

## La cartographie de la vulnérabilité à la contamination des eaux de surface du bassin versant du Barrage de l'Oued Martil

### [ The mapping of the vulnerability in the contamination of surface water of the watershed Martil's river dam ]

*Layla Herhar<sup>1</sup>, Jamal Stitou El Messari<sup>1</sup>, and Mohamed Draoui<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Department of Geology,  
University Abdelmalek Essaadi, Faculty of Sciences,  
Tétouan, Morocco

<sup>2</sup>Department de Sciences de la Matière et de la Vie,  
ENES, University Abdelmalek Essaadi, Faculty of Sciences,  
Tétouan, Morocco

---

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This work present a document allowing a good management territorial of the watershed of Martil river situated in the Wilaya of Tétouan, (North of Morocco) to preserve the good quality of the water of the dam. Such document is developed by applying the DKPR method to map the degree of vulnerability in the contamination surface water by means of a software GIS. The obtained map shows the dominance of the high and moderate classes. The first one covers the central part of the of the studied area on approximately 50 % of the total surface, while the moderate class dispartate on all the watershed while being more concentrated towards the Southwest and the East, concern almost 42 % of the studied area. Let us indicate that the extreme East of the watershed nearly 8 % of the total surface is weakly protected against the contamination of its superficial water resources.

**KEYWORDS:** DKPR method, GIS, Management territorial, Quality of the water, Degree of vulnerability.

**RESUME:** Ce travail vise à présenter un document permettant une bonne gestion territorial du bassin versant du barrage de l'Oued Martil situé à la Wilaya de Tétouan, au nord du Maroc afin de conserver la bonne qualité de l'eau du barrage. Un tel document est élaboré en appliquant la méthode DKPR pour cartographier le degré de vulnérabilité à la contamination des eaux de surface en se servant d'un logiciel SIG. La carte obtenue montre la dominance des classes élevée et modérée. La première recouvre la partie centrale de la zone d'étude sur environ 50% de la surface totale, alors que la classe modérée, dispartate sur tout le bassin versant tout en étant plus concentrée vers le Sud-ouest et l'Est, concerne presque 42% de la zone d'étude. Signalons que l'extrême Est du bassin versant sur un peu près de 8% de la surface totale est faiblement protégé contre la contamination de ses ressources hydriques superficielles.

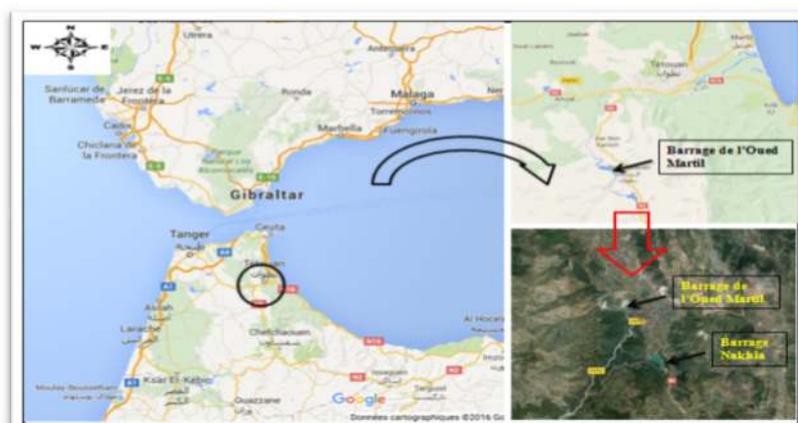
**MOTS-CLEFS:** Méthode DKPR, SIG, Gestion territorial, Qualité de l'eau, Degré de vulnérabilité.

## 1 INTRODUCTION

Le secteur de l'eau au niveau de la région de Tanger-Tétouan connaît encore de sérieux problèmes qui pourraient se répercuter d'une manière grave sur la sécurité hydrique et alimentaire de la région si une gestion globale et intégrée des ressources en eau n'est pas adoptée ; ces problèmes concernent particulièrement l'alimentation en eau potable des populations rurales, la préservation et la protection de l'infrastructure hydraulique, la valorisation de l'eau et la détérioration de sa qualité [1].

Parmi les dispositifs appliqués pour mieux protéger la qualité de l'eau du barrage de l'Oued Martil qui est en cours de construction est l'élaboration des cartes de vulnérabilité à la contamination des eaux des ressources hydriques superficielles appliquant un certains nombres de méthode telle que la méthode DKPR [2], [3] .

Ces cartes montrent une subdivision de la surface du bassin versant concerné en plusieurs zones différentes par leurs degrés de sensibilité à la dégradation de la qualité de l'eau de surface selon les caractéristiques physiques du milieu naturel. Le bassin versant du barrage de l'oued Martil se localise entre les coordonnées Lambert :  $X_{\max} = 510026,386035$  et  $X_{\min} = 484200,139029$ ,  $Y_{\max} = 544222,33586$  et  $Y_{\min} = 516578, 078511$  ; elle se situe dans la chaîne montagneuse du Rif au Nord-Ouest du Maroc. Il a une superficie de **380 Km<sup>2</sup>**, un périmètre de **107 Km**, une longueur de l'ordre de **45 Km** et une largeur de l'ordre de **8,5 Km** [4], [5].



**Fig. 1. Situation géographique du barrage de l'Oued Martil**

Il se situe vers l'aval du bassin versant du barrage de l'Oued Martil qui est en cours de construction, ce dernier régularisera un volume annuel de **70 millions de m<sup>3</sup>**, il disposera d'une capacité de stockage de **120 millions de m<sup>3</sup>** et d'un apport annuel de **175 millions de m<sup>3</sup>/an**, la superficie de retenue est d'ordre de **3,8 km<sup>2</sup>** [6].

La zone d'étude se caractérise par un climat méditerranéen, avec deux saisons bien distinctes, une saison estivale, chaude et sèche entre le mois de Mai et le mois d'Octobre (la moyenne annuelle de la température est de l'ordre de **18,8°C**) et une deuxième saison pluvieuse et fraîche qui s'étale du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril (la moyenne annuelle de la pluie est de l'ordre de **722 mm**) [3], [5].

De point de vue lithologique le bassin versant du barrage de l'oued Martil est constitué des formations très variée, allant du calcaire à l'Est, aux flysch au centre et à l'Ouest ; une bonne partie du bassin versant, localisée au Sud - Ouest est recouverte par les Colluvions [3], [4], [5].

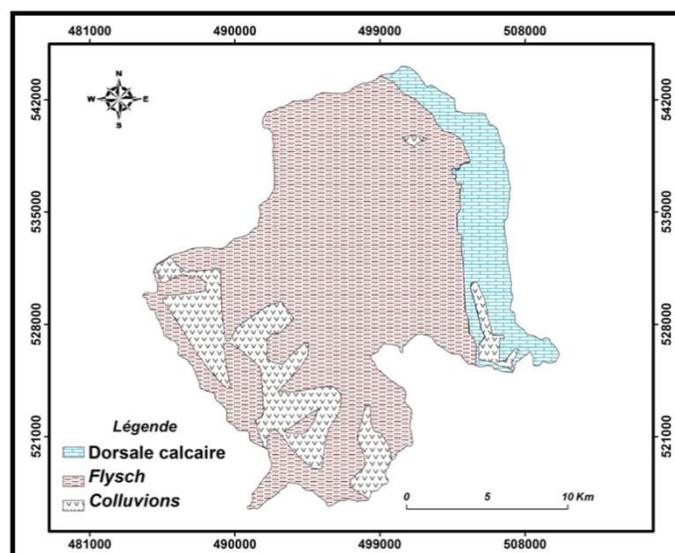


Fig. 2. Carte lithologique du bassin versant du barrage de l'Oued Martil [5]

## 2 METHODOLOGIE

DKPR [2], est la méthode appliquée pour cartographier le degré de la vulnérabilité à la pollution des eaux de surface du bassin versant du barrage de l'Oued Martil. Elle utilise le principe de la superposition des cartes factorielles relatives aux différents facteurs qu'elle quantifie par des classes allant de zéro à quatre, selon les caractéristiques naturelles du milieu. Ces facteurs sont [2]:

- l'accessibilité du milieu aquatique « D »,
- le fonctionnement hydrique du solet du sous-sol « K »,
- la physiographie du bassin versant « P »,
- l'érosivité de la pluie « R ».

Le facteur «D» est en relation avec la distance entre la localisation des polluants à la surface du bassin versant et le milieu aquatique. Plus les sources de pollution sont plus proches du milieu récepteur, plus les eaux de surface sont contaminées [7]. La valeur de la classe attribuée à ce facteur est inversement proportionnelle à la distance « D » (Tableau 1).

Pour le facteur « K », il renseigne sur la partition entre les eaux d'infiltration et les eaux de ruissellement. D'une manière générale, plus le sol est imperméable plus le ruissellement et le lessivage seront importants, avec de courts temps de transit. C'est le même principe que le facteur « fonctionnement hydrique » de la méthode ESU [5]. Au point de vue pratique, la détermination de ce facteur se fait à travers l'évaluation des classes de trois paramètres lui composants, à savoir: l'indice de développement et de persistance des réseaux « IDPR », l'indice de battance « IB » et l'occupation du sol « Os ».

$$K = a IDPR + b IB + c Os(a)$$

Avec :

**K** : index du critère du fonctionnement hydrique du sol et du sous sol,  
**IDPR** : classe de l'indice de développement et persistance des réseaux,  
**IB** : classe de l'indice de battance,  
**Os** : classe de l'occupation du sol,  
**a, b et c** : facteurs de pondération (a = 0,4; b = 0,2 et c = 0,4).

La physiographie du bassin versant régit le ruissellement des eaux de surface à travers l'intensité des pentes « Pi » et leur forme (en relation avec les courbures) « Pc », sachant que :

$$P = d Pi + e Pc (b)$$

Avec :

**P** : critère de physiographie du bassin versant,

**P<sub>i</sub>** : classe de l'intensité de la pente,  
**P<sub>c</sub>** : classe de la courbure de la pente,  
**d** et **e** : facteurs de pondération ( $d = 0,8$  et  $e = 0,2$ ).

Quant à l'érosivité des pluies « **R** », il est en relation avec l'intensité des précipitations. Il intègre dans son calcul, selon la méthode de RUSLE [8], l'intensité de la pluie, l'énergie délivrée durant l'épisode pluvieux et le volume d'eau mobilisable pour le ruissellement. Il est donc nécessaire de connaître la pluie totale et les intensités maximales sur 30 minutes des épisodes pluvieux sur une période de 30 ans. Ce second paramètre est rarement disponible. Ainsi, Renard et Freimund [9], proposent une formule simplifiée intégrant uniquement la hauteur de pluie annuelle moyenne **P** (en mm) :

$$R = 0,04830 P^{1.610}(c)$$

Avec :

**R**: paramètre d'érosivité (pour  $P < 850\text{mm}$ )  
**P** : précipitation annuelle moyenne (mm)

Le degré final de vulnérabilité « **V<sub>r</sub>** » est le résultat de la somme des produits de chaque classe par son facteur de pondération selon l'expression suivante :

$$Vr = f D + g K + h P + i R (d)$$

Avec :

**V<sub>r</sub>** : indice de vulnérabilité de la ressource,  
**D** : classe en relation avec l'accessibilité aux cours d'eau,  
**K** : classe en relation avec le fonctionnement hydrique du sol et du sous-sol,  
**P** : classe en relation avec les pentes,  
**R** : classe d'érosivité des pluies,

Où **f**, **g**, **h** et **i** sont des facteurs de pondération :  $f = 0,3$ ;  $g = 0,4$ ;  $h = 0,2$  et  $i = 0,1$ .

### 3 RESULTAT

La classification des différents facteurs se fait à la base de données récoltées de différentes sources : cartes topographiques, cartes géologiques, carte d'occupation du sol, visites de terrain, stations climatologiques ...

La première étape dans l'application de la méthode DKPR au bassin versant du barrage de l'oued Martil consiste à l'élaboration des cartes factorielles qui montrent la répartition spatiale des classes spécifiques à chacun des facteurs.

Au point de vue technique nous avons utilisé le logiciel SIG pour le géoréférencement et la digitalisation des cartes, pour l'analyse des différentes données à fin d'évaluer les classes attribuées aux quatre facteurs et de la méthode et leur répartition spatiale, ainsi que pour la préparation et la présentation finale des cartes factorielles et celle de vulnérabilité.

#### 3.1 ELABORATION DES CARTES FACTORIELLES

Les résultats de traitement et d'analyse des données en relation avec les facteurs et les paramètres de la méthode appliquée dans le but d'évaluer les classes correspondantes, sont représentés dans le tableau 1. La répartition spatiale des classes accordées à chacun de ces facteurs est présentée dans les cartes de la figure 3.

**Tableau 1. Classes attribuées aux facteurs de la méthode DKPR pour le bassin versant du barrage de l'Oued Martil**

Facteurs		Classes				
		Classe 4	Classe 3	Classe 2	Classe 1	Classe 0
D		0 - 50 m	50 - 100 m	100 - 200 m	200 - 500 m	> 500 m
K	IDPR	-	Ruissellement majoritaire (Flysch)	-	Infiltration (Dorsale calcaire et Colluvions)	-
	Os	- Routes - Carrières	- Douars	-	- Chêne Liège - Chêne Vert - Chêne Zeen - Reboisement résineux - Terrains non boisés - Thuya	- Autres feuillus - Eau : Barrage, Oueds - Mélange - Pin maritime
	K	3,2 – 3,8	2,4 – 3,19	1,6 – 2,39	0,8 – 1,59	0,5 – 0,79
P	Pi	>10°	7 – 10°	3 – 7°	1,5 – 3°	<1,5°
R		-	-	-	- Timezouk (R=2243) - Chibich (R=2020)	- Nakhla (R=1743) - Ben Karrich (R=1734)

### 3.1.1 CARTOGRAPHIE DU FACTEUR D

Concernant ce facteur on s'est basé principalement sur la carte du réseau hydrographique pour dresser des intervalles de distance autour de celui-ci, comme indiqué par la méthode [3]. Environ 66% de la surface du bassin versant se trouve à moins de 200m des cours d'eau, attribuant une classe supérieure à 2 et par la suite un effet moyen à élever sur la pollution des eaux de surface.

### 3.1.2 CARTOGRAPHIE DU FACTEUR K

L'évaluation des classes de l'indice de développement et de persistance des réseaux « IDPR » se fait à la base de la lithologie des différentes unités géologiques composant le bassin versant étudié. Ces unités sont :

- Les unités de la Dorsale calcaire et des Colluvions qui s'étendent sur plus de 20% de la surface totale de la zone d'étude. Leur contribution à la pollution des eaux de surface est bien limitée (classe 1) vu leur comportement infiltrant dominant.
- L'unité des flysch de faible perméabilité, sur environ 80% de la surface du bassin versant, dont la participation à la pollution des eaux de surface reste bien notable (la classe 3).

La base de données utilisée pour la détermination du paramètre Os est celle du service des Eaux et Forêts de la ville de Tétouan [10]. Notons qu'en relation avec ce paramètre, plus de 98 % du sol de la zone d'étude contribue faiblement à la pollution des eaux de surface (les classes 1 et 0).

Vu le manque des données pédologiques et son faible facteur de pondération, le paramètre IB a été négligé [3], et son facteur de pondération a été réparti équitablement entre celui de IDPR et de Os. Ainsi, l'évaluation de la classe du facteur K était suivant l'équation suivante :

$$K = 0,5IDPR + 0,5 Os(e)$$

A l'échelle du bassin versant du barrage de l'Oued Martil le fonctionnement hydrique du sol et du sous-sol favorise sur environ 92% de sa surface un degré de vulnérabilité relatif faible (la classe 1 qui est le résultat de la combinaison respectivement des classes 1 de Os et 1 de IDPR et des classes 0 de Os et 3 de IDPR) à modéré (classe 2 suite à la combinaison des classes 1 de Os et 3 de IDPR).

### 3.1.3 CARTOGRAPHIE DU FACTEUR P

A partir du modèle numérique du terrain de la zone d'étude, nous avons pu extraire la carte de pente que nous avons adaptée à des valeurs du paramètre Pi mentionnées dans la méthode DKPR (tableau 1). Celle-ci montre que sur plus de 83%

du bassin versant en question la topographie développe une pente supérieure à 7°, et par la suite se sont les classes 3 (18.4%) et 4 (64.67%) qui sont largement attribuées à ce paramètre.

Vu le manque de données pour évaluer le paramètre  $P_c$  et vu son faible facteur de pondération par rapport à celui de  $P_i$ , nous l'avons négligé et considéré :

$$P = P_i(f)$$

Ainsi, la carte du facteur  $P$  est similaire à celle du paramètre  $P_i$ .

### 3.1.4 CARTOGRAPHIE DU FACTEUR R

Pour l'évaluation de ce facteur nous avons appliqué la formule de Renard et Freimund (équation c). Pour les précipitations annuelles moyennes, nous avons utilisé les données disponibles sur une trentaine d'années aussi bien pour les trois stations météorologiques localisées à l'intérieur du bassin versant étudié (Timezouk, Nakhla et Chibich) que pour celle située à l'extérieur (Ben Karrich). Les valeurs de  $R$  ainsi que les classes attribuées sont représentées dans le tableau 1. Elles reflètent la faible érosivité du bassin versant du barrage de l'Oued Martil. La répartition spatiale de ce facteur à travers l'ensemble la zone d'étude laisse apparaître la dominance de la classe 1 ( $2000 < R < 3000$ ) qui recouvre environ le  $\frac{3}{4}$  de la surface totale du bassin versant, alors que la classe 0 ( $R < 2000$ ) s'étale sur le reste du territoire vers les bordures Nord et Sud.

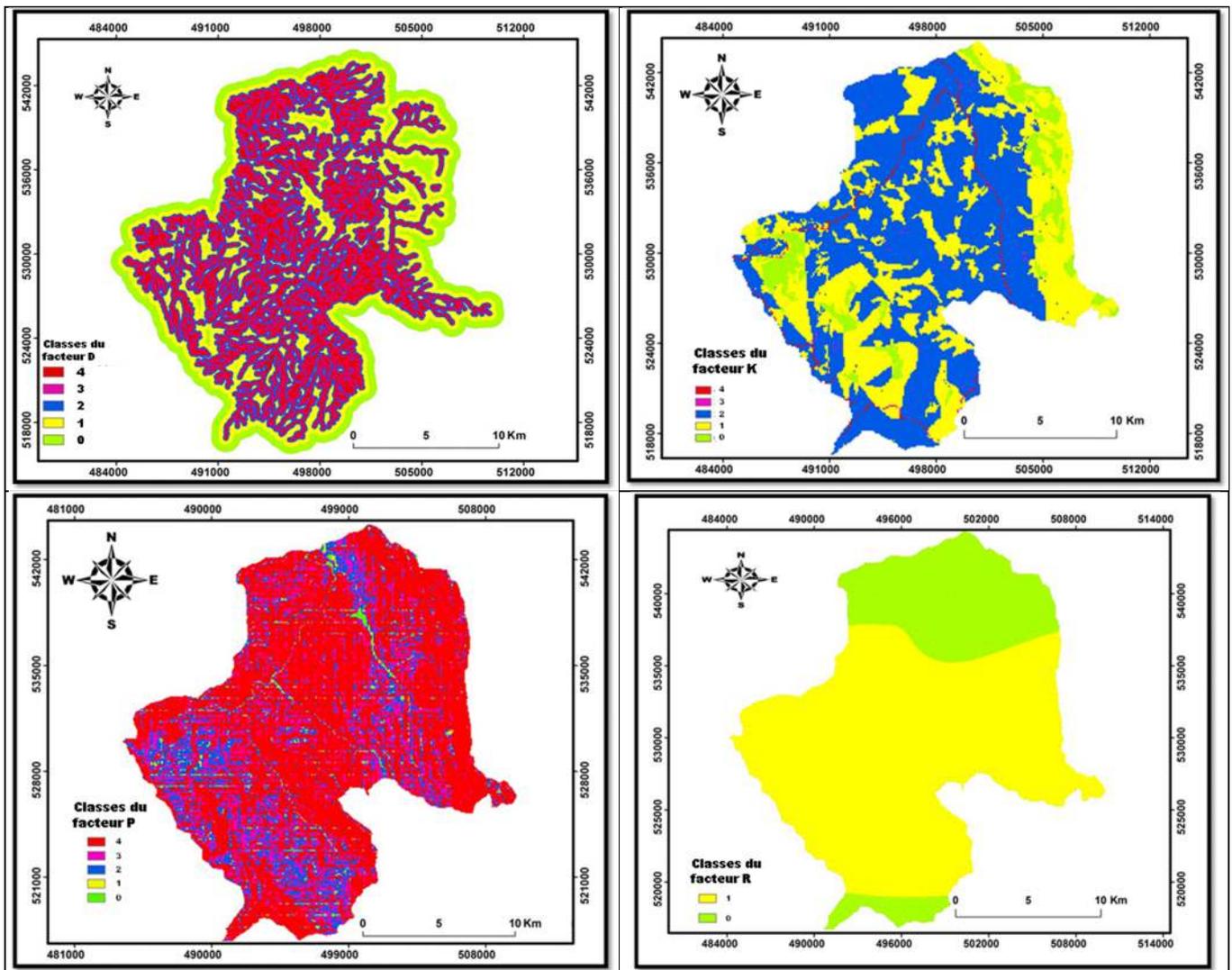


Fig. 3.

### 3.2 ELABORATION DE LA CARTE DE VULNERABILITE A LA CONTAMINATION DU BASSIN VERSANT DU BARRAGE DE L'OUED MARTIL

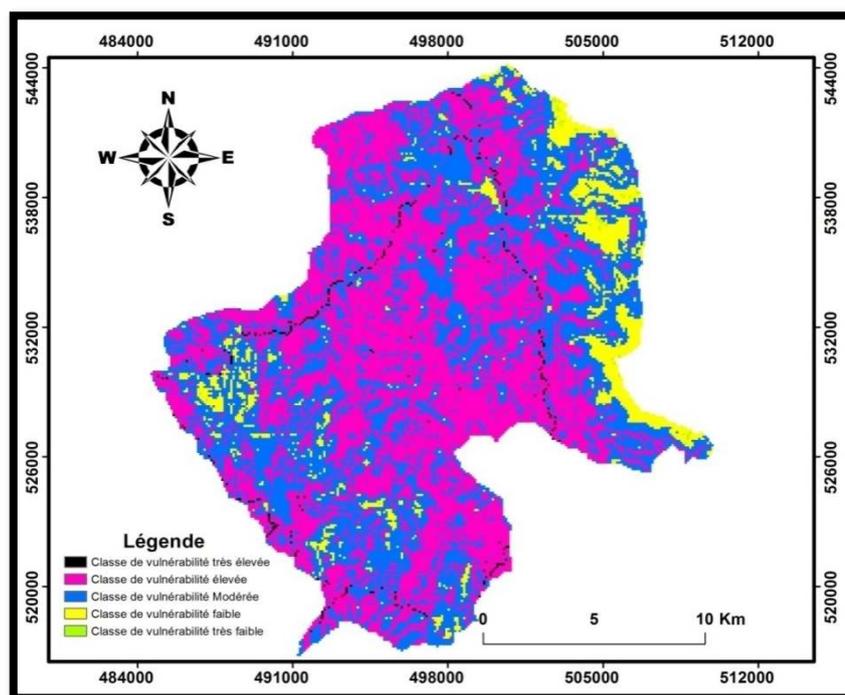
Cette carte (Fig. 4) est le résultat de la superposition des cartes de vulnérabilité relatives aux quatre facteurs de la méthode selon l'équation (c) [3]. Les classes de vulnérabilité finales sont attribuées aux différents intervalles de valeur de Vr comme s'est mentionné dans le tableau 2.

**Tableau 2. Classes de vulnérabilité selon la valeur de Vr dans le cas du bassin versant du barrage de l'Oued Martil**

Classes de vulnérabilité	Classe très élevée	Classe élevée	Classe modérée	Classe faible	Classe très faible
Vr	3,2 – 3,8	2,4 – 3,19	1,6 – 2,39	0,8 – 1,59	0,5 – 0,79

Toutes les classes de vulnérabilité déterminée par la méthode DKPR sont représentées dans la carte de vulnérabilité à la contamination du bassin versant du barrage de l'Oued Martil avec des pourcentages très diversifiés.

La classe très élevée recouvre moins de 1% de la surface totale du bassin versant étudiée tout en coïncidant principalement avec le réseau routier. La classe élevée est la plus développée sachant qu'elle occupe environ 50% de la surface totale de la zone d'étude principalement au niveau de sa partie centrale. La classe modérée est répartie sur environ 42% de la zone d'étude. Elle est disparate sur tout le bassin versant tout en étant concentrée vers le Sud-Ouest et le Nord-Est. La classe faible est bien représentée à l'extrême Est, bien qu'elle recouvre presque 8% de la surface totale du bassin versant étudié. La classe très faible est la moins représentée dans le bassin versant par rapport aux autres classes avec un pourcentage de 0,13%.



**Fig. 4. Carte de vulnérabilité à la contamination des eaux de surface du bassin versant du barrage de l'Oued Martil selon la méthode DKPR)**

### 4 DISCUSSION DES RESULTATS

Nous déduisons que pour la méthode DKPR les classes de vulnérabilité élevée et modérée dominent 92% de la zone d'étude, contre 8% qu'occupent les classes de vulnérabilité faible et très faible. Vu ces pourcentages, la qualité de l'eau de surface du

bassin versant du barrage de l'Oued Martil est fortement à moyennement sensible aux activités anthropiques provenant par lieu à la surface.

Pour le facteur D, les classes correspondantes varient nettement entre les différentes classes de vulnérabilité, sachant qu'allant de la classe élevée à des classes faible et très faible, nous notons une diminution progressive des classes de ce facteur. De ce fait, nous constatons que la classe de vulnérabilité élevée coïncide surtout avec les zones qui sont éloignées à moins de 100 m du réseau hydrographique, tandis que les classes de faible vulnérabilité (classes faible et très faible) marquent les zones les plus éloignées de ce dernier (à plus de 200 m). La même constatation peut être mentionnée pour le facteur K. Ainsi, la classe de vulnérabilité élevée caractérise spécifiquement dans un premier ordre la zone des Flysch dont l'occupation du sol est assez diversifiée (à l'exception des routes et douars) et, dans un deuxième ordre, la zone des Flysch occupée par un mélange, et la Dorsale Calcaire et les Colluvions surmontées par des terrains non boisés et les chênes. En ce qui concerne les classes de faible et très faible vulnérabilité, elles sont réparties à travers aussi bien la Dorsale calcaire que les Colluvions dont les sols sont occupés par les terrains non boisés, les chênes, le mélange et autres feuillus. La variation des classes du facteur P en fonction des classes de vulnérabilité ne permet pas de déduire une relation évidente entre les deux, du fait que les différentes classes de vulnérabilité sont réparties à travers la zone d'étude indépendamment de la pente. Pour le dernier facteur de la méthode DKPR, la relation entre celui-ci et le degré de vulnérabilité est totalement absente du fait de la limitation de ses classes en 0 et 1 et aussi de sa faible pondération (0,1) par rapport à celle des autres facteurs.

## 5 CONCLUSION

De ce qui précède, nous concluons que ce sont les facteurs D et K de la méthode DKPR qui contrôlent le degré de vulnérabilité à la contamination des eaux de surface du bassin versant du barrage de l'Oued Martil, et par la suite la qualité de l'eau de son barrage. De ce fait cette dernière sera fortement à moyennement vulnérable à la contamination par les produits polluants des différentes activités pouvant avoir lieu à la surface du bassin versant en amont, ainsi il sera recommandé de prendre en considération la carte de vulnérabilité obtenue par une meilleure gestion du bassin versant du barrage de l'Oued Martil à fin de garantir une bonne qualité des eaux au niveau du barrage et d'éviter des coûts supplémentaires pour leur traitement.

## REFERENCES

- [1] Bzioui M., (2000) : Politique et stratégies de gestion des ressources en eau au Maroc. Dans « La politique de l'eau et la sécurité alimentaire du Maroc à l'aube du XXI<sup>e</sup> siècle ». Publications de l'Académie du Royaume du Maroc. Rabat. 20-22 novembre 2000, pp. 15-52.
- [2] Douay D. et Lardieg E., (2010): Délimitation des aires d'alimentation des captages prioritaires du bassin Adour Garonne : méthodologie de cartographie de la vulnérabilité intrinsèques des captages d'eau superficielle. Rapport Antéa - Ginger – Calligée.
- [3] Herhar L., (2015): Cartographie de la Vulnérabilité à la Contamination des Eaux du Barrage de l'Oued Martil et Contribution à l'Etablissement de la Carte de Risque. Thèse en Science .Université Abdelmalek Essadi. Faculté des Sciences de Tétouan.
- [4] Herhar L. et Afilal F., (2011): Etude de protection du barrage de l'Oued Martil contre la pollution. Projet de fin d'étude du Master spécialisé Ingénierie et Gestion de l'Eau et de l'Assainissement. Université Abdelmalek Essaadi, Faculté des Sciences de Tétouan
- [5] Herhar L., Draoui M. and Stitou El Messari J., (2014): Application of the ESU method for mapping vulnerability to contamination of water Martil's river dam (Morocco North). International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324 Vol. 8 No. 3 Sep. 2014, pp. 1400-1409.
- [6] Rapport ABHL, (2010) : Etude d'impact sur l'environnement d'un projet d'exploitation d'alluvions fluviales, construction du barrage oued Martil", Geosurvey, Geoma. Rapport
- [7] Orhon, L., (1993) : Influence de la distance des épandages au ruisseau collecteur sur le transfert par ruissellement des pesticides, Mémoire de DEA, 28 p.
- [8] Wischmeier, W.H. et Smith D.D., (1965): Predicting rainfall -erosion losses from crop land east of the Rocky Mountains. Agricultural Handbook No. 282, USDA, Washington.
- [9] Renard K.G. et Freimund J.R., (1994): Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. Journal of hydrology, 157, p.287–306.
- [10] Rapport de Synthèse des eaux et forêts, (2009) : Etude technique du bassin versant en amont du futur barrage d'oued Martil. Haut-commissariat des eaux et forêts et à la lutte contre la désertification, direction régionale des eaux et forêts et à la lutte contre la désertification du Rif.