

## Cartographie de la vulnérabilité à la contamination des eaux du barrage 9 Avril 1947 (Maroc, Septentrional)

### [ Mapping vulnerability to contamination of waters in the 9 April 1947 dam (Morocco, North) ]

*Ismail Hilal<sup>1</sup>, Amina Azouagh<sup>1</sup>, Jamal Stitou El Messari<sup>1</sup>, Mohamed Reda Aoulad Mansour<sup>1-2</sup>, and Mohamed Draoui<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Department of Geology,  
University Abdelmalek Essaadi, faculty of sciences,  
Tétouan, Morocco

<sup>2</sup>Department of water quality,  
Hydrological basin agency of Loukkos,  
Tétouan, Morocco

---

Copyright © 2015 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:** April 9, 1947 dam in Morocco is known for its waters intense rate of pollution and its considerable anthropogenic activity. Unfortunately, no former studies were made to investigate its real pollution degree. In this work, we present a method for mapping the vulnerability assessment and the risk of pollution of surface water stored in this dam. For this, we introduced a vulnerability index called IV considering three different parameters which are slope, drainage density and the lithology. The index IV serves to characterize the transfer of a pollutant from the upstream to the downstream of a watershed. This index is the product of these three parameters. The superposition of these parameters through GIS software gave us a map of contamination vulnerability in the watershed. This map shows three vulnerability states: areas of high (72% of basin area), medium (25%) and low vulnerability (3%). Using this map, we can establish a zonation of areas that should be protected to reduce the high rate of contamination in this the dam.

**KEYWORDS:** Protection zones, pollution, April 9, 1947 Dam, GIS, hydrology.

**RESUME:** Dans ce travail nous présentons une méthode d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité et du risque de pollution des eaux du barrage 9 Avril 1947 (Maroc). Ces eaux sont connues par un taux intense de la pollution et une activité anthropique considérable. Pour ce faire, nous avons introduit un indice de vulnérabilité dénommé Iv qui prend en considération la pente, la densité du drainage et la lithologie. Cet indice représente le produit de ces trois paramètres. La superposition des cartes thématiques des paramètres par le biais d'un logiciel SIG nous a donné la carte de la vulnérabilité à la contamination sur l'ensemble du bassin versant ; il s'agit des zones à forte(72% de la superficie du bassin), moyenne( 25%) et faible vulnérabilité(3%).

**MOTS-CLEFS:** Zones de protection, pollution, Barrage 9 Avril 1947, SIG, hydrologie.

## 1 INTRODUCTION

La présente étude concerne le barrage Hachef (Barrage nommé 9 Avril 1947), mis en service en 1995. Il est situé dans le Rif occidental marocain à environ 30 km au Sud de la ville de Tanger et à 15 km à l'Est de la ville d'Asilah (Fig. 1). La retenue du barrage d'une capacité utile de 270 millions de m<sup>3</sup> reçoit un apport solide de 609 000 tonnes/an à cause de l'érosion des versants favorisée par le déboisement [1]. Elle contrôle un bassin versant d'une superficie de 216 Km<sup>2</sup>. Le climat de la région étudiée est 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 pluvieuse et fraîche qui s'étale du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril. Des foyers de pollution ont été identifiés dans les régions limitrophes du barrage.

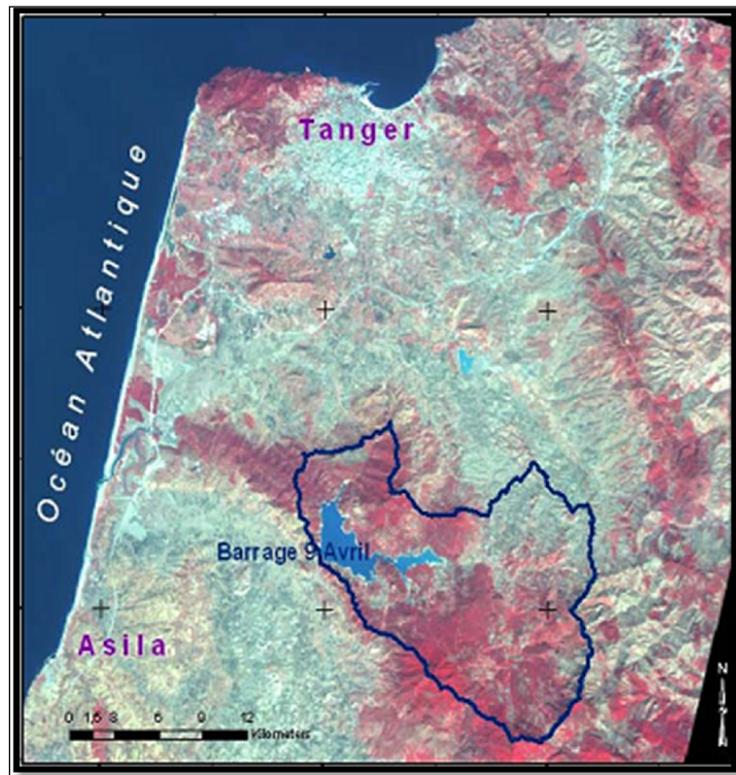


Figure 1.- Situation géographique de la zone d'étude

## 2 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin versant du dit barrage est caractérisé par un périmètre de 61 Km, une longueur de l'ordre de 21,39Km, une largeur de l'ordre de 10,06 Km et une forme allongée (KG= 1.2). Il est drainé principalement par l'oued Haricha et secondairement par Oued Bahara et Oued El Oulja.

La climatologie de la zone d'étude est 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 [2].

De point de vu géologique le bassin versant occupe plusieurs formations il y a :

- **L'unité de Tanger** : cette formation essentiellement argileuse à matériel crétacé supérieur et Tertiaire, forme la partie centrale Est du bassin versant [1] [3] ;
- **La nappe des grès numidienne** : elle occupe généralement les sommets du bassin versant par des flysch gréseux alternant avec des pélites d'âge Oligocène Miocène inférieur. Elle constitue les crêtes qui se dressent dans la partie ouest et sud du bassin [3];
- **Les colluvions** : Ils sont sous forme de cône d'éboulis formés par des cailloux de grès ou de Colluvions formées par des dépôts de pentes relativement fins et dont les éléments ayant subit un faible transport, ils s'étendent sur 15% de la

surface du bassin versant. Ils sont rencontrés sur les berges du lac du barrage ou au pied de Jbel Dar chaoui au Nord, à l'ouest sur Jbel Mensar, et sur Jbel Bou Rgâbech et Jbel Imam à l'Est [3],

- Vers le Sud Ouest la **nappe crétacé-Eocène de Tlat'Lakrah**. Il s'agit d'une alternance des grès numidiens et des pélites roses de Bni Ider. Cette nappe longe la limite sud depuis Koudiat Saf Jniah (SE du bassin) jusqu'aux collines de Tnine Bni Harchane à l'Est.

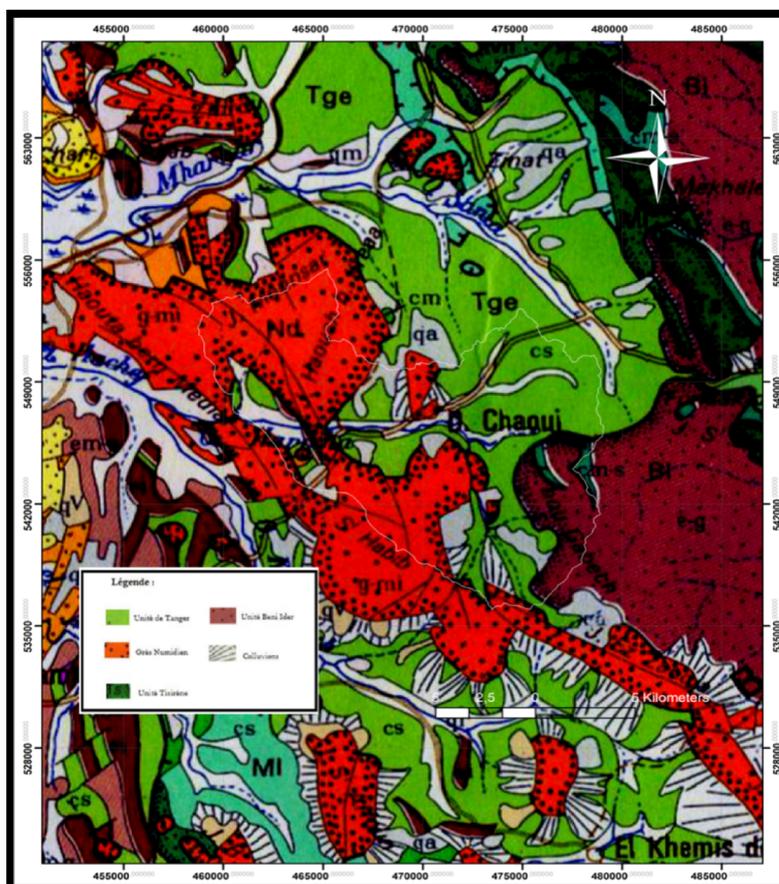


Figure 2.- Carte géologique du bassin versant 9 Avril 1947

### 3 MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

La méthodologie proposée s'appuie sur l'utilisation des fonctionnalités et des possibilités de l'analyse multicritères, offertes par les systèmes d'information géographiques. L'approche utilisée consiste à analyser la vulnérabilité à la pollution sur l'ensemble du bassin versant alimentant le barrage.

La méthode pour évaluer la vulnérabilité à la contamination des eaux de surface, pose l'hypothèse que l'un des principaux facteurs de vulnérabilité, est la proximité du réseau hydrographique aux zones d'existence des produits polluants. Ce facteur est lié aux transferts par dérive des embruns de pulvérisation et par circulation latérale sur et dans les sols, il sera aggravé en fonction du mode dominant de circulation de l'eau dans les sols et par l'importance des pentes (fig. 3). A partir de cette analyse, les paramètres retenus pour expliquer la vulnérabilité des ressources en eaux superficielles, via des transferts horizontaux, sont : le type de fonctionnement hydrique des sols, la densité du réseau hydrographique et l'importance du niveau de la pente. 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 (fig. 3) [4] [5] [6]. Le produit de ces paramètres nous a donné un indice de vulnérabilité  $I_v$  qui diffère sur l'ensemble du bassin versant.

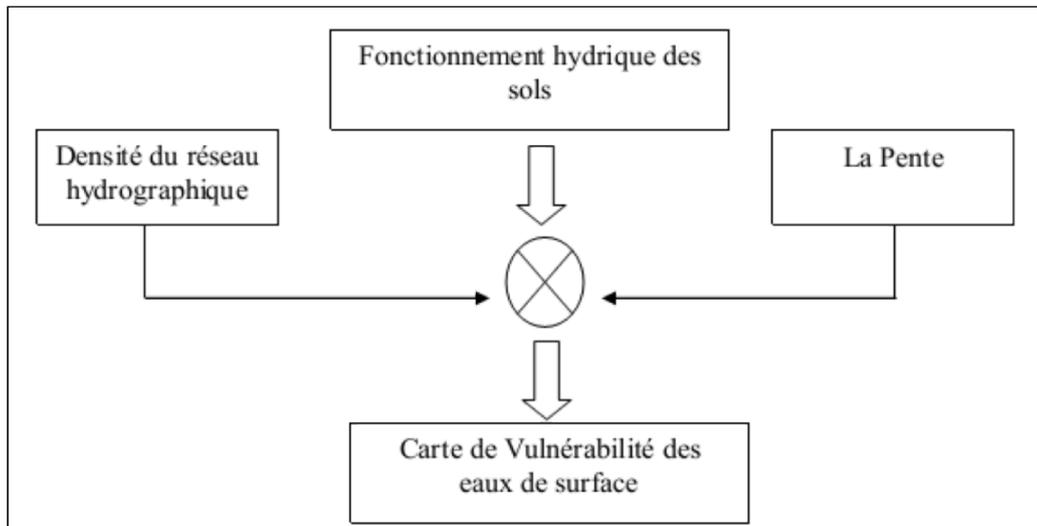


Figure 3.- Démarche fonctionnelle pour caractériser la vulnérabilité des eaux de surface [4].

#### 4 ELABORATION DES CARTES THÉMATIQUES

Portant des cartes topographiques, géologiques et hydrogéologiques de la zone d'étude, nous avons abordé la cartographie de 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 différents paramètres.

##### 4.1 CARTE TYPOLOGIQUE DU FONCTIONNEMENT HYDRIQUE DES SOLS

Le sol conditionne la répartition entre les eaux d'infiltration, qui migrent préférentiellement vers les eaux souterraines, et les eaux de ruissellement qui s'écoulent vers les cours d'eau superficiels.

La caractérisation lithologique des sols vise essentiellement à mettre en évidence les classes des sols vis-à-vis de leur aptitude au ruissellement. La production d'eau de ruissellement superficiel dépend de la perméabilité de la roche, par porosité ou par fracturation, et de la résistance à l'érosion de la roche même ou de la couverture de sol présente au dessus (laquelle peut dépendre de la pente, des pratiques culturales et de l'intensité de la pluie).

Notre secteur d'étude se divise en quatre unités géologiques (Fig. 4) :

- Les nappes des flyschs du Numidien qui sont caractérisées par la présence des Grès Grossiers, très altérés en alternance avec des pélites ;
- L'unité de Tanger qui est formée essentiellement par des argiles à matériel crétacé supérieur ;
- Les pélites roses de Beni Ider ;
- Les colluvions.

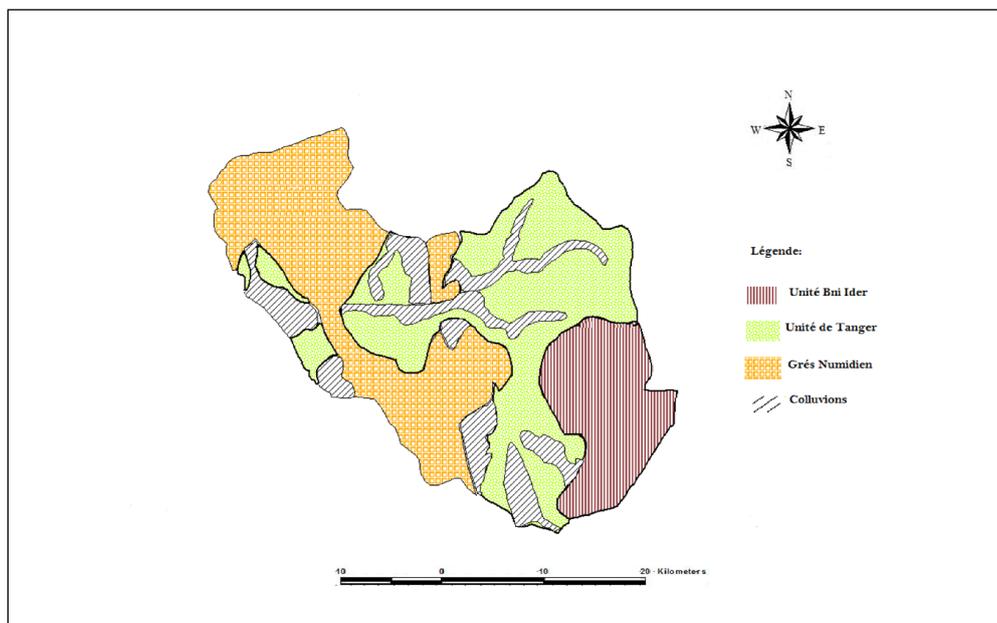


Figure 4.- Carte typologique du fonctionnement hydrique du sol du bassin versant

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, les typologies obtenues et leur répartition spatiale sont représentées sur le tableau 1.

La représentation sur carte de ces typologies est comme suit :

- La partie Ouest de la zone d'étude est représentée par les grés du Numidien de typologie (1) imprégnée par colluvions de typologie (1).
- La partie centrale se caractérise par la dominance des argiles de l'unité de Tanger de typologie (3) avec un mélange de faciès qui ont des typologies (1).
- La partie Sud -Est est caractérisée par la présence des Pellites avec une typologie (2).

Table 1.- Typologie des formations lithologiques du bassin versant

Lithologie	Typologie	Classe
Grés Numidien	1	Forte
Unité de Tanger	3	faible
Pellite de Bni Ider	2	Moyen
Colluvions	1	Forte

#### 4.2 CARTE TYPOLOGIQUE DE LA DENSITE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

Ce paramètre permet d'appréhender la plus ou moins grande proximité des ressources en eaux de surface aux émissions des produits polluants. Le calcul de ce facteur est fait à la base des limites des unités pédologiques. Ce choix repose sur l'hypothèse que la circulation de l'eau est liée aux caractéristiques des sols et des sous-sols. La densité du réseau hydrographique s'obtient en divisant la somme des longueurs de cours d'eau sur un territoire donné par la surface de ce territoire.

Trois classes de densité sont attribuées à ce paramètre à partir du calcul de la densité (Fig. 5):

- Densité faible comprise entre 0 et 0,5 Km/Km<sup>2</sup>;
- Densité moyenne comprise entre 0,5 et 2 Km/Km<sup>2</sup>;
- Densité forte supérieure à 2 Km/Km<sup>2</sup>

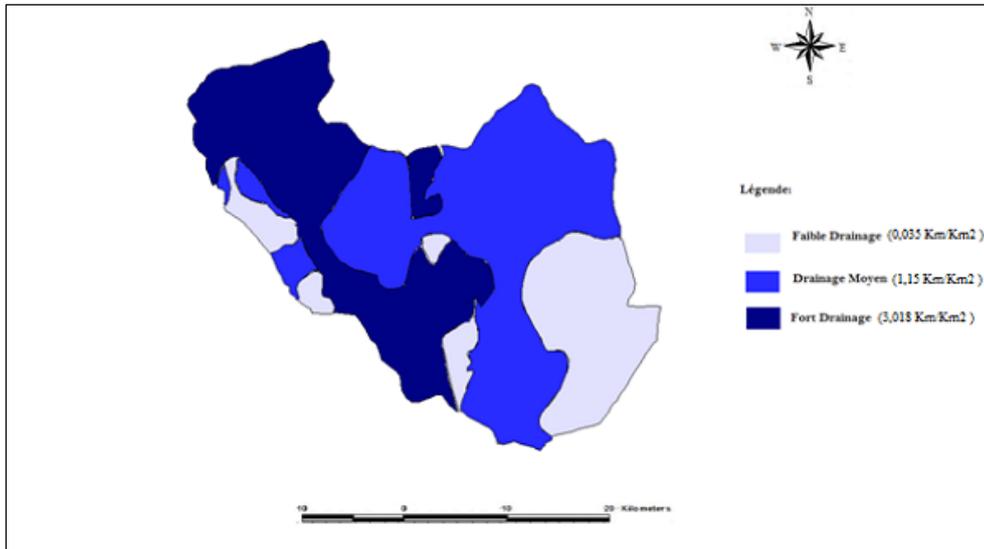


Figure 5.- Carte typologique de la densité du réseau hydrographique

#### 4.3 CARTE TYPOLOGIQUE DES PENTES

La gravité des phénomènes d'érosion augmente avec l'intensité de la pente. On peut différencier des classes de pente croissante en fonction de la gravité des phénomènes d'érosion observés.

La pente des terrains naturels est considérée 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. Elle joue également un rôle indirect puisque les sols s'organisent sur les versants selon la morphologie et la nature du substratum. Sur les affluents de barrage, ces phénomènes pourraient expliquer les différences de lame d'eau écoulée : le sous-bassin le moins pentu présente les débits spécifiques les plus faibles, le sous-bassin le plus accidenté donne les lames d'eau écoulées les plus fortes (Fig.6)

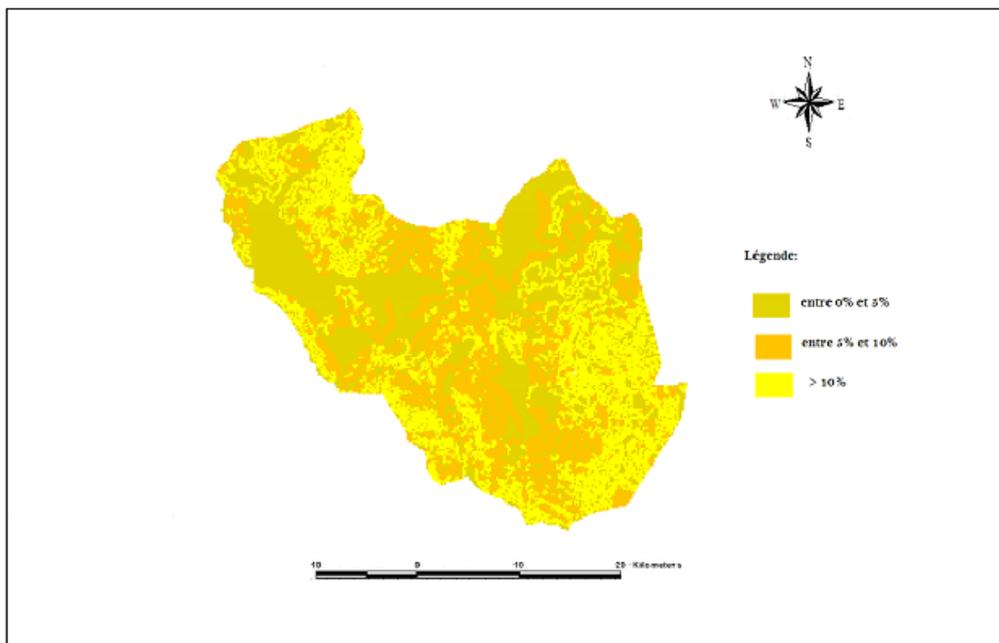


Figure 6.- Carte typologique des pentes du bassin versant 9 Avril 1947

D'après la carte des pentes on remarque que les pentes les plus fort sont situées au niveau des crêtes du basant versant, alors que les pentes comprises entre 0% et 10% sont situées au centre du bassin.

Autrement dit les pentes qui oscillent entre 0% et 5% sont nulles ou très faibles donc il n’y aura pas un ruissellement de surface strict par contre dans le cas des pentes qui sont supérieur à 10%,on peut dire le ruissellement de surface est possible quelle que soit l’intensité de la pluie. Le tableau 2 montre le classement des pentes avec leurs notations :

**Table 2.- Typologie des pentes du bassin versant 9 Avril 1947**

Paramètre	Classes	Typologie
La Pente	<5%	1
	Entre 5% et 10	2
	>10%	3

## 5 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### 5.1 CARTE DE VULNÉRABILITÉ

Après l’attribution des notations associées à chaque classe de paramètres et après leur superposition par l’intermédiaire d’un logiciel SIG, on a pu établir la carte de la Figure 6 qui représente les 3 classes de la vulnérabilité en appliquant la formule :

$$Iv = \text{Notations du paramètre 1} \times \text{Notations du paramètre 2} \times \text{Notations du}$$

Et c’est à la base de cet indice de vulnérabilité **Iv** qu’on a pu avoir la carte de la vulnérabilité sur l’ensemble du bassin versant (Fig.7).

Elle comprend trois classes de : forte, moyenne et faible :

- La forte vulnérabilité s’associe aux grés du Numidien qui occupent les sommets du bassin, elle s’étend sur 72% de la superficie du bassin versant et elle est due à la forte densité de son réseau hydrographique et sa haute pente qui favorise le ruissellement de surface. Elle s’associe également aux pelrites de Bni Ider qui ont une densité hydrographique moyenne et un niveau de pente très fort ;
- La vulnérabilité moyenne qui représente 25% de la superficie du bassin versant caractérise les colluvions déposés sur les argiles et qui ont une densité de réseau hydrographique moyenne et une pente moyenne. Elle s’attribue aussi aux colluvions déposées sur les grés et qui ont une densité de drainage faible et une pente moyenne ;
- La faible vulnérabilité avec 3% de la superficie correspond aux petites parties de pelrites Bni Ider et des grés Numidien altérés qui ont une densité de drainage et une pente faible.

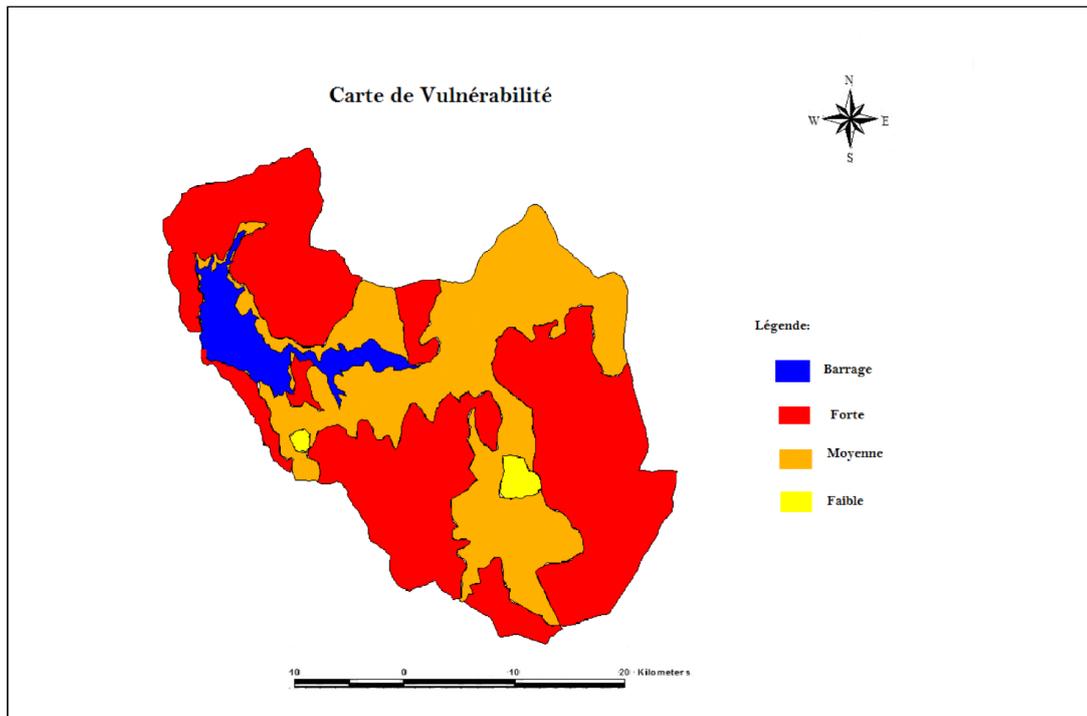


Figure 7.- Carte de vulnérabilité des eaux de surface du bassin versant 9 Avril 1947

## 5.2 CARTE DES PÉRIMÈTRES DE PROTECTION

L'effet de la pollution diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la ressource à protéger, la lutte contre cette pollution nécessite un découpage du bassin versant en plusieurs zones. Il s'agit de la zone de protection immédiate (zone I) et la zone de protection éloignée (zone II) [7].

Les périmètres de protection d'un barrage visent à protéger les abords immédiats de la retenue et son voisinage, ainsi qu'interdire ou réglementer les activités qui pourraient nuire à la qualité des eaux.

Dans **la zone I**, il faut assurer la protection contre la pollution de l'eau de la retenue et éviter que des déversements ou des infiltrations de substances polluantes se produisent à l'intérieur ou à proximité immédiate de la retenue. La délimitation de cette zone nous permet d'intervenir convenablement en cas d'accident, d'empêcher toute intervention humaine. Cette zone comprend la partie de la retenue du barrage, limitée à une bande des hautes eaux, c'est-à-dire c'est la limite maximale suite à un remplissage maximale de la retenue (Fig.8).

Dans **la zone II**, limitée par la ligne de partage des eaux du bassin versant du barrage. Il faut donner la priorité à la protection contre des pollutions résultant des diverses activités et aménagements humains, dont la proximité pourrait mettre en danger les eaux de barrage. Pour délimiter cette zone on doit tenir en compte les paramètres suivants : la durée et la vitesse de transfert de l'eau entre les points d'émission de pollution éventuelle et la retenue; le pouvoir de fixation et de dégradation du sol et du sous-sol vis-à-vis des polluants (Fig.8).

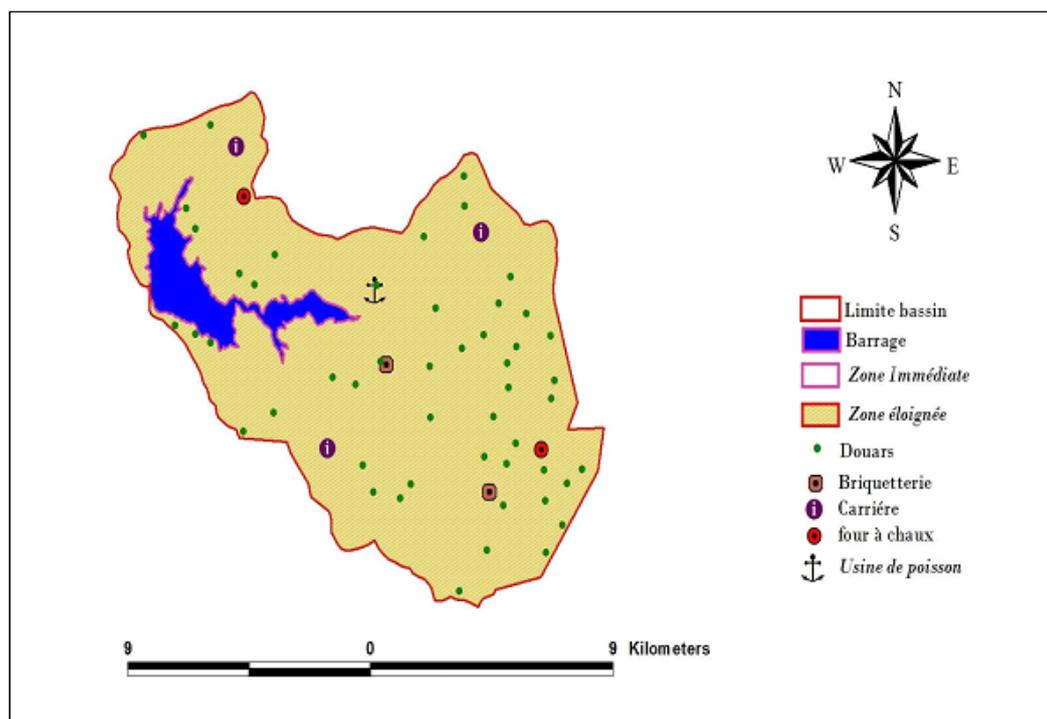


Figure 8.- Carte des périmètres de protection du bassin versant 9 Avril 1947

## 6 CONCLUSION

Au terme de ce travail, une solution informatisée pour la délimitation des périmètres de protection a été conçue et réalisée. Ainsi, un modèle d'analyse spatiale par les SIG basé sur l'évaluation de la vulnérabilité à la contamination de la ressource a été élaboré. Toutes les données disponibles, aussi bien celles issues à partir des cartes topographiques et géologiques que celles du terrain, ont été modélisées et intégrées au sein d'une base de données gérée par un SIG. Dans ce travail, les différents aspects de la problématique concernant la sauvegarde de la ressource en eau ont été cernés et les besoins des gestionnaires ont été recensés. L'utilisation de cette méthode a permis de délimiter deux zones de protection autour de la retenue du barrage (zones de protection immédiate et éloignée).

Cette étude apparaît donc encourageante pour le développement futur de l'utilisation de la télédétection spatiale et des SIG pour l'étude et la gestion des ressources en eau destinée à l'alimentation en eau potable. Elle vise l'objectif fondamental d'amélioration des connaissances nationales sur les ressources en eau et de leur protection, et fournit une base pour toute étude expérimentale ultérieure en matière de protection des ressources en eau de surface.

Le suivi et le contrôle de la qualité de l'eau doit être complété par l'établissement des mesures d'atténuation, qui vont assurer la préservation à long terme de la qualité des eaux.

## REMERCIEMENTS

Nos remerciements à ABHL de nous avoir facilité certains donnés. Ce travail entre dans le cadre du projet RS/2011/16 financé par le CNRST de Maroc.

## RÉFÉRENCES

- [1] MOUKHCHANE, M., BOUHLASSA, S., AHMED CHALOUAN, A. ET AHMED BOUKIL, A. (2005): Détermination des zones vulnérables à l'érosion par la méthode magnétique. Application au bassin versant d'El Hachef (région de Tanger, Maroc). *Revista de la Sociedad Geologica de España*, 18 (3-4): 225-233.
- [2] 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.
- [3] A. Michard. F Negro., O. Saddiqi., M.I. 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. géoscience*. 338, 92–114, 2006.
- [4] GRAPPE, (2006) : Cartographie du potentiel de contamination des eaux par les produits phytosanitaires pour la région lorraine, vol 62, p.17.
- [5] Geosurvey, Geoma, "étude d'impact sur l'environnement d'un projet d'exploitation d'alluvions fluviales, construction du barrage oued Martil", ABHL, juin 2010.
- [6] Layla Herhar, Mohamed Draoui and Jamal Stitou El Messari "Application of the ESU method for mapping vulnerability to contamination of water Martil's river (Morocco,North) ", *International Journal of innovation and applied studies*, vol.8 N°3, pp. 1400-1409, September 2014.
- [7] GAROUANI, A., MERZOUK, A. (2006). Délimitation des zones de protection autour de la retenue du barrage hachef (maroc) par télédétection et sig, *journal of water science*, vol. 19, n° 1, p. 1 -10.