



Section : Environmental and Water Sciences
Publication type : Full Paper

Assessment and mapping of the risk of water erosion in the watershed of the oued Issen using GIS and the empirical model EPM (Western High Atlas - Morocco)

Évaluation et cartographie du risque de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Issen à l'aide du SIG et du modèle empirique EPM (Haut Atlas Occidental - Maroc)

Received 07 Jan. 2023

Accepted 25 May.2023

On line 30 June 2023

ABDELAZIZ OULGHAZI¹

(1) Département de géographie et aménagement, Laboratoire ESEAD, Faculté des Langues, des Arts et des sciences Humaines, Ait Melloul, Université Ibn Zohr, Agadir

Email : a.oulghazi@uiz.ac.ma

KEY WORDS

risk of water erosion, watershed of the oued Issen, empirical model (EPM), geographical information system (GIS).

MOTS CLES

risque de l'érosion hydrique, bassin versant de l'oued Issen, modèle empirique (EPM), système d'information géographique (SIG).

Abstract This work aims to assess the situation of water erosion in the watershed of the oued Issen, which belongs to the western part of the High Atlas, and is one of the important tributaries of the oued Souss on the right bank.

The study was based on the empirical model of Gavrilović "Erosion Potential Method" (EPM), which is based on a number of natural factors, including the temperature factor, which distinguishes it from other models. The study was also based on a database obtained from various sources. In terms of results, the study showed that the watershed of the oued Issen is characterized, in general, by very significant soil losses with a predominance of moderate and high loss classes. The annual rate of erosion is about 3947 m³/km²/year, and the values vary between 32 and 19146 m³/km²/year.

Résumé Ce travail vise à évaluer la situation de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Issen, qui appartient à la partie occidentale du Haut Atlas, et est l'un des affluents très importants de l'oued Souss en rive droite.

L'étude s'est appuyée sur le modèle empirique de Gavrilović « Erosion Potential Method » (EPM), qui repose sur un certain nombre de facteurs naturels, notamment le facteur de température, qui le distingue des autres modèles. L'étude s'est, également, appuyée sur une base de données obtenues de diverses sources. En termes de résultats, l'étude a montré que le bassin versant de l'oued Issen est caractérisé, en général, par des pertes en sol très importantes avec une prédominance des classes de pertes modérées et fortes. Le taux annuel d'érosion est d'environ 3947 m³/km²/an, et les valeurs varient entre 32 et 19146 m³/km²/an.

1. Introduction

L'érosion hydrique est l'un des processus les plus importants qui modifient, constamment, les caractéristiques de la surface de la terre. Son impact varie d'un endroit à l'autre à travers le monde et au sein d'un même pays et d'une même région en fonction des conditions générales qui la contrôlent.

Chaque année, l'érosion entraîne la perte d'importantes superficies de terres arables en raison de plusieurs facteurs, dont certains sont liés à des phénomènes naturels (changements climatiques et succession de longues

périodes de sécheresse), et d'autres sont liés aux activités anthropiques qui s'incarnent dans la mauvaise exploitation des milieux naturels et des ressources qu'ils contiennent (surpâturage et déforestation). Par conséquent, l'érosion est l'un des risques naturels qui menacent la capacité productive des terres (productivité biologique) et mettent en danger les sources alimentaires, sachant que le sol reste la ressource la plus importante pour la production alimentaire à l'échelle mondiale, malgré l'émergence de nouvelles techniques de production [1].

Les terres affectées par les facteurs d'érosion au Maroc sont estimées à environ 23 millions d'hectares (CESE, 2014). Le phénomène provoque, également, une baisse de la capacité de stockage des barrages due à l'accumulation de boues (envasement) d'environ 75 millions de m³/an [2].

Sur la base de ce qui précède, ce travail vise à mettre en évidence la situation de la perte en sol due à l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Issen, qui est classé parmi les bassins versants moyens au Maroc, à travers une évaluation qualitative et quantitative du phénomène, et la détermination des niveaux de son impact et sa répartition spatiale au sein de ce bassin.

2. Méthodologie, données et matériels

L'évaluation de l'état des sols dans les bassins versants constitue une étape très importante pour connaître le niveau et la répartition des pertes en sol, et ainsi construire des solutions adéquates pour réduire la dégradation des terres et des milieux environnementaux.

Dans ce cadre, plusieurs modèles quantitatifs et qualitatifs ont été développés dont le modèle universel de perte en sol « Universal Soil Loss Equation » (USLE), le modèle d'érosion hydrique en milieu semi-aride de forte énergie de relief, le modèle événementiel « Kinematic Runoff and Erosion » (KINEROS), le modèle « Water Prediction Project » [3], ainsi que d'autres modèles tels que le modèle PAP/CAR (centre du Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM), qu'a été créé dans le cadre de la Convention de Barcelone, 1976). Par la suite, plusieurs modèles informatiques ont vu le jour, dont certains sont basés sur l'équation universelle de perte de sol de Wischmeier (USLE) et ses modifications (MUSLE) et révisions (RUSLE) [4].

Pour modéliser et évaluer le risque d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Issen, cette étude a adopté une approche quantitative basée sur les données statistiques et analytiques sur lesquelles repose le modèle empirique d'évaluation de l'érosion hydrique « Erosion Potential Method » (EPM). Ce modèle a été adopté, car il a été développé par Slobodan Gavrilović [5], pour évaluer le risque d'érosion hydrique dans les zones montagneuses, et par conséquent, il est considéré comme le plus approprié pour la zone d'étude. Il est, également, basé sur l'intégration et la combinaison d'un ensemble de facteurs différents (lithologie, occupation du sol, pente, précipitations et température) qui permettent d'obtenir une carte de perte en sol. Ce modèle s'exprime sous la forme suivante [6–8]:

$$W = T \times H \times \pi \times \sqrt{Z^3}$$

Où :

$$T = \sqrt{\frac{\theta}{10}} + 0,1$$
$$Z = X_a \times Y \times (\Phi + \sqrt{J_a})$$

Avec :

W : Taux annuel d'érosion (m³/km²/an) ;

T : Coefficient de température ;

Z : Coefficient d'érosion potentielle ;

H : Moyenne annuelle des précipitations (mm/an) ;

θ : Température annuelle moyenne (C°) ;

X_a : Coefficient de la couverture du sol (0,01 ≤ X_a ≤ 1) ;

Y : Sensibilité des sols à l'érosion (0,1 ≤ Y ≤ 1) ;

Φ : Coefficient d'érosion actuelle (0,1 ≤ Φ ≤ 1) ;

J_a : Coefficient de pente (%).

En ce qui concerne les données de l'étude, un modèle numérique du terrain d'une résolution de 30 m a été utilisé pour étudier les caractéristiques des pentes du bassin versant de l'oued Issen, ainsi que l'extraction du réseau hydrographique et les valeurs des altitudes. Nous avons également utilisé les images satellitaires du satellite LANDSAT 8, capturées le 22/08/2021, avec une résolution de 30 m pour étudier la situation de couverture végétale dans le bassin. En l'absence de cartes pédologiques détaillées autour de la zone d'étude, des cartes géologiques ont été exploitées pour déterminer l'érodibilité des roches est donc la sensibilité des sols à l'érosion hydrique. Pour étudier les facteurs de précipitations et de température, nous avons adopté les données recueillies par l'agence spatiale américaine NASA pour plusieurs raisons dont les plus importantes sont : Les séries statistiques couvrent une période relativement longue, atteignant 40 ans (1981-2020), une bonne répartition des points employés dans le bassin versant, certaines études confirment la compatibilité et l'efficacité de ces données dans l'étude des phénomènes climatiques [9], les périodes et les données des séries statistiques disponibles à l'Agence du Bassin Hydraulique de Souss-Massa sont différentes et incomplètes.

Pour appliquer le modèle empirique (EPM) les outils fournis par le SIG ont été utilisés pour effectuer des analyses spatiales et cartographiques. Le schéma suivant illustre les sources de données employées et le processus méthodologique d'application du modèle empirique (EPM).

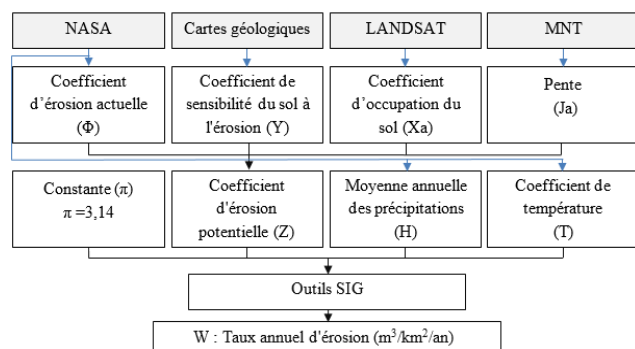


Fig.1 : Schéma d'application du modèle EPM

3. Présentations de la zone d'étude

Le bassin versant de l'oued Issen (appelé aussi le bassin d'Argana) appartient à la partie occidentale du Haut Atlas (Haut Atlas Atlantique), et s'étend, longitudinalement du nord-est au sud-ouest, sur une superficie de 1576,46 km². Il fait, également, partie du bassin versant de l'oued Souss, et est l'un de ses principaux affluents sur la rive droite (fig.1). Ses altitudes varient d'environ 64 m à 3525 m, tandis que la pente globale est de 4,39 %.

subsistance). Ces activités sont pratiquées selon des méthodes traditionnelles et des savoir-faire locaux hérités. Cela se reflète dans les modèles de logement et les matériaux de construction adoptés, ainsi que dans les formes dominantes d'exploitation agricole et dans les paysages ruraux en général. L'utilisation des techniques traditionnelles se manifeste également dans les moyens de lutte contre le risque de l'érosion hydrique afin de protéger les exploitations agricoles[10].

Au niveau des infrastructures, le bassin versant de l'oued Issen, de par sa forme géomorphologique, constitue un passage naturel appelé « le couloir d'Argana » pour relier la plaine du Haouz et la plaine du Souss par la route nationale n°8 et l'autoroute n°3 avec une distance d'environ 87 km.

Du point de vue hydraulique, le bassin versant se distingue par la construction d'un des barrages les plus importants de la région Souss-Massa, qui est le barrage Abdelmoumen en 1981 avec une capacité de stockage de 216 millions m³, en plus d'un petit barrage, qui est le barrage Dkhila en 1986 avec une retenue de 0,7 million m³. La construction d'une

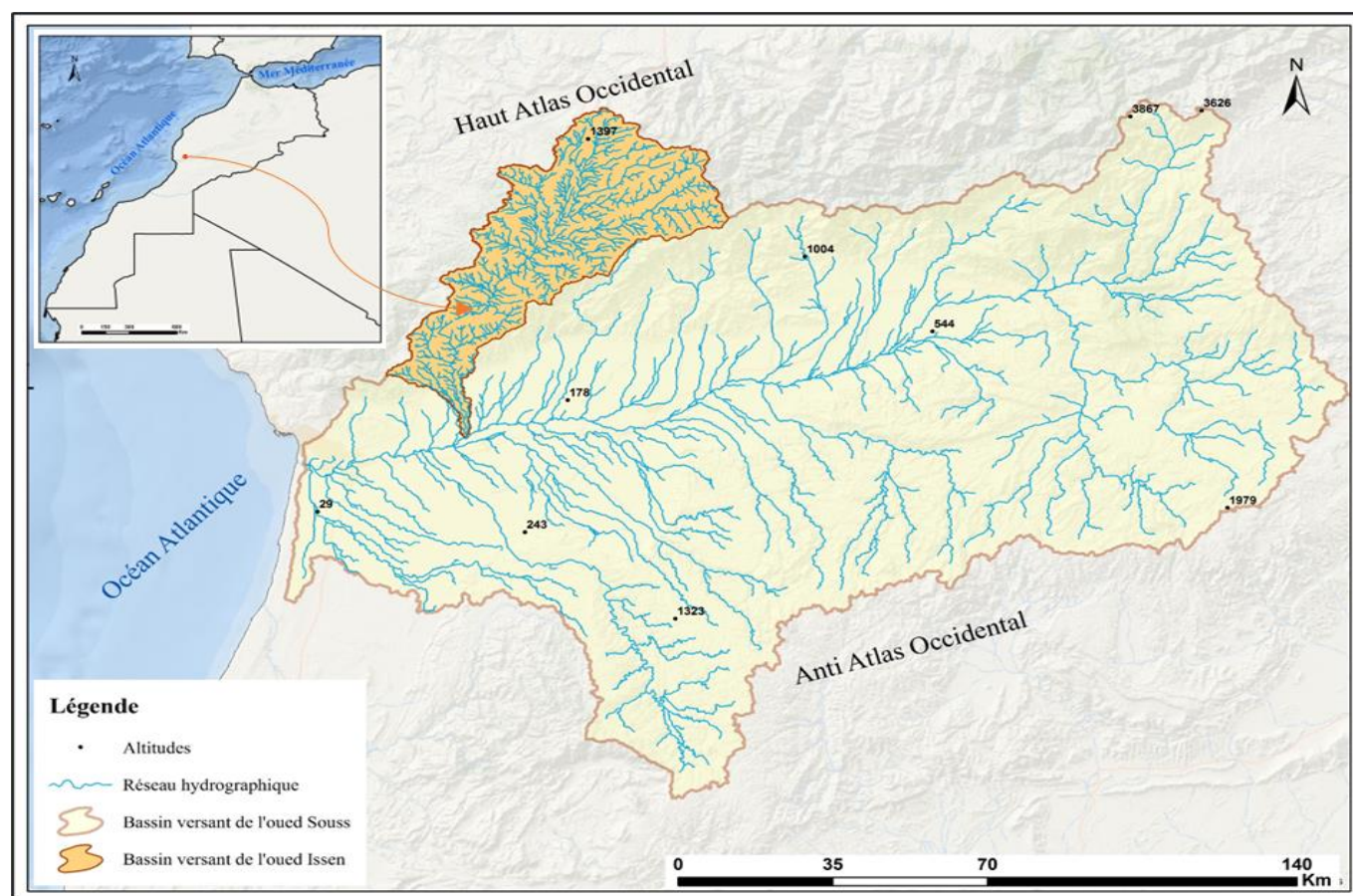


Fig.2 : Localisation du bassin versant de l'oued Issen

Sur le plan humain, la population s'installe dans le bassin sous forme de centres villageois et de douars séparés et elle pratique des activités agropastorales orientées, en général, vers l'autoconsommation (agriculture

station hydroélectrique a, également, été lancée en 2018, dans le but d'alimenter en électricité la ville du Grand Agadir.

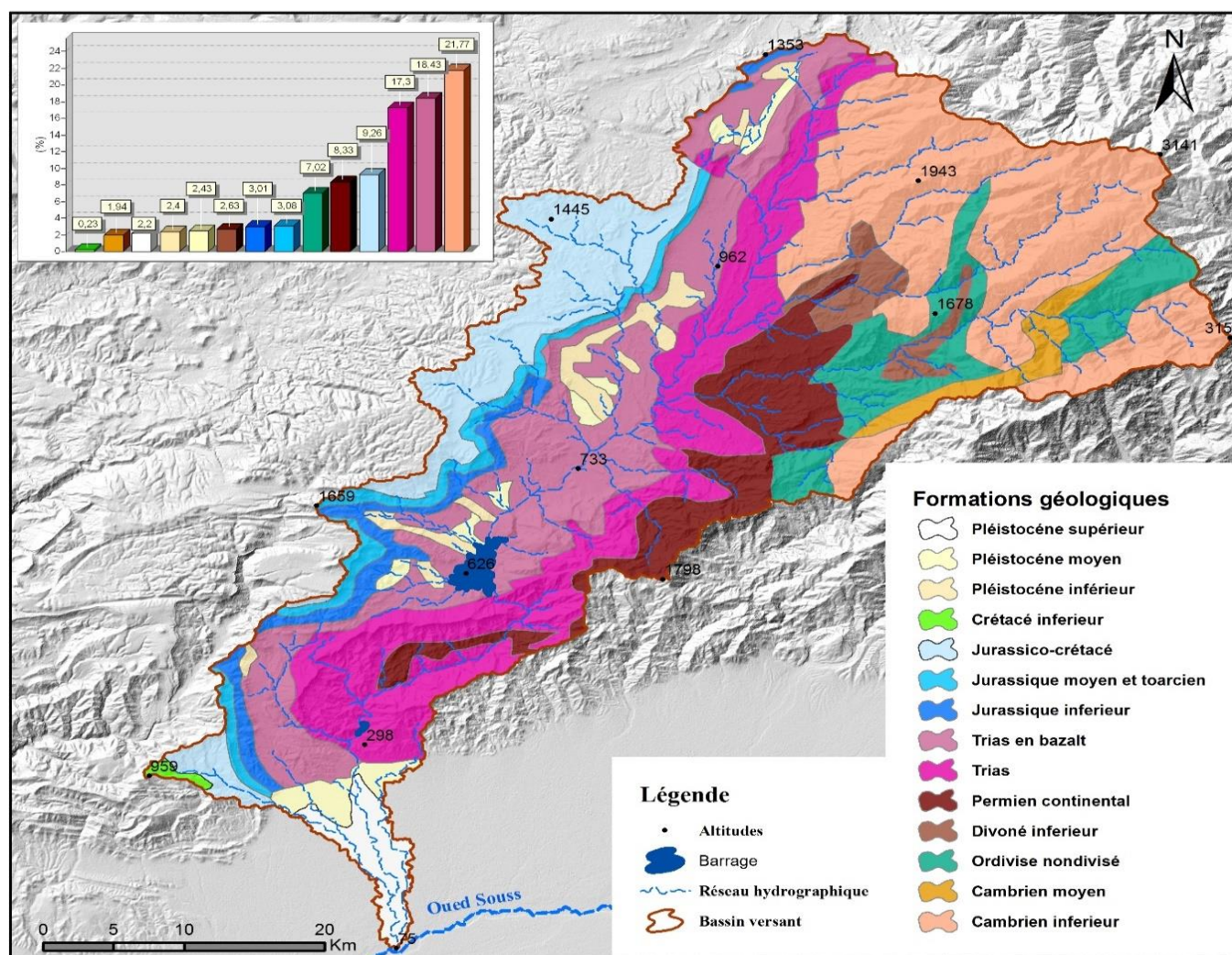


Fig.n°3 : La géologie du bassin versant de l'oued Issen
 Source de données : (Saadi et al., 1985)

En ce qui concerne l'aspect géologique, la zone d'étude fait partie du Haut Atlas occidental, qui s'étale de l'océan atlantique autour d'Agadir et de Cap Ghir jusqu'au col de Tizi n'Tichka, où s'émerge un massif très élevé et des vallées très profondes[11]. Le bassin versant de l'oued Issen forme, également, une dépression longitudinale avec une orientation nord-est - sud-ouest, et une limite séparative, par le terrain rouge triasique du couloir d'Argana, entre la partie côtière à l'ouest et le massif ancien à l'est au sein du Haut Atlas occidental[11,12].

D'une manière générale, le bassin versant de l'oued Issen possède un patrimoine géologique relativement diversifié. Sur la rive gauche, les formations rocheuses datant de la première ère géologique (Paléozoïque) apparaissent avec 44% de la superficie totale du bassin. Tandis que les formations de la deuxième ère géologique (Mésozoïque) prédominent sur la rive droite avec un pourcentage de 52%. Quant aux dépôts quaternaires du Pléistocène, ils ne

représentent que 4%, et ils n'affleurent que dans des zones limitées, notamment dans l'aval (Fig.2). Les formations rocheuses les plus importantes du bassin versant sont le schiste, le grès, le conglomérat, l'argile, le calcaire et la marne[13].

4. Résultats et discussion

4.1. Caractéristiques des facteurs du modèle empirique (EPM)

Le contexte général de l'érosion hydrique dans le bassin de l'oued Issen nécessite de mettre en évidence tous les différents facteurs fondamentaux qui contribuent directement ou indirectement à ce phénomène. Ces facteurs ont été traités selon le modèle de Gavrilović comme suit :

4.1.1. La sensibilité des sols à l'érosion (Y)

Certes, la nature des roches et leur sensibilité à l'érosion hydrique constituent un facteur majeur de dégradation des sols. Cependant, cela ne peut pas être isolé du reste des facteurs intervenant, y compris le couvert végétal, les pentes des versants et les précipitations.

Pour traiter ce facteur, la méthode de Gavrilović a été adoptée pour classer les roches en fonction de leur résistance à l'érosion hydrique (Tab.n°1). En effet, le bassin versant de l'oued Issen se caractérise par la prédominance d'anciennes formations lithologiques détritiques. D'après les résultats d'évaluation obtenus, il apparaît que les roches à forte érodibilité occupent 49 % de la superficie du bassin versant, tandis que les roches à moyenne érodibilité représentent 38 %. Quant aux roches dures et solides, elles ne représentent que 13 %. (Fig.3).

Tab. n°1 : Coefficient d'érodibilité du sol

Classe	Coefficient d'érodibilité du sol	Y		Moyenne
1	Roche dure, résistante à l'érosion	0,1	0,3	0,2
2	Roche avec une résistance modérée à l'érosion	0,3	0,5	0,4
3	Roche faible, schisteuse, stabilisée	0,5	0,6	0,55
4	Sédiments, moraines, argile et autres roches peu résistantes	0,6	0,8	0,7
5	Sédiments fins et sols sans résistance à l'érosion	0,8	1	0,9

Source :[6,14]

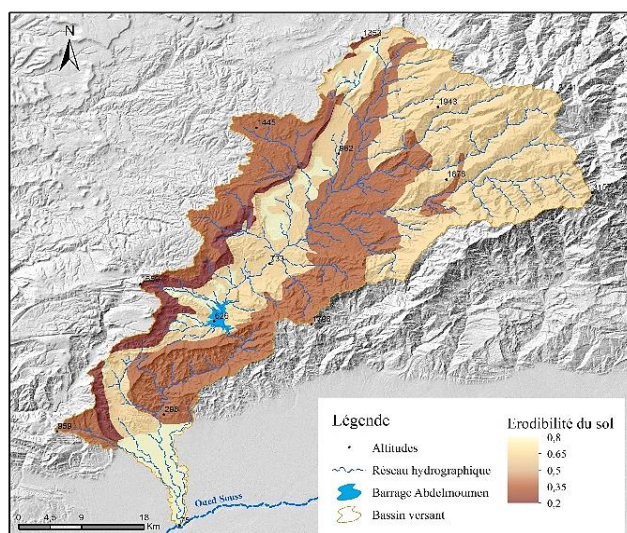


Fig. n°4 : Sensibilité des sols à l'érosion (Y)

4.1.2. Les pentes (Ja)

La pente détermine la rapidité de réponse et le comportement hydrologique du bassin versant lors d'un

épisode de pluie. Les pentes abruptes contribuent à la dynamique et à l'évolution des versants en accélérant le rythme de l'écoulement de surface, créant ainsi une grande efficacité d'extraction et de transfert des matériaux du haut en bas du bassin.

Le bassin versant de l'oued Issen se caractérise par la dominance des catégories de pentes faibles et moyennes allant de 0-20%, 20-40% et 40-60%, représentant respectivement 36%, 29% et 21% de la superficie totale du bassin. Alors que les pentes fortes et très fortes, comprises entre 60% et 232%, n'occupent que 14%. Ces derniers sont concentrés sur la rive gauche du bassin, notamment dans la partie nord-est. Les résultats de l'analyse indiquent également que ce bassin est une dépression d'érosion au stade de maturité.

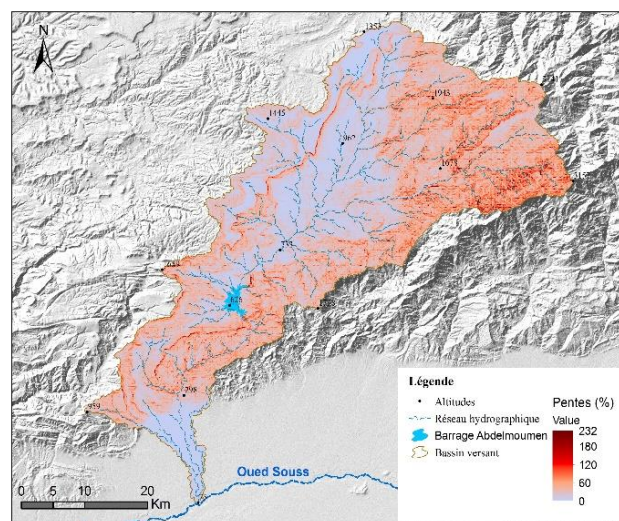


Fig. n°5 : Caractéristique des pentes (Ja)

4.1.3. La protection du sol par le couvert végétal (Xa)

Il est certain que le couvert végétal a des rôles très importants dans la stabilité et la protection des sols contre les mécanismes de l'érosion et dans l'atténuation de la dégradation des terres, en réduisant l'intensité des averses violentes, ainsi qu'en ralentissant l'écoulement de surface. Cependant, la capacité de préservation est affectée par la structure et la densité du couvert végétal dominant. Ces rôles et d'autres ont été soulignés par de nombreux hydrologues et chercheurs [15–19].

Concernant le bassin versant de l'oued Issen, son couvert végétal est relativement varié. Dans ses travaux sur la végétation du bassin versant de l'oued Souss, Peltier a mentionné plusieurs espèces dont les plus importants dans le bassin d'Argana sont : l'arganier, le thuya, le genévrier de Phénicie, le rhus tripartitum, l'acacia gummifère et les chénopodiacées[20]. Cependant, l'espèce la plus dominante dans le bassin est l'arganier. D'une manière générale, le niveau de densité de la végétation reste faible

dans la majeure partie du bassin, ce qui ne permet pas d'assurer une bonne protection du sol. Sur la base des résultats de l'analyse obtenue par l'indice de couverture végétale (NDVI), il apparaît que plus de 80% de la superficie du bassin est caractérisée par la dégradation du couvert végétal qui est souvent constitué de formations végétales courtes et dispersées (matorral clair et très clair, pâturages, cultures et arboricultures).

4.1.4. L'érosion actuelle ou l'états érosifs (Φ)

L'état de l'érosion et son évolution diffèrent d'un endroit à l'autre, selon l'influence des facteurs qui la contrôlent, notamment la lithologie, la végétation, le climat, la topographie et les formes d'occupations du sol. Cet indice permet de connaître l'état d'avancement de l'érosion hydrique dans le bassin versant, ainsi que d'en extraire certaines de ses formes. Pour le bassin versant de l'oued Issen, les résultats obtenus montrent que l'indice varie entre 0,3 et 0,6. Les valeurs les plus élevées (0,54-0,62) sont concentrées en haut, sur la rive droite et en bas, qui sont généralement des zones de végétation dégradée. Tandis que les valeurs moyennes et faibles (0,34-0,54) occupent le reste du bassin. Selon la classification adoptée par les chercheurs[21], les résultats correspondent aux types d'érosion suivants: décapage aréolaire, ravinement et mouvement de masse.

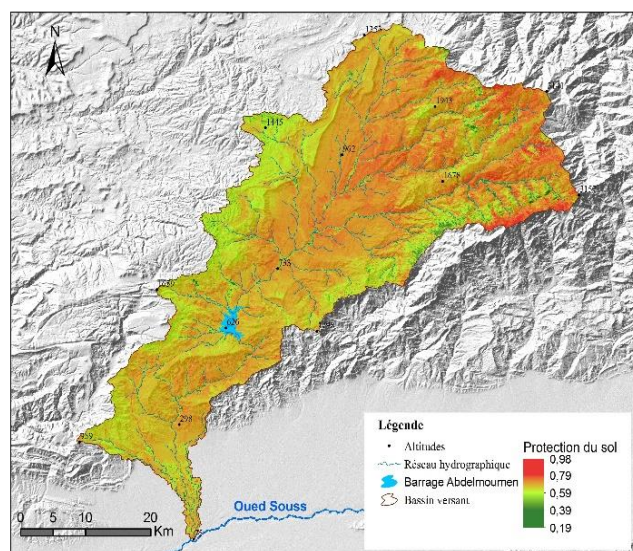


Fig. n°6 : Protection du sol par le couvert végétal (Xa)

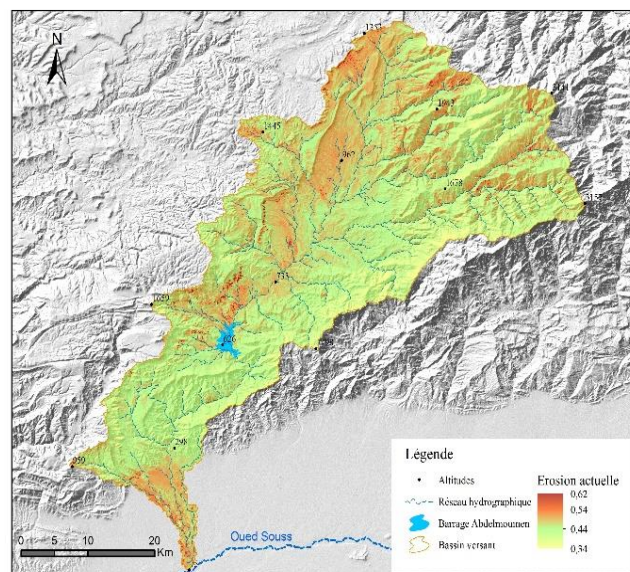


Fig. n°7 : État de l'érosion actuelle (Φ)

4.1.5. L'érosion potentielle (Z)

La valeur moyenne du coefficient d'érosion (Z) pour un bassin versant constitue une valeur de base pour tous les calculs du modèle EPM[7].

Le coefficient d'érosion est obtenu en combinant certains des facteurs contribuant au phénomène d'érosion hydrique, qui sont déterminés par la couverture végétale, la sensibilité des sols à l'érosion, l'érosion actuelle et la pente. La carte n° 4 montre le résultat de l'intégration de différentes bases de données des facteurs mentionnés. Cette évaluation qualitative de l'érosion a montré la prédominance des catégories faible et moyenne avec 46% et 29% de la superficie du bassin, alors que les catégories forte et très forte ne représentent que 9%. Les zones les plus exposées à l'érosion hydrique sont concentrées dans la partie nord-est et dans les zones centrales proches du barrage Abdelmoumen.

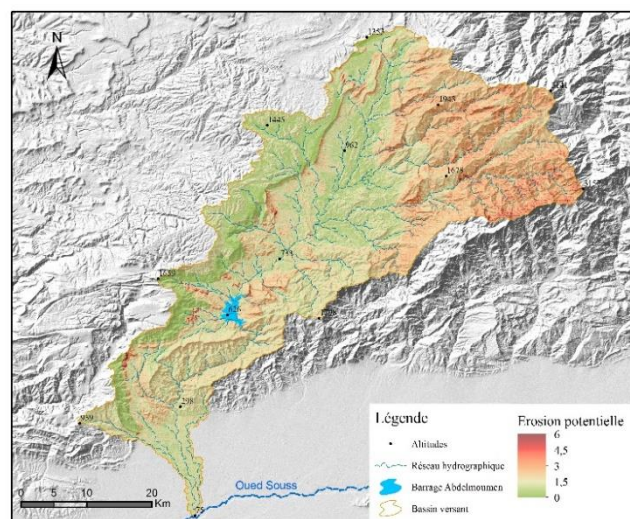


Fig. n°8 : Répartition spatiale de l'érosion potentielle (Z)

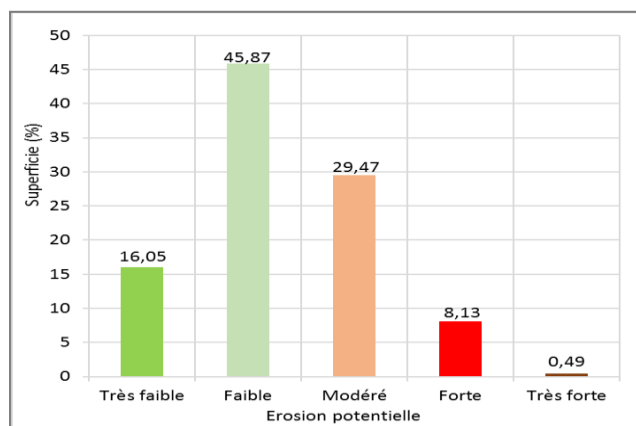


Fig. n°9 : Répartition de l'érosion potentielle selon la superficie

4.1.6. Les précipitations (H)

Les précipitations constituent un facteur fondamental dans le phénomène de l'érosion hydrique. Leur action directe commence dès les premiers instants des pluies (effet splash)[22–24], où les gouttes d'eau entrent en collision avec le sol, provoquant l'extraction des particules des sols. Puis l'effet s'intensifie avec l'apparition du ruissellement de surface, qui prend de nombreuses formes, telles que le ruissellement diffus, le ruissellement concentré. Il convient de noter que les averses orageuses ont également un rôle majeur dans l'érosion hydrique, en raison de leur impact fort et concentré dans le temps et dans l'espace.

Concernant le bassin versant de l'oued Issen, les précipitations moyennes sont d'environ 248 mm, oscillant entre 253 et 302 mm. Elles sont inégalement réparties selon les régions, et se décroît progressivement de l'amont vers l'aval. L'emplacement et les caractéristiques climatiques classent la zone d'étude parmi les régions continentales à climat semi-aride.

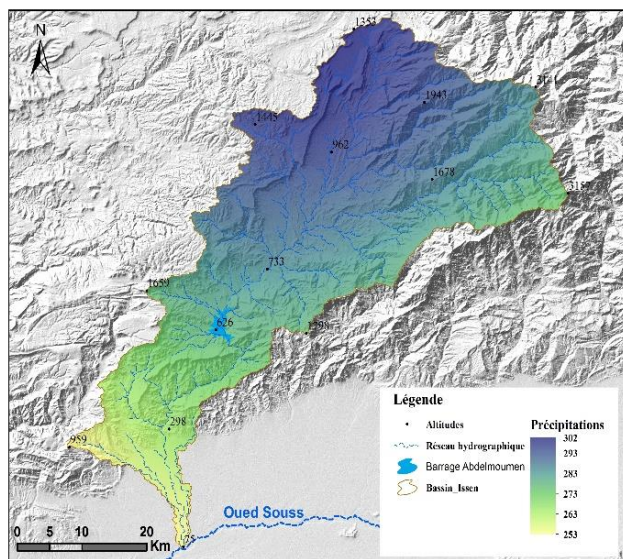


Fig. n°10 : Répartition des précipitations annuelles moyennes

4.1.7. La température (T)

La température est l'un des paramètres adoptés dans le modèle de Gavrilović, en raison de ses rôles importants, que ce soit dans l'augmentation du processus d'évapotranspiration ou dans la préparation de fragments des roches par la désagrégation thermique ou ce qu'on appelle la thermoclastie[25]. Pour le bassin versant de l'oued Issen, la température moyenne est de 18 °C et varie entre 15 et 20 °C sur l'ensemble du bassin versant.

Sur la base des résultats du calcul du coefficient selon la formule mentionnée précédemment dans le modèle, il s'avère que les valeurs sont affectées par le facteur d'élévation, car elles se diminuent progressivement à partir du sud-ouest du bassin, où les altitudes sont inférieures à 600 m, vers le nord-est, où les altitudes sont supérieures à 1600 m.

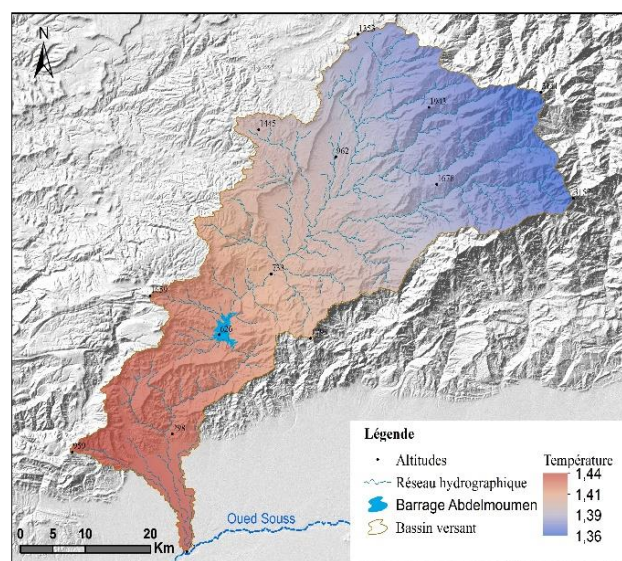


Fig. n°11 : Coefficient de température

4.2. Les pertes en sol (w)

L'application du modèle d'érosion potentielle (EPM) de Gavrilović dans le bassin versant de l'oued Issen a donné des valeurs comprises entre 32 et 19146 m³/km²/an. Alors que le taux d'érosion est de 3947 m³/km²/an. Ainsi, la quantité totale de terre perdue annuellement est estimée à environ 6 000 000 m³.

D'après les résultats de la répartition des pertes en sol, on conclut que 36% de la superficie totale du bassin est dominée par l'érosion à effet moyen. Alors que les zones les plus touchées par une érosion forte et très forte représentent 32%. Quant au reste du bassin, où l'effet de l'érosion est très faible et faible, il constitue 32%. Le phénomène affecte significativement les versants nord-est du bassin et les zones adjacentes aux barrages Abdelmoumen et Dkhila. Ces zones correspondent, du

point de vue topographique, aux versants caractérisés par de fortes pentes.

Tab. n°2 : Niveaux d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Issen

Intensité de l'érosion	Perte en sol (m ³ /km ² /an)	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Érosion très faible	32-1000	159,99	10,15
Érosion faible	1000-2000	352,74	22,38
Érosion moyenne	2000-4000	563,64	35,75
Érosion forte	4000-8000	461,32	29,26
Érosion très forte	8000-19146	38,77	2,46
Totale		1576,46	100,00

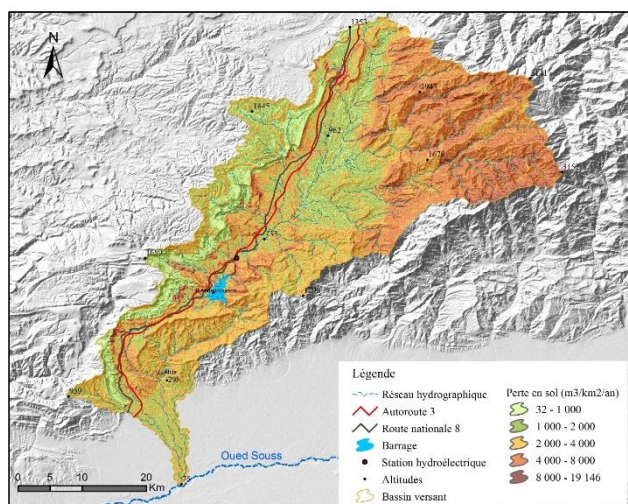


Fig. n°12 : Répartition spatiale de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Issen

Selon l'analyse statistique (en particulier l'analyse des coefficients de corrélation r et de détermination R^2), les facteurs contrôlant le phénomène d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Issen ont été classés selon leur importance comme suit : les types d'érosion, les pentes, la sensibilité des sols à l'érosion, la protection des sols par le couvert végétal, les précipitations et la température (Tab. n°3).

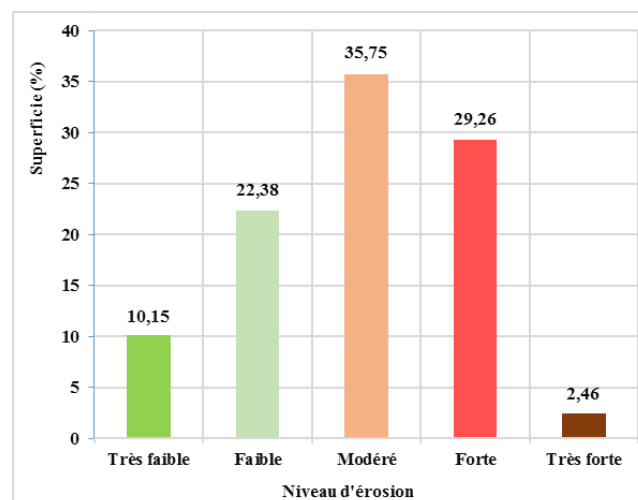


Fig. n° 13 : Répartition de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Issen

Tab. n°3 : Grille de corrélation entre les facteurs d'érosion dans le bassin versant d'Issen

	W	H	Ja	Phi	T	Xa	Y	Z
W	1	0,16	0,56	-0,09	-0,19	0,22	0,30	0,91
H	0,16	1	0,14	-0,07	-0,88	0,11	-0,17	-0,17
Ja	0,56	0,14	1	-0,40	-0,20	0,02	-0,39	0,56
Phi	-0,09	-0,07	-0,40	1	0,22	0,03	0,40	-0,12
T	-0,19	-0,88	-0,20	0,22	1	-0,05	0,12	-0,17
Xa	0,22	0,11	0,02	0,03	-0,05	1	-0,03	0,21
Y	0,30	-0,17	-0,39	0,40	0,12	-0,03	1	0,36
Z	0,91	0,12	0,56	-0,12	-0,17	0,21	0,36	1

5. Conclusion

L'application du modèle d'érosion potentielle (EPM) de Gavrilović, à l'aide des systèmes d'informations géographiques, a permis d'intégrer et superposer les différents facteurs qui contribuent au processus d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued d'Issen, et d'obtenir une évaluation qualitative et quantitative. Les résultats ont montré qu'une surface très importante du bassin, estimée à 67%, est sous l'influence d'une érosion moyenne, forte et très forte. Cette dégradation est le produit de plusieurs facteurs, dont le plus important est les versants abrupts, la fragilité du couvert végétal dans la majeure partie du bassin et la faible résistance des roches, qui prennent souvent la forme de roches clastiques ou détritiques.

Face à cette situation, le phénomène d'érosion hydrique entraîne non seulement la perte des sols, mais aussi la perte d'un des mécanismes d'équilibre des écosystèmes de la région. C'est aussi une réelle menace pour les équipements et infrastructures qui ont été réalisés, telle que les barrages (Abdelmoumen et Dkhila), la route nationale n° 8, l'autoroute n° 3 et la centrale hydroélectrique.



Contribution des auteurs

Abdelaziz Oulghazi : Collecte et analyse des données et interprétation des résultats.

Remerciement

Je tiens à remercier le laboratoire ESEAD et tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

6. Références bibliographiques

1. Jafari M, Tahmoures M, Ehteram M, Ghorbani M, Panahi F. Soil Erosion Control in Drylands. Cham: Springer International Publishing; 2022. 700 p.
2. CESE. La gouvernance par la gestion intégrée des ressources en eau au Maroc: Levier fondamental de développement durable. Imprimerie SIPAMA SARL [Internet]. 2014;103p. Disponible sur: www.cese.ma
3. Paul-Hus C. Méthodes d'étude de l'érosion et gestion des sites dégradés en Nouvelle-Calédonie. Centre Universitaire de Formation en Environnement, Université de Sherbrooke. 2011;127p.
4. Tahiri M, Tabyaoui H, El Hammichi F, Achab M, Tahiri A, El Hadi H. Quantification de l'érosion hydrique et de la sédimentation à partir de modèles empiriques dans le bassin versant de Tahaddart (Rif nord occidental, Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre. 2017;39:pp.87-101.
5. Dragičević N, Karleuša B, Ožanić N. A review of the Gavrilović method (erosion potential method) application. Građevinar. 2016;68(9):715-25.
6. Gavrilović S. Engineering of torrents and erosion. Journal of Construction (Special Issue), Belgrade, Yugoslavia. 1972;292p.
7. Gavrilovic Z, Stefanovic M, Milojevic M, Cotric J. Erosion potential method: an important support for integrated water resource management. Institute Development of Water Resources, 14p. 2004;14p.
8. Lakhili F, Chaaouan J, Qadem Z, Benabdelhadi M, Abderrahim L. Estimation de l'érosion des sols basée sur le SIG à l'aide de la méthode EPM dans le bassin versant de Beht. Environmental and Water Sciences, public Health and Territorial Intelligence Journal. 2021;5(2): pp.588-596.
9. Badawy HDS. An assessment of the accuracy of POWER global gridded climate dataset in reproducing surface air temperature in Egypt. Journal of Scientific Research in Arts. 2020;21(6):pp.93-135.
10. Ait Haddou M, Kabbachi B, Aydda A, Bouchriti Y, Gougueni H, En-Naciry M, Aichi A. Traditional practices: A window for water erosion management in the Argana basin (Western High Atlas Morocco). E3S Web Conf. 2022;337:7p.
11. Löwner R. Recherches sédimentologiques et structurales à l'articulation entre Haut et Moyen Atlas et la Haute Moulouya, Maroc. Von der Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt der Technischen Universität Berlin. 2009;212p.
12. Roch E. Histoire stratigraphique du Maroc. Notes Mém. Serv. Geol. Maroc, 80; 1950. 440 p.
13. Boutaleb S, Bouchaou L, Hsissou Y, Mudry J, Mania J, Chauve P. Hydrogeologic effects on the quality of water in the Oued Issen watershed, western Upper Atlas Mountains, Morocco. Hydrogeology Journal. 1 mai 2000;8(2):pp.230-238.
14. Tošić R, Dragičević S, Lovrić N. Assessment of soil erosion and sediment yield changes using erosion potential model—case study: Republic of Srpska (BiH). Carpathian journal of earth and environmental sciences. 2012;7(4):pp.147-154.
15. Remenieras G. L'hydrologie de l'ingénieur. Direction des études et recherches d'Electricité de France (EDF); 1986. 462 p.
16. Derouiche A, Bellot J, Cartagena D. Effet du couvert végétal sur le comportement hydrique et le transport solide dans une pinède à sous-bois arbustif et herbacé. Bull Réseau Erosion. 1997;17:pp.24-36.
17. Lavabre J, Andreassian V. La forêt: un outil de gestion des eaux? Forêt méditerranéenne. 2000;21(2):pp.146-153.
18. Rey F, Ballais JL, Marre A, Rovéra G. Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. Comptes Rendus Geoscience. 1 août 2004;336(11):pp.991-998.
19. Duhén LM. Comment prouver le rôle de la forêt vis-à-vis de l'érosion hydrique sur un bassin versant? Forêt méditerranéenne. 2012;33(4):pp.341-352.
20. Peltier JP. La végétation du bassin versant de l'Oued Sous (Maroc). Université Scientifique et Médicale de Grenoble. 1982;201p.
21. Zahnoun AA, Makhchane M, Chakir M, Al Karkouri J, Watfae A. Estimation and cartography the water erosion by integration of



- the Gavrilovic “EPM” model using a GIS in the Mediterranean watershed: Lower Oued Kert watershed (Eastern Rif, Morocco). *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*. 2020;5:pp.367-374.
22. Poesen J, Savat J. Detachment and transportation of loose sediments by raindrop splash: Part II Detachability and transport ability measurements. *CATENA*. 1 janv 1981;8(1):pp.19-41.
23. Marzen M, Iserloh T. Chapter 15 - Processes of raindrop splash and effects on soil erosion. In: Rodrigo-Comino J, éditeur. *Precipitation*. Elsevier; 2021. p. 351-71.
24. Zhu X, Yuan X, Lu E, Yang B, Wang H, Du Y, Singh AK, Liu W. Soil splash erosion: An overlooked issue for sustainable rubber plantation in the tropical region of China. *International Soil and Water Conservation Research*. 19 juill 2022;
25. Coque R. *Géomorphologie*. A. Colin; 1977. 430 p. (Collection U).