

Application de la méthode ESU pour la cartographie de la vulnérabilité à la contamination des eaux du Barrage de l'Oued Martil (Maroc; septentrional)

[Application of the ESU method for mapping vulnerability to contamination of water Martil's river dam (Morocco, North)]

Layla Herhar¹, Mohamed Draoui², and Jamal Stitou El Messari¹

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

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

Copyright © 2014 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: A surface water contamination vulnerability mapping has been carried out to contribute to water quality protection of the Martil river dam. The applied methodology (ESU) depends on three parameters *i*) density of the hydrographic network *ii*) soil hydrologic potential and *iii*) agricultural drainage. The vulnerability degree is a result of a typological interaction between these three parameters through their different possible combinations. Results indicate that high vulnerability classes are shown within almost 85 % of the catchment area. Otherwise, some southern, northern and south western areas (14 %) are of mean vulnerability, while a very restricted area (1 %) shows low vulnerability to contamination.

KEYWORDS: Bam, water surface, vulnerability, contamination, SIG, mapping method ESU.

RESUME: Afin de contribuer à la protection de la qualité de l'eau du barrage de l'oued Martil, il a été objet d'une cartographie de la vulnérabilité à la contamination des eaux de surface par des produits polluants. La méthode appliquée est la méthode ESU ; celle-ci dépend de trois paramètres *i*) la densité du réseau-hydrographique *ii*) le fonctionnement hydrique des sols et *iii*) le drainage agricole. Le degré de vulnérabilité est le résultat du croisement typologique des classes de ces trois paramètres à travers des différentes combinaisons possibles. Les résultats obtenus montrent que les classes de vulnérabilité très forte et forte envahissent environ 85% du bassin versant. La première recouvre presque la totalité du bassin de Martil, à l'exception de sa partie est où domine la classe forte. Pour la classe de moyenne vulnérabilité, avec 13,7% de surface totale de la zone d'étude, elle marque le Sud, le Sud-ouest et le Nord du bassin. Finalement, vers le Sud et le Sud Est, se localise la classe de faible vulnérabilité avec une superficie de l'ordre 1,37%.

MOTS-CLEFS: Barrage, eau de surface, cartographie de la vulnérabilité, contamination, SIG, méthode ESU.

1 INTRODUCTION

Sur l'ensemble des ressources en eau disponibles, résultant de la pluie efficace, évaluées à 22.2 Milliards de m³, seulement 16.9 Milliards de m³, sont mobilisables dans des conditions techniques et économiques acceptables dont 13,1 milliards sont des eaux superficielles [1]. Les réalisations en relation politique de la construction des barrages au Maroc sont

importantes: 117 barrages; près de 1,5 million d'hectares de terres irriguées; près de 100% d'accès à l'eau potable en milieu urbain et plus de 75% en milieu rural, production de l'énergie, protection contre les inondations, etc.... Sans doute, ces réalisations représentent aujourd'hui l'une des grandes réussites du Maroc contemporain [2].

2 CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin versant de l'oued Martil se situe dans la chaîne montagneuse du Rif au NW du Maroc entre les latitudes Nord 35°10' et 35°45' et les longitudes Ouest 5°17' et 5°38', localisée entre les coordonnées Lambert : $X_{max} = 510026,386035$ et $Y_{max} = 544222,33586$, $X_{min} = 484200,139029$ et $Y_{min} = 516578,078511$. Il draine une superficie d'ordre de 380 Km² et un périmètre de 107 Km. Il est caractérisé par une topographie plus ou moins accidentée et une altitude qui varie entre 41 m (digue du barrage de l'Oued Martil) et 1808 m à Jbel Allouiyyine (fig. 1).

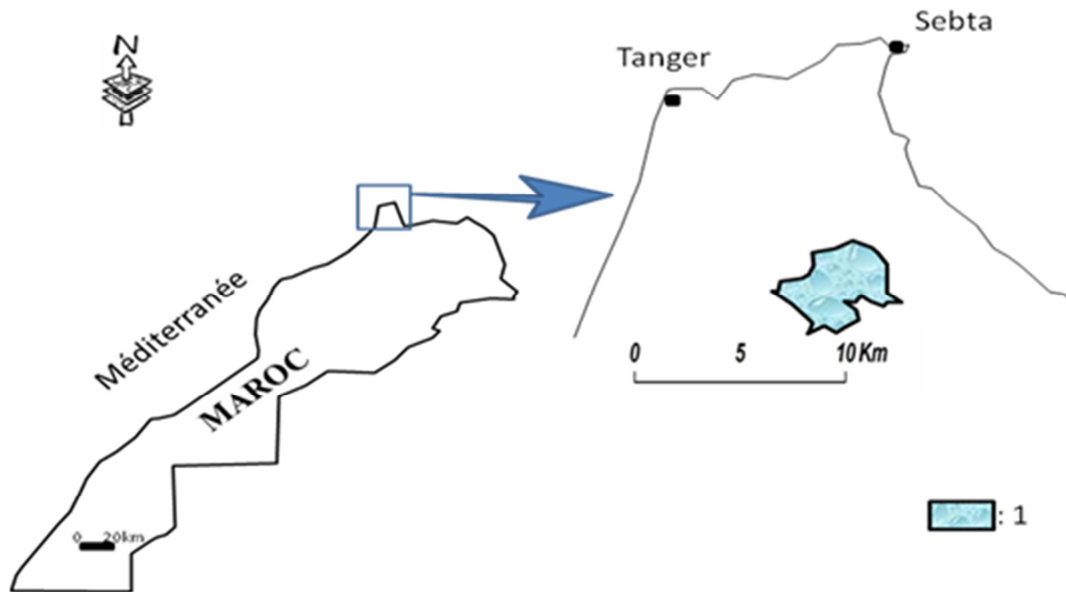


Fig. 1. Situation du Bassin Versant et du barrage de l'Oued Martil. 1 : Zone d'étude

Le réseau hydrographique est composé d'un cours d'eau principal qui est Oued Mhajrate d'une longueur de 37,50 Km et ses affluents qui sont : Nakhla, Hamma et Krikra [3].

Le barrage de l'Oued Martil de 3,8 km² de surface de retenue, disposera d'une capacité de stockage de 120 millions de m³ et d'un apport annuel de 175 millions de m³/an, il régularisera un volume annuel de 70 millions de m³ [4].

Le bassin versant de l'oued Martil se caractérise par un climat de type méditerranéen, avec deux saisons bien distinctes, une saison estivale, chaude et sèche entre le mois de Mai et le mois d'Octobre et une deuxième saison pluvieuse et fraîche qui s'étale du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril. La pluviométrie annuelle varie de 293 mm enregistrée pendant l'année hydrologique 1994/95 et 1333 mm en 1995/96 ; la pluviométrie moyenne annuelle pour la période (1979/80 – 2011/12) étant de l'ordre de 719 mm. La température moyenne mensuelle la plus élevée (27°C) est mesurée au mois d'Août et la plus basse (12,1°C) au mois de Janvier, la température moyenne annuelle pour la période (1984/85 – 2004/05) est de l'ordre de 18,05°C.

Géologiquement la zone d'étude est composée des formations suivantes :

- **La dorsale calcaire** : située à l'extrême partie du bassin versant du barrage vers l'Est. Elle est formée principalement par des calcaires et des dolomies allant du Trias au Jurassique. De part les phénomènes de Karstification qui accompagnent les calcaires, cette chaîne constitue le meilleur aquifère des zones montagneuses [4,5] ;
- **L'unité d'Ametrasse Betarra** : fait partie de la dorsale calcaire, elle est située aussi vers l'Est du bassin versant composées essentiellement par les grès et les conglomérats et rarement de marnes, d'âge Oligocène.
- **L'unité de Tanger** : cette formation essentiellement argileuse à matériel crétacé supérieur et Tertiaire, forme la partie centrale Est du bassin versant ;

- **La nappe des flyschs de Tisirène** : c'est un flysch immature d'âge essentiellement Oligocène, à grains de quartz anguleux et nombreux autres éléments détritiques : micas, feldspaths, éléments lithiques divers, en particulier des éléments de roches métamorphiques : phyllades et micaschistes [7] ;
- **La nappe des flyschs de Bnil-der** : cette formation s'étale sur la partie centrale et elle repose directement sur l'unité de Tanger. Elle résulte de la juxtaposition de lames gréseuses de quelques centaines de mètres d'épaisseur. Le matériau principal de cette nappe correspond à un flysch à tendance molassique à grès fins micacés et argilites, d'âge Oligocène [8] ;
- **La nappe des grès numidiens** : localisée vers l'Ouest et l'Ouest-Sud de la zone d'étude, elle est formée par un flysch gréseux alternant avec des pélites d'âge Oligocène Miocène inférieur [8] ;
- **Les colluvions** : ce sont des dépôts colluviaux, avec agencement locale en glacis pendant des millions d'années grâce à l'érosion du paysage. elles se trouvent vers l'est et l'ouest du bassin versant.

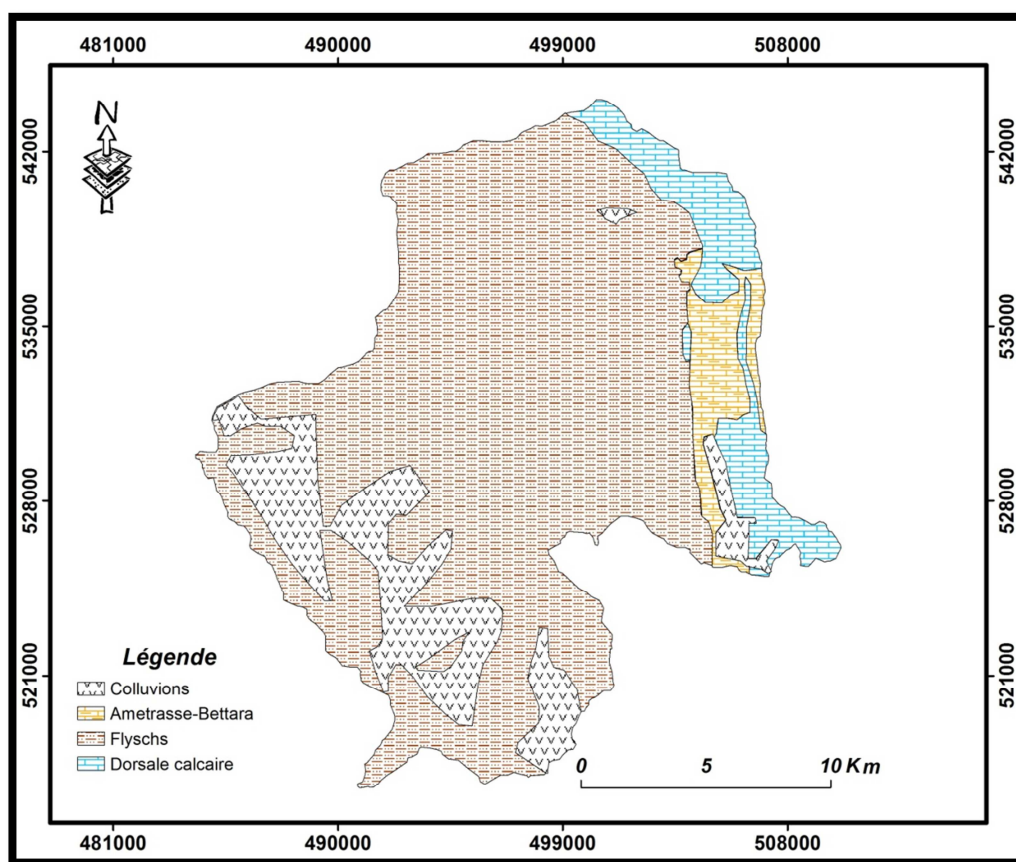


Fig. 2. Carte lithologique du bassin versant de l'Oued Martil

3 METHODOLOGIE

ESU est la méthode adoptée pour la cartographie de la vulnérabilité à la contamination de l'eau de barrage de l'oued Martil, elle consiste à subdiviser la surface du bassin versant en plusieurs parties selon leur capacité à protéger la qualité de l'eau de ruissellement vis-à-vis des produits polluants émis par les différentes activités localisées à la surface suite à une synthèse de données de divers natures : pédologiques, géologiques et hydrologiques. Elle est basée sur la quantification de certains paramètres [9], à savoir :

- Le type de fonctionnement hydrique des sols ; en effet le sol conditionne la partition entre les eaux d'infiltration, qui migrent préférentiellement vers les ressources souterraines, et les eaux de ruissellement qui s'écoulent vers les cours d'eau. A partir d'une expertise pédologique, les unités de sols seront classées en fonction de leurs caractéristiques (battance, hydromorphie, texture...) en unités de fonctionnement hydrique [9].

- La densité du réseau hydrographique : ce paramètre permet d'appréhender la plus ou moins grande proximité des ressources aquatiques de surface aux émissions de produits polluants. Les transferts interviennent à travers la dérive des embruns de pulvérisation et par les phénomènes de ruissellement de surface et de sub-surface lorsque la perméabilité des sols est insuffisante pour permettre l'infiltration totale des eaux de pluies [9].
- **l'importance du drainage agricole** : on considère qu'il accentue les phénomènes de migration des produits polluants vers les eaux superficielles en augmentant les surfaces contribuant à l'alimentation des cours d'eau et en interceptant une partie des eaux qui devraient s'infiltrer [9].

Chacun de ces paramètres est quantifié par une typologie, selon son rang naturel qui exprime son importance dans la caractérisation du degré de vulnérabilité à la contamination (Tab. 1) [9].

Table 1. Types de fonctionnement hydrique des sols selon méthode ESU

Code Esquisse	Type de sol	Typologie	Circulation	Observation	RU
8, 11, 14, 18, 25, 27, 28,30	Roche mere Substratum impermeable	8	Circulation latérale (surface et sub-surface) prédominante	Sol à engendrement temporaire de surface	moyenne
9, 10, 19, 26, 31,35	Sols profonds à forte RU Nappe perché temporaire	7	Circulation latérale (surface et sub-surface) dominante	La plus part du temps drainés	forte
39	Sols profonds à forte RU Nappe permanente	6	Circulation dominante	Dans les cuvettes en relation avec les cours d'eau	forte
40, 41,42	Sols de grandes vallées (Meurthe-et-Moselle) Submersion possible	5	Circulation mixte		faible
1, 13, 36, 37,38	Sols profonds à forte RU Sols sains	4	Circulation Verticale prédominant		forte
2, 22, 32, 33,34	Sols profonds Sableux à forte RU Faible à moyenne	3	drainage Verticale prédominant		Faible à moyenne
15, 20, 21,29	Sols peu profond à ressuyage lent	2	drainage Verticale prédominant	Alternance zones saines et zones humides beaucoup cailloux	moyenne
4, 6,12	Sols superficielle Faible réserve en eau	1	Circulation Verticale prédominant	Sur plateau calcaire	faible
5, 7, 16, 17, 23,24	Zones de sources. Bords Cuesta	9	Drainage verticale dans les colluvions calcaires puis migration sur les marnes ou argiles	Interface Calcaire/argile zones de côtes « Singularité »	

La carte de vulnérabilité à la contamination des eaux de surface de la méthode ESU est obtenue par combinaison des typologies relatives des trois paramètres selon les regroupements du tableau 2.

4 APPLICATION DE LA METHODE ESU A LA ZONE D'ETUDE

4.1 ELABORATION DES CARTES TYPOLOGIQUES

Pour cartographier la vulnérabilité à la contamination des eaux de surface on commence par l'élaboration des cartes typologiques qui présentent la répartition spatiale des typologies accordées aux trois paramètres adoptés par la méthode ESU [9].

4.1.1 CARTE TYPOLOGIE DU TYPE DE FONCTIONNEMENT HYDRIQUE DES SOLS

La connaissance de la géologie d'un bassin versant s'avère importante pour mieux cerner l'influence des caractéristiques physiographiques. La géologie du substratum influe non seulement sur l'écoulement de l'eau souterraine mais également sur le ruissellement de surface. La zone d'étude se divise en quatre unités géologiques :

- La dorsale calcaire est constituée par les calcaires, les grès et les argiles;
- L'unité Ametrasse Betarra, elle fait partie de la dorsale calcaire mais composée essentiellement des grès et des conglomérats.
- Les nappes des flyschs sont caractérisées par la présence des grès grossiers, alternance de grès et pélites, marnes, alternance de grès et argiles;
- Les colluvions sous forme de dépôts superficiels issues de l'érosion de la roche mère.

Table 2. Regroupements typologiques réalisés pour constituer les classes de vulnérabilité

Classe de vulnérabilité	Regroupement typologiques
Classe 1 : Vulnérabilité très faible Zone à infiltration prédominante, à réseau de surface très peu développé	A : sols superficiel à infiltration d'eau prédominante, à réseau hydrographique faible, surfaces drainées inexistantes ;
Classe 2: Vulnérabilité faible Zones où les phénomènes d'infiltration sont majoritaires, le réseau hydrographique est peu à moyennement développé	B : sols superficiel à infiltration d'eau prédominante, à réseau hydrographique faible, surfaces drainées moyenne ;
	D : sols filtrant profond à infiltration d'eau prédominante, à réseau hydrographique moyen, surfaces drainées inexistantes ;
	C : sols I à infiltration d'eau prédominante, à réseau hydrographique faible, surfaces drainées importantes ; E : sols I à infiltration d'eau prédominante, à réseau hydrographique moyen, surfaces drainées moyennes ; G : transferts mixte de l'eau, à réseau hydrographique moyen, surfaces drainées inexistantes ;
Classe 3: Vulnérabilité moyenne Ensemble de situations intermédiaires, à réseau hydrographique moyennement développé	F : sols I à infiltration d'eau prédominante, à réseau hydrographique moyen, surfaces drainées importantes ; H : transferts mixte de l'eau, à réseau hydrographique moyen, surfaces drainées moyennes ; K : ruissellement de surface prédominant, à réseau hydrographique moyen, surfaces drainées inexistantes ;
Classe 4: Vulnérabilité forte Zone moyennement proches des surfaces mais fortement drainées ou à ruissellement de surface important	I : transferts mixte de l'eau, à réseau hydrographique moyen, surfaces drainées importantes ; L : ruissellement de surface prédominant, à réseau hydrographique moyen, surfaces drainées moyennes ;
Classe 5: Vulnérabilité très forte Zone à proximité immédiate de cours d'eau ou fortement drainées.	N, O, P : transferts mixte de l'eau, à réseau hydrographique très important, surfaces drainées moyennes à importantes ; M : ruissellement de surface prédominant, à réseau hydrographique moyen, surfaces drainées importantes.

La typologie est attribuée à une lithologie donnée sur la base de sa perméabilité, tel que : plus la perméabilité est faible plus la typologie du fonctionnement hydrique est élevé. A l'échelle du bassin versant de l'Oued Martil, les typologies obtenues et leur répartition spatiale sont représentées sur la carte de la figure 3. Celles-ci montre que :

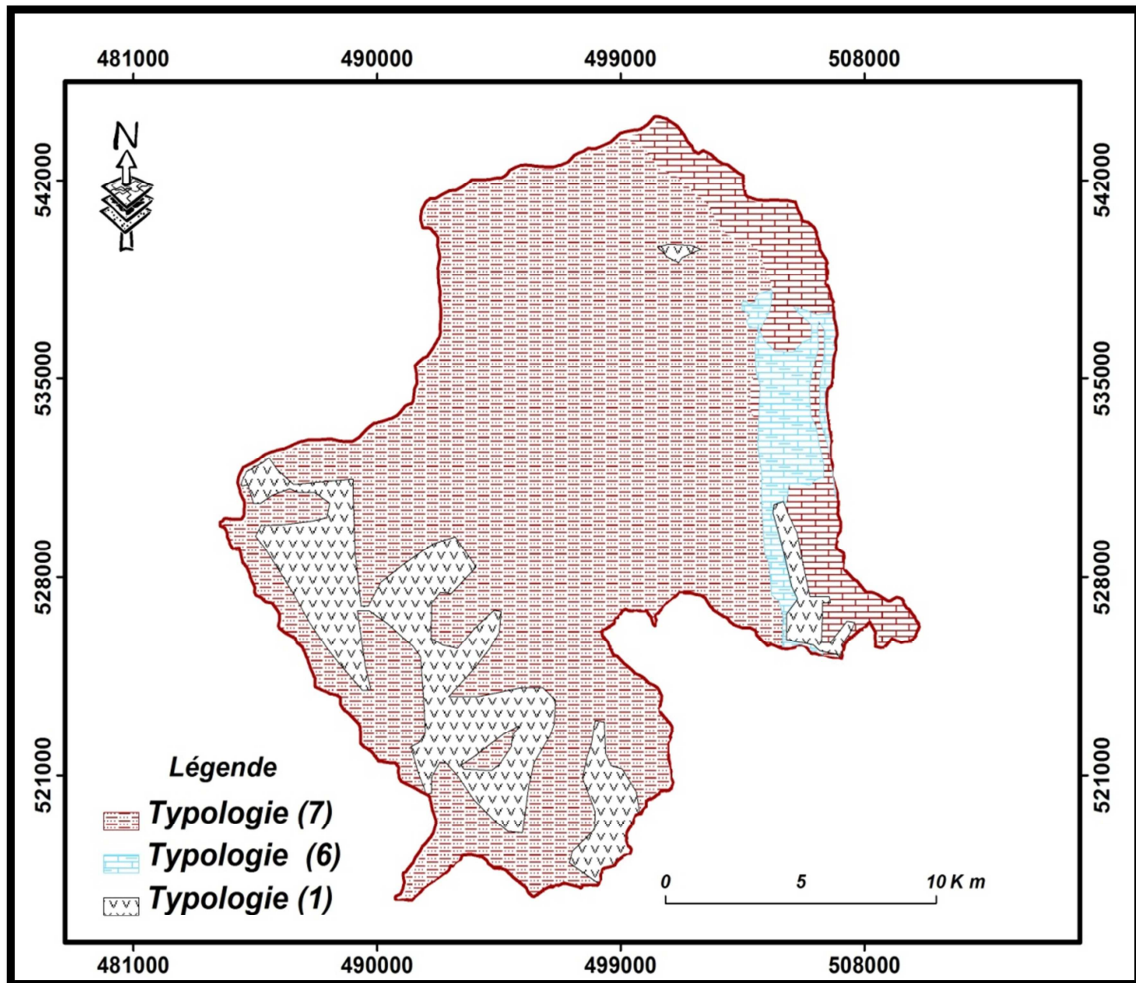


Fig. 1. Fig. 3. Typologie du fonctionnement hydrique du bassin versant de l'oued Martil

- La typologie (7), relatif à la dorsale calcaire et aux flysch sur une superficie correspondant respectivement à 8,53% et 71,7% de la surface totale du bassin versant, domine la partie centrale et l'extrémité Est du bassin versant étudié ;
- La typologie (6) coïncide avec les grès et les conglomérats de l'unité d'Ametrasse Bettara qui affleurent à l'Est du bassin tout en couvrant environ 4,7% de sa surface totale ;
- La partie Sud-ouest est caractérisée par la présence de la typologie (1) relative aux colluvions déposées sur les flyschs (13,7%). La même typologie imprègne sur une petite surface (1,37%) la typologie (7) à l'Est de la zone d'étude.

4.1.2 CARTE TYPOLOGIQUE DE LA DENSITE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Ce paramètre permet d'exprimer la proximité des ressources aquatiques de surface aux émissions de produits polluants, sachant que, plus les activités polluantes sont proches du réseau hydrographique, plus la classe correspondante est importante. La densité du réseau hydrographique est le rapport des longueurs de cours d'eau sur un territoire donné par la surface de ce territoire.

Dans le bassin versant de l'oued Martil deux classes typologiques ont été définies pour ce paramètre. Leur répartition spatiale est représentée dans la figure 4:

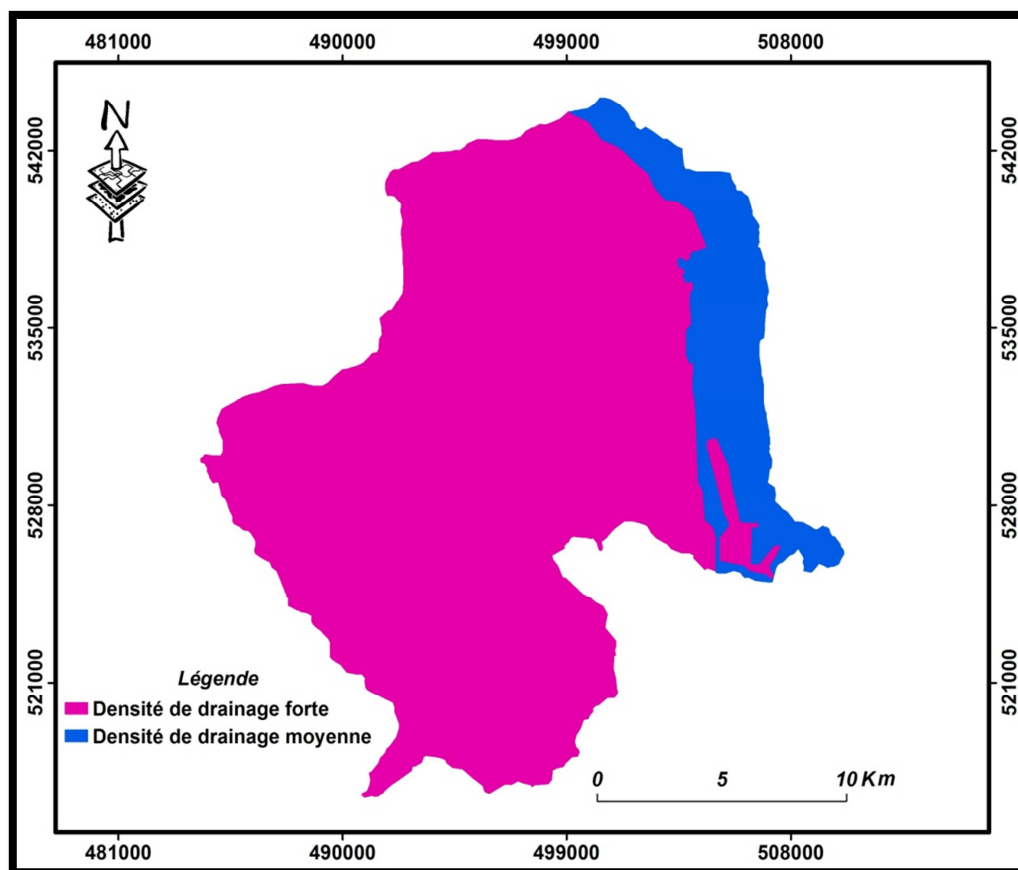


Fig. 4. Carte typologique de la densité du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Martil

A l'exception de la partie Est dominé par la dorsale calcaire et l'unité d'Ametrasse Bettarra, présentant une lithologie compétente correspondant principalement au calcaire, grès et conglomérat, et par la suite une densité hydrographique moyenne, le reste du bassin versant montre une forte densité hydrographique due à une incompetence des flyschs.

4.1.3 CARTE TYPOLOGIQUE DE DRAINAGE AGRICOLE

Ce facteur accentue les phénomènes de migration des produits polluants vers les eaux superficielles. Dans notre cas, et en raison du manque de données concernant le recensement général de l'agriculture dans le bassin versant concerné, et vu la relation étroite entre la nature du sol et celle de la roche mère, nous nous sommes basés sur la perméabilité et la porosité des faciès des différentes unités géologiques traversées par les eaux de ruissellement pour l'estimation du drainage agricole. Quatre classes de drainage agricole ont été définies et représentées dans le bassin versant de l'oued Martil (figure 5) :

- Drainage très fort : caractérise la dorsale calcaire avec une forte perméabilité due essentiellement à une importante fissuration ;
- Drainage fort : distingué dans l'unité d'Ametrasse Betarra à laquelle s'associe une perméabilité notable induite par la fissuration des grès et des conglomérats;
- Drainage moyen : s'associe aux flyschs et aux colluvions moyennement perméables.
- Drainage faible : détermine les colluvions déposées sur la dorsale calcaire, sachant que cette dernière favorise l'infiltration.

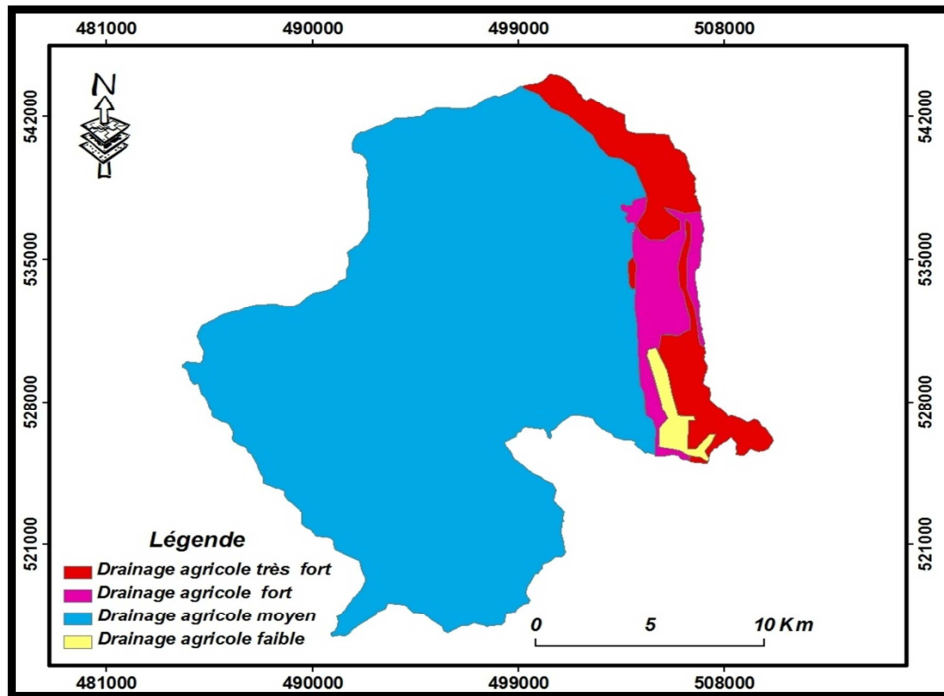


Fig. 5. Carte typologique du drainage agricole du bassin versant de l'oued Marti

La carte typologique de drainage agricole, permet de distinguer deux zones importantes:

- L'Ouest du bassin versant, caractérisée par un drainage agricole moyen couvrant environ 85,4% de la surface totale de la zone d'étude. Elle coïncide avec les flyschs essentiellement;
- L'extrême Est du bassin versant, dominée par un très fort drainage agricole (8,53%) caractéristique de la dorsale calcaire, tout en étant imprégné d'une part par un fort drainage (4,7%) spécifique de l'unité d'Ametrasse Bettara et d'autre part par un faible drainage agricole qui détermine les colluvions surmontant les calcaires.

5 RESULTATS ET DISCUSSIONS

Selon la méthode ESU, la détermination des classes de vulnérabilité se fait à travers une combinaison des typologies relatives aux trois paramètres utilisés. Dans notre zone d'étude, cinq combinaisons et par la suite cinq classes de vulnérabilité à la contamination des eaux du barrage de l'Oued Martil ont été mises en évidence (Tab. 3), et dans la répartition spatiale est représentée dans la figure 6.

Table 3. Différentes combinaisons des typologies des paramètres de la méthode ESU et classes de vulnérabilité correspondantes dans le bassin versant de l'Oued Martil

	Fonction hydrique	Densité du réseau hydrographique	Drainage agricole	Classe de vulnérabilité	% des classes de vulnérabilité
Combinaison 1	7 : circulation latérale (surface et sub-surface) dominante	Moyenne	Très Fort	Très forte	8,53%
Combinaison 2	6 : circulation mixte dominante	Moyenne	Fort	Forte	4,7%
Combinaison 3	7 : circulation latérale (surface et sub-surface) dominante	Forte	Moyen	Très forte	71,7%
Combinaison 4	1:circulation verticale prédominante	Forte	Moyen	Moyenne	13,7%
Combinaison 5	1: circulation verticale prédominante	Forte	Faible	Faible	1,37%

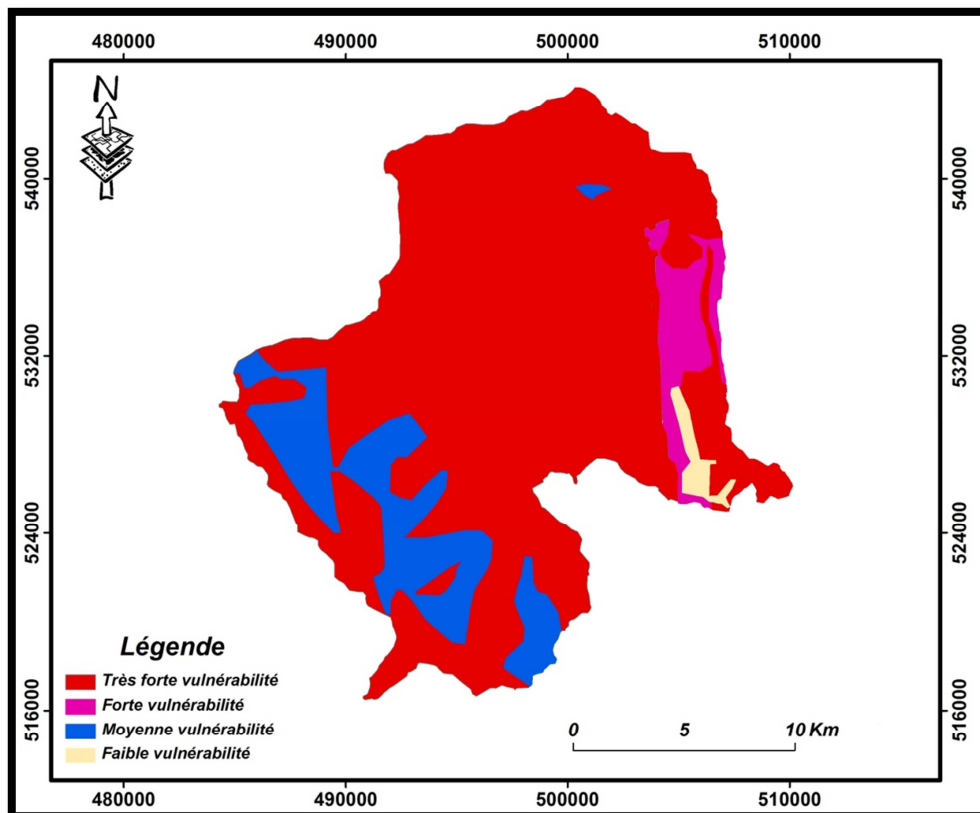


Fig. 6 : Carte de vulnérabilité à la contamination des eaux du barrage de l'Oued Martil

- Les classes **très fortes et forte** vulnérabilité: occupent la majorité de la zone d'étude sur une superficie de l'ordre de **85 %** du bassin versant. Elle s'associe à la dorsale calcaire de la combinaison (1), les flyschs de la combinaison (3) et l'unité d'Ametrasse bettara de la combinaison (2). Les deux premières unités sont caractérisées par un fonctionnement hydrique dominant avec une circulation latérale importante (surface et sub-surface) autrement dit un fort ruissellement. La densité du réseau hydrographique est moyenne à forte (de **1,01 à 3,48 Km⁻¹**), alors que le drainage agricole varie de moyen à très fort tout étant favorisé par la haute perméabilité de la dorsale calcaire. Concernant l'unité d'Ametrasse bettara, elle coïncide avec une forte vulnérabilité due à une circulation mixte, une densité hydrographique moyenne (**0,96 Km⁻¹**) et un fort drainage agricole.
- La classe de **moyenne** vulnérabilité, apparait principalement à l'ouest du bassin versant recouvrant environ **13,7%** de sa surface totale. Elle caractérise la combinaison (4) avec des colluvions déposées sur les flyschs et auxquelles s'associent une circulation verticale prédominante, une forte densité de réseau hydrographique (**3,05 Km⁻¹**) et un drainage agricole moyen.
- La classe de **faible** vulnérabilité spécifique de la combinaison (5), coïncide avec les colluvions surmontant la dorsale calcaire, en leur attribuant un faible drainage agricole, une forte densité hydrographique (**3,05 Km⁻¹**) et une infiltration prédominante. Elle se trouve localement englobée par la classe de très forte vulnérabilité au SE de la zone d'étude sur une superficie qui n'excède pas **1,4%**.

6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Selon la méthode ESU les classes très forte et forte vulnérabilité occupent la majorité de la zone d'étude, et par la suite l'eau du barrage de l'Oued Martil montre un degré de contamination élevé ; et ce en relation essentiellement avec le type du fonctionnement hydrique et le drainage agricole, qui sont en intime dépendance de la lithologie.

S'intéressant à des zones de très forte à forte degré de vulnérabilité à la contamination des eaux de surface du bassin versant étudié, plusieurs mesures peuvent être recommandées dans le but de participer à la préservation de la qualité de l'eau de barrage de l'Oued Martil, et parmi lesquelles on cite:

- Mettre en place un réseau d'assainissement autonome pour interdire tout rejet clandestin des eaux usées dans les oueds et leurs affluents.
- Implanter des décharges publiques pour la collecte et le traitement des déchets.
- Procéder à des campagnes de sensibilisation de la population sur de telles pratiques.
- Contrôler la quantité et la qualité utilisées des pesticides et des engrais suite à un accompagnement des agriculteurs par la Direction provinciale d'agriculture.
- Interdire l'installation de toute activité polluante au niveau des zones qui montrent un fort degré de vulnérabilité.

REMERCIEMENTS

Ce travail est réalisé dans le cadre du projet RS/16/2011 financé par le CNRST. Nos remerciements à L'ABHL pour nous avoir facilité certaines données.

REFERENCES

- [1] J. P Thauvin, "La zone axiale du Rif ressources en eau du Maroc, tome inédit. *Ser. Géol. Maroc. Rabat*. 1971.
- [2] 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)
- [3] I Herhar. et A Afilal., "Etude de protection du barrage de l'oued Martil contre la pollution" Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan 2011.
- [4] Geosurvey, Geoma, "étude d'impact sur l'environnement d'un projet d'exploitation d'alluvions fluviales, construction du barrage oued Martil", ABHL, juin 2010.
- [5] A. Chalouan les nappes ghomarides "Rif septentrional, Maroc un terrain varisque dans la chaîne alpine". *thèse doc. d'état, univ. strasbourg*, 317 p, 1986.
- [6] J Stitou El Messari , S García-lópez , A Emran, "hydrogeological, hydrochemical and isotopic survey of the groundwater of the haouz karstic massif (northern Rif, Morocco)", *geogaceta* 50: 95-98, 2011
- [7] A. Crespo-blanc , D. Frizon de Lamotte., "Structural evolution of the external zones derived from the flysch trough and the south iberian and maghrebien paleomargins around the gibraltar arc: a comparative study", *bull. soc. geol. fr.* 177,267–282, 2006.
- [8] A. Michard. F Negro., O. Saddiqi., M.l. Bouybaouene., Chalouan A., Montigny R., Goff'e B., " Pressure-temperature-time constraints on the maghrebide mountain building: evidence from the Rif-Betic transect (Morocco, Spain), Algerian correlations, and geodynamic implications", *c. r. geosci.* 338, 92–114, 2006.
- [9] L. Grappe, "Cartographie du potentiel de contamination des eaux par les produits phytosanitaires pour la région lorraine" 2006.