

EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES EAUX SOUTERRAINES A LA POLLUTION MOYENNANT LA METHODE P.R.K. : APPLICATION A LA NAPPE PHREATIQUE DU RICH (SUD DU MAROC)

[VULNERABILITY ASSESSMENT OF GROUNDWATER AGAINST POLLUTION USING THE PRK METHODE : APPLICATION TO RISH GROUNGWATER (SOUTH OF MOROCCO)]

H. CHERKAOUI DEKKAKI¹, Y. EL KAYSSI², M. HILALI³, I. KACIMI², and H. SAHBI⁴

¹Génie de l'Eau et de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques Al Hoceima,
Université Mohammed Premier, Maroc

²Laboratoire d'Océanologie, Géodynamique et Génie Géologique, Faculté des Sciences Rabat,
Université Mohammed V, Maroc

³Equipe d'Hydrogéophysique et Cartographie Numérique, Faculté des Sciences et Techniques d'Errachidia,
Université Moulay Ismail, Maroc

⁴Laboratoire de Géo-ingénierie et Environnement, Faculté des Sciences Meknès,
Université Moulay Ismail, Maroc

Copyright © 2016 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: The assessment of groundwater vulnerability against pollution is a crucial procedure for land settlement. The topography enables decision makers to better manage and analyze information necessary for the delineation and / or identification of areas where groundwater is vulnerable to pollution.

Within this context, and considering the strategic role of the Rish groundwater in the socio-economic development of the South East region of Morocco, a map of the aquifer vulnerability with multi-criteria acronym approach PRK has been developed.

This approach, based on the parametric methods of class system, aims primarily at designing an index map of the intrinsic vulnerability of the hydrogeological system through gathering the overall indices by classes. It is grounded on the multiplying combination of the information layers relating to three parameters: 1. (P) - topographic slope, 2. the ratio (R) - combining variation of the amplitude of the fluctuations of the piezometric level compared to the thickness of the unsaturated zone and 3. (K) - permeability of the aquifer, whence the generic term P.R.K, taking the initials of these parameters.

The overall indexes acquired by this combination vary within a range of values from 2 to more than 91. They are distributed into six classes corresponding to degrees of vulnerability fluctuating from "very less" to "extreme". However, the dominant class is "very less vulnerable". It covers up to 89% of the total area of the studied zone.

KEYWORDS: groundwater, pollution, level fluctuations, aquifer permeability.

RESUME: L'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution est une démarche fondamentale pour l'aménagement du territoire. Sa cartographie permet aux décideurs de mieux gérer et analyser l'information nécessaire pour la délimitation et/ou l'identification des zones au-dessous desquelles les eaux souterraines sont vulnérables à la pollution.

Dans ce contexte, et vu le rôle stratégique de la nappe phréatique du Rich dans le développement socio-économique de la région Sud Est du Maroc, une carte de vulnérabilité de cette nappe moyennant l'approche multicritère d'acronyme P.R.K. a été développée.

Cette approche, fondée sur le principe des méthodes paramétriques à système de classes, a pour objectif principal de concevoir, une carte indicielle relative à la vulnérabilité intrinsèque du système hydrogéologique en rassemblant les indices globaux par classes. Elle est basée sur la combinaison multiplicative des couches d'information relatives aux trois paramètres: 1. (P) - Pente topographique, 2. le rapport (R) - combinant la variation de l'amplitude des fluctuations du niveau piézométrique par rapport à l'épaisseur de la zone non saturée et 3. (K) - Perméabilité de la formation aquifère, d'où le terme générique P.R.K., reprenant les initiales de ces paramètres.

Les indices globaux obtenus par cette combinaison varient dans une fourchette de valeurs allant de 2 à plus de 91. Ils sont distribués en six classes correspondant aux degrés de vulnérabilité fluctuant du « très peu » à « l'extrême ». Toutefois, la classe dominante est « très peu vulnérable ». Elle couvre jusqu'à 89 % de la superficie totale de la zone étudiée.

MOTS-CLEFS: Eaux souterraines, pollution, fluctuations, niveau piézométrique, formation aquifère.

1 INTRODUCTION

La vulnérabilité des eaux souterraines à l'introduction d'un altéragène à partir de la surface du sol est un concept qualitatif traduisant le degré de la nécessité de la protection des eaux souterraines vis à vis des différentes charges polluantes émanant des activités souvent anthropiques.

⇒ *Dans un sens plus restreint*, la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines à la pollution peut être définie tel un défaut de protection naturelle des eaux souterraines, contre des menaces de pollution en fonction des conditions hydrogéologiques locales. Dans cette définition, la notion de la vulnérabilité n'est tributaire que des paramètres intrinsèques relativement statiques, d'où sa qualification d'intrinsèque. Le degré de la vulnérabilité à évaluer dépendra donc exclusivement des propriétés physiques des aires considérées, nonobstant la présence ou l'absence de faits à risques environnementaux sur ces aires : paramètres dynamiques, changeants et contrôlables.

⇒ *Dans son sens large*, et pour décrire la vulnérabilité intégrale à une contamination quelconque d'un système souvent complexe, où interfèrent des aspects anthropiques et hydrogéologiques, l'introduction de la notion du risque s'impose. Cette définition de la vulnérabilité intégrale ou encore la sensibilité fait référence à deux grandes notions combinées : Vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines à la pollution (Iv), correspondant à la probabilité qu'un altéragène atteigne ces eaux, causant ainsi leur pollution ; et la grandeur des conséquences que cette pollution puisse générer, exprimée ici, en terme d'Agressivité des foyers de pollution vis-à-vis des eaux souterraines (Ia).

L'expression de cette sensibilité, s'effectue en terme d'indice de sensibilité (Is), combinant les deux descripteurs Iv et Ia suivant l'équation ci-après : $Is = Iv \cdot Ia$. Avec : **Iv** : Indice relatif à la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines à la pollution ; **Ia** : Indice relatif à l'agressivité des foyers de pollution vis-à-vis des eaux souterraines.

Pour l'évaluation du premier descripteur, l'approche multicritère d'acronyme P.R.K., a été développée par H. CHERKAOUI DEKKAKI en 2006 dans le cadre d'une thèse de doctorat à l'Ecole Mohammedia d'Ingénieurs (Rabat - Maroc). Elle consiste en l'intégration de trois paramètres jugés les plus pertinents dans l'évaluation la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines à la pollution soient : la pente topographique (P), le rapport (R), combinant la variation de l'amplitude des fluctuations du niveau piézométrique par rapport à l'épaisseur de la zone non saturée et la perméabilité (K) de la formation aquifère ; couplée au système d'information géographique (SIG).

Cette approche a été d'abord développée et testée au niveau de la nappe phréatique du Souss (secteurs aval et Médian). Le présent article présente les résultats de son application au niveau de la nappe phréatique du Rich.

➤ **Situation de la zone d'étude**

L'aire d'étude concerne la nappe du Rich circulant au niveau du flanc sud du Haut Atlas Central, en particulier sa partie gitant au dessus du centre de la ville du Rich, à la confluence des oueds Ziz et Sidi Hamza. Au-dessus de cette aire hydrogéologique, le centre du Rich est situé au Sud du Maroc, en particulier, au Sud de la province de Midelt dont il se rattache administrativement (Cf. Fig. 1). La population recensée en 2004 s'y élève à 21 100 habitants.

Dans l'ensemble de la région du Rich, l'évolution de la population s'est traduite par la mise en place progressive de grandes infrastructures publiques (établissements scolaires et de santé, marchés, souk, etc). L'ensemble des tribus

sédentarisées le long de l'oued Ziz en direction du Moyen Atlas trouvent leur lien d'échange entre les produits de la campagne et la ville au niveau du centre du Rich (Agence du Bassin Hydraulique du Guir-Ziz-Rhéris, 2010).

L'activité principale de la population locale est l'agriculture.

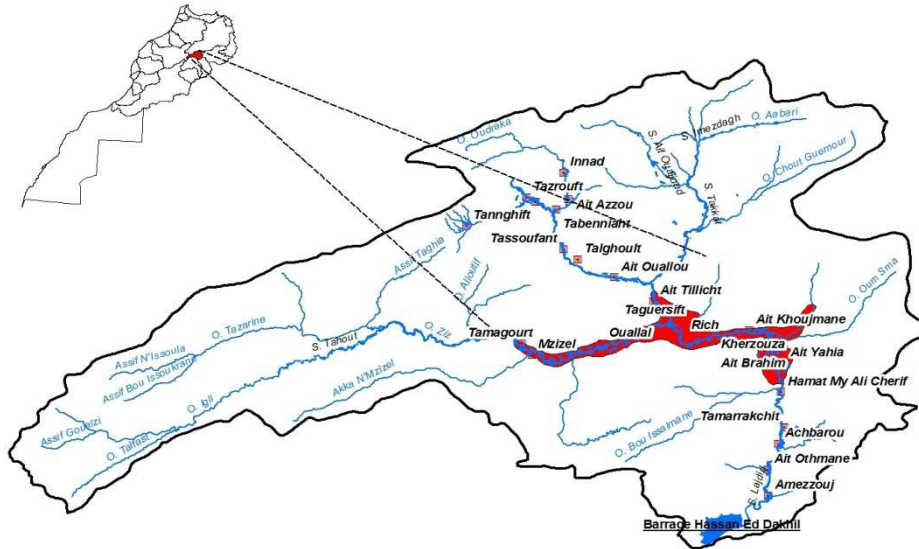


Figure 1 : Situation de la zone d'étude

➤ Hydrogéologie au sein de l'aire d'étude

La nappe du Rich circule dans une large dépression longitudinale orientée Est -Ouest, établie surtout sur les marnes du Toarcien-Aalénien souvent imperméable ou peu perméable. Les formations quaternaires constituées essentiellement de dépôts fluviatiles, parfois fluvio-lacustres forment le réservoir aquifère principal.

L'écoulement général des eaux souterraines se fait de l'Ouest vers l'Est le long de la vallée de Ziz entre Mzizel et Rich, il devient Nord Ouest - Sud Est entre Igourramene et Taguersift puis s'oriente du Nord vers le Sud le long de la vallée de Ziz entre Kerrando et Touahite. La profondeur du plan d'eau fluctue entre 3 à 20 m avec une moyenne de l'ordre de 10 m.

Les fluctuations piézométriques sont saisonnières, liées à celles de la pluie. Une baisse pluviométrique importante durant les années 1980 et 1995/96 a provoqué une baisse des niveaux piézométriques de la nappe. La bonne pluviométrie enregistrée à partir de 2001/02 s'est manifestée par une augmentation des niveaux piézométriques de la même nappe.

La température de l'eau est comprise entre 10 °C et 22 °C, avec une moyenne de 18 °C. La conductivité électrique oscille entre 223 et 590 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une moyenne de l'ordre de 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

➤ Conditions d'exploitation de la nappe du Rich

Les eaux de la nappe du Rich sont exploitées essentiellement pour l'alimentation en eau « potable » de la population locale et l'irrigation. En effet, la population locale s'active en grande partie dans le secteur agricole, avec un système d'irrigation dominé par la Petite et Moyenne Hydraulique, géré par l'office régional de mise en valeur agricole du Tafilat (Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Tafilet - ORMVAT) à travers un centre de mise en valeur agricole.

La superficie irriguée actuelle est de l'ordre de 4400 ha. La mobilisation des eaux nécessaires se fait essentiellement par pompage sur nappe et transfert à travers des canaux de déviation le long de l'oued Ziz.

La pratique d'irrigation traditionnelle risque de constituer une menace pour les ressources en eau, notamment souterraines par l'infiltration des nitrates dans les zones vulnérables. La pollution diffuse des activités agricoles provient principalement de l'utilisation d'engrais et de pesticides d'une manière non contrôlée.

2 METHODOLOGIE

2.1 PRINCIPE DE L'APPLICATION DE L'APPROCHE P.R.K.

A l'instar de plus de 40 méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution (DRASTIC par ALLER et al en 1987, GOD par FOSTER et al en 1988, SINTACS par CIVITA M. en 1990, DRACTIC Modifiée par MOUADDINE L. en 1997 ...etc), l'approche P.R.K. développée par CHERKAOUI DEKKAKI H. en 2006 est basée sur le principe des méthodes paramétriques, utilisant un système de cotation numérique. Elle consiste à évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines, en tenant compte des différentes caractéristiques de l'aquifère sans égard à un altéragène particulier ou à une source de contamination donnée. Ce qui lui attribue une certaine flexibilité particulièrement devant la grande variabilité du type de la contamination, ses causes et sa gravité.

Les trois paramètres combinés sont ainsi :

- **La pente topographique (P) → L'indice de la vulnérabilité liée à la surface du sol est donc une fonction inverse de la pente topographique** (CHERKAOUI DEKKAKI H. - Décembre 2006) ;
- **Le rapport (R)**, combinant la variation de l'amplitude des fluctuations du niveau piézométrique par rapport à l'épaisseur de la zone non saturée → **Une grande amplitude des fluctuations réduit l'épaisseur de la zone non saturée et par conséquent, augmente la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution** (CHERKAOUI DEKKAKI H. - Décembre 2006) ;
- **La perméabilité (K) de la formation aquifère → L'indice de la vulnérabilité est proportionnel à la perméabilité de la formation aquifère** (CHERKAOUI DEKKAKI H. - Décembre 2006).

Pour l'élaboration des cartes indicielles relatives aux trois paramètres : P, R, K ainsi que la carte finale de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines à la pollution, on procède par les opérations suivantes :

- (1) – Délimitation de la zone d'étude, zone sur laquelle les opérations de combinaison seront effectuées ;
- (2) – Calcul des indices partiels relatifs aux différents paramètres retenus, au niveau de chaque pixel de la zone étudiée. Dans cette étape, une cartographie indépendante est à dresser pour chaque paramètre retenu avant de les combiner. Ci-dessous sont représentés les différents indices partiels (I_i), d'une manière plus flexible (Cf. Tab. II-1).

Tableau II-1 : Matrice de correspondance et de numérisation des (I_i)

Paramètre	Intervalle	Classe	Note : I_i
(P) : Pente topographique (%)	[0 - 18 [≥ 18	1
		[10 - 18[	3
		[5 - 10[	5
		[3 - 5[	7
		[1 - 3[	9
		[0 - 1[	10
(R) : Amplitude des fluctuations / Épaisseur de la Z.N.S.	[0-1[	[0.0 - 0.3[(30%)	1
		[0.3 - 0.4[(40%)	2
		[0.4 - 0.5[(50%)	4
		[0.5 - 0.7[(70%)	6
		[0.7 - 0.8[(80%)	8
[0.8 - 1.0[(100%)	10		
(k) : Perméabilité (m/s)	[10^{-7} - $4.5 \cdot 10^{-3}$[	$< 10^{-7}$	1
		[10^{-7} - $7 \cdot 10^{-4}$[	2
		[$7 \cdot 10^{-4}$ - $2 \cdot 10^{-3}$[	4
		[$2 \cdot 10^{-3}$ - $3 \cdot 10^{-3}$[	6
		[$3 \cdot 10^{-3}$ - $4.5 \cdot 10^{-3}$[	8
$\geq 4.5 \cdot 10^{-3}$	9		

Source : CHERKAOUI DEKKAKI H. (Décembre 2006)

(3) - Calcul automatique de l'indice global de la vulnérabilité par combinaison multiplicative des cartes indicielles relatives aux différents paramètres retenus, au niveau de chaque pixel de la zone étudiée suivant l'équation ci-après :

$$I_v = \prod_{i=1}^3 I_i \Rightarrow I_v = I_p \times I_R \times I_K$$

I_p : Indice partiel relatif à la pente topographique ;

I_R : Indice partiel relatif au rapport R ;

I_K : Indice partiel relatif à la perméabilité de la formation aquifère.

Le résultat final est un intervalle compris entre une borne inférieure : 1 et une borne supérieure, supérieure à 91. Les subdivisions retenues sont :

- Classe [1 ; 31 [\Leftrightarrow Zone très peu vulnérable (TPV) ;
- Classe [31 ; 46 [\Leftrightarrow Zone peu vulnérable (PV) ;
- Classe [46 ; 61 [\Leftrightarrow Zone moyennement vulnérable (MV) ;
- Classe [61 ; 76 [\Leftrightarrow Zone très vulnérable (TV) ;
- Classe [76 ; 91 [\Leftrightarrow Zone fortement vulnérable (FV) ;
- Classe $\geq 91 \Leftrightarrow$ Zone extrêmement vulnérable (EV).

(4) - Appréciation cartographique du degré de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution, par zonage des aires ayant les mêmes classes de variation.

Par convention, on utilise un code en double gamme de couleurs (chaude et froide) s'accroissant de part et d'autre du jaune.

Les couleurs possédant des tons chauds s'étendant du jaune, orangé au rouge, seront affectées à un indice exprimant une vulnérabilité moyenne à extrêmement forte. Par contre, les couleurs aux tons froids ou vifs, s'étalant du jaune, vert au bleu, seront affectées à un indice faible, traduisant une faible à très faible vulnérabilité.

Les classes vides dont on ne dispose pas de valeurs, auront une teinte noire (Cf. Tab. II-2).

Tableau II-2 : Critères d'appréciation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution

Degré de vulnérabilité	Couleur correspondante
Très peu vulnérable	Bleu
Peu vulnérable	Vert
Moyennement vulnérable	Jaune
Très vulnérable	Orange
Fortement vulnérable	Magenta
Extrêmement vulnérable	Rouge
Classe vide	Noir

Source : CHERKAOUI DEKKAKI H. (Décembre 2006)

2.2 DONNÉES UTILISÉES

Afin d'élaborer la carte finale de la vulnérabilité intrinsèque de la nappe du Rich, les données et documents suivants ont été utilisés :

- **Carte de répartition spatiale des pentes**, générée à partir d'un MNT de 30 m de résolution (Cf. Fig. 2) ;
- **Carte de répartition spatiale du rapport R** (Cf. Fig.3). Ce rapport a été calculé à partir des mesures du niveau piézométrique, effectuées en février 2012 et mai 2012. Il est considéré selon une approche à limite supérieure. Ainsi, l'épaisseur de la zone non saturée considérée est celle relative à la période des hautes eaux ;
- **Carte de répartition spatiale de la perméabilité de l'aquifère du Rich**, générée à l'aide d'un modèle mathématique aux différences finies en trois dimensions élaborée dans le cadre d'une publication scientifique : Modélisation hydrodynamique de la nappe alluviale du Rich (EL Kayssi Y et al) - (Cf. Fig. 4).

2.3 OUTILS INFORMATIQUES UTILISÉS

Les deux principaux outils informatiques utilisés :

- Pour la préparation, le traitement et la combinaison des données manipulées, le SIG utilisé est l'ArcGIS - Version 10.3 (développé par ESRI : Environmental Systems Research Institute) ;
- Pour la modélisation de l'écoulement de la nappe du Rich en régime permanent, aboutissant à la carte de la perméabilité de l'aquifère étudié, le logiciel utilisé est le GMS : Goundwater Modeling System -Version 6.5, développé par Aquaveo).

Ci-après, la représentation cartographique de la répartition spatiale des paramètres P, R et K au niveau de la zone étudiée.

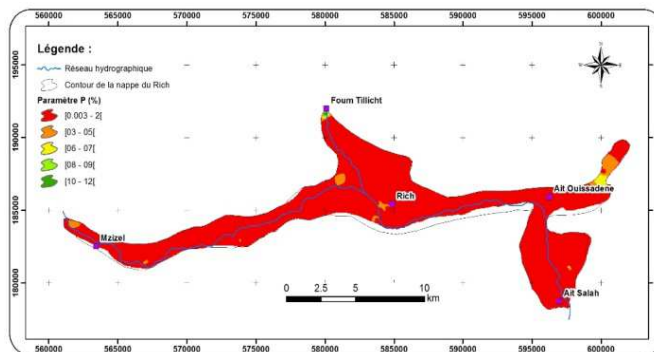


Figure 2 : Répartition spatiale de la pente

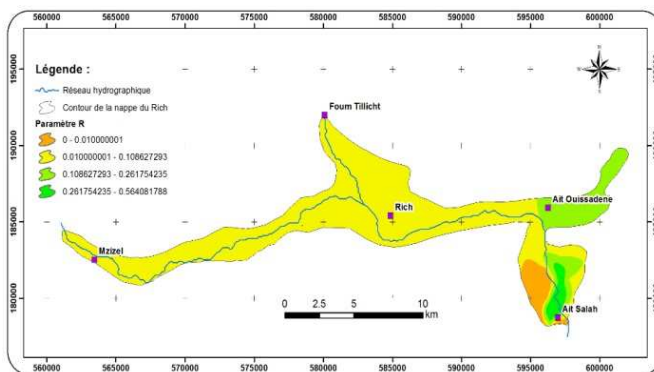


Figure 3 : Répartition spatiale du rapport R

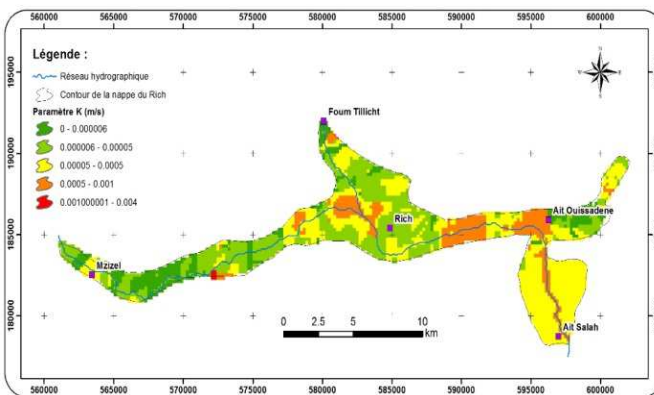


Figure 4 : Répartition spatiale de la perméabilité de l'aquifère du Rich

3 PRESENTATION DES RESULTATS

Le calcul des notes allouées à chaque critère de l'acronyme P.R.K., a permis d'évaluer la distribution spatiale du degré de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution (Cf. Fig. 5-1, 6-1 et 7-1). Le calcul final de l'indice P.R.K., s'est effectué automatiquement via le SIG utilisé. Le résultat final est une carte de vulnérabilité, qui prend en charge les trois critères retenus. Elle traduit la vulnérabilité intrinsèque du système hydrogéologique en rassemblant les indices globaux par classes (Cf. Fig. 8-1).

Les indices globaux obtenus par cette combinaison varient dans une fourchette de valeurs allant de 2 à plus de 91. Ils sont distribués en six classes correspondant aux degrés de vulnérabilité fluctuant du « Très Peu » à « l'Extrême ». Toutefois, la classe dominante est « Très Peu Vulnérable ». Elle couvre jusqu'à 89 % de la superficie totale de la zone étudiée (Cf. Fig. 5-2, 6-2, 7-2 et 8-2).

➤ Répartition spatiale des vulnérabilités individuelles relatives aux paramètres P.R.K.

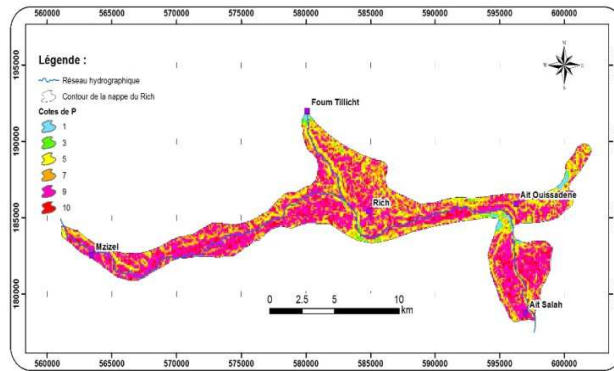


Figure 5-1 : Vulnérabilité individuelle relative au paramètre P

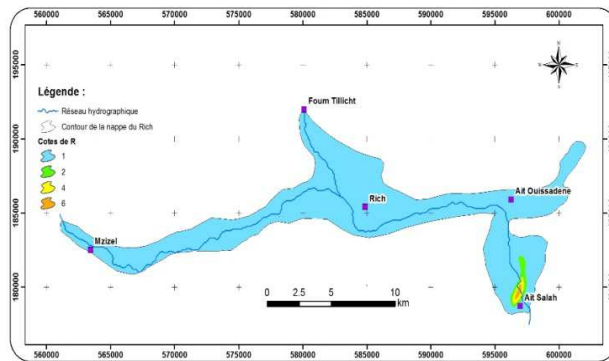


Figure 6-1 : Vulnérabilité individuelle relative au paramètre R

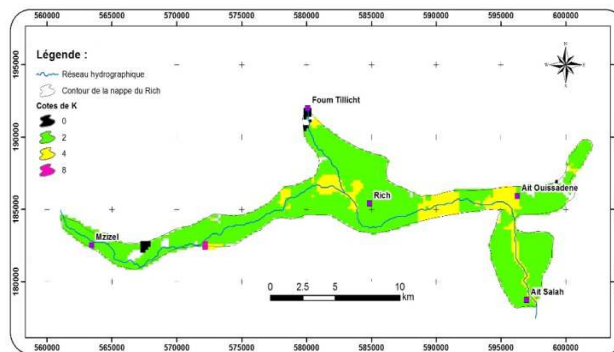


Figure 7-1 : Vulnérabilité individuelle relative au paramètre K

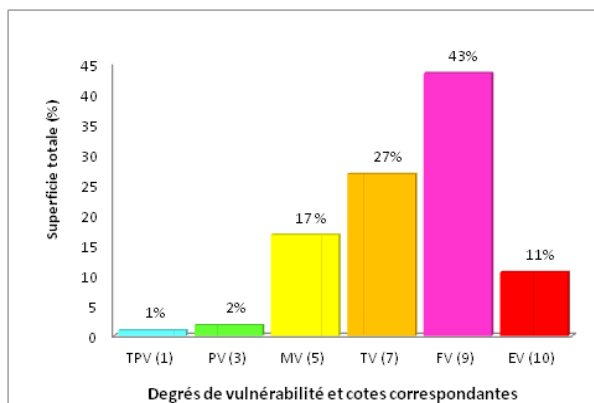


Figure 5 -2 : Répartition spatiale de la vulnérabilité liée au paramètre "P"

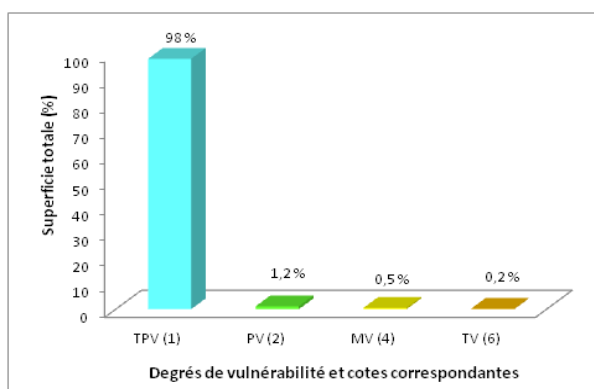


Figure 6-2 : Répartition spatiale de la vulnérabilité liée au paramètre "R"

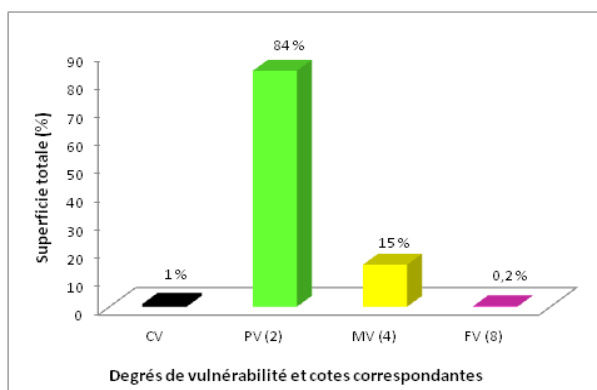


Figure 7-2 : Répartition spatiale de la vulnérabilité liée au paramètre "K"

➤ Répartition spatiale de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines au niveau de la zone du Rich

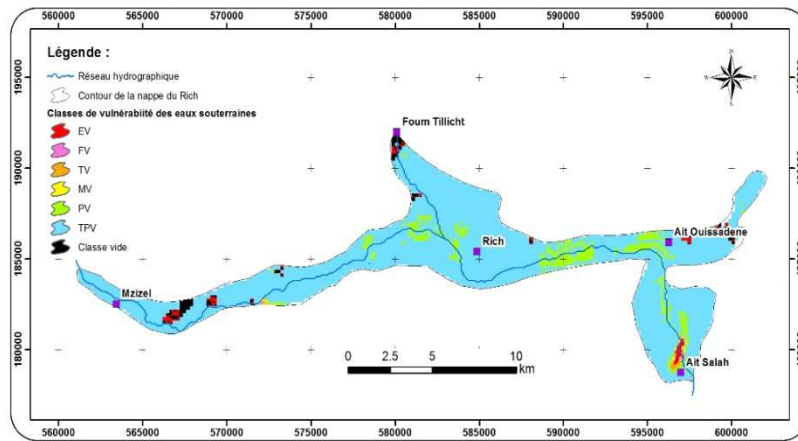


Figure 8-1 : Vulnérabilité intrinsèque des eaux de la nappe du Rich

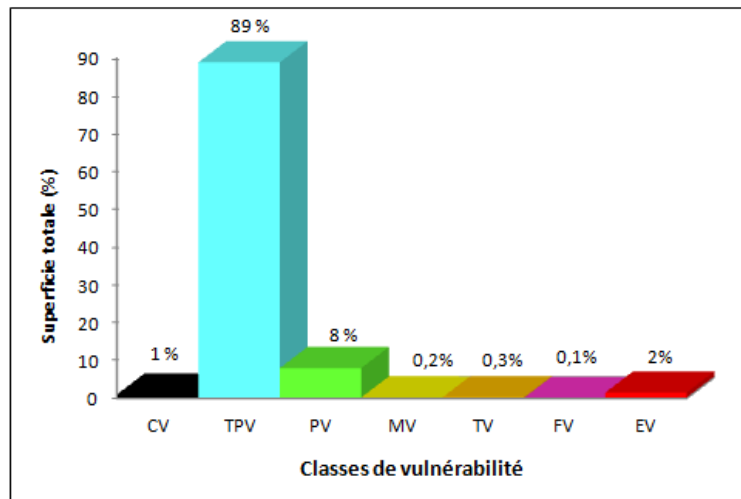


Figure 8-2 : Répartition spatiale de la vulnérabilité intrinsèque

4 DISCUSSION ET CONCLUSION

A la fin de l'application de l'approche PRK pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux de la nappe du Rich à la pollution, la confrontation des quatre cartes indicielles résultantes, a montré que la carte finale reprend l'allure générale des trois cartes indicielles relatives aux critères P, R et K. L'information fournie de ces quatre documents est donc relativement concordante. Aucune incohérence flagrante n'est marquée.

D'après la carte finale de la vulnérabilité intrinsèque des eaux de la nappe du Rich, la classe dominante est « Très Peu » vulnérable. Elle couvre jusqu'à 89% de la superficie totale de la nappe du Rich. Pour cette classe, l'effet de la pente topographique, est relativement atténué par celui des critères R et K. D'autre part, la tendance à l'exploitation de la nappe du Rich a favorisé l'augmentation de l'épaisseur de la zone non saturée et par conséquent, la réduction du rapport R. Le reste de cette zone étudiée est représenté par des classes « Peu » vulnérables, couvrant jusqu'à 8% de la surface totale. Localement, des classes « Moyennement », « Très » et « Fortement » vulnérables, couvrant moins de 1% de la superficie totale de la zone étudiée, sont particulièrement influencées par la combinaison des critères R et K. Enfin, une classe « Extrêmement » vulnérable, couvre 2% de la superficie totale. Elle est répartie très ponctuellement autour des localités suivantes : Ait Salah, Ait Oussaden, Foul Tillich, Est Mzizel et serait particulièrement influencée par le critère K.

REFERENCES

- [1] ABH du Guir-Ziz-Rh ris (2010) : Etude de la monographie des ressources en eau des communes des provinces relevant de la zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique du Guir-Ziz-Rh ris ;
- [2] ALLER L., BENNETT T., LEHR J., PETTY R. AND G HACKETT (1987) : A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. USEPA/600/2-87-036, 455p.
- [3] CHERKAOUI DEKKAKI H. (Décembre 2006) :  valuation de la vulnérabilité et de la sensibilité des eaux souterraines à la pollution. Application au niveau des champs captants Sud et Ahmar Boudhar. Thèse de Doctorat en Sciences Appliquées -  cole Mohammadia d'Ingénieurs - Université Mohammed V. 400 p ;
- [4] CIVITA M. (1990) : La valutazione della vulnerabilit  degli acquiferi all'inquinamento. Protezione e gestione delli acque soterrane. Metodologie, Tecnologia e Obiettivi. Marno sul Panaro, 3 ;
- [5] EL KAYSSI Y. et al, (encours) : Modélisation hydrodynamique de la nappe alluviale de Rich (Haut Atlas central, Maroc), International Journal of Innovation and Applied Studies (IJIAS) ;
- [6] FOSTER et al (1988) : Groundwater pollution. Risque assessment. A methodology using available data WHO-PAHO-CEPIS Lima, Pérou, pp1-87 ;
- [7] GRANDJAQUOT M.P. (1999) : Outils statistiques.  ditions ESKA ;
- [8] HILALI M. (2015) : Hydrogéologie et ressources en eau du Tafilalet et ses régions limitrophes (Sud-Est du Maroc) : Connaissance, prospection, caractérisation, exploitation et gestion des ressources en eau. Rapport de l'habilitation universitaire, Faculté des Sciences de Rabat, Université Mohammed V ;
- [9] HILALI M., BOUALOUL M., et SAHBI H. (2011) :  tat des connaissances hydrogéologiques sur les aquifères du Haut Atlas Central : Cas de l'aquifère quaternaire de la vallée du Rich (Nord d'Errachidia). 6 mes journées internationales des géosciences de l'environnement, Oujda, 21, 22 et 23 Juin 2011 ;
- [10] HILALI M., BOUALOUL M., et SAHBI H. (2011) : Etat des connaissances hydrogéologiques sur les aquifères du Haut Atlas Central : Cas de l'aquifère quaternaire de la vallée du Rich (Nord d'Errachidia). 6 mes journées internationales des géosciences de l'environnement, Oujda, 21, 22 et 23 Juin 2011 ;
- [11] MOUADDINE L. (1997) : Utilisation des cartes de vulnérabilité pour la délimitation des zones de protection des captages d'eau potable. Cas du champ captant de Fouarat. Thèse de troisième cycle. Université Cadi Ayad. 193 p.