Arbi Chafai, Khaled Taghouti and Nedhir Sebei
Contrôles géo-environnementaux de la réponse spatiale d'un petit bassin méditerranéen : morphométrie, géologie, sols et occupation des terres, et carte de sensibilité du bassin de l'Oued Ncham (Siliana, Tunisie)
International Journal Water Sciences and Environment Technologies
Vol. (xi), Issue 3, December 2026, pp. 19-25
e-ISSN: 1737-9350 p-ISSN: 1737-6688, | Open Access Journal |
www.jiste.org
Scientific Press International Limited
Received: June 2026 / Revised: August 2026 / Accepted: October 2026 / Published: December 2026

Contrôles géo-environnementaux de la réponse spatiale d'un petit bassin méditerranéen : morphométrie, géologie, sols et occupation des terres, et carte de sensibilité du bassin de l'Oued Ncham (Siliana, Tunisie)

Arbi Chafai[1], Khaled Taghouti[2], Nedhir Sebei[1]

1-Département de Géologie, Faculté des Sciences de Tunis, Université de Tunis El Manar, 2092, Tunisie.
2 Département de Génie Civil, Institut Supérieur des Études Technologiques de Siliana, Tunisie.

Résumé

La réponse des petits bassins versants méditerranéens aux sollicitations climatiques est hétérogène, car elle résulte de l'interaction entre le relief, la nature des roches, les sols et l'occupation des terres. Cette communication propose une lecture intégrée de ces contrôles dans le bassin de l'Oued Ncham (12,51 km², Siliana, semi-aride, ≈ 434 mm/an) et en déduit une carte de sensibilité par superposition multicritère sous SIG (pente, lithologie, sols, occupation des terres ; poids AHP). Le bassin, allongé (Kc = 1,51) et en stade de maturité (HI = 0,47), est établi sur des marnes et marno-calcaires du Crétacé supérieur recouverts de sols calcimorphes (rendzines 44,7 %) largement cultivés (54,7 %). La carte classe 16,3 % du bassin en sensibilité très forte et 31,7 % en sensibilité forte, principalement sur les sols minéraux bruts du sud, les rendzines cultivées des flancs de talwegs et les affleurements marneux du nord-est ; les sols bruns calcaires de l'axe de drainage jouent un rôle tampon. Le zonage fournit une base de priorisation des aménagements de conservation des eaux et des sols à l'amont du site de barrage.

Mots clés : morphométrie, lithologie, sols, occupation des terres, sensibilité à l'érosion, analyse multicritère, SIG, Oued Ncham, Tunisie

Geo-environmental controls on the spatial response of a small Mediterranean catchment: morphometry, geology, soils and land cover, and sensitivity map of the Oued Ncham basin (Siliana, Tunisia)

Abstract

The response of small Mediterranean catchments to climatic forcing is heterogeneous because it results from the interaction between relief, rock type, soils and land cover. This paper offers an integrated reading of these controls in the Oued Ncham catchment (12.51 km², Siliana, semi-arid, ≈ 434 mm/yr) and derives from it a sensitivity map obtained by multicriteria overlay in a GIS (slope, lithology, soils, land cover; AHP weights). The catchment, elongated (Kc = 1.51) and at a mature stage (HI = 0.47), is underlain by Upper Cretaceous marls and marly limestones covered by calcimorphic soils (rendzinas 44.7 %) that are largely cultivated (54.7 %). The map places 16.3 % of the catchment in the very high and 31.7 % in the high sensitivity class, mainly on the raw mineral soils of the south, the cultivated rendzinas of the gully flanks and the marl outcrops of the north-east; the calcareous brown soils along the drainage axis act as a buffer. The zoning provides a basis for prioritising soil and water conservation works upstream of the dam site.

Keywords: morphometry, lithology, soils, land cover, erosion sensitivity, multicriteria analysis, GIS, Oued Ncham, Tunisia

[1] Corresponding author: geologue.arbi@hotmail.com

1. INTRODUCTION

En domaine méditerranéen semi-aride, la forte variabilité pluviométrique, les orages intenses et la pression agricole ancienne rendent la réponse des bassins versants (ruissellement, érosion, concentration des écoulements) très contrastée, même à l'échelle de quelques kilomètres carrés [1, 2]. Comprendre l'origine de ce contraste est un préalable à la gestion des sols et des eaux, notamment à l'amont des retenues dont la durée de vie dépend de l'envasement.

Les travaux fondateurs de la géomorphologie quantitative ont montré que la morphométrie d'un bassin (hiérarchie du réseau, densité de drainage, forme, hypsométrie) renseigne sur son fonctionnement hydrologique et érosif [3-7]. Or la morphométrie, la géologie, les sols et l'occupation des terres sont souvent traitées séparément, alors qu'elles sont interdépendantes : la lithologie conditionne la perméabilité et la formation des sols, la structure oriente le réseau, le relief module l'énergie du ruissellement et l'occupation des terres modifie la protection de surface. Les outils de la géomatique (MNT, SIG) et l'analyse multicritère [8, 9] permettent de superposer ces facteurs et de produire des documents cartographiques directement utilisables par les gestionnaires. L'objectif de cette communication est de caractériser ces composantes dans le bassin de l'Oued Ncham, d'en dégager les combinaisons qui contrôlent sa réponse spatiale et d'en tirer une carte de sensibilité.

2. ZONE D'ETUDE

Le bassin de l'Oued Ncham (12,51 km² ; périmètre 18,99 km) se situe dans la délégation de Sidi Bourouis, gouvernorat de Siliana. Son exutoire correspond au site d'un barrage sur l'oued Ncham. Allongé selon une direction NNW–SSE sur environ 6,1 km, il s'étage de 521 à 703 m (Fig. 1a). Le climat est méditerranéen semi-aride inférieur à hiver frais (≈ 434 mm/an), avec des pluies concentrées en automne et au printemps, souvent sous forme d'averses intenses. Le substrat est formé de marnes et marno-calcaires du Crétacé supérieur (Coniacien–Santonien, Formation Aleg) affleurant en rive nord-est et à l'extrémité sud, le reste étant recouvert par le Quaternaire ; un accident NW–SE longe la bordure orientale (Fig. 1b).

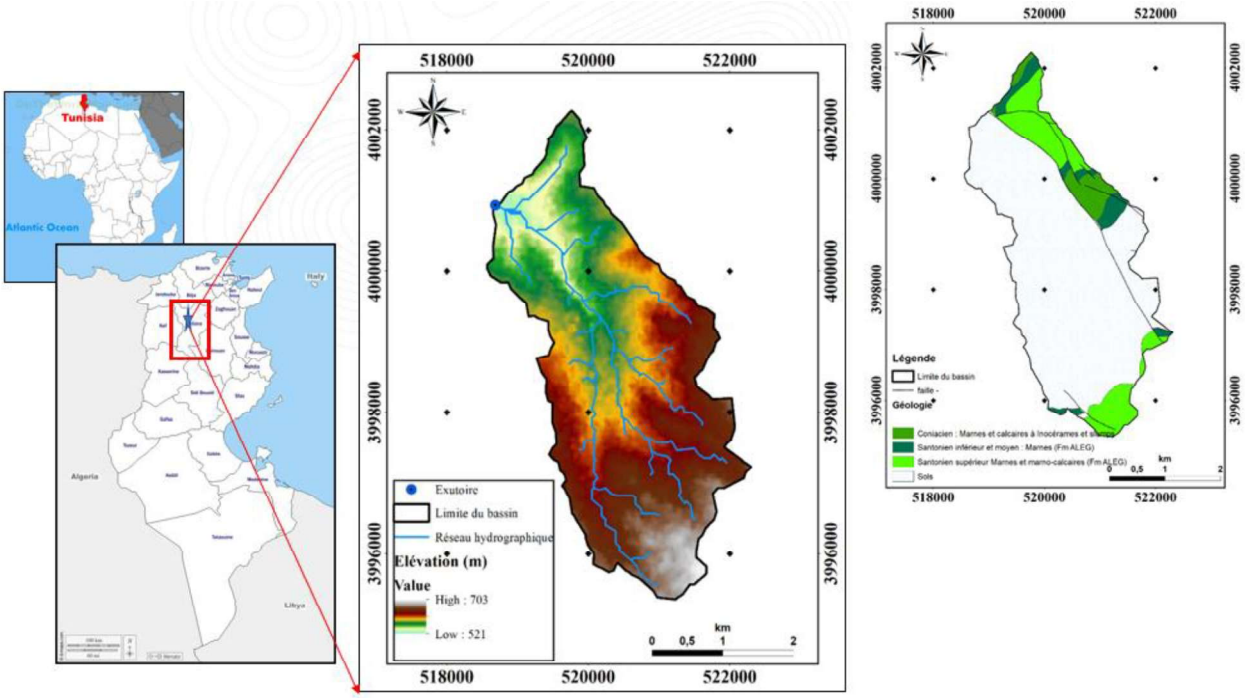

Fig. 1 - Localisation du bassin de l'Oued Ncham : (a) modèle numérique de terrain, exutoire et réseau hydrographique ; (b) carte géologique simplifiée et failles.

3. DONNEES ET METHODES

Les analyses reposent sur un modèle numérique de terrain d'environ 30 m de maille [source à préciser], la carte géologique au 1/50 000, la carte des unités pédologiques et une classification de l'occupation des terres issue d'une image satellitaire. Le réseau hydrographique a été extrait et hiérarchisé selon Strahler [5], et les paramètres

©2026 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

morphométriques (linéaires, de surface, de forme et de relief) ont été calculés sous SIG à partir des formules du Tableau 1. Les couches pente, lithologie, sols et occupation des terres ont été reclassées en scores de 1 (faible) à 5 (très fort) selon leur aptitude relative à produire du ruissellement et des pertes en terre (Tableau 4), puis combinées par somme pondérée $SI = \Sigma\, w_i \cdot s_i$. Les poids ont été déterminés par la méthode AHP [8] : pente, lithologie et sols sont jugés d'égale importance (0,286 chacun) et deux fois plus que l'occupation des terres (0,143), facteur modulateur (rapport de cohérence nul). L'indice a été découpé en quatre classes par seuils naturels de Jenks [10], et la stabilité du zonage a été testée avec quatre jeux de poids alternatifs. En l'absence de mesures d'érosion, la carte exprime une sensibilité relative et non des pertes en terre.

Tableau 1 - Formules appliquées pour déterminer les caractéristiques morphométriques.

Paramètre	Formule	Référence
Densité de drainage Dd (km/km²)	$Dd = \Sigma L / A$	[3]
Fréquence des tronçons Fs (/km²)	$Fs = \Sigma N / A$	[3]
Texture de drainage T (/km)	$T = N_1 / P$	Smith [11]
Rapport de bifurcation Rb	$Rb = N_u / N_{u+1}$	[4]
Rapport de longueur RL	$RL = \bar{L}_{u+1} / \bar{L}_u$	[4]
Longueur d'écoulement Lg (km)	$Lg = 1 / (2 \cdot Dd)$	[4]
Coefficient de compacité Kc	$Kc = 0{,}282 \cdot P / \sqrt{A}$	[12]
Rapport de circularité Rc	$Rc = 4\pi \cdot A / P^2$	[13]
Rapport d'élongation Re	$Re = 1{,}128 \cdot \sqrt{A} / Lb$	[7]
Facteur de forme Ff	$Ff = A / Lb^2$	[4]
Dénivelée H (m)	$H = Zmax - Zmin$	—
Rapport de relief Rh	$Rh = H / Lb$	[7]
Nombre de rugosité Rn	$Rn = H \cdot Dd$ (H en km)	[14]
Altitude moyenne Zmoy (m)	$Zmoy = \Sigma(a_i \cdot h_i) / A$	—
Intégrale hypsométrique HI	$HI = (Zmoy - Zmin) / (Zmax - Zmin)$	Strahler [5]
Pente moyenne (%)	$Pm = \Sigma(p_i \cdot s_i) / 100$	—

L : longueur des tronçons (km) ; N : nombre de tronçons ; N_u : nombre de tronçons d'ordre u ; $\bar{L}_u$: longueur moyenne des tronçons d'ordre u ; A : superficie (km²) ; P : périmètre (km) ; Lb : longueur du bassin, de l'exutoire au point le plus éloigné du contour (km) ; Zmax, Zmin : altitudes maximale et minimale ; a_i et h_i : surface et altitude moyenne de la tranche i ; p_i : milieu de la classe de pente i ; s_i : part (%) de la surface en classe i.

4. RESULTATS

4.1. Morphométrie, hypsométrie et pentes

Le réseau est d'ordre 3 : il compte 49 tronçons pour 25,28 km, dont 25 d'ordre 1 (13,96 km), 13 d'ordre 2 (8,11 km) et 11 d'ordre 3 (3,21 km) (Tableau 2). Le drain principal suit l'axe nord-ouest du bassin, tandis que les affluents d'ordre 2 se développent surtout dans la moitié sud. La densité de drainage (2,02 km/km²) et la fréquence des tronçons (3,92 /km²) traduisent un drainage de densité moyenne sur un substrat de perméabilité modérée ; la texture (T = 1,32 /km) est très grossière au sens de Smith [11] et la longueur d'écoulement (Lg = 0,25 km) indique des versants courts (Tableau 3). La valeur de Rb (1,55), obtenue par comptage de tronçons et non de cours d'eau fusionnés, ne sert qu'à la comparaison interne. Les indices de forme (Kc = 1,51 ; Rc = 0,44 ; Re = 0,65 ; Ff = 0,34) décrivent un bassin allongé, qui étire le temps de concentration.

©2026 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

Tableau 2 - Caractéristiques du réseau hydrographique par ordre de Strahler.

Ordre	Tronçons N	Longueur L (km)	L moyenne (km)	Rb	RL
1	25	13,96	0,558	1,92	—
2	13	8,11	0,624	1,18	1,12
3	11	3,21	0,292	—	0,47
Total	**49**	**25,28**	**0,516**	**1,55 (moy.)**	**—**

Tableau 3 - Principaux paramètres morphométriques du bassin.

Paramètre	Valeur	Paramètre	Valeur
Superficie A (km²)	12,51	Fréquence Fs (/km²)	3,92
Périmètre P (km)	18,99	Texture T (/km)	1,32
Longueur Lb (km)	≈ 6,1	Longueur d'écoulement Lg (km)	0,25
Altitudes min–max (m)	521–703	Compacité Kc	1,51
Dénivelée H (m)	182	Circularité Rc	0,44
Altitude moyenne Zmoy (m)	607,4	Élongation Re	0,65
Rapport de relief Rh	0,030	Facteur de forme Ff	0,34
Nombre de rugosité Rn	0,37	Intégrale hypsométrique HI	0,47
Densité de drainage Dd (km/km²)	2,02	Pente moyenne (%)	≈ 10,7

Le relief est modeste (H = 182 m sur 6,1 km ; Rh = 0,030 ; Rn = 0,37) : 72,8 % de la superficie se situe entre 551 et 641 m et les altitudes supérieures à 671 m ne couvrent que 3,7 % du bassin, au sud. L'intégrale hypsométrique (HI = 0,47) correspond, selon Strahler [5], à un stade de maturité (Fig. 2). Les pentes sont modérées (moyenne ≈ 10,7 % ; 51,3 % du bassin sous 10 %), mais 23,0 % de la superficie dépasse 15 % (dont 8,4 % au-delà de 20 %), en bandes étroites sur les flancs de talwegs (Fig. 3) : le relief agit comme amplificateur local de l'incision plutôt que comme facteur régional.

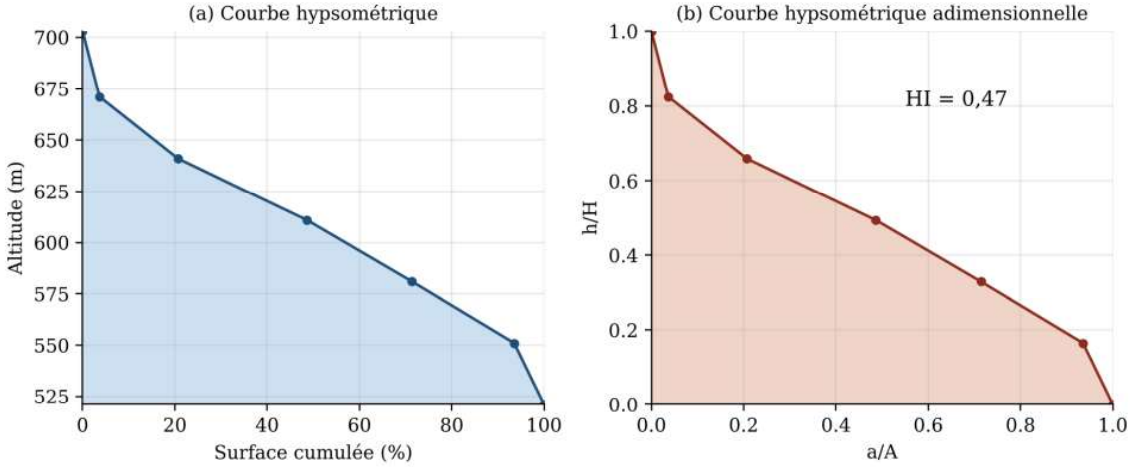

Fig. 2 - Courbe hypsométrique du bassin : (a) altitude en fonction de la surface cumulée ; (b) courbe adimensionnelle et intégrale hypsométrique.

©2026 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

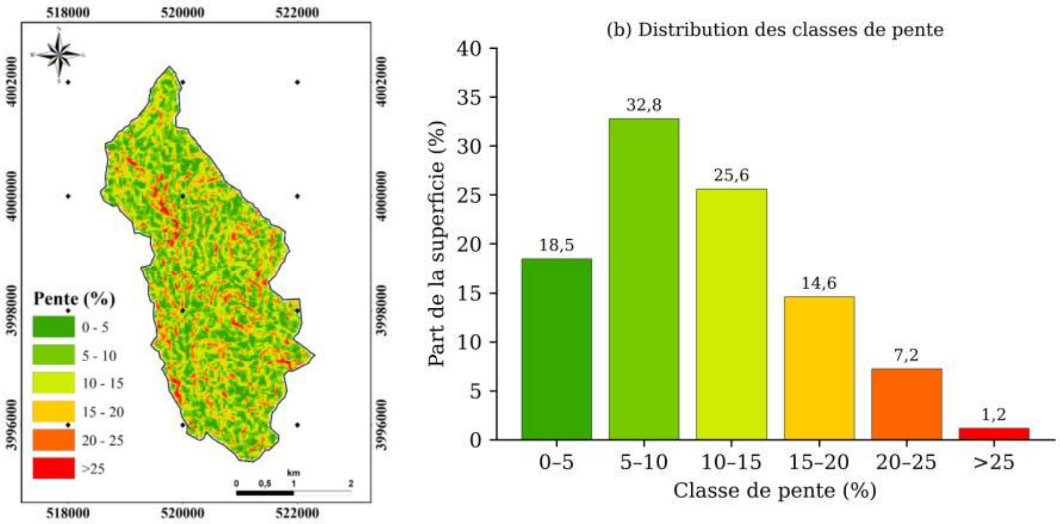

Fig. 3 - (a) Carte des pentes ; (b) distribution des classes de pente.

4.2. Lithologie, sols et occupation des terres

Les affleurements marneux et marno-calcaires couvrent 22,1 % du bassin (Santonien supérieur 13,5 % ; Santonien inférieur et moyen 4,5 % ; Coniacien 4,2 %), le reste (77,9 %) étant occupé par la couverture quaternaire. Les sols sont dominés par les rendzines (44,7 %), peu épaisses et sensibles à la battance, et par les sols bruns calcaires (22,7 %) localisés en bas de versant et le long de l'axe de drainage ; les sols minéraux bruts (14,8 %), très peu protégés, occupent surtout le sud-est. Les cultures (54,7 %) et les parcours (42,7 %) couvrent 97,4 % des terres ; le couvert arboré est quasi absent (0,3 %). L'orientation du drain principal, subparallèle à l'accident NW–SE, suggère en outre un contrôle structural de l'organisation du réseau (Fig. 1b). Les rendzines occupent 5,59 km², les sols bruns calcaires 2,84 km², les sols complexes 1,95 km² et les sols minéraux bruts 1,85 km² ; les cultures s'étendent sur 6,85 km² et les parcours sur 5,34 km² (Fig. 4). Les cultures occupent le sud, le centre et le nord-ouest, y compris les rendzines et les sols minéraux bruts, tandis que les parcours dominent la bordure orientale et le nord-est, c'est-à-dire en grande partie les affleurements marneux.

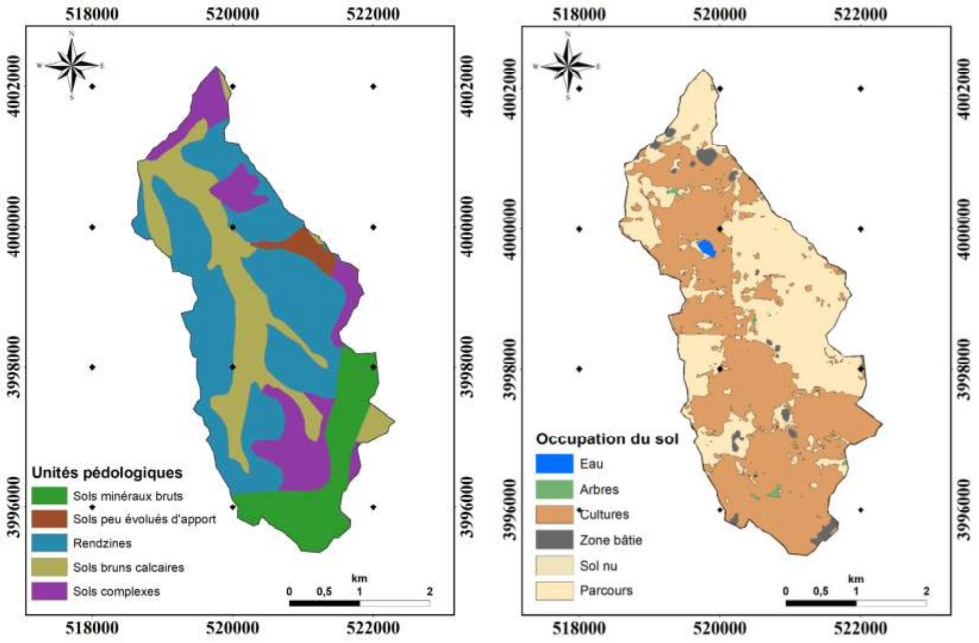

Fig. 4 - (a) Unités pédologiques ; (b) occupation des terres.

©2026 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

Tableau 4 - Facteurs de la carte de sensibilité : part du bassin et score de reclassement (1 = faible, 5 = très fort).

Facteur (poids)	Classe	Part (%)	Score
Pente (0,286)	0–5 / 5–10 / 10–15 / 15–20 / 20–25 / > 25 %	18,5 / 32,8 / 25,6 / 14,6 / 7,3 / 1,2	1 à 5
Lithologie (0,286)	Marnes du Santonien inf. et moyen	4,5	5
	Marnes et marno-calcaires du Santonien sup.	13,5	4
	Coniacien ; Quaternaire (Qs)	4,2 ; 77,9	3
Sols (0,286)	Sols minéraux bruts	14,8	5
	Rendzines	44,7	4
	Sols complexes ; sols peu évolués d'apport	15,6 ; 2,3	3
	Sols bruns calcaires	22,7	2
Occupation des terres (0,143)	Parcours (+ sol nu)	42,7	5 / 3
	Cultures	54,7	4
	Arbres, eau, zone bâtie	2,5	1

4.3. Carte de sensibilité

L'indice varie de 1,9 à 4,6 (moyenne ≈ 3,2). La sensibilité est très forte sur 2,04 km² (16,3 %), forte sur 3,97 km² (31,7 %), modérée sur 3,94 km² (31,5 %) et faible sur 2,57 km² (20,6 %) (Fig. 5, Tableau 5). Elle est maximale sur les sols minéraux bruts (94,5 % en classes forte et très forte), élevée sur les rendzines (64,6 %), les marnes du Santonien (72 à 90 %) et les pentes supérieures à 15 % (74 à 84 %), et très faible sur les sols bruns calcaires (4,1 %), qui forment le long de l'axe de drainage une bande tampon. Quatre ensembles de sensibilité très forte se distinguent : l'extrémité sud et sud-est, les flancs de talwegs pentus du drain principal, la bordure nord-est marneuse et quelques taches de rendzines cultivées au nord. Le zonage est stable : quel que soit le jeu de poids testé, au moins 99 % de la superficie reste dans la même classe ou une classe voisine et le noyau de sensibilité est conservé.

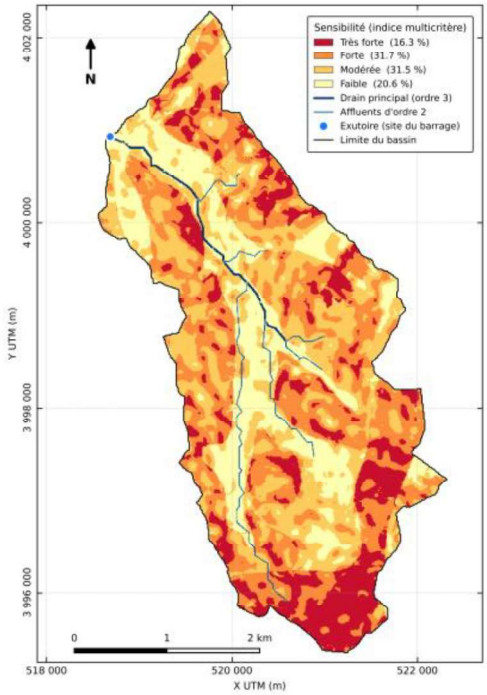

Fig. 5 - Carte de sensibilité du bassin de l'Oued Ncham (superposition pondérée de la pente, de la lithologie, des sols et de l'occupation des terres ; classes de Jenks).

©2026 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

Tableau 5 - Classes de sensibilité.

Classe	Indice SI	Surface (km²)	Part du bassin (%)
Faible	< 2,80	2,57	20,6
Modérée	2,80 – 3,20	3,94	31,5
Forte	3,20 – 3,58	3,97	31,7
Très forte	> 3,58	2,04	16,3
Total		**12,51**	**100**

5. DISCUSSION

La réponse spatiale du bassin résulte d'une combinaison de contrôles plutôt que d'un facteur dominant. La lithologie joue le rôle de premier ordre en gouvernant la perméabilité, l'altérabilité et la nature des sols calcimorphes ; la structure organise le réseau ; le relief amplifie localement l'incision ; l'occupation des terres, seul facteur modifiable par la gestion, module la protection de surface. Plus de la moitié du bassin est cultivée, y compris sur des rendzines peu épaisses, et les cultures fournissent 61 % des surfaces en sensibilité forte et très forte. Ces constats rejoignent ceux d'études menées dans d'autres bassins marneux de Tunisie et du pourtour méditerranéen. Les limites de l'approche tiennent au caractère relatif de la carte, non validée par des mesures de terrain, au jugement raisonné des scores et des poids, et à la résolution de la carte géologique et du MNT.

6. CONCLUSION

L'approche intégrée permet de hiérarchiser les secteurs du bassin de l'Oued Ncham : 48 % de la superficie relève des classes de sensibilité forte et très forte, avec un noyau stable constitué des sols minéraux bruts du sud, des rendzines cultivées sur flancs de talwegs et des marnes du nord-est. Les priorités de conservation à l'amont du barrage sont ainsi (1) la couverture permanente et la maîtrise du pâturage au sud, (2) les banquettes, cultures en courbes de niveau et seuils sur les flancs cultivés, (3) la gestion des parcours et la lutte contre le ravinement au nord-est, et (4) la protection des sols bruns calcaires de l'axe de drainage. La validation de la carte par l'inventaire des formes d'érosion et la modélisation RUSLE [15] constitue la suite logique de ce travail.

REFERENCES

[1] Poesen, J.W.A., Hooke, J.M. (1997). Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environments of southern Europe. Progress in Physical Geography, 21(2), 157–199.
[2] García-Ruiz, J.M., Beguería, S., Nadal-Romero, E., González-Hidalgo, J.C., Lana-Renault, N., Sanjuán, Y. (2015). A meta-analysis of soil erosion rates across the world. Geomorphology, 239, 160–173.
[3] Horton, R.E. (1932). Drainage basin characteristics. Transactions of the American Geophysical Union, 13, 350–361.
[4] Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins. Geological Society of America Bulletin, 56, 275–370.
[5] Strahler, A.N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin, 63, 1117–1142.
[6] Strahler, A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union, 38(6), 913–920.
[7] Schumm, S.A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geological Society of America Bulletin, 67, 597–646.
[8] Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.
[9] Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science, 20(7), 703–726.
[10] Jenks, G.F. (1967). The data model concept in statistical mapping. International Yearbook of Cartography, 7, 186–190.
[11] Smith, K.G. (1950). Standards for grading texture of erosional topography. American Journal of Science, 248, 655–668.
[12] Gravelius, H. (1914). Grundriss der gesamten Gewässerkunde, Band 1: Flußkunde. Göschen, Berlin.
[13] Miller, V.C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area. Columbia University, Technical Report 3.
[14] Melton, M.A. (1957). An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology. Columbia University, Technical Report 11.
[15] Renard, K.G. et al. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the RUSLE. USDA Agriculture Handbook 703.

©2026 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688