à partir de l'érosivité estimée par le modèle de Belaid [10] sont très proches à celles mesurées lors de la bathymétrie;
- Les pertes de sol calculées à partir de l'érosivité estimée par le modèle de Rango & Arnoldus [11] sous-estime l'érosion pour toutes les stations ;
- Les Barrages de Sidi Salam, Siliana, Mellègue et Oldjet Mellègue sont les plus vulnérables.

4.3- Discussions

Le bassin versant de la Medjerda est soumis à une forte agressivité climatique correspondant à une classe de R supérieure à 100 MJ.mm/(ha.h.an). L'érosivité pluviale est caractérisée par une irrégularité spatiale avec une forte augmentation du sud-ouest au nord-est. Nous expliquons cette irrégularité par l'irrégularité interannuelle des pluies, Réfs. [12 &13] et la variabilité du vent et du couvert végétal sur la zone d'étude. Les valeurs d'érosivité pour la zone d'étude estimées par la formule de Belaid sont similaires à celles obtenues par Meddi et al. [6] en utilisant l'indice d'agressivité des précipitations en amont du bassin de la Medjerda pour la période entre 1968 et 2006.

Les faibles valeurs du potentiel érosif occupent les plaines, dans la partie nord-est et sud-ouest du bassin où les pentes sont inférieures à 5%, tandis que les valeurs fortes se retrouvent à des altitudes plus élevées. Le risque maximal est observé en amont d'Oued Medjerda et dans les hautes altitudes des bassins du Chabro, du Ranem et de la Siliana. Le risque érosif est important dans ces régions en raison des pentes abruptes, (fortes pentes) et des sols marneux argileux des montagnes délimitant ces bassins, ainsi que des fortes valeurs du facteur R malgré la présence de végétation (facteur de protection). En revanche, la plaine alluviale du bassin de la Meskiana et la plaine de Boussalem présentent un risque beaucoup plus faible.

La superficie maximale touchée par le risque d'érosion est associée à la classe inférieure à 15t/ha/an. Ceci est similaire aux résultats de Roose et al. [14] qui ont montré que dans les petites montagnes méditerranéennes, l'érosion en nappe se produit à des taux d'érosion de 0 à 20 t/ha/an.

La validation sur le terrain et les études citées ci-dessus confirment que l'application de la RUSLE a fourni des résultats fiables, malgré sa limitation à cause de certains points : tout d'abord, l'équation universelle de perte de sol ne prédit que l'érosion en nappe et l'érosion en rigoles, l'érosion des ravines n'est pas prise en compte. De plus, certains facteurs importants influençant l'érosion des sols ne sont pas pris en compte, comme l'effet des pierres et des fragments de roche. De plus, l'évaluation du facteur d'érodabilité du sol (facteur K) et du facteur d'érosivité des précipitations (facteur R) nécessite une cartographie détaillée du sol et des informations détaillées sur l'intensité moyenne sur 30 minutes de chaque averse enregistrée, ce qui n'a pas été réalisé dans cette étude.

5- Conclusion

Dans cette étude, nous avons utilisé la télédétection et le SIG pour évaluer et montrer la gravité de l'érosion et réaliser sa cartographie dans le bassin de la Medjerda. La formule de Rango & Arnoldus sous-estime le risque érosif et son utilisation nous donne des taux d'érosion très faibles par rapport à celle mesurées par bathymétrie. A partir de ce travail nous avons constaté que les zones considérées à faible risque d'érosion sont les plaines et les plateaux caractérisés par un couvert végétale faible. Les zones considérées à fort risque d'érosion sont les altitudes et les terrains accidentés et nus. Nous proposons d'améliorer les résultats trouvés en utilisant un modèle numérique de terrain plus détaillé, des données satellitaires qui ont de meilleures caractéristiques spectrales et une information plus détaillée sur le sol. Les résultats de cette étude aident les décideurs à comprendre le scénario de changement d'occupation de sol et à planifier les mesures préventives nécessaires pour protéger l'environnement et les infrastructures hydrauliques.

Références Bibliographiques

- [1] Bou Kheir, R., Girard, M. C., Khawlie, M., Abdallah, C., *Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens*. Étude et gestion des sols, 8(4): 231-245,2015.
- [2] Touaibia, B., and Achite, M. *Contribution à la cartographie de l'érosion spécifique du bassin versant de l'Oued Mina en zone semi-aride de l'Algérie septentrionale*. Hydrological sciences journal, 48(2): 235-242. 2003
- [3] Hermassi, T., Cherif, M. A., Habaieb, H., *Solid transport study at the Merguellil watershed, central Tunisia: case study of Ettiour and Rajela watersheds*, Houille Blanche-Revue Internationale de l'Eau. (4), 88-96, 2014.
- [4] Allili, A. C., Laignel, B., Adjeroud, N., Bir, H., Madani, K., "Particulate flow at the mouth of the Soummam watershed (Algeria), Environmental Progress & Sustainable Energy, 35(1), 204-211, 2016.
- [5] Berghout, A., Meddi, M., *Sediment transport modelling in wadi Chemora during flood flow events*" Journal of Water and land Development, 31(1), 23-31. 2016.
- [6] Meddi, M., and Toumi, S., *Spatial and temporal variability of the rainfall erosivity factor in Northern Algeria*. Arabian Journal of Geosciences 9(4): 282. 2016.
- [7] Gao, J., Wang, H., *Temporal analysis on quantitative attribution of karst soil erosion: a case study of a peak-cluster depression basin in Southwest China*. Catena (172): 369-377. 2018.
- [8] Probst, J. L., and Suchet, A.P., *Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa)*. Hydrological Sciences Journal 37: 621-637, 1992.
- [9] Remini, B., and Hallouche, W., "Studying sediment", International Water Power and Dam Construction. 59. 42-45. 2007.

[10] Belaid, H., Contribution à l'étude des processus de l'érosion hydrique en milieu semi-aride tunisien "PhD thesis, Agronomic sciences, National Agronomic Institute, University of Carthage, Tunisia. pp30-36. 2015.

[11] Johnson, Arnold Ivan, and Albert Rango."Remote sensing applications for consumptive use (evapotranspiration)." 1986.

[12] Khedimallah, A., Meddi, M., Mahé, G., (2020). *Characterization of the interannual variability of precipitation and runoff in the Cheliff and Medjerda basins (Algeria)*, Journal of Earth System Science, 129, 1-25. 2020.

[13] Menasria, A., Meddi, M., Habaieb, H. *Diachronic Study of Land Cover of the Medjerda Watershed and Estimation of RUSLE-C Factor Using NDVI-Based Equation, Remote Sensing, and GIS.* 2022.

[14] Roose, E., *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols.* ORSTOM, France. 2000

[15] Sadiki, A., Bouhlassa, S., Auajjar, J., Faleh, A., & Macaire, J. J. (2004). *Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab.* " Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, 26(2004) : 69-79.