



Résumé :

Le bassin versant Zenaga (Gareb-Bouareg), province de Nador est le siège d'activité érosive intense, a fait l'objet d'évaluation du risque de l'érosion hydrique et des facteurs causaux par les modèles PAP/CAR et PAP/CAR modifié pour l'étude de la susceptibilité et le modèle RUSLE pour la quantification des pertes en sols. En plus, l'évaluation de l'impact des transformations à grande échelle de l'utilisation/ couverture des sols (LULC) sur la température de surface des sols (LST). L'analyse multitemporelle des données satellitaires Landsat-5 TM et Landsat-8 OLI des années 2007 et 2017 a été utilisée pour analyser la relation entre les indices de télédétection, à savoir NDVI (densité de végétation), MNDBI (terrain aride et zone bâtie), MNDWI (masses d'eau) et la LST afin d'identifier et clarifier les facteurs et mécanismes responsables de la dégradation. L'étude des processus et facteurs causaux a été réalisés en se basant sur la modélisation, la géotechnique et la télédétection.

Les résultats montrent que la distribution spatio-temporelle de l'indice LST pour 2007 et 2017 a considérablement évolué, les LST minimum et maximum pour juin étant respectivement de 24,89°C et 39,84°C en 2007 et de 30,48°C et 47,94°C en 2017. Sur dix ans, au niveau de la zone d'étude, les centroïdes LST ont changé d'emplacement, le centroïde EHLA ($\geq 35^\circ\text{C}$) a montré la plus grande dominance en 2017 par rapport au centroïde VHLA (30 - 35°C) qui était le plus dominant en 2007. La « LST » des terres arides, bâties et urbaines était supérieur à celle des zones occupée par la végétation et des zones aquatiques, ce qui a entraîné un effet « d'îlot de chaleur chaud ». La relation entre la LST et MNDBI était significativement positivement corrélée. En revanche, la LST était corrélée significativement négativement avec le NDVI, le MNDWI et le modèle numérique de terrain (MNT). L'analyse de régression a montré que les indices NDVI, MNDBI, MNDWI et MNT étaient des facteurs déterminants pour évaluer les effets des changements à grande échelle de LULC sur la LST avec une corrélation 96%. Les résultats pour différents occupation montrent une tendance au réchauffement du sol marquée par une augmentation des valeurs moyennes de la LST de l'ordre de 8°C en milieu urbain et de 5°C en milieu périurbain et rural.

La modélisation de la susceptibilité à l'érosion en se basant sur le modèle qualitative de l'érosion hydrique PAP/CAR a permis de déterminer les zones potentiellement vulnérables et la détermination des facteurs qui contrôlent en grande partie les états érosifs dans le bassin versant. L'introduction de la longueur de pente (LS) au lieu de la pente montre une distribution différente, les degrés d'érodibilité diminuent et suivent les longueurs de pentes faibles. Les classes d'érodibilités élevée et très élevée ont diminué avec des pourcentages de 3.17% et 0.57% respectivement alors qu'il était de 5.15% et 1.09% pour le modèle classique PAP/CAR. L'introduction du facteur type de sol montre que plus de 84.19% des terres ont une érodibilité faible et modérée. Les érodibilités fortes et extrêmes ont augmenté avec respectivement 4.45% et 2.22%. L'analyse de corrélation pour les différents états érosifs montre que 85.5% et 93.7% de la variabilité observée dans les états érosifs est expliquée par l'introduction des facteurs climatiques (a) et (b). L'introduction des types de sols et de la longueur de pente (LS) expliquent 26.9% de la variabilité observée des états érosifs résultants. Cependant, le modèle classique PAP/CAR n'explique que 3.5% des variabilités étudiée. L'introduction de facteur (LS), des types de sol et des facteurs climatiques a et b représentés par l'exposition des versants, l'érosivité des pluies (R), l'indice d'humidité (SMI) et la température de surface du sol (LST) ont montré leur fiabilité pour la caractérisation de l'érosion des sols dans le bassin versant Zenaga (Gareb-Bouareg). Les états les plus sévères de la modélisation PAP/CAR classique ont été convertis en états intermédiaires pour le modèle modifié. Les états érosifs forts et très forts du modèle classique sont représentés de manière exhaustive, ce qui est à l'opposé de la nouvelle approche de modélisation qualitatif établie. L'approche descriptive a montré que la perte de sol se manifeste par différentes formes d'érosion avec une prédominance de l'érosion en nappe (L) affectant 78.73% des terrains. L'approche d'intégration montre que les tendances ou susceptibilités de l'érosion hydrique au niveau du bassin versant Zenaga sont en fonction de la dynamique des facteurs responsables et des processus d'érosion, ce qui signifie qu'au sein d'un même état érosifs, il existe un ordre de priorité des tendances.

Les résultats de la quantification des pertes en sol par le modèle empirique RUSLE montre que l'érosion enregistre une moyenne tolérée de 45,182 t/ha/an, avec un maximum de 77,425 t/ha/an. La déviation standard, les coefficients de variation, la corrélation et l'analyse en composante principale (ACP), enregistrent des résultats fiables dans presque tous les facteurs.

L'étude des processus et facteurs causaux influençant l'état des ressources indique que le risque de l'érosion hydrique des sols ne cesse de s'imposer son poids. Ce processus environnemental rendu accéléré par l'action anthropique inquiète de plus en plus les autorités locales et les institutions en charges. Ce fléau avec l'intensification des effets d'instabilité climatique ces dernières années, aura sans doute des conséquences néfastes sur le climat et l'environnement de la région de Nador et le bassin versant Zenaga (Gareb-Bou Areg). La région inspire une dégradation intense des ressources naturelles liées au risque de l'érosion hydrique et la multiplication des facteurs de risque. Les contraintes au développement seront liées principalement à l'état des ressources fragilisées. Des dégradations sont ressenties au niveau des sols et de leur valeur foncière, de la perte de la biodiversité, de la qualité des eaux de surface et de l'infrastructure.

Mots clés: Risque de l'érosion hydrique, Modélisation, PAP/CAR et PAP/CAR modifiée/ Susceptibilité ; RUSLE/ Quantification des pertes en sol ; Télédétection, Facteurs causaux; Température de surface des sols (LST) ; Géostatistique, Développement durable.



RISK OF SOIL WATER EROSION; MODELING, REMOTE SENSING, AND GEOTECHNICS; ENVIRONMENTAL AND SOCIO-ECONOMIC IMPACTS IN THE REGION OF NADOR, MOROCCO

Abstract

The Zenaga watershed (Gareb-Bouareg), Nador province, is the site of intense erosive activity and has been the subject of a risk assessment and causal factors using PAP/CAR and modified PAP/CAR models to study the models to study susceptibility, and the RUSLE model to quantify soil quantification of soil losses. In addition, assessment of the impact of large-scale land use/land cover change (LULC) on soil surface temperature on soil surface temperature (LST). Multi-temporal analysis of Landsat-5 TM and Landsat-8 OLI satellite data for the years 2007 and 2017 was used to analyze the relationship between the remote sensing indices namely NDVI (vegetation density), MNDBI (dry land and built-up area), MNDWI (water bodies) and LST to identify and clarify the factors and mechanisms responsible for degradation. The study of processes and causal was carried out using modeling, geotechnics, and remote sensing.

The results show that the spatiotemporal distribution of the LST index for 2007 and 2017 has changed considerably, with the minimum and maximum LSTs for June being 24.89°C and 39.84°C respectively in 2007 and 30.48°C and 47.94°C in 2017. Over ten years, at the level of the study area, LST centroids have changed location, with the EHLA centroid ($\geq 35^\circ\text{C}$) showing the greatest dominance in 2017 compared to the VHLA centroid (30 - 35°C) which was the most dominant in 2007. The "LST" of arid, built-up, and urban land was higher than that of vegetated and aquatic areas, resulting in a "hot heat island" effect. The relationship between LST and MNDBI was significantly positively correlated. In contrast, LST was significantly negatively correlated with NDVI, MNDWI, and Digital Elevation Model (DEM). Regression analysis showed that NDVI, MNDBI, MNDWI, and DEM were key factors in assessing the effects of LULC's large-scale changes on LST, with a 96% correlation. The results for different occupancies show a soil warming trend marked by an increase in of 8°C in urban areas and 5°C in peri-urban and rural areas.

Erosion susceptibility modeling based on the PAP/CAR qualitative water erosion model was used to identify potentially vulnerable areas and the factors that largely control erosive conditions in the watershed. The introduction of slope length (SL) instead of slope shows a different distribution, with erodibility levels decreasing and following slope lengths. The high and very high erodibility classes decreased with percentages of 3.17% and 0.57% respectively, compared with 5.15% and 1.09% for the classic PAP/CAR model. The introduction of the soil type factor shows that over 84.19% of the land has low and moderate erodibility. Strong and extreme erodibility increased by 4.45% and 2.22% respectively. Correlation analysis for the different erosive states shows that 85.5% and 93.7% of the variability observed in the erosive states is explained by the introduction of climatic factors (a) and (b). The introduction of soil type and slope length (LS) explains 26.9% of the variability observed in the resulting erosive states. However, the classic PAP/CAR model explains only 3.5% of the variability studied. The introduction of factors (LS), soil types, and climatic factors a and b, represented by slope exposure, rainfall erosivity (R), moisture index (SMI), and soil surface temperature (LST) have proved reliable for characterizing soil erosion in the Zenaga watershed (Gareb-Bouareg). The most severe states of the conventional PAP/CAR modeling were converted to intermediate states for the modified model. The strong and very strong erosive states of the conventional model are exhaustively represented, which is the opposite of the new qualitative modeling approach. The descriptive approach showed that soil loss manifests itself in different forms of erosion, with a predominance of sheet erosion (L) affecting 78.73% of the land. The integration approach shows that the trends or susceptibilities of the Zenaga watershed are a function of the dynamics of the factors responsible and the erosion processes, which means that within a given erosive state, there is a prioritization of trends.

The results of quantification of soil losses by the empirical RUSLE model show that erosion registers a tolerated average of 45.182 t/ha/yr, with a maximum of 77.425 t/ha/year. Standard deviation, coefficients of variation, correlation, and principal component analysis (PCA) show reliable results for almost all factors.

The study of processes and causal factors influencing the state of resources indicates that the risk of water erosion of soils continues to impose its weight. This environmental process, accelerated by human activity, is of growing concern to local authorities and institutions. With the intensification of climatic instability in recent years, this scourge will undoubtedly have harmful consequences for the climate and environment of the Nador region and the Zenaga (Gareb-Bou Areg) watershed. The region inspires intense degradation of natural resources linked to the risk of water erosion and the multiplication of risk factors. The development will be hampered mainly by the weakened state of these resources. Degradation is felt in terms of soil and land value, loss of biodiversity, surface water quality, and infrastructure.

Keywords: Water erosion risk, Modeling, PAP/CAR and modified PAP/CAR/ Susceptibility; RUSLE/ Soil Loss quantification; Remote sensing, Causal Factors; Land Surface Temperature (LST); Geostatistics, Sustainable development.