



Cit this: *JOWSET*, **2018** (02), N°02, 402-410

Application of the DKPR Method for Mapping Vulnerability to Contamination of Water Smir's River Dam (North Morocco)

Firdaous Afilal¹, Mohamed Draoui², Jamal Stitou El Messari¹

^[1] Department of Geology, University Abdelmalek Essaadi, Faculty of Sciences, Tétouan, Morocco

^[2] Département des Sciences de la Matière et de la Vie, ENS, University Abdelmalek Essaadi, Martil, Morocco

*Corresponding Author: Tel.: +2120668934514; e-mail: firdaousafilal@gmail.com

ABSTRACT: The mapping of the vulnerability to contamination of the waters of the Smir dam with polluting products is an important tool to contribute to the protection of the quality of these waters. For this purpose, we applied the DKPR method; this depends on four factors: (a) Hydraulic distance (D); (B) Hydrological operation of the soil and subsoil (K); (C) Watershed physiography (P); D) Erosivity of rain (R).

According to the vulnerability map of the resource for the Smir watershed, five zones were determined by the DKPR method, with very diversified percentages, this zone being very vulnerable (2% of the area (46%), the low vulnerability zone (11%), and finally the zone with very low vulnerability, represents 5% of the area Of the watershed.

Received: 07 November 2017

Accepted: 23 October 2018

Available online : 29 October 2018

Keywords:

water surface,
cartography of the vulnerability,
contamination,
SIG,
Method DKPR.

1. Introduction

Le contexte hydrologique du Maroc reste principalement influencé par une irrégularité annuelle et une variabilité interannuelle très marquées des précipitations et d'une disparité de leur distribution spatiale. C'est pour cette finalité que le Maroc, à la fin du dernier siècle, a choisi la politique de construction des barrages à fin de maîtriser et stocker l'eau de surface pendant les périodes pluvieuses et cela dans le but de sécuriser l'approvisionnement en eau au Maroc lors des années sèches [1].

La Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau a conduit depuis la fin des années 80 un programme de surveillance de la qualité des eaux des retenues de barrages dans le but de proposer des solutions pour réduire ses conséquences. A cet effet, il faut d'ores et déjà prendre toutes les mesures susceptibles de garantir une bonne qualité des eaux pour faire face aux besoins futurs.

L'établissement des cartes de vulnérabilité constitue, entre autre, un outil important pour atteindre cet objectif.

Le présent travail applique une méthode d'évaluation de la vulnérabilité à la contamination des eaux de surface, c'est la méthode DKPR proposé par Douay D. (CALLIGEE) et Lardieg E. (ANTEA) (2010) [2]. C'est une méthode de cartographie de la vulnérabilité à la contamination des ressources hydriques basée sur plusieurs critères qui sont ensuite pondérés. Ces critères sont des éléments descriptifs physiques, déterminables à l'échelle du bassin versant.

2. Caractéristiques de la zone d'étude

Le bassin versant de l'Oued Smir, à moins de 30 km au nord de la ville de Tétouan, représente la façade orientale de la chaîne du Haouz, élément septentrional de la Dorsale calcaire [3]. Il est situé entre les parallèles (39°43'30"N ; 39°35'15"N) et les méridiens (6°4'15"W ; 5°58'0"). Au sud, le Cap Negro le sépare de la plaine de Martil et au nord, Jbel Zemzem le sépare du bassin versant de l'oued Negro [4]. Il draine une superficie d'ordre de 67 Km² et un périmètre de

47 Km. Il est caractérisé par une topographie plus ou moins accidentée et une altitude qui varie entre 39 m (digue du barrage de l'Oued Smir) et 839 m à Jbel Belouazene (figure 1).

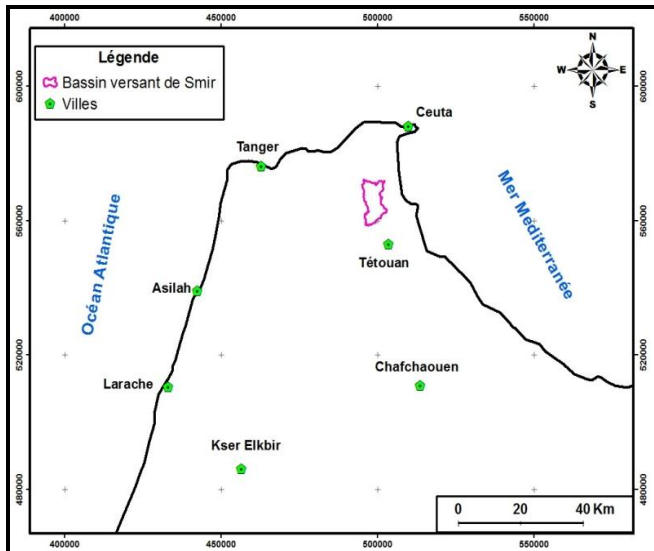


Fig. 1 : Situation du bassin versant de Smir

Le réseau hydrographique du bassin versant de Smir (Figure 2), composé de Oued EL lil au Sud, Oued Belouazen au centre et Oued Zarjouna au Nord, fonctionne pleinement pendant et après les pluies abondantes de l'hiver et du printemps.

Le barrage de l'Oued Smir a été mis en service en 1991 avec une surface de retenue de l'ordre de 4 km^2 , il régularise un volume annuel de 43 Mm^3 [5]. Il se caractérise par une hauteur de fondation de 48m. [6].

Le bassin versant de l'Oued Smir est, globalement sous un climat semi-humide, il se caractérise par l'alternance de deux saisons tranchées : La première humide et fraîche, s'étend sur plus de la moitié de l'année, généralement d'Octobre à Avril. Par contre la seconde saison se distingue par la fraîcheur et la sécheresse qui s'étalent entre Mai et Septembre. La précipitation moyenne annuelle montre une variation très considérable d'une année à l'autre. La précipitation moyenne mensuelle est de 61,4mm enregistrée au niveau de la station de Smir de 1979 à 2010 ; Janvier est le mois le plus arrosé contrairement au Juillet qui est le plus sec. Le mois de février est le plus froid alors que août est le plus chaud, avec une moyenne respective de 12,59°C et 21,39 °C. La température moyenne annuelle est de 16,46°C.

Géologiquement la zone d'étude est composée de quatre formations : **Nappe des Ghomarides** (paléozoïque non métamorphique, formée par l'unité de Koudiat Tizian, l'unité de Bni Hozmar et l'unité de Akaili) ; **Dorsale calcaro-**

dolomitique ; klippe de Zemzem et les formations post-nappes (Formations quaternaires et plaines alluviales récentes) [6].

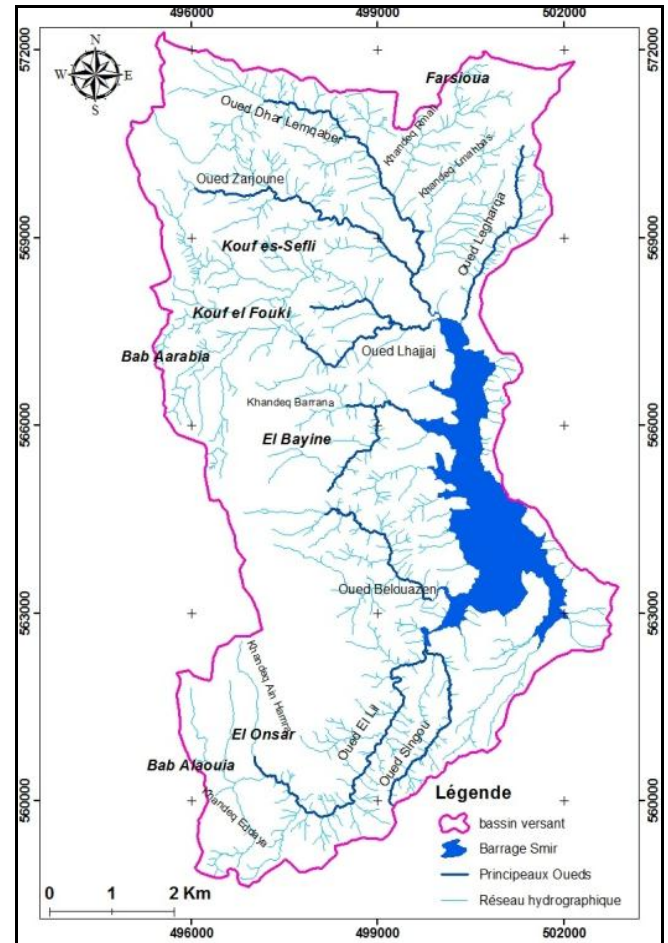


Fig. 2 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant de Smir

De point de vue lithologique, le bassin versant du Smir se caractérise par une diversité du substratum lithologique. Environ 45 % de la surface totale du bassin versant est occupée par des faciès perméables, ils sont localisés à l'Ouest du bassin et au site du barrage.

3. Méthodologie

La méthodologie proposée par Douay D. (CALLIGEE) et Lardieg E. (ANTEA) (2010) est une méthode de cartographie de la vulnérabilité à la contamination des ressources hydriques basée sur plusieurs critères qui sont ensuite pondérés, comme le montre la formule suivante :

$$V_r = \sum_{j=1}^{j=n} (w_j \times R_j)$$

Où :

Vr : Indice de vulnérabilité de la ressource aquatique ;
Wj : Facteur de pondération du paramètre j ;
Rj : Classe du critère j ;
n : Nombre de critère pris en compte.

Les critères retenus dans la méthode sont des éléments descriptifs physiques, déterminables à l'échelle du bassin versant. Ils sont :

- ✓ L'accessibilité du milieu aquatique : Distance hydraulique de chaque point au cours d'eau le plus proche de son bassin topographique « D » ;
- ✓ Le fonctionnement hydrologique du sol et du sous-sol « K ». Ce paramètre est fonction de trois indices : « IB » indice de battance du sol, « IDPR » indice de persistance du réseau et « Os » indice de l'occupation du sol ;
- ✓ La physiographie du bassin versant « P ». Ce paramètre est fonction de l'intensité des pentes « Pi » et des courbures des pentes « Pc » ;
- ✓ L'érosivité de la pluie « R », facteur influençant l'érosion hydrique.

L'une des hypothèses retenues pour l'élaboration de la méthodologie est le fait qu'à partir du moment où le fonctionnement hydrique du sol caractérisant la partition entre les eaux d'infiltration et les eaux de ruissellement est pris en compte à travers le paramètre « K », les aspects géologiques, pédologiques et hydrogéologiques ne sont pas à nouveau pris en compte par un critère distinct. Ceci « sous-entend » que la pollution potentielle apportée par les eaux souterraines est considérée comme négligeable par rapport à celle véhiculée par les eaux superficielles et notamment les eaux de ruissellement. Nous sommes tout à fait conscients que ceci peut être discutable, notamment en période d'étiage, ou dans certains contextes géologiques, l'apport des eaux souterraines peut constituer la majorité du débit du cours d'eau.

3.1. Facteur en relation avec l'accessibilité du milieu aquatique « d »

La détermination de facteur « D » se fait à la base du réseau hydrographique (Figure2) en dressant des intervalles de distance autour des cours d'eau à l'aide de l'ArcGIS, tout en respectant les valeurs indexées dans la méthode DKPR. Ce facteur désigne la vulnérabilité de point de vue la proximité des sources de pollution au réseau hydrographique, c'est-à-dire plus le point sélectionné est proche du réseau hydrographique, plus la valeur de la classe de vulnérabilité est élevée.

3.2. Facteurs en relation avec le fonctionnement hydrique du sol et le sous-sol «k»

Les classes « IDPR » sont déterminées en fonction du type de la circulation dominante pour chacune des unités lithologiques de la zone d'étude.

L'indice de battance « IB » est déterminé sur la base de la carte pédologique et de la réalisation de prélèvements et d'analyse d'IB. Les points des prélèvements ont été choisis d'une façon qu'ils soient répartis sur tous les types pédologiques existant dans le bassin versant, tout en respectant la facilité d'accès à ces points. Les analyses ont été faites dans le laboratoire de Géotechnique Méditerranéenne à Tétouan.

La détermination de la carte d'occupation du sol « Os » est élaborée à partir des baselayers image satellite du capteur TM (Landsat 5) acquis en 2011 d'une résolution de 30 m en utilisant les outils informatiques offerts par Qgis. On s'est basé aussi sur l'inventaire forestier 2003 ainsi la carte topographique du barrage Smir à l'échelle 1/25000 pour mieux visualiser les classes qui couvrent la zone d'étude.

Les trois cartes sont superposées afin d'obtenir une carte du facteur « K » représentée dans la figure 7.

La valeur du facteur de K est la somme des produits des classes IDPR, IB et Os par des facteurs de pondération correspond :

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

Où

a, b et c sont des facteurs de pondération (a = 0,4 ; b = 0,2 ; c = 0,4 et a+b+c=1).

Où :

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 d'occupation du sol.

3.3. Facteur en relation avec la physiographie du bassin versant « p »

Le ruissellement est conditionné par la physiographie du bassin versant en point de vue de l'intensité des pentes et leurs formes.

Selon la méthode DKPR, la valeur de l'indice P est la somme des produits des classes de l'intensité et de la courbure de pente avec des facteurs de pondération correspondant selon l'équation :

$$P = d P_i + e P_c$$

Avec :

d et e sont des facteurs de pondération (d = 0,8 ; e = 0,2 et d + e = 1).

Où :

- P : Critère de physiographie du bassin versant ;
 P_i : Classe de l'intensité de la pente ;
 P_c : Classe de la courbure de la pente.

La carte des classes de pentes a été extraite à partir du M.N.T (Modèle Numérique de Terrain) de la zone d'étude à l'aide du SIG (Système d'Information Géographique - ArcGis) et adaptée à des valeurs mentionnées dans la méthode DKPR.

La carte de la courbure des pentes a été aussi élaborée à partir du M.N.T de la zone d'étude à l'aide du SIG (ArcGis).

Les deux cartes sont superposées pour donner la carte du facteur « P » (Figure 10).

3.4. Facteur en relation avec l'intensité des précipitations : l'érosivité des pluies « r »

L'érosivité des pluies est calculée en appliquant la formule de Renard et Freimund (1994) suivante :

$$R = 0.04830 P^{1.610}$$

Où : R : Paramètre d'érosivité

P : Précipitation annuelle (mm)

3.5. Carte de vulnérabilité de la ressource aquatique

La carte de la vulnérabilité est obtenue par la superposition des cartes thématiques des facteurs D, K, P et R selon l'équation suivante :

$$Vr = 0,4 D + 0,3 K + 0,2 P + 0,1 R$$

Où :

- Vr : 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.

4. Résultats et discussions

4.1. Facteur « d »

La répartition spatiale des classes du facteur « D » pour le bassin versant de Smir est représentée dans la figure 3 qui montre qu'environ 36 % du bassin versant se trouve à moins de 50 m de cours d'eau. D'autre part, presque un quart du bassin versant se trouve entre 50 et 100 m du réseau hydrographique et 19 % de ce bassin est à plus de 200 m des cours d'eau. Une partie importante du bassin versant représente 20% de sa surface totale et s'éloigne des cours d'eau de 100 à 200 m.

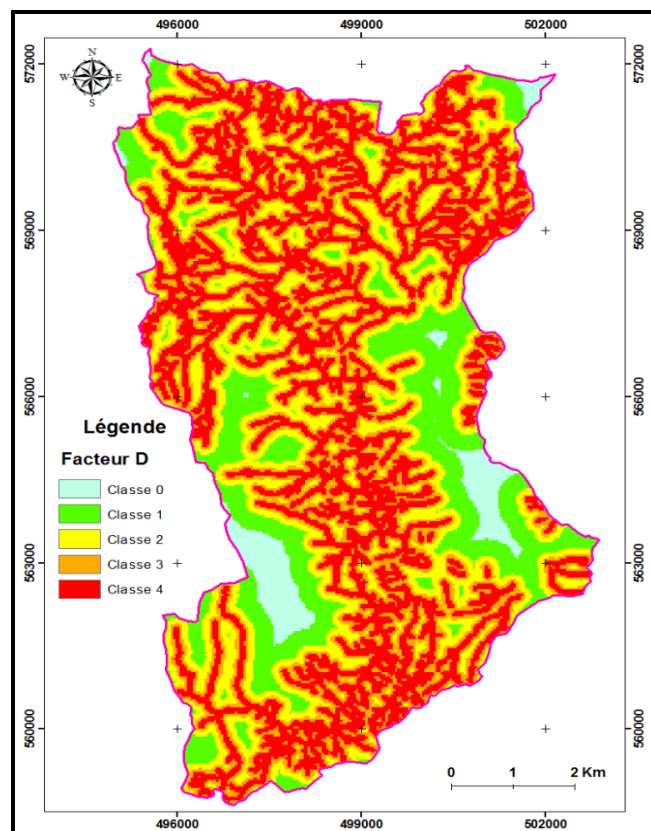


Fig. 3 : Répartition du paramètre « D » de la méthode DKPR pour le bassin versant de Smir

4.2. Facteur « k »

Ce facteur est fonction de trois indices :

- Indice de persistance du réseau « IDPR » (Figure 4);
- Indice de battance du sol « IB » (Figure 5) ;
- Indice de l'occupation du sol « Os » (Figure 6).

Les trois classes de l'indice « IDPR » qui ont été déterminées sur l'ensemble du bassin versant sont : Classe 1 : Infiltration majoritaire (45%) caractérise les faciès perméables,

Classe 2 : Circulation mixte (37%),

Classe 3 : Ruissellement majoritaire (18%) où se manifestent les faciès perméables.

Les classes de l'indice « IB » sont représentées dans la figure 5. Elles varient de la classe 0 ($IB < 1$) jusqu'à la classe 4 ($IB > 1,3$).

Les classes de l'indice « Os » attribuées par la méthode DKPR à chacune des occupations du sol sont représentées dans la figure 6. Les différentes occupations de sol du bassin versant de Smir ont été classées en quatre classes.

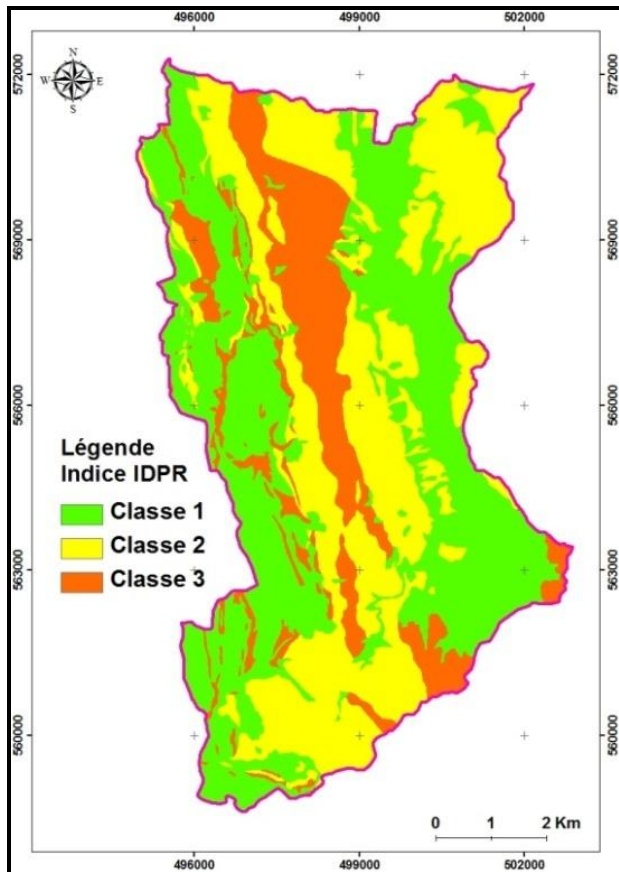


Fig. 4 : Répartition d'indice IDPR de la méthode DKPR pour le bassin versant de Smir

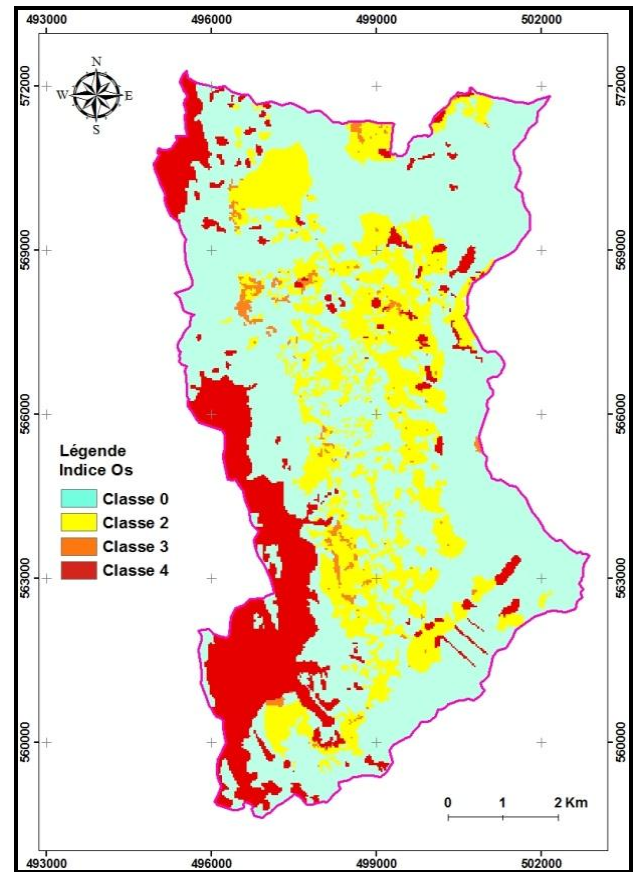


Fig. 6 : Répartition du paramètre d'occupation de sol de la méthode DKPR pour le bassin versant de Smir

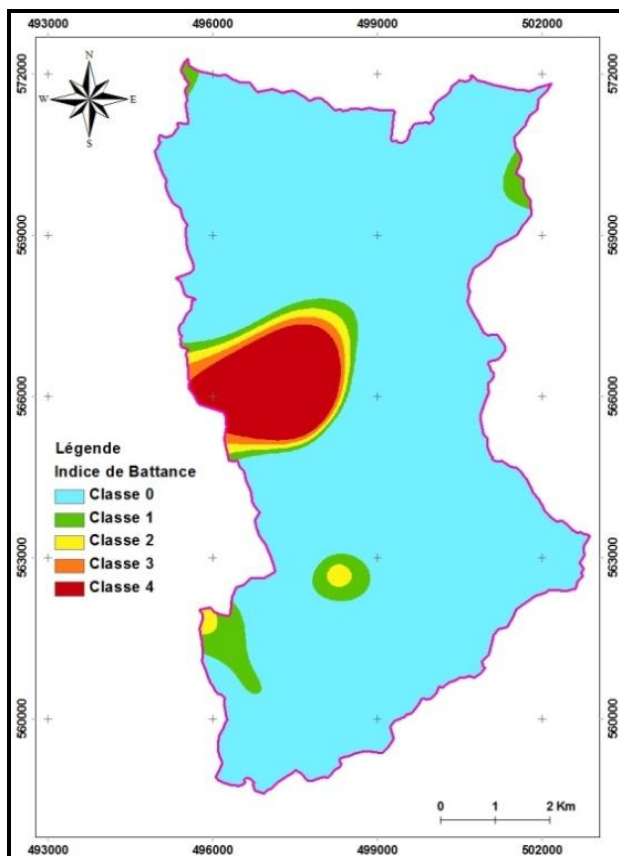


Fig. 5 : Répartition d'indice de Battance de la méthode DKPR pour le bassin versant de Smir

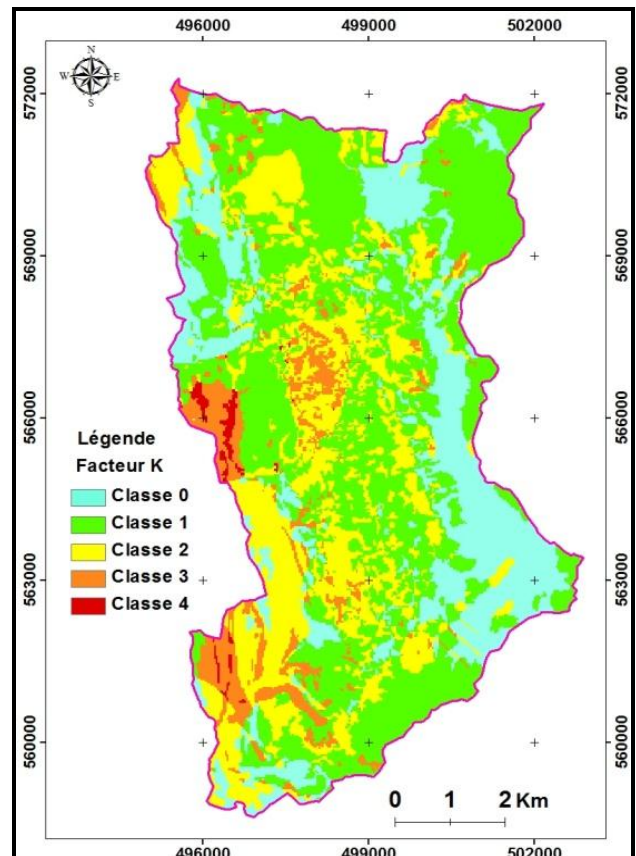


Fig. 7 : Répartition du paramètre « K » de la méthode DKPR pour le bassin versant de Smir

Cinq classes du facteur K sont ainsi déterminées :

La classe 0, contribuant à des valeurs d'indice de K entre 0 et 0,79 ; recouvre 21% de la superficie totale du bassin versant de Smir, elle coïncide avec les dolomies, le calcaire, les faciès détritiques fluviaux, conglomérats, sables et les dépôts de pente où le sol est occupé par les eaux, les chênes Liège, les essences résineuses, le Thuya et le Matorral.

La classe 1, la plus développée (44% de la surface totale de la zone d'étude), caractérise la forêt et les terrains de culture édifiés sur une lithologie diversifiée (marnes, calcaires, dolomies, séries condensées, Flysch, conglomérat, Shistes, grès, argile, formations détritiques, Alternances des grès et pelite, Greywackes, Arénites et pélites).

La classe 2, attribuée à l'intervalle (1,6- 2,39) des valeurs d'indice K et s'étalant sur 26% la surface totale du bassin versant. Elle caractérise les sols nus et des sols occupés par la carrière, l'unité de production du béton, les Douars, le Matorral et les terrains de culture, avec une même lithologie que la classe 1 à l'exception des marnes.

La classe 3, associée à l'intervalle du facteur K entre 2,4 et 3,19 ; répartie sur 8% de la surface totale de la zone d'étude tout en coïncidant principalement avec les marnes le calcaire, les dolomies, les séries condensées, les Flyschs, les Shistes, les conglomérats, grès et argile, les formations détritiques comme formations lithologiques ; et par le sol nu, les douars et les terrains de culture comme type d'occupation de sol.

La classe 4, réservée pour les valeurs d'indice de K supérieurs à 3,2, elle est moins développée (1% de la surface totale du bassin versant) tout en étant liée au sol nu édifiés sur les dolomies, les marnes et les formations détritiques.

4.3. Facteur « P »

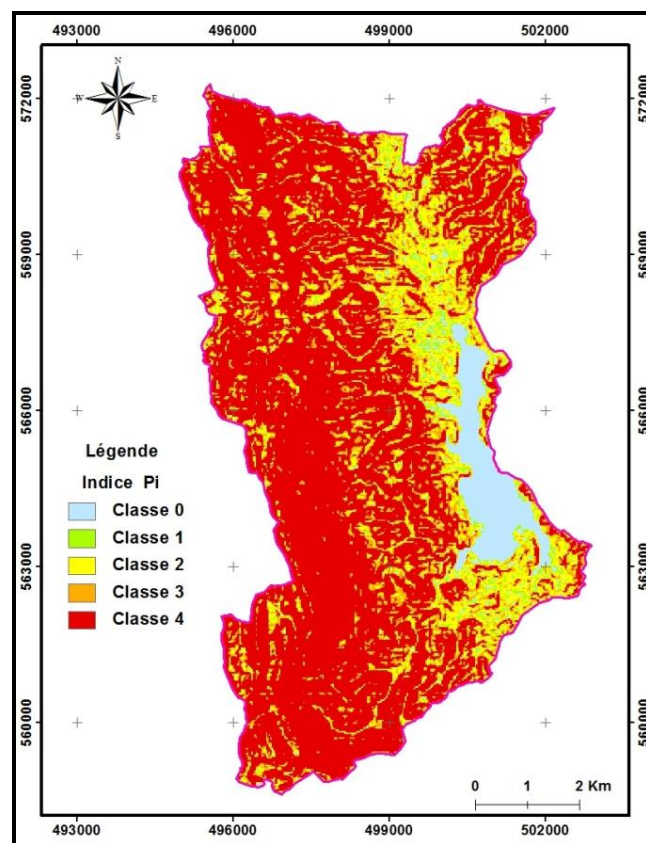


Fig. 8 : Répartition du paramètre « Pi » du facteur P de la méthode DKPR pour le bassin versant de Smir

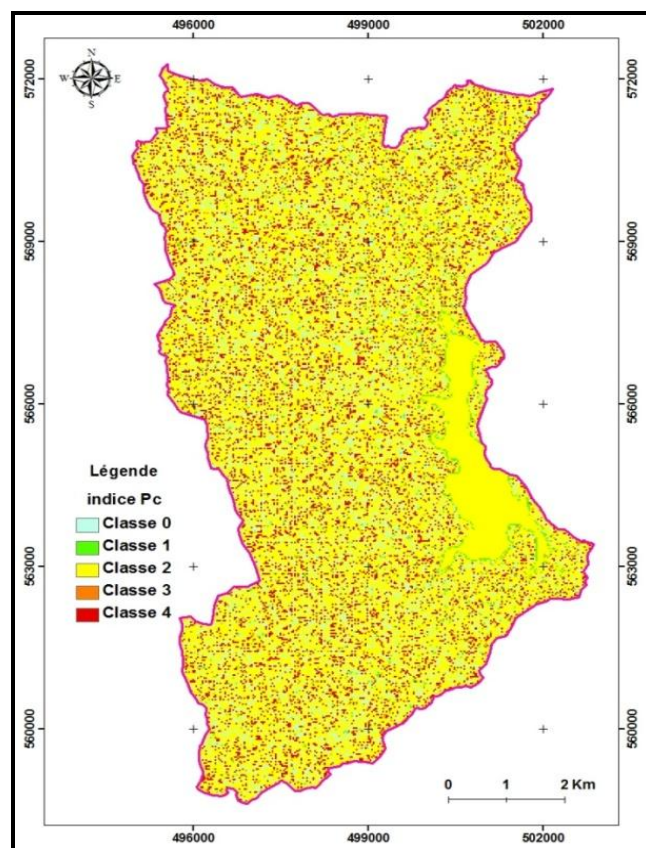


Fig. 9 : Répartition du paramètre « Pc » du facteur P de la méthode DKPR pour le bassin versant de Smir

Les valeurs de l'indice « P » varient de zéro comme valeur minimale à quatre comme valeur maximale.

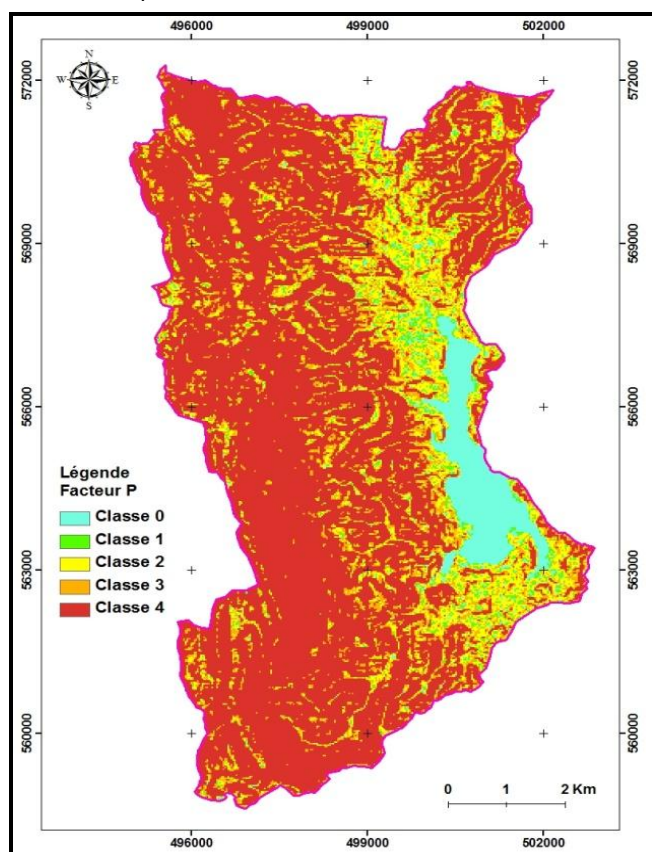


Fig. 10 : Répartition du paramètre « P » de la méthode DKPR pour le bassin versant de Smir

D'après la carte représentant le facteur P, cinq classes ont été obtenues, le bassin versant de Smir est dominé par la classe 4 (68% de sa surface totale) qui coïncide principalement avec la nappe des Ghomarides et la dorsale calcaro-dolomitique caractérisés par le ruissellement favorisé par la forte pente. Ensuite, 3 classes (3, 2 et 1) sont réparties respectivement sur 11%, 12% et 3% de la surface du bassin versant, caractérisent surtout la partie Est. La classe 0 à laquelle s'associe un pourcentage 6%, est bien représentée sur le territoire du barrage.

4.4. Facteur en relation avec l'intensité des précipitations : l'érosivité des pluies « R »

Les classes des indices d'érosivité des pluies « R » de la méthode DKPR pour le bassin versant de Smir sont représentées dans la figure 11. La classe 1 d'indice R ($2000 < R < 3000$) occupe 42% de la surface totale du bassin versant. Alors que la classe 2 ($3000 < R < 4000$) recouvre 58% de la surface totale.

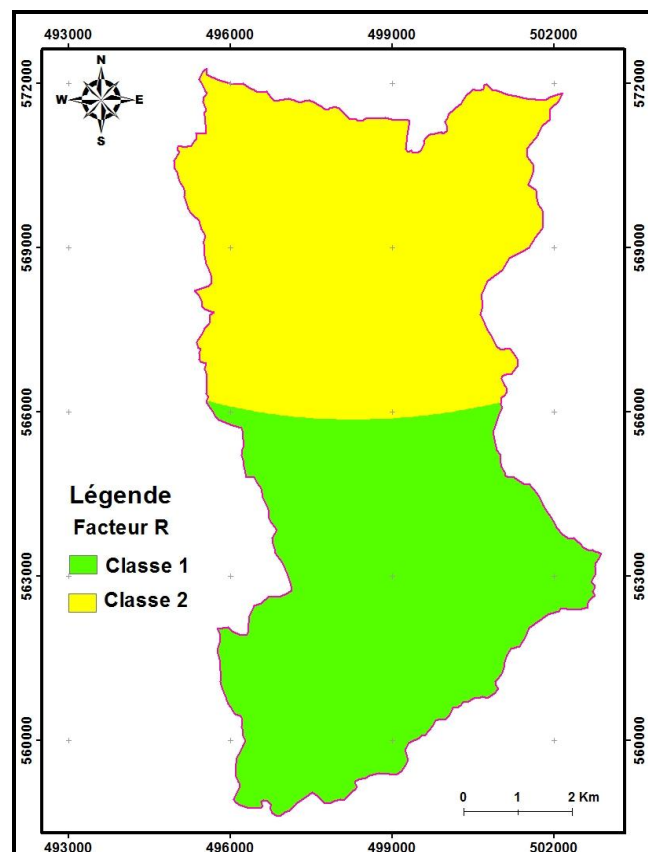


Fig. 11 : Répartition du paramètre « R » de la méthode DKPR pour le bassin versant de Smir et la localisation des stations météorologiques

La valeur de l'indice de la vulnérabilité à la contamination à chaque point du bassin versant est la somme des produits de la classe de chacun des facteurs DKPR par son facteur de pondération. La répartition spatiale de ces valeurs et leur classe a abouti à la carte de vulnérabilité à la contamination représentée dans la figure 12.

D'après la carte de la vulnérabilité de la ressource pour le bassin versant de Smir, cinq classes ont été déterminées par la méthode DKPR, avec des pourcentages très diversifiés :

La classe **très élevée**, la moins développée (2% de la surface totale du bassin versant), caractérisée par un indice de vulnérabilité supérieur à 3,2. Tout en coïncidant principalement avec les conglomérats, les Flyschs, les formations détriques, les Schistes, les séries condensées, les dolomies et les alternances calcaro-dolomitiques comme formations lithologique et avec le Sol nu, les douars comme type d'occupation de sol.

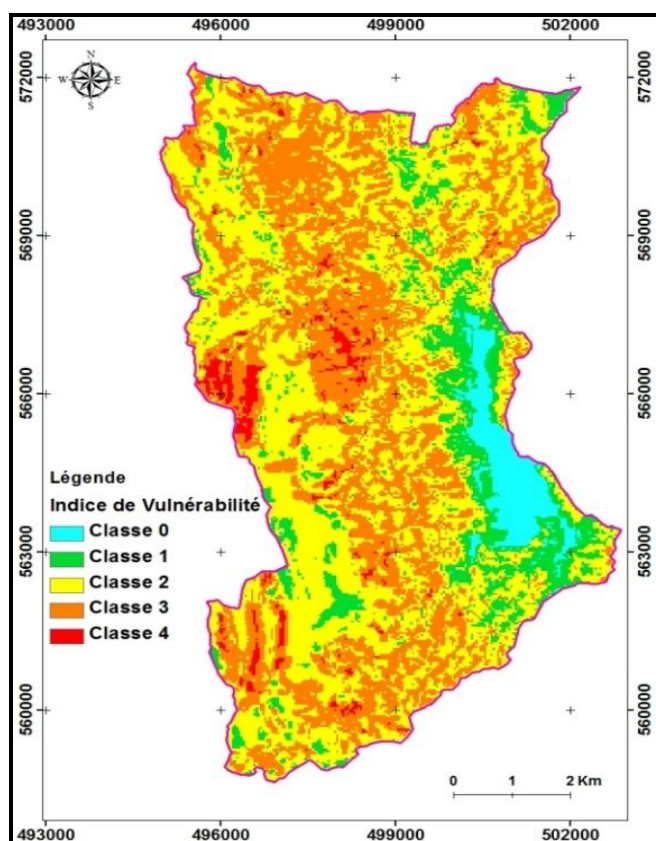


Fig. 12 : Carte de la vulnérabilité de la ressource « Vr » de la méthode DKPR pour le bassin versant de Smir

La classe **élevée**, à des valeurs d'indice de vulnérabilité entre 2,4 et 3,19 ; répartie sur 36% de la superficie totale du bassin versant de Smir, Elle caractérise le Matorral, les terrains de culture, le sol nu, les chênes liège, les essences résineuses les Douars et l'unité de production du béton. Édifiés sur une lithologie diversifiée (dolomies et calcaires, marnes, dolomies, Schistes argile et marnes, marnes, conglomérats, Arénites et pélites, grès et calcaires, Flyschs, conglomérats grès et argiles, calcaires, séries condensées, Schistes, formations détritiques, Greywaks et pélites, grès et pélites, alternances calcaro-dolomitiques).

La classe **modérée**, attribuée à l'intervalle (1,6- 2,39) des valeurs d'indice de vulnérabilité, elle s'étale sur 46% de la surface totale du bassin versant, avec une même lithologie que la classe élevée en ajoutant les dépôts de pentes et les quaternaires.

La classe **faible**, associée à l'intervalle des valeurs d'indice de vulnérabilité entre 0,8 et 1,59, elle recouvre 11% de la surface totale du bassin versant, caractérise le sol occupé par le Matorral, les terrains de culture, et les forêts. Elle coïncide avec les Dolomies, les Schistes argiles et conglomérats, les grès et pélites, les Arénites et pélites, les dépôts de pentes, les faciès détritiques fluviaux, les

conglomérats, le sable, les calcaires, les calcaires et dolomies.

La classe **très faible**, avec un indice de vulnérabilité inférieur à 0,79 et 5%, de la surface totale du bassin versant, représente la zone du barrage, elle coïncide avec les dépôts de pentes, les faciès détritiques fluviaux, les conglomérats et le sable.

5. Conclusion et recommandations

Le bassin versant de Smir se divise, selon sa vulnérabilité à la pollution, en cinq zones : la zone à **très forte vulnérabilité**, est la moins développée, elle est remarquable surtout au centre et à l'Ouest du bassin versant ; les zones à forte et à moyenne **vulnérabilité** sont les plus représentatives, elles se diffusent tout au long du bassin versant. Et les zones à **faible** et à **très faible vulnérabilité**, elles, se trouvent dispersées sur et autour du barrage.

Dans le but de participer à la préservation de la qualité de l'eau du barrage de Smir, nous citons les mesures qui peuvent être recommandées à propos des zones de très fort à fort degré de vulnérabilité à la contamination des eaux de surface du bassin versant étudié :

- ❖ Mettre en place un réseau d'assainissement autonome pour interdire tout rejet clandestin des eaux usées et des déchets dans les oueds et leurs affluents et réaliser des campagnes de sensibilisation sur cette pratique et sur la protection des ressources en eau ;
- ❖ Contrôler la quantité et la qualité utilisées des pesticides et des engrais suite à un accompagnement des agriculteurs par la Direction provinciale d'agriculture de Tétouan.
- ❖ Augmenter le taux de collecte des déchets à l'échelle de toute la zone d'étude pour éviter les rejets clandestins ;
- ❖ Interdire l'installation de toute activité polluante au niveau des zones qui montrent un fort degré de vulnérabilité.
- ❖ Délimiter et respecter les périmètres de protection du barrage.

Remerciements

Nos remerciements à L'ABHL (l'Agence du bassin hydraulique du Loukkos) et DPA (Direction Provinciale d'Agriculture) de Tétouan pour nous avoir facilité certaines données.

6. Références Bibliographiques

1. MEMEE, Ministre de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement- chargé de l'eau, ressources en eau « ressources en eau par bassin » synthèse des bassins hydrauliques. [Online] available. (<http://www.water.gov.ma/index.cfm?gen=true&id=13>) (Sept, **2009**).
2. D Douay, E Lardieg. Délimitation des aires d'alimentation des Captages prioritaires du bassin Adour Garonne : méthodologie de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des captages d'eau superficielle, **2010**, 28.
3. B El fellah. Géomorphologie et cartographie du bassin versant de l'Oued Smir. *Travaux de l'Institut Scientifique*, Rabat, série générale, 4, **2005**, 1.
4. L Nabil et A Ennabili . La flore dans la science du géo-aménagement : Cas du bassin versant de l'oued Smir (Tétouan, Nord-Ouest du Maroc), *Revue AFN Maroc* **2005**.
5. Y El Ghachtoul ,M Alaoui Mhamidi et H Gabi. Eutrophisation des eaux des retenues des barrages Smir et Sehla (Maroc) : Causes, conséquences et consignes de gestion. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 18, numéro hors-série, **2005**, 75.
6. A Taouil. milieu naturel et utilisation du sol dans le Haouz méditerranéen de Tétouan, rif occidental, Maroc : Facteurs physiques, système agro-sylvo-pastoral, Production et évolution de l'espace », *thèse universitaire*, l'Université d'Amsterdam, **2001**, 33

