
Utilisation du modèle PAP/CAR et du SIG pour un zonage du risque d'érosion hydrique

Exemple du bassin versant de Tessa (Tunisie)

Nassira Zouaoui, Radhia Mansour, Abdessalem El Ghali

*Laboratoire de géodynamique et télédétection, Faculté des sciences de Bizerte,
Université de Carthage, Zarzouna, 7021, Bizerte, Tunisie
master.nassira@gmail.com*

RÉSUMÉ. Dans les régions méditerranéennes humides en particulier le nord-ouest de la Tunisie, le bassin versant de Tessa est caractérisé par des pluies torrentielles et irrégulières, combinées à une déforestation importante, provoquant une érosion sévère du sol. Le processus d'érosion hydrique est très fréquent et change d'aspect dynamique selon l'évolution et la variation spatiale de la nature lithologique des roches, la géomorphologie des paysages, la géométrie des bassins versants et leur situation bioclimatique. Dans ce cadre d'étude, un organigramme méthodologique adéquat a été suivi en appliquant la méthode de cartographie d'érosion PAP/CAR qui se base sur le principe de pondération des principaux facteurs qui contrôlent le fonctionnement érosif : le couvert végétal, la pente et la lithologie. L'interaction des cartes résultantes et leur évolution spatio-temporelle à l'échelle du bassin versant de Tessa a permis d'établir un zonage cartographique par classement de la zone d'étude en plusieurs secteurs selon leur degrés de susceptibilité rangés en 5 niveaux d'érosion avec des pourcentages de 27,74 % pour l'année 1985, 27,55 % pour 2003 et 27,81 % pour 2017 pour les classes élevée et très élevée de la surface totale de la zone d'étude.

ABSTRACT. In the humid Mediterranean regions, particularly the NW of Tunisia, the Tessa catchment area is characterized by torrential and irregular rains, combined with significant deforestation, which causes severe erosion that carries away and redistributes the soil. The process of water erosion is very frequent and changes its dynamic aspect according to the evolution and spatial variation of the lithological nature of rocks, the geomorphology of landscapes, the geometry of watersheds and their bioclimatic situation. In this study, an appropriate methodological flowchart was followed by applying the PAP/RAC erosion mapping method, which is based on the principle of weighting the main factors that control erosive functioning: vegetation cover, slope and lithology. The interaction of the resulting maps and their spatial and temporal evolution at the scale of the Tessa watershed made it possible to establish a cartographic zoning by classifying the study area into several sectors according to their degrees of susceptibility arranged in 5 levels with percentages of 27.74% for the year 1985,

27.55% for 2003 and 27.81% for 2017 for the high and very high classes of the total area of the study area.

MOTS-CLÉS : cartographie, érosion hydrique, PAP/CAR, système d'information géographique (SIG), évolution spatiotemporelle.

KEYWORDS: cartography, water erosion, PAP/CAR, geographic information system (GIS), spatio-temporal evolution.

DOI: 10.3166/rig.2020.00096 © 2019 Lavoisier

1. Introduction

En Tunisie, la prédominance de roches de surface peu résistantes, l'irrégularité de climat, la torrencialité des écoulements, la faible densité du couvert végétal et la surexploitation des terres sont particulièrement favorables à l'accélération du phénomène d'érosion hydrique qui menace gravement les potentialités en eau et en sol (Ben Cheikha et Gueddari, 2008). Notre étude vise à déterminer les zones à risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant d'oued Tessa en élaborant des cartes des risques érosifs.

Le modèle PAP/CAR s'applique en trois étapes, une première qui est prédictive et basée sur l'analyse des facteurs naturels influençant l'érosion hydrique qui sont : la pente, la lithologie, le couvert végétal et l'occupation des sols. Une deuxième est descriptive et cartographique mettant en évidence les formes et les processus des pertes en sol. Une troisième et dernière étape représente une combinaison des données sous formes de cartes thématiques numériques qui reflètent la réalité de terrain, la

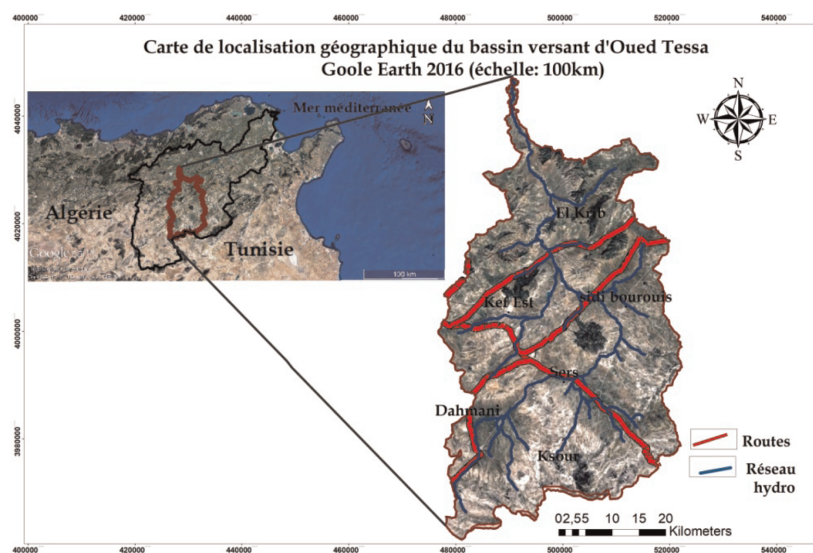


Figure 1. Situation géographique du bassin versant de l'oued Tessa

dégradation du sol et l'évolution spatio-temporelle d'érosion pour les années 1985, 2003 et 2017.

Le but de cette étude est de montrer l'efficacité de la méthode PAP/CAR à déterminer les zones les plus vulnérables et sensibles à l'érosion hydrique dans le bassin versant de Tessa.

2. Zone d'étude

2.1. Situation géographique

Le bassin versant de l'oued Tessa se situe dans le nord-ouest de la Tunisie. C'est un sous-bassin versant de la Medjerda qui s'étend sur environ 2 390 km² (figure 1). Il est

Tableau 1. Les Caractéristiques morphométriques du bassin versant

Surface	2390 km ²
Périmètre	315 km
Indice de compacité de Gravélius	1.8
Longueur du talweg principal	141 km

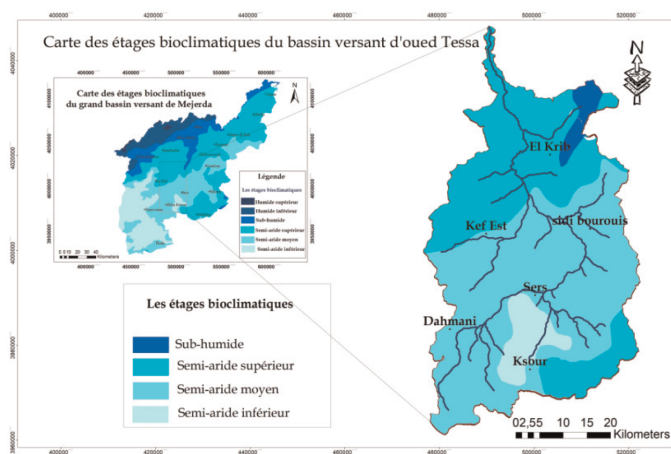


Figure 2. Carte des étages bioclimatiques du bassin versant de l'oued Tessa

formé d'une succession de petites plaines entaillées par des petites vallées encaissées. Son exutoire est situé légèrement à l'amont de Bou Salem (Mjeira, 2016).

Il appartient à la zone de Tell qui représente la région collinaire présentée par les vallées de la Medjerda, les plaines de Siliana, Sers et Kef qui sont favorables au développement de la céréaliculture et périmètres irrigués.

Le bassin versant de Tessa se situe sur une altitude comprise entre 80 m à l'aval et 246 m en amont où l'oued Tessa est l'un des affluents de la rive droite de la Medjerda (oued Mallègue, oued Siliana et oued Tessa) qui découpent les versants nord de la Dorsale et les plaines telliennes. Son indice de compacité est de l'ordre de 1,8 (tableau 1) favorisant l'érosion en nappe.

Tableau 2. Données de précipitation du bassin versant Tessa

Gouvernorat	Station pluviométrique	Latitude	Longitude	P (mm)	Indice d'Arnoldus	Indice de Renard R (mm)
Kef	Ain Fedhil	35,88278	9,010834	308	5,2	490,3586
	Ain S'koum	35,86666	8,888333	408	44,89	771,0987
	Ain Zarga Ruine Roma	35,8	8,793056	457	40,72	925,5763
	Ain Zeligua	35,86583	8,831667	380	51,37	687,6995
	Borj El Aifa	36,21778	8,853333	442	70,34	877,1563
	Coop Ettakadem	36,24139	8,988334	375	21,4	673,1897
	Dahmani Delegation	35,94444	8,833055	381	39,65	690,6155
	Djebel Kbouch PF	36,22306	8,899445	444	51,27	883,5553
	Dehmani Elevage	35,92417	8,810833	211	26,55	266,7116
	Dehmani Municipalite	35,94222	8,830833	421	91,86	811,0382
	Dehmani Sonam	35,94639	8,831388	175	20,48	197,3506
	El Alia Sers UCP	36,09444	8,994445	350	69,65	602,4163
	El Mgassel C.R.A	36,40583	8,889167	333	19,48	556,0097
	Elles Ecole Sers	35,915	9,088333	431	45,37	842,2782
	Fath Tessa	36,065	8,949445	338	51,31	569,5122
	Ksour Ecole	35,90083	8,889167	383	66,86	696,4616
	Labar Ecole Sers	35,91861	9,091111	369	50,75	655,9332
	Lorbeus CTV	36,09889	8,926945	314	41,31	505,8292
	Mahassen El Mghassel	36,26389	8,810555	419	31,27	804,844
	Ouled El Beji	36,17889	8,905	393	16,93	725,9708
	Sers Agricole	36,06639	9,037222	141	12	139,3766
	Sers Delegation	36,07195	9,023611	395	12,03	731,9282
	Le Sers Centre Dempl	36,07639	8,985	380	4,51	687,6995
	Zaafrane UCP	36,18	8,821667	498	68	1062,885
	Zaafrane Gare	36,16361	8,836111	458	0,55	928,8392
	Zouarine Gare	36,02417	8,904445	398	60,79	740,8988
Siliana	Ain Tabia	36,27694	-9,178889	397	67,62	737,904
	El Haouem	36,22222	-8,8225	309	56,27	492,9244
	Krib Ferme Cossem	36,31889	-9,1375	555	82,2	1265,49
	Sidi Bourouis Delega	36,18667	-9,139444	0	0	0

2.2. Bioclimat

Le bassin versant de Tessa est caractérisé par des pluies torrentielles et irrégulières et se caractérise par un bioclimat allant de semi-aride inférieur à subhumide (figure 2).

Le climat aride, la fragilité de milieu naturel et l'utilisation intensive des sols (Mounia *et al.*, 2017) par le domaine agricole pour répondre aux besoins alimentaires de la population sont des facteurs principaux de la surexploitation de ces terres. Cette surexploitation qui dépasse la capacité de production des ressources naturelles entraîne la dégradation de ces ressources limitées.

Il compte 31 stations pluviométriques. L'étude se base sur les séries mensuelles des précipitations durant la période allant de 1987 à 2015 où le bassin reçoit 350,42 mm de pluies irrégulières et intenses dans le temps et dans l'espace (tableau 2).

L'analyse des données de précipitation permet de comprendre les tendances climatiques actuelles (Maamar-Kouadri *et al.*, 2016) et d'expliquer les phénomènes d'érosion qui touchent la zone d'étude (Giaccone *et al.*, 2015).

Pour relier la pluviométrie avec le taux d'érosion, il est utile d'utiliser l'indice d'Arnoldus et de déterminer l'érosivité des pluies dans le temps et dans l'espace en

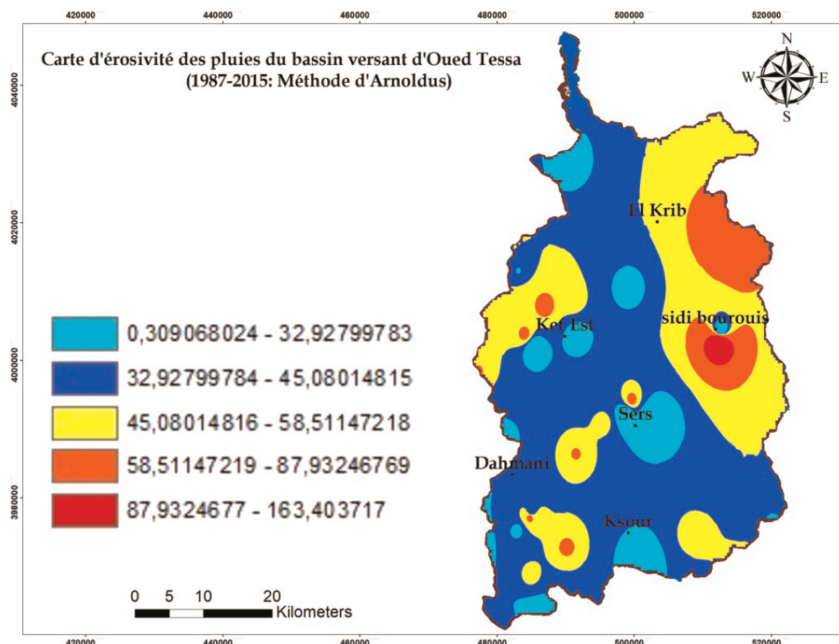


Figure 3. Erosivité des pluies du bassin versant de l'oued Tessa

Tableau 3. Classes de l'indice d'Arnoldus (CEC, 1992)

Classes	Description	Indice d'Arnoldus (1980)
1	Très faible	< 60
2	Faible	60-90
3	Moyenne	90-120
4	Elevée	120-160
5	Très élevée	> 160

élaborant une carte d'érosivité des pluies (figure 3) déterminant les zones sensibles à l'érosion hydrique.

Les valeurs de l'indice d'Arnoldus sont complètement différentes de celles obtenues par l'indice de Fournier car cet indice prend en considération la pluviométrie mensuelle des douze mois de l'année rendant ses valeurs plus proches

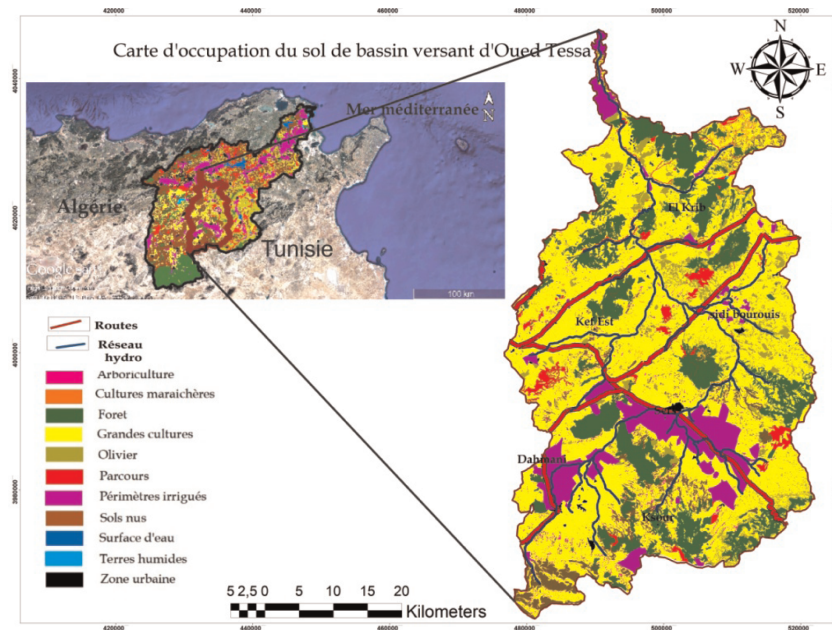


Figure 4. Occupation du sol du bassin versant de l'oued Tessa

de la réalité (Maamar-Kouadrie *et al.*, 2016) selon la formule (Arnoldus (d'), 1980) (équation (1)) :

$$IA = \sum_{I=1}^{12} (PII/P) \quad (1)$$

Avec :

Pi = Pluie moyenne de chaque mois (mm) ;

P = pluviosité moyenne annuelle (mm)

L'analyse de la carte d'érosivité des pluies montre que les parties NE et SW de la zone d'étude sont caractérisées par une érosivité moyenne et élevée à très élevée avec un indice de pluie qui varie entre 45,08 et 163,40 alors que le reste de bassin est à érosivité des pluies faible avec des valeurs entre 0,30 et 45.

Selon le tableau des classes de l'indice d'Arnoldus (tableau 3) le risque d'érosivité des pluies est faible à moyen pour l'ensemble des stations du bassin versant d'oued Tessa.

Tableau 4. Les pourcentages des occupations du sol dans le bassin d'oued Tessa

Occupation du sol	Surfaces (ha)	Pourcentage de la surface
Arboricultures	7 390	3,092 %
Grandes cultures	144 013	60,257 %
Cultures maraichères	2 437	1,019 %
Forêt	38 098	15,94 %
Sols nus	8 895	3,722 %
Olivier	10 338	4,326 %
Parcours	4 745	1,986 %
Périmètres irrigués	21 948	9,183 %
Surface d'eau	17	0,007 %
Zone urbaine	1 106	0,463 %
Terres humides	13	0,005 %

2.3. Occupation du sol

Le bassin versant présente des écosystèmes forestiers et des agro-systèmes à base principalement de grandes cultures, d'arboricultures et des périmètres irrigués. Cette diversification permet de fixer les sols et même les habitants pour diminuer la migration vers les grandes villes (figure 4).

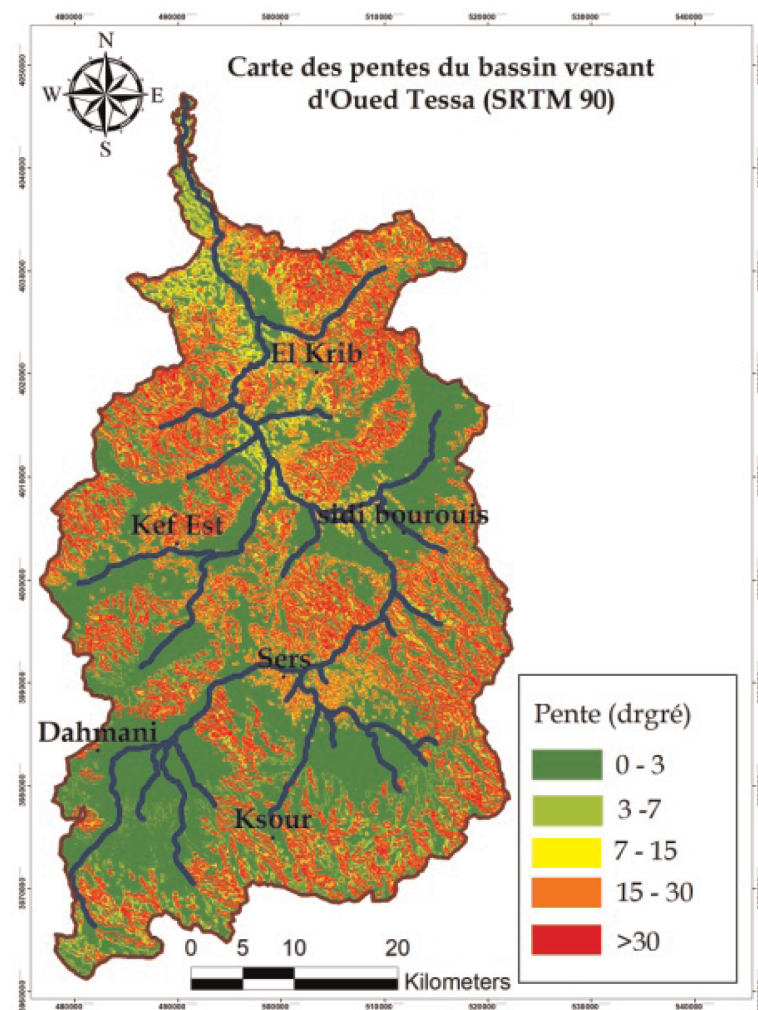


Figure 5. Pentes du bassin versant de l'oued Tessa

L'érosion hydrique est un phénomène complexe qui affecte les terres de grandes cultures et pose un problème important pour la durabilité des niveaux de production des céréales (Jebari et Bensalah, 2014).

Les classes de l'occupation (tableau 4) du sol dans le bassin versant d'oued Tessa sont déterminées à partir de la carte agricole où la végétation naturelle représente 15,94 % de la surface totale du bassin et les terrains agricoles occupent 77,877 %.

La classification permet de distinguer deux catégories d'occupation du sol :

- Occupation du sol non concernée par l'érosion hydrique qui est les habitats avec une classe de 1 106 hectares ;
- Occupation du sol influencée par l'érosion hydrique qui sont les grandes cultures, les arboricultures, les cultures maraîchères, les périmètres irrigués, les oliviers et les terrains incultes. Ils occupent 199 766 hectares de la superficie totale du bassin de l'oued Tessa.

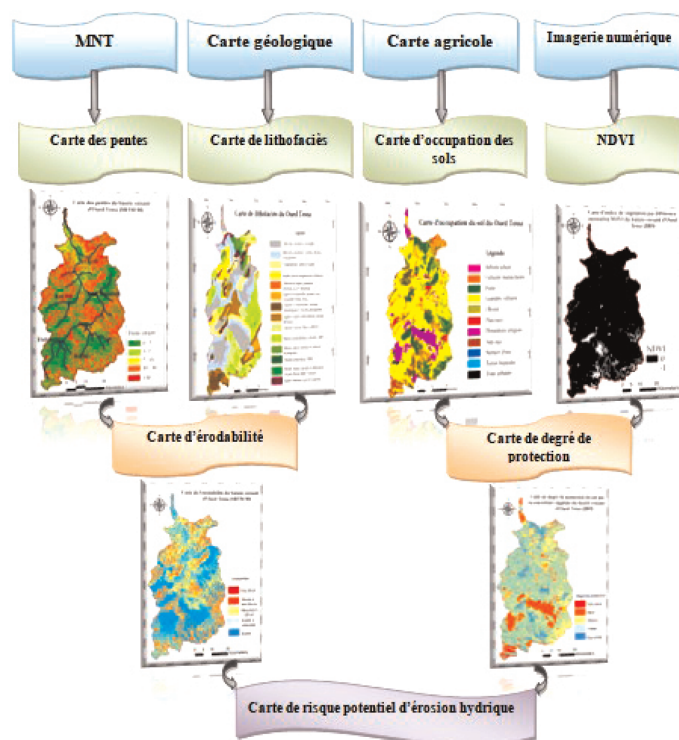


Figure 6. Organigramme méthodologique

L'intervention de l'homme par la recherche de modes d'exploitation des ressources naturelles joue un rôle important dans l'accélération du phénomène d'érosion hydrique. Par conséquent les pertes en terres sont très variables et peuvent dépasser parfois les 60 t/ha/an (Jebari et Bensalah, 2014).

2.4. Relief

Les positions topographiques, la nature des sols ainsi que les systèmes d'exploitation de ces derniers sont les principaux paramètres responsables d'une aridité, atténuée ou accentuée.

Les terres pentues qui représentent 35,568 % (pente forte 14,243 % et pente très forte 21,325 %) du bassin versant, couvertes d'une végétation vulnérable et

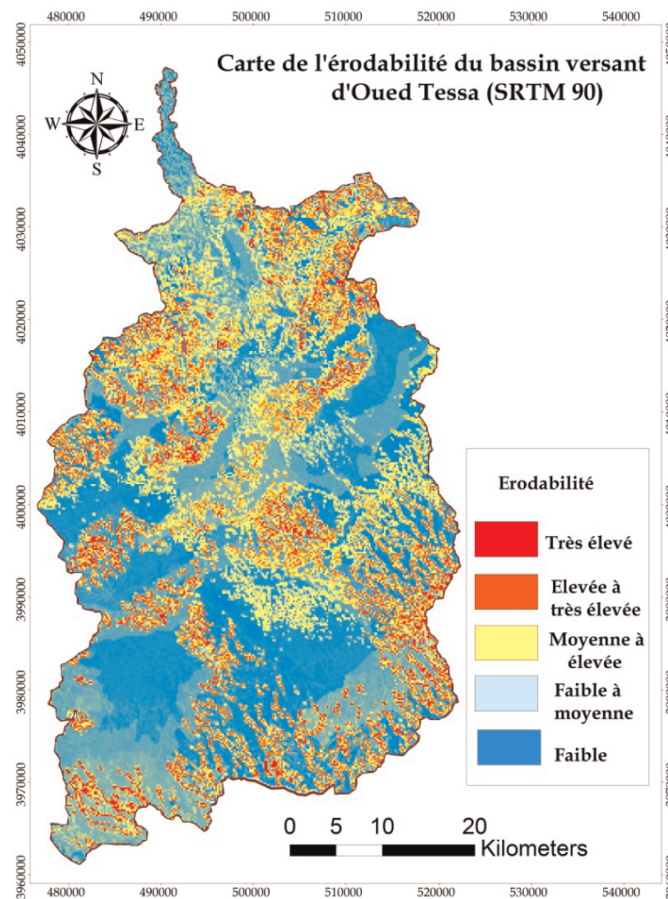


Figure 7. Carte d'érodabilité

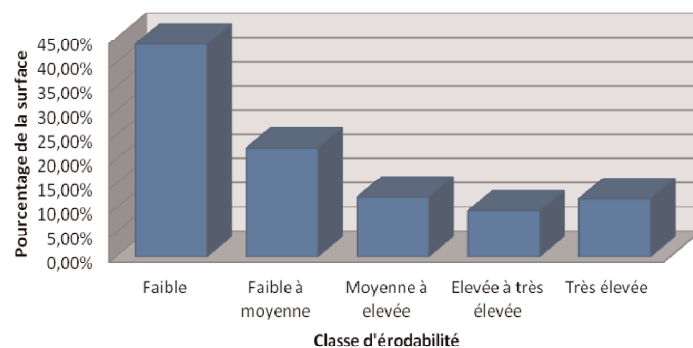


Figure 8. Histogramme de pourcentages des superficies en fonction des classes d'érodabilité

Tableau 5. Les pourcentages de degré de protection du sol dans le bassin de l'oued Tessa

Année	Degré de protection	Pourcentage de la surface
1985	Très faible	9,04 %
	Faible	63,43 %
	Moyen	13,79 %
	Elevé	11,08 %
	Très élevé	2,67 %
2003	Très faible	12,29 %
	Faible	62,21 %
	Moyen	11,92 %
	Elevé	11,06 %
	Très élevé	2,53 %
2017	Très faible	9,09 %
	Faible	63,41 %
	Moyen	13,76 %
	Elevé	11,08 %
	Très élevé	2,67 %

surexploitées par l'homme, souffrent beaucoup plus que l'ensemble des plaines des eaux de ruissellement (figure 5).

La perte des sols peut être expliquée par la perte de la végétation naturelle, l'appauvrissement de la biodiversité et le dysfonctionnement du système hydraulique qui vont causer les inondations grâce au gonflement des oueds par les eaux qui ruissellent et n'alimentent pas suffisamment les nappes.

3. Méthodologie

La présente étude consiste à cartographier l'évolution spatio-temporelle des zones à risque érosif dans le bassin versant d'oued Tessa dans le nord-ouest de la Tunisie pour les années 1985, 2003 et 2017 par la méthode PAP/CAR. Pour cela, il est utile d'utiliser le modèle numérique de terrain provenant des images du radar GDEM de 90 m de résolution et l'imagerie satellitaire Landsat 7 et 8 ainsi que les données géologiques, d'occupation des sols et climatiques en suivant un organigramme méthodologique adéquat (figure 6).

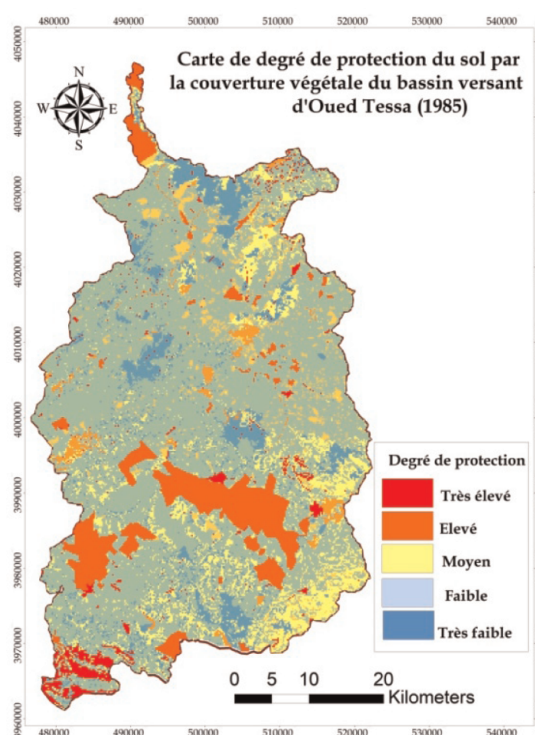


Figure 9. Carte de degré de protection 1985

Pendant les années 1990, la FAO (Food And Agriculture Organization), le DGCONA (Direction générale de la conservation de la nature Madrid) et le PAP/PAM (plan d'action prioritaire du plan d'action pour la Méditerranée) ont collaboré pour mettre au point une méthodologie simple et flexible pouvant s'adapter aux conditions spécifiques de chaque région de la Méditerranée (Ben Rhouma *et al.*, 2018).

Cette méthode comprend trois étapes, dont la première est une analyse et intégration des facteurs naturels déterminant de l'état d'érosion hydrique, tels que la pente, la lithologie et/ou la pédologie, le couvert végétal et l'occupation des sols. La deuxième est la cartographie des différentes formes et processus des pertes en sol qui se manifestent dans la zone d'étude et la dernière étape correspond l'intégration et la combinaison des résultats obtenus sous forme de cartes thématiques numériques. L'interaction de ces cartes et leur évolution spatiotemporelle à l'échelle du bassin versant de Tessa a permis d'établir un zonage cartographique par classement de la zone d'étude en plusieurs secteurs selon leur degrés de susceptibilité à l'érosion en définissant la nature et la forme d'érosion.

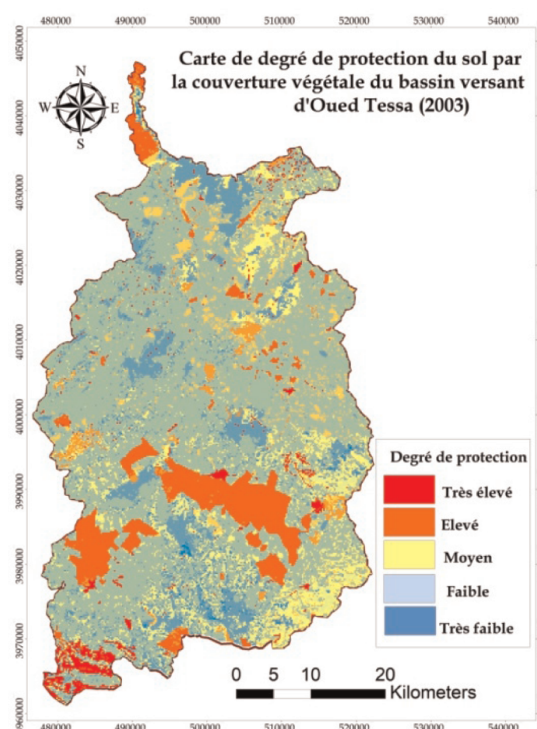


Figure 10. Carte de degré de protection 2003

Le système d'information géographique (SIG) joue un rôle très important pour la modélisation des processus d'érosion et la spatialisation des zones les plus touchées par le phénomène érosif.

4. Résultats et discussion

4.1. Carte d'érodabilité

La première phase de l'approche PAP/CAR est la réalisation de la carte d'érodabilité. Cette carte a été réalisée par la superposition de la carte des pentes (réalisée à partir de DEM (SRTM90)) et la carte de lithofaciès (réalisée à partir des cartes géologiques 1/50 000). La combinaison des données de ces deux cartes nous a donné une carte (figure 7) classée en 5 classes d'érodabilité (faible, faible à moyenne, moyenne à élevée, élevée à très élevée et très élevée).

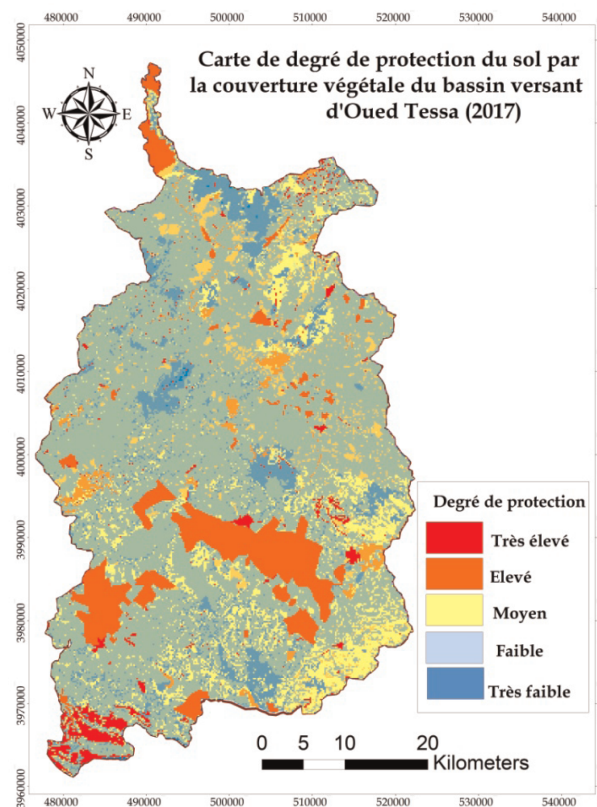


Figure 11. Carte de degré de protection 2017

L'analyse de la base de données selon la classification des zones par leurs érodabilité montre que la classe la plus représentative est celle qui appartient à la classe faible avec 43,85 % de la superficie de la zone d'étude. Suivie par la classe faible à moyenne, alors que la classe d'érodabilité élevée à très élevée et très élevée couvre 21,43 % du bassin versant d'oued Tessa (figure 8) et se localise sur les terres à pente élevée et très élevée.

Donc l'érodabilité est toujours très élevée lorsque la pente est relativement forte et/ou le terrain est de faible résistance (Faleh et Maktite, 2014).

La carte de degré d'érodabilité indique que là où la pente est forte est là où l'érodabilité est toujours élevée ou très élevée. Ce degré est aussi lié à la résistance de terrain c'est-à-dire lorsqu'on a une pente forte et un terrain moyennement résistant, l'érodabilité sera très forte. Cela peut être observé au niveau des parties nord où les roches sont compactes et très compactes. Au sud-est du bassin versant d'oued Tessa on remarque que les pentes fortes couplées à des roches peu consolidées traduisent l'érodabilité très élevée de cette zone.

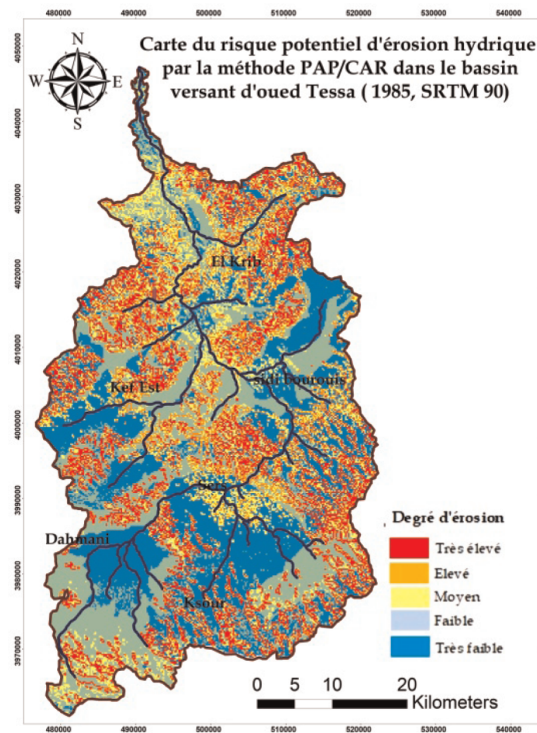


Figure 12. Risque potentiel d'érosion hydrique (1985)

Dans la partie centre de la zone, les classes d'érodabilité qui dominent sont : faible, faible à moyenne ou moyenne à élevée où les roches sont friables, peu consolidées et consolidées. Cette répartition couplée à des pentes moyennes peut atténuer le degré d'érodabilité.

4.2. Cartes de protection des sols

Le suivi de la dégradation ne peut pas être réalisé à partir de l'étude ou l'interprétation d'une image prise à une date donnée. Pour suivre la dégradation des terres, il faut suivre l'évolution spatiotemporelle des sols. Cette évolution concerne les écosystèmes et les agro-systèmes avec leurs composantes. Ce qui explique la nécessité d'élaborer une carte des pertes des sols à partir de la combinaison de la carte d'occupation du sol (à partir de cartes agricoles de Kef, Siliana, Béja et Jendouba) et les cartes de NDVI (à partir des imageries satellitaires) proposée par PAP/CAR (Hili *et al.*, 2017) (tableau 5).

La combinaison permet d'élaborer 3 cartes de degré de protection pour les années 1985 (figure 9), 2003 (figure 10) et 2017 (figure 11) où les résultats trouvés sont :

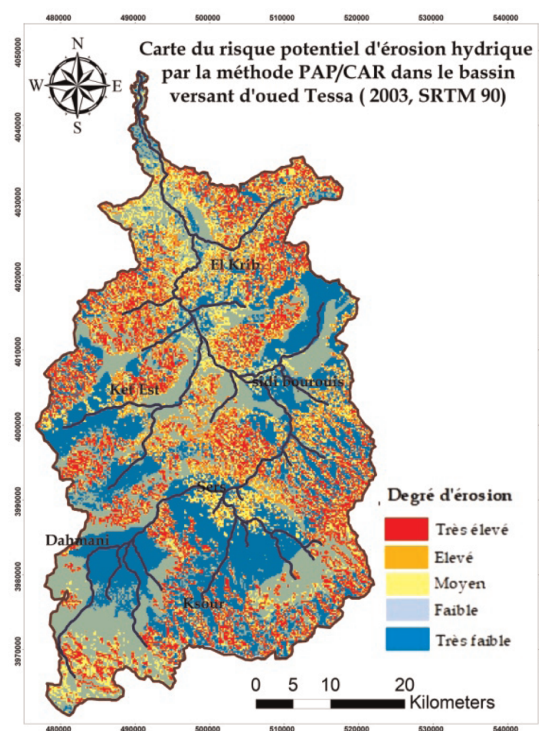


Figure 13. Risque potentiel d'érosion hydrique (2003)

63,43 % (1985), 62,2 % (2003) et 63,4 % (2017) qui sont à niveau de protection faible, 13,7 % (1985), 11,9 % (2003) et 13,7 % (2017) moyen et seulement 11,0 % (1985), 11,0 % (2003) et 11,0 % (2017) élevé.

Donc le degré de risque est très élevé lorsque le degré de couverture est très faible et, le degré de risque est très faible lorsque le degré de couverture est très élevé.

4.3. Cartes des états érosifs potentiels

La dernière étape correspond à l'intégration et la combinaison des résultats obtenus (carte d'érodabilité et cartes de degré de protection) sous forme de cartes thématiques numériques (Ousmana *et al.*, 2017) L'interaction de ces cartes et leur évolution spatio-temporelle à l'échelle du bassin versant de Tessa a permis d'établir trois cartes du risque potentiel d'érosion hydrique pour les années 1985 (figure 12), 2003 (figure 13) et 2017 (figure 14) avec un zonage cartographique par classement de la zone d'étude en plusieurs secteurs selon leur degrés de susceptibilité à l'érosion, de plus faible au plus élevé.

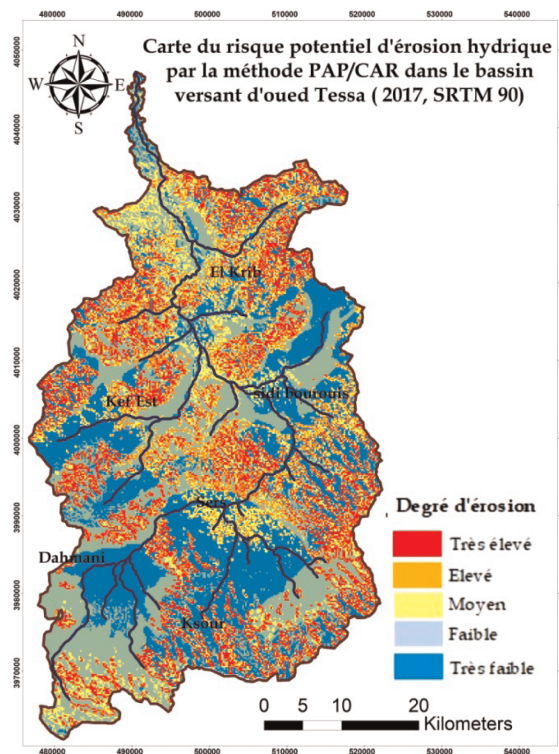


Figure 14. Risque potentiel d'érosion hydrique (2017)

Tableau 6. Les pourcentages de degré d'érosion du sol dans le bassin de l'oued Tessa

Année	Degré d'érosion	Surface (ha)	Pourcentage de surface
1985	Très faible	67 878	28,40 %
	Faible	69 698	29,16 %
	Moyen	35 127	14,70 %
	Elevé	28 958	12,11 %
	Très élevé	37 339	15,63 %
2003	Très faible	68 770	28,78 %
	Faible	68 912	28,83 %
	Moyen	35 331	14,79 %
	Elevé	28 807	12,05 %
	Très élevé	37 180	15,55 %
2017	Très faible	67 950	28,43 %
	Faible	69 633	29,13 %
	Moyen	34969	14,63 %
	Elevé	29 023	12,15 %
	Très élevé	37 425	15,66 %

Les cartes des états érosifs laissent apparaître cinq classes de degrés d'érosion (tableau 6). La répartition des superficies sur les cartes de risque potentiel d'érosion hydrique montre que les classes à risque d'érosion très faible et faible occupent peu près 50 % de la superficie totale du bassin versant. La classe faible occupe : 29,16 % soit 69 698 hectares pour l'année 1985, 28,83 % soit 68 912 hectares pour l'année 2003 et 29,13 % soit 69 633 hectares pour l'année 2017 de la superficie totale du bassin de Tessa.

Alors que les classes élevées et très élevées occupent : 27,74 % soit 66 297 hectares pour l'année 1985, 27,60 % soit 65 987 hectares pour l'année 2003 et 27,81 % soit 66 448 hectares pour l'année 2017 de la surface totale du bassin.

Les terres à risque se trouvent principalement dans le nord du bassin, le centre et le sud-est, ce qui constitue une menace sérieuse au développement durable.

Pour lutter contre la dégradation des ressources et sauvegarder celles en eaux et du sol, la Tunisie doit développer une stratégie à l'échelle du pays, prenant en compte la gestion des ressources naturelles et le développement socio-économique.

5. Conclusion

Le bassin versant de l'oued Tessa montre une grande sensibilité à l'érosion hydrique dans les zones à pente forte.

La méthode PAP/CAR constitue un outil efficace et important pour réaliser un diagnostic général du risque potentiel d'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant de l'oued Tessa. Cette étude qualitative se base sur plusieurs facteurs naturels qui sont : la pente, la lithologie, le couvert végétal et l'occupation des sols. L'étude de ces facteurs permet de mieux comprendre la problématique sur le plan érosif.

Ce travail constitue une base des données multi-sources du bassin versant de l'oued Tessa mettant en valeur l'importance du système d'information géographique et de la télédétection pour l'étude de la vulnérabilité des sols à risque d'érosion hydrique. Il permet aussi de fournir des informations sur l'état actuel de la dégradation des sols où 78,57 % du bassin versant étudié présente une érodabilité faible à moyenne et 21,43 % une érodabilité élevée à très élevée.

Remerciements

Les auteurs remercient les évaluateurs anonymes pour leurs remarques et suggestions.

Bibliographie

- Arnoldus H.M.J. (1980). An Approximation of the Rainfall Factor in the Universal Soil Loss Equation. *Assessment of Erosion*, De Boodt M. and Gabriels D. (Eds.), John Wiley and Sons, New York, p. 127-132.
- Ben Cheikha L., Gueddari M. (2008). Le bassin versant du Jannet (Tunisie) : évaluation des risques d'érosion hydrique <https://mappemonde-archive.mgm.fr/num18/articles/art08202.html>
- Ben Rhouma A., Hermassi T., Bouajila K. (2018). Modélisation de l'érosion hydrique par la méthode qualitative PAP/CAR : Cas du bassin versant de Sbaihia, Zaghuan. *Journal of New Sciences, Agriculture and Biotechnology*, vol. 51, n° 11, p. 3225-3236.
- CEC (Commission Of European Communities) (1992). Corine Soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community. Brussels, Commission of the European Community EUR 13233 EN, Luxembourg, Office for official Publications of the European Community.
- Faleh A., Maktite A. (2014). Cartographie des zones vulnérables à l'érosion hydrique à l'aide de la méthode pap/car et SIG en amont du barrage Allal el Fassi, Moyen Atlas (Maroc). *Papeles de Geografia*, n° 59-60, p. 71-82.

- Giaccone E., Vergari F., Del Monte M., Fratianni S. (2015). The impact of climate on morphological dynamics in tuscany (Central Italy). *XXVIIIth Symposium of the International Association of Climatology*, Liège.
- Hili A., Gartet J., El Khalki Y. (2017). Estimation qualitative de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Amlil (Taza Maroc) par la combinaison de l'outil SIG et de l'approche PAP/CAR. *Revue Espace Géographique et Société Marocaine*, n° 18-2017.
- Jebari S., Bensalah R. (2014). Protection des terres céréalières contre l'érosion hydrique. Journée nationale sur la valorisation des résultats de la recherche dans le domaine de grande culture. http://www.iresa.agrinet.tn/images/Sihem_Jebari.pdf
- Maamar-Kouadri K., Kouri L., Chebouti Y. (2016). Utilisation de l'Indice d'Arnoldus pour cartographier les risques d'érosivité des pluies dans le Tell oranais (Algérie). *Geo-Eco-Trop.*, vol. 40, n° 4, p. 287-296.
- Mjeira M. (2016). Etude de l'évapotranspiration dans le bassin versant de Mejerda (en Tunisie) : apport de la télédétection satellitaire et des systèmes d'information géographique 2015. Thèse en Géographie. Université Rennes 2.
- Mounia T., Hassan T., Fatima E., Mhamed A., Abdelfatah T., Hassan E. (2017). Quantification of water erosion and sedimentation using empirical models in the Tahaddart watershed (Northwestern Rif, Morocco), p. 87-101.
- Ousmana H., Elhmaidi A., Essahlaoui A., Bekri H., Elouali A. (2017). Modélisation et cartographie du risque de l'érosion hydrique par l'application des SIG et des directives PAP/CAR. Cas du bassin versant de l'Oued Zgane (Moyen Atlas tabulaire, Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, Section Sciences de la Terre, n° 39, p. 103-119.