

Water Erosion Modeling using the PAP/CAR qualitative method: Case of the Sbaihia catchment, Zaghouan

Modélisation de l'érosion hydrique par la méthode qualitative PAP/CAR : Cas du bassin versant de Sbaihia, Zaghouan

A. BEN RHOUMA*¹, T HERMASSI², K. BOUAJILA¹

¹ Institut national agronomique de Tunis, 43 avenue Charles Nicolle, Tunis 1082, Tunisie.

² Institut national de recherche en génie rural eaux et forêts, Rue Hedi Karray Ariana. 2080 Tunisie

*Corresponding author: aidabenhrouma@live.fr

Abstract – The Tunisian semi-arid watershed Sbaihia has an agricultural vocation with forest upstream, and despite installing anti-erosion bench system, water erosion still a major problem threatening its ecological balance. This study uses the PAP/CAR model for mapping soil sensibility to water erosion in this watershed, this model uses qualitative decision rules and hierarchical organization of data represented by different thematic maps: vegetation cover, slope and lithology. The results allow us to have qualitative maps showing the potential sensitivity to erosion per unit area. The obtained maps shows that the average erodibility is the main class and that the vegetation cover has an important influence on reducing erosion risks. We have found that the average erodibility class is predominant 67%, and the effect of the vegetation cover in the stabilization of the area is highlighted.

Keywords: Mapping, sensitivity to water erosion, Geographic information system

Résumé – Le bassin versant de Sbahia appartient au semi-aride de la Tunisie, il est à vocation agricole avec un massif forestier en amont, malgré son aménagement en banquette, le risque érosif est toujours élevé menaçant sa stabilité et son équilibre naturel. L'objectif de ce travail est l'étude de la sensibilité à l'érosion de ce bassin par la méthode 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. Les résultats obtenus sont des cartes qui permettent de spatialiser les aires vulnérables, de classer les zones selon leur degré de sensibilité à l'érosion hydrique et de pouvoir prédire leurs comportements futurs. On a trouvé que pour la méthode PAP/CAR, la classe d'érodibilité moyenne est prépondérante avec un pourcentage de 67 et que l'effet de la couverture végétale dans la stabilisation du milieu est mis en évidence.

Mots clés : cartographie, sensibilité à l'érosion hydrique, Système d'information géographique

1. Introduction

L'érosion des sols est la forme de dégradation des terres la plus répandue dans la zone méditerranéenne, principalement à cause de la nature capricieuse de son climat, de l'activité anthropique accrue qui n'arrête pas de fragiliser le couvert végétal et de la vulnérabilité intrinsèque de ses sols. La Tunisie considère depuis le début des années 90 que la lutte contre l'érosion hydrique est un enjeu principal dans le développement des zones rurales et de l'agriculture en général. En effet, 1,5 millions d'hectares sont moyennement à fortement touchés par l'érosion (Cherif, 2013). L'érosion en Tunisie affecte de plus en plus les terres de grandes cultures ce qui menace gravement la production céréalière, pilier important de l'économie agricole du pays, puisque ces terres représentent le tiers de la superficie agricole utile (Jebbari, 2014). Ainsi, lutter contre l'aléa érosion dans un milieu rural où la productivité agricole est le principal objectif, reste l'ultime défi pour un développement rural tout en préservant les ressources naturelles. Des méthodes d'évaluation de l'érosion qualitatives ou quantitatives déjà utilisées dans le monde, peuvent répondre à ces questions : le modèle INRA (Le Bissonnais et al, 1998) ainsi que la modélisation hydrologique : le modèle Kinéros (Kinematic Runoff and Erosion model) (1990), le modèle SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (1993)...etc. Ces méthodes sont certainement efficace mais demandent un nombre important de données qui manque parfois, rendant leur utilisation



non concluante. Donc trouver une démarche qualitative simple mais pertinente s'impose afin d'identifier les terrains potentiellement exposés aux problèmes d'érosion qui relève de la prévision des risques (Fiandino, 2007). Le but de cette étude est de démontrer l'efficacité de la méthode de la FAO : PAP/CAR (Plan d'Action Prioritaire et le Centre régional) dans l'étude de la sensibilité à l'érosion du bassin versant de Sbaihia en Tunisie centrale.

2. Matériel et méthodes

2.1. Le site d'étude

Le bassin versant de Sbaihia ($36^{\circ}29'43''$, $10^{\circ}12'41''$) de 324 ha, appartient au grand bassin de l'Oued Ermel, cet Oued draine une superficie très importante de 7400 ha et se trouve sur la côte orientale de la Tunisie, limité par Djebel de Zaghouan à l'Ouest et par la mer méditerranée à l'Est. Administrativement Sbaihia appartient à la délégation de Zaghouan (figure1), il se situe à l'étage bioclimatique semi-aride et se caractérise par une moyenne pluviométrique annuelle de 400 mm à 450 mm. Le bassin versant de Sbaihia représente un relief fort puisque son Ig (indice de pente globale) est égal à 77 et 35% (Annuaire hydrologiques des lacs collinaire de la Tunisie, 2008) de la superficie du bassin représente une pente supérieure à 15%, ses altitudes varient entre 200 à 480m. Le relief fort de Sbaihia ne fait que favoriser le risque d'érosion. La nature pédologique des sols de Sbaihia sont comme suit (Attia, 2005) :

Sur les flancs des collines on a des sols minéraux bruts d'érosion formée sur roche calcaire dure (lithosols) ils sont peu profond et caillouteux, Sur les sommets des massifs les lithosols évoluent vers une rendzine riche en matière organique, Sols peu évolués d'apport alluvial, Sols peu évolués, Vertisols rencontrés dans les bas-fonds et en très faible pente.

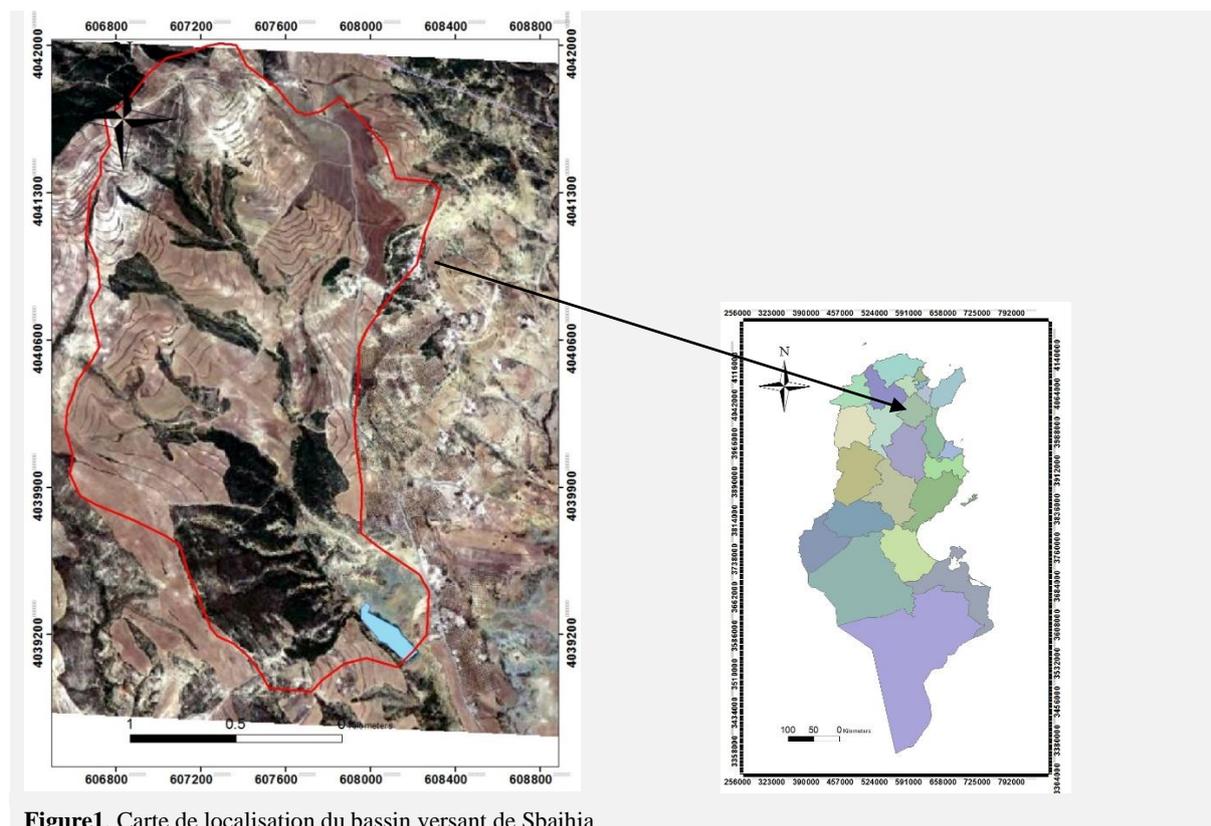


Figure1. Carte de localisation du bassin versant de Sbaihia

De point de vue géologie, la zone d'étude se caractérise par un relief accidenté, les versants à pente assez forte présentent une surface structurale à affleurement calcaire et marneux. Au pied de ces glacis encroûtés par endroit relie le versant à la plaine qui est drainée par l'Oued Sbaihia. Le bassin de Sbaihia a longtemps souffert du défrichement de ces forêts naturelles de Pin d'Alep pour laisser place à des terrains agricoles vulnérables pour culture annuelles. En général, c'est la céréaliculture qui domine même à forte pente. Le principal arbre cultivé dans la zone est l'olivier puisqu'il s'adapte bien aux conditions de la zone, suivi de l'amandier et du figuier. La répartition spatiale des différentes

occupations de Sbaihia est présentée par la (figure 3). 20% de la superficie totale du bassin versant sont cultivés en cultures annuelles et 7% en Arboriculture. Le pourcentage de forêts naturelles ne dépasse pas les 12% et celui de garrigues est de 28%.

2.2. Présentation du modèle PAP/CAR

Pendant les années 90, 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.

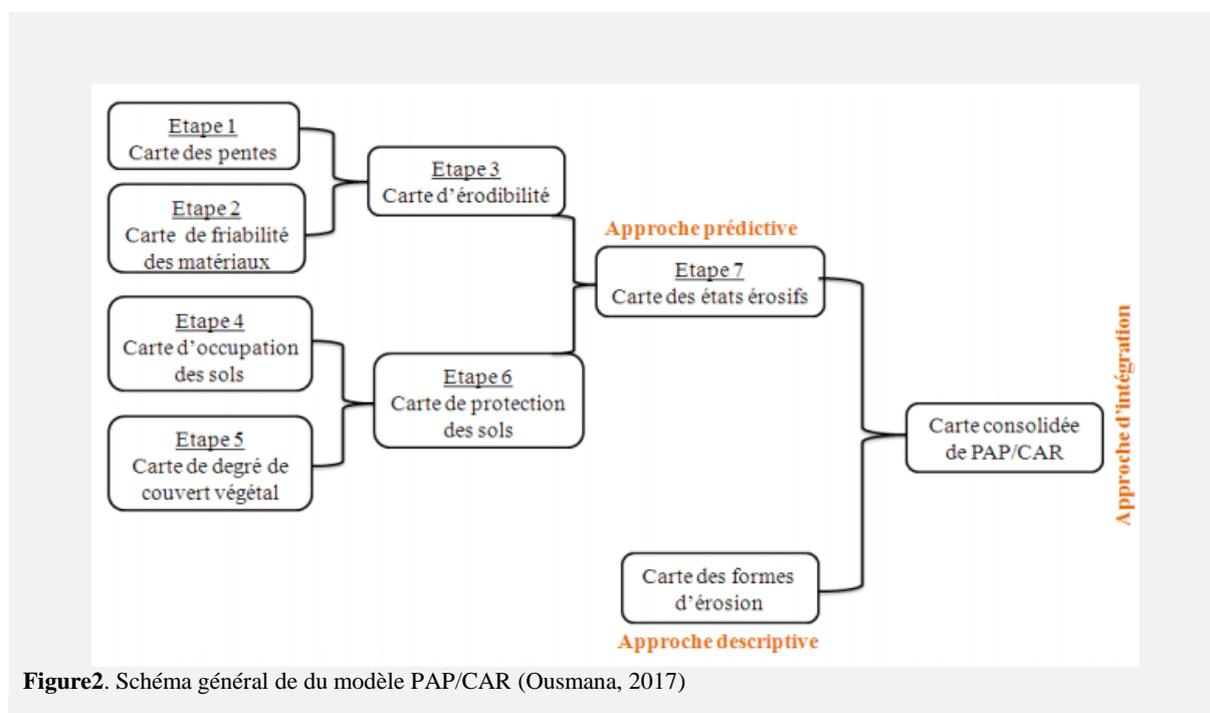


Figure2. Schéma général de du modèle PAP/CAR (Ousmana, 2017)

Le système cartographique utilisé est en effet une méthode informatisée à base de deux types de données : les données descriptives du site (topographie, occupation des sols, pédologie et lithologie) et les données spatiales du système d'information géographique (cartes thématiques). Les deux types de données concernent les unités agro-pédologiques, le relief et l'utilisation actuelle des terres (Jansen, 1996). En effet, le résultat cartographique du modèle FAO PAP/CAR est premièrement une spatialisation des zones selon leurs états érosifs (faible, moyen, élevé, très élevé), qui donne une idée sur la sensibilité à l'érosion pour tout le site, et deuxièmement une description qui donne une image réelle sur les différentes formes d'érosion ainsi que leur risque d'évolution (Faleh et Maktite, 2014). En Tunisie, cette méthode a été bien appliquée au cours du projet PAP-CAR, pour le grand bassin versant de l'oued le bassin versant de Lebna (Attia et al, 2007).

On a ainsi étudié la sensibilité potentielle à l'érosion du bassin de Sbaihia en adoptant cette directive de la manière suivante :

Collecte des données : carte pédologique, carte géologique et image SRTM (Shutter radar topographic mission), image Google Earth (landsat/copernicus/ CNES/Astrium 2015)

Une classification de la contribution de chaque facteur dans le processus de l'érosion en donnant une valeur numérique à chaque classe, ce qui nous permet à l'aide d'un SIG (système d'information géographique) d'élaborer les différentes cartes thématiques : La carte d'érodibilité (pente × formation lithologique), La carte des états érosifs (érodibilité × niveau de protection par le couvert végétal). Il s'agit donc de donner une valeur numérique à chaque degré de sensibilité à l'érosion suivant la formule suivante :

Etat érosif= (Pente × lithologie) × indice de couverture du sol par la végétation

Le modèle qualitatif résultant est exprimé par des valeurs allant de 1 à 5 pour traduire la sensibilité à l'érosion : 1 très faible, 2 faible, 3 moyenne, 4 forte, 5 très forte. Cette carte de risque de l'érosion

implique donc la notion de probabilité d'érosion (Jansen, 1996). En d'autre terme, ce modèle permet de varier les scénarii afin de prédire les tendances érosives futures.

3. Résultats et discussion

Afin d'aboutir aux produits cartographique du modèle PAP/CAR trois cartes doivent être préparées : la carte de niveau de protection du sol par la végétation, la carte des pentes et la carte des formations lithologiques.

3.1. Vulnérabilité en fonction de l'occupation du sol

L'occupation du sol (figure2) est déterminée à partir de l'analyse des images satellites googlearth (landsat/copernicus/ CNES/Astrium 2015) échelle. On a distingué 9 classes d'occupation qui diffèrent en termes de leur pouvoir couvrant du sol (figure3) :

- La végétation naturelle représente plus de 60 % de la surface totale et elle se compose de forêts denses de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*). Ces forêts sont considérées à fort pouvoir couvrant puisqu'elles interceptent les gouttes de pluies pour inhiber le phénomène de splash et former en même temps une barrière face aux ruissellements. Par contre, les forêts claires dégradées et les garrigues sont considérées comme moyennement favorables à l'érosion hydrique. Parmi la couverture végétale naturelle on trouve des parcours plus ou moins dégradés, ces derniers favorisent fortement à très fortement l'érosion hydrique vu qu'ils n'assurent qu'une faible couverture du sol.

- Les terrains agricoles occupent plus de 30 % de la surface totale répartis sur l'ensemble du bassin, ces terrains sont à vocation céréalière et arboricole (olivier).

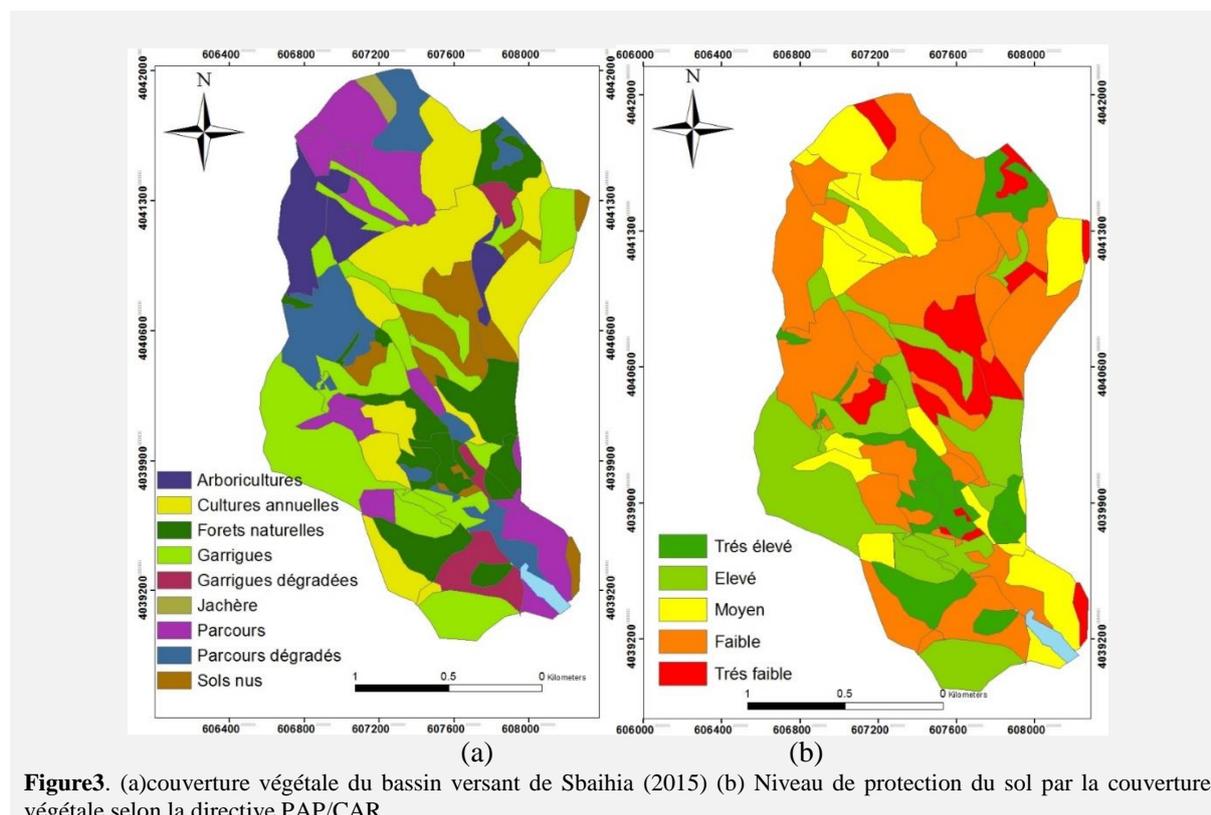


Figure3. (a)couverture végétale du bassin versant de Sbaihia (2015) (b) Niveau de protection du sol par la couverture végétale selon la directive PAP/CAR

Le tableau 1 exprime les risques associés à chaque degré de couverture de sol. Les résultats trouvés sont : 49 % du bassin est à niveau de protection très faible à faible, 16 % moyen et seulement 10% élevé à très élevé.

Tableau 1. Les différentes classes de risque d'érosion lié à la couverture végétale

Les classes	Degré de couverture	Degré de risque
1	0 %	Très élevé
2	0-25 %	Elevé
3	25-50 %	Moyen
4	50-75 %	Faible
5	> 75 %	Très faible

3.2. Vulnérabilité en fonction de la pente

Pour le facteur pente, la raideur de la pente favorise exponentiellement la vitesse du ruissellement et donc l'arrachement et le déplacement des particules du sol. Ce facteur a été dérivé de l'image SRTM de la zone. Les différentes classes de pente et le risque associé sont consignés par le tableau suivant :

Tableau 2. Les classes de risque lié à la valeur de pente

Les classes des pentes	Degré de risque	Valeurs de pente
1	Faible	0-3 %
2	Faible à moyen	3-7 %
3	Moyen à élevé	7-15 %
4	Elevé à très élevé	15-30 %
5	Très élevé	> 30 %

L'analyse de la carte des pentes (figure4) montre que 17.56% de la surface totale est à relief moyennement à fortement accidenté (15% < pente), alors que 14% est à reliefs élevé à très élevé (15-30%) les classes de pente variant du moyen au très élevé sont localisées dans la partie nord et la partie sud du bassin.

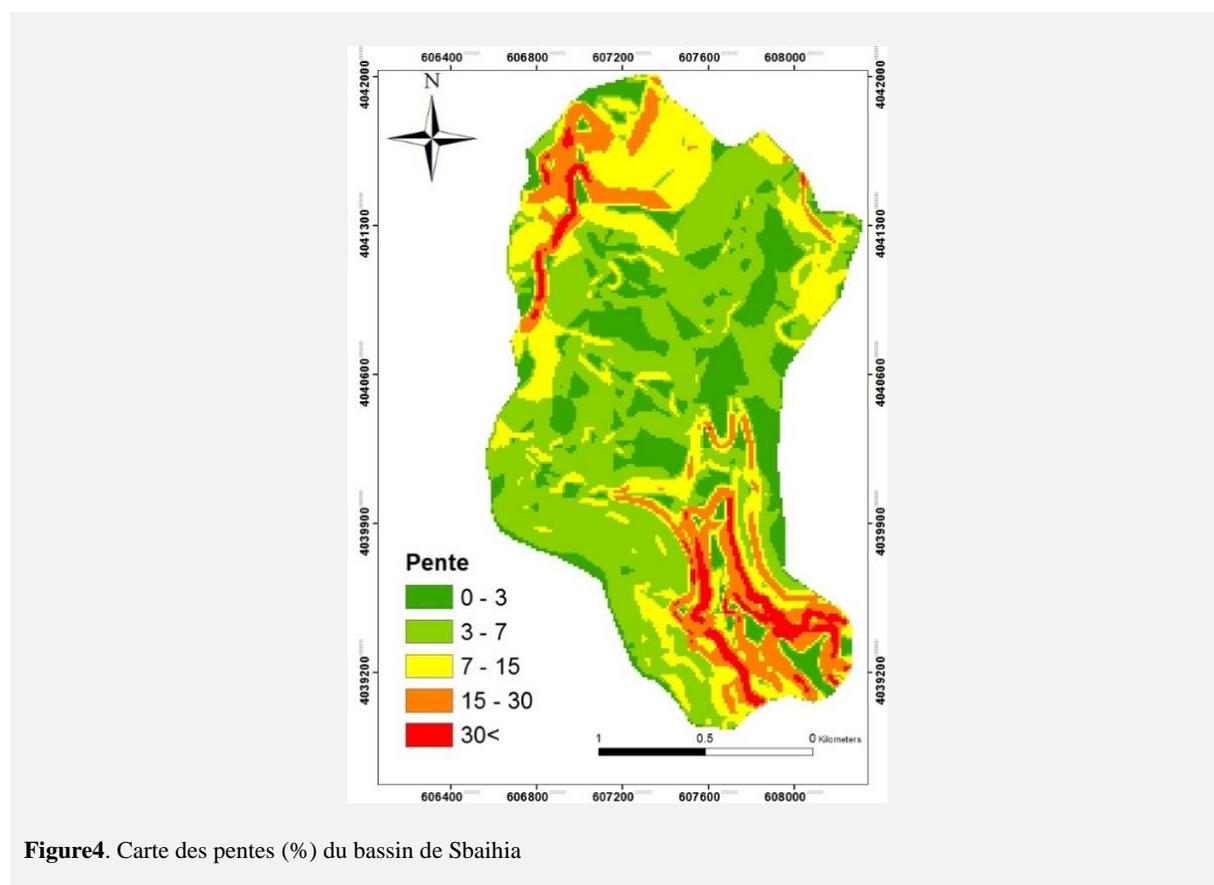


Figure4. Carte des pentes (%) du bassin de Sbaihia

3.3. Vulnérabilité en fonction de la lithologie

Les informations liées à la lithologie ont été tirées de la carte géologique de la Tunisie 1/500000. En effet, la carte de lithofaciès identifie les différents types de roches ou de sédiments/sols de surface, classés selon leur degré relatif de cohésion et de résistance mécanique à l'érosion, selon une échelle allant du : meuble, peu consolidé, consolidé (Griesbach et al, 1998). Ainsi, la carte des formations superficielles de Sbaihia (figure5) nous a permis de distinguer 3 classes, distribués selon le relief :

- une très grande sensibilité attribuée aux Marnes santonien supérieurs et campanien inférieur et aux alternances de marnes grise et de calcaire marneux argileux.
- une grande sensibilité aux marnes grises verdâtres avec intercalation de calcaire
- une sensibilité réduite aux marnes calcaires et calcaires massifs qui occupent les sommets au nord du bassin versant. Ainsi, L'analyse de la carte des formations superficielle a donc montré que 43% de la surface du bassin est couverte par des formations meubles, et que la formation peu consolidé et consolidée couve 50% de la superficie totale, laissant ainsi seulement 6% aux formations compacte.

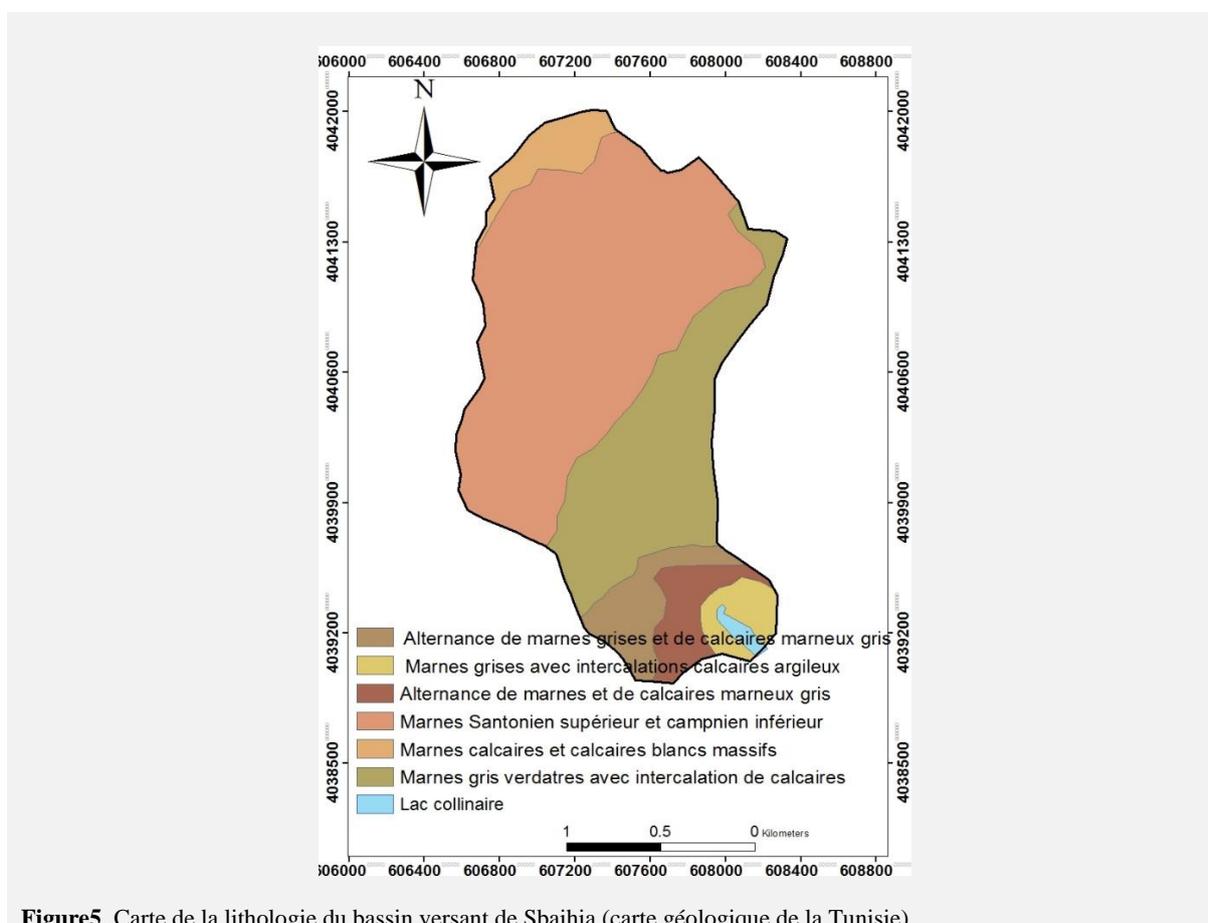


Figure5. Carte de la lithologie du bassin versant de Sbaihia (carte géologique de la Tunisie)

Nous avons construit la première carte qui est la carte d'érodibilité (fig4) résultante de la superposition de la carte des pentes avec celle des affleurements. La première constatation est que les matériaux qui varient en grande partie entre les marnes grises et marno-calcaire sont très peu perméables, associés à de fortes pentes, ils créent des conditions favorables à l'érosion. 5 classes d'érodibilité ont été finalement distinguées : du faible au très élevée (figure6).

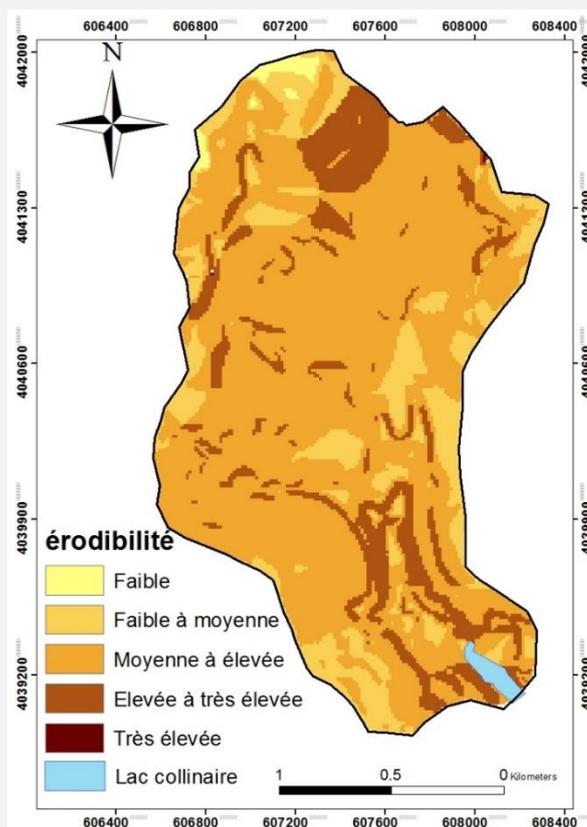


Figure6. Carte de l'érodibilité du bassin versant de Sbahia selon le modèle PAP/CAR

La classification des zones selon leur érodibilité montre que d'une part la classe d'érodibilité élevée à très élevée couvre 15 % de la superficie totale et se localise dans la partie Nord-Est et centrale et Sud du bassin, sur les versants à pente raide supérieure à 10%, et d'autre part que la classe faible et faible à moyenne est représentée sur 17% de la superficie du bassin. Alors que la majorité du terrain représente une érodibilité moyenne à élevée 67%. Cette carte montre que malgré les faibles pentes de la partie centrale, on en trouve une érodibilité élevée vu la nature meuble de ses formations. Bien évidemment l'inclinaison de la pente influe sur l'accroissement de l'énergie cinétique des écoulements, pour favoriser le charriage des particules du sol.

Le deuxième produit cartographique concerne l'effet du couvert végétal dans la stabilisation du milieu contre l'érosion, nous avons obtenu la carte des états érosifs (figure8) qui exprime la sensibilité à l'érosion hydrique. Cette carte met en évidence l'effet du couvert végétal dans la stabilité du milieu, puisque selon sa densité, la gravité de l'état érosif diminue ou augmente. Mesrar (2012) montre que l'occupation est moins significative que la densité de la couverture, chose mise en évidence aussi pour le site de Sbahia. Quatre classes d'état érosif ont été trouvées (figure7) : très faibles, faible, moyen, grave et très grave.

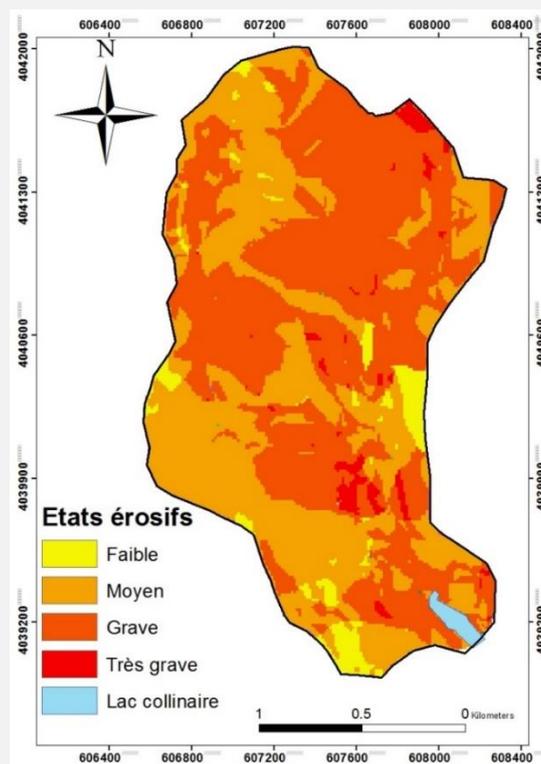


Figure7. Carte des états érosifs du bassin versant de Sbaihia

En effet, les aires couvertes par des forêts dégradées et par des garrigues montrent un état érosif allant du moyen au grave. Par contre, pour les zones à vocation agricole à dominance de culture annuelle céréalière la sensibilité à l'érosion hydrique est toujours grande en dépit de la nature de la formation superficielle et même à faible pente. En revanche, une zone très pentue qui représente une couverture végétale naturelle développée aura une réduction considérable dans son degré de sensibilité. Par contre, la modification des pratiques agricoles et le défrichement peuvent provoquer le ruissellement et l'érosion même à très faible pente (El Haj Hassan, 2013), et les facteurs morpho- pédologiques peuvent n'avoir qu'un effet réduit ou même ne pas avoir d'effet du tout s'il existe une couverture végétale qui annule ou amortit l'énergie cinétique de la pluie sur le sol (Veyret, 1992). L'analyse de la carte montre que seulement 5% de la surface du bassin représente un état érosif faible, cette zone se trouve au nord du bassin, et se caractérise par des pentes faibles de 0 à 7% et d'une formation lithologique compacte. Par contre le reste du terrain se caractérise par un état érosif moyen 41.5% et grave 52.2%, ce sont les zones céréalières et les zones de garrigue et parcours dégradés à matériaux érodables meubles et peu consolidés. Ce sont aussi les zones où des foyers de détachement peuvent développer des formes de ravinements. L'approche descriptive qui permet d'identifier les différentes formes d'érosion présentes, a montré que cette dégradation se manifeste par différents processus de l'érosion hydrique (fig8), elle est réalisée en examinant les images satellites et validée par l'exploration du terrain. La première étape nécessite la classification des zones en milieu stable, instable ou stabilisé. La méthode PAP- CAR classe les zones à affleurements rocheux et où la pierrosité de surface est élevée (40-80%) à dominante (>80%), en zones stables à vocation non agricole (Griesbach et al, 1998) et les zones aménagées en banquettes sont considérées comme stabilisées. En effet, un premier indicateur direct des sols érodés et de perte en terre est représenté par les incisions de terrain (ravines, rigoles...) qui se traduisent dans les images par des traits, tandis que les aires de nuance claire plus au moins blanchâtre témoignent de l'érosion en nappe, et donc d'un décapage superficiel. La désignation des différents types d'érosion est comme suit (L= érosion en nappe, D= en rigole, C= ravinement).

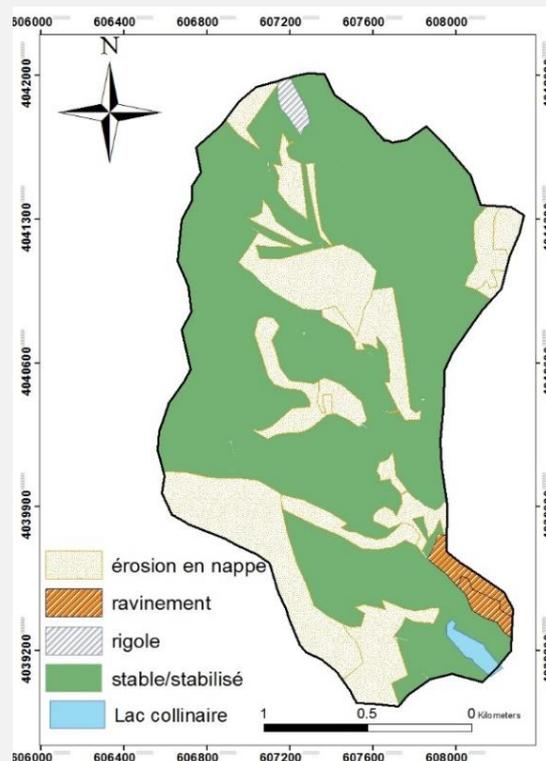


Figure8. Carte descriptive de l'état actuel de l'érosion du bassin versant de Sbaihia

31% de la superficie totale du bassin souffre de l'érosion en nappe cette forme se transforme dans un état avancé en décapage superficiel Ce stade avancé d'érosion se définit comme étant une ablation des horizons pédologique de surface. Mesrar (2012) a défini ce même type d'érosion au Maroc, et Faleh et Maktite (2014) ont estimé que 70 % de la superficie totale de leur site représente une érosion en nappe et un décapage superficiel. On a pu distinguer clairement, sur les images satellites (landsat/copernicus/CNES/Astrium 2015), les zones où la couleur est très claire exprimant un grave décapage des horizons du sol, cette érosion représente une tendance généralisée à l'expansion et à l'intensification, puisque aucune technique agricole conservatrice n'est pratiquée par les agriculteurs permettant au moins de freiner cette érosion, ce résultat a été tiré par plusieurs autres travaux de recherche effectués au Maroc (Faleh et al, 2014 ; Ousmana et al, 2016 ; Lakhili et al, 2017) . Les autres formes d'érosion distinguées sont comme suit : 1% de ravinement qui se rencontre au niveau des zones marneuses en pente dans la partie aval à côté du lac, qui se transforme aussi en Badlands, et 1% de l'érosion en rigole ce qui coïncide avec le travail de (Boukrim S, 2016) au Maroc. Cet état de dégradation de Sbaihia a pour origine majeure l'action anthropique qui se traduit en défrichement permanent de la végétation naturelle qui se compose essentiellement de forêts et garrigues de Pin d'Alep ainsi que par la mise en culture intensive des terres en pente en absence de toute bonne pratique agricole.

On a aussi détecté des zones où se combinent l'érosion en nappe et l'érosion en rigole sur des aires décapées. Le ravinement est aussi observé, mais d'une manière moins fréquente surtout aux alentours des Oueds et du lac collinaire zone constitué par des matériaux alluvionnaires, et au niveau des zones céréalières non aménagées. Pour les superficies à vocation céréalière, des foyers de réseau localisé de ravinement qui ont tendance à l'expansion sont constatés. Ces zones subissent une érosion grave surtout avec l'utilisation de la charrue à disque et du griffage superficiel pour le travail du sol.

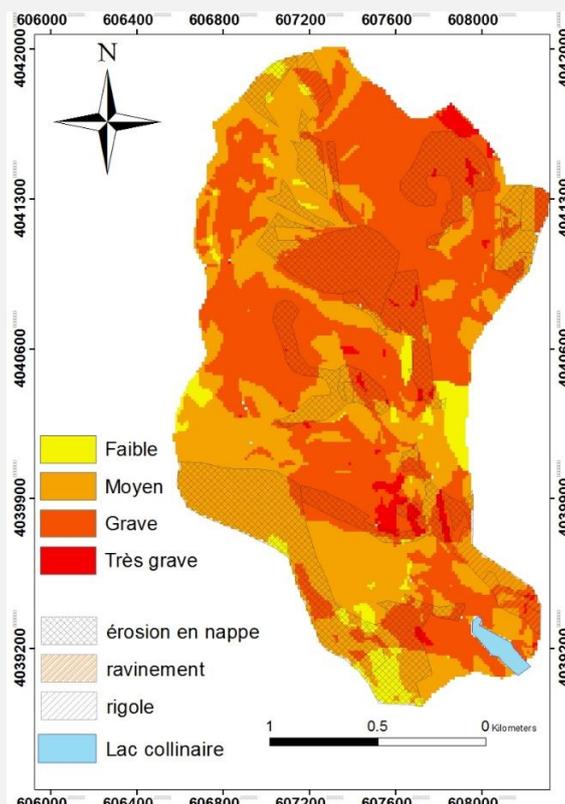


Figure9. Carte d'intégration de la carte des états érosifs et de la carte descriptive des formes d'érosion

Et même avec l'installation des réseaux de banquettes, ces zones agricoles n'ont pas échappé à l'érosion, puisque on constate l'existence de quelques formes d'érosion linéaire et diffuse témoignant de quelques dysfonctionnements au niveau de ces constructions. Ceci est bien clair sur la carte de superposition de la carte des états érosifs et de l'état actuel de l'érosion (figure9). Cette même carte montre que les zones d'affleurements rocheux considérées comme stable sont des zones à risque érosif qui peut aller du moyen au très grave. Et pareil pour l'érosion en nappe qui se localise aussi dans des zones du moyen au grave risque érosif. Ainsi, certains états très dégradés coïncident avec des formes d'érosion spectaculaires et d'autres états plus stables avec des formes d'érosion mineurs ou carrément des zones stables.

Scénario de modification de la couverture végétale

Afin de mieux mettre en évidence l'effet du couvert végétal sur la stabilisation du milieu pour le bassin de Sbahia on a proposé un scénario permettant d'augmenter les superficies ayant un degré de protection très élevé, les superficies modifiées sont celles à sol nu, jachère et parcours et garrigues dégradée. Le résultat est présenté par la carte suivante (figure10) :

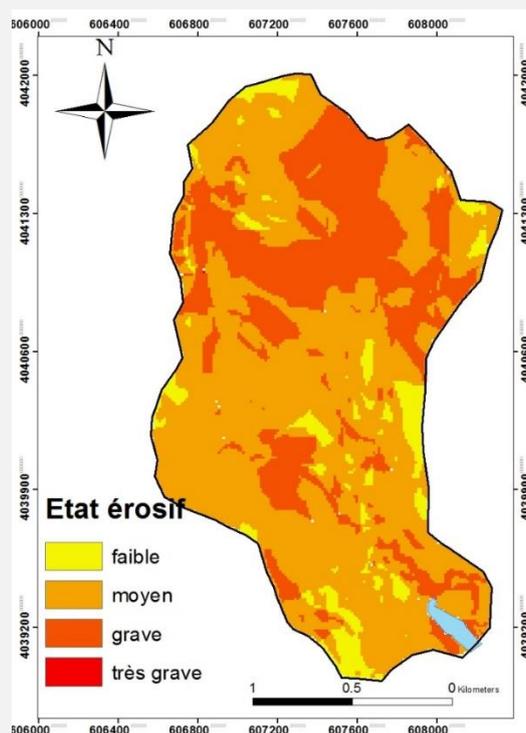


Figure10. carte des états érosifs après application du scénario de modification de la couverture végétale

La classe d'érosion moyenne passe de 41.5 à 63.4% et grave de 52.2 à 29% alors que la classe faible passe de 5% à 7%. Ce résultat témoigne de la grande importance du couvert végétal sur la préservation du milieu naturel et plus précisément des ressources en sol.

4. Conclusion

Ce travail est un exemple de l'utilisation de données multi-sources pour l'étude de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique. Le bassin versant de Sbaihia montre une grande sensibilité à l'érosion dans les zones où la pente est considérable, mais aussi dans les plaines où les terrains sont à vocation agricole. Certainement ces zones agricoles ont été aménagées en banquettes, mais ce n'est pas suffisant, si les bonnes pratiques de techniques douces ne viennent pas compléter ce traitement lourd. Les formes d'érosion dominantes sont l'érosion diffuse (nappe), qui, à un stade avancé, engendre un décapage. On a remarqué aussi une érosion linéaire sous forme de rigoles plus au moins développées qui peuvent parfois se transformer en réseau de ravines. L'analyse des cartes obtenues montre l'existence de trois classes d'érodibilité : 15 % de la superficie se caractérise par une érodibilité élevée, 17% par une faible érodibilité, et la classe prépondérante est celle de moyenne érodibilité avec un pourcentage de 67 %. Par ailleurs, l'ajout du facteur densité de végétation pour déterminer la sensibilité à l'érosion, a changé les tendances trouvées pour la carte d'érodibilité, puisque la classe état érosif moyen reste importante avec un pourcentage de 41.5 % et la classe état érosif grave est devenue majoritaire avec un pourcentage de 52.2%.

5. Références

- Attia R, Agerbaoui S, Hamrouni H. (2005)** Application des Directives CAR/PAP pour la formulation d'un programme de gestion de contrôle de l'érosion et de la désertification .Cas du bassin versant de l'Oued Rmel. Split : CAR/PAP. pp iii + 72
- Attia R, Agerbaoui S, Hamrouni H (2007)** Application des Directives CAR/PAP pour la formulation d'un programme de gestion de contrôle de l'érosion et de la désertification - Cas du bassin versant de Lebna. Split : CAR/PAP. pp iii + 72
- Cherif I (2013)** élaboration d'approche quantitative pour la quantification de l'érosion hydrique. Mémoire de Mastère, Institut national agronomique de Tunis, Tunis :1-92p.

- DGACTA/IRD (2008)** Annuaire hydrologique des lacs collinaires. Publication Institut Français de recherche pour le développement et la direction générale de l'aménagement et de la conservation des terres agricoles, 184p
- El Haj Hassan H, Touchart L, Faour G (2013)** La sensibilité potentielle du sol à l'érosion hydrique dans l'ouest de la Bekkaa au Liban. *M@ppemonde*, 109 : 1-16
- Fiandino M. (2007)** cartographie des zones potentiellement érodables dans trois bassins versants méditerranéens (Etang de Berre, Bouches du Rhône, France). *Etude de Géographie physique* 34 : 15-24
- 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*, 59-60 : p 71-82
- Grisbach JC, Ruis JD, Sinoga, Giordano A, Berney O, Gallart F, Rojo Serrano L, Pavasovic MA. (1998)** Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes. Centre d'activités régionales pour le programme d'action prioritaire (PAM/PNUE) en collaboration avec la FAO, Split : p1-72
- Jebbari S, Ben Salah (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_Jebbari.pdf
- Jansen LJM (1996)** Une méthode de cartographie de l'érosion actuelle et de la dégradation des terres au Swaziland. *Bulletin réseau érosion*, p402-411.
- Le Buissonnais Y, Dubreuil N, Daroussin J, Gorce M (2004)** Modélisation et cartographie de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale exemple du département de l'Aisne. *Étude et Gestion des Sols* 11, (3) : 307 – 321
- Lakhili F, Benabdelhadi M, Chaoui A, et al (2017)** Cartographie de l'érosion qualitative des sols du bassin versant de Beht (Maroc). *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, p174-185.
- Mesrar H, Sadiki A, Navas A, Faleh A, Quijano L, Chaouan J (2012)**- Modélisation de l'érosion hydrique et des facteurs causaux, Cas de l'oued Sahla, Rif Central, Maroc. *Zeitschrift für Geomorphologie* (59) : 495–514 .DOI : 10.1127/zfg/2015/0169
- Osmana H, El Hamidi A, Essahlaoui A, Bekri H, El Ouali 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* (39) : p103-119
- Boukrim S, Lahrach A, Midaoui A, et al (2016)** Cartographie De L'érosion Qualitative Des Sols Du Bassin Versant De L'aoudour (Rif-Maroc). *European Scientific Journal* (12) 11 : p295-311. DOI: 10.19044
- Veyret Y, Wicherek S (1992)** Réflexion sur une cartographie des risques d'érosion des terres agricoles en région de plaines et de plateaux. *Bulletin de l'association des géographes français* 69 (2) :169-179p