



Etude de la vulnérabilité intrinsèque à la pollution et qualité des eaux de surface dans les zones arides : cas du bassin versant de l'oued Rhéris (Sud-Est du Maroc)

Study of intrinsic vulnerability to the pollution and quality of surface water in the Saharan zones: example of wadi Rheris basin (Southeast Morocco)

S. Baki^{1*}, M. Hilali², I. Kacimi¹, A. Mahboub³, N. Kassou¹, N. Nouiyti⁴

¹Laboratoire d'Océanologie, Géodynamique et Génie Géologique, Faculté des Sciences, Université Mohamed V, Rabat, Maroc.

²Equipe de Génie des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, Département de Géologie, FST d'Errachidia.

³Agence du Bassin Hydraulique du Guir-Ziz-Rhéris, Errachidia.

⁴Laboratoire des Géosciences appliquées et COSTE, Faculté des sciences, Université Mohamed 1^{er} Oujda.

Received 17 Mar 2016, Revised 04 Sep 2016, Accepted 08 Sep 2016

*Corresponding author. E-mail: saidbaki74@gmail.com (S. Baki); Tel: (+212 6 68 62 99 59)

Abstract

The surface water resources are increasingly threatened by pollution, therefore, degradation of water quality is growing because the human activity is increasing. The agricultural, urban and industrial activities have contributed in recent decades to increase the potential for contamination of surface water. To avoid further water contamination problems, it is essential to better understand the resource with the aim of protecting it. For this purpose, it is necessary to take all measures to ensure water quality particularly in Saharan zones, marked by the scarcity of surface water (example of wadi Rheris basin). The mapping of intrinsic vulnerability of surface water resources in the Rheris basin is an important tool for making decision and allows us to identify different classes of vulnerability across Rheris basin. The method followed, it is based on the processing and exploitation of data, such as slope, the river orders, permeability, runoff, drainage density, etc. The integration of all these data in a geographic information system (GIS) environment ensures detailed mapping parameters that determine the vulnerability to pollution in Rheris watershed. The results show that the middle class of vulnerability is the most dominant; it represents 52% of the basin area, followed by low vulnerability areas by 31%, but the high and very high vulnerability extend over an area of 2123 km², which corresponds to 16.7%.

Keywords: Rheris basin, vulnerability, surface water, GIS.

Résumé

Les ressources en eau de surface sont de plus en plus menacées par la pollution, par conséquent, la dégradation de la qualité des eaux s'accroît à cause de l'augmentation des foyers de pollution. L'utilisation des sols liée aux activités agricoles, urbaines et industrielles a contribué, au cours des dernières décennies, à augmenter le potentiel de contamination des eaux de surface. Pour éviter de nouveaux problèmes de contamination des eaux, il est essentiel de mieux connaître la ressource dans l'objectif de la protéger. À cet effet, il est nécessaire de prendre toutes les mesures susceptibles de garantir la qualité des eaux particulièrement dans les zones sahariennes, marquées par la rareté des eaux de surface (cas du bassin versant de l'oued Rhéris). L'élaboration de la carte de vulnérabilité intrinsèque des eaux de surface dans cette zone constituera un outil important à la décision et nous permet d'identifier les différentes classes de la vulnérabilité à l'échelle du bassin de Rhéris. L'approche suivie est systématique, elle repose sur le traitement et l'exploitation des données telles que la pente, l'ordre des oueds, la perméabilité des affleurements lithologiques, le ruissellement, la densité du drainage, etc. L'organisation de l'ensemble de ces données dans un environnement de système d'information géographique (SIG) permet d'assurer une cartographie détaillée des paramètres qui déterminent la vulnérabilité à la pollution dans ce bassin. Les résultats obtenus montrent que la classe moyenne de la vulnérabilité est la plus dominante, elle représente 52% de la superficie totale du bassin, suivi des zones à faible vulnérabilité par 31%, tandis que les zones de forte à très forte vulnérabilité s'étendent sur une superficie de 2123 km² ce qui correspond à 16,7%.

Mots-clés: Rhéris, vulnérabilité, eau de surface, SIG.

Introduction

Le Maroc est classé parmi les pays de l'Afrique les plus menacés par le fléau de la pollution des eaux [1]. Les ressources en eau sont limitées en raison du climat semi-aride qui caractérise la majeure partie du territoire, à ceci s'ajoutent les sécheresses épisodiques [2] ; notamment dans le bassin versant de l'oued Rhéris qui fait partie des bassins sud du Maroc ; ces derniers sont caractérisés par un climat saharien dont la pluviométrie moyenne annuelle reste relativement très faible, soit environ 116 mm/an [3], vue cette pénurie des eaux de surface en particulier durant les périodes sèches, et vue l'augmentation de différentes foyers de pollution diffuse et ponctuelle, il est évident d'élaborer un outil qui permet de déterminer, de définir et hiérarchiser les classes de vulnérabilité des eaux de surface à la pollution dans ce bassin.

Ainsi et contrairement aux eaux souterraines où existent suffisamment de méthodologies pour cartographier la vulnérabilité intrinsèque à la pollution, les eaux de surface restent dépourvues de méthodologies assez développées [4] ; c'est pour cette raison que nous avons proposé une méthode basée sur l'utilisation des principaux paramètres qui peuvent influencer sur le ruissellement et par conséquent le transfert des polluants, notamment la pente topographique, l'ordre des oued, la perméabilité des formations géologiques du bassin, ainsi que la densité de drainage.

1. Présentation du bassin de Rhéris

Le bassin de Rhéris est localisé dans la partie Sud-est du Maroc entre les coordonnées Lambert Conformal Conic (Maroc zone I) X : 447098 à 616478 et Y : 11792 à 179719 ; Il est limité au Nord et à l'Est par le bassin versant de l'oued Ziz, au Nord-Ouest par le bassin de l'Oum Er Rbia, à l'Ouest par le bassin du Draa et au Sud par le bassin de Maider. (Figure.1) [5].

Le relief est globalement diversifié avec des terrains accidentés dans les parties Nord, Nord-Ouest (Haut Atlas) et Sud-Ouest au niveau de l'Anti-Atlas ; les plateaux sont localisés dans la partie centrale en particulier dans le sillon pré-africain ; tandis que les plaines sont occupées par des terrains sédimentaires d'âge Quaternaire (plaine de Tafilalt, oasis de Goulmima, Ferkla et Ghelil...) [8]. Les altitudes varient généralement entre 3135 m au niveau de Amalou N'Ou Guelzi et 610 m au niveau de la confluence de l'oued Rhéris et Oued Taghbalt avec une altitude moyenne de 1309 m à l'échelle du bassin, impliquant ainsi un réseau hydrographique moyennement dense avec une densité de drainage de l'ordre de 0.4 m/m² [5].

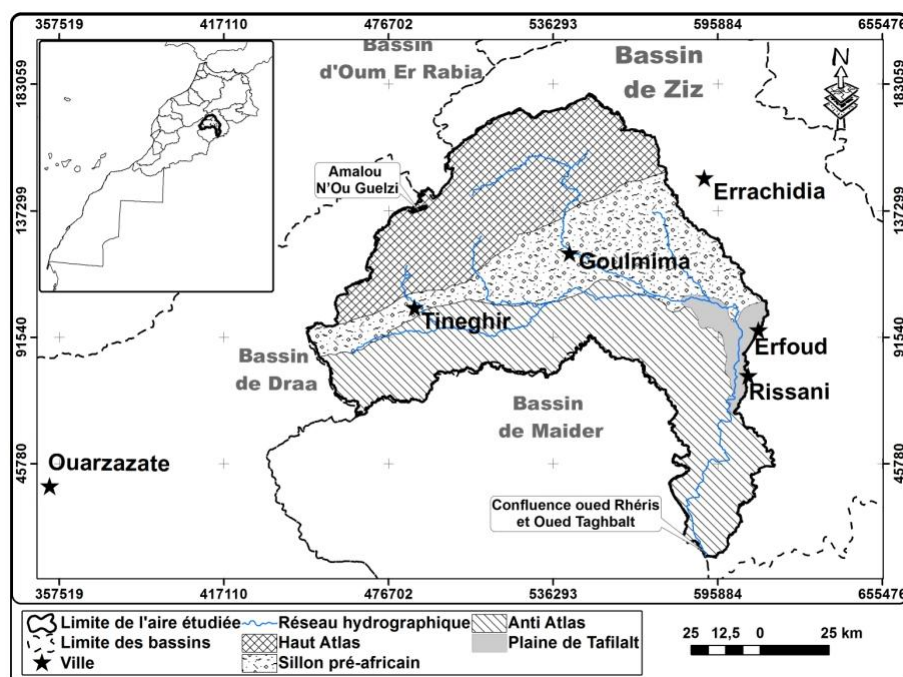


Figure 1: situation du bassin de Rhéris.

Les formations géologiques dans la zone sont constituées principalement de terrains à dominance calcaire d'âge Mésozoïque et de grès-quartzitiques et schistes d'âge Paléozoïque [6, 15] ; la figure 2 présente les principales formations géologique du bassin de Rhéris.

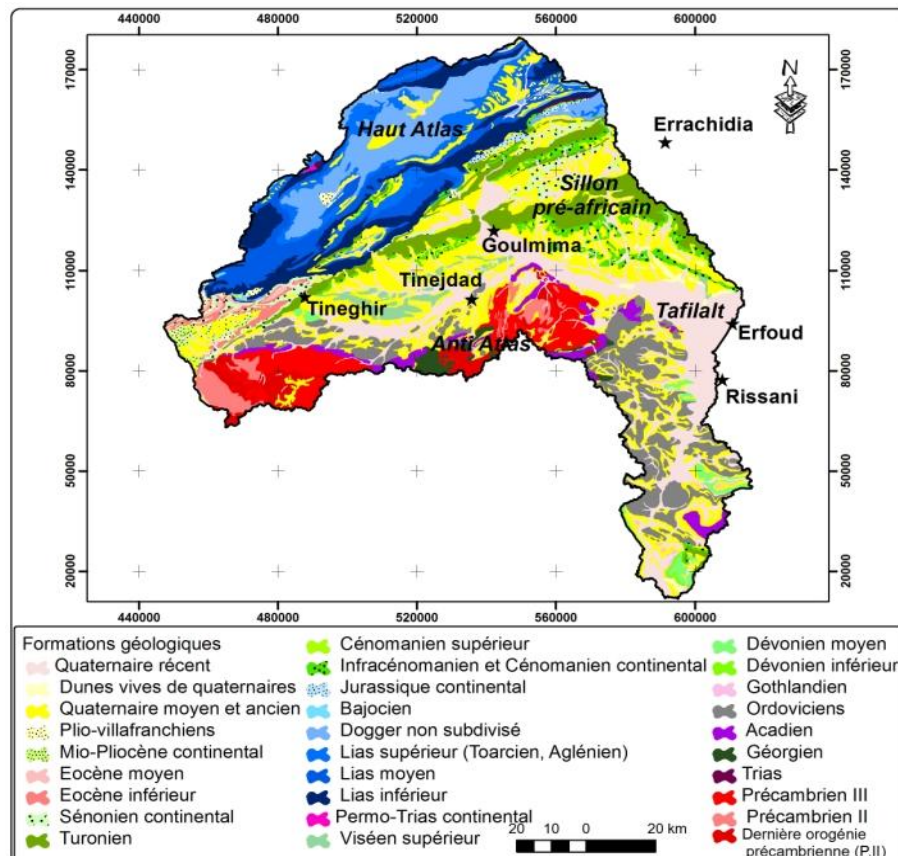


Figure 2: Carte géologique du bassin de Rhéris (extraite des cartes géologiques d'Ouarzazate, Rabat et Hammada de Guir 1/500000)

Le bassin de Rhéris est caractérisé par un climat semi-aride avec une pluviométrie qui décroît généralement de 200 mm dans les hauts reliefs pour atteindre 50 mm vers le Sud. Les pluies mensuelles sont caractérisées par un régime pluviométrique très variable d'une année à l'autre, traduisant l'irrégularité des précipitations. Le module interannuel des précipitations est de 130 mm à Aït Bouijane et de 140 mm à Tadighoust.[3, 5] ; la figure 3 montre les variations de la pluviométrie interannuelle au niveau de la station de Tadighoust.

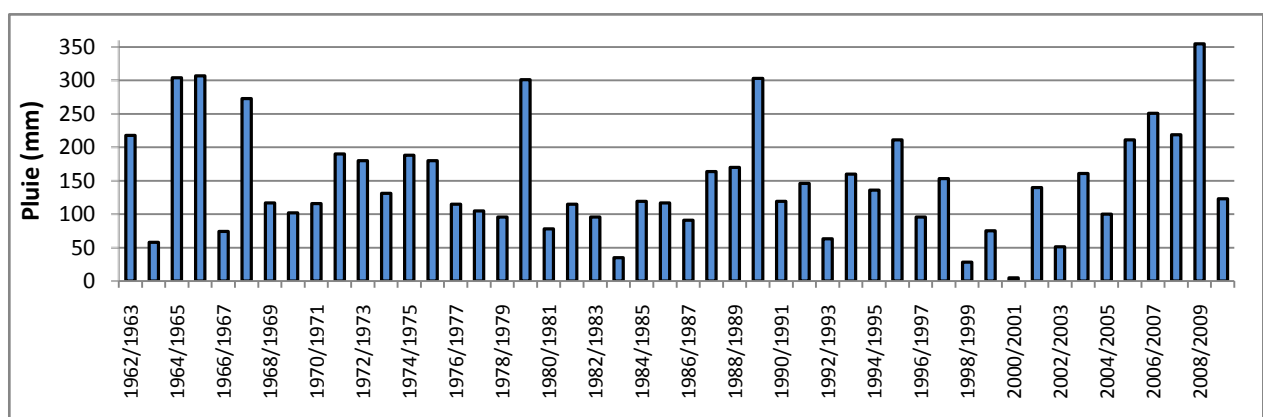


Figure 3 : Variation des pluies interannuelles au niveau de la station de Tadighoust (données, ABHGZR)

De point de vue hydrologique le bassin de Rhéris est drainé généralement par quatre principaux oueds : l'Oued Todgha, l'Oued Tanguerfa-Ferkla ; l'Oued Rhéris et l'Oued Tarda. Le cours aval du Rhéris traverse une plaine aride avant d'entrer dans la plaine de Tafilalet où il coule parallèlement à l'oued Ziz, qu'il rejoint plus en aval [3]. Le tableau 1 présente les principaux sous bassins ainsi que les apports annuels en eaux de surface au niveau du bassin de Rhéris.

Tableau 1: Apports naturels en eaux de surface du bassin de Rhéris (ABHGZR 2009)

Oued	Station hydrologique	Superficie bassin (km ²)	Apport (Mm ³ /an)
Rhéris	Tadighoust	2 326	51,0
Ferkla	Merroucha	4643	64,7
Rhéris	L'hmda	10 016	35,0
Total			150,7

2. Matériel et méthodes

3-1 Cartes topographiques et géologiques

Le bassin versant de l'oued Rhéris est couvert par les cartes topographiques et géologiques suivantes :

- Cartes topographiques: Ce bassin est couvert par une trentaine de cartes topographiques 1/50000 ; qui ont servi pour la localisation et l'extraction du réseau hydrographique des principaux cours d'eau, localités, réseau routier, reliefs,...
- Cartes géologiques 1/500000 :
 - Carte géologique d'Ouarzazate 1/500000 [17] qui couvre presque la totalité du bassin ;
 - Carte géologique de Rabat 1/500000 [18] qui couvre l'extrême Nord du bassin ;
 - Carte géologique de Hammada de Guir 1/500000 [19] qui couvre partiellement la partie orientale du bassin.

3-2 Modèle numérique du terrain

La représentation et la connaissance des bassins versants constituent l'élément clé pour la compréhension du processus du ruissellement [9]. La représentation de la topographie du milieu est d'autant plus facile avec le développement de techniques d'acquisition et de mise à disposition d'informations digitales, notamment, par le biais de modèles numériques de terrain (MNT). Ces informations servent à la génération des sous bassins versants, les pentes topographiques, densité de drainage et à la description des caractéristiques physiques du bassin du Rhéris.

3-3 Méthodologie

3-3-1 Démarche fonctionnelle

L'approche méthodologique que nous avons développée s'appuie sur l'utilisation des fonctionnalités et des possibilités de l'analyse multicritères, offertes par le système d'information géographique (SIG) ; cette analyse intègre plusieurs critères déterminant le transfert de la contamination.

Le processus méthodologique est basé sur l'exploitation des données extraites à partir des cartes topographiques, modèle numérique du terrain et les cartes géologiques afin d'élaborer une cartographie thématiques des paramètres ci-dessous selon la démarche fonctionnelle de la figure 4 ;

- La pente des terrains naturels : ce paramètre est considéré comme un facteur susceptible de retarder ou d'accentuer la migration des polluants. La pente peut intervenir de différentes manières sur la quantité d'eau disponible pour le ruissellement. Elle augmente les vitesses d'écoulement et joue également un rôle indirect puisque les sols s'organisent sur les versants selon la morphologie et la nature du substratum.
- La densité de drainage : signifie la longueur du linéaire des cours d'eau rapportée à la surface du bassin versant ; elle exprime différents phénomènes physiques : la part relative de l'écoulement superficiel et de l'écoulement souterrain. Ce critère, en favorisant le drainage des versants, permet d'appréhender l'importance du drainage superficiel.
- L'ordre des oueds : ce paramètre distingue les différents oueds du bassin versant (principal oued, affluents, ravins, etc.) ainsi son importance en termes d'apports reçus, généralement les oueds principaux sont de l'ordre le plus élevé [13].
- La perméabilité du sol et du substratum joue un rôle sur la part des eaux précipitées qui participe au ruissellement mais également sur les temps de transit jusqu'au réseau hydrographique. Ainsi, plus le sol est imperméable, plus le ruissellement et le lessivage seront importants, avec des temps de transit courts.

Plus un sol est perméable, plus la part alimentant le réseau superficiel est faible et plus les vitesses de transit sont faibles. Le sol joue alors un rôle de tampon, augmentant les phénomènes de dilution [4].

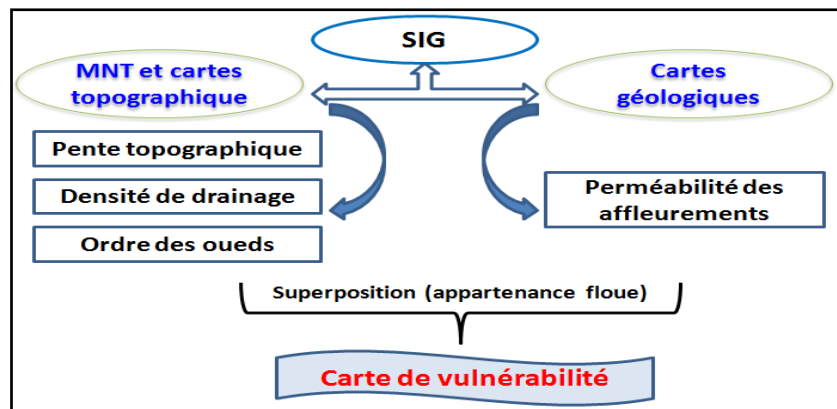


Figure 4: Démarche fonctionnelle simplifiée pour caractériser la vulnérabilité des eaux de surface du bassin de Rhéris.

3-3-2 Préparation des paramètres

Les données d'entrée des paramètres (pente, densité de drainage, ordre des oueds, perméabilité) sont souvent exprimées par des unités de mesure différentes (% pour les pentes, m/m² pour la densité du drainage, m/s pour la perméabilité,...). Pour intégrer et comparer ces critères, toutes les cartes thématiques doivent être standardisées et transformées à des rasters comportant des ordres des grandeurs variables d'un paramètre à l'autre ; toutes ces grandeurs ont été converties par une méthode de la logique floue « **appartenance floue** », cette logique confère une flexibilité très appréciable aux raisonnements et assure l'intégration de tous les pixels dans le calcul puisqu'ils correspondent à des chiffres bien définis, qui varient d'une valeur minimale de 0 à une valeur maximale de 1.

Au contraire, la méthode de classification classique « logique classique ou booléenne » se base sur la réalisation des intervalles qui rassemblent plusieurs valeurs des pixels dans une seule classe et par conséquent une réduction du degré de précision dans le calcul de la vulnérabilité. La figure 5 montre graphiquement la différence entre un ensemble classique et un ensemble flou.

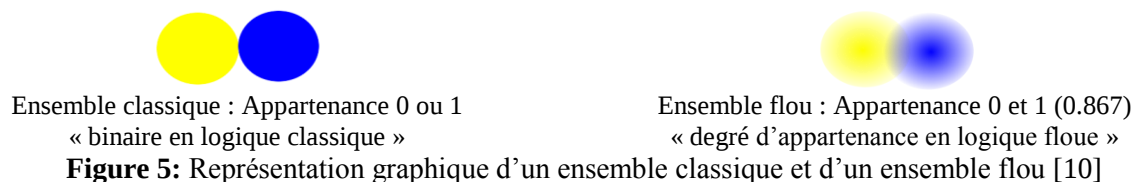


Figure 5: Représentation graphique d'un ensemble classique et d'un ensemble flou [10]

3-3-3 Notes et pondération des paramètres

Les schémas de standardisation utilisés sont les suivants :

- Si la donnée d'entrée est une valeur, on peut utiliser les fonctions de standardisation linéaires cas des paramètres suivants :
 - Pente topographique : varie entre 0 et 490%, selon la méthode de la logique floue ces valeurs sont transformées en valeurs comprises entre 0 et 1 ;
 - La densité du drainage ; varie entre 0.02 et 0.9 m/m², convertie en des valeurs entre 0 et 1 ;
 - Ordre des oueds : ce paramètre varie entre 1 (cas des petits ravins) et 6 l'ordre de l'oued principal notamment dans la partie aval du bassin.
- Si la donnée d'entrée est une classe, une note allant de 0 à 1 lui est attribuée. : cas de la perméabilité où les classes rencontrées dans le bassin ont été converties en 0.25 (classe de très forte perméabilité), 0.5 (forte perméabilité), 0.75 (moyenne perméabilité) et 1 pour la faible perméabilité.

Les paramètres utilisés pour l'élaboration de la cartographie de la vulnérabilité finale sont représentés dans le tableau 2.

Tableau 2: Sens d'augmentation de la vulnérabilité par paramètre

Paramètre	Classes	Logique floue	Sens de degré de vulnérabilité	Poids attribué
Pente (%)	0 – 490%	0 – 1		1
Densité de drainage (m/m ²)	0.02 – 0.90	0 – 1		1
Perméabilité	Très faible - forte	0 – 1		1
Ordre des oueds	1 - 6	0 – 1		1

Le degré de vulnérabilité est évalué à partir de la somme de ces paramètres sous un outil SIG notamment QGIS, ArcGis, permet d'obtenir des valeurs allant du 0 à 4 ce qui définit les quatre classes suivantes :

- Classe de faible vulnérabilité avec un indice inférieur ou égal à 1 ;
- Classe de moyenne vulnérabilité indiquée par un indice qui varie entre 1 et 2 ;
- Classe de forte vulnérabilité avec un indice de 2 à 3 ;
- Classe de forte vulnérabilité dont l'indice est supérieure à 3.

3. Résultats

4-1 Pente topographique

Le bassin versant de l'oued Rhéris est caractérisé par des terrains accidentés dans la partie Nord et Nord-Ouest notamment dans les montagnes du Haut Atlas et dans la partie Sud-Est (Anti Atlas) [11] avec des pentes topographiques qui peut dépasser les 100 %, tandis que la partie centrale est caractérisée par des pentes assez faible ne dépassant pas les 15% à l'exception de quelques endroits qui présentent des falaises notamment la bordure de l'affleurement des formations du calcaire du Turonien, allant de la localité Tarda jusqu'à Boumalene Dades en passant par Goulmima et Tineghir (figure 6).

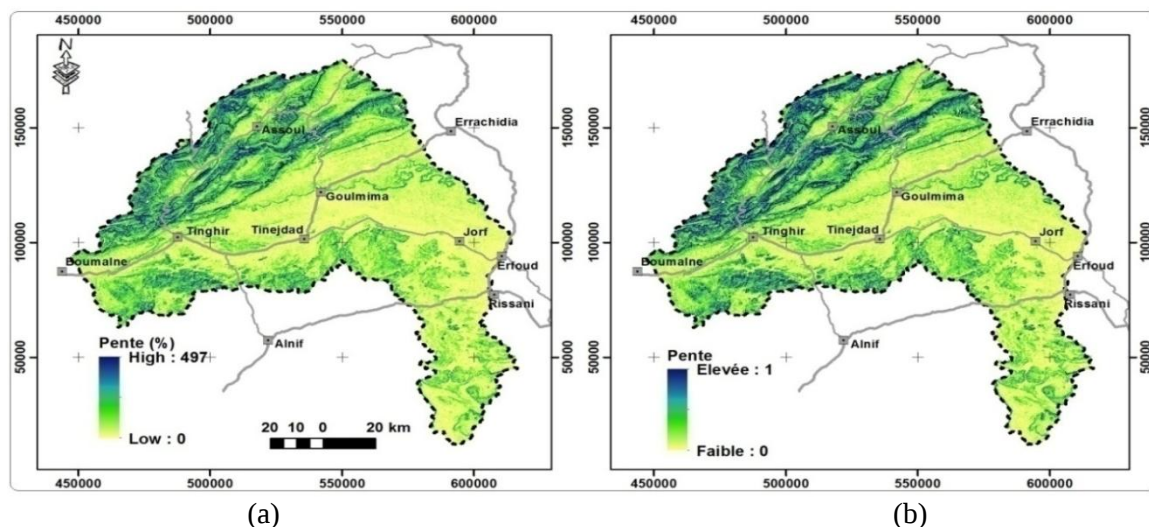


Figure 6: (a) carte des pentes topographiques du bassin versant de l'oued Rhéris ; (b) son équivalence en appartenance floue.

4-2 Densité de drainage

La longueur du réseau hydrographique dans le bassin du Rhéris est de l'ordre de 4931 km, ce bassin est réparti sur une superficie de 12702 km² ce qui donne une densité de drainage moyenne de l'ordre de 0,4 km/km². Les zones qui présentent des valeurs de la densité de drainage maximales sont localisées généralement au sud de la ville de Goulmima, au Nord-Est de la localité d'Assoul et à une distance de 10 km au Sud-Ouest de la localité de Tinejdad (figure 7).

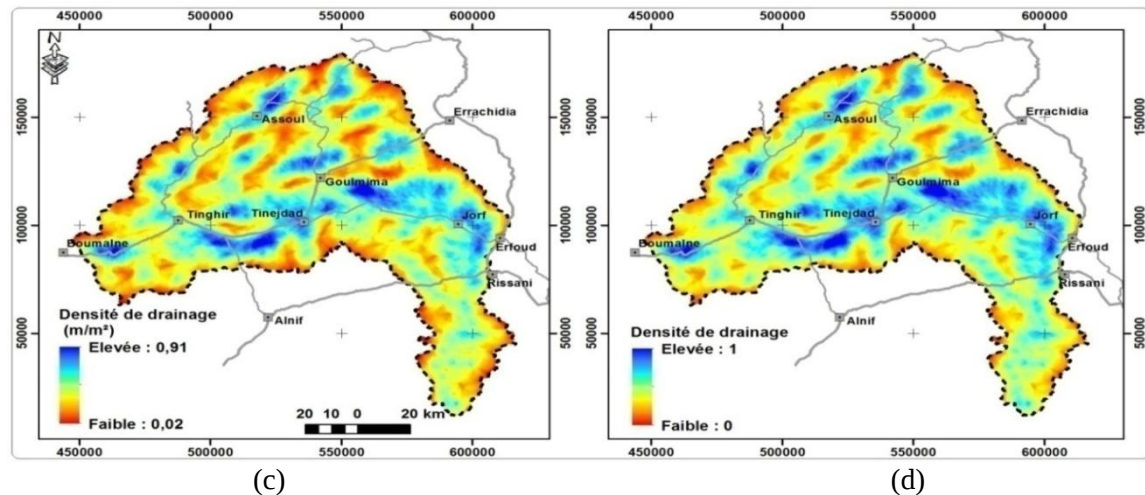


Figure 7 : (c) Carte de la densité de drainage du bassin versant de l'oued Rhéris ; (d) son équivalence en appartenance floue

4-3 Ordre des oueds

Selon la méthode de classification des cours d'eau [13], les oueds d'ordre 1 au niveau du bassin de Rhéris sont représentés généralement sous forme des petits ravins et dominent avec une longueur de 2519,2 km ce qui correspond à 51%, les ordres 2, 3, 4 et 5 (ordres intermédiaires) représentent 45.6% du réseau hydrographique, tandis que l'ordre principal (ordre 6) possède une longueur de 165 km, avec un pourcentage de 3,4% et correspond à la partie aval de l'oued Rhéris [5]. La figure 8 montre la répartition des ordres des oueds au niveau de ce bassin.

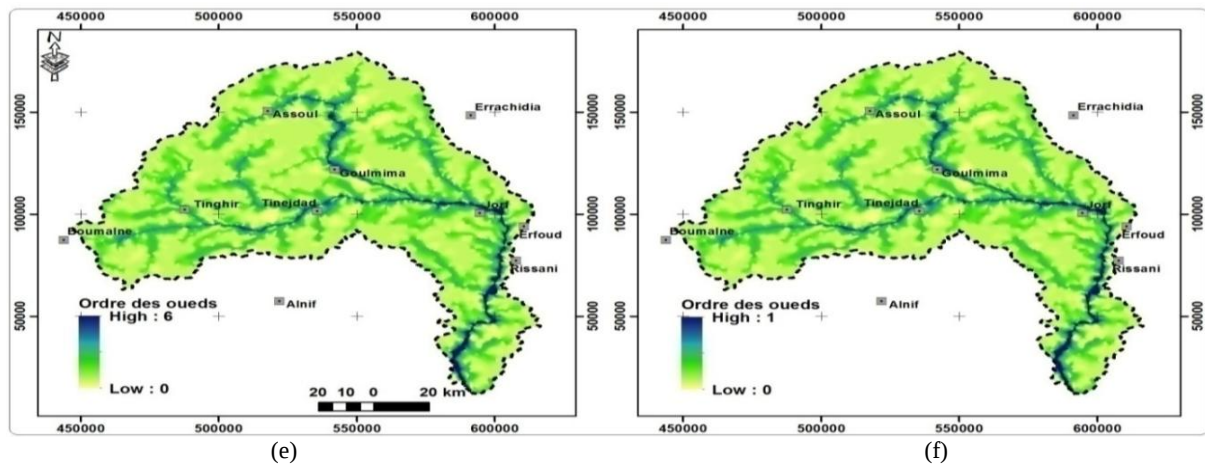


Figure 8: (e) carte du réseau hydrographique montrant l'ordre des cours d'eau selon la méthode Strahler; (f) son équivalence en appartenance floue.

4-4 Perméabilité

Les formations géologiques dominantes dans le bassin du Rhéris sont des terrains sédimentaires avec une superficie de 9931 km² ce qui correspond à 78% localisées généralement dans le Haut Atlas et le sillon pré-africain (bassin crétacé d'Errachidia-Boudenib) tandis que les roches métamorphiques et éruptives sont localisées principalement dans l'Anti Atlas et représentent 22% de la superficie du bassin [5, 7, 12]

La nature lithologique des formations géologiques peut être présentée comme suit :

- Roches métamorphiques : schistes et quartzites du Paléozoïque ;
- Roches éruptives : basaltes du Trias ;
- Roches sédimentaires : calcaires et dolomies du Jurassique, sables grès et calcaires du Crétacé et alluvions, limons, croûte calcaire et conglomérats du Plio-Quaternaire.

L'évaluation des coefficients et classes de perméabilité (figure 9) s'est basée sur la nature lithologique des formations géologiques, en effet, les perméabilités les plus élevées coïncident avec la forte fracturation des

calcaires du Haut Atlas et des formations crétacées du bassin d'Errachidia, tandis que les perméabilités les plus faibles coïncident avec les faciès des formations primaires de l'Anti-Atlas situées dans la partie sud et sud-ouest [12].

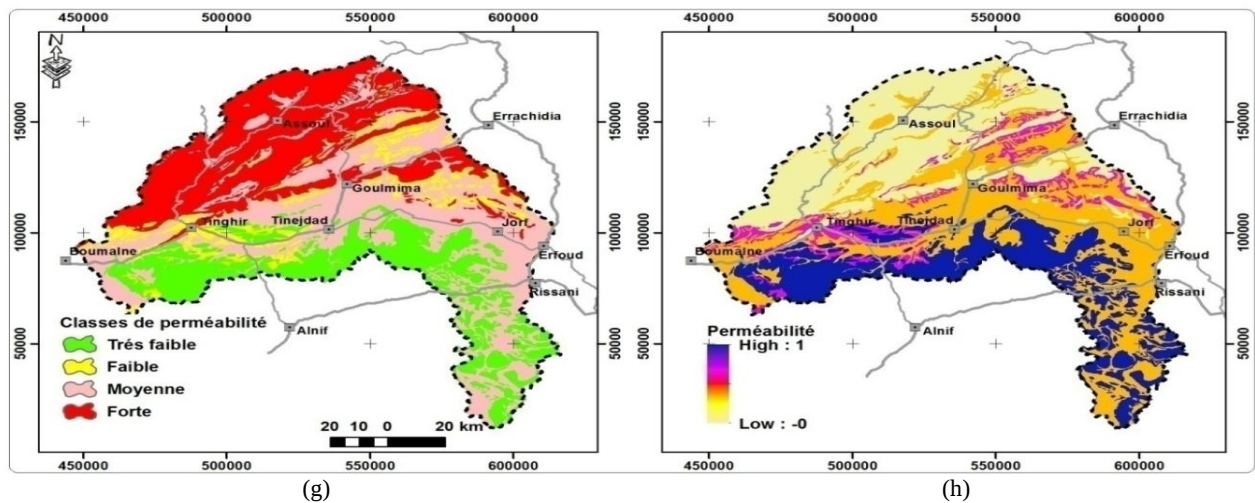


Figure 9: (g) carte des perméabilités des formations géologiques du bassin versant de l'oued Rheris ; (h) son équivalence en appartenance floue.

La superposition des quatre paramètres mentionnés ci-dessus (**b+d+f+h**) a permis de définir et hiérarchiser les différentes classes de vulnérabilité intrinsèque des eaux de surface à la pollution au niveau du bassin de Rhéris ; La répartition de ces classes est comme suit :

- La faible vulnérabilité : occupe une superficie de l'ordre de 3982 km², localisée généralement dans les parties Nord et nord-ouest du bassin ;
- La moyenne vulnérabilité : s'étend sur près de la moitié de la superficie du bassin notamment les zones centrale et Sud ;
- Forte vulnérabilité : domine généralement sur les bordures des principaux oueds sur une superficie de 2007 km², plus précisément au Sud de l'axe de Tinejdad-Tineghir jusqu'à Imider ;
- Très forte vulnérabilité : ne représente que près de 1% de la superficie du bassin, sous forme de petites taches localisées essentiellement dans les lits mineurs des principaux oueds.

Le tableau 3 et la figure 10 présentent la répartition des différentes classes de vulnérabilité des eaux de surface à la pollution rencontrée au niveau du bassin versant de l'oued Rhéris.

Les résultats des traitements effectués pour l'élaboration de la carte de vulnérabilité des eaux de surface à la pollution (figure 10) ont été confrontés aux données de la qualité des eaux de surface (tableau 8). Ces dernières sont extraites de la base de données « qualité des eaux » de l'agence du bassin hydraulique du Guir-Ziz-Rhéris (ABHGZR) et ce, en se basant d'une façon significative sur les paramètres de la grille simplifiée de la classification des eaux de surface [14]. Les sections qui suivent permettent d'appréhender ces résultats.

L'analyse des échantillons prélevés des stations du bassin de Rhéris (4 stations), pendant 8 campagnes de prélèvement, datant de 1999 à 2008 a permis de conclure que globalement la qualité des eaux de surface varie dans le temps et dans l'espace.

Oxygène dissous : est un facteur primordial dans le maintien de la vie aquatique et l'auto-purification des eaux de surface [22, 23]; l'analyse de l'évolution de ce paramètre durant la période de suivi a montré que les eaux de surface au niveau du bassin de Rhéris, sont bien oxygénées sur toutes les stations à l'exception de la station située à l'aval de Tineghir qui présente une qualité moyenne (mois 02/1999 et 07/2007). Généralement les valeurs enregistrées de ce paramètre sont variables dans le temps (figure 11), elles s'échelonnent entre 4,7 et 11,7 mg/l, avec une moyenne de 7,9 mg/l ; le tableau 4 présente les statistiques des classes de qualité de l'oxygène dissous.

Tableau 3: Classes de vulnérabilité des eaux de surface à la pollution dans le bassin de Rhéris

Classe de vulnérabilité	Superficie (km ²)	%
Faible	3982	31,3
Moyenne	6592	51,9
Forte	2007	15,8
Très forte	121	0,9
Total	12702	100

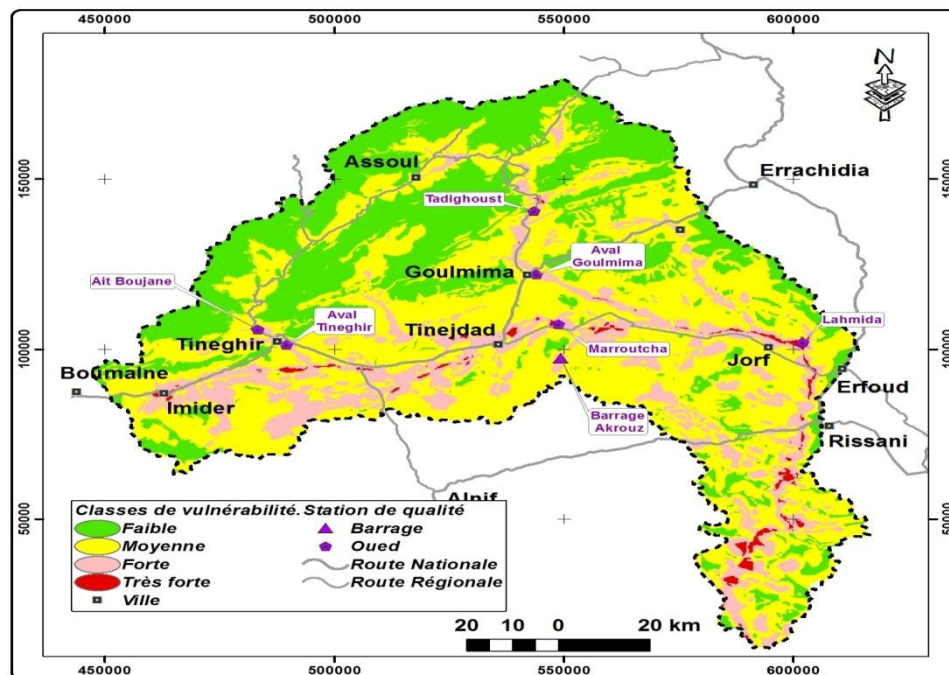


Figure 10: Carte de la vulnérabilité des eaux de surface à la pollution dans le bassin versant de l'oued Rheris

Tableau 4: Classes de qualité en terme de l'oxygène dissous selon le nombre de campagnes de prélèvement disponibles (données de l'ABHGZR)

Station	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise	Total
Ait Boujane	8	0	0	0	0	8
Aval Goulmima	3	0	0	0	0	3
Aval Tineghir	3	2	2	0	0	7
Tadighoust	1	0	0	0	0	1
Total	15	2	2	0	0	19

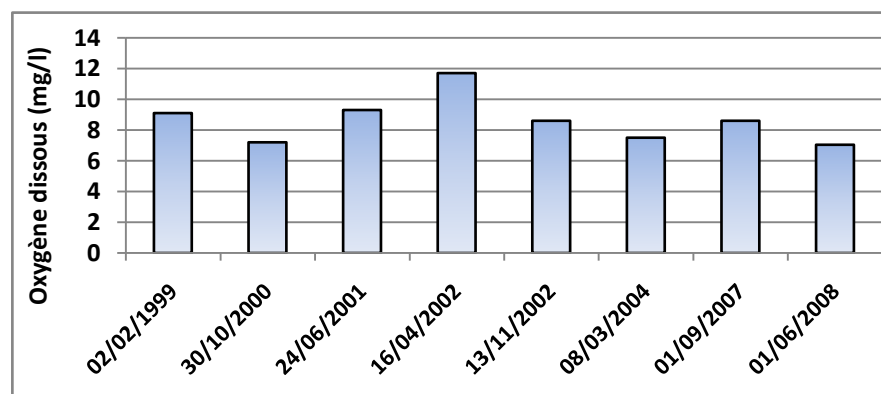


Figure 11: Evolution de l'oxygène dissous au niveau de la station Ait Bouijane située en amont de Tineghir

Demande biochimique en oxygène (DBO₅) : Les teneurs en DBO₅ au niveau des stations de suivi ont été d'excellentes à bonne qualité, à l'exception de deux stations (aval Goulmima et aval Tineghir) qui ont présenté respectivement des valeurs maximales de 711 mg/l (31/03/2004) et 112 mg/l (08/03/2004) influencées par les rejets des eaux usées des centres de Goulmima et Tineghir qui se font directement dans les oueds sans aucun traitement préalable. Cette situation de la qualité en terme de la DBO₅ peuvent être s'expliquée par l'instauration des conditions de dégradation de la matière organique par les microorganismes dont l'activité s'intensifie avec la diminution de la vitesse d'écoulement et avec le réchauffement des eaux [16, 20]. Le tableau 5 présente les statistiques des classes de qualité en termes de la DBO₅.

Tableau 5: Classes de qualité en terme de la DBO₅ des eaux de surface selon le nombre de campagnes de prélèvement disponibles (données de l'ABHGZR)

Station	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise	Total
Ait Bouijane	7	1	0	0	0	8
Aval Goulmima	2	1	0	0	1	4
Aval Tineghir	6	0	0	0	1	7
Tadighoust	1	0	0	0	0	1
Total	16	2	0	0	2	20

Demande chimique en oxygène (DCO) : La qualité des eaux en terme de la DCO montre que les eaux de l'ensemble des mesures réalisées présentent une excellente qualité (16 mesures/20). En effet, les concentrations enregistrées varient entre 7.5 mg/l enregistrée dans la station d'Ait Bouijane (16/04/2002 et 08/03/2004) et une valeur maximale de 1123 mg/l enregistrée en aval de Goulmima (31/03/2004), avec une moyenne de 98 mg/l. Globalement, la qualité excellente est la plus fréquente, à l'exception de quelques dépassements qui ont été enregistrés au niveau des stations de l'aval de Tineghir et aval de Goulmima. Le tableau 6 présente les statistiques des classes de qualité en terme de la DCO.

Tableau 6: Classes de qualité en termes de la DCO des eaux de surface selon le nombre de campagnes de prélèvement disponibles (données de l'ABHGZR)

Station	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise	Total
Ait Bouijane	6	0	1	1	0	8
Aval Goulmima	3	0	0	0	1	4
Aval Tineghir	6	0	0	0	1	7
Tadighoust	1	0	0	0	0	1
Total	16	0	1	1	2	20

Ion ammonium (NH₄⁺) : Les valeurs de ce paramètre sont variables dans le temps, elles s'échelonnent entre 0,013 mg/l enregistrée dans la station d'Ait Bouijane (02/0/1999) et 75,6 mg/l enregistrée dans la station de l'aval Tineghir (08/03/2004), avec une moyenne de 5,4 mg/l. La qualité azotée a été globalement excellente à bonne à l'exception des stations de l'aval de Tineghir et de Goulmima, dont les eaux sont de très mauvaise qualité, notamment en mois de mars 2004. Le tableau 7 présente les statistiques des classes de qualité en terme de la NH₄⁺.

Tableau 7: Classes de qualité en terme de NH₄⁺ des eaux de surface selon le nombre de campagnes de prélèvement disponibles (données de l'ABHGZR)

Station	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise	Total
Ait Bouijane	7	1	0	0	0	8
Aval Goulmima	2	1	0	0	1	4
Aval Tineghir	3	2	0	0	2	7
Tadighoust	1	0	0	0	0	1
Total	13	4	0	0	3	20

Phosphore total (Pt) : La qualité phosphorée des eaux du bassin de Rhéris, observée depuis l'année 1999 jusqu'à 2008 a été généralement excellente à bonne pour la plupart des mesures réalisées. Alors que des teneurs

en phosphore total très élevées ont été enregistrées au niveau des stations de l'aval de Goulmima et l'aval de Tineghir avec des concentrations de 20,5 mg/l et 12,4 mg/l (mars 2004).

Coliformes fécaux : Les teneurs en coliformes fécaux (CF) varient entre 40 unités/100 ml enregistrées dans la station d'Ait Boujane en 01/07/2007, et 18 millions unités/100 ml, enregistrées dans la station de l'aval de Goulmima en 31/03/2004. Globalement, la qualité en terme de CF est bonne à moyenne au niveau de toutes les stations, à l'exception de deux mesures enregistrées au niveau des stations de l'aval de Tineghir et aval de Goulmima qui présentent une mauvaise qualité en 31/03/2004.

Qualité globale

La qualité globale des eaux de surface au niveau du bassin de Rhéris est généralement excellente à bonne à l'exception de quelques cas de mauvaise à très mauvaise qualité ; il s'agit notamment des stations situées en aval des principaux centres du bassin (Tineghir et Goulmima) qui déversent directement leurs rejets dans les oueds de Rhéris et Toudgha sans aucun traitement préalable. Le tableau 8 récapitule les résultats des analyses de la qualité des eaux de surface.

Tableau 8 : Récapitulatif de la qualité des eaux de surface au niveau du bassin de Rhéris (données de l'ABHGZR)

Stations	Oued	Date	O2 (mg/l)	DBO5 (mg /l)	DCO (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	PT (mg/l)	CF /100ml	Qualité globale
Ait Boujane	Todgha	02/02/1999	9,1	0,29	19,2	0,013	0,047	460	Bonne
		30/10/2000	7,2	0,89	19,2	0,017	0,219	1400	Bonne
		24/06/2001	9,3	2,94	69,1	0,062	0,085	54	Mauvaise
		16/04/2002	11,7	1,50	7,5	0,016	0,070	800	Bonne
		13/11/2002	8,6	1,64	7,5	0,036	0,157	70	Bonne
		08/03/2004	7,5	3,54	7,5	0,065	0,443	160	Moyenne
		01/09/2007	8,6	1,20	11,0	0,077	0,121	40	Bonne
		01/06/2008	7,04	2,10	38,0	0,288	0,215	3000	Moyenne
Aval Goulmima	Rhéris	30/10/2000	7,20	0,60	7,5	0,096	0,133	100	Bonne
		24/05/2001	-	-	-	-	-	-	A sec
		21/11/2002	8,96	3,49	26,7	0,083	0,100	0	Bonne
		31/03/2004	0,00	711,0	1123,0	24,5	20,6	18000000	Très mauvaise
		01/09/2007	8,64	0,80	<8,6	0,119	0,065	70	Bonne
		01/06/2008	-	-	-	-	-	-	A sec
Aval Tineghir	Todgha	02/02/1999	4,70	1,76	28,8	2,679	0,061	14000	Très mauvaise
		09/11/2000	6,40	0,70	7,5	0,096	0,274	3100	Moyenne
		24/05/2001	-	-	-	-	-	-	A sec
		15/05/2002	6,40	1,90	23,0	0,049	0,232	0	Bonne
		28/11/2002	7,68	2,11	23,4	0,065	0,140	0	Bonne
		08/03/2004	9,80	112,0	324,0	75,6	12,4	120000	Très mauvaise
		01/09/2007	5,30	0,70	<8,6	0,204	0,093	60	Bonne
		01/06/2008	7,20	1,60	25,0	0,129	0,440	210	Moyenne
Tadighoust	Rhéris	01/09/2007	8,80	0,60	13,0	0,770	0,062	0	Excellente

4. Conclusion

La carte de la vulnérabilité des eaux de surface à la pollution relative au bassin versant de l'oued Rhéris montre que la classe moyenne est la plus dominante, elle représente 52% de la superficie totale du bassin, suivie des zones à faible vulnérabilité par 31%, tandis que les zones de forte à très forte vulnérabilité s'étendent sur une superficie de 2123 km² ce qui correspond à 16,7%. Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de surface montrent, également une parfaite concordance avec les résultats de la cartographie de la vulnérabilité ; en effet, les zones vulnérables (forte et très forte) coïncident généralement avec les zones où la qualité des eaux est détériorée (mauvaise à très mauvaise). Spatialement, les zones vulnérables correspondent aux secteurs situés sur les bordures des principaux oueds qui s'étendent sur une superficie de 2007 km², plus précisément au Sud de l'axe de Tinejdad-Tineghir jusqu'à Imider et en aval de Goulmima, ou parfois sous forme de petites tâches localisées essentiellement dans les lits mineurs des principaux oueds.

Références

1. Bisson J., « Georges Mutin, L'eau dans le monde arabe. Paris, Ellipses Édition Marketing SA, 2000 (« Carrefours de Géographie »). », *Études rurales*, 155-156 | 2000, 279-282.
2. Taybi A.F., Mabrouki Y., Berrahou A., Chaabane K. *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (1) (2016) 272-284.
3. DRH du Guir-Rheris-Ziz ; rapport du bilan hydrologique des bassins de Guir, Rhéris, Ziz et Maider, mission 1 (2008) 76 p.
4. Douay D. et Lardieg E.; Méthodologie de cartographie de la Vulnérabilité intrinsèque des captages d'eau superficielle (2010) 28 p.
5. Baki S., Hilali M., Kacimi I. Mahboub A. (en cours). Cartographie des ressources en eau dans le bassin versant de l'oued Rhéris (Sud-Est du Maroc) : Application de l'outil SIG ; *Bull de l'inst scientifique, Rabat*.
6. Margat J. : Le Haut Atlas calcaire – (Hydrogéologie du Maroc-Chap. VI-2). *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc n° 97* – Rabat ; (1952).
7. Nordine Nouayti, Driss Khattach, Mohamed Hilali. *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (4) (2015) 1068-1081.
8. Kabiri L. Contribution à la connaissance, la préservation et la valorisation des Oasis du Sud marocain : cas de Tafilalet. Thèse d'habilitation universitaire, Facultés des Sciences et Techniques, Errachidia, Université My Ismaïl, Maroc, (2004) 280 p.
9. Bentekhici N., Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physiques d'un bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux (bassin versant d'Oued El Maleh, Nord-Ouest d'Algérie) ; *esri France* (2006).
10. Dernoncourt F., La Logique Floue : le raisonnement humain au cœur du système décisionnel ; Mémoire de NFE211 ; Ingénierie des systèmes décisionnels ; *Conservatoire National des Arts et Métiers ; Paris, 2011 ; 77 p.*
11. Margat J., Mémoire explicatif de la carte hydrogéologique au 1/50000 de la plaine du Tafilalet. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc. N° 150 bis.* (1962).
12. Hilali M., 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 d'Habilitation soutenu à la Faculté des Sciences de Rabat, Université Mohammed V. (2015) 118p.
13. Strahler, Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology", *Geological Society of America Bulletin* 63 (11): (1952).1117–1142.
14. Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau (DRPE) ; état de la qualité des ressources en eau au Maroc année 2007-2008.
15. El Harradji. A : Le milieu physique et les ressources naturelles dans le bassin de Tineghir « Oued Todgha », IMAROM working paper 6. (2000).
16. Mabrouki Y., Taybi A.F., Bensaad H., Berrahou A. *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (1) (2016) 231-243.
17. Choubert G., Carte géologique d'Ouarzazate au 1/500000, *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc. N° 70.* (1959).
18. Fallot P., Levy R. et Tilloy R., Carte géologique de Rabat au 1/500000, publiée par le service géologique du protectorat de la république française au Maroc (1954).
19. Choubert G., Carte géologique de Hammada de Guir 1/500000, publiée par le service géologique du protectorat de la république française au Maroc (1950).
20. A. Laghzal, F. Salmoun, B. Boudinar, M. Khaddor, S. Cherroud, M. Fihri, C. Mammad; *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (2) (2016) 456-462.
21. Agence du bassin hydraulique de Guir-Ziz-Rhéris, campagne des analyses du réseau de suivi de la qualité des eaux de surface.
22. S. Bacroume, S.E.Barcha, S.Garras ,I .Chemaou El Fehri , A. Bellaouchou, M. Fekhaoui / *Mor. J. Chem.* 3 N°3 (2015) 449-457.
23. M. Morarech, K. Drif, T. Bahaj, N. Kassou, M. Hilali, I. Kacimi /*J. Mater. Environ. Sci.* 7 (5) (2016) 1697-1707.

(2016) ; <http://www.jmaterenvironsci.com/>