

APPORT DE LA GEOMATIQUE SUR L'IDENTIFICATION DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE AUX COMORES : cas de la naissance d'une mangrove après élévation du niveau de la mer sur l'île de Ngazidja.

ANDILYAT Mohamed¹, ANWAR Maeva¹⁻²; ARTADJI Athouman¹⁻³, Roger EDMOND⁴; Faramalala MIADAN⁴

1-Herbier National des Comores/Faculté Des sciences Université Des Comores (HKM)

2 Institut et Observatoire de Géophysique Antananarivo

2 SEAS-IO Université de la Réunion

3 Département de Biologie et Écologie Végétale Université d'Antananarivo (DEBV)

RESUME : Malgré la présence de coulée de lave récente sur l'île, Ngazidja a pu conserver des vestiges de mangrove dont 70% sont identifiées grâce aux traitements d'images satellites. L'étude est réalisée dans l'objectif de fournir des résultats complets sur la phytogéographie des palétuviers et leur vulnérabilité écologique face aux changements globaux.

Une montée du niveau de la mer de 2 mètres est confirmée par la présence d'algues brunes flottantes (g. *Sargassum fluitans*) sur les troncs des espèces associées aux mangroves; l'adaptation par accommodat de *Xylocarpus moluccensis* sous forme de racine contrefort aplatie pour résister le contact de l'eau de mer; l'observation des restes de mangrove ayant perdu leur espèces de palétuvier immergés; le déplacement de 85 m de la ligne de côte; l'érosion hydrique de la zone médiolittorale , la colonisation d'une population de palétuvier au détriment des espèces de forêt littorale (g. *Pemphis acidula* et g. *Guetarda speciosa*) qui meurent et tombent prématurément au contact de l'eau de mer.

Le rôle écologique des mangroves n'est pas suffisant face aux changements globaux pour protéger le littoral dans les Petits Etats Insulaires en Développement (PEID). L'insertion de leur écosystème dans la Comptabilité Ecosystémique du Capital Naturel (CECN) attirera l'attention des décideurs.

Mots clés : Mangrove, télédétection, pression anthropique, Phytogéographie, Comores.

GEOMATIC REPORT TO IDENTIFICATION OF THE IMPACT CLIMATE CHANGE IN THE COMOROS ISLANDS: a case study on the evaluation of sea level rise on Ngazidja Island

ABSTRACT: Despite the occurrence of recent lava flow throughout the island, Ngazidja has been able to retain vestiges of natural mangrove habitats, , 70% of which =have been identified by satellite image processing. The study is designed to provide comprehensive results on mangrove phytogeography and their ecological vulnerability to global change. A rise in sea level of up to 2 meters can be confirmed by: the presence of floating brown algae (g. *Sargassum fluitans*) on the trunks of species occurring in mangrove habitats; *Xylocarpus moluccensis* adapting to sea level changes by increasing production of flattened buttress roots in order to resist the effects of the sea level rise; the remains of mangrove communities having lost their Submerged tree species ; a coastal boundary displacement of up to 85 metres; increased erosion in the intertidal or littoral zone; and lastly mangrove tree species colonizing coastal habitats and replacing coastal forest species (g. *Pemphis acidula* and *Guetarda speciosa*) that die prematurely due to increased contact with sea water.

The cumulative effects of climate change, especially sea level rise, are expected to cause a significant decline of mangrove ecosystems and loss the associated ecological functions and ecosystem services. So it is essential that they are included in the Ecosystem Natural Capital Accounts (ENCC) in order highlight their importance to decision makers.

Keywords: Ngazidja Island; Mangroves, remote sensing, sea-level rise, Phytogeography, Comoros.

INTRODUCTION

De 2012 à 2016, 23 localités de l'île de Ngazidja hébergeant des vestiges de mangroves de types diverses sont observées. Leur présence est passée inaperçue à cause de leur taille réduite par les coulées de lave qui marque le paysage de l'île. Le deuxième rapport de communication sur le changement climatique aux Comores montre que l'île n'est pas épargnée aux agressions causées par l'élévation du niveau de la mer au même titre que le reste de l'archipel des Comores. En effet, l'impact varie d'une île à une autre. L'objectif de cette étude est de fournir des résultats complets sur l'apport des mangroves et leur vulnérabilité écologique face à la montée du niveau de la mer causée par les pressions des vagues de la mer et l'extraction du sable par les populations riveraines.

1- DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

L'île de Ngazidja est la plus volcanique, la plus jeune, la plus grande (1148 km²) et la plus occidentale des Comores. Elle mesure 64 km de long et 24 km de large, à 700km de la côte Nord- Ouest Malgache et à 300km de la côte orientale de Mozambique. Au centre Sud, l'île reste sous l'emprise du Karthala, le volcan ayant la plus grande caldeira active au monde.

La géomorphologie de Ngazidja fait qu'il y a des plages de sable noir, brun, gris, orangé et blanc aux textures grumeleuses, argileux et sableux aux alentours de l'île (Andilyat 2007). L'ensemble témoigne la présence de fonds corallifères. Le climat est de type tropical humide sous influence océanique. Les températures moyennes annuelles varient en moyenne entre 25°C et 28°C à basse altitude. Les Comores reçoivent entre 1500 et 6000 mm d'eau par an, il s'agit de l'effet de la mousson. (Battistini & Verin 1994)

Les principaux écosystèmes sont les forêts humides en altitude, les savanes, les fourrés humides et secs et les formations marécageuses. Les zones agricoles sont réduites par les lits des coulées de lave récentes (Andilyat 2007). Depuis Janvier 2016, un Réseau National d'Aires Protégées Marines et Terrestres est lancé ; l'île bénéficie un aménagement d'une Aire Protégée Terrestre de la forêt du Karthala (67 000 ha renfermant 16 villages) et deux réserves marines de la zone du Coelacanth (12 villages) au sud de l'île et la zone de l'îlot de Ndroudé (6 villages). Ainsi la moitié des villages de l'île va bénéficier directement les retombés directs de ces Aires protégées.

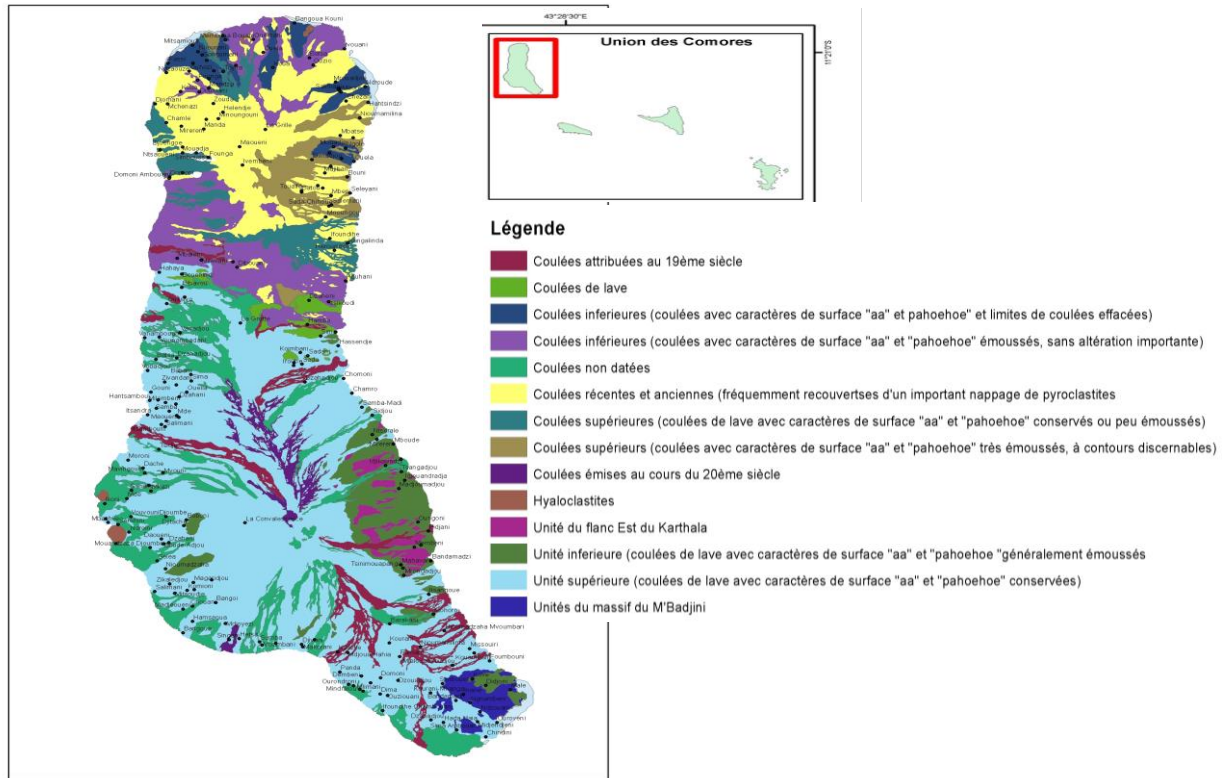


Figure 1 : localisation de l'île de Ngazidja dans l'Océan Indien et chronogramme des coulées de lave (Bachelèry & Coudray, 1994)

2- MATERIEL ET METHODE

- Une image spot5 du 30/05/2013 de l'île de Ngazidja obtenue à partir de la station SEAS-OI est utilisée avec un modèle numérique de terrain SRTM pour l'identification des mangroves. L'image SPOT5 constituée de 4 bandes Multi-spectrales de résolution 10m est combinée à une bande panchromatique de résolution 2.5m.

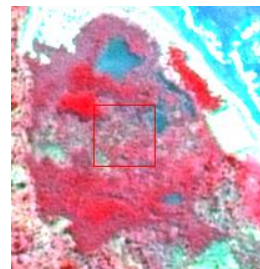
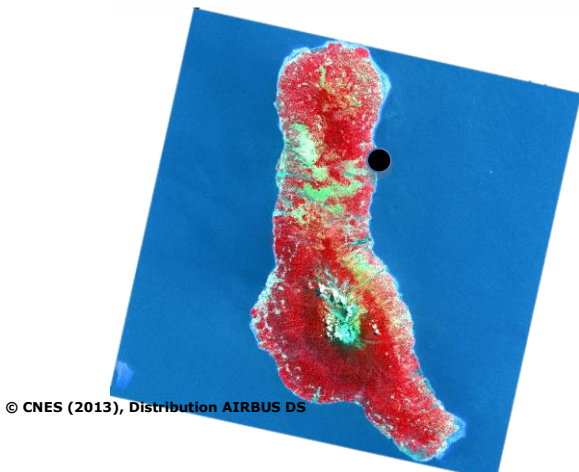


Figure 3: Observation d'un exemple cas de site Séléani

Figure 2 : image en composition colorée bande1, bande2, bande3 et bande 4 (fausse couleur)

Une approche de calcul des bandes, entre la bande3 et la bande4, est réalisée pour faire apparaître ces zones humides plus particulièrement les zones marécageuses.

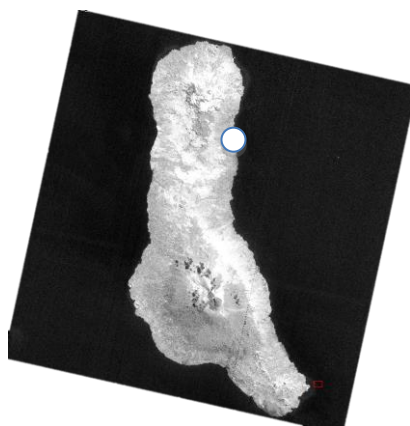
$$F = \frac{\text{bande4} - \text{bande3}}{\text{bande4} + \text{bande3}}$$

La méthode de transect radial appliquée à la limite supérieure des marées, combinée à la méthode de plateau de Braun Blanquet à l'intérieur des mangroves ont permis d'élaborer un catena topographique de tous les sites.

L'application de la méthode d'étude du taux de régénération naturelle des espèces selon la formule de Roth (1964) : $TR (\%) = Nr / Ns \times 100$ (Nr : Nombre d'individus de régénéré ; Ns : Nombre d'individus semenciers; TR : Taux de régénération) est utilisée pour avoir la vulnérabilité des mangroves face aux changements globaux et pour évaluer l'état de conservation des palétuviers.

3- RESULTATS ET DISCUSSION

Le résultat est un néo canal (figure 4 et 5) ayant des valeurs comprises entre -1 et 1. Les zones humides ont une faible valeur. Une couleur en niveau de gris foncée obtenue après utilisation des logiciels ENVI 4.5 et Qgis. La confirmation sur le terrain a déterminé 23 localité hébergeant des mangroves et non les cinq décrites sur (PNUE 2002) dont. Et en fin la naissance d'une nouvelle mangrove.



© CNES (2013), Distribution AIR D5

Figure 4 : Résultat de l'image satellite de l'île traité à partir de la formule

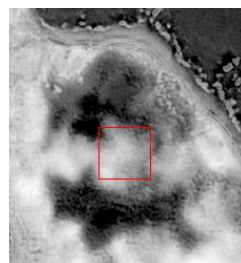


Figure 5 : observation d'un résultat cas de Séléani

La structure horizontale de la mangrove obtenue (figure 6) montre 5 sur 9 espèces de palétuviers qui sont généralement immergées et les 4 sur 9 espèces sont généralement émergées.

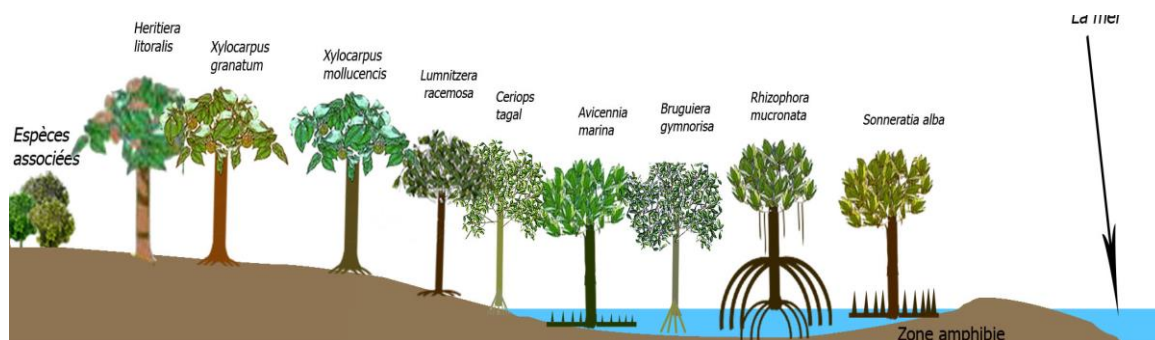


Figure 6 : Catena topographique des mangroves de l'île de Ngazidja à marée basse

On observe des cas de mangroves incomplètes en dégradation détruites par l'extraction du sable et la force des vagues sur la figure 7 à la figure 10.

1ere stade de regression et de degradation observée

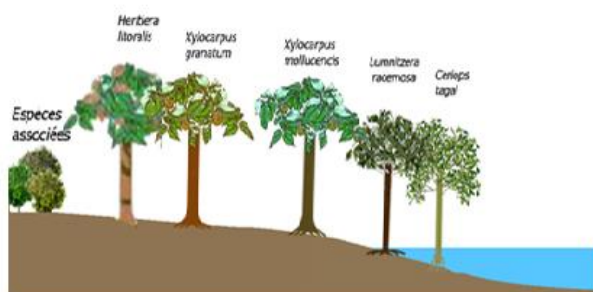


Figure 7 : Reste des palétuviers de la Mangrove littorale de Sima Boini

2eme stade de regression et de degradation observée

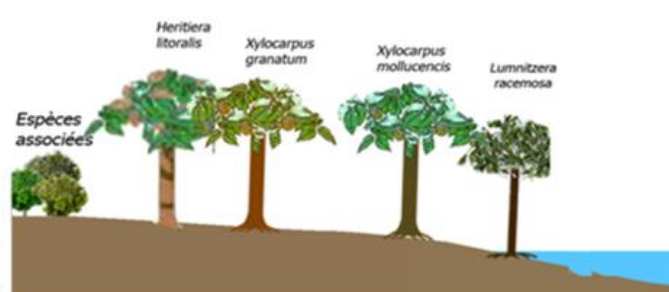


Figure 8: Reste des paletuviers de la mangrove lagunaire de Domoni amboini

Ces deux espèces *Lumnitzera racemosa* et *Ceriops tagal* ont pris une autre couleur à l'exposition directe du soleil.

3 ème stade de degradation et de regression

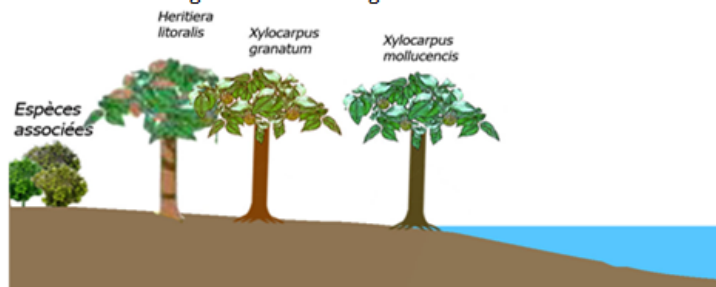


Figure 9: reste d'une mangrove à Foubmouni

4 eme stade de dégradation



Figure 10: reste d'une mangrove à Moidzaza boini

L'espèce *Xylocarpus mollucensis* sur ce site a développé des racines contrefort aplaties pour s'adapter au contact de l'eau de mer.

Les pressions d'origines anthropiques et climatiques sont observées lorsque la ligne de côte s'est déplacée de 85m de son origine avec une profondeur initiale de 4 mètres en 1985 vers 6 mètres en 2016. Donc, on enregistre une élévation de 2 mètres du niveau de la mer après lecture des données topographiques au sud de l'île. L'algue flottante du genre *Sargassum fluitans* est accrochée à 2 mètres sur des espèces littorales prises au piège par la montée du niveau de la mer cas de *Pemphis acidula* qui est observée dans l'océan à marée haute sur des rochers à 72 m de la ligne de côte.

Le palétuvier *Bruguiera gymnorhiza* a un taux de régénération naturel de 79,17% elle est donc l'espèce immergée la plus résistante aux différentes pressions d'origine climatique et anthropique.

DISCUSSION

Par rapport à la méthodologie ; seule la combinaison de l'étude écologique sur terrain, combinée à la télédétection a pu rassembler et faire apparaître ces vestiges de mangrove. En effet aucune des 2 méthodes réalisées séparément n'a pu donner autant de résultats. Cas de la dernière étude de terrain qui n'a révélé que 7 localités (K. Hassane 2011). Ce n'est que la combinaison des deux méthodes terrain et image satellite qui a permis d'identifier les 23 localités en 2016.

Par rapport aux résultats, certaines parties des mangroves telles que les tannes localisés généralement en arrière mangrove littorale (Lebigre 1997) ainsi que les lagunes localisées au centre d'une mangrove lagunaires (Andriamalala 2007) font défaut sur l'île de Ngazidja. En effet l'absence est tout simplement dû part les passages récents de coulée de lave. La naissance de la nouvelle mangrove ne peut être expliquée que par l'extraction du sable qui a engendré une érosion anthropique en augmentant la profondeur du substrat puis la conquête de ce dernier par la mer. Par contre sur le reste de l'île dans des sites tel que Itsoundzou au Sud et Bangoikouni au Nord où il n'y a que des falaises, la montée du niveau de la mer est aussi enregistrée. Il reste à savoir si la raison vient de l'érosion ou d'une augmentation globale dans la zone du part les changements climatiques.

CONCLUSION

Malgré la présence de ces 23 localités hébergeant des vestiges de mangroves sur la zone supra littorale de l'île de Ngazidja, la montée du niveau de la mer de 2 mètres a entraîné la disparition de 2 mangroves littorales et le déplacement importante de 3 sites dont les dates du début du processus ne sont pas encore élucidées. Leur rôle de barrière écologique de protection des côtes contre l'érosion et l'atténuation de la force des vagues n'est donc pas suffisant pour protéger le littoral dans les Petits États Insulaires en Développement (PEID).

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Andriamalala, Clarah Arison Julie. 2007. « Etude écologique pour la gestion des mangroves à Madagascar: comparaison d'une mangrove littorale et d'estuaire à l'aide de la télédétection ». PhD Thesis, University_of_Basel.
- Kamaria, Hassane. 2011. « Caractérisation écologique des mangroves et essai d'évaluation du piégeage de carbone par les paletuviers: Cas de l'île de Ngazidja ». Memoire DESS. Ile de Ngazidja: Antanarivo.
- Lebigre, Jean-Michel. 1997. « Les marais à mangrove du Sud-Ouest de Madagascar ». *Des palétuviers et des hommes au pays des épines-Milieux et sociétés dans le Sud-Ouest de Madagascar. Collection Iles et Archipe* 23: 135–242.

**GROUNDWATER VULNERABILITY ASSESSMENT USING DRASTIC MODEL,
SENSITIVITY ANALYSIS, AHP, AND GIS
A CASE STUDY OF THE GHARB PLAIN (MOROCCO)**

Hicham AMAR, Hassane RAHALI
Scientific Institute, University Med V
B.P.703, Rabat, Morocco. *hicham.amar88@gmail.com*

ABSTRACT: Groundwater contamination has become a serious problem in the world, and particularly in arid and semi arid area. This water is threatened by the contamination of different kinds of pollutants (biological, physical or chemical). So the protection of that source has become an obligation to the global policy by making the best decision to resolve this issue.

In this study, a DRASTIC (D) and also Pesticide DRASTIC (PD) approaches have been performed within Geographic Information System (GIS) to evaluate the groundwater vulnerability in the Gharb Plain (Morocco). In addition, sensitivity analysis (SA) was applied to highlight the importance of model parameters for the aquifer vulnerability assessment. The result of the SA was used with the analytic Hierarchy process AHP to optimize the weight of the sensitive parameters by revising their weights. Finally, nitrates concentrations are used to evaluate the performance of the D and PD in the first step; and between AHP-D and AHP-PD in the second part with the AUC curve (Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (AUCROC)). It turned out that the highly vulnerable areas are located in the flat terrain and in the coastal areas where agricultural activities are practiced. The evaluation of the performance of the fourth models with the application of the AUC curve (Specificity Vs sensitivity) demonstrates that the PD and the AHP-PD method are efficient than D and the AHP-D. The optimization of intrinsic methods (AHP and AS) did not improve their performance, since they were unable to obtain better correlations with nitrates than conventional methods.

Keyword: Aquifer vulnerability; DRASTIC; GIS; AHP; AUCROC; Sensitivity Analysis; Gharb; Morocco

**EVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ DES EAUX SOUTERRAINES VIA LE
MODÈLE DRASTIC EN UTILISANT L'ANALYSE DE LA SENSIBILITÉ, AHP ET
SIG: CAS DE LA PLAINE DU GHARB (MAROC)**

RÉSUMÉ : La contamination des eaux souterraines est devenue un problème sérieux dans le monde entier et particulièrement dans les zones arides et semi arides. Ces eaux sont menacées par la contamination issue de différents polluants biologiques, chimiques et physiques. La protection et la préservation de cette ressource précieuse, est devenue une nécessité à la fois sociale et politique afin de limiter son épuisement et sa contamination.

Dans cette étude, Les méthodes intrinsèques DRASTIC (D) et DRASTIC Pesticide (PD) ont été implémentées dans la structure principale d'un Système d'Information Géographique (SIG), afin d'évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines dans la plaine du Gharb. En outre, une analyse de la sensibilité (AS) a été appliquée pour mettre en évidence les paramètres les plus influençant dans les modèles en question. Les résultats de cette analyse ont été ensuite utilisés dans l'analyse multicritère (AHP: Analytic Hierarchy Process) pour l'optimisation des modèles D et DP par la révision des poids de leurs paramètres sensibles. Enfin, les concentrations en nitrates ont été utilisées pour évaluer la performance des modèles D et PD, ainsi que les modèles AHP D et AHP PD via les courbes AUCROC (Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (AUCROC)). Il s'est avéré que les zones les plus vulnérables sont celles localisées au niveau des terrains plats et dans la zone côtière où l'activité agricole

est abondante. L'évaluation de la performance des quatre modèles via les courbes AUCROC (Spécificité Vs sensibilité), a montré que les modèles PD et AHP-PD sont plus performants que les modèles D et AHP-D. L'optimisation des méthodes intrinsèques par (AHP et AS) n'a pas amélioré leurs performances puisqu'ils étaient incapables d'obtenir de meilleures corrélations avec les nitrates que les méthodes classiques.

Mots clés : Vulnérabilité; DRASTIC; SIG; AHP; AUCROC; Nitrates ; analyse de la sensibilité; Gharb; Maroc

INTRODUCTION

Groundwater is susceptible to contamination due to natural and anthropogenic sources. This phenomenon becomes a serious issue, specifically in area where fertilizers are extensively used on plantations (Neshat & al., 2014). The Gharb plain is covered with agricultural lands, and application of pesticides is a common practice. This places the Gharb plain in serious problem because the water table is relatively low.

The DRASTIC model is used to evaluate the aquifer vulnerability and to determinate the degree of pollution. The objective of this work consists in with the application of the DRASTIC method (D) and Pesticide DRASTIC model (PD) with updated data. Sensitivity analysis will provide insight on the most sensitive parameters to the vulnerability of the aquifer. The AHP method will be used to reduce the subjectivity of the expert judgment by varying all sensitive parameters (optimization) obtained from the sensitivity analysis. Finally, performance of D, PD, AHP-D and AHP-PD models is evaluated using AUC ROC curve.

1. Study area

The Gharb plain is located in the northwestern of Morocco, with an approximate areal extent of 3653 km² (Figure1). The Gharb Plain is located between the Rif's cordillera in the north of Morocco, the Hercynian Meseta in the south and the Atlantic Ocean in the west (Ben Kabbour & Zouhri., 2005). The Gharb plain benefits from a privileged geographical situation, very fertile soils, and relevant water resources (Caboï et al., 2007).

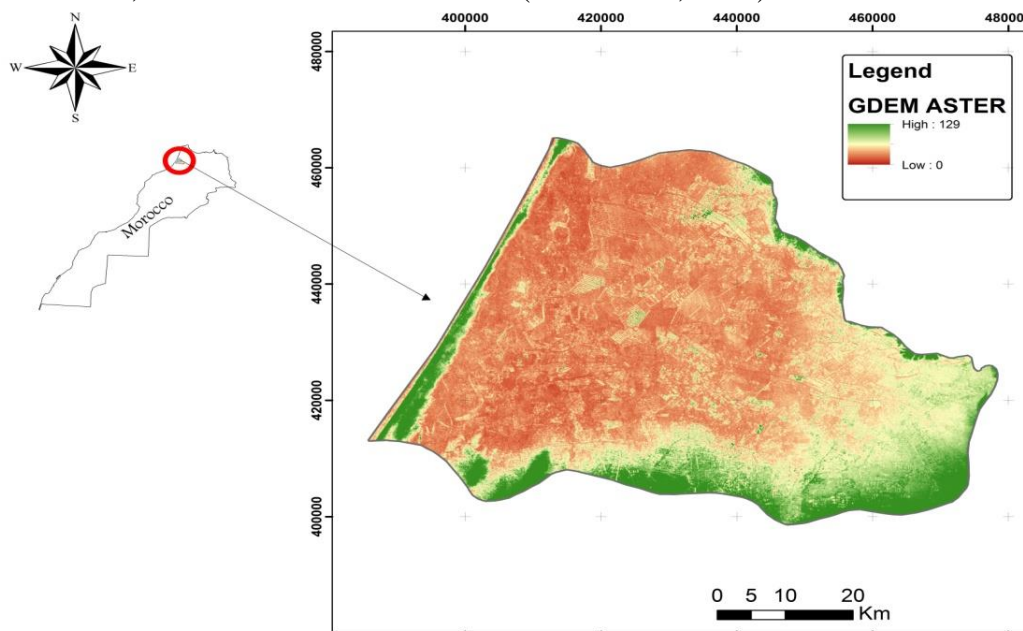


Figure 1. Location of the study area (Gharb Plain)

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Data and Aquifer vulnerability assessment with DRASTIC and Pesticides methods

The DRASTIC method was developed by U.S Environmental Protection Agency (EPA) for the purpose of protecting the groundwater resources (Aller et al., 1987). The DRASTIC hydrogeological vulnerability ranking methods uses a set of seven parameters to classify the vulnerability or pollution potential of an aquifer (Fabomezantsoa et al., 2010).

D model identifies vulnerable zones based on seven unique features of an area. PD model also uses the same parameters but the relative weights that range from 1 to 5, differ from D model (Brindha et al 2015). PD model is used for areas with strong agricultural activity to give more importance to the usage of herbicides and pesticides (Napolitano and Fabbri, 1996).

The vulnerability map is based on DRASTIC index which is computed as the weighted sum overlay of the seven layers using equation:

$$DI = DwDr + RwRr + AwAr + SwSr + TwTr + IwIr + CwCr (1)$$

Where D (water depth), R (recharge), A (aquifer), S (soil texture), T (topography), I (lithology of vadose zone) and C (conductivity) are the seven parameters; r is the ranking value, and w is the weight associated with each parameters.

2.2. Sensitivity analysis

To test the sensitivity of the various parameters, two methods were performed: map removal and single parameter.

The map removal was introduced by Lidwick et al (1990), and it was used to identify the sensitivity of the suitability map by removing one or more parameters. The single parameter sensitivity measure was developed to evaluate the impact of each of the DRASTIC and PD parameters on the vulnerability index using the formula (Napolitano and Fabbri, 1996).

2.3. AHP method

The AHP is a mathematical method considered in decision making (Satty, 1980). As a multi criteria decision making method, the AHP has been applied for solving a wide variety of problems that involve complex criteria across different levels, where the interaction among criteria is common (Nekhay et al., 2008). The weights were revised by using AHP to optimize the DRASTIC and the Pesticide DRASTIC methods.

The Consistency Ratio CR is an indicator of the degree of consistency and inconsistency (Feizizadeh and Balasck., 2013). A CR on the order of 0.10 or less is a reasonable level of consistency (Saaty., 1977; Park et al., 2011). Otherwise, if $CR \geq 0.10$ then the pairwise comparisons are lacking consistency and the matrix needs to be adjusted and the elements values should be modified (Feizizadeh and Balasck., 2013).

2.4. Performance of the methods D and PD with Nitrates measurements

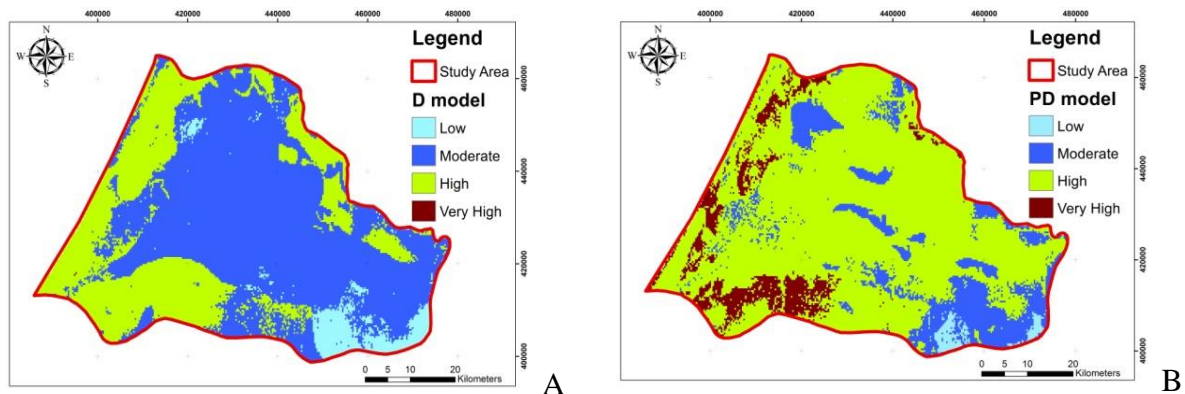
A total of 34 wells were chosen for the analysis and sampling on 2013. Nitrate concentrations are used in this work to evaluate the performance of the D and PD, AHP-D and AHP-PD models with the application of the AUC ROC curve according to Moroccan norms (50mg/l). The AUC defines the quality of a model by describing its ability to predict the

occurrence or non occurrence of an event (Remondo et al, 2003). An ideal model presents an AUC value close to 1(Fawcett, 2006).

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. Groundwater vulnerability by D and PD models

All the seven hydrogeological GIS layers have been used to generate the final vulnerability map using two methods D, PD (Figure 2).



**Figure 2: vulnerability indexes maps (D and DP),
A : DRASTIC index , B : Pesticide DRASTIC index**

The DRASTIC aquifer vulnerability maps clearly shows the localization of “High” and “Very High” vulnerability classes in the western and southern part of Gharb plain while the extreme south east part is characterized by “Low” vulnerability. The “Low” vulnerability is due to combination of vadose zone with the present of the clay. In contrary, zones with High and Very High vulnerability are marked by silt and gravel.

The very high vulnerability within PD model is located in the western and southern part of Gharb plain. The high vulnerability in the center of the study area is due certainly to the abundance of the agricultural activities. The coastal zone is characterized by the predominance of sandy soil and high degree of recharge.

3.2.Sensitivity analysis of the D and PD methods

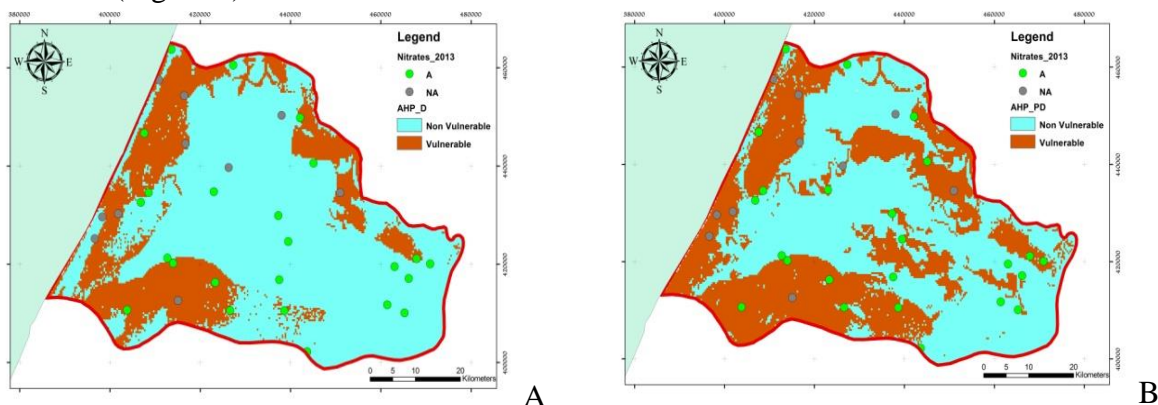
The map removal and single parameter sensitivity analyses pointed out that depth to groundwater level (D) is the layer that compels the most of variation of the vulnerability index estimated by D and PD. This could mainly be due to heavy weighting factor. This reflects the importance of the depth to water, aquifer media and topography layers in the models used and need to get accurate, detailed and representative information about these factors.

3.3.AHP methods applied to D and PD

The importance of each DRASTIC parameter relevant to other parameters was determined by using the AHP method. A Pairwise comparison matrix is calculated here to determine priority weights for this study.

The optimized weight using the sensitive parameters according to the SA shows that the depth to water together with vadose zone exceeds the theoretical weight imposed by DRASTIC model and depth to water with the soil media for Pesticide DRASTIC. Their optimized weights are (29.8%, 24.9%) for D model and (25.2%, 22.8%) for PD model. While

the optimized weights of the others parameters are less than the theoretical weight. The Vulnerable area occupies an area of about 28% while the Non Vulnerable zone according to the DRASTIC model covers an area of 72%. The AHP applied to Pesticide DRATIC model gives 43% of the study area surface classified as Non Vulnerable and the remaining 57% as vulnerable (Figure 3).



**Figure 3: Binary maps of the vulnerability indexes (D and DP)
A : Binary AHP DRASTIC, B : Binary AHP Pesticide DRASTIC**

3.4. Model performance assessment

Using 50mg/l as threshold for nitrates concentrations to differentiate between “A: acceptable” and “NA: non acceptable” samples for contingency table for AUCROC analysis (Figure 3, Figure 4).

AUC values for the four models were 0.75 for D, 0.78 for PD model, 0.69 for AHP-D model and 0.77 for AHP-PD model (Figure 4).

The evaluation of the performance of the four models with the application of the AUC ROC curve (Specificity Vs sensitivity) demonstrates that the PD and the AHP-PD method are efficient than D and the AHP-D.

The optimization of intrinsic methods (AHP and AS) did not improve their performance, since they were unable to obtain better correlations with nitrates than conventional methods.

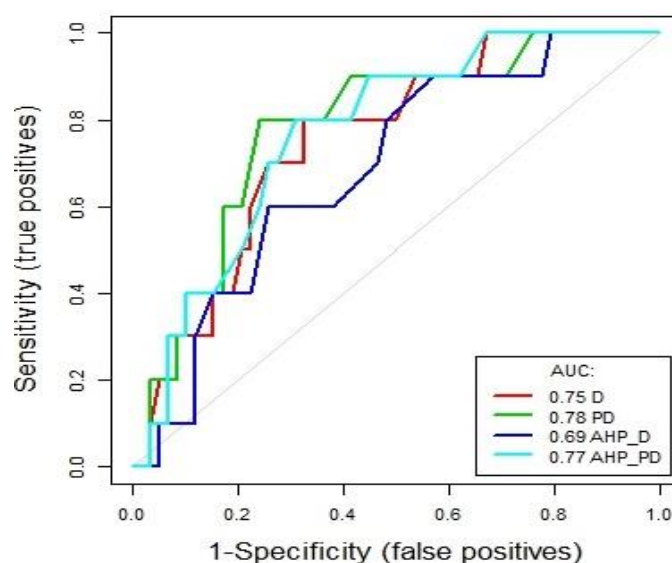


Figure 4: Model evaluation using AUCROC.

CONCLUSION

The objective of this research is to evaluate the potential vulnerability of groundwater in the Gharb plain using the D, PD model, the sensitivity analysis and AHP method applied in a GIS environment.

This study employed the D, PD, AHP-D and AHP-PD models. The very highly and highly vulnerable areas are located in the flat terrain and in the coastal area where agricultural activities are practiced. Sensitivity analysis demonstrated that all the seven parameters to compute the D and the PD model are essentials in determining the vulnerability index. The single parameter sensitivity analysis has shown that water depth, aquifer media and topography are the most significant environmental factors which dictate the high vulnerability of the Gharb Aquifer. This highlights the importance of obtaining accurate, detailed and representative information about these factors. AHP method is combined with GIS to come up with a tool for evaluating the vulnerability of the groundwater in the Gharb plain by the optimization of the sensitive parameters. The optimized weight of water depth together with vadose zone exceeds the theoretical weight imposed by DRASTIC model and depth to water with the soil Media for Pesticide DRASTIC. The evaluation of the performance of the four models using nitrates concentration with the application of the AUC ROC curve (Specificity vs. sensitivity) demonstrates that the PD and the AHP-PD method are more efficient than D and the AHP-D.

References

- ALLER, L. BENNET T, LEHR JH, PETTY RJ, HACKET G, (1985). ‘‘DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution using hydrological settings’’. Prepared by the National water Well Association for the US EPA Office of Research and Development.
- NAPOLITANO, P, (1995). ‘‘GIS for aquifer vulnerability assessment in the Piana Campana, southern Italy, using the DRASTIC and SINTACS methods’’. M.Sc. thesis, ITC, Enschede, The Netherlands, unpublished.
- SAATY TL. ‘‘The analytic hierarchy process. New York, NY, USA: McGraw-Hill’’; 1980.
- US EPA, (1985). ‘‘DRASTIC: A standard system for evaluating groundwater potential using hydrogeological settings’’. Ada, Oklahoma WA/EPA Series; 1985, p. 163.
- ZAPOROZEC, A., (ED.), (2002) ‘‘Groundwater contamination inventory: A methodological guide. In: International Hydrological Programme-V project 3.1’’, Series on Groundwater No. 2, UNESCO, Paris, France,. 160 pp.
- ZOUHRI L. ET CARLIER E., (2002). ‘‘Caractérisation hydrochimique d’une Nappe côtière, Maroc,’’(2002).

ÉVALUATION DE LA PERTINENCE D'UN MODELE D'EVOLUTION DU PAYSAGE A EVALUER L'HYDRAULIQUE DES INONDATIONS.

CAS D'ETUDE : LA VALLEE DE BOUREGREG

Bouchra ZELLOU; Pr. Hassan RAHALI

Institut Scientifique de Rabat, Laboratoire LIMIARF-osst
B.P.703, Rabat, Maroc. bouchra.zellou@gmail.com

RESUME : La modélisation est une tâche très importante pour la prise de décision dans le domaine de la gestion des risques d'inondation. Il y a donc un besoin urgent et pressant pour des outils prédictifs fiables afin d'identifier avec précision les zones les plus vulnérables. La plupart des études réalisées dans ce contexte, utilisent des modèles hydrauliques déterministes 1-D qui offrent des estimations d'extension des crues et des profondeurs avec une précision satisfaisante dans un temps réduit. Cependant, ces modèles ne prennent en considération qu'une fraction relativement petite des processus actifs en décrivant le chenal principal (lit mineur) de la rivière et sa plaine inondable comme une série de sections transversales, tandis que les solutions complètes 2 et 3 dimensions sont difficiles à construire dans des domaines complexes et prennent énormément de temps pour s'exécuter. L'objectif du présent travail est d'étudier le comportement de deux modèles hydrauliques; avec des cadres conceptuels différents, lorsqu'ils sont appliqués dans un cas de scénario réel; qui est celui de la vallée de l'oued Bouregreg avec son estuaire subissant l'influence des marées. Nous avons opté pour le modèle 2-D CAESAR (*Cellular Automaton Evolutionary Slope and River*) qui est à l'origine un LEM (*Landscape Evolution Model*) ayant subi récemment une véritable évolution en intégrant l'algorithme de routage de flux hydrodynamique (LISFLOOD 2D-FP). L'utilisation de CAESAR cherche à quantifier la ou les réponse(s) géomorphologiques et hydrologiques à une tempête extrême à l'échelle de la section comprise entre la Barrage (SMBA) en amont et l'estuaire en aval. Comme première étape, cette recherche a étudié le fonctionnement, et a évalué les capacités et les limites du modèle CAESAR en mode « écoulement » seulement dans la cartographie et le suivi en temps réel d'une inondation. Ensuite on a procédé à la comparaison de ses résultats avec ceux du modèle hydraulique unidimensionnel (1-D) le plus éprouvé; HEC-RAS (*Engineering Center River Analysis System*). Les résultats de ces deux approches s'accordent bien et montrent une forte cohérence dans l'estimation de l'étendue et la magnitude des inondations entre les deux modèles. Mais avec tout de même, quelques différences non négligeables à noter; ceux-ci peuvent être facilement expliqués en raison des différences inévitables dans les concepts et la mise en œuvre.

Mots clés : inondation, risque, gestion, modélisation, déterministe, unidimensionnel, bidimensionnel, LEM.

ABSTRACT: Flood hazard modeling is an important task for decision making in the flood management aiming at preventing human and material losses. There is therefore a pressing need for reliable predictive tools in order to identify flood-prone areas. Most studies in this context use 1-D deterministic hydraulic models, which provide estimates of the flood extent and depth with satisfactory accuracy at reduced time. These models however, capture only a

relatively small fraction of the active processes by describing a river channel and floodplain as a series of cross sections, while full 2 and 3D-dimensional solutions are difficult to construct in complex domains and are very time consuming. This paper investigates the behavior of two hydraulic models, with different theoretical frameworks, in real case scenario. The area is an urban reach of the river Bouregreg (Morocco). We opted to use the 2-D model CAESAR (Cellular Automaton Evolutionary Slope and River) which is originally a Landscape Evolution Model (LEM) that has recently undergone a real evolution by integrating hydrodynamic flow routing algorithm (Lisflood 2-D-FP). The use of CAESAR-Lisflood (CL) seeks to quantify reach-scale geomorphic and hydrologic responses to an extreme storm. In the present work, the geomorphic component (erosion and deposition) of (CL) is not explored, only the functioning and capabilities of the integrated CAESAR's flow model in flood mapping are investigated, and benchmarked against the one-dimensional (1-D) hydraulic model HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System). The results from both approaches agree well and show a relative good consistency in estimating flood extent and magnitude. Some differences occur, but these can easily be explained as a result of unavoidable differences in concepts and implementation.

Keywords: Flood mapping; 1-D&2-D models; main channel and floodplain flows

Introductions

L'approche s'est déroulée en plusieurs étapes dont les principales sont:

L'étude hydrologique pour déterminer le ruissellement suite à un événement pluvieux particulier en procédant d'abord par une modélisation statistique des valeurs extrêmes dans une série pluviométrique de 40ans. Le principal résultat de l'étude hydrologique est l'obtention de l'hydrogramme de crue à différents endroits le long des cours d'eau pour décrire la quantité, la vitesse et le timing des flux de courant qui résultent des chutes de pluies. Ces hydrogrammes deviennent alors une entrée-clé dans le modèle hydraulique pour simuler le mouvement des eaux de crue, le calcul du niveau d'eau et l'extension de l'inondation.

La comparaison statistique et l'analyse des similitudes spatiales entre les résultats obtenus par les deux modèles HEC-RAS et CAESAR.

Principaux résultats obtenus

Trois lois statistiques ont été utilisées pour ajuster les données de précipitations historiques (une série de 40 ans de précipitations maximales annuelles) à savoir la loi GEV, Gumbel et Weibull en utilisant la technique (L -moments) pour l'estimation des paramètres (Hosking,1990) (Figure 1).

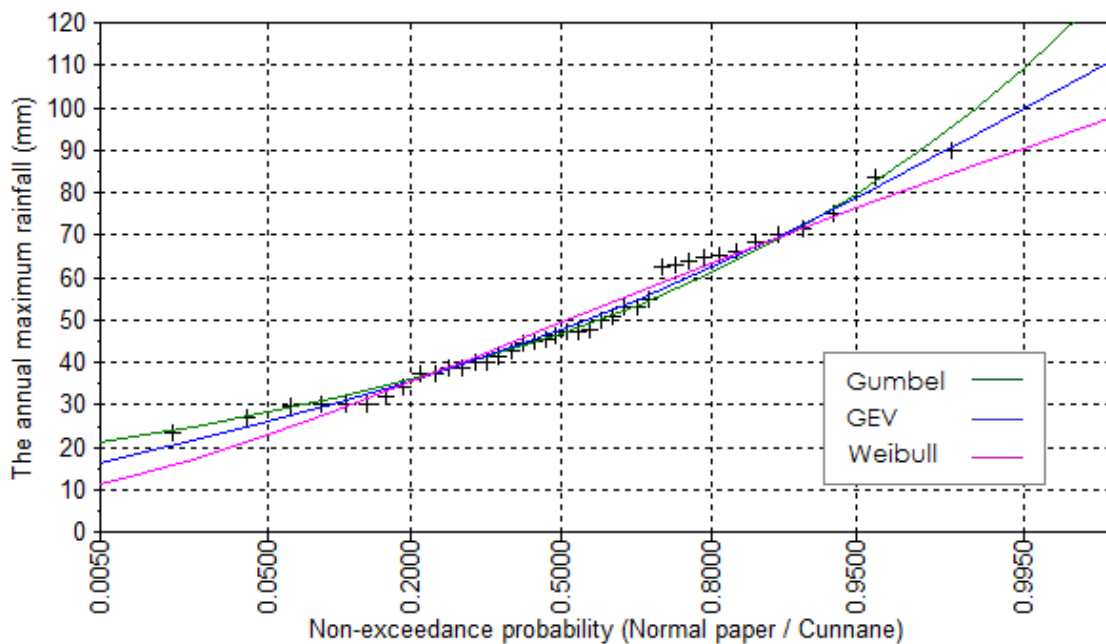


Figure 1: Comparaison entre les lois de distribution Gumbel, Weibull et GEV (La vallée de Bouregreg).

Les tests de Kolmogorov-Smirnov et Chi-carré (Chowdhury et al., 1991; Seckin et al., 2010) ont été effectués pour comparer la qualité de l'ajustement et choisir la distribution la plus appropriée. Cette analyse a permis d'isoler la loi statistique de Gumbel, qui est ensuite appliquée pour obtenir les quantités de précipitations correspondant aux événements climatiques extrêmes sur des périodes de retour de 10, 20, 50 et 100ans. L'analyse a permis également de quantifier les incertitudes liées aux données pluviométriques à l'échelle du bassin à travers la distribution des probabilités et les intervalles de confiance. Pour l'estimation des hydrogrammes de ruissellement complets, des tempêtes de conception synthétique sont nécessaires. Dans cette étude, une procédure visant à évaluer systématiquement les modèles de tempêtes de conception a été suivie. Tout d'abord, des tempêtes ciblées pour différentes périodes de retour, ont été élaborées sur la base des données de précipitations à partir des courbes locales d'intensité-durée-fréquence (IDF) (Demarée, 1985). Ensuite, ces hyétogrammes synthétiques ont été utilisés comme entrée dans le modèle précipitation-ruissellement 'HEC-HMS' pour obtenir les valeurs respectives du ruissellement (débits de pointe). Ainsi, les propriétés de l'écoulement, estimés à partir des tempêtes de conception ont été comparées aux valeurs des tempêtes historiques observées pour évaluer la précision des modèles. Sur la base de cette approche qui s'acquiesce en même temps du processus de calibration hydrologique, la meilleure tempête de conception peut être sélectionnée. Les valeurs du débit de pointe obtenues ainsi que les hyétogrammes synthétiques ont permis de faire les simulations HEC-RAS en mode stationnaire et transitoire. Pour CAESAR on a simulé l'écoulement en mode (reach/section) et en mode

(catchment/bassin versant) en utilisant des données horaires simulées à partir de notre échantillon de précipitations (Figure 2).

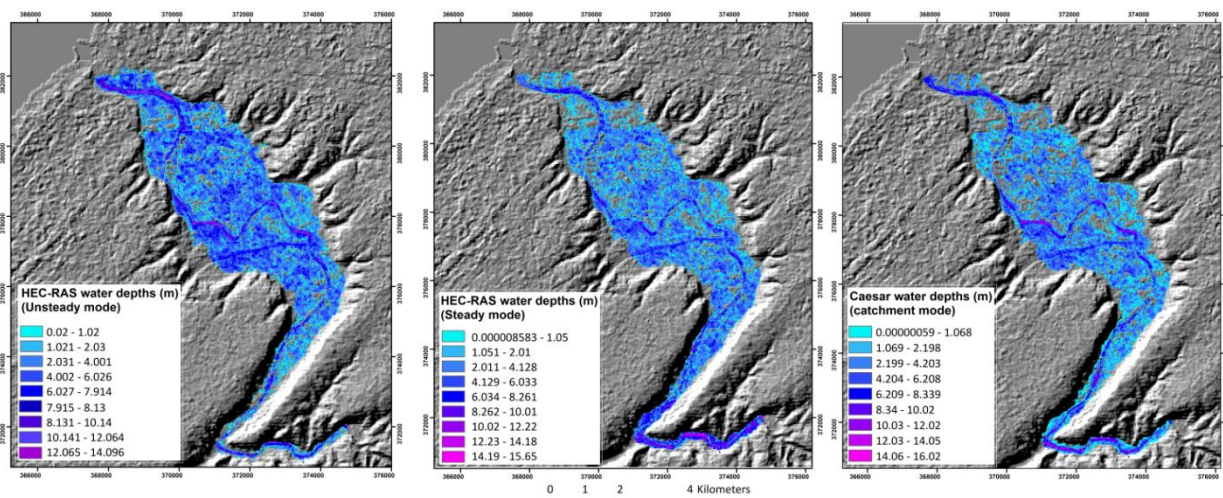


Figure 2: Étendues des zones inondées et profondeurs prédites par CAESAR-LISFLOOD et HEC-RAS (stationnaire /transitoire) dans la vallée de Bouregreg.

Pour comparer les deux modèles (1D&2D), plusieurs échantillons de points ont été prélevés des résultats des simulations d'inondation; en pratiquant l'échantillonnage aléatoire (*random sampling*) et l'échantillonnage conditionnel par hypercube latin (CLHS : *Conditional Latin Hypercube Sampling*). Les échantillons obtenus ont servi à plusieurs analyses statistiques comparatives (ECDF « *Empirical Cumulative Distribution function* », Spearman's Rank Correlation Coefficient, ...).

Toujours dans le même contexte de comparaison et d'évaluation, et en tenant compte de la structure de chaque modèle, nous avons estimé la convergence spatiale entre les résultats des trois modèles (CAESAR versus HEC_RAS en mode stationnaire et CAESAR versus HEC_RAS en mode transitoire). Cette analyse utilise quatre coefficients de similarité comprenant une mesure de la coïncidence spatiale directe (SC), l'appariement simple (SM), Dice-Sorensen (DS) et Jaccard (J). Les similitudes entre CAESAR et HEC_RAS stationnaire/transitoire sont évaluées par le nombre de cas pour lesquels ils ont la même valeur. Ces coefficients représentent différentes façons de pondérer le couple « accord /désaccord » spatial lorsque des cartes de type raster sont comparées pixel par pixel.

Conclusion

A l'issue de cette étude, nous pouvons conclure qu'il y a une forte cohérence dans l'estimation de l'étendue et de l'ampleur des inondations entre les deux modèles, avec quelques différences dans l'estimation des profondeurs à certains endroits. Ces différences peuvent être attribuées à plusieurs raisons. Tout d'abord, il y a la morphologie du chenal qui diffère légèrement entre les deux modèles. En raison de la conversion d'un MNT matriciel vers le TIN (HEC-RAS nécessitant un TIN), le chenal est plus étroit dans les simulations HEC-RAS. Deuxièmement, la montée des eaux au niveau de la plaine d'inondation, se fait à partir d'un nombre limité de points de déversement, en particulier pour les conditions d'écoulement près des berges. En raison de l'espacement transversal, ces points de

déversement pourraient ne pas être récupérés par HECRAS. Enfin, CAESAR applique un routage local en tout point du MNT. Alors qu'HEC-RAS, pratique le routage d'une section transversale à l'autre. Par conséquence, l'inondation prédite peut changer rapidement de schéma d'une section à l'autre.

Mots clés : Inondation, modélisation, déterministe, unidimensionnel, bidimensionnel.

Référence :

- Chowdhury, J. U., J. R. Stedinger, and L. Lu, Goodness-of-fit tests for regional generalized extreme value flood distributions, *Water Resour.Res.*, 27(7), 1765-1776, 1991.
- Demarée, G. (1985) Intensity–duration–frequency relationship of point precipitation at Uccle. Reference period 1934–1983. Koninklijk Meteorologisch Instituut van België, Publications Reeks A, nr. 116.
- Hosking, J.R.M., Wallis, J.R., and Wood, E.F. 1985. Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability-weighted moments. *Technometrics*, 27(3): 251–261. doi:10.1080/00401706.1985.10488049.
- Seckin, N., Yurtal, R., Haktanir, T., and Dogan, A., 2010 “Comparison of probability weighted moments and maximum likelihood methods used in flood frequency analysis for Ceyhan river basin” *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 35, No. 1B, pp. 49-69.

**CARTOGRAPHIE DES RISQUES D'ÉROSION HYDRIQUE PAR
L'APPLICATION DU MODELE "EPM" DE GAVRILOVIC A L'AIDE D'UN
SIG DANS UN BASSIN VERSANT MEDITERRANEEN : OUED BENI
BOUFRAH, RIF CENTRAL**

Aman ALLAH ZAHNOUN, Jamal ALKARKOURI

Université Ibn Toufail, Laboratoire Environnement, Sociétés, Territoires.

14050, Kénitra, Maroc. Zahnoun.amanallah@gmail.com; Alkarkourij@yahoo.fr ;

RESUME:

Le bassin versant de l'Oued Béni Boufrah, situé au nord du Maroc, sur le versant méditerranéen du Rif central, est caractérisé par un bioclimat semi-aride à subhumide et des pluies rares et irrégulières. Cette zone a fait l'objet d'une pression anthropique qui est très ancrée dans l'histoire sous forme d'un système de production agro-sylvo-pastoral très extensif. Ceci a eu comme impact la surexploitation des ressources naturelles en général, notamment, les ressources forestières et pédologiques. Cette dégradation a eu comme corollaire une dynamique érosive assez intense qui est visible par ses différentes formes dont, le décapage aréolaire, le ravinement et les glissements de terrains. Pour évaluer cette dynamique et les pertes en sols qu'elle engendre, nous avons procédé à l'intégration du modèle EPM (Erosion Potentiel Method) de GAVRILOVIC dans un SIG. Le résultat obtenu, montre que le bassin versant perd en moyenne 43,68 t/ha/an (Erosion à la parcelle). L'analyse des résultats de ce modèle a permis, également à l'aide du SIG, de déterminer les facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique et qui sont par ordre d'importance : les précipitations, la protection du sol (végétation), la pente et la résistance du sol. Il importe de signaler que la méthodologie utilisée du modèle EPM ne s'applique qu'à l'érosion aréolaire et n'incluse pas les pertes engendrées par les autres processus d'érosion.

Mots clés : Oued Béni Boufrah, dégradation, sol, modèle EPM, SIG.

**RISK MAPPING OF WATER EROSION BY THE APPLICATION OF THE
GAVRILOVIC "EPM" MODEL USING A GIS IN THE MEDITERRANEAN
WATERSHED: OUED BENI BOUFRAH, CENTRAL RIF**

ABSTRACT:

The watershed of the Oued Beni Boufrah, situated in the north of Morocco, on the Mediterranean side of the central Rif, is characterized by a semi-arid to sub-humid bioclimate and rare and irregular rainfall. This area has been subject to anthropogenic pressure which is steeped in history as a very extensive agro-sylvo-pastoral production system. This has impact exploitation of natural resources in general, including, forest and soil resources. This degradation has had as a well intense erosive dynamic corollary which is visible by its different forms including, the areal etching, the gully and landslides. To evaluate this dynamic and the losses of soil it engenders, we have preceded the integration of the EPM model (Erosion Potential Method) of GAVRILOVIC in a GIS. The obtained result shows that the watershed loses an average of 43,68 t/ha/ year (Erosion in the plot). The results analysis of this model has permitted, also using a GIS, to determine the factors that control the water erosion and which are in order of importance: the precipitations, the soil protection (vegetation), the slope and soil resistance. It should be noted that the used methodology of EPM model applies only to the sheet erosion and not included the losses caused by the other erosion processes.

Keywords: Oued Beni Boufrah, degradation, soil, EPM model, GIS.

INTRODUCTION :

La communauté scientifique est, depuis longtemps, consciente que la dégradation des sols par érosion pose de graves problèmes économiques, sociaux et environnementaux dans plusieurs régions du monde et plus particulièrement dans les régions méditerranéennes. Celles-ci sont caractérisées par une grande fragilité intrinsèque de leurs environnements physiques (prédominance de pentes fortes et des formations lithologiques vulnérables, faible couverture végétale naturelle, pluies irrégulières) et une forte pression anthropique qui se manifeste par de fortes densités démographiques et une intense occupation du sol).

L'érosion hydrique est l'une des causes majeures de la dégradation des sols dans le monde entier, notamment au Maroc, où les chercheurs s'accordent sur le caractère avancée de la dynamique érosive dans plusieurs zones et en particulier au niveau de la chaîne montagneuse du Rif. En effet, cette chaîne, qui occupe le nord du Maroc présente une grande prédisposition à la dynamique de l'érosion hydrique. Elle se caractérise par des versants très raides, un grand compartimentage structural, une lithologie très érodable (prédominance des flyschs marno-calcaires), une ancienne et intense présence humaine et un couvert végétal très réduit). Notre milieu d'étude (le bassin versant de Beni Boufrah) incarne toutes ces caractéristiques.

1. Le milieu d'étude :

Le bassin versant de Béni Boufrah (figure 1), couvre une superficie de 162 km² avec un périmètre de 67,48 Km. Localisé géographiquement dans la grande région du Rif central entre 4° 18' et 4° 26' de longitude Ouest et 35° 06' et 36° 93' de latitude nord. Du point de vue administratif, le bassin versant coïncide à peu près avec l'aire de la commune rurale de Béni Boufrah à 57 km à l'Ouest de la ville d'Al Hoceima.

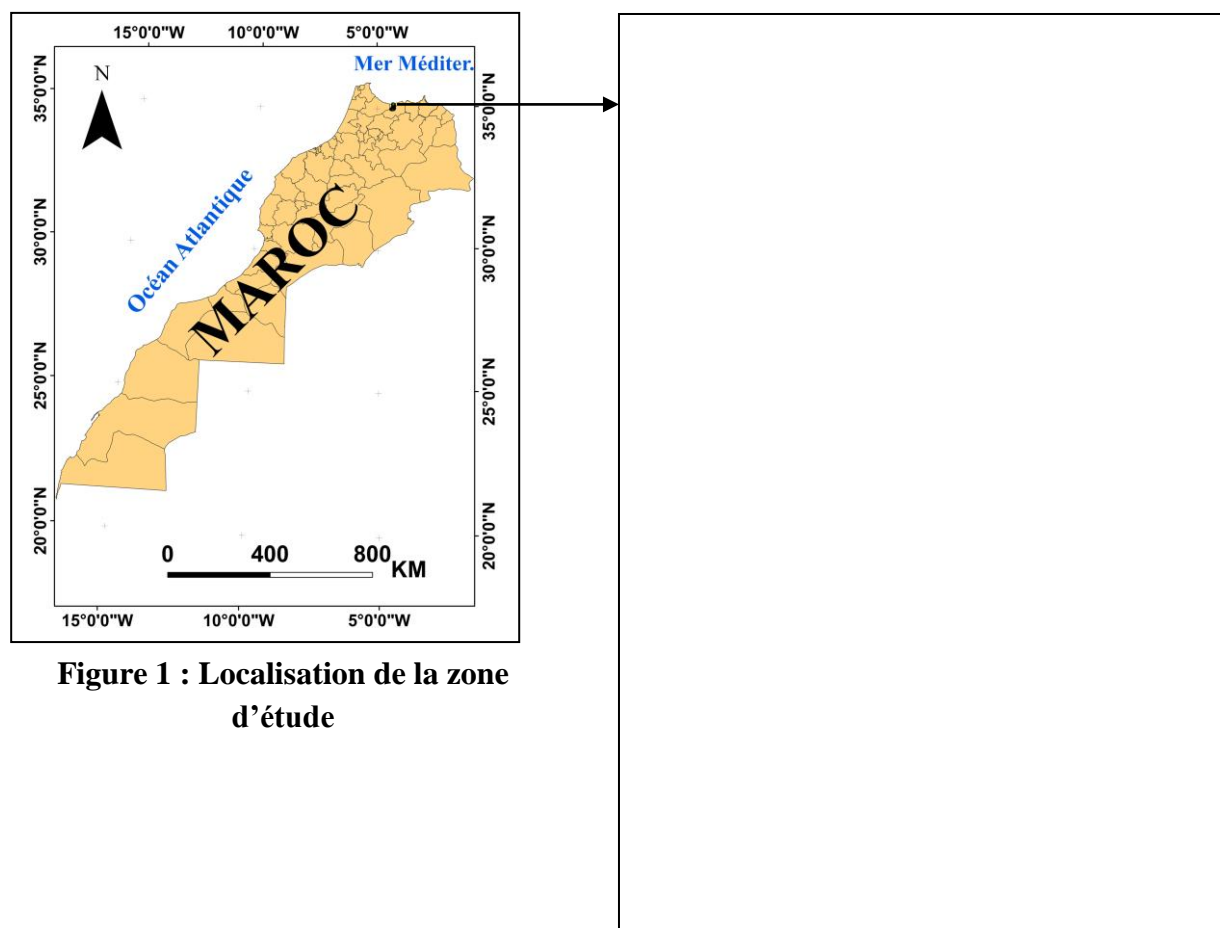


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Le bassin versant de Béni Boufrah connaît à l'instar des autres zones du Rif une érosion assez intense qui pose de grands problèmes socio-économiques pour les décideurs. Les études classiques de la dynamique érosive demande de gros investissements en temps et en travail pour caractériser le problème. Dans cet essai, notre objectif est de produire une étude en moins de temps et de meilleurs résultats à l'aide de la modélisation et de l'utilisation du SIG. En effet actuellement plusieurs modèles d'érosion existent et permettent une meilleure appréhension du phénomène érosif, pour notre part nous avons choisi d'appliquer le modèle empirique EPM¹ de GAVRILOVIC, pour sa pertinence.

2. MATERIEL ET METHODES

Notre approche consiste à intégrer les différents paramètres qui rentrent en ligne dans le phénomène de l'érosion hydrique et qui sont nécessaire au fonctionnement du modèle EPM dans le Système d'Information Géographique (SIG). Ce couplage permet, d'une manière rapide et efficace, de démêler la complexité et l'interdépendance des facteurs responsable de l'érosion. Le modèle EPM est une équation multiplicative de cinq facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique : les pentes, les précipitations, les températures, la régularisation des sols et résistance du sol :

$$\text{EPM} = 3,14 * T * H * \sqrt{Z}^3$$

Où EPM : érosion spécifique dans le bassin versant (t/ha/an).

T : coefficient de température.

$$T = (0,1 * t_0) + 0,1$$

Avec : t_0 : température moyenne annuelle en °C.

H : précipitation annuelle en (mm).

Z : coefficient d'érosion.

Avec :

$$Z = y * X_a * (\delta + \sqrt{J_a})$$

Où y : valeur du coefficient de la résistance du sol dû à l'érosion. Il dépend de la roche mère, le type du sol et du climat varie entre 0,05 et 1.

X_a : Coefficient de régularisation du bassin versant, se rapportant à la protection des sols, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles.

δ : Coefficient qui exprime le type et degré des processus visibles d'érosion dans le bassin.

J_a : Indice de pente moyenne du bassin versant.

3. RESULTATS ET DISCUSSION :

3.1. Coefficient d'érosion potentielle (Z) :

La superposition des cartes selon la formule ($y * X_a * (\delta + \sqrt{J_a})$), a permis d'obtenir la carte d'érosion potentielle (Z) (Figure 2). Celle-ci exprime l'intensité ou le degré de l'érosion sur

¹ Erosion Potential Method

une échelle de 0 à 2. Le tableau1, qui classe les résultats, montre que le degré d'érosion supérieur à 0.71 concerne 43,2 % de la superficie totale du bassin versant. La classe d'intensité faible à très faible (Z compris entre 0.01 et 0.4) concerne une superficie de l'ordre de 40.7 % du bassin versant Béni Boufrah. 16,1 % de la superficie totale du bassin versant est classée comme terrain où l'intensité de l'érosion est modérée.

Tableau 1 : Coefficient d'érosion potentielle dans la vallée Béni Boufrah

Coefficient d'érosion potentielle	Degrés d'érosion (Z)	Superficie en (km ²)	Superficie
Très élevée	1,01 – 1,51	50,6	31,28%
Elevée	0,71 – 1	19,2	11,86%
Modérée	0,41 – 0,70	26,12	16,13%
Faible	0,20 – 0,40	37,73	23,32%
Très faible	0,01 – 0,19	28,17	17,40%

Source : Gavrilovic Z. & al., 2006

3.2. Estimation des pertes en sol selon le modèle EPM de Gavrilovic :

La multiplication des différentes couches thématiques des facteurs de l'équation de l'EPM a permis de produire la carte d'érosion hydrique (Figure 3). Cette carte montre une nette variabilité spatiale des risques d'érosion hydrique au sein de la zone d'étude. Cependant la moitié Sud du bassin versant semble la plus affectée par la dynamique érosive. C'est la zone la plus élevée et ses versants sont caractérisés par de fortes pentes. D'autre part le secteur est dépourvue de végétation ce qui permet à l'érosion de se développer.

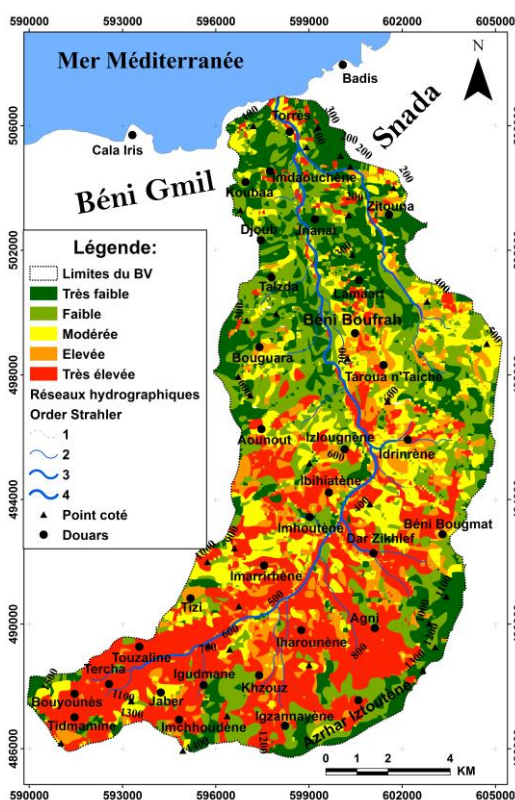


Figure 2 : Carte d'érosion potentielle en sol selon le modèle EPM

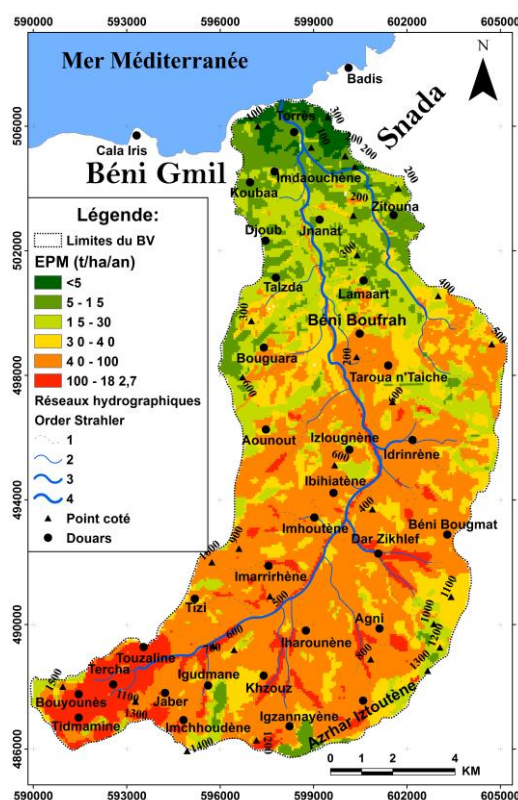


Figure 3 : Carte de la distribution des pertes en sol selon le modèle EPM

La moyenne des pertes en terres dans tout le bassin versant est de 43,68 t/ha/an. Les pertes maximales et minimales sont respectivement de 182,7 t/ha/an et de 0,81 t/ha/an. Le taux d'érosion diffère donc d'une zone à l'autre du bassin versant selon l'influence des différents facteurs physiques et anthropiques qui contrôlent la dynamique érosive.

Le tableau 2 montre que les pertes en terres supérieures ou égales à 40 t/ha/an proviennent de 68,11 % de la superficie du bassin versant. Ceci dénote la forte propagation du phénomène. La classe d'intensité forte (pertes en sols comprise entre 30 et 40 t/ha/an) vient en deuxième position en termes de superficie et concerne 12,9 % de la surface totale du bassin versant de Béni Boufrah. 19 % de la superficie totale de la zone étudiée engendrent des pertes inférieures ou égales à 30 t/ha/an.

Tableau 2 : Pertes en sols dans le bassin versant Béni Boufrah

Classes (t/ha/an)	Intensité	Superficie (km ²)	superficie(%)
< 5	Très faible	6,64	4,1
5 – 15	Faible	9,56	5,9
15 – 30	Moyenne	14,58	9
30 – 40	forte	20,88	12,89
> 40	Très forte	110,33	68,11

3.3. L'influence des facteurs d'érosion sur les pertes en sol :

La distribution inégale des pertes en sol dans le bassin versant résulte de la grande variabilité des effets de chaque facteur d'érosion. La mise en relation statistique entre les différents facteurs et la dynamique érosive fait ressortir des tendances assez significatives. D'abord, il importe de remarquer la forte corrélation entre la carte de l'érosion potentielle et la carte EPM et qui est de 0.85. Le facteur le plus influent en ce qui concerne l'érosion potentielle est la régularisation du sol (avec un coefficient de corrélation modeste qui est de 0.55). Dans le cas de la carte d'érosion, les précipitations sont les plus décisives dans la dynamique érosive avec un coefficient de corrélation de l'ordre de 0.73, elles sont suivies par le facteur régularisation du sol et ensuite la pente et la résistance du sol.

Le degré d'érosion visible se corrèle plutôt avec le facteur régularisation du sol. Le facteur précipitation semble mieux corrélé avec la résistance du sol, la régularisation du sol et la température. La pente ne semble être influencée par aucun des autres facteurs. Egalement la température ne semble pas se corrélérer avec les facteurs de l'érosion.

Tableau 3 : des corrélations de Pearson et les résultats des pertes en sol :

	EPM	Z	O	H	Ja	T	Xa	Y
EPM	1	0,853	0,385	0,733	0,46	0,247	0,546	0,373
Erosion Potentiel (Z)	0,853	1	0,382	0,365	0,211	0,322	0,531	0,281
Degré d'érosion visible (O)	0,385	0,382	1	0,393	0,111	0,117	0,328	0,667
Précipitation (H)	0,733	0,365	0,393	1	0,372	0,505	0,561	0,62
Pente (Ja)	0,46	0,211	0,111	0,372	1	0,428	-0,149	0,265
Température (T)	0,247	0,322	0,117	0,505	0,428	1	0,046	0,138
Régularisation du sol (Xa)	0,546	0,531	0,328	0,561	-0,149	0,046	1	-0,191
Résistance du sol (Y)	0,373	0,281	0,667	0,62	0,265	0,138	-0,191	1

CONCLUSION :

L'intégration du modèle Gavrilovic dans le SIG a permis de produire une carte synthétique de répartition des degrés de vulnérabilité des sols à l'érosion et de quantifier le taux d'érosion par ruissellement en nappe dans les différentes zones du bassin versant (43,68 t/ha/an en moyenne). L'analyse statistiques des résultats de ce modèle a permis de déterminer les facteurs causaux décisifs qui contrôlent l'érosion hydrique qui sont par ordre d'importance les précipitations, la régularisation du sol, la pente, la résistance du sol et la température. Cependant il importe de signaler que la méthodologie utilisée du modèle EPM de GAVRILOVIC ne s'applique qu'à l'érosion aréolaire et n'incluent pas les pertes par les autres formes d'érosion. En comparaison avec d'autres travaux qui ont été effectués dans la zone de Béni Boufrah notamment ceux d'Al Karkouri (2003), il semble que le résultat obtenu par la méthode de GAVRILOVIC n'est pas loin de ceux qui sont disponible. Al karkouri, en utilisant l'équation universelle de perte en sol de Wischmeier avait trouvé une moyenne de pertes en sol de l'ordre de 45 t/ha/an.

Références bibliographiques :

- AL KARKOURI JAMAL 2003. *Dégradation du milieu naturel dans le bassin de Beni Boufrah (Rif central-Maroc) : analyse des facteurs et des processus, essai de quantification et modélisation spatiale*. Thèse d'Etat, Université Mohammed V, FLSH. Rabat, p : 392.
- BENCHEKROUN, ABOULABBES OMAR, MERZOUK, ABDELAZIZ ET FAYÇAL 2005. *Application des Directives CAR/PAP pour la formulation d'un programme de gestion de contrôle de l'érosion et de la désertification Cas du bassin versant de Beni Boufrah*. Rabat : Programme d'Actions Prioritaires. Centre d'Activités Régionales.
- BOU KHEIR R., GIRARD M-CI., KHAWLIE M. et ABADALLAH C. 2001. *Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens : Une revue bibliographique*. Etude et Gestion des sols Volume 8, 4, 2001.
- GAVRILOVIC, Z. STEFANOVIC M., MILOJEVIC M. AND COTRIC J. 2006. *Erosion Potential Method, An Important Support For Integrate Water Ressource Management*. Presented at XXIII Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia.
- PAUL PASCON ET VAN DER WUSTEN HERMAN 1983. *Les Béni Boufrah, essai d'écologie sociale d'une vallée rifaine (Maroc)*, IURS, Rabat.
- SADIKI ABDELHAMID, BOUHLASSA SAIDATI, AUAJJAR JAMAL, FALEH ALI ET JEAN-JACQUES MACAIRE 2004. *Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'équation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab*. INRS Rabat, n°26.
- ZORN, M, ET B. KOMAC 2008. *Response of soil erosion to land use change with particular reference to the last 200 year (Julian Alps, Western Slovenia)*. Presented at XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia.

جمال شعوان، علي فلاح 2014. *توظيف الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في التقييم الكمي للتعرية المائية بحوض واد أمزاز (الريف الأوسط) من خلال نموذج جافريلوفيك*. مجلة جغرافية المغرب، الجمعية الوطنية للجغرافيين المغاربة، كلية الآداب والعلوم الإنسانية الرباط. المجلد 28 عدد 1-2. ص : 89 - 104.

CARTOGRAPHIE ET EVALUATION DE L'ÉROSION HYDRIQUE AU BASSIN VERSANT DE L'OUED ISLANE (NORD-EST DE TAOUNATE, MAROC) PAR LA METHODE PAP/CAR ET DU SIG.

Abdelghani GARTET et Mohamed EL-MEFTAHY

Laboratoire d'Analyses Géo-Environnementales et d'Aménagement-Développement Durable (LAGEA-DD), Faculté des lettres et des sciences humaines Sais-Fès.

RÉSUMÉ : Cette étude a pour objectif l'estimation qualitative de l'état de la dégradation des sols par l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Islane (Nord-Est de Taounate). Ce Bassin versant est à vocation agricole et le risque d'érosion hydrique est une des principales contraintes à son développement. La méthode choisie afin d'étudier ce phénomène dans sa globalité est la méthode PAP/CAR², qui constitue un ensemble de directives émises par le PNUD³ pour la formulation d'un programme de lutte antiérosives, basée sur trois approches. La première approche consiste à réaliser différentes cartes thématiques et définir les facteurs prépondérants de l'érosion. La deuxième se penche sur la description des formes et des processus de l'érosion. Alors que la dernière porte sur l'intégration et la définition des degrés du risque d'érosion, ainsi que ses différentes formes. Les résultats de ce travail permis de détecter les facteurs et les zones nécessitant une intervention rapide et efficace pour contrecarrer l'effet de l'érosion hydrique et aussi ces résultats peuvent constituer un document à la disposition des aménagements pour l'aide à la décision dans les projets d'aménagement et la gestion du contrôle de l'érosion.

Mots-clés : BV de l'oued islane, PAP/CAR, Erosion hydrique, SIG, Cartes thématique.

MAPPING AND ASSESSMENT OF WATER EROSION IN THE WATERSHED RIVER ISLANE (NORTHEAST TAOUNATE, MOROCCO) BY THE METHOD PAP / RAC AND GIS.

ABSTRACT: This study aims qualitative estimation of the state of soil degradation by water erosion. The method chosen to study this phenomenon in its entirety is the method PAP / CAR, which is a set of guidelines issued by UNDP for the formulation of an anti-erosion control program, based on three approaches. The first approach is to perform various thematic maps and define the major factors of erosion. The second focuses on the description of forms and erosion process. While the latter focuses on the integration and definition of degrees of erosion risk and its different forms. The results of this work to detect factors and areas that require rapid and effective response to counter the effect of water erosion and as these results may be a document available accommodations for the decision support in development projects and management of erosion control.

Keywords : watershed of the river Islane, PAP / RAC, Water erosion, GIS, thematic maps.

² PAP/CAR : Programme d'Action Prioritaires du Centre d'Activités Régionale.

³ PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement.

INTRODUCTION :

L'érosion des sols est un risque qui pèse lourdement sur les sols marocains. Au cours des dernières décennies, ces milieux ont subi des dégradations importantes pour différentes raisons, des raisons liées au processus naturels de la dynamique de l'eau et d'autres au développement des populations et à la pression qu'elles ont exercé sur les ressources naturelles.

Ce fléau a de graves conséquences de différents points de vue, économique, humain et écologique. D'un point de vue économique, les pertes sont importantes et sont estimées en milliards de DH. Ces pertes sont dues aux dégradations des infrastructures routières, des ouvrages d'art et de la productivité des terrains agricoles de pâturage ou forestier. Du côté humain la situation dans le monde rural est catastrophique et très inquiétante. On assiste à appauvrissement persistant des populations, ce qui provoque leur exode vers les villes ou vers l'étranger. D'un point de vue écologique, on assiste à la dégradation des milieux qui s'exprime par la diminution de la diversité biologique et de la productivité forestière.

Ces composantes économique, humaine et environnementale sont intimement liées, et un déséquilibre au sein d'une seule composante peut entraîner la défection de tout le système. On est donc amené à choisir une méthode qui va permettre de mettre en relation les différentes composantes pour tirer des hypothèses concernant l'état des sols vis-à-vis des processus naturel de dégradation et des activités humaines. Lorsque l'on aborde le thème de l'érosion des sols et de la dégradation des terres, il est important de considérer les quatre facteurs physiques de base qui conditionnent le régime érosif, à savoir : l'agressivité du climat particulièrement des précipitations, l'érodibilité des sols, la topographie (la raideur des pentes) et la nature et densité du couvert végétale. Ces quatre facteurs vont constituer le socle sur le quelle on va se baser pour définir les zones qui présente un risque, le type de risque et comment gérer ce risque.

1. Description de la zone d'étude

Le terrain d'étude correspond au BV de l'Oued Islane, c'est l'affluent rive gauche de l'Oued Sra, Il se situe dans la partie Nord - Est de la province de Taounate, il s'intercale entre les parallèles 34°57' et 34°67' de latitude Nord et les méridiens 4°59' et 4°65' de longitude Ouest, sur une altitude comprise entre 324 et 840 m et couvre une superficie de 33,32 Km².

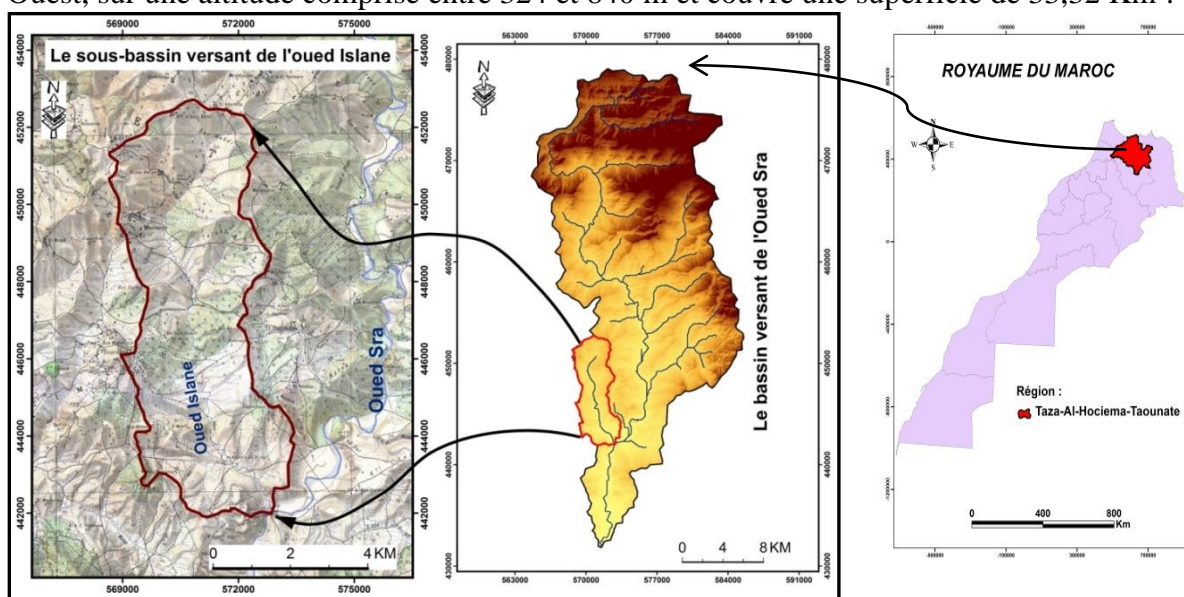


Figure 1: localisation du bassin versant de l'Oued Islane.

Le BV de l’oued Islane fait partie du rif centrale lui confère un climat méditerranéen subhumide, induisant une répartition irrégulière des pluies dans l’espace et dans le temps. La pluviométrie annuelle moyenne varie de 502 à 769 mm sur l’ensemble de la zone. Ces conditions climatiques sont favorables pour l’intensification de l’érosion hydrique et l’arrachement des sols. Ce BV est caractérisé par un réseau hydrographique dense et complexe qui adopte une structure ramifiée ce qui explique une dynamique importante du ruissellement de l’eau (La dominance d’un substrat rocheux imperméable à peu perméable).

Le contexte géologique montre la prédominance des formations marneuses, tendres, imperméables et facilement altérable, qui permet des ruissellements importants pendant les phases pluvieuses. Le couvert végétal naturel du BV de l’Oued Islane est fortement lié au climat, la densité du couvert végétal s’accroît parallèlement aux volumes pluviométriques. La carte du couvert végétal montre l’abondance des zones cultivées et des arboricultures. La région est très peuplée puisqu’elle présente une densité moyenne de 125 à 133 hab. / km² en 2014. Toutes ces conditions donnent des terrains vulnérables, activité important de la morphogénèse sur les versants.

2. METHODOLOGIE :

La démarche méthodologique fondamentale (PAP/CAR) consiste en 3 approches (phases):

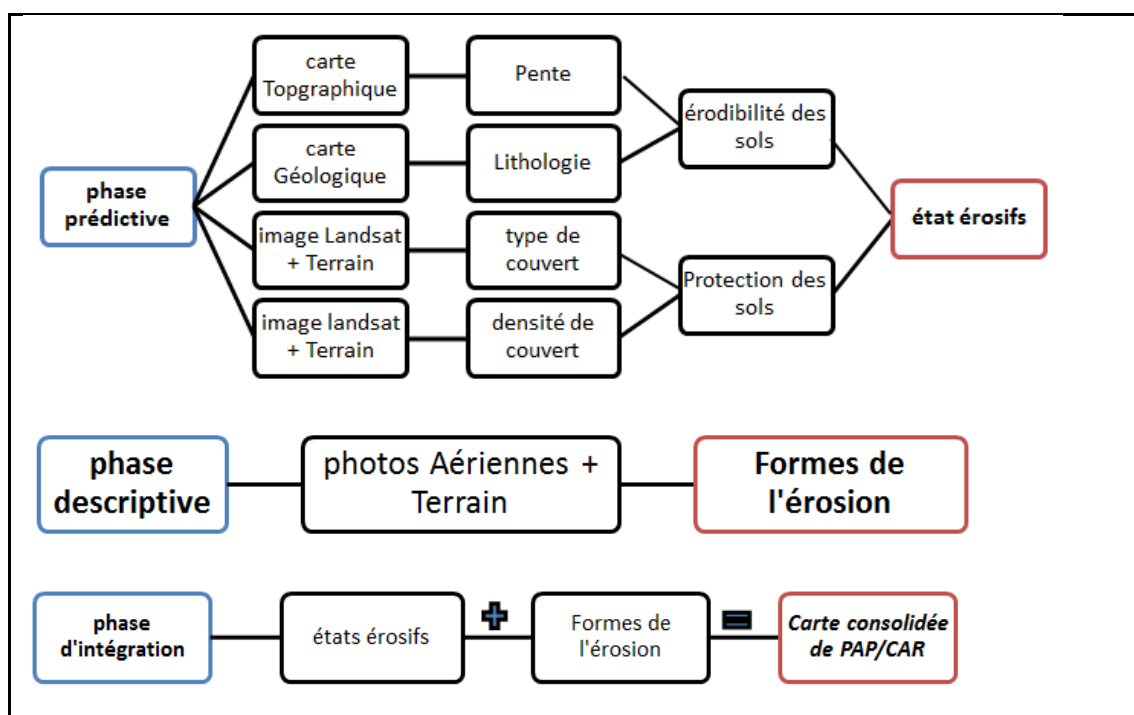


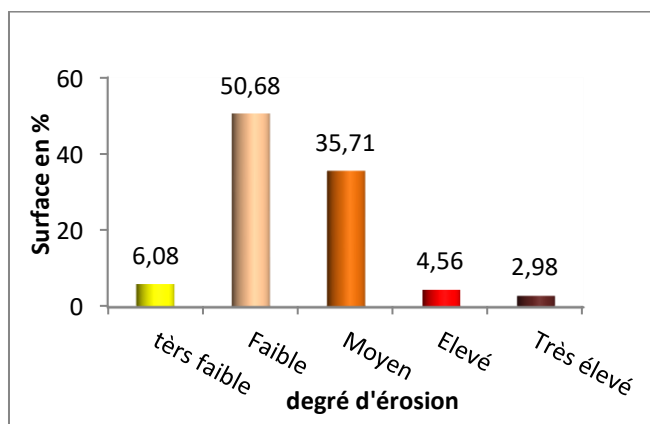
Figure2 : Organigramme des directives PAP/CAR.

3. RESULTATS ET DISCUSSION:

1.1. Approche prédictive :

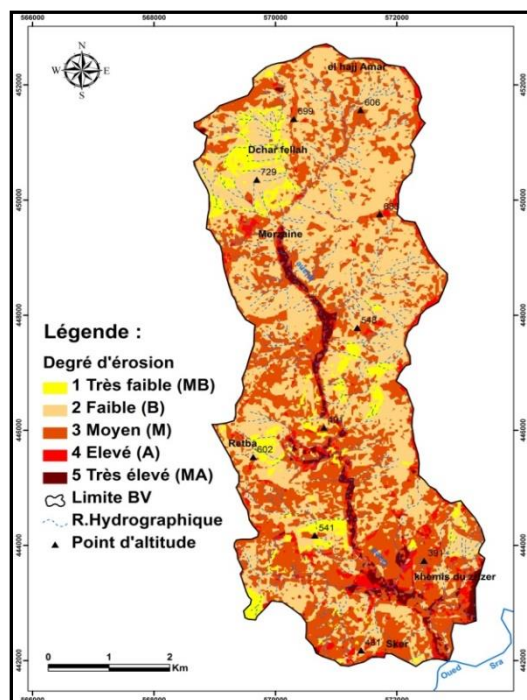
L’approche prédictive consiste à cartographier, évaluer et intégrer tous les facteurs physiques de base, tels que la physiographie (pentes), la lithologie et/ou les sols et le couvert végétal, dans le but de réaliser une carte des tendances générales de l’érosion, d’une part, d’autre part d’établir des hypothèses de départ concernant le risque d’érosion (érodibilité – érosion potentielle).

La carte des états érosifs est le produit final de la phase prédictive (Fig.4). Elle résulte de la superposition de la carte d'érodibilité et de la carte des degrés de protection des sols, afin d'hierarchiser le BV de l'Oued Islane en unités selon le degré d'état érosif.



Répartition des classes de degré de l'érosion

Le traitement et l'analyse des données montrent que la classe la plus représentative est celle de degré d'érosion faible avec 16.85 km², c'est à dire environ 50 % de la superficie totale du BV Islane. Pour la classe de degré moyen on a 35.7 % de la superficie du BV. Par contre les trois autres classes ; leurs superficies de degré d'érosion ne dépassent pas 15 % en total. Cela montre que le BV de l'Oued Islane présente des terrains à superficie importante vulnérable à l'érosion.



La répartition de ces superficies sur la carte des états érosifs montre l'érosion grave et très grave qui affecte la partie aval du BV. L'érosion très élevée suit le schéma que dessine le réseau hydrographique, surtout le chenal principal du BV. Par contre, on trouve une grande partie de superficie avec des degrés d'érosion faible à moyen surtout dans l'amont du BV, cela est expliqué par la présence d'un couvert végétal (oliviers) qui diminuent l'influence de ce phénomène (fig.4).

Généralement, Les facteurs étudiés précédemment et l'analyse spatiale des différentes classes d'érosion permettent de déduire que le BV de l'Oued Islane est dans un état érosif moyen. En effet, la répartition de ces superficies montre une dominance de la classe d'érosion faible à moyenne qui s'étend sur une superficie de plus de 80 % de la zone d'étude.

Figure 4 : Carte des états érosifs du BV de l'oued islane selon PAP/CAR.

1.2. Approche descriptive :

La carte des formes d'érosion est réalisée à partir de l'observation de terrain et grâce au navigateur satellitaire Google Earth. Son but est de décrire les formes d'érosion observées sur le terrain.

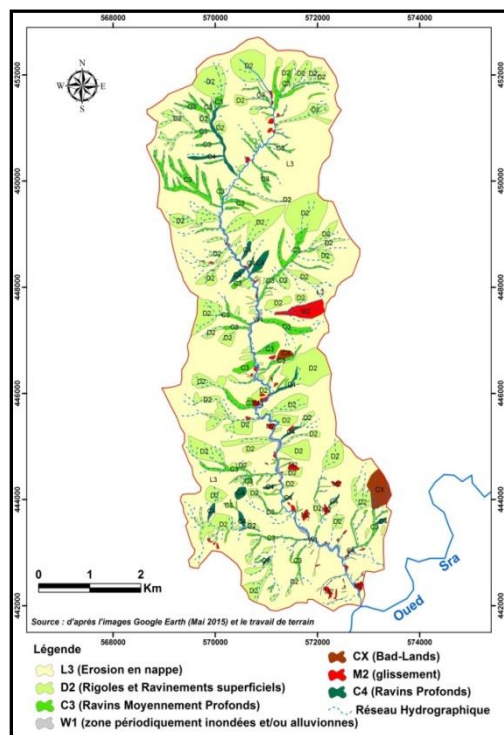


Figure 5 : Carte des formes d'érosion dans le BV de l'oued islane.

1.3. Approche d'intégration :

L'approche d'intégration constitue la phase de combinaison des deux phases précédentes, prédictive et descriptive. Il s'agit de compléter les résultats obtenus lors de la phase prédictive par les données descriptives des processus d'érosion cartographiées. La combinaison de deux résultats nous fournit un produit cartographique très précis qui reflète la réalité de l'état de dégradation du sol et l'évolution future de l'érosion.

Le résultat final de cette approche est la carte consolidée PAP/CAR de l'Oued islane, qui permet d'identifier et d'évaluer, à la fois l'érosion potentielle (statut érosif) et l'érosion actuelle sous ses différentes formes, intensités et tendances évolutives.

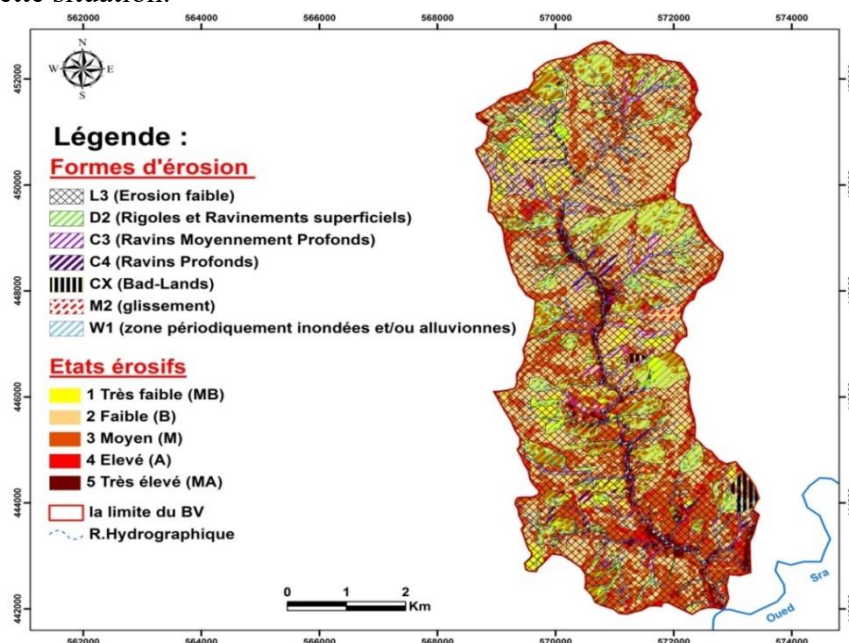
La carte consolidée PAP/CAR de l'Oued Islane montre que les ravinements superficiels, moyens et profonds coïncident avec des zones où le degré d'état érosif est faible à moyen (Fig.6). Cela peut être expliqué par la présence d'une densité forte de couverture végétale (oliviers).

Les bad-lands sont liées surtout à des terrains de forte pente et une densité de couverture faible. Pour notre zone d'étude, ces formes d'érosion situées dans des zones de degré dont l'état érosif est fort et un substrat de faible résistance mécanique peuvent être à l'origine de cette forme d'érosion.

L'érosion en nappe, est localisée là où la pente est faible. Les zones périodiquement inondées sont situées à l'aval du BV et localisées surtout sur les berges de l'Oued Islane posent beaucoup de problèmes lors des crues à cause des sapements des berges. Ces formes d'érosion constituent l'un des facteurs de déplacement des mouvements de masse sur des versants de ce BV.

Alors le BV de l'Oued Islane présente des formes d'érosion diversifiées : les rigoles et les ravinements, les Bad-lands, les glissements et l'érosion en nappe. En bref, les activités

humaines, l'agressivité climatique et un substrat de faible résistance mécanique peuvent être à l'origine de cette situation.



Conclusion :

La carte de l'approche prédictive fournit des informations sur l'état actuel de la dégradation des sols en se basant sur les degrés d'influence des différents facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique. La carte fait ressortir cinq états : 6 % de la surface du BV Islane présente une très faible prédisposition à l'érosion hydrique ; l'érosion faible représente 50 % ; 36 % pour les terrains à érosion notable. Les états d'érosion élevée et très élevée représentent 5 % et 3 % respectivement.

L'approche descriptive a montré que cette dégradation se manifeste par différents processus de l'érosion hydrique. On assiste à une perte de sol de différentes manières :

- L'érosion en nappe et le décapage du sol, c'est une érosion qui est inaperçue mais qui est la plus dangereuse car elle emporte les particules nutritives essentielles pour le développement de la végétation.
- L'érosion en rigole et ravines qui, si elles apparaissent en automne dans les sols labourés après chaque averse importante, sont effacées par les labours, mais si elles apparaissent sur des terrains non exploitables évoluent généralement en formes plus importantes.
- L'érosion en ravins se fait au dépend des terrains de culture et peuvent évoluer en ravinement généralisé.

Références bibliographiques :

- ANDRIEUX J., (1971) : La structure du Rif central. Etude des relations entre la tectonique de compression et les nappes de glissement dans un tronçon de la chaîne alpine. Notes et mem. Du serv. Géol. Maroc, pp : 235, 155.
- AVENARD J.M., (1996) : Dynamique érosive actuelle et actions humaines dans le Prérif (Maroc), Université Louis-Pasteur de Strasbourg, pp : 394 – 407.
- GARTET A., (1994) : Morphogenèse et hydrologie dans le bassin versant de l'Oued Lebène (Rif méridional et Prérif central et oriental) thèse de doctorat en géographie, université d'Aix Marseille 1, institut de géographie Aix en Provence; 342 p.
- MAURER G., (1968) : Les montagnes du Rif central. Th. Doc. Etat, Rabat., 481p. Prérif. Ed. Médit., fasc. 12, CIEM, Poitiers, pp : 179-210.
- TRIBAK A., (2000) : L'érosion hydrique en moyenne montagne du Prérif oriental (Maroc) : Etude des agents et des processus d'érosion dans une zone de marnes tertiaires. Thèse, Doctorat d'état, Univ. Choib Doukali, El Jadida, Maroc : 350 p.

Apport de la Géomatique à l'étude de la fragilité du milieu physique du piémont nord des Kbdana et les problèmes de son aménagement (Maroc nord-est).

Abdelouahid SAIDI*, Abdelkader SBALI*, Mimoun BAHKAN*, Omar MOUADILI*, Mostafa BOUABDALLAH*, Mimoun EL MAHDAOUI* et Mimoun KIRAT**

*Université Mohamed I^{er}, Laboratoire « Géomatique et Gestion de l'Espace », Oujda, Maroc.

**Université Moulay Ismail, Laboratoire des Etudes et Recherches en Géographie, Meknès, Maroc.

cap_saidi@hotmail.com

RESUME : Les bassins versants du piémont nord du massif des Kbdana sont caractérisés par leur fragilité. La dynamique géomorphologique actuelle accroît le potentiel érosif dans ces bassins développés sur des formations mio-pliocènes couvertes de dépôts quaternaires et qui correspondent à des glacis d'accumulation. Ils sont sollicités malgré leurs conditions géomorphologiques pour différents aménagements : parcours, agriculture, infrastructure routière (rocade méditerranéenne), urbanisation... Ces différents aménagements présentent le problème de maintien de l'équilibre d'un milieu fragile (aridité, dégradation du couvert végétal, érosion des sols...). Dans ce contexte, nous avons choisi un bassin versant typique (Oued Aich) pour évaluer la fragilité de son milieu physique et les risques liés à son utilisation en s'appuyant sur les outils de la géomatique et les SIG.

Mots clé : bassin versant, Kbdana, érosion, aménagements, SIG.

SUMMARY: The versant basins of the northern piedmont of Kbdana massif are characterized by their fragility. The geomorphological dynamic erosive potential actually increases in these basins and this latter develops on mio-pliocene training covered with Quaternary stores and to correspond to glaze of accumulation. They are solicited inspite of their geomorphological conditions to different aménagements: course, agriculture, road infrasructure (medeteranian rocade), urbanization. These different developments introduce the problem of equilibrium assertion of fragil contest (aridity, degradation the vegetal plants setting, erosion of the soil...) from this contest we choose a typical pouring basin (oued Aich) as an evaluator to the fragility of physical milieu and the risks related to its use relying on the geomatic the systems of Geographic Information (SIG).

Keywords: Versant basin, Kbdana, Hydric erosion, Amenagment , SIG.

Introduction

Les mécanismes orientant la dynamique morphologique des bassins versants dans les milieux montagneux semi aride du Maroc connaissent des modifications graves. Des aléas hydrologiques perturbent les cours d'eaux que drainent ces types des bassins. Le ruissellement, la recharge des nappes et le transport des sédiments figurent parmi les phénomènes naturels agissant à différents rythmes.

Au Maroc nord est, les bassins versants du piémont du nord des Kbdana sont le siège d'une dynamique érosive de diverses formes. Néanmoins cette dynamique s'attache essentiellement à l'érosion hydrique menée par des cours d'eaux descendant du massif des Kbdana et de la grande vulnérabilité des sols envers ce risque.

1. Présentation de la zone d'étude

Le piémont nord des Kbdana regroupe 18 bassins versants qui s'étendent sur une superficie de 172Km² au nord-est du Maroc sur la façade méditerranéenne (Figure 1). Cette frange littorale que le piémont occupe s'étale d'une part entre deux sites d'intérêt biologique

et écologique : l'embouchure de la Moulouya à l'Est et la lagune de Nador à l'West. Le milieu actuel du piémont est le bilan des interactions à caractères humaines et physiques :

Le statut topographique du relief se caractérise par de fortes pentes et des versants très disséqués dominant directement les fonds des vallées des bassins.

Sur le plan climatique, le régime pluviométrique tend à une irrégularité interannuelle des précipitations (350 mm à Cap de l'Eau) allié à des événements pluvieux exceptionnels.

L'aménagement de la côte combinée à la mise en valeur agricole de la plaine de Bouareg ont poussé la population d'enfouir le piémont et ses surfaces cultivables.

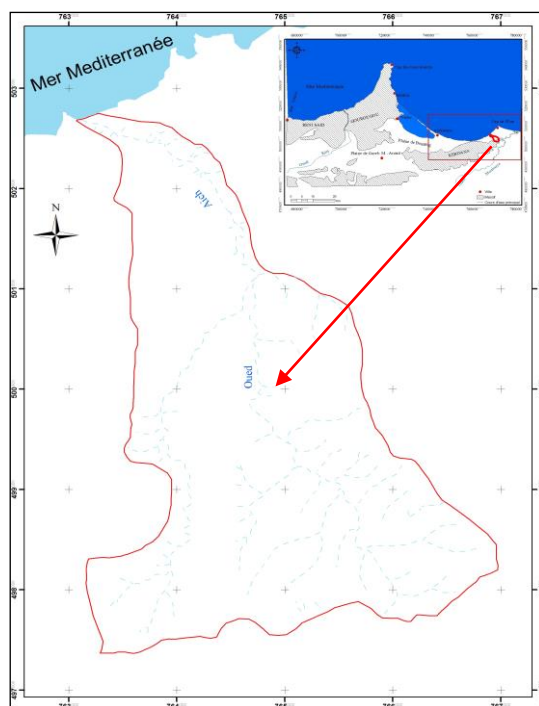


Figure 1. Localisation de bassin versant d'oued Aich au Nord de Kebdana par rapport au littoral méditerranéen du Maroc

2. Matériel et Méthode

La méthodologie suivie au cours de cette étude repose sur une démarche cartographique. L'intégration des documents cartographiques et télé détectés dans le SIG nous a permis d'extraire des informations qualitatives et quantitatives descriptives des composantes du milieu naturel. Nous avons redressé un ensemble des cartes caractérisant le comportement hydrodynamique et les facteurs de différenciation de potentiel érosif l'érosion dans les sites de bassin versant étudié de bassin versant à partir de l'équation universelle de perte en sol, USLE, (Wischmeier et Smith, 1978).

Les matériels utilisés sont les suivantes :

3 cartes topographiques : échelle 1/25000.

3 clichés de photographies aériennes (1958, 1988, 2010) : échelle 1/20000.

Carte géologique (feuille d'Oujda) : échelle 1/500000.

Image de google earth (2013) et deux images (Landsat 7 ETM) acquises respectivement en 2000 et 2010.

Model numérique du terrain avec une résolution du 30 mètres.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

- **Morphométrie et hydrologie :** Le bassin versant d'oued Aich situé à l'est du piémont du massif et dont la superficie est 4,9 Km² paraît le plus approprié pour l'étude et la cartographie de la sensibilité à l'érosion (figure 1). Le rectangle équivalent a une longueur L = 4,45 Km et une largeur l = 1,11 Km. La valeur de la pente moyenne considérée comme une variable indépendante et importante est de 14,2% (8°). L'indice de la pente globale qui est de 0,07 détermine l'effet de l'accentuation de la topographie et l'influence de la faiblesse de la superficie sur le temps de concentration (1h 74mn). Celui-ci est moins long, toutefois, le coefficient de compacité de Gravelius K est de 1,40 et le facteur de forme est de 0,5 indiquant que le bassin a une forme ramassée.

La densité de drainage (8,01km / km²), proposée par Horton (1945) qui est relativement élevée par rapport à la superficie du bassin améliore le drainage de l'eau lors des événements de précipitation intense. Le coefficient de la torrencialité définie par Strahler (1964) comme le produit de la pente absolue et la densité de drainage enregistrée dans le bassin étudié la valeur de 45 Km. Cette activité torrentielle importante exprime l'influence de la pente sur la densité de drainage liée à l'élévation de nombre des cours d'eaux d'ordre 1 dans le haut du bassin. Le débit empirique calculé pour son écoulement d'une période de retour est de 5 ans est de 14m³/s.

- **Cartographie de l'agressivité climatique :** Nous avons évalué l'indice de l'agressivité climatique à partir des données de pluie disponible et qui ont été complétées par celles issues de l'imagerie raster tirée du site World Climat (www.landforms.eu/Lothian/beach.htm). Le facteur R est défini par la formule suivante:

$$\log R = 1,74 * \log \Sigma(P_i^2 / P) + 1,29$$

(P_i²: Précipitations mensuelles. P : Précipitations annuelles) (Arnoldus, 1980).

La carte d'agressivité climatique montre que son influence s'accroît dans les zones qui correspondent aux parties élevées du bassin de l'oued Aich en comparaison avec celles situées à proximité de la mer. Ces espaces ont subi des valeurs de R (en MJ/mm/ha/an) qui varient de 56 à 61 (Figure 2).

- **Détermination et cartographie du facteur topographique :** Les classes des pentes ont été évaluées à partir du modèle numérique de terrain avec une résolution de 30 mètres. Ensuite, la formule de Weichmeir et Smith (1978) ajustée et simplifiée par (David, 1987) a été intégrée dans le SIG à partir de l'expression algébrique spatiale offerte par l'option calculatrice raster.

$$LS = 0.10 + 0.12 * S^{4/3}$$

S : le pourcentage de la pente en %, L : La longueur de la pente en m.

Les classes des pentes dépassant le niveau >15% (9°) vers lequel le seuil du ruissellement se déclenche Roose (1994) prédominent sur la plupart de la superficie du bassin étudié (70%) (Figure 3).

Les bandes situées au milieu et à l'amont du bassin et qui coïncident parfois avec les ruptures de la pente sont les plus exposées au risque d'érosion hydrique. Les pentes de ces classes se caractérisent, également, par des longueurs courtes. Plus de 43% de la surface du bassin ont des classes de LS supérieures à la valeur 10. Les tranches des pentes très élevées de plus de 25° augmentent l'énergie cinétique du ruissellement qui a la capacité de détacher et de transporter les particules des sols et faire apparaître l'érosion en nappe.

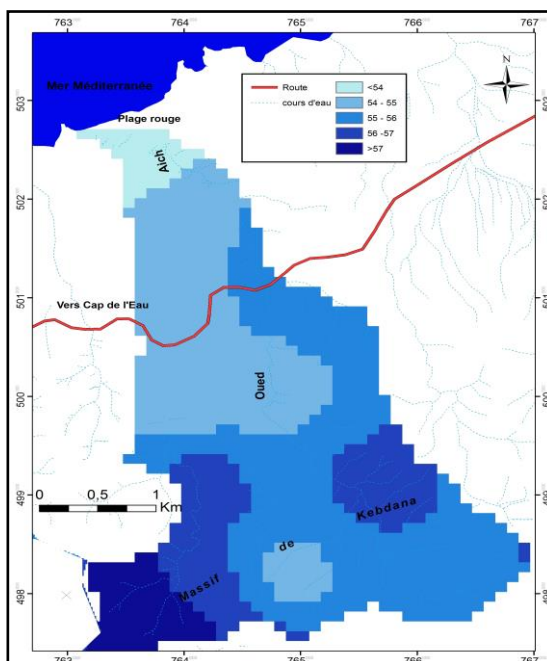


Figure 2. Distribution de facteur R

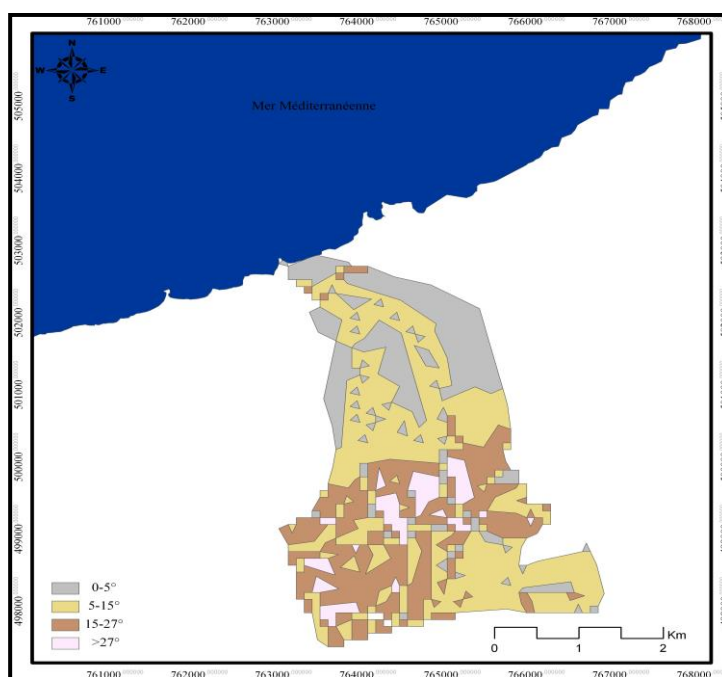


Figure 3. Distribution des classes des pentes en degrés

- **Evaluation du facteur K :** Nous nous sommes basés sur la carte géologique de l'oriental à 1/500000 pour déterminer le facteur K. Ensuite, nous avons collecté des informations qui concernent la lithologie de chaque formation superficielle (faciès, degré de résistance, stratigraphie, perméabilité) suivant le nomographe de Wischmeir (1978). Les formations superficielles affleurant dans le bassin étudié possèdent des degrés de la sensibilité différenciée envers l'érosion hydrique (Figure 4). Environ 55,3 % de la superficie est occupée par des formations cohérentes (calcaire, dolomie, grès) qui favorisent l'infiltration de l'eau et limitent le phénomène de l'érosion hydrique. L'appauvrissement en matière organique et la sensibilité au phénomène de la battance rendent le limon et l'argile (28%) susceptibles d'être érodés facilement par le ruissellement. Les croûtes calcaires, les marnes et les schistes

représentant 16,7 % de la superficie du bassin font partie d'une classe intermédiaire qui a une sensibilité moyenne envers l'érosion.

- **Facteur du couvert végétal et de l'occupation des sols** : Le sol nu, l'agriculture « Bour » et le couvert végétal faible, le matorral sont les principales utilisations du sol dans l'ensemble du bassin (Figure 5). Le matorral composé principalement d'alfa et des reboisements d'eucalyptus et de pin (40%) constitue un espace très sollicité par le pâturage et le défrichage.

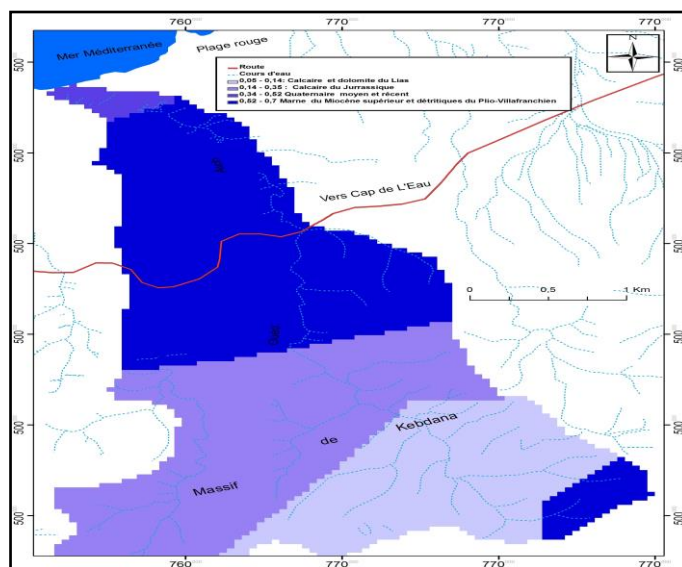


Figure 4. Facteur d'érodabilité des sols K

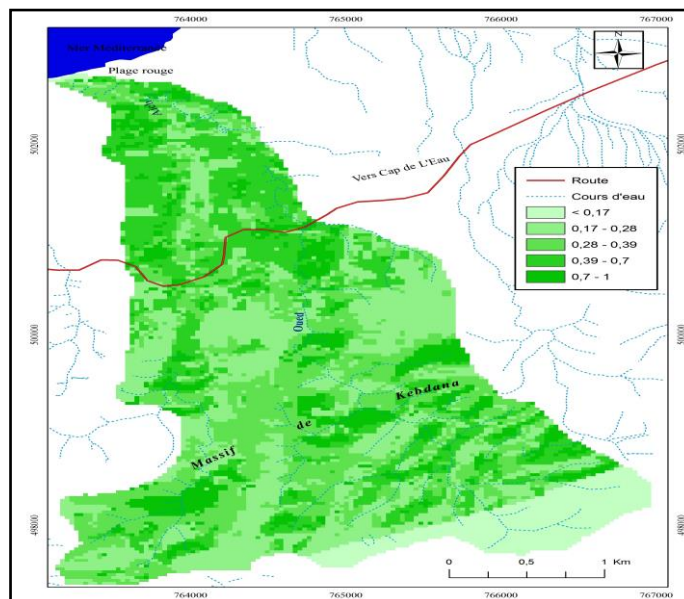


Figure 5 : Distribution des valeurs du facteur C

- **Pratiques anti érosives** : Les pratiques culturales exercées dans des petites parcelles n'ont pas amélioré le rendement des céréalières et de l'arboriculture (orge, olive). En fait, le morcellement des propriétés caractérisant le statut foncier entrave l'utilisation des moyens modernes pour atténuer l'effet de la rugosité de la surface.

- **Caractérisation du potentiel érosif** : L'interpolation entre les cartes des cinq facteurs (R, K, LS, C et P) nous a permis de produire une carte finale d'érosion des sols

quantifiées en tonnes par hectare avec une moyenne de perte en sol de 22.3 t/ha/an. Les différentes unités sont regroupées en quatre classes (très forte, forte, modérée et faible) (Figure 6). Les classes fortes et très fortes (20-35 t/ha/an et > 35 t/ha/an) occupent de superficies localisées dans des régions fortement encaissées par des cours d'eau de 1^{er} ordre. L'aire de bassin de réception enregistre un niveau faible de perte en sol inférieur à 8 t/ha/an.

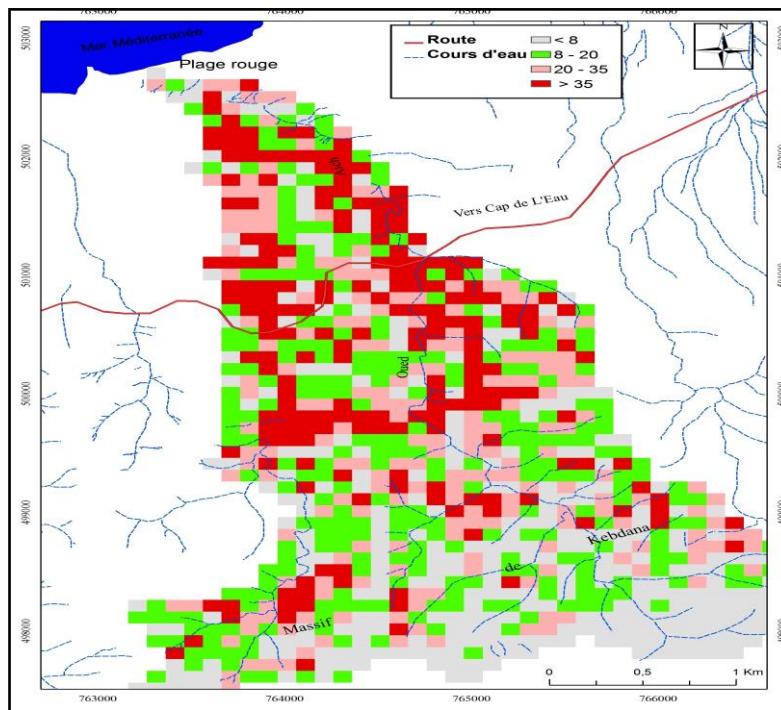


Figure 6. Carte des pertes en sols dans le bassin d'oued Aich

Conclusion

La Géomatique favorise la cartographie chaque facteur qui contrôle l'érosion hydrique dans le bassin versant. L'intégration de ces cartes permet de produire une carte synthétique qui sert à présenter la répartition de degrés de sensibilité à l'érosion. L'analyse de cette carte ainsi que les bases de données qu'elles portent constitue une démarche importante pour faire des propositions d'un aménagement intégré dans l'aire d'étude.

Références bibliographiques :

- Arnoldus H.M.J. (1980). An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boodt and Gabriels: Assessment of erosion. FAO Land and Water Development Division, Wiley & Sons, England: 127-132.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrological approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Am. 56, 370-375.
- Roose E. 1994 - Introduction à la G.C.E.S. Bull. pédologie, FAO 70, 420p.
- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In Chow, V. T. (Ed), Handbook of applied hydrology, 439-476 pp.
- Wischmeier W.H. et Smith D.D . (1978). Prediction rainfall érosion losses, a guide to conservation planning Science. U.S. Dept. Agriculture. Agric. Handbook 537, 60

TELEDETECTION, SIG ET MODELISATION DE L'EROSION DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED NEKOR, RIF CENTRAL

ESSALEK Bouchaib, SALOUI Abdelmalik et FARID Noureddine

Université Hassan II – Casablanca, Laboratoire Climatologie Hydrologie, Maroc

Email : bouchaibessalek@yahoo.fr

RESUME : Dans un contexte où l'impact de la variabilité climatique sur les ressources naturelles est au cœur des préoccupations scientifiques internationales, la compréhension de l'évolution du milieu tout en mesurant l'action de l'homme, revêt une place cruciale.

Dans cette étude, nous avons développé une méthodologie de détermination des éléments spatiaux permettant la modélisation des bassins versants en utilisant des données satellitaires et SIG, cas du bassin du Nekor. Par ailleurs la perte moyenne annuelle des sols dans le bassin versant du Nekor est de 5900 t/Km² / an, l'une des plus élevées au monde. Des mesures importantes de traitement anti-érosif du bassin versant ont été effectuées consistant, particulièrement, à la reforestation et la conservation des sols, en présentant des avantages indubitables à moyen et long termes.

Mots-clés : Télédétection - SIG - Erosion - bassin du Nekor.

REMOTE SENSING, GIS AND MODELING OF THE WATERSHED EROSION IN FROM OUED NEKOR, RIF CENTRAL

ABSTRACT: we developed a methodology of determination of spatial elements allowing the modelling of watershed by using satellitaires data and SIG, case of the watershed of the NEKOR. The annual average loss of grounds in the watershed of Nekor is of 5900t / Km² / year, one of the highest in the world to the world. Important measures of anti-erosive treatment, particularly, of the reforestation and the preservation of grounds, by presenting indubitable medium and long-term advantages.

Keywords: Remote sensing - SIG - Erosion - watershed of Nekor

INTRODUCTION

Un bassin versant est un espace géographique dont les apports hydriques naturels sont alimentés exclusivement par les précipitations, et dont les excès en canaux ou en matières solides transportés par l'eau forment une embouchure.

Le bassin versant du Nekor est localisé dans le Nord-Est du Maroc, à la partie orientale des montagnes du Rif (entre les latitudes 35° 43' et 35° 6' Nord et entre les longitudes 3°36' et 4 ° Ouest), et s'ouvre à la Mer Méditerranée.

Ce bassin versant est localisé dans une zone semi-aride de climat Méditerranéen (300 mm de précipitation⁴). Le bassin de Nekor appartient à la région du Rif, une des plus érodées du monde, avec 70% de ses sols affectés par ce phénomène.

Le besoin en aménagement des bassins versants au Maroc est très réel. En fait, ce bassin versant du Nekor présente de sérieux problèmes d'érosion du sol et de dégradation des ressources naturelles. En outre, ce phénomène d'érosion est renforcé par l'extension des cultures arrosées par les pluies « Borr » à des terres en pentes de plus en plus raides et marginales.

⁴ DMN Maroc

Notre étude vise à évaluer le risque d'érosion dans le bassin versant du Nekor dans l'objectif d'apporter des propositions et d'assister les décideurs dans l'amélioration de l'étude et l'aménagement des bassins versants de la région et du pays.

1. Description de la zone d'étude

Le bassin versant du Nekor fait partie de l'ensemble des bassins versants côtiers méditerranéens et s'étale sur une superficie globale de 778 km². Ce bassin versant est limité au Nord par le barrage MOHAMED BEN ABDELKRIM EL KHETTABI, par lequel il débouche sur la plaine d'AL HOCEIMA. Au Sud, il est limité par le bassin versant de l'Oued SEBOU ; et à l'Ouest par le bassin versant de l'Oued RHIS et celui de l'Oued KERT à l'Est. Le bassin versant du Nekor s'inscrit entre la latitude 34°42' et 35°6' Nord (Lambert 457 et 502) et la longitude 3°36' et 4°4' Ouest (Lambert 622 et 662) et présente un axe amont - aval à près Nord-Sud d'environ une quarantaine de kilomètres.

La géologie du Rif en général et celle du Rif externe, la région étudiée en particulier, est très difficilement abordable. Ce n'est d'ailleurs qu'à partir des années soixante que des auteurs ont essayé de déterminer sa genèse, sa paléogéographie et la répartition de ses différentes et inextricables unités structurales. Ce bassin versant présente des montagnes de 1000 m d'altitude et la plupart dépassent 1500 m. Le relief le plus accusé se trouve à l'Est du bassin versant à Azrou Akechou à peu près 2009 m d'altitude.

En plus, la rive gauche du bassin versant du Nekor est constituée en grande majorité de formation de type schiste, de l'unité de Kétama, avec alternance de calcaire ou de marnes, quelques fois enrobant de grands blocs de grès du Miocène Inférieur du jbel Kouine au Sud. Au Sud-Ouest, les formations calcaires dures Liasiques du Jbel AZROU Akechar s'entourent de schistes Jurassiques. Plus au Nord-est, vers l'accident de NEKOR, on rencontre essentiellement un olistostrome gypsifère Triasique, ainsi que des formations de schistes, calcaires et marno-calcaires du Crétacé.

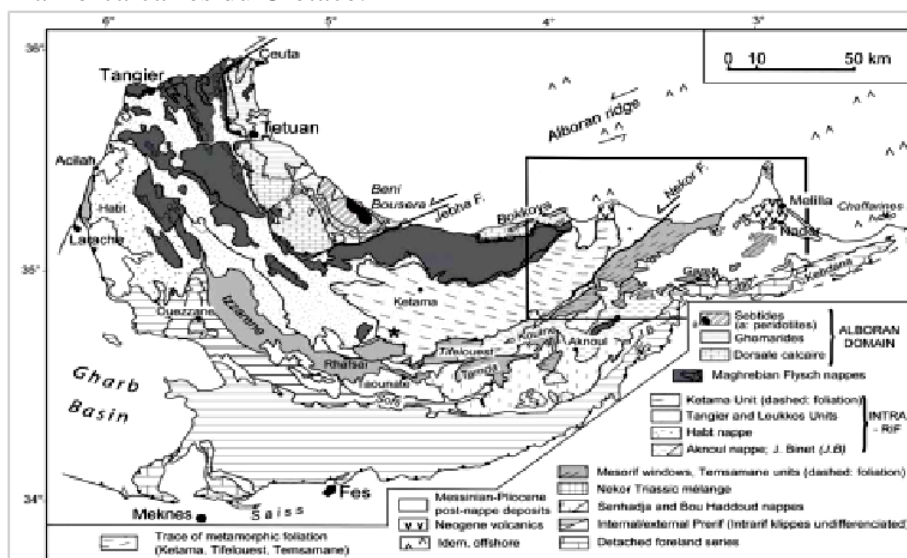


Figure 1: Carte Géologique du Rif (Suter (1980) and Chalouan et al. (2001).)

Bien que, l'influence des agents météorologiques intéresse particulièrement la tranche de terrain superficielle. Elle peut, par des discontinuités (tectoniques ou stratigraphiques) s'exercer plus profondément dans le sol et même atteindre le substratum. Et après une période pluvieuse, l'emménagement de l'eau provoque et prolonge l'imbibition, constituant ainsi un facteur d'instabilité important dans le secteur.

D'ailleurs, les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Le temps de concentration, qui caractérise en partie la vitesse et l'intensité de la réaction du bassin versant à une sollicitation des précipitations, est influencé par diverses caractéristiques morphologiques, qui vont être traités dans ce présent travail : la taille du bassin (sa surface), sa forme, son élévation, sa pente et son orientation. Mais encore, A ces facteurs s'ajoute le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique.

2. MATERIEL ET METHODES

Dans ce travail, nous avons choisi d'appliquer un modèle qualitatif pour la cartographie de l'aléa érosion des sols. Les valeurs d'érosion obtenues par l'application des facteurs, précédemment cités, peuvent varier considérablement en raison des différentes conditions météorologiques. Notre méthode de travail prend en compte un certain nombre de facteurs (le sol, l'occupation du sol, la topographie et le climat) qui, en interagissant entre eux, conditionnent le processus d'érosion. Pour caractériser ces facteurs, un certain nombre de paramètres a été pris en compte :

- L'occupation du sol (donnée déjà fournie et extraite des traitements effectués sur une image Landsat à 14,25m de résolution).
- L'aptitude des sols au ruissellement, extrait de la donnée morpho-pédologique.
- L'indice topographique (Combined Run off Erosivity Index), extrait du MNT, qui combine la pente et les surfaces drainées.
- L'érodibilité des sols, extrait des données morphologiques et géologiques.
- Le facteur climatique

Ainsi, ces cinq grands facteurs sont utilisés à calculer les pertes de terre dans un endroit donné. Si bien que chaque facteur est une estimation numérique d'une composante précise qui affecte la gravité de l'érosion du sol à cet endroit. Les valeurs d'érosion obtenues par l'application de ces facteurs peuvent varier considérablement en raison des différentes conditions météorologiques. Par conséquent, les valeurs obtenues par l'USLE représentent avec plus de précision les moyennes à long terme.

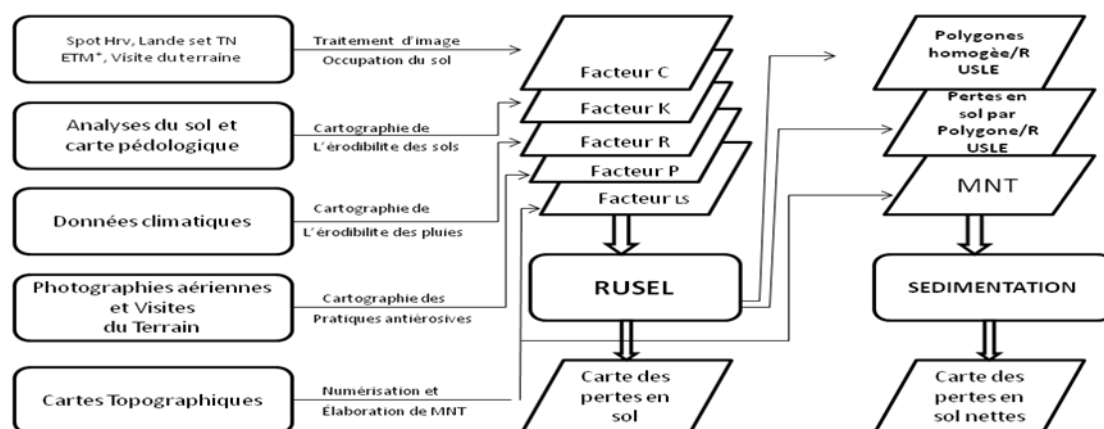


Figure 2 : Organigramme méthodologique du modèle USLE appliqué.

L'équation qui régit ce modèle est la suivante: $A=R*K*SL*C*P$.

Facteur de culture (C)

Le type de couvert végétal est à prendre absolument en compte. De ce facteur, dépend l'amortissement des gouttes de pluies, le ralentissement du ruissellement et l'infiltration. Le facteur C tenant compte de la couverture dépend du:

- Pourcentage de sol à nu : l'érosion intervient majoritairement sur des sols à nu lors d'épisodes pluvieux agressifs.
- Hauteur du couvert végétal : Il est intéressant d'avoir un couvert végétal, mais si celui-ci est trop élevé, l'amortissement des gouttes de pluies n'interviendra plus. En effet, après une première interception, les gouttes seront de nouveau rejetées vers le sol.
- Architecture des plantes : des plantes en forme d'entonnoir auront tendance à drainer l'écoulement et à provoquer des ravinements. A l'inverse, les plantes dites "parapluie" vont disperser les gouttes d'eau et donc diminuer leur énergie.

Facteur de Pluie et de Ruissellement (R)

Le facteur R dépend du secteur géographique. Plus les précipitations sont intenses et plus elles durent longtemps, plus grands sont les risques d'érosion.

Facteur d'érodibilité du sol (K)

Le facteur sol K caractérise l'érodibilité du sol, c'est-à-dire sa sensibilité à l'érosion. Ce facteur, sans dimension, mesure la plus ou la grande résistance relative d'un sol à l'érosion. Ce facteur est calculé selon le mode de calcul de WISCHMEIER.

Facteur de longueur et l'inclinaison des pentes (LS)

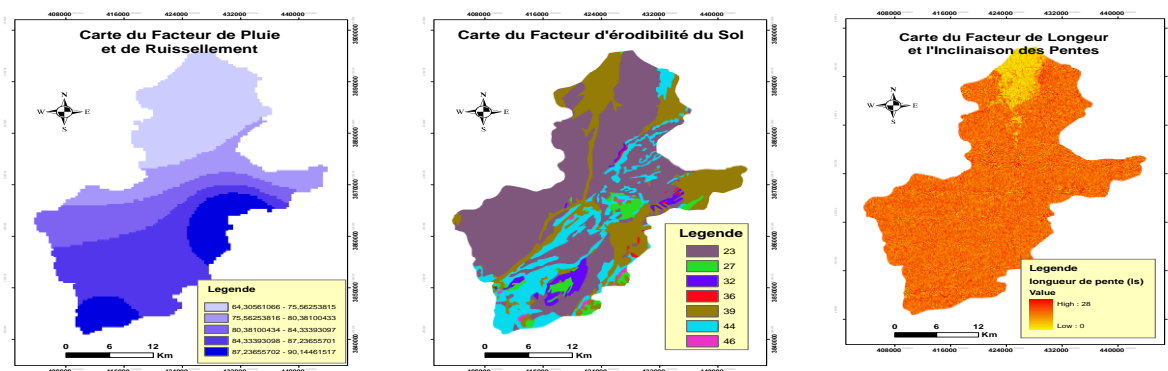
La vitesse étant proportionnelle à la distance parcourue, plus la longueur de la parcelle est grande, plus la vitesse augmente. Les particules d'eau qui ruissellent emmagasinent donc une énergie plus importante qui se traduit par la création et le creusement de rigoles. Cependant, même si l'influence de la longueur de la pente est reconnue, il est très difficile de connaître précisément l'exposant qui relie l'érosion et la longueur de la pente. De nombreuses formules ont été proposées, mais elles ne sont pas applicables de manière universelle. De plus, tout comme pour l'inclinaison de la pente, il faut prendre en compte le type d'érosion pour pouvoir déterminer quelle est l'influence de la longueur de la parcelle.

Facteur pratique de conservation (P)

Les pratiques anti-érosives concernent toutes les techniques culturales mises en œuvre pour diminuer le ruissellement et l'érosion. Parmi ces techniques, on trouve la culture en courbe de niveau (Countouring), la pose de bandes enherbées entre deux zones de culture, le paillage naturel ou artificiel, ou la pose de plantes de couverture.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

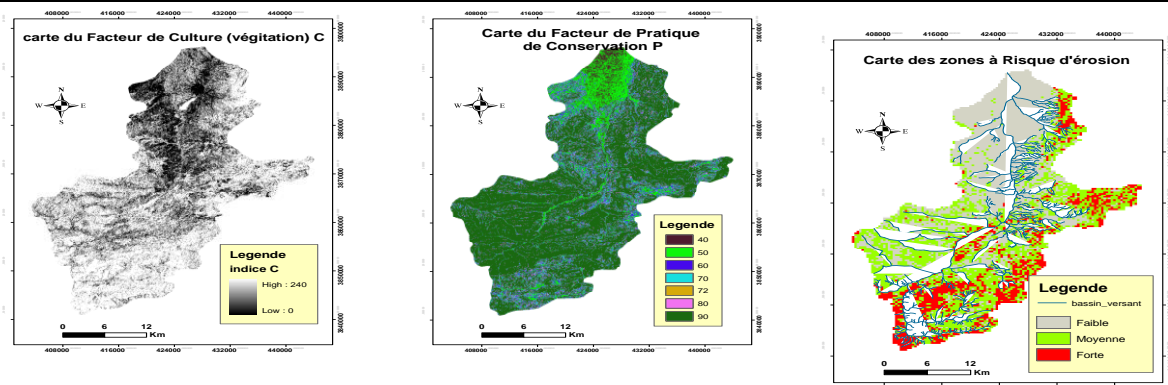
Cette approche qualitative fournit d'avantage une information spatialisée pouvant être utilisée comme support d'aide à la décision en permettant une localisation rapide des zones ou des bassins versants à risque qui doivent être prioritairement contrôlés et protégés. Ainsi, elle permet d'effectuer des simulations sur l'influence des changements climatiques ou de l'occupation du sol sur l'érosion et apporte une indication sur la quantité de la charge solide pouvant arriver aux lagons et affecter l'habitat marin.



Carte du facteur de ruissellement R

Carte du facteur d'érodibilité du sol K.

Carte du facteur de la longueur et d'inclinaison de la pente LS.



Carte du facteur de culture et de gestion C.

Carte du facteur de pratique de conservation P.

Carte des zones à Risque d'érosion

Figure 3: les différentes cartes générées par le modèle de travail

L'alluvionnement du barrage Mohamed Ben Abdelkrim Al Khattabi , réduit la durée de vie de ce réservoir . L'étude montre que l'envasement moyen annuel de ce la c'est de 2,7 I 06m 3 , pour une capacité de 43.1o6 m3 (à la cote normale) et correspondant à un pourcentage de perte annuelle du volume utile de la retenu e de 6 ,3 % (soit 12 fois supérieure à la perte moyenne annuelle de 0,5% obtenue pour les grands barrages du Maroc). Par ailleurs la dégradation moyenne annuelle du bassin versant du Nekor est de 5900 T/Km2/an, ce qui rend une dégradation d'une des plus au monde.

CONCLUSION

Les phénomènes d'érosion des sols résultent de l'interaction de nombreux paramètres dont certains, comme les précipitations et le couvert végétal, sont variables dans le temps, et d'autres, comme ceux relatifs aux caractères des sols ou à la topographie sont beaucoup plus permanents. Avec pour souci de participer à la protection du milieu naturel, la présente étude a eu pour objectif principal l'établissement d'un diagnostic général sur l'érosion des sols du bassin-versant du Nekor.

Ainsi, pour pouvoir déterminer les zones les plus vulnérables ou les plus sensibles aux phénomènes de dégradation des terres, nous avons fait appel à un Système d'information géographique (SIG) en tant qu'outil d'analyse spatiale et d'aide à la décision.

Le SIG nous a en outre servi d'outil pour acquérir les données spatiales, élaborer une base de données géospatiales géoréférencées, dériver de nouvelles données au moyen de l'analyse spatiale et thématique et produire les cartes correspondantes. Le résultat est une

carte de la sensibilité potentielle à l'érosion des sols qui localise les zones les plus menacées nécessitant la mise en œuvre de moyens de conservation adéquats.

En définitive, ce travail nous a permis :

- de constituer une base de données multi-sources sur la région ;
- de montrer l'importance et l'apport d'un système d'information géographique à la cartographie des zones à risque d'érosion ;
- et d'élaborer des cartes de sensibilité à l'érosion relative à notre zone d'étude.

L'identification des zones présentant une sensibilité potentielle à l'érosion des sols mériterait d'être suivie par d'autres études susceptibles de valider les résultats présentés ci-haut et d'améliorer la prise en compte des paramètres.

Il apparaît également nécessaire de se pencher sur l'influence du couvert végétal et des pratiques agro-sylvo-pastorales.

Références bibliographiques

- LAHLOU A. (1990) *Envasement du barrage Mohamed Ben Abdelkrim Al Khattabi et lutte anti-erosive du bassin versant montagneux situe à l'amont*. Administration de l'Hydraulique, Avenue Hassan BEN Chekroune, Rabat, Maroc, pp.10.
- OBDA K., (1999). *Comportement hydrologique de l'Oued Nekor en période d'étiage*. Revue marocaine historique et culturelle.°2, pp.12.
- LAOUINA A. , CHAKER M. , NACIRI R. et NAFAA R. Méditerranéen conférence : " *L'Erosion et l'aménagement des bassins versants dans les pays méditerranéens* ", 11-15 Sept. 1978. Publié par le Comité National MAB du Maroc avec la contribution de l'UNESCO dans le n°30 de Jan-Fév. 1979 de la revue : "Hommes, terres et eaux" de l'ANAFID.PP.18
- TAILASSANE M. (2007). *L'indice de l'assèchement climatique et de la dégradation du milieu naturel au quaternaire, dans les plateaux atlantiques de la région de Rabat-Salé (maroc)*. Revue de géographie du Maroc, publiée par l'association Nationale des géographes Marocaines, volumes 23, janvier.2007, pp.7.
- AMIL M. (1989). *Bassin versant du nekor. Erosion et lutte contre l'envasement de la retenue du Barrage M.B.A El khettabi (Maroc)*. DEA, univ.Dakar, pp.232..
- ESSALEK ,B : 2012 *SIG et télédétection pour la détermination d'éléments Spatiaux de modélisation des bassins versants :Cas du bassin du Nekor, Maroc*", mémoire de master soutenue au centre régional africaine des études et technologie d'espace en langue française.
- SUTER, G. (1980b): Carte structurale du Rif, 1/500.000. Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc,245b .
- CHALOUAN, A., MICHARD, A, FEINBERG, H., MONTIGNY, R. and SADDIQI O. (2001): The Rif mountain building (Morocco): a new tectonic scenario. Bulletin de la Société géologique de France,172: 603-616.

EXTRACTION PAR TELEDETECTION ET ANALYSE DU RESEAU DES LINEAMENTS DANS LE RIF CENTRAL ET ORIENTAL

Siham MOUSSAOUI et Omar AZZOUZ

Faculté des Sciences, Université Mohammed Premier, Oujda, Maroc-sihamoussaoui@gmail.com

Résumé

Le contexte géodynamique instable de la partie centrale et orientale de la chaîne du Rif est étudié sur la base des données géomatiques et l'imagerie spatiale. Ceci concerne en particulier la caractérisation des déformations néotectoniques qui régissent l'instabilité sismique le long de ces zones littorales méditerranéennes à la limite de confrontation entre les deux plaques africaine et européenne. Dans cette approche, nous avons procédé par un examen systématique de tous les marqueurs morpho-structuraux pour identifier et déterminer l'organisation structurale des failles récentes et actives.

L'objectif visé dans ce travail est de cartographier le réseau de fractures dans notre zone d'étude. L'approche méthodologique adoptée consiste en une extraction des linéaments à partir des images satellitaires de type SRTM d'une résolution de 30m. L'image est filtrée et rehaussée avec 45° comme altitude du soleil, un facteur d'élévation (Z) de 1 et un azimut de 0°, 315° et 345°, ainsi les structures sont mieux visibles en fonction de l'orientation de l'azimut du soleil pour optimiser le nombre de linéaments. Cette technique permet de ressortir toutes les structures du sol qui correspondent aux linéaments

Mots clés : SRTM, linéaments, Analyse, cartographie, Rif central et oriental

EXTRACTION BY REMOTE SENSING AND ANALYSIS OF NETWORK LINEAMENTS IN CENTRAL AND EASTERN RIF

ABSTRACT

The geodynamic context of the unstable central and eastern part of the Rif chain is studied on the basis of geomatics data and space imagery. This concerns in particular the characterization of neotectonic deformations governing seismic instability along the Mediterranean coastal zones in the limit of confrontation between the African and European plates. In this approach, we conducted a systematic review of all morpho-structural markers to identify and determine the structural organization of recent and active faults.

The aim in this work is to map the network of fractures in our study area. The methodological approach consists of an extraction of lineaments from satellite images SRTM type with a resolution of 30m. The image is filtered and enhanced with 45 as the altitude of the sun, a factor of elevation (Z) of 1 and an azimuth of 0°, 315° and 345°, then, the structures are better visible depending on the orientation of the sun azimuth to maximize the number of lineaments. This technique lets out all soil structures that match the lineaments.

Keywords: SRTM, lineaments, analysis, cartography, central and eastern Rif

INTRODUCTION

La partie centrale et orientale de la chaîne du Rif se trouve dans le contexte géodynamique instable à la limite de confrontation entre les deux plaques africaine et européenne. Elle enregistre par ailleurs, une vive activité sismique faible à modérée qui se manifeste de manière disparate le long de ces zones littorales. Les expressions de cette instabilité sismique sont contrôlées directement par l'organisation structurale complexe de ces segments orogéniques. Laquelle est marquée par une jonction partielle de plusieurs bassins néogène et quaternaire séparée par des structures en relief situé en position de horst.

La compréhension de ce contexte sismique passe obligatoirement par la caractérisation de toutes les structures géodynamiques qui régissent l'organisation géométrique de ces bassins néogènes. Dans cette optique, nous avons fait appel aux apports des techniques de la géomatique pour décrire et suivre la disposition des différents accidents régionaux.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le Rif est la région septentrionale du [Maroc](#), bordée par la [mer Méditerranée](#) au nord, l'[Algérie](#) à l'est, le [Moyen Atlas](#) au sud et l'[océan Atlantique](#) à l'ouest. Le Rif peut être subdivisé en trois parties. Le Rif occidental qui s'étend de la péninsule Tingitane jusqu'à la petite région de Ketama. Le Rif central s'étend quant à lui de la région de Ketama jusqu'aux environs de l'oued Kert. Le Rif oriental s'étend de l'oued Kert (Ait Said) jusqu'à la frontière algéro-marocaine.

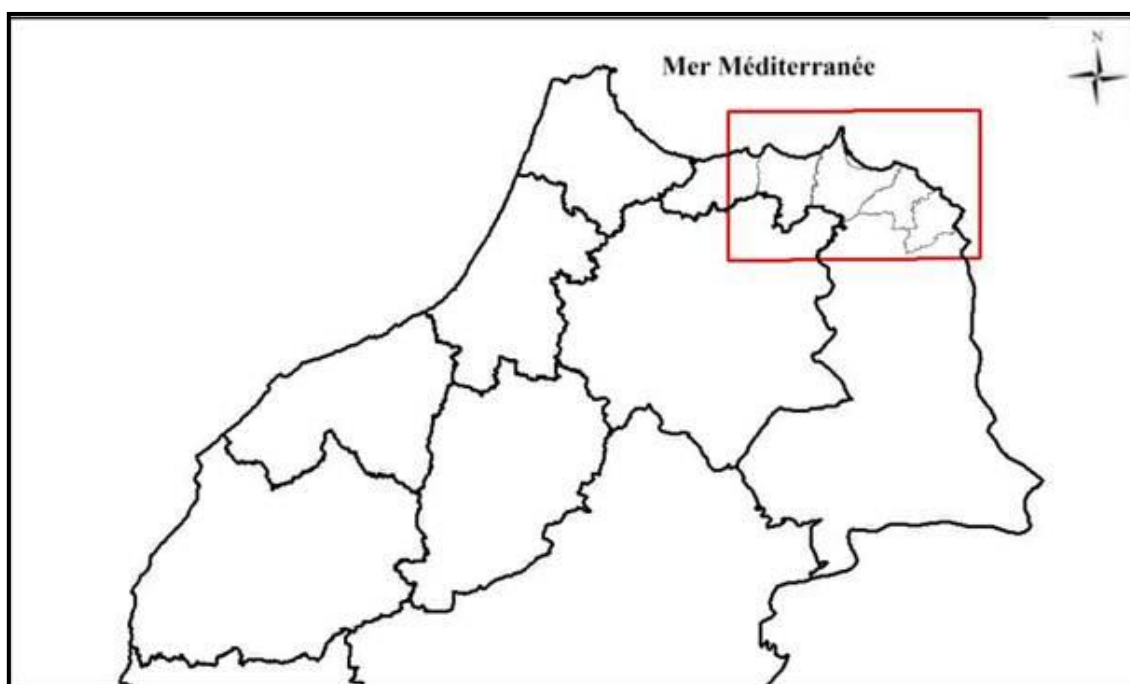


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

2. MATERIEL ET METHODES

Pour notre étude nous avons utilisé une image SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de 30 m de résolution.

Les images SRTM sont des modèles numériques de terrain radar qui représentent explicitement les éléments physiques tels que le réseau hydrographique, les crêtes montagneuses, les ruptures de pentes, les accidents structuraux et leurs rejets apparents ou réels. Dans le cadre de ce travail, l'image est filtrée et rehaussée avec 45° comme altitude du soleil, un facteur d'élévation (Z) de 1 et un azimut de 0° , 315° et 345° , ainsi les structures sont mieux visibles en fonction de l'orientation de l'azimut du soleil pour optimiser le nombre de linéaments. Cette technique permet de ressortir toutes les structures du sol qui correspondent aux linéaments.

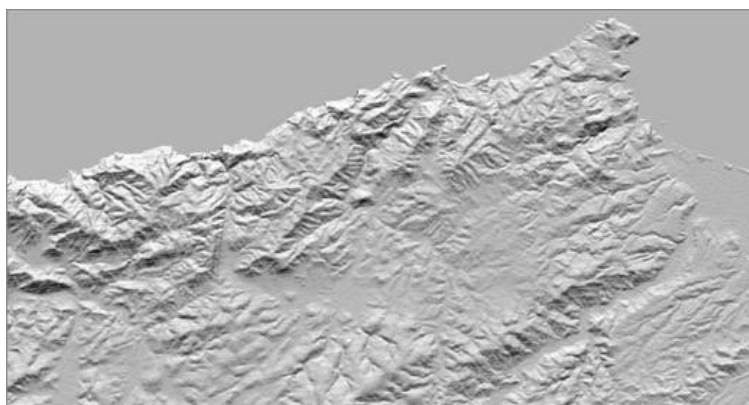


Figure2 : Image d'illumination avec azimut 0° et altitude 45°

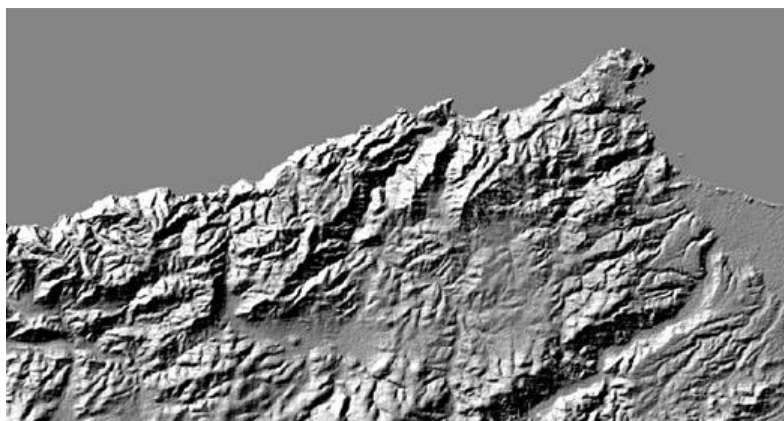


Figure3 : Image d'illumination avec azimut 315° et altitude 45°

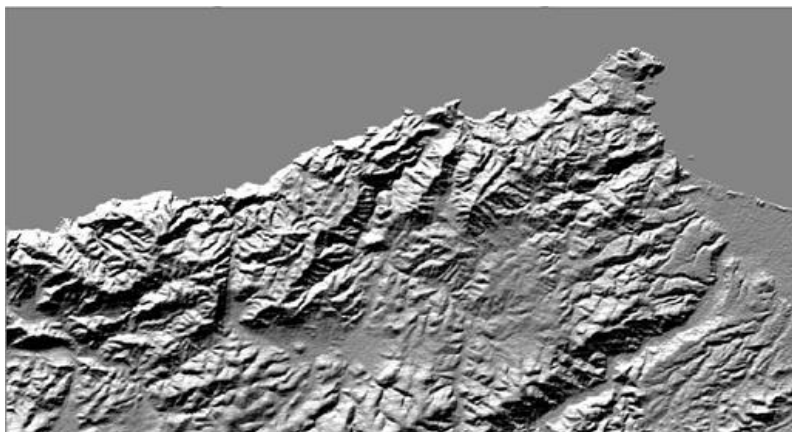


Figure4 : Image d'illumination avec azimuth 345° et altitude 45°

3. RESULTATS ET DISCUSSION

En ce qui concerne notre étude, l'objectif est la détection de toutes les structures linéamentaires pouvant influencer de façon significative l'ensemble de la fracturation de la zone d'étude.

Plusieurs directions des linéaments ont été révélées avec différentes longueurs ; une étude statistique des résultats obtenus est nécessaire pour déterminer les directions préférentielles ainsi que les accidents majeurs qui régissent l'instabilité des terrains dans la zone d'étude.

La vérité du terrain est le moyen le plus fiable pour procéder à la validation des cartes linéamentaires (kouame et al., 1999). les failles d'extension kilométrique sont immédiatement reconnaissables sur le terrain selon Larson (1977). Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé la carte géologique, la carte du réseau hydrographique et des données de terrain. Ces différentes informations ont servi de support pour valider la carte des fractures du secteur exploré.

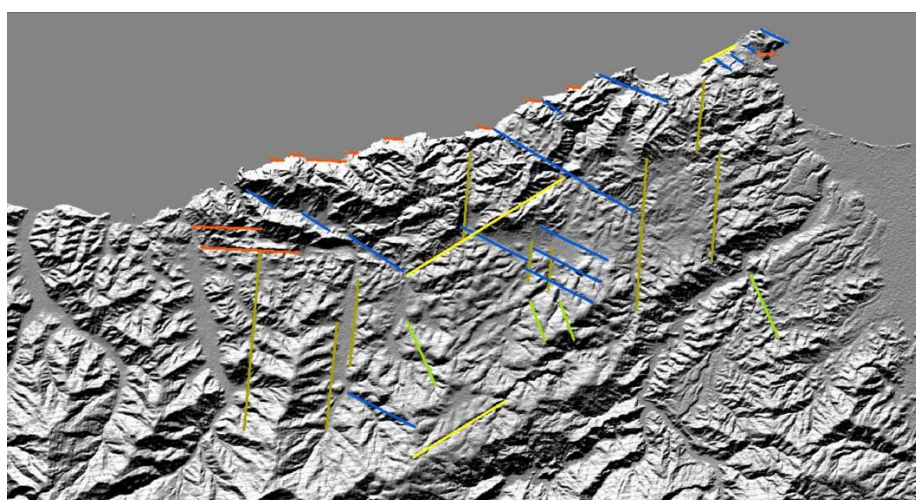


Figure5 : Image des linéaments numérisés

CONCLUSION

Les images filtrées et rehaussées ont servi de support pour l'extraction du réseau de linéaments.

Ce travail est une contribution à une meilleure connaissance du réseau de fractures pour une mise à jour de la carte géologique de la région étudiée en ajoutant les linéaments dérivés des données SRTM.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bi, N. et al., 2015. Extraction par télédétection et analyse statistique du réseau de fractures , en milieu de socle , dans le département de Sinfra (Centre-Ouest de la Côte d ' Ivoire) [Extraction by remote sensing and statistical analysis of fracture network , in substratum area , in the department of Sinfra (center-west of Ivory Coast)]. , 13(1), pp.225–238.**
- Elmahdy, S.I. & Mohamed, M.M., 2016. Mapping of tecto-lineaments and investigate their association with earthquakes in Egypt: a hybrid approach using remote sensing data. , 5705(April).**
- Habib, A. et al., 2013. CONTRIBUTION DES DONNÉES ALOS ET LANDSAT DANS LA CARTOGRAPHIE ET L ' ANALYSE DES LINÉAMENTS DANS LE SAHEL CENTRAL (MAROC OCCIDENTAL). , 203(Figure 1), pp.33–41.**
- KOUAMÉ, K.F., GIOAN, P., BIÉMI, J. & AFFIAN, K. 1999. Méthode de cartographie des discontinuités images satellitaires : exemple de la région semi-montagneuse à l'ouest de la Côte d'Ivoire. Télédétection, 2 : 139156.**
- LARSON I. 1977. Groundwater in hard rocks. International Seminar, groundwater in hard rocks. Stockholm. Cagliari (Italy).**
- Lacina, C., 1996. Interprétation structurale des linéaments par traitement d'image satellitaire : cas des sous- provinces d'abitiibi et d'opatica (québec).**
- Louaya, A. & Hamoumi, N. 2010. Etude morphostructurale de la région de Nador (Maroc nord-oriental). , 17(2), pp.107–127.**
- Martha, T.R. et al., 2013. Geospatial Technologies for National Geomorphology and Lineament Mapping Project – A Case Study of Goa State.**
- Mwaniki, M.W., Matthias, M.S. & Schellmann, G., 2015. Application of Remote Sensing Technologies to Map the Structural Geology of Central Region of Kenya. , 8(4), pp.1855–1867.**
- Ogunmola, J.K., Ayolabi, E.A. & Olobaniyi, S.B., 2014. LINEAMENT EXTRACTION FROM SPOT 5 AND NIGERIASAT-X IMAGERY OF THE UPPER BENUE TROUGH , NIGERIA. , XL(November), pp.17–20.**
- Oubbih, J. et al., 2015. IMPACT DE LA FRACTURATION SUR L ' ARCHITECTURE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE (CAS DE LA REGION DE SMAALA , MAROC CENTRAL HERCYNIE) APPORT DU SIG ET DE LA TELEDETECTION. , 11(3), pp.342–360.**
- Scheiber, T. et al., 2015. Manual extraction of bedrock lineaments from high-resolution LiDAR data : methodological bias and human perception Manual extraction of**

3^{ème} Edition du Colloque International des utilisateurs du SIG. The 3rd International conference of GIS User. Oujda 22-23 Novembre 2016.

bedrock lineaments from high-resolution LiDAR data : methodological bias and human perception. , 5897(November).

UTILISATION DES « SIG » POUR ÉVALUATION DU RISQUE SISMIQUE EN MILIEU URBAIN : APPLICATION A LA VILLE DE CONSTANTINE, NORD-EST DE L'ALGÉRIE

Mouloud HAMIDATOU

Département de Génie Civil, Université 20 Aout 1955 BP 26, Route d'El Hadaiek-Skikda
21000 – Algérie. m.hamidatou@univ-skikda.dz

Centre de Recherche en Astronomie Astrophysique et Geophysique, BP 75 Ain Smara, 25000
Constantine, Algérie. m.hamidatou@craag.dz

RESUME : La ville de Constantine située au Nord de l'Algérie, région à forte sismicité, est classée en zone IIa d'après le Règlement Parasismique Algérien (RPA99 version 2003). De par le passé, la ville a été secouée par plusieurs séismes destructeurs parmi les plus récents ceux du 04 Août 1908 (Ms=5.25), du 6 août 1947(Ms=5.3) et du 25 Octobre 1985(Ms=6.0). Ces événements ont générés des effets désastreux et ont montré la vulnérabilité de notre pays face au risque sismique en raison d'une grande concentration démographique et industrielle existante dans le nord de l'Algérie tel que la ville de Constantine qui constitue à la fois un pôle administratif, industriel, commercial, militaire, universitaire, sportif et sanitaire. A cet effet, et afin de minimiser les effets désastreux d'un probable futur séisme, une évaluation de l'aléa sismique de la ville de Constantine a été effectuée dans cette étude qui consiste à évaluer les accélérations maximales du mouvement du sol au rocher (PGA), obtenues en appliquant des lois d'atténuations adaptées au contexte de la zone d'étude, ainsi que les effets de site lithologiques avec prise en compte la géologie de la région. Parallèlement, une enquête de terrain a été menée pour définir les zones homogènes de bâti pour lesquels un indice de vulnérabilité moyen a été établi à partir de critères constructifs simples. Le croisement de cet indice de vulnérabilité avec le PGA nous a permis alors de calculer un dommage moyen et de produire la distribution de dommage que pourrait produire le séisme de référence choisi. Pour réaliser et visualiser l'impact de vulnérabilité sismique sur la ville de Constantine, des cartes de risques ont été conçues à l'aide d'un système d'information géographique (SIG).

Mots-clés : Aléa sismique, Risque sismique, Vulnérabilité, Dommages, SIG, Constantine.

VULNERABILITY AND IMPACTS OF THE RISKS ASSOCIATED WITH RISING SEA LEVEL ON MARCHICA (NORTHEASTERN MOROCCO)

ABSTRACT: The city of Constantine in the north of Algeria, highly seismic region is classified IIa according to the Algerian Earthquake Regulation (RPA99 2003 version). In the past, the city was rocked by several destructive earthquakes among the most recent ones of 4 August 1908 (Ms = 5.25) of 6 August 1947 (Ms = 5.3) and 25 October 1985 (Ms = 6.0). These events have generated disastrous effects and demonstrated the vulnerability of our countries face the seismic risk due to existing large population and industrial concentration in the north of Algeria as the city of Constantine, which is both a pole administrative, industrial, commercial, military, academic, sports and health. To this end, and to minimize the disastrous effects of a probable future earthquake, an evaluation of the seismic hazard of the city of Constantine was performed in this study is to evaluate the maximum acceleration of the ground motion in rock (PGA) obtained by applying attenuation laws adapted to the context of the study area and site effects lithological taking into account the geology of the region. Meanwhile, a field survey was conducted to define homogeneous zones frame for which an average vulnerability index was developed from simple constructive criteria. The crossing of this vulnerability index with the PGA allowed us then to calculate an average damage and produce distribution shame that could produce the reference earthquake selected. To realize and visualize the seismic vulnerability of impact on the city of Constantine, risk maps were developed using a geographic information system (GIS).

Keywords: seismic hazard, seismic risk, vulnerability, Damage, GIS, Constantine.

INTRODUCTION

Les séismes font partie des phénomènes naturels les plus destructeurs et meurtriers ayant fait au siècle dernier plus de 2 millions de victimes. Même dans les régions à sismicité modérée (Saad 2006), comme c'est le cas du nord de l'Algérie (Yells 1993), cet aléa peut entraîner de sérieux dommages. La prédiction des séismes n'étant pas possible actuellement, seulement la prévention peut réduire les pertes éventuelles. A cet effet, l'évaluation de la vulnérabilité sismique dans une région s'impose afin de protéger efficacement celles-ci en édifiant des constructions bien adaptées. Il existe différentes méthodes permettant l'estimation de la vulnérabilité sismique des structures (Duval 2007). Parmi ces méthodes nous pouvons citer la méthode RISK-UE (RISK-UE 2003), RADIUS (RADIUS 1996) et HAZUS (NIBS 1997). Ces méthodes s'appliquent essentiellement pour des centres urbains. D'autres méthodes s'appliquant à une échelle plus réduite (celle du bâtiment) existent, mais nécessitent un temps de calcul important (analyse sismique non linéaire) (AFPS 2005). Il existe une méthode intermédiaire appelée la méthode de l'indice de vulnérabilité qui s'applique à l'échelle d'un bâtiment. Cette méthode diffère dans la précision et les moyens mis en œuvre. La méthode choisie dépend de l'objectif visé de l'évaluation ainsi que de la disponibilité des données. Nous présentons ainsi dans cette étude une évaluation du risque sismique dans trois quartiers (Cilloc-Bellvue, Coudia et la Vieille Ville) de la ville de Constantine. Le risque est estimé en termes de dommages aux bâtiments. La méthode utilisée repose volontairement sur des données de base très simple d'acquisition et peu d'intervention sur le terrain.

L'analyse se fait à partir d'une reconnaissance géologique et géomorphologique sommaire ainsi qu'une carte géologique numérisée et une analyse simplifiée de la vulnérabilité sismique par l'intermédiaire de la méthode VULNERALP niveau 1.0 pour calculer des indices de vulnérabilités dans les trois quartiers.

1. Description de la zone d'étude

La région étudiée s'étend sur environ 60 km de rayon à partir du centre de l'agglomération de la ville de Constantine. Elle correspond administrativement au périmètre de la wilaya de Constantine et celui de certaines circonscriptions administratives des wilayas de Mila, d'Oum El Bouagui, de Skikda et de Guelma (Figure 1). En effet, il est admis dans ce genre d'études que toutes les sources sismiques localisées à moins de 50 km d'un site donné peuvent y engendrer des effets plus ou moins importants sur les structures et les sols.



Figure 1. Carte de situation du secteur d'étude

2. MATERIEL ET METHODES

L'évaluation de la vulnérabilité sismique implique l'estimation des conséquences d'un tremblement de terre dans la région choisie en termes de dommages aux constructions, ce qui nécessite deux informations : le niveau d'aléa (les accélérations maximales du mouvement du sol) et la vulnérabilité des éléments exposés (Herve et al. 2007). La méthode utilisée dans cet article (Figure 2) repose sur l'évaluation des accélérations maximales du mouvement du sol et des conséquences de la vibration du sol sur les bâtiments. Pour cela, une classification sommaire des conditions des sols est effectuée pour assigner à chaque zone homogène repérée un facteur d'amplification de l'accélération maximale du sol (PGA) permettant de prendre en compte les effets de site lithologiques. Parallèlement, une visite sur terrain permet de déterminer des zones regroupant des constructions pour bien évaluer succinctement leur vulnérabilité moyenne à la sollicitation sismique au sein de chaque zone (Bastet et al. 1985).

Dans l'approche déterministe, à partir du séisme de scénario choisi, les accélérations maximales au rocher sont déduites des lois d'atténuations (Ambraseys et al. 1996), (Douglas 2001). Ces accélérations sont alors multipliées par un facteur d'amplification attribué à chaque point de la zone d'étude de manière à obtenir l'accélération maximale en surface en tenant compte des effets de site lithologiques. Par ailleurs, pour les constructions, un taux de dommage moyen est estimé en croisant l'indice de vulnérabilité moyen des zones EMS-98 (DTR-BC 2003), (EMS98 2001), ainsi que le calcul de la vulnérabilité par construction par la méthode VULNERALP niveau 1.0.

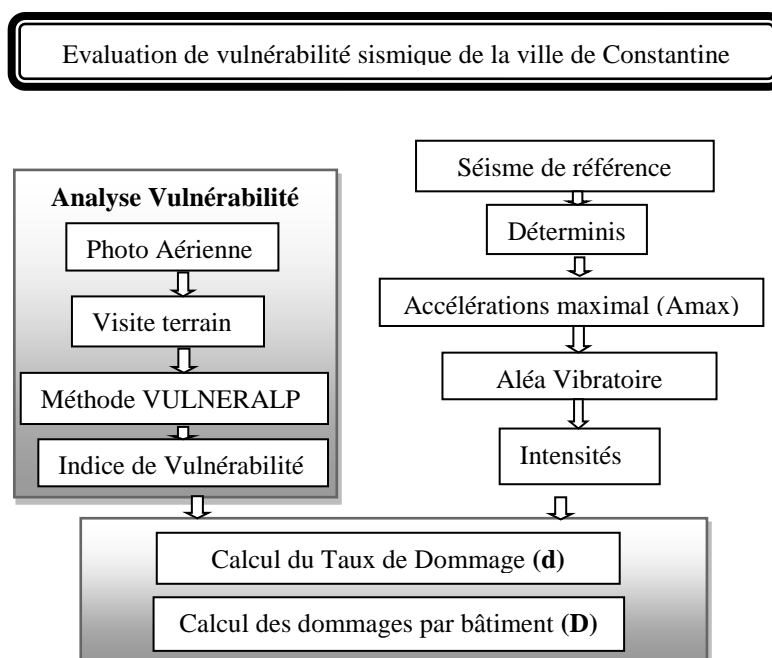


Figure2. Principe de la méthode

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Trois zones décrivent la ville de Constantine. Le premier correspond au centre de la ville Coudia comme un quartier administratif, le second à un quartier Bellevue-Cilloc, le troisième entoure la Vieille-ville. La vulnérabilité de ces zones a été estimée à partir de l'analyse des bâtiments. Comme on pouvait se l'attendre, c'est la vieille ville qui présente la plus forte vulnérabilité. Les indices de vulnérabilité moyens sont assez proches d'une zone à l'autre : ils varient entre 52 et 69. Dans la Vieille-ville, l'indice de vulnérabilité moyen est estimé à 69 contre 59 pour la zone de Coudia et 52 à l'intérieur de Bellevue Cilloc.

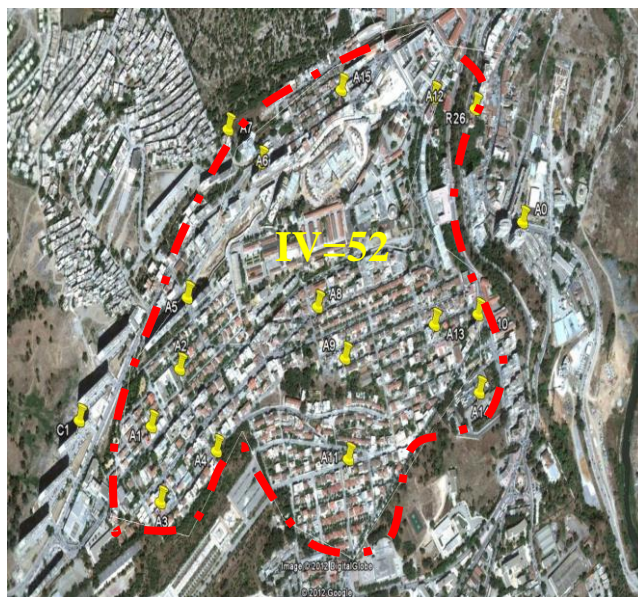


Figure 3. Exemple de délimitation de la zone Bellevue-Cilloc (trait en rouge discontinu) indices de vulnérabilité moyenne IV=52

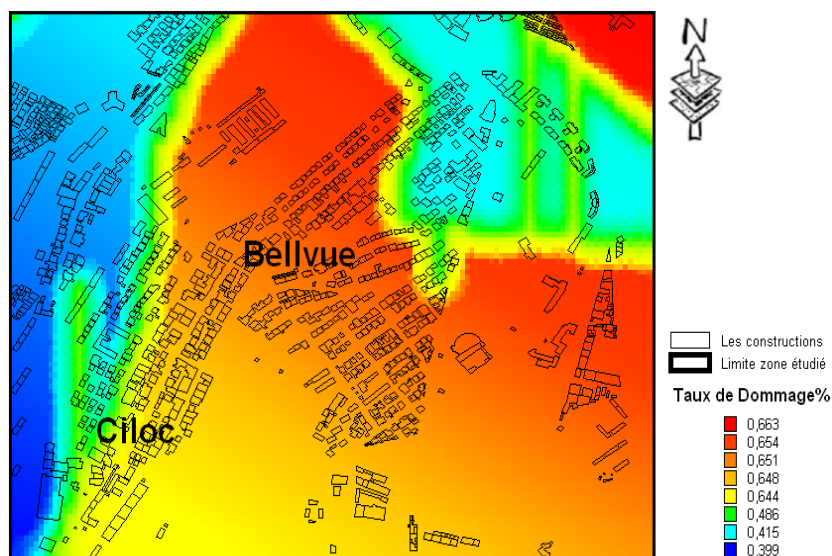


Figure 4. Taux de dommage moyen et répartition des dommages selon les degrés de l'échelle EMS-98 à Bellevue-Cilloc

L'utilisation d'un système d'information géographique nous a permis de croiser la vulnérabilité des quartiers (Bellevue-Cilloc, Coudia et la Vieille- Ville) avec l'accélération maximale du sol. Nous pouvons ainsi cartographier le taux de dommage (figure 4). Les taux que nous obtenons varient : dans la zone de Bellevue-Cilloc de 0,399 à 0,663, dans la zone de Coudia de 0,501 à 0,738 et - dans zone de la Vieille- Ville de 0,634 à 0,793. On remarque que les taux de dommage les plus élevés se situent dans la Vieille Ville revient à l'ancienneté des constructions qui datent des années 1900.

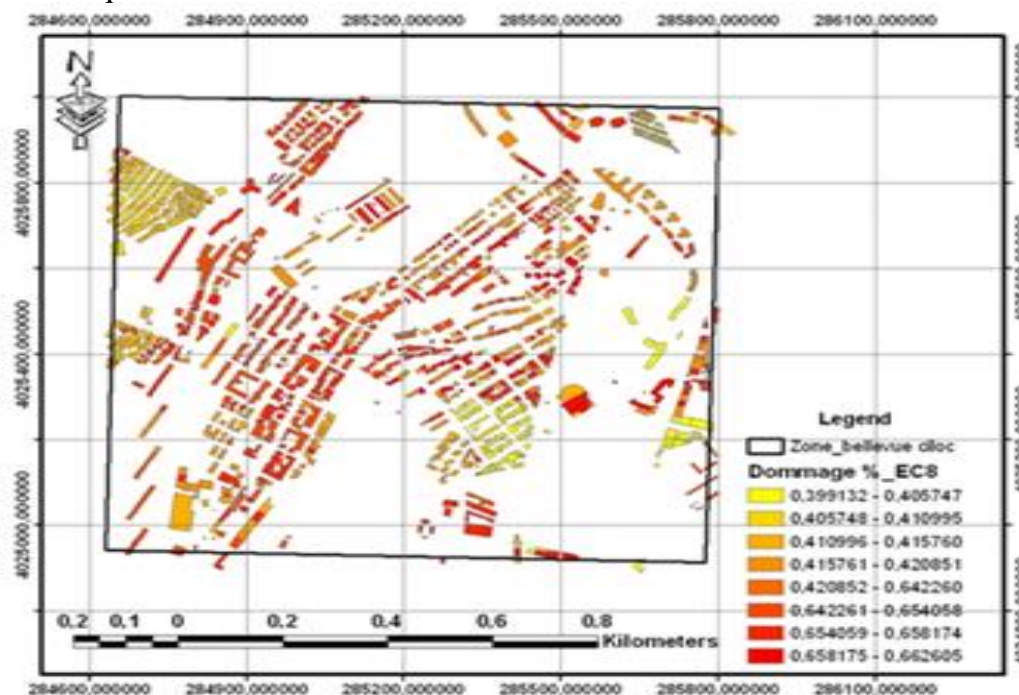


Figure 5. Evaluation des dommages par bâtiment Bellevue-Cilloc

CONCLUSION

Les évaluations de vulnérabilité sismique sont des activités prioritaires dans tous les pays où la menace est jugée réelle. L'objectif final est d'assurer la sécurité publique en cas de séisme, c'est-à-dire d'éviter les dégâts structurels importants et les pertes considérables en vies humaines. Les dégâts sont acceptables, mais ils doivent être limités. Dans ce travail nous avons présenté le processus de l'évaluation déterministe de l'aléa sismique en un site donné, selon la méthode proposée par (modifié de SISROUTE). Ensuite, nous avons appliqué ce processus sur la région d'étude.

Ce travail présente une méthodologie pour la réalisation d'une évaluation des conséquences des séismes futurs dans les zones urbaines. Les résultats sont générés sous la forme de cartes dans la région de Constantine. La réalisation du scénario sismique comprend le croisement des données de l'aléa (accélérations maximales du mouvement du sol) avec la vulnérabilité des éléments exposés. Donc, il est important que les différentes données soient bien structurées pour être prise en compte correctement dans un outil SIG. D'autre part, malgré une vulnérabilité assez élevée, les dommages estimés sont assez modérés. Une analyse plus poussée permettrait d'estimer les coûts économiques ainsi que les préjudices humains.

Références bibliographiques

- SAAD A, (2006). Aléa et scénario de risque sismique dans la vallée de la vallée de la tinée, laboratoire de Nice.
- YELLES C, (1993). Sismicité en Algérie en tectonique des plaques, Algérie Equipement, Janvier 1993, pp 19-28.
- DUVAL A.M (2007). Des effets de site aux scénarios de crise sismique méthode and application », Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- RISK-UE, (2003). An advanced approach to earthquake risks scenarios with applications to different European towns, WP4: Vulnerability of current buildings, EVK4.
- RADIUS, (1996). OYO Corporation, RADIUS methodology, IDNDR.
- NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, (1997). Hazards risk assessment program», USA.
- GROUPE AFPS, (2005).Vulnérabilité sismique du bâtis existant : approche d'ensemble », Document de travail version 2.2, France.
- HERVE P., JEAN-CLAUDE B., FREDERIC M, (2007). Séisme et risque sismique, approche sismotectonique, 285-289, Belgique.
- BASTET J.C., DOORY J.L., DVRVILLE J.L, (1985). Simulation de l'action d'un séisme à l'échelle d'une ville et de la région », Presses de l'Ecole des Ponts et Chaussées,1021-1032.
- AMBRASEYS, N. N., SIMPSON, K. A., & BOMMER, J. J, (1996). Prediction of horizontal response spectra in Europe. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25(4), 371–400.
- DOUGLAS J, (2001). A comprehensive worldwide summary of strong-motion attenuation relationships for peak ground acceleration and spectral ordinates (1969 to 2000), Civil and Environmental Engineering Dept., Imperial College, London, ESEE research report 01-1.
- DTR-BC 248, (2003) Règles parasismiques Algériennes 1999 - Version 2003, CGS, Alger.
- EMS98, (2001). L'Echelle Macrosismique Européenne 1998, Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 19, 2001.

VULNERABILITE SISMIQUE AU NORD DU MAROC : APPLICATION DES S.I.G. POUR L'EVALUATION SISMIQUE DES BATIMENTS EXISTANTS EN UTILISANT LA METHODE JAPONAISE

CHERIF Seif-eddine¹, CHOURAK Mimoun², NOBUOTO Nojima³, ABED Mohamed⁴

¹Faculté des Sciences, Université Mohammed Premier, Maroc

²Ecole Nationale des Sciences Appliquées, Université Mohammed Premier, Maroc

³Département de Génie Civil, Université de Gifu, Japon

⁴Université de Blida, Algérie

RESUME : La norme japonaise pour l'évaluation sismique des bâtiments existants en béton armé (2001) a été adaptée et appliquée aux constructions dans la région nord du Maroc. La région a souffert ces dernières années de plusieurs séismes destructeurs, engendrant de nombreuses victimes et d'énormes dégâts, il s'est alors révélé nécessaire de s'intéresser au risque sismique et plus particulièrement, à la vulnérabilité des bâtiments existants dans la zone. La norme japonaise a été choisie parce qu'elle fournit des résultats précis dans le cas où les constructions sont en béton armé et de faible hauteur, ce qui est le cas pour la majorité des bâtiments au nord du Maroc. Cependant, de nombreuses modifications ont été considérées pour adapter la norme aux caractéristiques des constructions marocaines et ont été appliquées à 4180 bâtiments existants dans les villes d'Al Hoceima et d'Imzouren. Les résultats montrent qu'un pourcentage important des bâtiments présente une vulnérabilité sismique élevée. Les cartes élaborées peuvent être un guide potentiel pour la prise de décision dans le domaine de la prévention et protection des bâtiments contre les tremblements de terre et pour l'atténuation des risques sismiques.

INTRODUCTION :

La région du Rif est considérée parmi les zones les plus actives sismiquement au Maroc. Elle a connu récemment plusieurs tremblements de terre, parfois très destructeurs, ce qui est le cas des séismes de 1994 et 2004. Dans la nuit du 24 Février 2004, un tremblement de terre de 6,3 en magnitude a secoué la ville et les communautés environnantes, causant 629 morts, 966 blessés et 15 600 personnes sans-abri (Tahayt et al. 2009). Cette activité sismique est due à la convergence des plaques eurasienne et africaine (Casado et al. 2004). Malgré le fait que l'activité sismique au nord du Maroc est relativement modérée, la vulnérabilité sismique des bâtiments est élevée. Par conséquent, des dégâts immenses peuvent être prévus même si l'activité sismique n'est pas très élevée.

On a utilisé la méthode japonaise pour l'évaluation des bâtiments en béton armé à faible élévation, existants dans les villes les plus importantes de la région du nord. La méthode se base sur l'estimation d'un indice de performance sismique du bâtiment en se reportant au calcul des structures et des investigations faites sur site.

Le but de cette étude est d'élaborer des cartes de risque sismique, en se basant sur l'évaluation de l'aléa sismique et de la vulnérabilité sismique des bâtiments étudiés. Les résultats de cette étude permettront une meilleure évaluation de risque dans la région du nord et une meilleure stratégie de mitigation dans le cas d'occurrence d'un tremblement de terre

REGION D'ETUDE :

Les sites choisis pour cette étude sont les villes d'Al Hoceima et d'Imzouren. Les deux villes ont été récemment fondées (20^{ème} siècle); cela explique notamment l'absence de Medina et le fait que presque tous les bâtiments sont des structures en béton armé (B.A.). Selon les statistiques officielles du Maroc en 2004, un type de logements prédomine dans la ville, la

maison marocaine moderne. Cette dernière est souvent une structure en béton armé avec deux à trois étages.

Al Hoceima :

La ville d'Al Hoceima est située sur la côte nord-est du Maroc (Méditerranée), sur la chaîne rifaine caractérisée par un terrain d'une pente allant de 10% à 40%. Selon les statistiques officielles de 2014, la ville comptait 56 666 habitants et 11 554 bâtiments résidentiels. Comme la plupart des villes marocaines, Al Hoceima dispose d'un centre-ville entouré de quartiers résidentiels. Ce dernier est relativement le quartier le plus ancien de la ville, où on retrouve des bâtiments qui ne sont pas tous similaires, car la zone connaît de nombreuses reconstructions. En fait, de nombreux bâtiments conçus avec les dernières normes du règlement parasismique sont situés à proximité de vieilles constructions ne possédant pas les normes de construction de base. On a étudié les caractéristiques structurelles et géométriques de 1102 bâtiments répartis sur toute la ville. Ce nombre représente environ 10% du nombre total des bâtiments résidentiels.

Imzouren :

Imzouren est une ville située dans la province d'Al Hoceima sur la côte nord du Maroc. Quasiment aussi importante qu'Al Hoceima, Imzouren a des caractéristiques constructives différentes. Selon les statistiques officielles de 2004, la ville comptait 26.474 habitants et 5.147 bâtiments résidentiels. C'est une ville où, récemment, l'argent de l'émigration en Europe a été investi en de multiples bâtiments de RdC + 2, 3 ou 4 niveaux (Goula et al. 2004). Ce sont des bâtiments à système portique poteau-poutre en béton armé avec remplissage en maçonnerie. 3077 bâtiments répartis sur toute la ville ont été étudiés, ce qui représente environ 60% du nombre total des bâtiments résidentiels.



Figure 1 : bâtiments inspectés lors de cette étude, villes d'Al Hoceima (à gauche) et d'Imzouren (à droite)

METHODOLOGIE :

L'évaluation de la performance sismique des bâtiments existants en béton armé a été réalisée depuis 1975 en utilisant la Méthode japonaise de l'indice sismique (JBDPA 1990). Trois niveaux d'investigation sismiques sont proposés pour estimer la performance sismique d'un bâtiment, avec des résultats plus fiables avec chaque niveau d'investigation. La performance

sismique du bâtiment est représentée par un indice de performance sismique I_S qui doit être calculé pour chaque étage et pour chaque direction du portique, en utilisant l'équation suivante:

$$I_S = E_0 \cdot S_D \cdot T$$

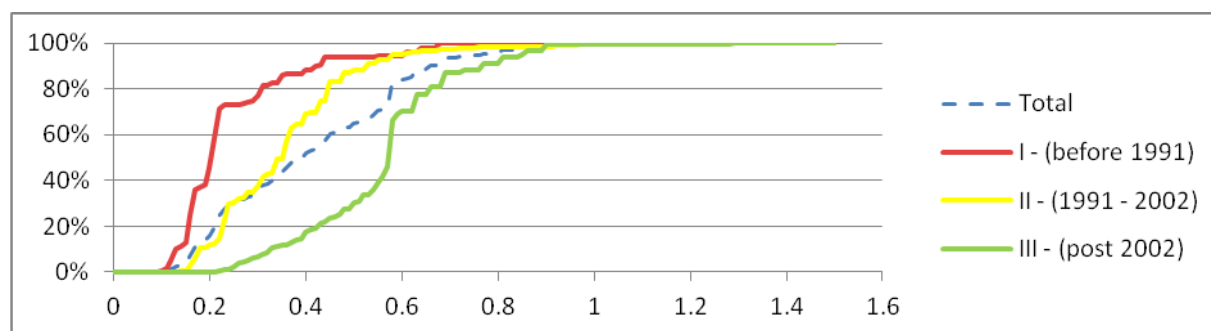
où E_0 est l'indice de performance de base, S_D est l'indice de la conception de la structure et T est l'indice de la dégradation du bâtiment. La méthode de calcul de E_0 est liée au calcul du produit d'un indice de résistance ultime C et d'un indice de ductilité F , tout en considérant le mode de rupture, le nombre total d'étages et la position de l'étage inspecté. L'indice S_D représente l'influence de l'irrégularité, la concentration de masse et rigidité d'une structure sur sa performance sismique, et l'indice T prend en compte l'influence de la détérioration et de la fissuration du bâtiment. Une fois l'indice de performance sismique I_S calculé, il doit être comparé à l'indice de demande sismique de la structure I_{S0} pour déterminer si le bâtiment peut être considéré «sécurisé» (par exemple, si $I_S > I_{S0}$). Il y a trois possibilités en fonction des valeurs de I_S et I_{S0} :

- $I_S \geq I_{S0}$: Correspond à une faible vulnérabilité pour les trois niveaux d'investigation,
- $I_S \ll I_{S0}$: Correspond à une vulnérabilité élevée qui requiert un renforcement ou une reconstruction de la structure
- $I_S < I_{S0}$: est une condition incertaine et nécessite une évaluation plus détaillée à l'aide du niveau supérieur d'investigation ou en optant pour une analyse dynamique non-linéaire.

L'adaptation de la méthode au contexte de la construction marocaine consiste en ajustant l'indice E_0 aux caractéristiques des matériaux de construction locaux (béton et acier) et aux méthodes de construction dans la région. Egalement, on a considéré 36 modèles de bâtiments dépendamment du nombre d'étage, du règlement parasismique suivi et la période de construction pour estimer l'indice E_0 , vu que la détermination exacte de la capacité et ductilité des bâtiments requiert une investigation interne de chaque bâtiment, ce qui est quasiment impossible.

RESULTATS :

Les résultats sont représentés sous forme de schémas et cartes des villes mettant en évidence les valeurs d'indice de performance sismique I_S et les facteurs l'influençant le plus. Les résultats montrent évidemment que la période de construction des bâtiments et le respect de la réglementation parasismique (R.P.S. 2000) sont des facteurs très importants ayant une influence directe sur les résultats comme le montrent les figures 2 et 3.



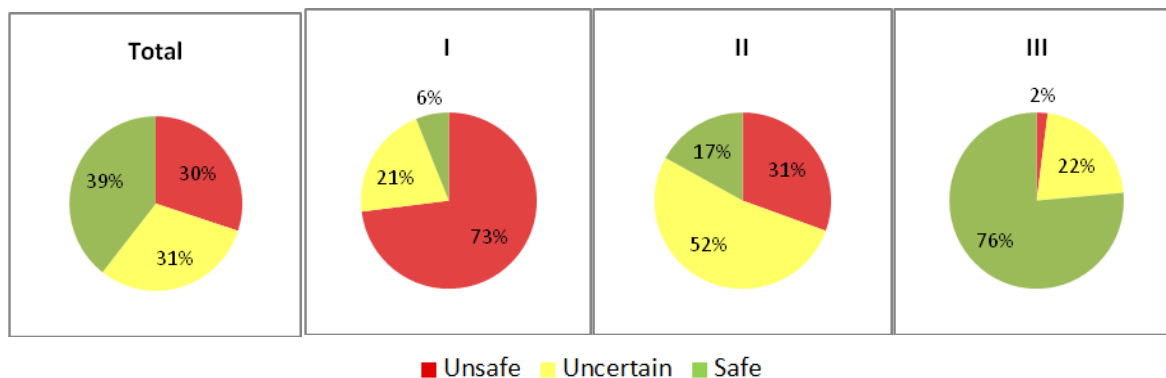


Figure 2 : Indice de performance sismique pour les bâtiments à différentes périodes de construction

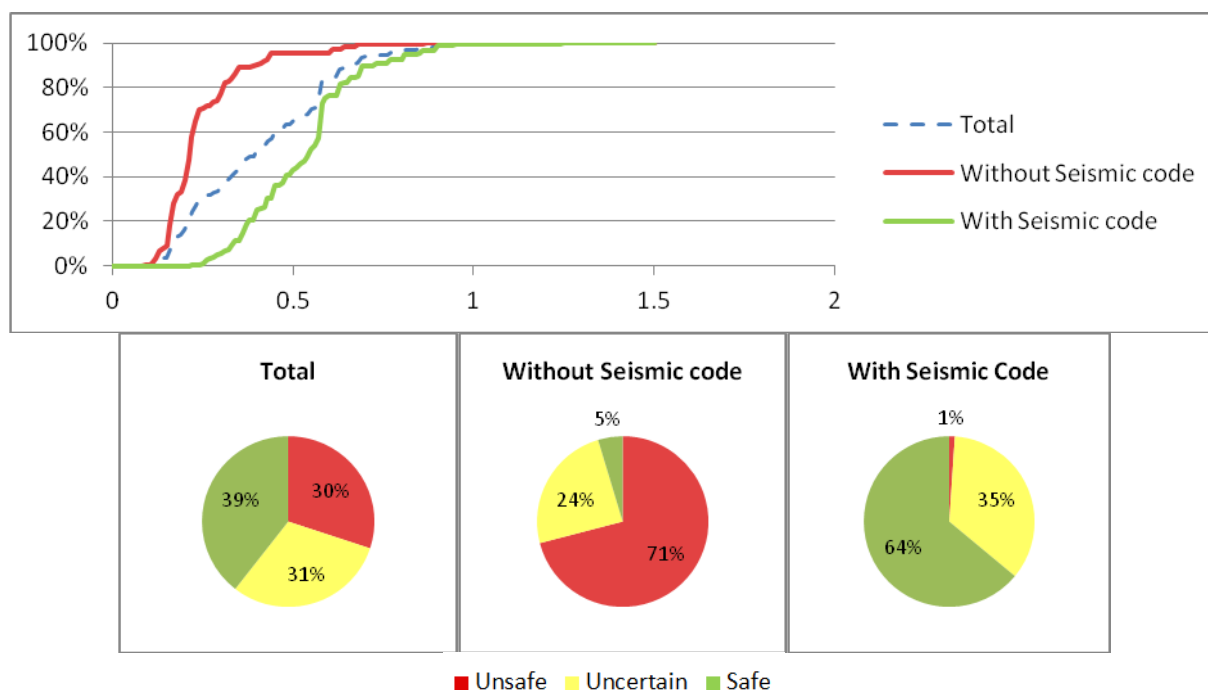


Figure 3 : Indice de performance sismique pour les bâtiments suivant ou non la réglementation parasismique

La figure 4 montre les valeurs d'indice de performance sismique dépendamment du nombre d'étages. On remarque que la marge d'incertitude est très élevée pour les bâtiments à haute élévation dans les villes (5 ou 6 étages). Ainsi, la méthode montre ses limites au fur et à mesure que le nombre d'étages augmente, ce qui requiert une étude plus approfondie pour ce type de bâtiments. Concernant les bâtiments à faible élévation, les bâtiments ayant un seul niveau (Rez-de-chaussée) sont les constructions les plus sécurisés (absence d'irrégularités – formes géométriques simples et régulières). Par contre, les bâtiments R+1 et R+2 sont les plus vulnérables (35% et 38% des bâtiments insécurisés ou en danger respectivement) vu qu'une grande partie de ces structures ont été construites avant 1990 et ne respectent pas la réglementation parasismique.

La figure 5 montre les valeurs d'indice de performance sismique pour les 2 villes. Dans le cas d'Al Hoceima, les bâtiments les plus vulnérables sont localisés dans les quartiers Mirador Haut et Mirador Bas, même si les bâtiments inspectés ne donnent pas une estimation

représentative de l'ensemble des bâtiments résidentiels de la ville. Concernant la ville d'Imzouren, les résultats sont beaucoup plus représentatifs comme le montre la figure (à droite), et l'indice I_s est moins élevé dans la partie Est de la ville.

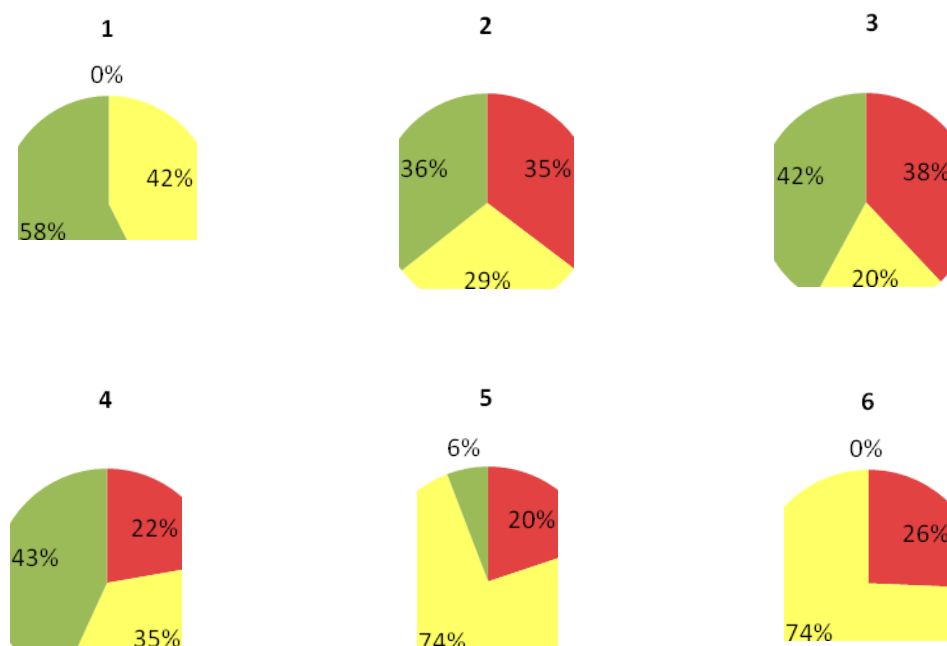


Figure 4 : Indice de performance sismique pour les bâtiments à différents étages

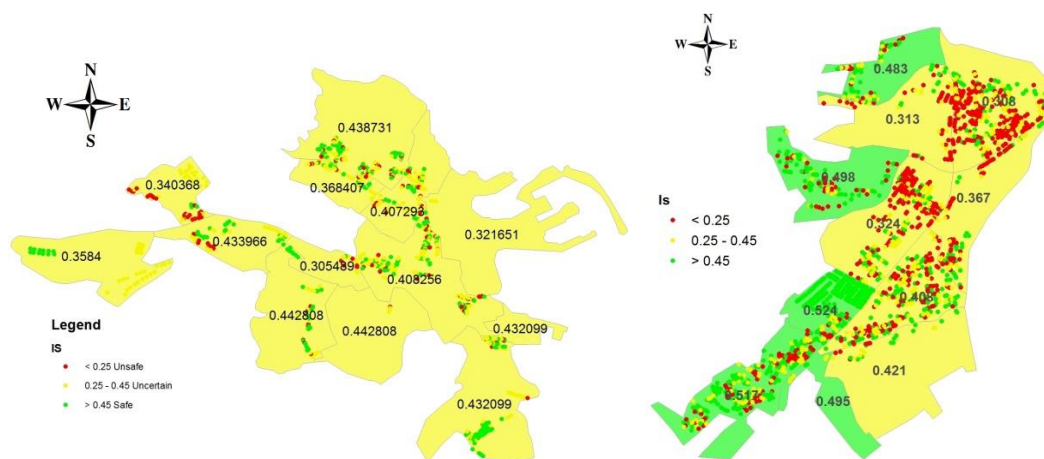


Figure 5 : Représentation des valeurs de I_s pour les villes d'Al Hoceima (à gauche) et d'Imzouren (à droite)

CONCLUSION ET PERSPECTIVES:

La méthode japonaise pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments en béton armé à faible élévation a été adaptée au contexte de la construction marocaine en :

- Changeant l'équation de l'indice E_0 et l'adaptant aux matériaux de construction utilisés au Maroc
- Modifiant les indices S_D et T selon les aspects et irrégularités répandus nationalement

L'aspect vulnérabilité a été évalué avec succès, cependant l'étude requiert l'introduction d'un autre indice de demande *I_{so}* pour tenir compte :

- De l'activité sismique et l'intensité sismique dans la région d'étude
- Des facteurs de modification prenant en compte les effets d'amplification du site, les conditions géologiques et l'interaction sol-structure
- Du facteur d'importance du bâtiment

BIBLIOGRAPHIE:

Casado CL, Henares J, Badal J, Peláez JA (2014) Multifractal images of the seismicity in the Ibero-Maghrebian region (westernmost boundary between the Eurasian and African plates). *Tectonophysics* 627 (2014) 82–97

Goula X, Gonzalez M (2004) Visite technique à la zone endommagée par le séisme d'Al-hoceima du 24 février 2004. Generalitat de Catalunya. Institut Cartografic de Catalunya, ICC-GS-192/2004 (fr)

JBDPA (1990) "Standard for Seismic Capacity Assessment of Existing Reinforced Concrete Buildings", Japanese Building Disaster Prevention Association, Ministry of Construction, Tokyo, Japan.

R.P.S. – 2000 (2011) Règlement de construction parasismique (R.P.S. 2011) (applicable aux bâtiments). Secrétariat d'Etat à l'Habitat, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement, Royaume du Maroc

Tahayt A, Feigl KL, Mourabit TL, Rigo A, Reilinger R, McClusky S, Fadil A, Dorbath L, Serroukh M, Gomez F, Ben Sari D, Berthier E (2009) The Al Hoceima (Morocco) earthquake of 24 February 2004, analysis and interpretation of data from ENVISAT ASAR and SPOT5 validated by ground-based observations. *Remote Sensing of Environment* 113 (2009) 306–316. doi:10.1016/j.rse.2008.09.015

UTILISATION DE SIG POUR LA CARACTERISATION DE LA VULNERABILITE ET LA SENSIBILITE A LA POLLUTION DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINES. APPLICATION A LANAPPE DE TURONIEN (REGION Ouakda, Béchar)

BADAOU Imane⁽¹⁾, TAMALI M⁽²⁾, MEKKAOU I A.

Laboratoire des Etudes Energétiques en Zones Aride ENERGARID⁽¹⁾, BP 417, Université « TAHRI Mohamed » Béchar. Algérie.

emyhydro@gmail.com

Résumé : Une nouvelle méthodologie est proposée pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine libres. Cette méthodologie constitue une amélioration de la méthode DRASTIC, universellement utilisée. La vulnérabilité à la pollution est basée uniquement sur les paramètres relatifs à la recharge, au sol (pente et nature) et à la zone non saturée (faciès et épaisseur) de l'aquifère. La sensibilité à la pollution est basée uniquement sur les paramètres propres à la zone saturée : vitesse de l'écoulement de et qualité de l'eau et productivité de la nappe. La vulnérabilité sensibilité (ou vulnérabilité globale) est basée sur les paramètres relatifs à la fois à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère.

Cette méthodologie a été appliquée à la nappe turonienne région de Ouakda, l'une des plus importantes nappes de Ouakda. Les résultats ont montré que cette nappe est caractérisée par une vulnérabilité et sensibilité globalement moyenne à faible. Les champs captant d'eau potable sont par contre situés dans des secteurs de moyenne à forte vulnérabilité et sensibilité à la pollution, leur protection par des périmètres de protection rapprochée et éloignée est recommandée dans les plus brefs délais.

L'application de la méthodologie développée a nécessité la mise en place d'un Système d'Information Géographique, avec les logiciels MapInfo et Arcgis. Ce SIG, synthétisant une masse de données (géologiques, hydrogéologiques, géophysiques, etc.) considérable, constitue un véritable outil d'aide à la décision pour les gestionnaires des ressources en eau de la région de Ouakda.

Mot clé : Vulnérabilités, DRASTIC, Turonienne, SIG, ZONE ARIDE

Abstract

A new methodology is proposed for the characterization of vulnerability and sensitivity to pollution of groundwater aquifers free. This methodology is an improvement of the DRASTIC method universally used. Vulnerability to pollution is based only on parameters related to the charging floor (slope and type) and the unsaturated zone (facies and thickness) of the aquifer. Sensitivity to pollution is based solely on the parameters for the saturated zone: speed flow and water quality and productivity of the web. Vulnerability sensitivity (or overall vulnerability) is based on the parameters related to both the unsaturated zone and the saturated aquifer area.

This methodology has been applied to the web TuronianOuakda region, one of the most important layers of Ouakda. The results showed that this layer is characterized by an overall average sensitivity and vulnerability to low. The catchment areas of drinking water are located in areas against medium to high vulnerability and sensitivity to pollution, protection of perimeters and remote close protection is recommended as soon as possible. The application of the developed methodology required the establishment of a Geographic Information System, with MapInfo and ArcGIS software. This GIS summarizing a mass of data (geological, hydrogeological, geophysical, etc.) considerable, is a real tool for decision support for management of water resources in the region of Ouakda.

Keyword: Vulnerabilities, DRASTIC, Turonian, GIS, ARID ZONE

1-Introduction

La protection des eaux souterraines est l'une des questions les plus préoccupantes tant au niveau de l'exploitation de la ressource qu'à celui des impacts sur la santé humaine. La préservation de la qualité de l'eau souterraine est d'autant plus importante du fait que cette ressource, une fois contaminée, devient inappropriée pour la consommation humaine. Le problème devient plus grave pour les zones à ressources en eaux d'importance capitale et limitée, comme c'est le cas pour la région de Béchar. En effet, les eaux souterraines de la région d'Ouakda (nappe turonienne) représentent une ressource d'importance pour l'alimentation en eau potable de la ville de Béchar, qui compte plus de 200 000 habitants (DPAT, 2015). La protection de cette ressource devient alors primordiale afin de sauvegarder, à moyen et à long terme, sa qualité. Le développement industriel et agro-industriel dans cette région augmente la menace de pollution des eaux souterraines. Or, les acteurs de l'eau de la région de Béchar manquent d'outil d'aide à la prise de décision en matière d'aménagement

leur permettant de tenir compte des risques encourus par les eaux souterraines. Consciente de cette carence, le présent travail initie cette contribution scientifiques de cartographie sous forme de SIG, en s'appuyant sur la méthode DRASTIC. On vise essentiellement à cartographier la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines dans la région d'Ouakda, partie amont de la nappe turonienne de Béchar.

2. Présentation générale de la zone d'étude

La région d'Ouakda se rattache à la ville de Béchar, chef-lieu de la wilaya n°8. Cette ville est la plus importante dans le Sud-Ouest algérien, qui se situe à environ de 950km au sud-Ouest de la capitale Alger. Cette région se trouve:

Au Nord-Est du centre-ville de Béchar, à environs de 6km, elle admet arbitrairement les limites suivantes.

- Au Nord et Nord-Est : région de Toumiat et région de Bel Houari.
- A l'Ouest : le quartier Seban ((Hai El Feth).
- Au Sud : Oued Tigleiene.

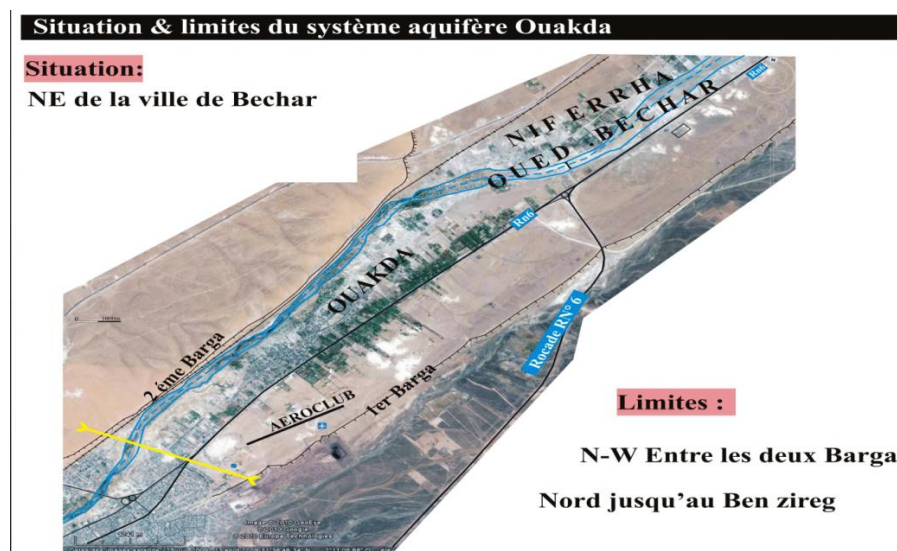


Figure 1 : Localisation du site d'étude

3. Matériel et Méthode

Le matériel utilisé pour l'élaboration de la carte de vulnérabilité à la pollution est constitué de :

- données cartographiques (topographique et géologique);
- données piézométriques ;
- fiches techniques des forages ruraux de la région.

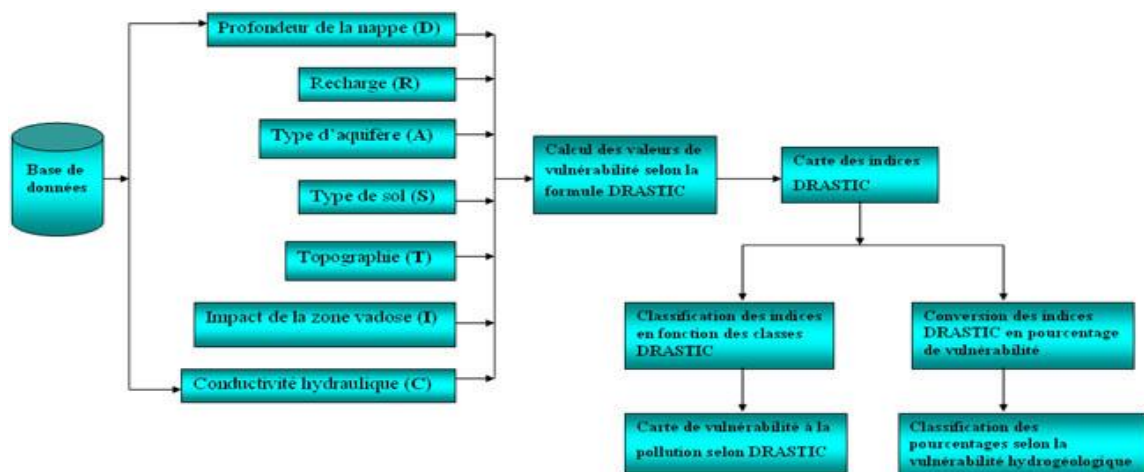
Le traitement de toutes ces données s'est effectué avec les logiciels les MNT, Surfer.

La méthode DRASTIC, développée en 1987 aux Etats-Unis par l'Agence américaine de la Protection de l'Environnement (EPA), permet de cartographier les zones vulnérables à la pollution (Aller et *al.*, 1987) et de déterminer aussi le degré de protection d'un aquifère. C'est une méthode standardisée d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines indépendamment du type de polluant. Elle prend en compte la majeure partie des facteurs hydrogéologiques qui affectent et contrôlent l'écoulement des eaux souterraines (Mohamed, 2001). La méthode DRASTIC est basée sur sept paramètres de vulnérabilité (Bézélgues et *al.*, 2002). Ce sont :

- la profondeur de l'eau (**D**) ;
- la recharge efficace (**R**) ;
- les matériaux de l'aquifère (**A**) ;
- le type de sol (**S**) ;
- la topographie ou la pente (**T**) ;
- l'impact de la zone vadose ou zone aérée (**I**) ;
- la perméabilité ou la conductivité hydraulique de l'aquifère (**C**).

L'évaluation de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC s'effectue par le calcul de l'Indice DRASTIC (ID) selon l'équation (1).

$$ID = Dc \times Dp + Rc \times Rp + Ac \times Ap + Sc \times Sp + Tc \times Tp + Ic \times Ip + Cc \times Cp \quad (1)$$



Organigramme de la méthode DRASTIC

- **Résultats et discussion :**

L'élaboration de la carte de vulnérabilité s'est effectuée par le calcul de l'indice de vulnérabilité (ID DRASTIC) qui intègre les sept paramètres, selon la formule (1). Les indices DRASTIC obtenus oscillent entre 69 et 96. Le calcul des pourcentages de vulnérabilité à partir des indices DRASTIC obtenus a permis d'obtenir la classification suivante en fonction des plages de vulnérabilité.

IDRASTIC < 60% ; vulnérabilité « Moyenne »

60% < IDRASTIC < 75% ; vulnérabilité « Elevée »

IDRASTIC > 75% ; vulnérabilité « Très élevée »

Cette classification des pourcentages des indices DRASTIC a permis d'obtenir la carte de vulnérabilité à la pollution de la nappe d'Ouakda.

La classe très faible : traduit une vulnérabilité très faible à la pollution. L'indice moyen de vulnérabilité observé peut s'expliquer par le fait que l'aquifère possédé dans cette partie une valeur 69, 72, 73 de degré de vulnérabilité à la pollution sont mis en évidence sur cette carte.

Cette classe occupe la totalité de la zone cartographiée. Le degré de vulnérabilité peut être lié à des profondeurs moyennes dans cette partie de l'aquifère, entre 26.8 et 173 m

Ce degré de vulnérabilité peut s'expliquer par le fait que la profondeur de la nappe est assez faible ; Ces conditions favorisent l'infiltration de tout contaminant présent à la surface. Aussi notons-nous que l'aquifère est constitué de calcaire fissuré dans ces zones, pouvant faciliter la circulation des pollutions.

La profondeur de la nappe a une importance significative dans la vulnérabilité à la pollution des aquifère dans cette région du fait que les paramètres sont sensiblement identiques. La classe faible : traduit une vulnérabilité faible à la pollution. L'indice moyen de vulnérabilité observé peut s'expliquer par le fait que l'aquifère possédé dans cette partie une valeur 69 a 96 de degré de vulnérabilité à la pollution sont mis en évidence sur cette carte. Il s'agit de faible profondeur entre 54 et 82 m.

La moyennement faible : traduit une vulnérabilité faible à la pollution. L'indice moyen de vulnérabilité observé peut s'expliquer par le fait que l'aquifère possédé dans cette partie une valeur 130 de degré de vulnérabilité à la pollution sont mis en évidence sur cette carte. Il s'agit de faible profondeur 0 à 2 m

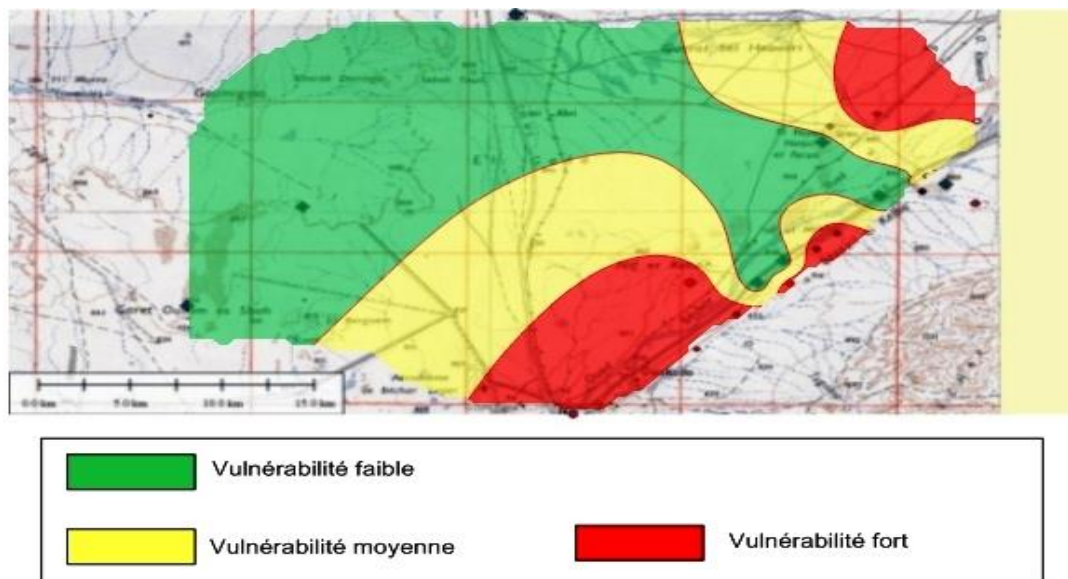


Figure 3 Carte de vulnérabilité d'Ouakda

5. Conclusion

La carte de la vulnérabilité intrinsèque de la nappe d'Ouakda réalisée à partir de méthode DRASTIC a révélé une grande tendance de la vulnérabilité à la pollution de la région vers la préférence de bassin. Au centre la vulnérabilité est faible et fortement vulnérable vers les bordures du forage d'Ouakda. En zone moyennement vulnérable, les dispositifs de protection deviennent impératifs, dans les zones faiblement vulnérables la protection devient moins exigeante. Cette conclusion a été rendue possible grâce à la base de données mise en place par l'utilisation des fonctions de l'indice DRASTIC. La méthode DRASTIC s'avère donc un outil indispensable à la prévention de la pollution et la protection des aquifères.

6. Bibliographie

- Kabour et al, 2008
- BADAOU Imane, Etude des eaux souterraines dans le bassin de Béchar : caractérisation géologique, hydrogéologique et vulnérabilité de la nappe Turonienne, 2013, p 82, 83,84.
- G. Castany, 1982 ; V. Merriam-Soukatcheff, 2009 ; G. De Marsily, 2004
- BADAOU Imane, Mémoire, 2011.
- Paul Deleau 1956 (carte provisoire de Colomb Béchar)
- Aller, L et al en 1987. DRASTIC: A Standardized Method for Evaluation Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. EPA-600/2-87-035, 455 p.
- L'agence nationale des ressources hydriques ANRH.

CARTOGRAPHIE DES ZONES COTIERES INONDABLES DE MONDOUKOU (GRAND-BASSAM, CÔTE D'IVOIRE)

Jacques André TIEMELE*, Eric Valère DJAGOUE*, Jean Baptiste KASSI*, Brice Abaka MOBIO*, Jeanne Maffoué KOUADIO*, Adonis Krou KOUAME*, Cassandre Ziné DRO* et Kouadio AFFIAN*

*Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection, e-mail : jatiemele@yahoo.fr, jandre.tiemele@curat-edu.org, 22 BP 801 Abidjan 22

RESUME : Afin d'assurer une gestion efficace du littoral ivoirien et spécifiquement du secteur de Mondoukou à Grand-Bassam marqué quelques fois par des épisodes de tempêtes, des levés topo-bathymétriques au DGPS sur la plage ont été effectués entre le 12 Novembre 2015 et le 27 Février 2016. Ces mesures visant à apprécier le niveau de vulnérabilité de la côte ont permis d'élaborer des modèles numériques de plage par la méthode d'interpolation du voisinage naturel de ARCGIS 10.2.2 et dresser un bilan morpho-sédimentaire de cette plage. Une baisse d'altitudes de 224 mm et de 172 mm respectives du haut de plage et du bas de plage est enregistrée, sanctionnée par une érosion de 139 mm et un volume de sédiments érodés de 2469,58 m³. La plage restante est engraisée avec des volumes sédimentaires de 38242,92 m³ pour des gains d'altitudes variant entre 0,03 et 1,9 m. Des requêtes spatiales ont permis d'identifier et de calculer les surfaces potentiellement inondables en croisant ces données aux marées extrêmes. Ces niveaux marins ont été acquis sur le site du Service d'Hydrographie et d'Océanologie Marine (SHOM) et ajustés par la méthode des valeurs extrêmes généralisées. Il en résulte une surcote météorologique de 15,7 mm permettant de porter l'estimation à 15 629,52 m² des surfaces inondables pour une superficie totale de sédiments de 76818,98 m², soit 24,34 % de la surface sédimentaire de la plage.

Mots clés : DGPS, Modèle numérique de plage, SHOM, Marées extrêmes, Surcote météorologique

MAPPING OF FLOOD COASTAL AREA OF MONDOUKOU (GRAND-BASSAM, CÔTE D'IVOIRE)

ABSTRACT: In order to ensure efficient management of the Ivorian coast and specifically Mondoukou sector in Grand-Bassam marked sometimes by episodes of storms, topobathymetric surveys on the beach with a DGPS were made from November 12, 2015 to February 27, 2016. Those measures designed to assess the level of vulnerability coast helped to develop Digital Elevation Model by the interpolation method of the natural neighborhood of ARCGIS 10.2.2 and have enabled a sediment budget on the beach. A decrease of heights of 224 mm and 172 mm respectively for the upper beach and the bottom beach is registered, sanctioned by an erosion of 139 mm and eroded sediments of 2469.58 m³. The beach area that remains is accumulated of 38242.92 m³ sediments with height between 0.03 and 1.9 m. Spatial queries helped identify and calculate the potential flood areas by crossing geomorphological data in the extreme tides. Tides data have been acquired on Service of hydrography and Oceanography Marine (SHOM) site and adjusted by the generalised extreme value method. Sea-level rise is 15.7 mm to estimate 15 629.52 m² of flood surfaces for a total area of 76818.98 m² sediments, which represents 24.34% of the sediments surface of the beach.

Key words : DGPS, Digital Elevation Model, SHOM, extremes tides, sea-level rise

INTRODUCTION

L'élévation du niveau de la mer est une des principales conséquences du réchauffement climatique, qui menace de nombreuses régions côtières basses et de petites îles, très peuplées. Dans ces régions, l'élévation du niveau de la mer est amplifié par des contraintes dues à des phénomènes naturels (par exemple, l'affaissement du sol dans les zones deltaïques induit par la charge sédimentaire, les mouvements verticaux du sol dus à la tectonique, au volcanisme et au rebond post-glaciaire, etc.) ou/et aux activités humaines (par exemple, l'affaissement du sol en raison du pompage des eaux souterraines et/ou l'extraction du pétrole, l'urbanisation, etc.). De plus, les observations marégraphiques, pour le dernier siècle, et les mesures du niveau de la mer à partir des missions spatiales d'altimétrie, pour les dernières décennies, ont montré que l'élévation du niveau de la mer était loin d'être uniforme, mais au contraire faisait apparaître de fortes variabilités régionales (Becker et al, 2010). En Côte d'Ivoire, les conséquences sont nombreuses à chaque montée du niveau de l'océan : baisse de la diversité biologique, perturbation des régimes hydrologiques des fleuves, perturbation des activités économiques, etc.

1. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

Située entre les coordonnées 30N 580000/410000 et 30 N 580000/430000, la côte de Grand-Bassam se situe dans le prolongement est du littoral de Port-Bouet. Celle de Mondoukou est localisée à l'Ouest par l'embouchure du fleuve Comoé, à l'est par le campement Awankro, au sud par l'océan atlantique et au nord par la route de Grand-Bassam (figure1). La zone d'étude est un pôle touristique abrité par de nombreux complexes hôteliers dont certains sont également situés dans les secteurs de Coconut village et Awankro. Les activités de pêche y sont fortement pratiquées.

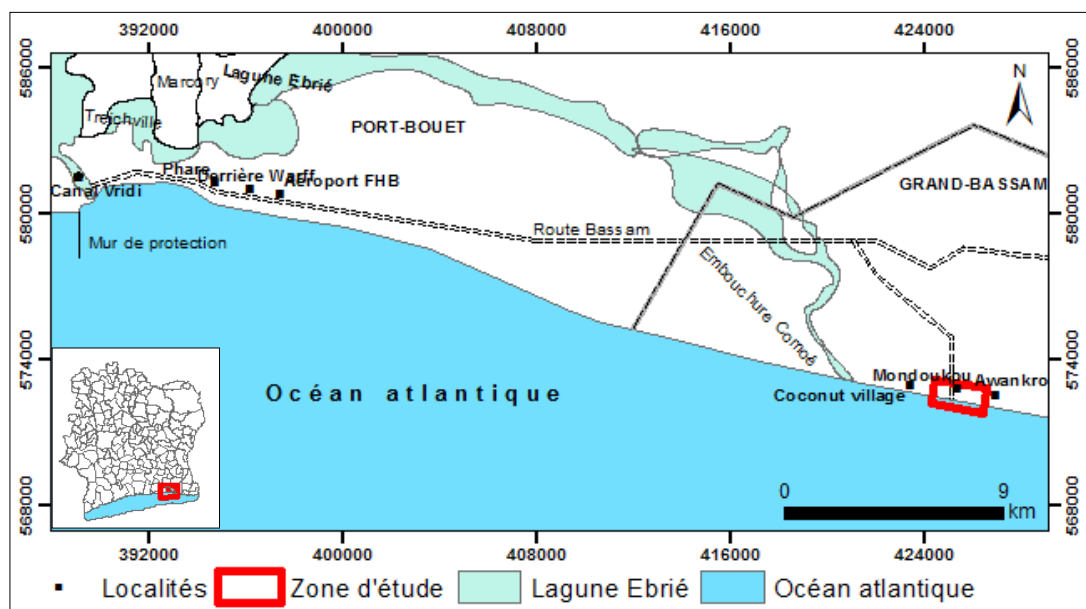


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

2. MATERIEL ET METHODES

L'évolution morpho-sédimentaire des plages a consisté à effectuer des levés topobathymétriques à l'aide d'un GPS Différentiel (DGPS) pour subir un traitement d'interpolation à l'aide de la fonction 3D Analyst du logiciel ARCGIS 10.2.2. Le choix de la méthode d'interpolation du voisinage naturel ayant servi au calcul des modèles numériques de plage s'explique par le fait que cette méthode permet de faire coïncider les limites géographiques du raster interpolé aux points levés du haut et du bas de plage. Le calcul de la variation des modèles numériques d'altitudes de surface entre deux dates s'obtient par soustraction des modèles numériques respectivement à l'aide des commandes « Raster math » et « Surface difference du modèle surfacique TIN » du menu « Arctool Box » de ARCGIS. Quant aux données observées de marées, elles ont été acquises sur le site du SHOM (Service Hydrographique et d'Océanologie Marine), <http://www.shom.fr/les-services-en-ligne/predictions-de-maree/presentation/> pour la période 2009-2016. Seules les hauteurs maximales des pleines mers ont été utilisées pour estimer statistiquement les hauteurs de marées extrêmes. La méthode d'identification des zones côtières inondables repose sur le croisement des données géomorphologiques aux niveaux marins extrêmes, notamment aux hauteurs extrêmes de marées auxquelles sont ajoutées la surcote météorologique.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Variation morpho-sédimentaire de la plage de Mondoukou

Les altitudes calculées à la date du 12 Novembre 2015 avoisinent 28,972 m sur le haut de plage alors que celles du bas de plage diminuent. Elles se réduisent à 25,319 m, soit une baisse de 42 mm. Les pentes sont dans l'ensemble très faibles, exceptées les zones du centre où elles avoisinent les 25%. Les hauteurs sont réduites au 27 Février 2016 et atteignent 28,748 m sur le haut de plage, soit une baisse de 224 mm. Il en est de même pour le bas de plage qui passe de 25,319 à 25,147 m, soit une réduction de 172 mm par endroit. Les pentes restent quasiment faibles (entre 0 et 10%) sur le secteur de plage hormis des zones ponctuelles réparties à l'ouest et au centre du secteur de plage. Les différences d'altitudes permettent de situer une érosion de 139 mm provoquant une quantité de 2469,58 m³ de sédiments disparus sur le haut de plage. Cette érosion causée par la baisse d'altitudes sur le haut de plage s'étend également sur l'est du bas de plage, en direction du campement Awankro. Les parties restantes de ce secteur de plage restent engraisées avec des volumes sédimentaires de 38242,92 m³ pour des gains d'altitudes variant entre 0,03 et 1,9 m (figure 2).

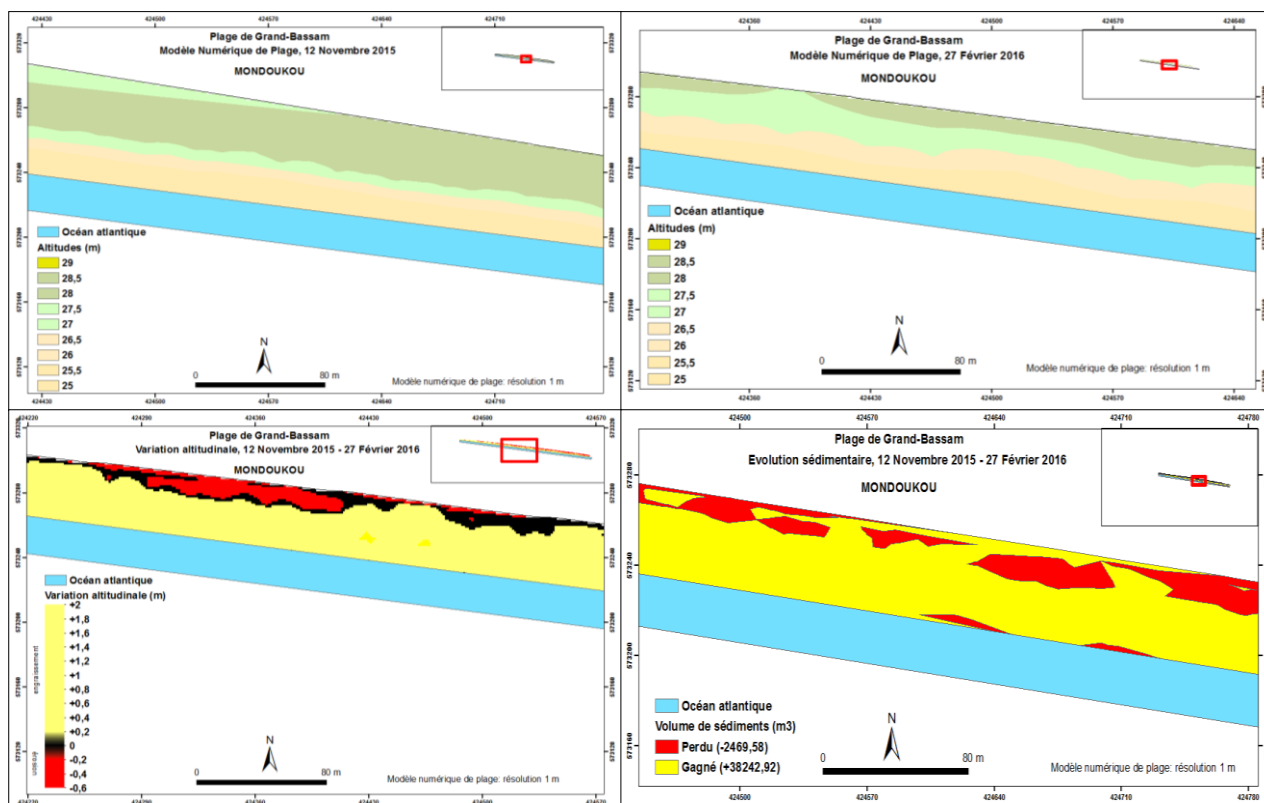


Figure 2 : Variation morpho-sédimentaire de la plage de Mondoukou entre 2015 et 2016

3.2 Détermination des niveaux de marées extrêmes

Les niveaux de marées extrêmes croissent avec les périodes de retour. Ils varient entre 1,01 et 1,17 m. Les ajustements dans un intervalle de confiance de 95% ont été effectués spécifiquement sur des hauteurs observées comprises 0,8 et 1,2 m, soit une marge d'erreur située autour de 10 cm (figure 3, tableau 1). Cet ajustement a permis de déduire la différence d'amplitude entre les niveaux de marées observés et prédits entre 2014 et 2016, dénommé surcote météorologique. Cette surcote, quasiment nulle entre 0,4 et 0,8 m de hauteurs observées, apparaît essentiellement à forte densité de données observées, c'est-à-dire entre 0,8 et 1,2 m. Elle se situe autour de 15, 7 mm (figure 4).

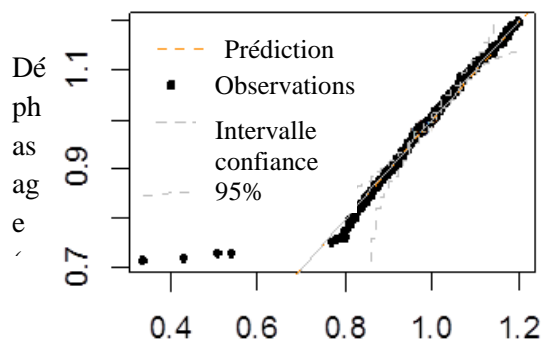


Figure 3 : Ajustement des marées extrêmes

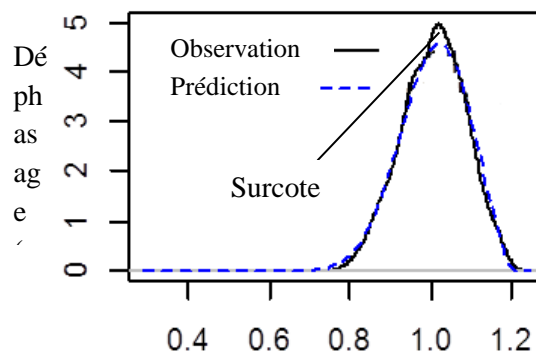


Figure 4 : Surcote météorologique

Tableau 1: Hauteurs de marées ajustées

Périodes de retour (années)	Hauteurs de marées observées (m)	Surcote météorologique (m)	Marée ajustée (m)
2	1,01	0,0157	1,02
5	1,08		1,09
10	1,11		1,12
20	1,13		1,14
50	1,15		1,16
100	1,17		1,18

3.3 Zones inondables de côtes de Grand-Bassam

Sur les côtes de Grand-Bassam, les périodes de retour ont permis de porter à une estimation de 15 629,52 m² de surfaces inondables pour une superficie totale de sédiments de 76818,98 m², soit 24,34 % de surfaces inondables sur la plage (figure 5). Les estimations sont les mêmes pour les différentes périodes de retour.

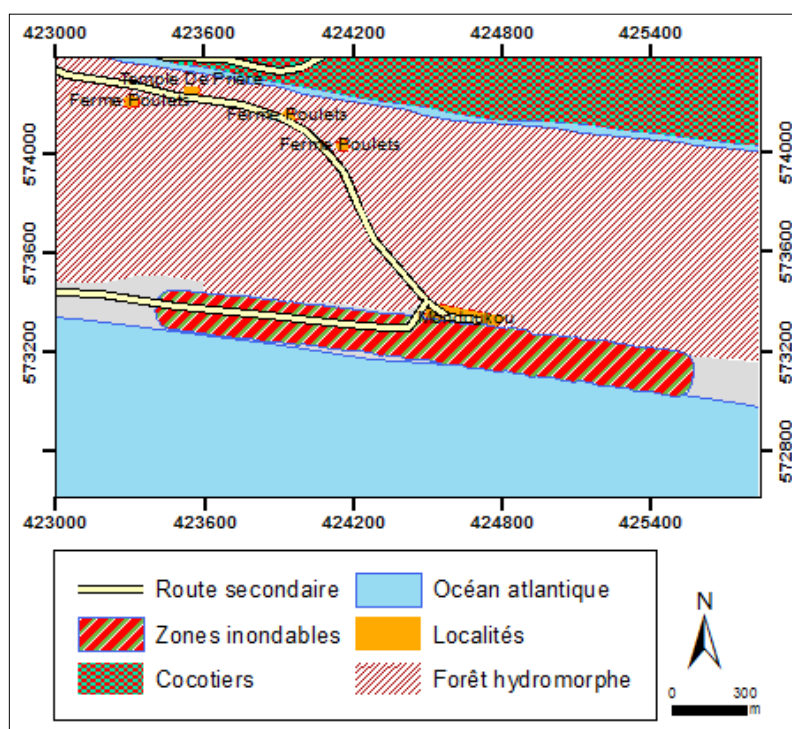


Figure 5: Zones inondables à Mondoukou (Grand-Bassam)

Les zones inondables ont été identifiées à partir des hauteurs observées de marées auxquelles la surcote météorologique a été ajoutée. Le pourcentage des surfaces inondables se situe autour de 24,34% et reste le même pour toutes les périodes de retour avec une superficie de sables fins beaucoup plus grande. Ces résultats confirment ceux de Abé, 2005 qui a décrit l'équilibre de cette plage en dehors des effets de tempêtes. Les données de marées observées ne sont pas des données in situ et ne proviennent pas du marégraphe « Appontement », situé à la jetée Ouest du canal de Vridi. Ces données proviennent des données antérieures prédites du SHOM que nous avons reconstituées pour effectuer nos prédictions. Elles peuvent déjà être source d'erreur et constituer une limite de cette étude. La surcote météorologique calculée reste très faible (15,7 mm) pour la série temporelle courte de notre étude (2009-2016), soit 1,96 mm/an. Selon Woodworth et al., 2011, les variations de l'élévation du niveau moyen de

la mer sont quasiment similaires partout dans le monde si on prend en compte les tendances d'évolution à long-terme des niveaux d'eau. Depuis plus d'un siècle, les marégraphes indiquent une hausse de 1,8 mm/an et depuis 22 ans, cette hausse tend à s'accélérer pour atteindre 3,3 mm/an par observations satellitaires (Meysignac, 2012). Ces estimations sont conformes aux réalités de notre environnement marin qui a un faible marnage (autour de 0,4 m), exceptées des zones spécifiques. La dépendance entre la marée et la surcote météorologique est ici mise en exergue. Kergadallan (2013) estime que la dépendance entre la surcote et la marée est une dépendance en amplitude et non saisonnière. C'est pourquoi des modèles numériques hydrodynamiques à haute résolution devraient être entrepris pour apprécier la contribution de la houle dans un contexte où des tempêtes sont déjà survenues et ont provoqué des submersions marines.

CONCLUSION

Le suivi morpho-sédimentaire de la plage de Mondoukou à Grand-Bassam à l'aide d'outils de précision (DGPS) a permis d'identifier les zones érodées ou en engraissement de cette plage. C'est essentiellement une perte altitudinale de 139 mm pour 2469,58 m³ de sédiments érodés sur le haut de plage. Ces quantités tendent à s'équilibrer avec un fort engraissement du bas de plage face à l'élévation du niveau marin. Les surfaces potentiellement inondables provoquées par la surcote météorologique restent quasiment constantes quelque soit les périodes de retour associées. L'équilibre morphologique de cette plage pourrait en être la raison.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABE J. (2005). Contribution à la connaissance de la morphologie et de la dynamique sédimentaire du littoral ivoirien (cas du littoral d'Abidjan), essais de modélisation en vue d'une gestion rationnelle, Thèse de doctorat d'état ès sciences naturelles, spécialité océanologie, Université de Cocody, 353p
- BECKER M, MEYSSIGNAC B, LLOVEL W, CAZENAVE A, ROGEL P, WOPPELMANN G. (2010). Variations régionales du niveau de la mer reconstruites sur les cinq dernières décennies, recueil des actes, journées « impacts du changement climatique sur les risques côtiers », 15 – 16 Novembre 2010, BRGM, Orléans, France, p 9
- KERGADALLAN X. (2013). Analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes. Environnements maritime et estuarien. *Etat de l'art – Aménagement côtier*, Edition CETMEF, 180 p.
- MEYSSIGNAC B. (2012). La Variabilité régionale du niveau de la mer, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse (France), 356p.
- WOODWORTH, P.L., MENENDEZ, M. and GEHRELS. W.R. (2011). Evidence for century-timescale acceleration in mean sea levels and for recent changes in extreme sea levels. *Surveys in Geophysics* doi:10.1007/s10712-011-9112-8

**APPORT DE LA MODELISATION 2D DANS LA CARTOGRAPHIE
PRELIMINAIRE DE L'ALEA DE SUBMERSION MARINE.
CAS DE LA COTE DE LUANDA, ANGOLA (AFRIQUE OUEST)**

Altimira Manuela da Costa LOMBÁ*, Mostafa OUJIDI, Najat AMARJOUF

Laboratoire géosciences appliquées, Département de géologie, Faculté des Sciences, Université Mohammed Premier, Oujda, Maroc. altimiralomba@gmail.com

RESUME : Le changement climatique global a des conséquences sur la vie humaine et même sur la modification du trait de la côte que cela soit par l'érosion ou bien la décantation de nouvelles aires à l'échelle du globe terrestre.

Les tempêtes viennent en réponse à ce changement climatique, sous forme des vents violents, pouvant avoir des conséquences désastreuses sur les zones littorales. Le littoral du Luanda (Angola), objet de cette étude, par sa topographie basse est vulnérable aux tempêtes provenant de l'océan surtout celle provenant de l'ouest et du nord-est.

Le présent travail, consiste à élaborer un modèle bidimensionnelle (2D) à l'aide du logiciel Iber, en se basant sur le modèle numérique de terrain de 90 m (SRTM) et à l'aide du SIG on a cartographié les zones à fort risque d'inondation pour aider les autorités à prendre des décisions en termes d'intervention ou de protection de la côte de Luanda.

Mots clés : submersion marine, Luanda, Angola, modélisation 2D, Système d'Information Géographique, logiciels Iber et ArcGis 10.2.

**THE CONTRIBUTION OF 2D MODELING IN PRELIMINARY MAPPING OF
MARINE FLOODED. PLACES IN THE COAST OF LUANDA, ANGOLA (WEST
AFRICA)**

ABSTRACT: Natural disasters have always posed serious problems worldwide. Indeed, they affect a large number of people and goods. On a global scale, floods are among the natural hazards that have the most significant impact. Floods are becoming more complex and more severe due to climate change recognized in the last decade.

The flooding problem is that complex that it even affects the rivers and streams, which are the basis of civilizations for most people. Floods closely affect the economic, social, legal, environmental and the overall sustainable development of mankind. Like other countries worldwide, Angola has also suffered and still suffers from natural hazard.

Luanda, subject of this work, is strongly affected by two types of floods: the marine submersion in the coast and the flooding of river Cambambe, the river that runs through the city. This risk is compounded by sanitation problems, high population density and excessive settlements at the coast.

This work aims to create a digital database, the development of a geographic information system, using the ArcGIS software and 2D model of the Iber software for two types of flooding (flood and marine submersion) for the establishment of maps of areas vulnerable to natural hazards. These maps will be of great use for municipal and government authorities to decide on the urgent intervention to the affected areas during the floods. Furthermore, they will allow taking of measures to mitigate risks, by building protective infrastructures against flooding in highly sensitive areas.

Keywords: Risk of Marine flooding, City of Luanda, Angola, Geographic Information System – 2D Modelling – ArcGis and Iber software's.

INTRODUCTION

L'objectif général de ce travail est l'établissement des cartes de aléas notamment la submersion marine au niveau de la côte de la ville de Luanda.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

L'Angola est un pays situé à l'ouest de l'Afrique Australe, est l'un des plus grands pays de l'Afrique et le troisième par sa population (après le Mozambique). Sa superficie est de 1.246700 Km², avec 6487 Km de frontières, dont 4837 Km de frontières terrestre et 1650 Km de frontières maritimes (figure 1).

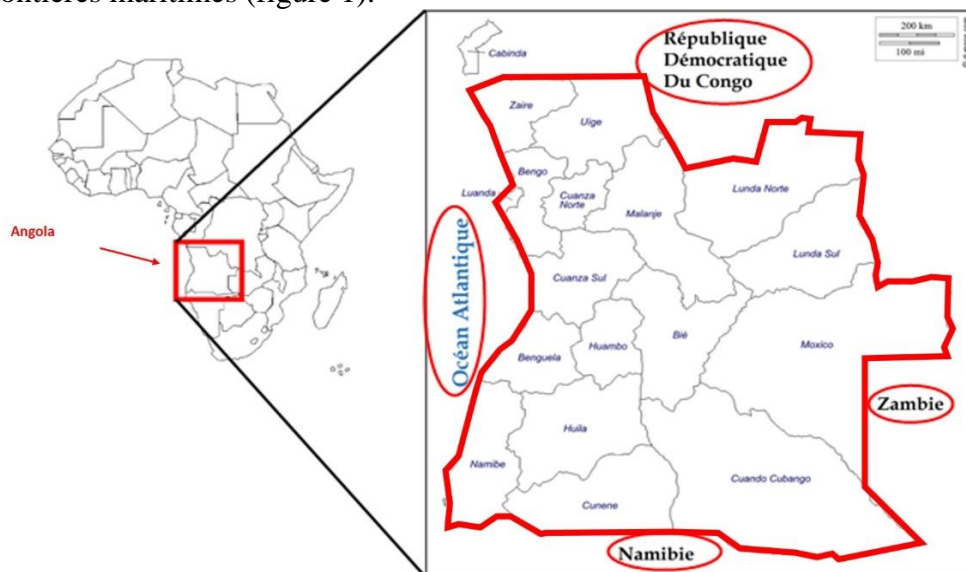


Figure 1. Carte de la localisation géographique de l'Angola ainsi que les pays qui le bordent délimités en rouge

L'Angola est partagé en 18 provinces parmi elles on s'intéressera au capital Luanda. La province de Luanda est constituée de sept municipalités dont Luanda qui fera objet de notre étude. La ville de Luanda occupe une superficie de 113 km² et se divise en deux zones principales comprenant d'une part la ville basse, autour de la baie de Luanda et d'autre part la ville haute.

La zone d'étude fait partie du Bassin sédimentaire de Kwanza et dispose d'un relief aplati ou très légèrement ondulé, dont les quotas maximums, au nord de Kwanza, oscillent de 150 m et 170 m au sud de cette rivière. La ville de Luanda est caractérisée par un climat semi-aride sec et chaud selon la Classification de Köppen – Hufty (2001), à cause du courant froid de Benguela qui empêche la condensation de l'humidité de la pluie et un climat méga thermal (Classification rationnel de Thornthwaite, 1948). Elle a une pluviométrie annuelle de 323 mm et elle est située dans la région de basse latitude dans la gamme de vents alizés du SE dont sa vitesse moyenne entre 2,5 m/s à 5,0m/s. Sa direction du vent dominant est SSE à SE.

Les formations des affleurements lithologiques des régions de Luanda datent du Tertiaire et Quaternaire, avec une dominance de ce dernier. Ces formations sont regroupées en quatre grands ensembles (figure 2A) : les formations « *Musseques ou Quelo* » du Pléistocène, les formations « *Catete ou Cazenga* » du Miocène, les « *Sos dit de Transition* » du Pliocène et pour finaliser « *Lithosols et sols lithiques* » qui datent du Holocène. La majeure partie de la région de Luanda est occupée des zones résidentielles et infrastructures (portuaire, aérienne, sociale, politique, etc.), des zones sableuses, des plans d'eau (le fleuve Cambambe qui traverse la ville) et les zones humides (figure 2B).

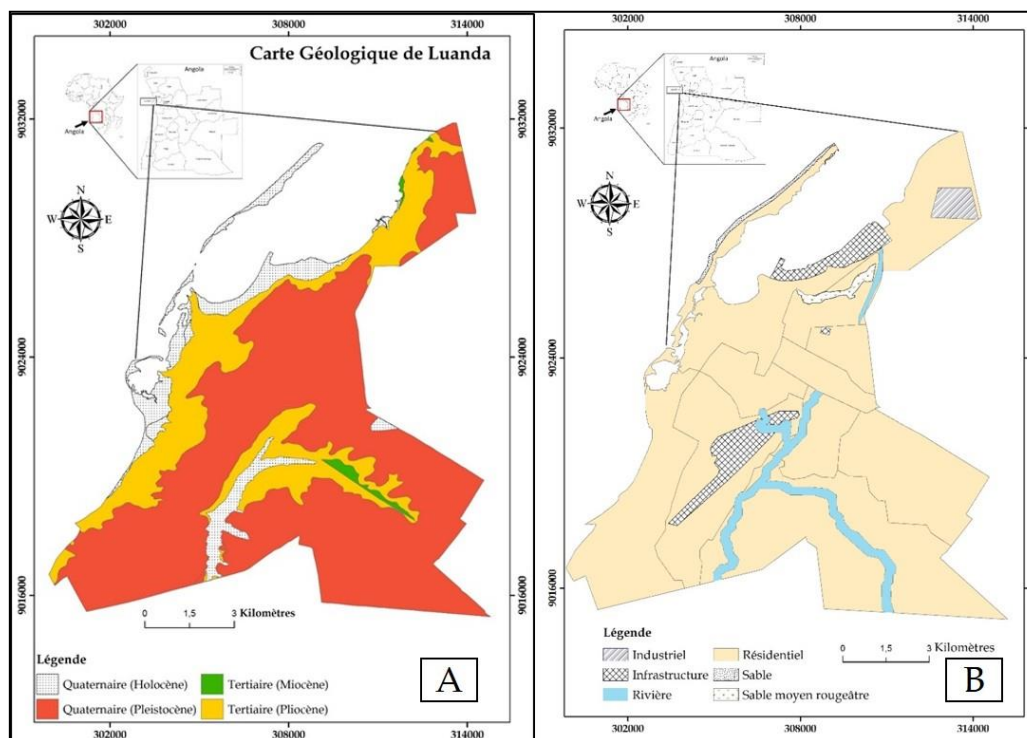


Figure 2. A – Cartes de la Géologie et Lithologie de Luanda (d’après IPGUL, modifiée). B – Carte d’occupation du sol de la ville de Luanda, (à la base de l’image de Google Earth, 2016)

2. MATERIELS ET METHODES

Plusieurs études se sont intéressées à la cartographie du risque submersion marine (Gares, 1990 ; Bellomo *et al.*, 1999 ; Dean and Malakar, 1999 ; Benavente *et al.*, 2006 ; Kumar *et al.*, 2008, De Pippo, 2008 ; Vichon *et al.*, 2009). Dans notre cas, nous avons utilisé les logiciels Google Earth et Puzzle pour le téléchargement des images satellitaires de la région, pour avoir une vision à l’échelle locale et globale de la zone d’étude et son littoral. Les étapes suivies (figure 3) pour l’élaboration du modèle sont résumés dans l’organigramme ci-dessous :

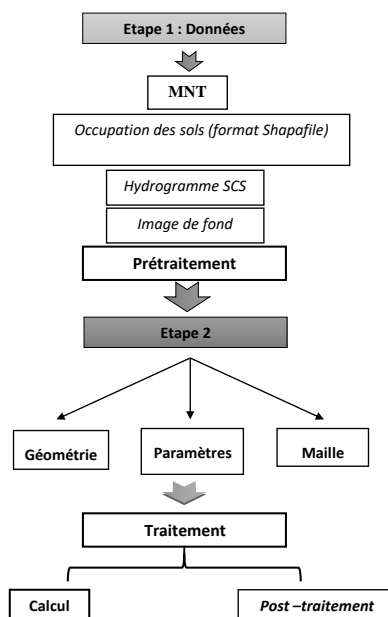


Figure 3. Organigramme des Etapes suivies sur Iber 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Nous avons réalisé une série de simulations pour mieux comprendre le risque de submersion marine dans la ville. Donc nous avons réalisé deux modèles avec des différentes directions de la tempête. Le premier modèle a été réalisé en tenant compte d'une tempête provenant du Nord-est et le deuxième d'Ouest.

A. Modèle réalisé avec une tempête du Nord-est

Les images de la figure ci-dessous nous montrent les élévations des eaux en mètre à différents temps sur le littoral de Luanda (figure 4). Ces images nous montrent des zones à faibles (0,1 à 7 mètres) et grandes (10 à 20 mètres) élévations.

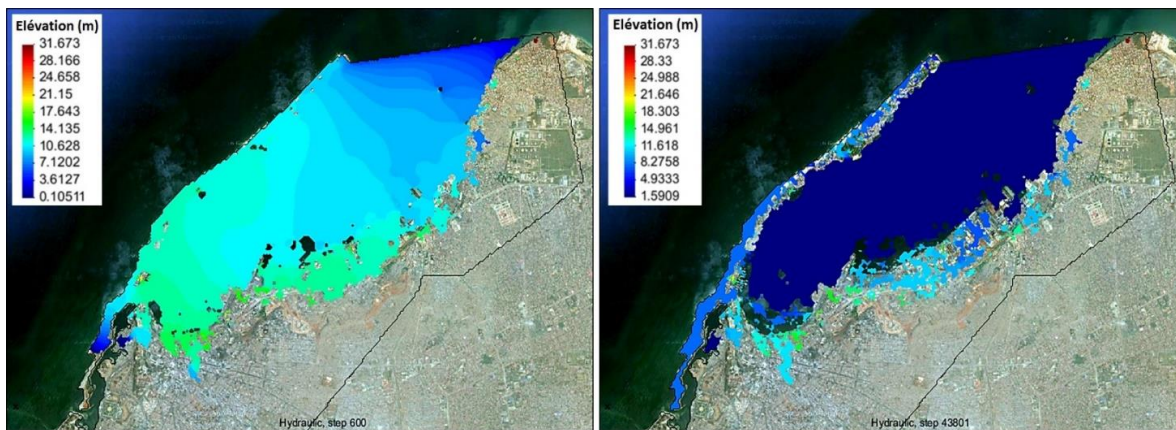
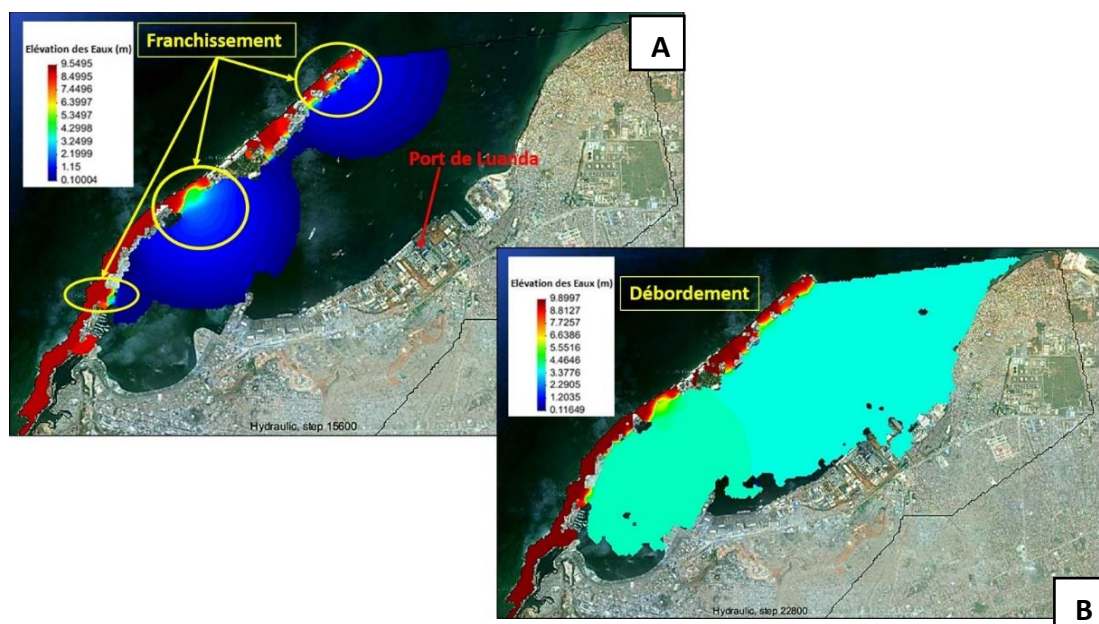


Figure 4. La modélisation des élévations des eaux sur le littoral de Luanda (Angola). Cas de la tempête provenant du Nord-est

B. Modèle réalisé avec une tempête de l'Ouest

Les premières images nous montrent les élévations des eaux en mètre à différents temps sur le littoral de Luanda (figure 5). Ces images nous montrent des zones à faibles (0,1 à 3 mètres) et grandes (5 à 9,8 mètres) élévations.



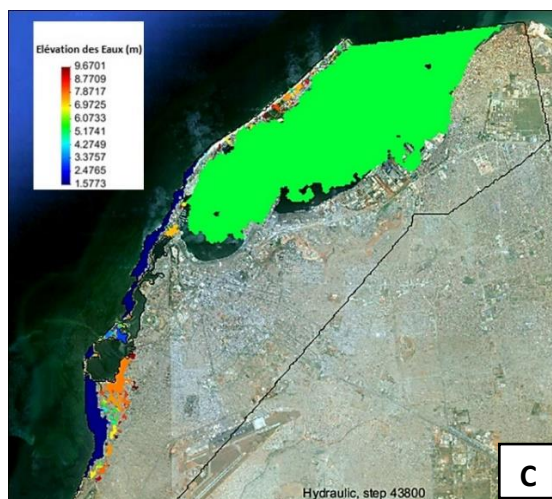


Figure 5. La modélisation des élévations des Eaux sur le littoral de Luanda (Angola) à différents temps (A – Simulation à 8 heures, B – Simulation à 11 heures et C – Temps maximal de montée des eaux à 2 heures du matin)

Pour la quantification des dommages, une évaluation des risques est nécessaire ainsi qu'une évaluation des éléments vulnérables car le risque est en fonction de *l'aléa et de la vulnérabilité*. Alors, on a réalisé des cartes de risque (figure 6) qui mettent en évidence toutes les zones qui seront touchées ou qui sont vulnérables à ce dernier. Ces cartes ont été créées à partir de la combinaison de *la profondeur de l'eau et la vitesse* obtenue dans la zone. On observe un risque faible à élevé pour quelques quartiers et infrastructure de la ville, et les communes concernées par l'aléa submersion marine sont : l'Île do Cabo, Ingombota et Ngola Kiluanje.

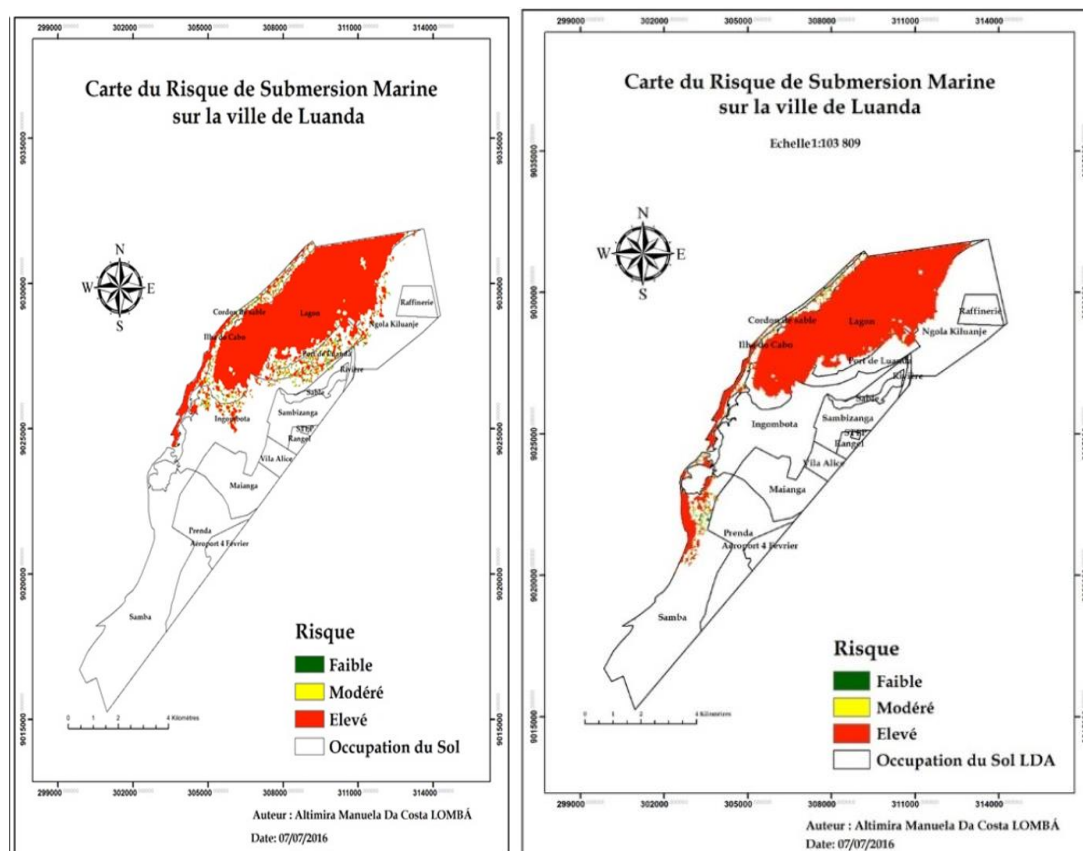


Figure 6. Cartes de maximums de risques de submersion marine pour la ville de Luanda (Angola) – Cas des tempêtes provenant du Nord-est et Ouest

CONCLUSION

A travers les modélisations réalisées sur le logiciel Iber, nous avons constaté que la plupart des zones submersibles sont très bâties. Les communes bordant le littoral sont les plus touchées par l'aléa submersion marine, malgré la présence d'ouvrage de protection (des digues). Une grande partie des zones concernées correspond aux infrastructures importantes pour le développement de l'économie telles que le Port et le cordon littoral.

L'élévation du niveau de la mer comporte aussi des conséquences sur les populations, leurs biens et l'environnement. Ces pertes risquent d'être encore plus aggravées pour une ville urbanisée comme Luanda, si les autorités ne font rien pour limiter l'urbanisation de ce littoral.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BELLOMO D., PAJAK M.J., SPARKS J., 1999, Coastal flood hazards and the National Flood Insurance Program, *Journal of Coastal Research*, SI 28, 21-26.
- BENAVENTE J., DEL RIO L., GRACIA F.J., MARTINEZ-DEL-POZO J.A., 2006, Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SWSpain), *Continental Shelf Research*, vol. 26, 1061-1076.
- DE PIPPO T., DONADIO C., PENNETTA M., PETROSINO C., TERLIZZI F., VALENTE A., 2008, Coastal hazard assessment and mapping in Northern Campania, Italy, *Geomorphology*, vol. 97, n° 3-4, 451-466.
- DEAN R.G., MALAKAR S.B., 1999, Projected flood hazard zones in Florida, *Journal of Coastal Research*, SI 28, 85-94.
- GARÈS P.A., 1990, Predicting-flooding probability for beach/dune systems, *Environmental Management*, vol. 14, n° 1, 115-123.
- HUFTY A., 2001. « Classification des climats de Köppen » dans Introduction à la climatologie : Le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine, page 12.
- KUMAR V.S., BABU V.R., BABU M.T., DHINAKARAN G., RAJAMANICKAM G.V., 2008, Assessment of storm surge disaster potential for the Andaman Island, *Journal of Coastal Research*, vol. 24, n° 2B, 171-177.
- MARQUES Rui M.C.S (Mars 2014). A Construção de Caves Submersas na Região de Luanda, 5^o Encontro Técnico-Científico Dos Laboratórios de Engenharia da cplp10, page 4.
- THORNTHWAITE C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate, N°38, page 55 – 94.
- VINCHON C., AUBIE S., BALOUIN Y., CLOSSET L., GARCIN M., IDIER D., MALLET C., 2009, Anticipate response of climate change risks at regional scale in Aquitaine and Languedoc Roussillon (France), *Ocean and Coastal Management*, vol. 52, n° 1, 47-56.
- WOODROFFE, C., AND MCLEAN R., 1990. Microatolls and recent sea level change on coral atolls, *Nature*, 334, pages 531- 534.

ETUDE D'ENVAISEMENT DU BARRAGE AL WAHDA (NORD OUEST DU MAROC) A L'AIDE DU SIG ET TECHNIQUES DE TELEDETECTION

Abdellah BARDOUZ, Taieb BOUMEAZA

Université Hassan II, Laboratoire LADES : Laboratoire Dynamiques Des Espaces et des Sociétés 28800 Mohammedia, Maroc. *bardouzabdellah_10@yahoo.fr*

RESUME : De nombreux barrages au Maroc connaissent une perte de leur potentiel d'emmagasinement de l'eau. Ceci est dû, principalement, à la vase générée par les cours d'eaux lors des averses brutales dans les bassins versants à grande vulnérabilité à l'érosion. Cet envasement constitue actuellement un problème qui menace la plupart des aménagements hydrauliques au Maroc. Si ces barrages sont destinés à l'irrigation des périmètres agricoles, ils sont également destinés à la production d'électricité et à l'alimentation en eau potable de nombreux centres urbains. La demande en eau potable s'accroît de plus en plus et les nappes phréatiques ne sont plus en mesure de satisfaire cette demande accrue. Ainsi, les pouvoirs publics sont obligés de faire recours aux lacs barrages les plus proches. Avec les changements climatiques actuels et les projections des spécialistes pour l'avenir, les barrages vont connaître une grande réduction de leur capacité de stockage. L'exemple étudié dans ce projet est le barrage Al Wahda situé au Nord Ouest du Maroc. Il est le plus grand barrage du royaume avec une capacité de 3800 Mm³ et un volume d'envasement de 58 Mm³.

Mots clés : barrages, envasement, télédétection, érosion, bassin versant, SIG.

STUDY OF AL WAHDA DAM (NORTH WEST MOROCCO) SILTATION USING GIS AND REMOTE SENSING

ABSTRACT: My dissertation attempts to study the silting of Al Wahda dam in the North West of Morocco by GIS and remote sensing techniques. This project is very interesting, because, Al Wahda dam knows currently a reduction in its water capacity each year. This is due mainly to the mud generated by streams during sudden showers in the Ouergha watershed vulnerable to erosion. It's consequence to current climate change. In accordance with this situation the demand for drinking water increases more and groundwater are no longer able to meet this augmented demand. So the use of remote sensing techniques and GIS can guide us to evaluate the degree and speed of sedimentation rate of Al Wahda dam? This is our objective when we are based on historical and recent images (GIS and remote sensing) of Al Wahda dam, fieldwork and bathymetric survey.

Keywords: dams, siltation, remote sensing, erosion, watershed, GIS.

INTRODUCTION

Les barrages au Maroc ont une capacité totale de 14,5 milliards de m³. Chaque année, on enregistre une perte de 75 millions de m³ de stockage suite à l'envasement des retenues. Cela correspond à une perte annuelle de 6700 ha irrigués. Les barrages construits dans les années 60 et 70 ont ainsi perdu 50 % de leur capacité. Ce qui correspond à une perte annuelle d'une retenue d'un barrage moyen. Il est prévu d'en construire une trentaine sur les prochaines 25 années. Cela ne permettra pas d'augmenter de façon importante la capacité de stockage et de régulation des crues.

1. Description de la zone d'étude

Situé dans la Province de Sidi Kacem sur Oued Ouergha avec un volume de stockage de 3713.8 Mm³. Le barrage Al Wahda occupe une superficie de 12.300 ha et retient un volume normal de 3.800 Mm³. Sa caractéristique est qu'il se situe sur un sillon profond et peut donc avoir une retenue très extensible, cet aspect géomorphologique est à l'origine de l'intérêt de ce barrage

Source : Carte des régions du Maroc + Carte du bassin de Sebou + Image SRTM Nord Maroc 2013 (modifiée)

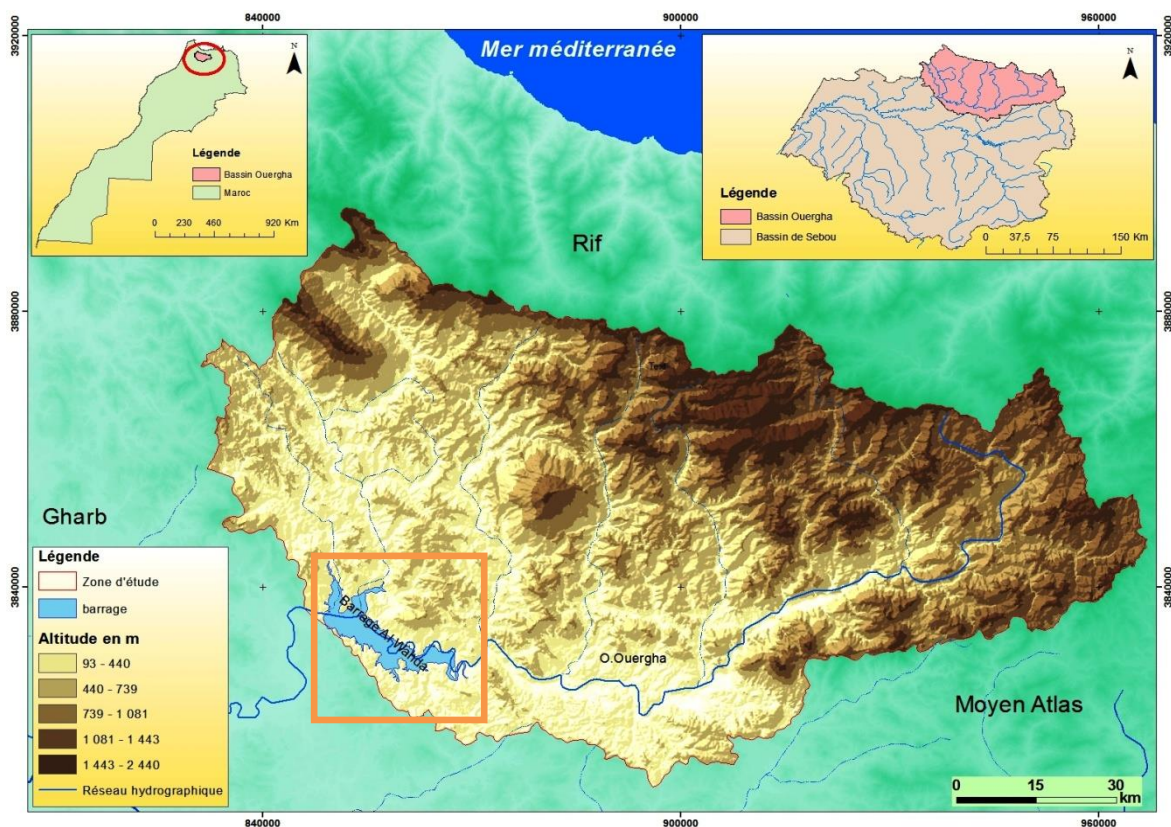


Figure N° (1) : Situation géographique du bassin versant du barrage Al Wahda (Nord Ouest Maroc)

Les massifs, les crêtes isolées, les sommets alignés, les rides, les bassins et les vallées sont les principales formes topographiques qui composent le bassin versant de l'Ouergha. Les altitudes ne dépassent que rarement les 1000 m, mais l'encaissement des vallées et la raideur des versants sont à l'origine du contraste et de la compartimentation des terrains (*G.Maurer, 1968*).

Plus de 70 % du bassin est orienté vers le Sud, cette disposition est peu favorable à l'enneigement, ce qui explique que malgré une altitude moyenne plus élevée que celle du Moyen Atlas, les neiges fondent beaucoup plus rapidement. Cette fonte des neiges précoces favorise les crues des mois de mars et d'Avril.

2. MATERIEL ET METHODES

Cet étude se base sur deux approches l'une complète l'autre :

Approche du SIG et Télédétection : elle correspond au traitement des images SRTM Landsat et Spot ... par des Logiciels de SIG (Arcgis, Erdas, Envi ...) et aussi à l'élaboration des cartes synthétiques (cartes de vulnérabilité et du risque d'érosion). Le SIG nous a permis aussi l'évaluation et la représentation cartographique des risques naturels à l'amont du bassin versant de l'Ouergha ainsi la télédétection permet au suivi de l'évolution diachronique des phénomènes et leur impact sur l'environnement.

Approche de terrain : elle permet d'avoir des connaissances sur les caractéristiques géomorphologiques et hydromorphodynamiques de la zone d'étude et les différents risques qui l'entoure, de confirmer et compléter le traitement et l'analyse des cartes topographiques et des images satellites.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Pendant l'hiver le barrage reçoit en plus de l'apport liquide, un débit solide important ce qui influence sa capacité de stockage. Aussi , la surface d'eau s'élargit par contre le barrage s'envase . En été , la secheresse domine . la lame d'eau écoulée baisse d'une façon assez remarquable , la capacité de stockage de l'eau du barrage se regresse et la surface du lac se rétrécit a cause d'évaporation. La baisse du niveau d'eau laisse apparaitre la vase en surface surtout dans les zones peu profondes .

Le barrage Al Wahda a atteint pendant l'année 2009 un niveau jamais égalé depuis 30 ans suite aux précipitations abondantes. Le cumul pluviométrique sur 5 mois, mesuré à la date du 20 janvier, dépasse de loin les performances réalisées en 1978. Il se situe à 524 mm contre 485 enregistré lors de cette année 2009.

Source : image Quick View 02-12-2009



Figure (2) : Détection de la vase à l'entrée du barrage Al Wahda lors d'une crue brutale

Sur ces images, nous avons pu remarquer qu'une zone était plus envasée. Nous en avons déduit qu'il y a un bouchon vaseux à l'entrée du barrage. Ceci est dû principalement à la vase générée par les cours d'eaux lors des averses brutales dans le bassin versant.

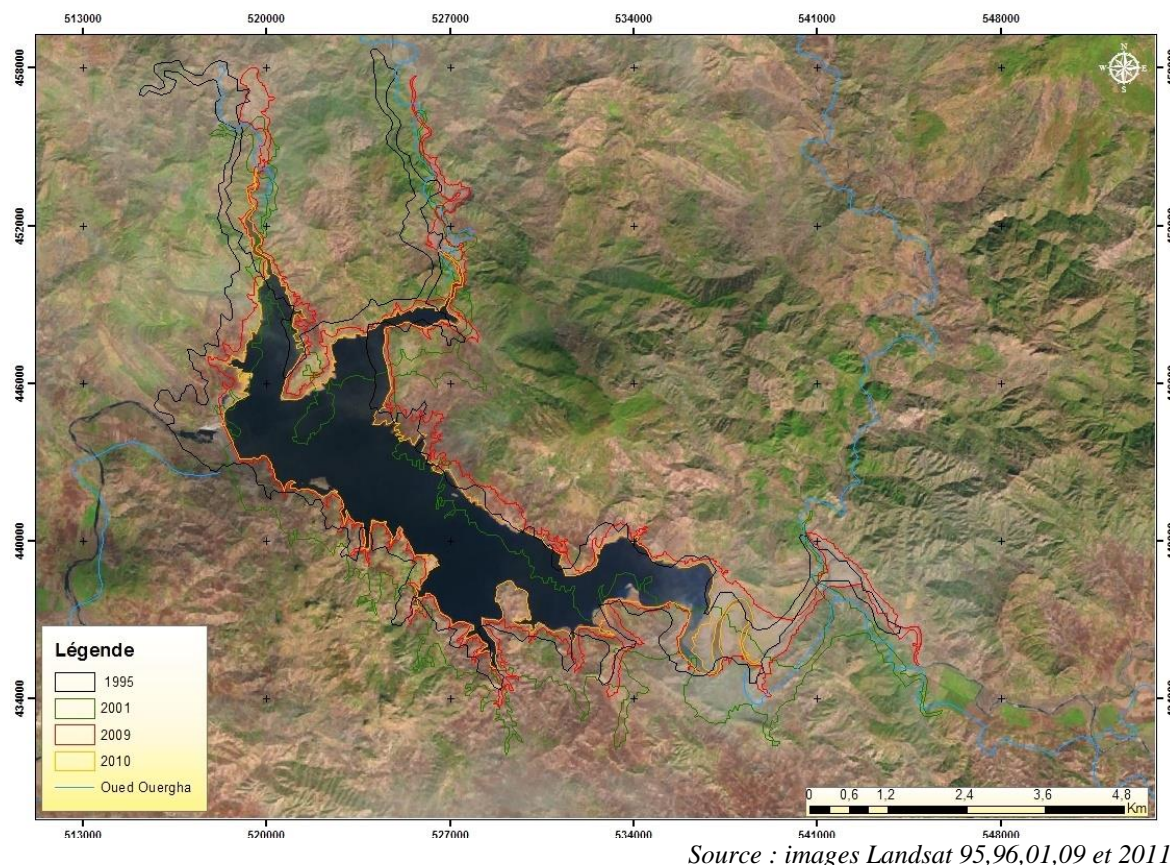


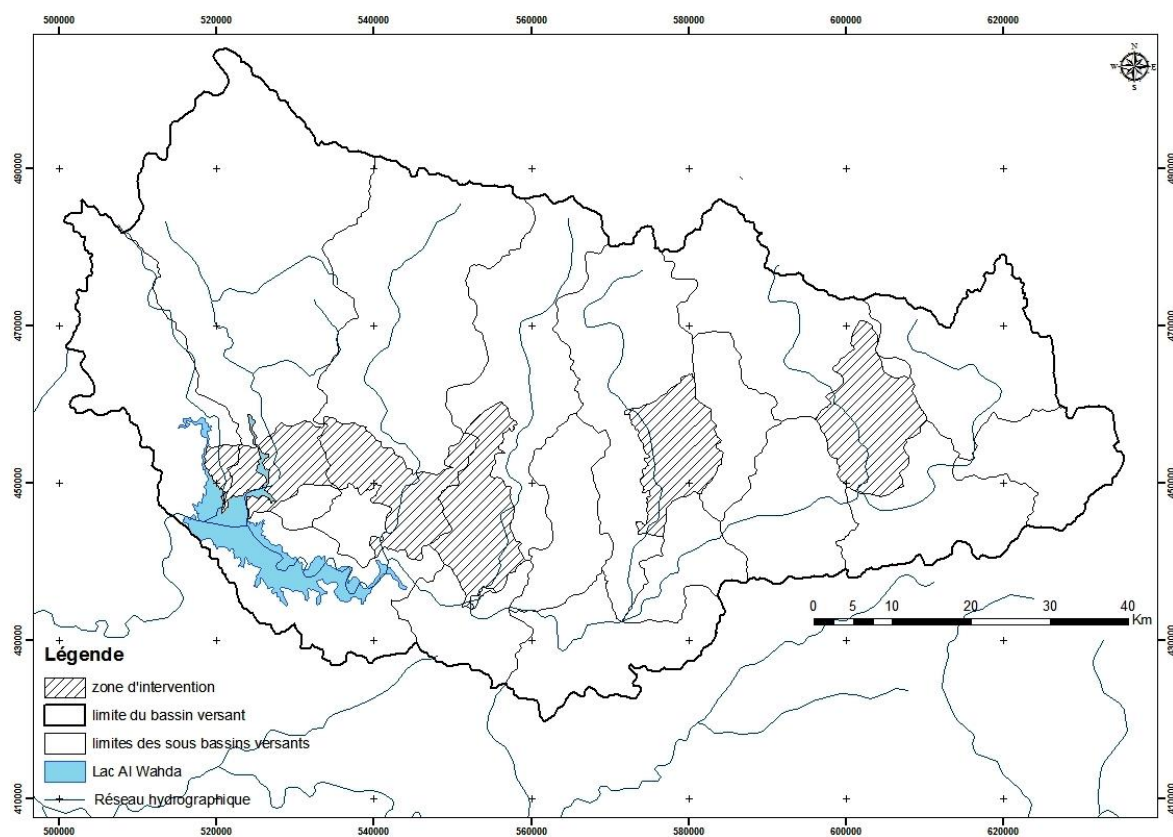
Figure N°(3) : L'évolution diachronique de la Limite du plan d'eau du barrage Al Wahda

D'après le suivi de l'évolution diachronique de la limite du plan d'eau Al Wahda , on constate qu'il y'a une régression au niveau de la capacité de stockage . Cela est dû essentiellement aux sédiments générés par les cours d'eau lors des averses brutales . Ces crues traversent un substrat marneux et argileux friable, batissant des versant très raids ce qui facilite la dynamique de ruissellement et les risques d'érosion, l'érosion, le ravinement et les glissements ... ce transport solide est freiné par barrage Al Wahda . En vue de leur capacité gigantesque , on ne peut pas voir avec nos yeux ces sédiments sur le fond sauf à sa queue ou la profondeur et très bas et parfois égale à 0.

Le taux d'envasement calculé à partir de la bathymétrie réalisée de manière régulière est de 3 Mm³/an ne correspond pas à la vraie intensité de l'érosion au niveau du bassin de l'Ouergha, étant donné qu'une bonne partie des sédiments transportés par les affluents de cet oued sont retenus par les barrages situés à l'amont du grand barrage Al Wahda. On rappelle que le taux estimé par les études de ce barrage était de 18,5 Mm³/an. (PDAIRE , 2011).

Dans l'Ouergha, la prédominance des formations marneuses qui affleurent sur les versants à pente forte permet, lors des périodes humides, une contribution très importante en matières solides. Ces apports, du fait de la forte capacité du transport de l'Ouergha, vont être acheminés jusqu'à la confluence avec le Sebou. Une partie non négligeable de ces apports va être probablement stockée dans la plaine alluviale et échappée ainsi au bilan du transport solide qui est mesuré à l'aval du Sebou. La construction du barrage sur les principaux cours d'eau du bassin, va entraîner un stockage des sédiments en amont ce qui aura certainement

des conséquences très importantes sur la sédimentation et le transport de ces matières solides à l'aval du bassin.



Source : BRL-GERSAR 1994 (modifiée)

Figure N°(4) : Zones des risques au niveau du bassin versant Ouergha

Cette carte provisoire est une estimation de risque engendré au niveau amont du Barrage Al Wahda, par l'association de divers paramètres, ainsi, pour avoir plus de détails concernant les zones de risque, d'autres facteurs doivent intervenir afin de bien choisir les mesures correctives et protectrices convenables à telle ou telle situation.

CONCLUSION

Toutefois, l'érosion naturelle et l'intervention humaine provoquent un envasement du lac barrage qui menace sa durabilité à long terme. On estime que le réservoir perd 60 millions de mètre cube de capacité chaque année. De plus, ces sédiments piégés dans le réservoir ne peuvent plus atteindre l'estuaire côtier, ce qui a altéré l'équilibre entre érosion et envasement tout au long de la côte en faveur de l'érosion. Une autre menace potentielle pour l'avenir du barrage est suggérée par les modélisations climatiques et hydrologiques, qui prédisent qu'une augmentation d'un degré Celsius des températures moyennes de l'air entre 2 000 et 2020 réduirait le débit du barrage de dix pour cent.

Références bibliographiques

BANNARI Abderrazak. en collaboration avec le département de Géographie Université d'Ottawa 10 au 12 mai 1999, la télédétection optique et radar et la Géomatique pour la gestion des problèmes environnementaux, p 171-176.

GARTET Jaouad : contribution à la connaissance de la dynamique fluviale au pléistocène supérieur et à l'holocène dans la vallée de l'Ouergha : Etude des dépôts des basses et très basses terrasses de l'Ouergha (Rif –Maroc).Thèse de doctorat ; option Géomorphologie ; Université de Provence (Aix en Provence), soutenue le 23 Mars 2001.

LAHLOU Abdelhadi : Envasement des barrages au Maroc, sciences et techniques, collection dirigée par Taieb BENNANI, édition WALLADA, Casablanca 1994, p : (102-103), (122), (165-166),

MAROC, Secrétariat d'Etat Chargé de l'Eau et de l'Environnement , Agence du bassin hydraulique de Sebou Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin hydraulique de Sebou, Note de synthèse , Septembre 2011 ,103 p .

MAURER Gérard : Les montagnes du Rif central, étude géomorphologique, concours du ministère de l'éducation nationale et des beaux arts et du centre universitaire de la recherche scientifique du Maroc, du ministère de l'éducation nationale de France, 1968.

✓ فالح علي : التقييم النوعي والكمي لانجراف التربة بالريف الأوسط (حوض اكنول نموذجاً) ، الطبعة الأولى : 1431 هـ - 2010 م ، مطبعة الخليج العربي ، "152، شارع الحسن الثاني تطوان".

L'UTILISATION DES SYSTEMES D'INFORMATION GEODECISIONELS À L'ASSURANCE DES CATASTROPHES NATURELLES; UN AVENIR PROMETTEUR "CAS VILLE DE BATNA"

Hassina BOUZIDA, Kenza SLIMANI et Hadjer SMADI

Université Hadj Lakhdhar "Batna 2", laboratoire de gestion des risques naturels et aménagement de territoire

hassinabouzida@hotmail.fr/aminalisa17@gmail.com

Résumé: En Algérie, comme dans de nombreux autres pays exposés, les catastrophes naturelles ont causé beaucoup de décès, détruit des habitations, des installations industrielles et commerciales et des infrastructures. Les pouvoirs publics ont décidé d'instituer un système d'assurance particulier, car basé sur l'obligation d'assurance, pour alléger la charge de l'État en matière de réparation, en se basant sur l'assurance comme un moyen qui permet à l'assuré de se protéger contre les risques aléatoires dus aux forces de la nature dont les sommes des dommages causés par ces dernières peuvent être très importantes. Ce présent travail a été mené dans la ville de Batna qui représente l'une des plus villes algériennes ont été durement touchée notamment par une série d'inondations ayant provoqué des pertes en vies humaines et des dégâts importants. Ainsi la ville a été touchée par plusieurs séismes avec une intensité considérable. Cette étude a pour objet d'analyser l'état de l'assurance contre les effets des catastrophes naturelles dans cette ville. Par ailleurs une modélisation multidimensionnelle dans un système d'information géodécisionnel SIGD qui permet de structurer les données relatives aux portefeuilles des sociétés d'assurances pour mieux répondre aux besoins de ses sociétés et de participer à la prévention des risques naturels.

Mots clés :

Assurance, catastrophes naturelles, inondation, modélisation multidimensionnelle, le système géodécisionnel.

THE IMPORTANCE OF GEDECISIONAL INFORMATION FOR NATURAL CATASTROPHY INSURANCE; À FUTURE DEVELOPER THE "CASE OF BATNA CITY"

Abstract: In Algeria as a lot of countries wish are exposed to natural catastrophes. Wish are causing in a lot of victims destroy houses industrial and commercial installations. So the public authorities have decided to institute particular system of assurance that is based on the insurance's obligation to avoid the nation from the charge of the reparation's matters; basing the insurance as a tool wish's permitting to assure the protection against the hazardous of the nature forces. That is able to cause serious damages. We have applied this work in Banta city wish has being presented; as a mooing the most Algerian city. Wish has being touched with in a series of inundations marked by the lost of considerable number people and materiel. In addition to this; the city had lived different degrees series of seisms. So the objective fro; this study is to analyze the insurance case against the nature catastrophes effects in this city. At the same time a modelisation multidimensional in an informational system geodecisional wish's permitting to structuralize the relative data to suit 'cases of insurance's societies to reply better fully; and participated in preventing risks nature.

Key words:

Insurance, natural catastrophes, inundations, modélisation multidimensionnelle, geodecisionel system

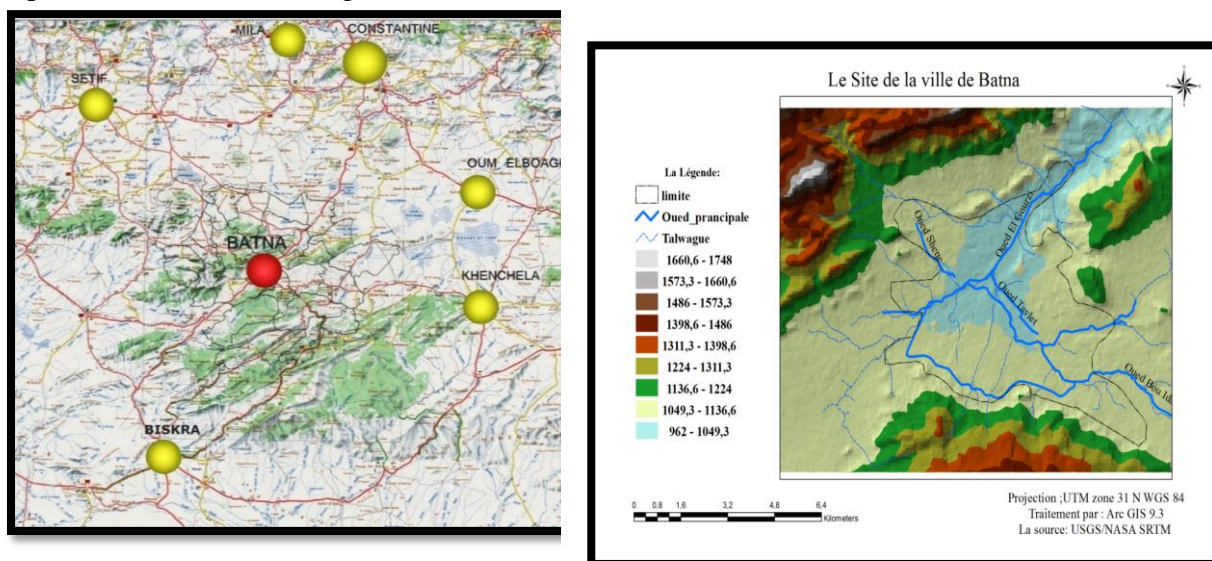
Introduction

Le domaine des systèmes d'information géodécisionnel (SIGD) est émergent ; par conséquent la définition n'est pas encore stabilisée sur un plan académique. Le terme de Système d'Information Géographique intelligent est utilisé comme synonyme du terme géodécisionnel ce qui constitue une notion trop vague pour l'auteur. Le terme géodécisionnel sera utilisé tout au long du document comme un type de système d'information associant les fonctionnalités des SID et celles de la géomatique. Le géodécisionnel se définit de la façon suivante : Le géodécisionnel constitue une discipline technologique regroupant l'ensemble des moyens, outils et méthodes permettant de collecter, consolider, modéliser et restituer des données en vue d'offrir des capacités d'analyse globales et détaillées dans l'espace et dans le temps. Ces systèmes reposent sur une méthode de modélisation dite spatiale multidimensionnelle.

Ce travail a pour objet de présenter les fondements du « géodécisionnel » proposée comme piste méthodologique et technologique exploratoire pour apporter des réponses à la problématique de l'assurance des risques naturels. La démarche de modélisation pour mener à bien la réalisation de prototypes géodécisionnels pour la problématique de l'assurance des risques naturels.

1. Description de la zone d'étude

La ville de Batna est considérée historiquement comme étant la capitale des Aurès. Et le chef lieu de la wilaya de Batna est située à l'Est algérien à 425km au sud de la Capitale à 1040 m d'altitude, localisée entre 6° 09' de longitude Est, et 35° 33 ' de latitude Nord, sur une superficie de 11451km².(figure 01).



La ville de Batna qui représente l'une des plus villes algériennes ont été durement touchée notamment par une série d'inondations ayant provoqué des pertes en vies humaines et des dégâts importants, due essentiellement de sa situation géographique (assiette), aussi au développement des enjeux humains et leur extension spatiale; résultat direct de la croissance démographique, avec son lot d'agglomérations urbaines et d'installations industrielles qui, dans de nombreux cas, se font dans des zones à risque potentiel. Ainsi la ville a été touchée par plusieurs séismes avec une intensité considérable.

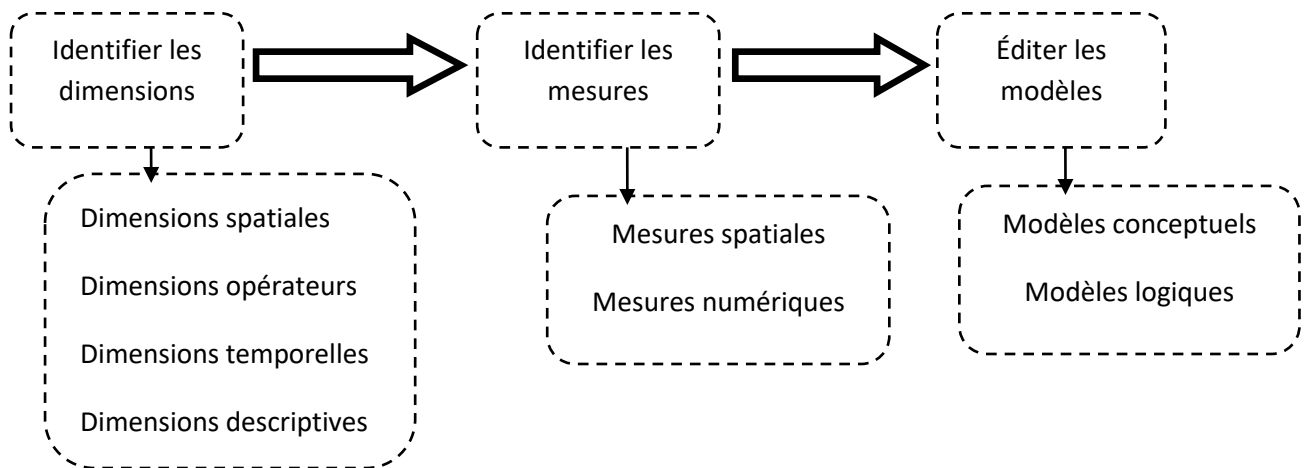
2. La méthode du travail

la méthode utilisée constitue une nouvelle famille d'outils s'appuyant sur un enrichissement de la modélisation multidimensionnelle de manière à prendre en compte non seulement le caractère spatial ou géographique mais aussi le caractère multidimensionnelle des données. Ainsi le SIGD est vu comme l'ensemble des technologies capables de combiner les composantes multidimensionnelles et les composantes géographiques.

2.1. Le modèle spatial multidimensionnel :

Cette étape se décompose en un lot de trois sous étapes illustrées par le schéma suivant :

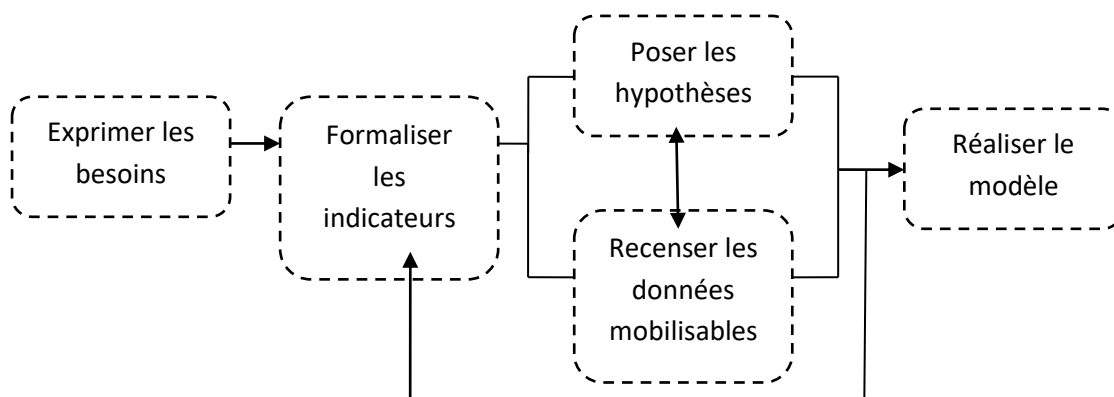
Schéma N° 01: Les trois étapes pour réaliser le modèle multidimensionnel



2.2. Modélisation géodécisionnelle pour la problématique de l'assurance des CAT-NAT

L'objectif est d'aboutir à des prototypes exploratoires ou expérimentaux pour démontrer le potentiel méthodologique et technologique des Systèmes d'Information Géodécisionnels. La modélisation permet à partir des éléments d'expression des besoins d'aboutir à la conception d'un modèle spatial multidimensionnel. La démarche de modélisation se décompose en un ensemble de cinq étapes clés (schéma n° 02).

Schéma N° 02 : Schéma des étapes de la démarche de Modélisation



Le cas d'étude concernera l'évaluation de l'exposition et des pertes financières Potentielles d'un ensemble de portefeuilles d'assurés face aux inondations. Ce modèle fait appel à des

notions d'endommagement, de conditions d'assurance et à la structuration des données à l'intérieur d'une société d'assurance.

3. Résultats et discussion

Dans le secteur de l'assurance comme dans d'autres secteurs, les SID sont utiles pour les fonctions de reporting auprès des directions techniques et des équipes de directions afin de suivre l'évolution de leurs branches d'activité (suivi des achats, des ventes, de la production, etc.). Les valeurs suivies sont souvent quantitatives et financières: montants des ventes, chiffres d'affaires par branche, niveaux de rentabilité des points de vente, etc.

Parfois les valeurs suivies sont qualitatives comme des notations sur l'appréciation des performances : satisfaction des clients, satisfaction des actionnaires, satisfaction des partenaires et des employés. Les outils d'analyse et de reporting permettent de naviguer à l'intérieur des processus décisionnels et des entrepôts de données ou magasins de données pour consulter les résultats des indicateurs suivant les axes thématiques métiers choisis pour la conception de ces structures de données qu'on appelle aussi cube de données. À titre d'exemple une société d'assurance consolide des cubes dédiés à des thèmes comme la production (encaissements des primes par branche et par produit), sur les sinistres (par type de sinistre), sur les forces commerciales (les distributeurs agents, courtiers, réseau salariés), sur la productivité (par processus métiers, par engagement de service) ou bien sur des spécialités comme la réassurance ou la coassurance. D'autres cubes sont orientés spécifiquement sur le pilotage technique intégrant à la fois des données de production et des données sur les sinistres (calcul du S/P et du ratio combine, calcul des engagements, etc.).

Le SID se positionne comme un bloc support dans un environnement tridimensionnel :

- les processus métiers qui sont transverses à l'organisation de la société (ex : gestion de la relation client, gestion des prestataires, gestion de la production).
- les fonctions spécialisées qui sont propres à chaque service ou département de l'organisation de l'entreprise (ex : comptabilité, commercial, production).
- le décisionnel comme support aux décisions opérationnelles et aux décisions Stratégiques.

. Cette méthode a pour but de construire un modèle spatial multidimensionnel dédié à la problématique de l'assurance des CAT-NAT. La méthodologie tente de s'assurer que les modèles conçus répondent au mieux aux besoins exprimés par les professionnels de l'assurance (schéma n° 03).

Schéma N° 03 : Modèle spatial multidimensionnel pour l'évaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés



Conclusion: Le modèle spatial multidimensionnel constitue l'élément charnière fondamental de la construction d'une application géodécisionnelle. L'illustration de la méthode est présentée autour d'un cas d'étude sur l'évaluation de l'exposition aux inondations des portefeuilles d'assurés d'une compagnie d'assurance (répondant aux besoins « individuels »).

Les SIGD ont présenté aussi le rôle des cartes dans la gestion assurancielle. Certes l'arrivée de nouvelles technologies de type Systèmes d'Informations Géodécisionnels offre de nombreuses perspectives.

Références Bibliographiques

- Belkhiri. K (2006) : Thèse de magister (Contrôle rapide des structures en relation avec le risque et évaluation des dommages causés par une catastrophe naturelle cas de séisme).
- Bella. N (2006) : Thèse de magister (le problème d'inondation dans le bassin versant de la ville de Batna).
- Benmicia. Y (2005) : Le système de couverture des catastrophes naturelles en Algérie IV forum des assurances hôtel El Aurassi 28-29 novembre 2005 Alger.
- Céline. G– Letrémy – Cédric. P (2010) : Le régime d'assurance des catastrophes
- Céline .L– Seeidd (2010) : Le rôle de l'assurance dans la prévention des catastrophes naturelles.
- François. J (2009) : Quel retour d'investissement des projets de modélisation et de prévention des périls climatiques.
- Guide des assurances en Algérie 2009, 2010.
- Julien I (2009) : Thèse de doctorat (Contribution de la méthodologie et de la technologie géo décisionnelle pour l'aide à l'évaluation des risques naturels dans le secteur de l'assurance en France).
- IAHEF – Institut Algérien des Hautes Etudes Financières
- Laurence. P (2007) : Thèse de doctorat (l'usage des SIG appliqués à l'assurance un avenir prometteur).
- Les sociétés d'assurance : Saa, CAAR, CAAT, TRUST, GAM, CIAR, SALAMA.
- Marc. L (2003) : Systèmes d'information et risques naturels.
- Oulmane. A : Assurance et réassurance des risques des catastrophes naturelles, guide de la Compagnie Centrale de Réassurance (CCR)
- Plan de direction et d'aménagement urbain de la ville de Batna 2006.
- Présentation du conseil national d'assurance (CNA) sur : Attitudes des Algériens face à l'assurance contre les effets des catastrophes naturelles. Conseil national d'assurance (CNA)...
- Ramoule. S (2012) : La place des assurances dans la gestion des risques naturels en Algérie. le 2^{ème} séminaire international Euro- Méditerranéen ; aménagement de territoire, gestion des risques et sécurité civile' vers une géomatique des risques permettant de comprendre le fonctionnement des territoires pour réduire leurs vulnérabilités' le 25-26-27 septembre 2012 Batna – Algérie.

**SIG ET MODELISATION DES FACTEURS DE RISQUE D'INCENDIE DE FORET
(CAS DE LA FORET DE BERKINE, GUERCIF, MAROC)**

Youssef HAMDACH & Zakia BOURAZZA

Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, FLSH Sais, Fès. Laboratoire d'Analyses Géo-Environnementales et d'Aménagement – Développement Durable (LAGEA-DD)

hamdach_youssef@live.fr ; zakia-master@hotmail.com

RESUME : La forêt de Berkine se situe dans un secteur accidenté du massif Moyen Atlasique Septentrionale au sud de Guercif. C'est une forêt qui est soumise à plusieurs contraintes naturelles et humaines. De ces contraintes, les incendies constituent un danger majeur à cause de leurs répercussions sur les écosystèmes forestiers. L'objectif de ce travail est l'utilisation du SIG pour l'application d'une méthode mise au point par DAGORNE & DUCHE en 1994 afin d'élaborer une carte de risque d'incendie pour délimiter les zones potentiellement sensible aux feux de forêts sur le territoire de la forêt de Berkine. L'approche adoptée est un modèle empirique qui fait intervenir trois paramètres qui contrôlent le comportement du feu, la topomorphologie du terrain, la combustibilité du couvert végétal et l'activité humaine.

Mots clés: incendie, SIG, forêt, risque, Berkine, Guercif

**GIS AND MODELLING RISK FACTORS OF FOREST FIRE
(FOREST OF BERKINE, GUERCIF, MOROCCO)**

ABSTRAT: The Forest of Berkine is located in a hilly area of northern massive Atlas south of Guercif. This is a forest that is subject to a number of natural and human constraints. Among these constraints, the fires are a major hazard because of their impact on the forest ecosystems. The objective of this work is the use of GIS in the application of a method developed by DAGORNE & DUCHE in 1994 in 1994 to develop a fire risk map to delineate potentially sensitive areas in the territory of the Berkine forest. The approach is an empirical model that involves three parameters that control the fire behavior, the topomorphologie ground, combustibility of vegetation and human activity

Keywords: fire, GIS, forest, risk, Berkine, Guercif

INTRODUCTION

L'incendie de forêt est considéré traditionnellement comme un risque et une catastrophe naturelle. Son impact sur le territoire est majeur (JAPPIOT et al., 2003). Bien que considéré habituellement comme un risque naturel, il est au contraire largement conditionné par des facteurs anthropiques.

Le phénomène des incendies de forêts concerne l'ensemble des pays méditerranéens comme l'ont montré divers travaux (VELEZ, 1999 ; GOUIRAN, 1999 ; JAPPIOT et al., 2003 ; MARTINEZ et al., 2004). La plupart de ces travaux sont réalisés dans la rive nord de la Méditerranée. Au Maroc, les incendies de forêts ne sont pas suffisamment étudiés.

A l'instar des autres massifs forestiers de la province de Guercif, la forêt de Berkine est plus vulnérable aux feux. Ceci est dû au fait qu'elle est caractérisée par une forte densité du couvert végétal, par la présence d'un tapis herbacé développé et par une présence humaine importante.

Élaborer une politique de prévention des incendies de forêts ne peut sérieusement s'envisager sans une connaissance approfondie du risque soit au terme d'écllosion ou de propagation. Ainsi, notre objectif dans cet article consiste à cartographier le risque d'incendies de forêts dans la forêt de Berkine en se basant sur l'application d'une méthode mise au point par DAGORNE & DUCHE en 1994.

1. PRESENTATION DE L'AIRE D'ETUDE

La forêt de Berkine relève du Moyen Atlas septentrionale. Elle se situe dans la Province de Guercif, à une Quatre-vingt-dix de kilomètre environ au sud-ouest de la ville de Guercif. La forêt étudiée est reliée à la commune rurale de Berkine (fig.1).

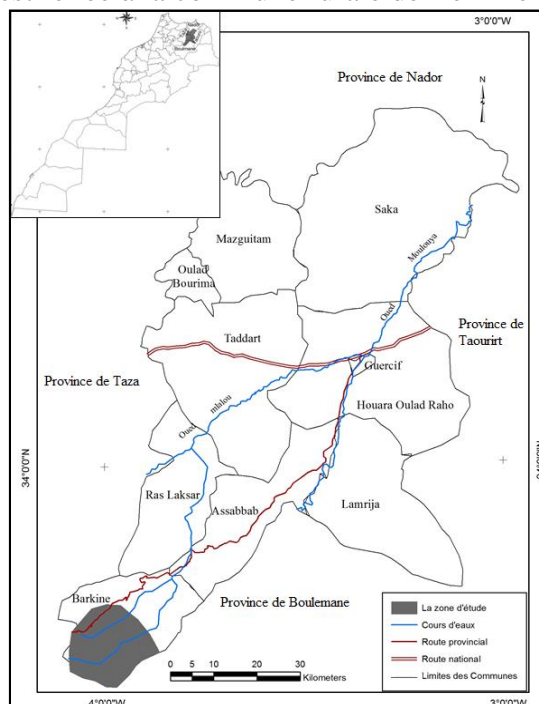


Figure 1. Situation géographique de la forêt de Berkine dans la Province de Guercif

La forêt de Berkine est caractérisée par un terrain montagneux, les montagnes couvrent la plupart du territoire de la forêt, l'altitude dépasse 3000 m (Jbel Bouyablane 3190 m et Jbel Bounasser 3340 m). Le climat est de type semi-aride à humide La pluviométrie

moyenne annuelle est d'environ 500 mm. L'enneigement est fréquent au-delà de 1200 m d'altitude, surtout au sommet de jbel Bouyablane, jbel Bounasser qui connaît les valeurs les plus élevées en ce qui concerne l'épaisseur.

La forêt de Berkine est de type méditerranéen. C'est une forêt très diversifiée en essences et en formations forestières comme le Chêne vert, Cèdre, pin d'Alep, Thuya, Génévrier, Alfa et Romarin. L'interface forêt/homme y est très importante en raison de l'éclatement de l'habitat.

2. MATERIEL ET METHODES

La méthodologie utilisée est basée sur l'analyse multicritère via un SIG. Cette analyse multicritère est une méthode qui a pour objet la manipulation de plusieurs critères (sous forme de couches d'informations) dans le but ultime de faciliter la prise de décision. Pour la mise en place de cette méthodologie, on a suivi les étapes suivantes :

- Choix des facteurs agissant sur le phénomène : les facteurs et les combinaisons des facteurs pouvant contribuer au déclenchement et à la propagation des incendies de forêts sont très nombreux. Les plus importants sont donc choisis parmi les plus fréquents mais en tenant compte aussi la disponibilité des données correspondantes. Dans ce travail, les facteurs suivants sont pris en compte : les types de végétation, l'occupation humaine (Route et Douars) et le facteur topo-morphologique.
- Choix d'indice de risque : parmi les nombreux indices, nous avons opté un indice de risque qui paraissait à notre avis, adapté au problème étudié. Cet indice de risque proposé par DAGORNE & DUCHE (1994) qui proposent un indice intégrant trois sous indices tel que le décrit la formule suivante :

$$IR = 5IC + 2IH + IM$$

IR: Indice de risque de feu de forêt ;

IC: Indice de combustibilité ;

IH: Indice d'occupation humaine ;

IM: Indice topo-morphologique.

Cet indice est conçu selon un modèle affectant à chaque paramètre un coefficient de pondération, en fonction de son influence sur la propagation de l'incendie. Dans notre cas, nous cherchons, à partir de l'intégration des données multi source, à cartographier les secteurs exposés au risque d'incendies. Pour valider l'approche retenue l'application a été réalisée à l'aide du Logiciel ArcGIS 10.2.2.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Pour évaluer le risque d'incendies de forêts il est nécessaire de modéliser chacun de ses éléments. Cette étape consiste à sélectionner les paramètres propres à chaque élément. Les paramètres sont les facteurs du milieu naturel et anthropique qui influencent l'éclosion et la propagation. Les familles de paramètres sont appelées composantes. Elles sont : la végétation (combustibilité, inflammabilité...), la topographie (pente, exposition...), et occupations humaines (routes, maisons...).

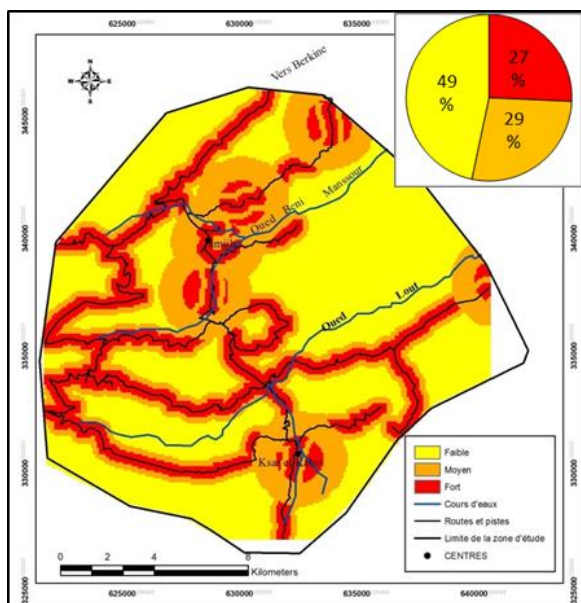


Figure 2. Carte d'occupations humaines

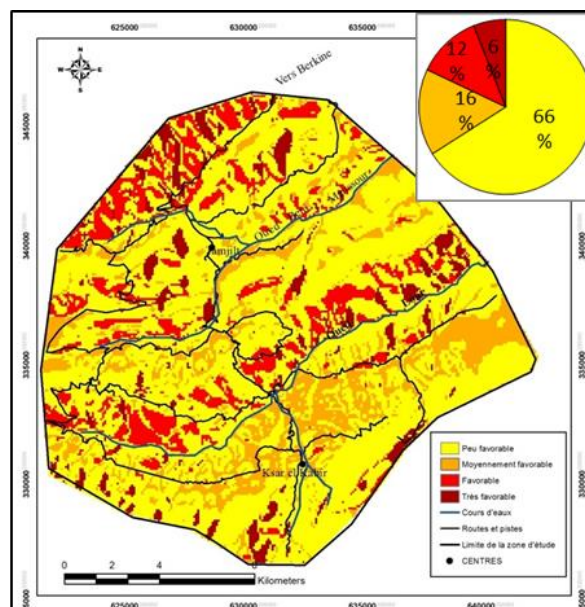


Figure 3. Carte d'indice topo-morphologique

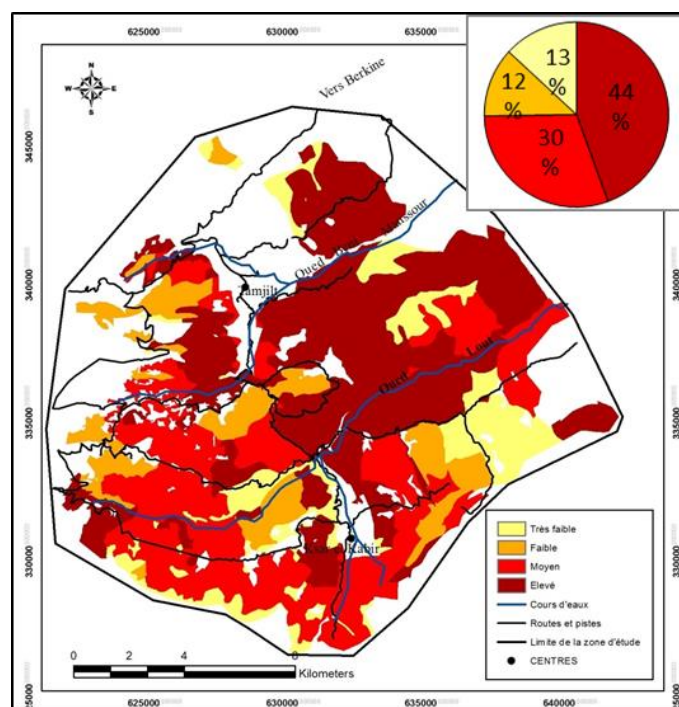


Figure 4. Carte de l'indice de végétation

Le croisement entre la couche de l'indice de combustibilité, la couche de l'indice topo-morphologique et l'indice d'occupation humaine a permis d'aboutir à la cartographie du risque potentiel d'incendies de forêts. En appliquant la formule suivante: $IR = 5.IC + 2.IH + IM$

La carte du risque potentiel d'incendies dans la forêt de Berkine (figure 5) montre une prédominance du risque faible ; 68% de la superficie totale de la région d'étude. Les autres classes sont distribuées comme suit : risque moyen 15%, fort 11% et très forte 6%. Ces résultats sont dus aux faibles densités humaines et à la faible densité du réseau routier implanté en forêt de Berkine, ainsi que Les conditions topo-morphologiques de la forêt sont peu favorables (HAMDACH, 2015).

La confrontation de ce modèle SIG avec les données historiques montre que la majorité des feux qui se sont déclarés aux cours de la dernière décennie se sont produits surtout dans les zones à risque moyen et fort.

En termes d'aménagement forestier contre les incendies de forêts, nous proposons une gestion participative des feux de forêt par l'implication des habitants riverains des forêts dans les actions visant à empêcher tout départ de feu, un débroussaillage préventif tout près de douars et route et une intensification des équipements de DFCI (Défense de la Forêt Contre les Incendies) qui comprend essentiellement les points d'eaux, les postes vigie et les tranchées pare-feu.

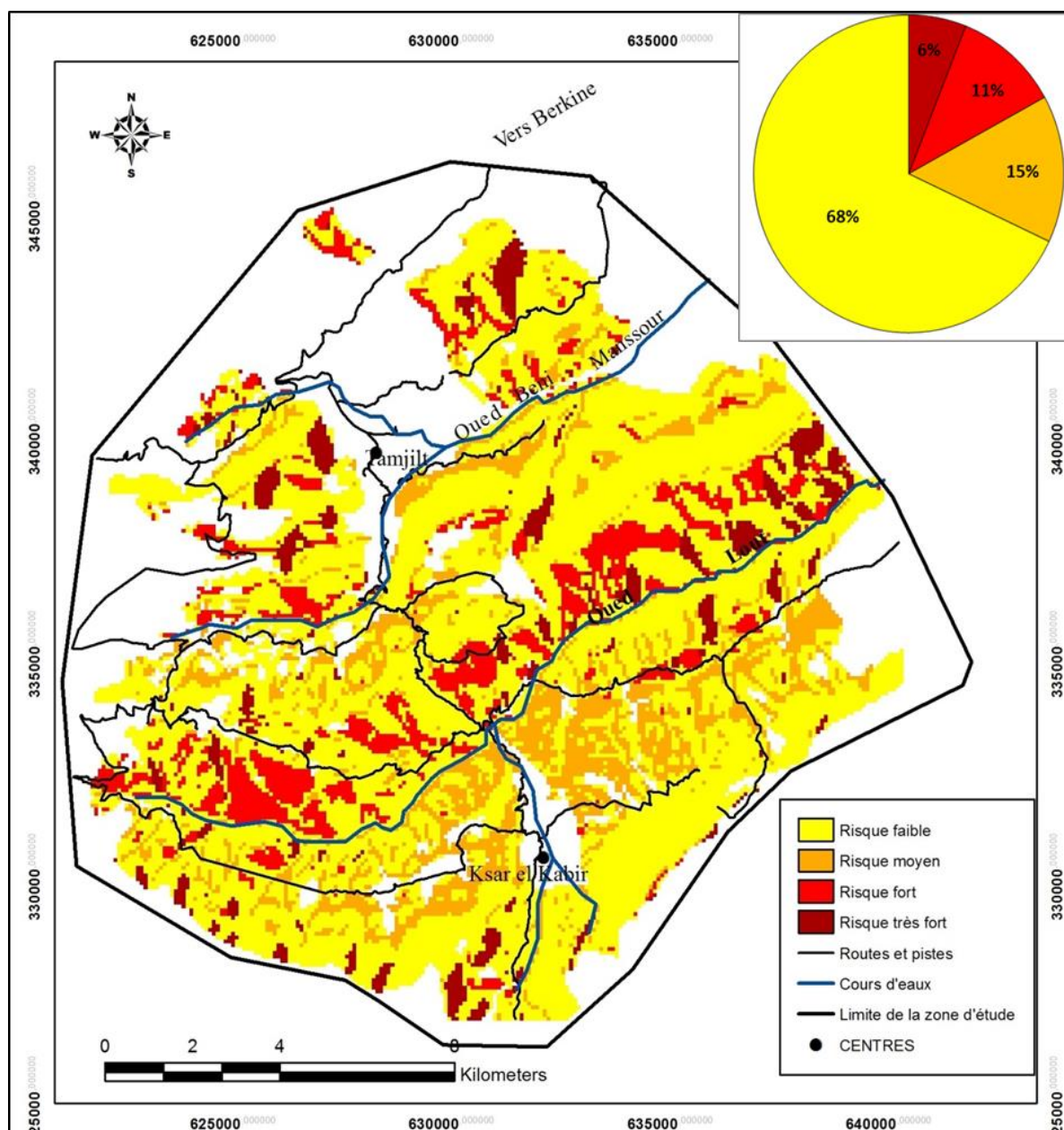


Figure 5. Carte du risque potentiel d'incendies dans la forêt de Berkine

CONCLUSION

A partir de l'approche cartographique, les zones sensibles sont maintenant bien connues et cartographiées. L'objectif à ce niveau est donc atteint, cela permettra d'optimiser l'allocation des ressources destinées à la lutte contre les feux naissants et, plus spécifiquement, à un programme adéquat d'actions dans le domaine de la prévention, dont le but fondamental est de réduire la fréquence des feux et la superficie incendiée.

Deux facteurs fondamentaux semblent intervenir dans l'éclosion des incendies. D'une part, l'accroissement de la population entraîne une pression accrue sur les terres forestières, due à la demande de terres de culture et de pâturage dans certaines régions et d'espaces de loisirs dans d'autres. D'autre part, les fluctuations climatiques donnent lieu à de longues périodes de sécheresse, qui accroissent et étendent dans le temps et dans l'espace le danger d'incendie (VELEZ R. 1999 ; MARC et al., 2007).

En perspectives de recherche, des voies de recherches sont essentielles en matière de géogouvernance et de développement durable dans le cadre d'une prévention contre le risque d'incendie.

Références bibliographiques

- MARC B., DESPINA K., PAVLOS K., NIKOS P. (2007). *A decision support system for managing forest fire casualties*. Journal of Environmental Management 84, , pp 412–418.
- DAGORNE A.Y., DUCHE, J.M. CASTEX, OTTAVI J.Y. avec la participation de DALLIER CH. ET DE COSTER A. (1994). *Protection des forêts contre les incendies & Système d'information géographique: Application à la commune d'Auribeau sur Siagne (Alpes Maritimes)*. Revue forêt méditerranéenne t. XV, n°4, octobre, 409 – 420.
- GOUIRAN M. (1999). *Bilan des dégâts causés par les incendies de forêts dans les pays riverains de la méditerranée (1981-1997) : pour la création d'un système d'information sur les incendies de forêts*. Atelier "Les bases de données sur les feux de forêts en région méditerranéenne, utilisations et enseignements", 27 avril – 1er mai 1999, Tétouan, Maroc, pp 157 – 176.
- HAMDACH Y. (2015). *Les incendies de forêts : genèse et impacts environnementaux et socio-économiques dans le moyen atlas septentrional, Maroc : cas des forêts de Bab Azhar et de Chikker*. Thèse présentée pour l'obtention de doctorat en Géographie et Aménagement. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculté des Lettres et sciences Humaines Sais Fès. 190 pages.
- JAPPIOT M., BLANCHI R. ET ALEXANDRIAN D. (2003). *Cartographie du risque d'incendie de forêt besoins, méthodes et données Essai de normalisation*. Forêt méditerranéenne t. XXIV, n° 4, décembre, pp 427 – 434
- MARTINEZ J. ET MARTIN P. (2004). *Los incendios forestales en en España. Analisis de incidencias y causalidad. Nuevas tecnologias para la estimacion del riesgo de incendios forestales*. Coleccion de estudios ambientales y socioeconomicos. Concejo Superior de Investigaciones Cientificas, pp. 11- 22
- VELEZ R. (1999). *Protection contre les incendies de forêt : principes et méthodes d'action*. Options Méditerranéennes, Série B : études et Recherches, n ° 26. Zaragoza : IAMZ, 118 pages.

APPLICATION D'UN MODELE SIG POUR LA MODELISATION DU RISQUE DE FEU DE FORETS AU MOYEN ATLAS ORIENTAL (COMMUNE RURALE DE BOUCHFAA - PROVINCE DE TAZA-MAROC)

Ali FALEH *; Mohamed HANCHANE **; Jamal CHAAOUAN **; El Houcine LAKHOAJA *

* Laboratoire LEGAC (USMBA-FLSH Saïs) ; ** Laboratoire DEP2D (USMBA-FP Taza)

Résumé : L'étude porte sur une modélisation SIG du risque de feu de forêts en fonction des conditions naturelles et anthropiques tout en intégrant des informations de terrain sur la physiognomie du couvert végétal. Des données historiques ont servi pour la pondération des indices choisis et pour la validation du modèle. Les résultats obtenus confirment la validité du modèle et proposent son amélioration en intégrant des données relatives à la vulnérabilité au risque d'incendies de forêts.

mots clés : Incendies de forêts ; Modélisation SIG; Forêt du Moyen Atlas Oriental (Taza).

Abstract : This study focuses on a GIS modeling of the risk of forest fire based on natural and human conditions and terrain information on the physiognomy of the vegetation cover. Historical data were used for the weighting of indices chosen and for model validation. The results confirm the validity of the model and propose its improvement by integrating data on vulnerability to the risk of forest fires.

keywords : Forest fire; GIS modeling; Forest of the Eastern Middle Atlas

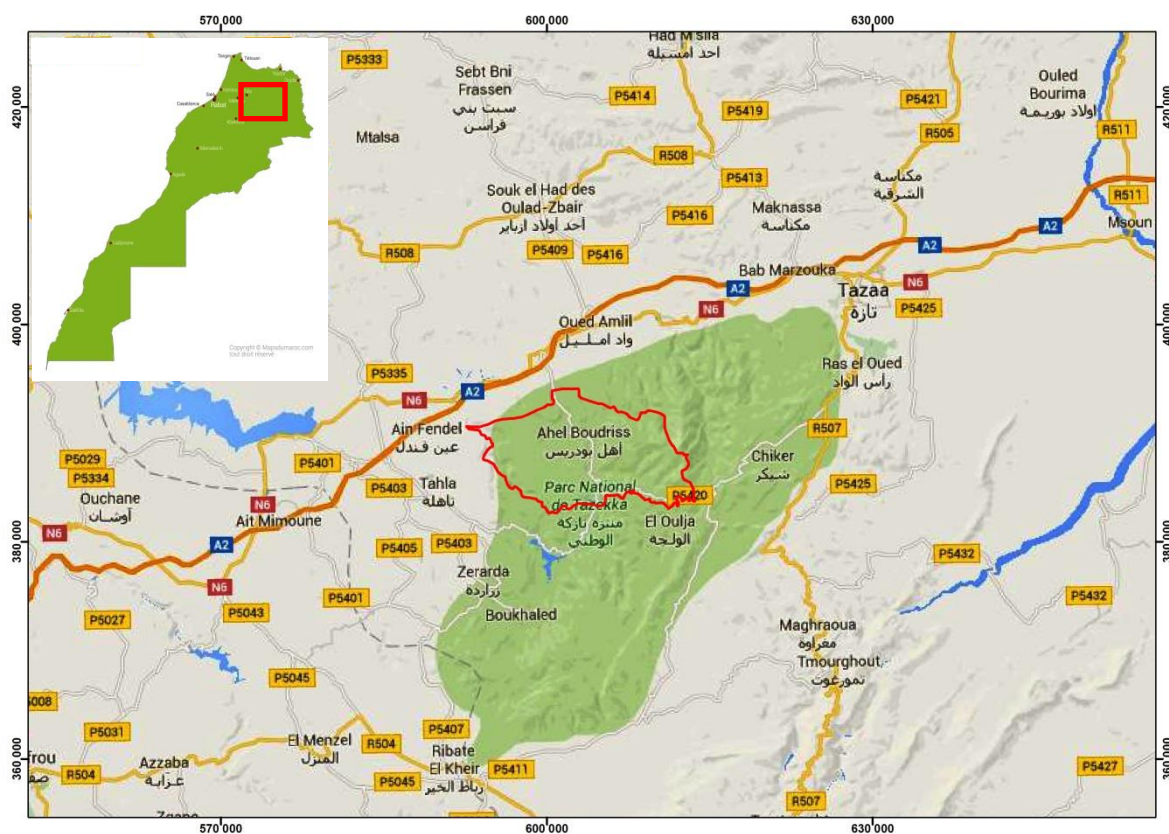
Introduction

L'étude porte sur une modélisation du risque d'incendie de forêts à la commune rurale Bouchfaâ, faisant partie du Moyen Atlas Oriental. Cette forêt, d'une grande importance écologique et socioéconomique, abrite le Parc national de Tazekka. La zone choisie compte parmi les communes les plus exposées au risque de feu de forêt à l'échelle de la province de Taza (Hanchane et Janati, 2010). Cette modélisation rend compte de la complexité de ce fléau et de la compréhension et la quantification des facteurs physique et anthropique qui le régissent. Ainsi, des facteurs topo-morphologiques (pente et exposition des versant), biologiques (nature du combustible et degré de son inflammabilité) et anthropiques ont été pris en considération dans l'élaboration d'un modèle SIG qui s'inspire de celui de Dagonne (1993; 1995). L'historique des incendies de forêts, survenues dans cette commune entre 1997 et 2015, et les relevés physiognomiques de terrain des principales formations végétales ont été déployés pour apporter des informations supplémentaires au modèle SIG. Le but ultime d'une telle étude est de contribuer à l'amélioration de l'aménagement forestier pour la lutte contre les incendies de forêts.

Présentation de la commune de Bouchfaâ, données utilisées et méthodologie

La commune rurale de Bouchfaâ fait partie de la province de Taza, cercle d'Oued Amlil. Elle est située au Nord-Ouest du Moyen Atlas Oriental, entre les longitudes 4° 17' et 4° 10' Est et les latitudes 34° 30' et 34° 6' Nord (carte 1). Sa superficie est de l'ordre de 14 500 ha et sa population est de 11700 habitants (HCP, 2014). Elle fait partie du Parc national de Tazekka qui constitue un patrimoine naturel d'intérêt national et international. Ayant une vocation forestière de premier ordre, la superficie de sa couverture végétale est de 9600 ha, avec un taux de boisement très élevé d'environ 66 % (taux national de 8%) (DPEFLCD de Taza, 2015 et IFN, 2014). Marquée par le plus grand nombre de départs de feux à l'échelle de la

province de Taza, les incendies y constituent la première cause de dégradation des écosystèmes forestiers. Elle est marquée par un relief accidenté, un climat méditerranéen à saison sèche, durant plus de 3 mois, et un couvert végétal xérophile à haute inflammabilité, comme la Bruyère arborescente et les forêts artificielles qui sont constituées principalement par des essences résineuses à base de pins (CEMAGRF, 1990 et IFN, 2014). En outre, la forte densité de la population rurale, de l'ordre de 74 hab./km² (HCP, 2014), témoigne d'une surexploitation des espaces forestiers.



Carte n° 1: Carte de Situation de la commune rurale de Bouchfaâ.

Méthodologie pour une modélisation du risque d'incendie de forêts

La modélisation du risque passe par une sélection et une hiérarchisation des facteurs d'éclosion et de propagation d'incendie de forêts. À cet effet, on a opté pour le modèle DAGORNE (1993). Des données historiques des incendies de forêts, enregistrés au sein de cette commune (1997 à 2015), ont permis d'extraire les conditions de référence des feux passés et d'affecter à chaque facteur un coefficient de pondération, en fonction de son influence qui est déterminée grâce à une analyse statistique basée sur l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

L'indice de risque (IR) est calculé en fonction des paramètres physiques du milieu (pente, exposition des versants, combustibilité du couvert végétal) et de l'indice d'occupation humaine. Son évaluation est déterminée par un croisement de couches d'informations géographiques comme il est décrit sur la figure 1.

$$\mathbf{IR = IC + IH + IM \quad (1)}$$

Où

IC : l'indice de combustibilité, adopté par l'ex. CEMAGREF ; **IH** : représente l'indice lié à l'occupation humaine ; **IM** : représente l'indice topo-morphologique.

Cette modélisation est complétée par une mise en place de placettes d'inventaire du combustible. Le procédé consiste à choisir des échantillons qui paraissent les plus représentatifs et suffisamment homogènes. Selon un quadrillage de 2 km de résolution, on a pu extraire une vingtaine de placettes de 10 ares de superficie avec leurs coordonnées géographiques. Elles sont matérialisées sur le terrain à l'aide d'un GPS. Chaque placette a fait l'objet d'un relevé renseigné dans une fiche. Les données collectées sur le terrain ont été incorporées dans un SIG afin de cartographier les types de peuplements selon leur stratification et leur densité. En outre, une série de données historiques sur les incendies de forêts, survenues dans la commune rurale de Bouchfaâ entre 1997 et 2015, a servi pour une pondération des paramètres utilisés dans le modèle SIG alors que d'autres données indépendantes (n'ayant pas servi lors de la modélisation) ont été utilisées pour la validation du modèle.

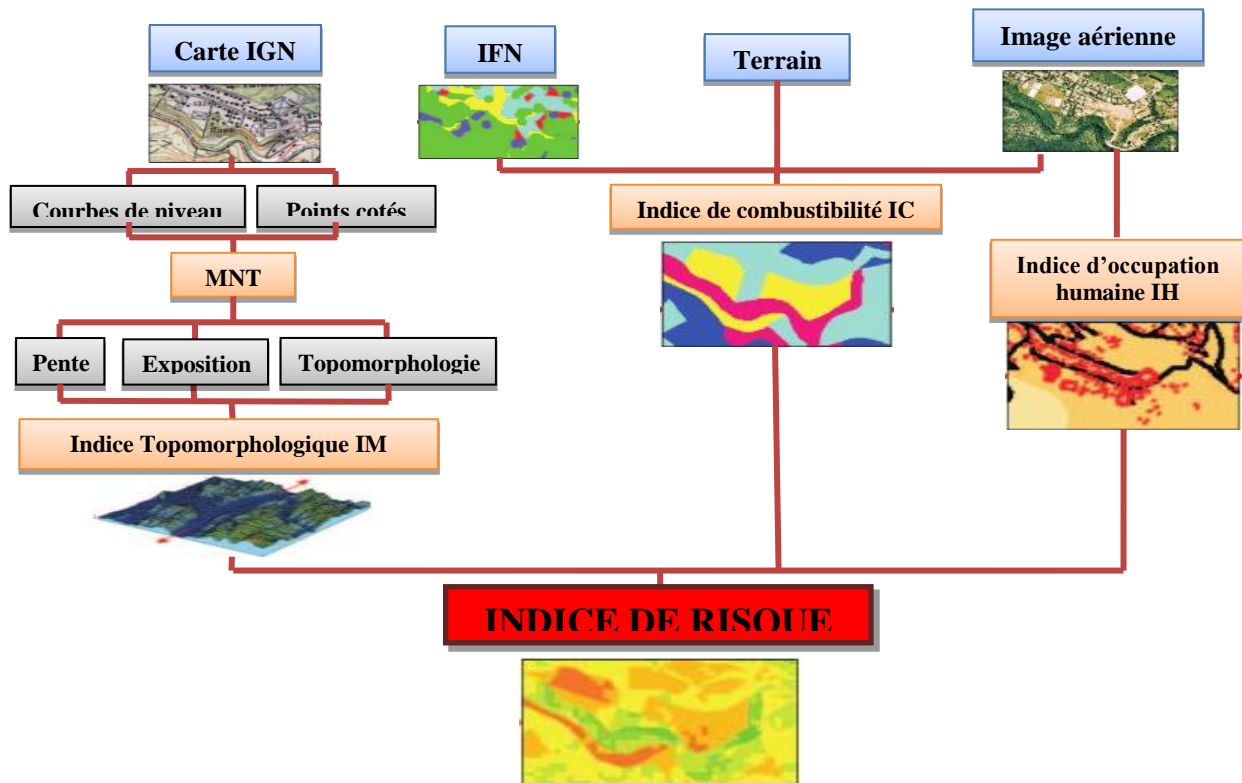


Figure n°1: Organigramme de l'approche méthodologique

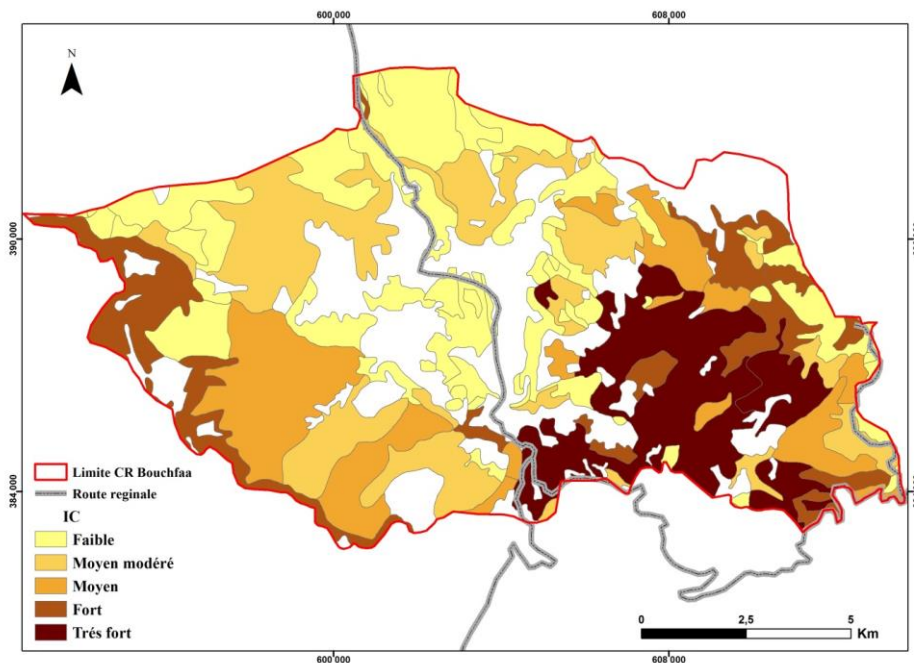
Résultats et discussion

• Indice de combustibilité (IC)

D'après la stratification de l'Inventaire Forestier National (IFN), on a pu extraire 30 polygones de surfaces homogènes du combustible végétal. On les a ensuite enrichi par de l'information relative au combustible végétal, grâce aux relevés réalisés sur le terrain. Etant donné l'absence de données sur le degré de combustibilité des espèces forestières marocaines,

on a utilisé celles réalisées par l'IRSTEA (ex-CEMAGREF)⁵ qui déterminent les notes de combustibilité des principales espèces végétales méditerranéennes.

D'après une analyse de la base de données historiques et des conditions de références retenues, on a montré que 60% des feux de forêts ont été déclenchés dans des formations forestières, ayant un indice de combustibilité très fort à fort (Chêne vert, Chêne liège, Bruyère arborescente). Ces formations se localisent principalement à l'Est et, à un degré moindre, à l'Ouest de la commune de Bouchfaâ (carte 2).



Carte n° 2: Carte de l'indice de combustibilité (IC)

- **Indice Topomorphologique (IM)**

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT), a permis d'extraire l'indice de classes de pentes, agissant sur la vitesse de propagation d'un feu, et celui de l'exposition qui distingue les zones sous le vent et différencie entre les zones humides et sèches. D'après les données historiques, les versants Sud et Est présentent, en général, les conditions les plus favorables pour une inflammation sur une pente forte.

On note que 60 % de la superficie de la commune rurale de Bouchfaâ se trouve sous des conditions topomorphologique moyennement favorables au déclenchement et à l'accentuation de feu de forêts : pentes moyennes et exposition des versants à dominance Ouest et Sud. Si l'exposition Sud exprime des conditions de sécheresse des versants, ceux orientés vers l'Ouest, relativement humides, rend compte de l'existence d'autres facteurs explicatifs de l'avènement des incendies sur ces derniers. Par ailleurs, les pentes fortes à moyennes de la partie orientale favorisent la propagation, en retardant les opérations de lutte; ceci explique les grandes superficies incendiées qui ont marqué les pentes moyennes.

- **Indice d'occupation humain (IH)**

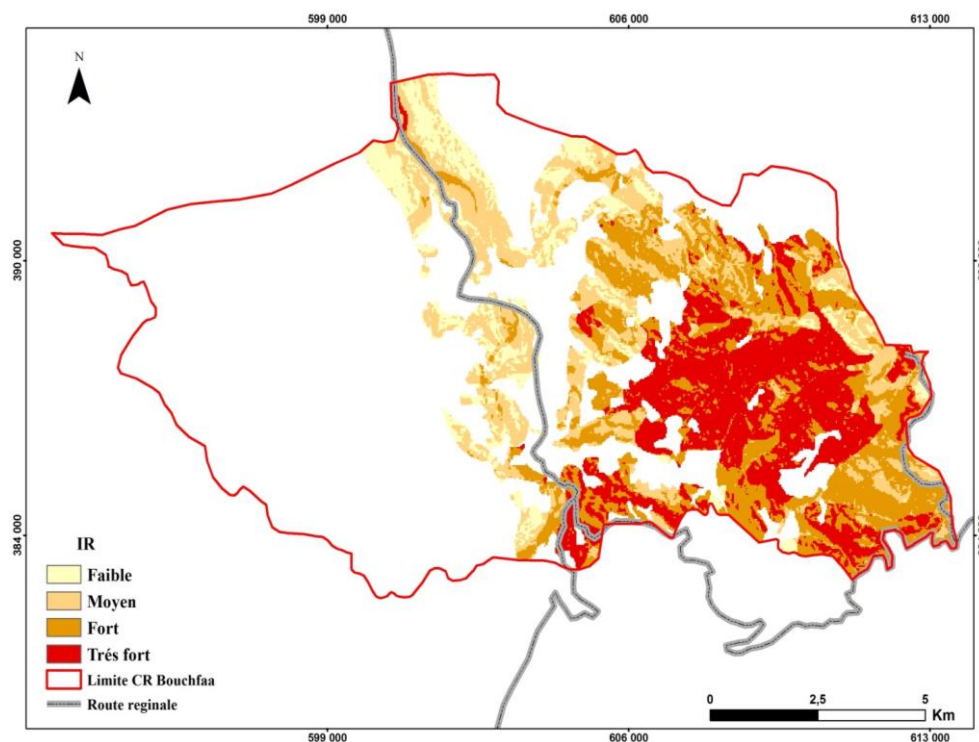
⁵ IRSTEA : Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture; CEMAGREF : Centre d'Étude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et Forêts

D'après les données historiques (conditions de référence), la plupart des départs de feux (85 %) sont déclenchés aux alentours des pistes et des routes. Ceci reflète, sans doute, le rôle de la présence humaine dans l'écllosion des incendies. Ainsi, l'indice d'occupation humaine (IH), retenu comme facteur de risque dans ce modèle, est pondéré pour des distances entre les pistes et la végétation, comprises entre 50 et 1000 m, en utilisant des surfaces tampons (Buffers).

- **Indice de risque potentiel d'incendie de forêts (IR) et Validation du modèle SIG**

Le calcul de l'indice de risque de feu de forêts est le résultat de croisement de couches relatives à l'indice de combustibilité, de topomorphologie et d'occupation humaine, en appliquant la formule adoptée aux conditions spécifiques à la zone d'étude (équation 1 et figure 1). Les surfaces potentiellement menacées par un risque très fort à fort occupent 60 % des forêts de cette commune (31 et 29 % respectivement). Les zones présentant un risque moyen occupent 27 % alors que celles à risque faible représentent moins de 13 % (carte 3).

Le modèle SIG adopté ne peut être accepté sans s'interroger sur sa validation, en se basant sur des données historiques indépendantes qui représentent 50 % de l'effectif total des incendies produites dans la zone d'étude entre 1997 et 2007. Cette validation a permis de constater que 65% des feux surviennent dans des zones à risque fort à très forts (35 et 30%) alors que ceux à risque faible et moyen ne représentent que 35% des cas d'incendies enregistrés.



Carte n° 3: Carte de l'indice de risque potentiel d'incendie de forêts (IR)

Conclusion

La modélisation du risque d'incendies à l'aide d'un SIG au niveau de la commune rurale de Bouchfaâ a fait appel à des données historiques, des relevés physionomiques et des informations géographiques relatives au milieu naturel et aux conditions anthropiques. La pondération des différentes couches d'information a été réalisée à l'aide d'un échantillonnage systématique par placette et d'une détermination des conditions de référence des feux passés survenus dans la zone d'étude. L'indice de risque potentiel, s'inspirant de celui de Dagorne

(1993; 1995), tient des spécificités de la zone d'étude. Sa validation, grâce aux données indépendantes, montre que ce modèle est acceptable. Il peut servir comme outil d'aide à la décision en matière d'aménagement forestier pour la lutte contre le risque d'incendies de forêts. Afin d'atteindre ce but ultime, l'intégration de critères de vulnérabilité et des enjeux majeurs reste primordiale.

Références bibliographiques

- CEMAGREF, 1990 : Guide technique du forestier méditerranéen Français, protection des forêts contre les incendies, volume II, France, Fiches 5 et 8.
- CLARAMUS (C) et LARDON (S), 2000 : SIG et simulation, Revue internationale de géomatique. European Journal of GIS and Spatial Analysis. Paris, Hermes Sciences publications, 155 p.
- DAGORNE (A), DUCHE (Y) et al. (1993) : Protection des forêts contre les incendies & Système d'information géographique: Application à la commune d'Auribeau sur Siagne (Alpes Maritimes). revue forêt méditerranéenne t. XV, n°4, octobre 1993.
- DAGORNE A., DUCHE Y., FOUCAULT B., et OTTAVI J.Y., 1995 : De l'affichage du « risque feu de forêts » à la mise en œuvre d'un plan de zones sensibles aux incendies de forêts à Auribeausur-Siagne (Alpes-Maritimes). De la simulation à la modélisation grâce au système d'information géographique. Forêt Méditerranéenne, XVI, 2 : pp 153-158.
- DPEFLCD, 2015 : Rapport sur les incendies de forêts, Direction provinciale des eaux et forêts et de la lutte contre la désertification, Taza, Maroc, 35 p.
- EZZINE (H), BELASRI (A), BOUHALOUA (M), Novembre 2006 : « Mise en place d'une approche méthodologique pour la modélisation et la cartographie de l'aléa lie aux incendies de forêts », GEO OBSERVATEUR, Revue du centre Royal de télédétection spatial Rabat, ISSN 113 - 4410 Maroc N° 15.
- FALEH A., LAKHOUAJA H., et CHAAOUAN J., 2015 : SIG et modélisation des facteurs de risque d'incendie de forêts. Dynamiques territoriales et mutations socio-économiques au Maroc : étude de cas. Publications du laboratoire LEGAC, Faculté des Lettre et des Science Humaines Saïs – Fès, livre pp 46-69.
- FAO, 2007 : « Élaboration des cartes de risque dans la province de Chefchaouen », Rapport, 45p.
- HANCHANE M. et JANATI IDRISSE A., 2010 : Elaboration d'un SIG pour la cartographie du risque potentiel de feu de forêts (cas de Oued R'mila – Forêt de Bab Azhar, Taza), Actes du colloque : Taza et son arrière-pays, pp 131-148
- HCP, 2014 : Rapport national de recensement général 2014, Maroc, 352 p.
- HESSAS (N), 2005 : Évaluation cartographique et évolution diachronique par télédétection du risque incendie de forêt. Thèse de doctorat, spécialité Géographie Physique, Université Joseph Fourier de Grenoble, 438 p.
- HOFF (C) et RAMBAL (S), 2011: Les écosystèmes forestiers méditerranéens face aux changements climatiques. On line at: www.agora21.org/mies/chan-clim13.html (accédé le 11 mai 2011).
- IFN, 2014 : Couche de l'inventaire national forestier, HCEFLCD, Maroc.
- LAKHOUAJA H., FALEH A. et CHAAOUAN J., 2013 : Télédétection et étude diachronique des incendies de forêts dans la province de Chefchaouen. Revue Al Misbahiya, Serie Sciences Humaines, Vol. N°10 ; Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Saïs-Fès ; pp 29-39.
- MARIEL (A), 1995 : Cartographie du niveau de risque d'incendie: exemple du massif des Maures, CEMAGREF, article. Pp : 37-45.
- NAOLI (A), 2010 : Formalisation et gestion des connaissances dans la modélisation du comportement des incendies de forêt. Thèse de doctorat, spécialité Géographie, Université de Nice - Sophia Antipolis, 216 p.
- ROLLAND (C), 1997 : Analyse statistique de la carte' de la végétation du Vercors par Système d'Information Géographique, Revue d'Ecologie Alpine, Grenoble, tome 4, pp. 13-22.

ADOPTION DU SIG A LA GESTION DES RISQUES DANS LA MEDINA DE MEKNES : CAS DU RISQUE DES CONSTRUCTIONS MENAÇANT RUINE

Mohammed BOURHZALI, Mhamed AMYAY et Mostafa GUENGOURA

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Saïss- Fès, Maroc, Laboratoire d'Analyses Géo-Environnementales et d'Aménagement (LAGEA-URAC54), inau.bourhzali@gmail.com

RESUME : Dans la médina de Meknès (médiévale et impériale), le risque des constructions menaçant ruines, complexe qu'il est et renfermant de plus un poids historique et culturelle éminent, nécessitent une acclimatation de méthode scientifique et un perfectionnement dans l'instauration du diagnostic. En tenant compte de la pluralité des données socio-spatiales et de la diversité des variables, le tissu traditionnel nécessite beaucoup de technicité et de scientificité pour sa sauvegarde et sa revalorisation, donc, c'est une approche globale de disciplines différentes (architecture, urbanisme, génie civil, sciences sociales, chimie et physique des matériaux, environnement, sciences juridiques, sciences économique, histoire, système d'information géographique (SIG),...etc.) qu'il faut mobiliser.

C'est dans cette vision, que nous avons essayé de développer une approche SIG "Globale" pour comprendre, connaître la tendance et les causes du phénomène, grâce à des méthodes scientifiques pluridisciplinaires intégrées à travers des analyses multicritères répondant dans un premier temps aux différentes questions liées à la gestion, le contrôle et le suivi des CMR et à la gestion des autres risques qui subsistent au sein de la médina, dans un second cas, elle sera considérée comme outil de planification, de développement dans la médina ou autre pour l'aide à la prise de décision d'une façon efficace et rapide.

Mots-clés : SIG - Risque des constructions menaçant ruine – médina de Meknès.

ADOPTION OF GIS TO THE RISK MANAGEMENT IN THE MEDINA OF MEKNES: THOSE OF RISK OF BUILDINGS THREATENING RUIN

ABSTRACT: In the Meknes medina (medieval and imperial), the risk of buildings threatening ruin, it is complex and containing most eminent historical and cultural weight, require acclimatization of scientific method and an improvement in the establishment of diagnostic. Considering the multiplicity of socio-spatial data and the diversity of variables, the traditional fabric requires a lot of technical and scientific nature for its safeguarding and upgrading, so it is a comprehensive approach to different disciplines (architecture, urban planning, civil engineering, social sciences, chemistry and physics of materials, environment, legal sciences, economic sciences, history, geographical information system (GIS), ... etc.) to be mobilized.

It is with this vision, we tried to develop a "Global" GIS approach to understand, know the trends and causes, through multidisciplinary scientific methods integrated through multi-criteria analyzes responding initially to different issues related to the management, control and monitoring of CMR and management of other risks that remain within the medina, in a second case, it will be considered as a planning tool for development in the medina or another for aid decision-making in an efficient and timely manner.

Keywords: GIS - Risk buildings threatening ruin - medina of Meknes.

INTRODUCTION

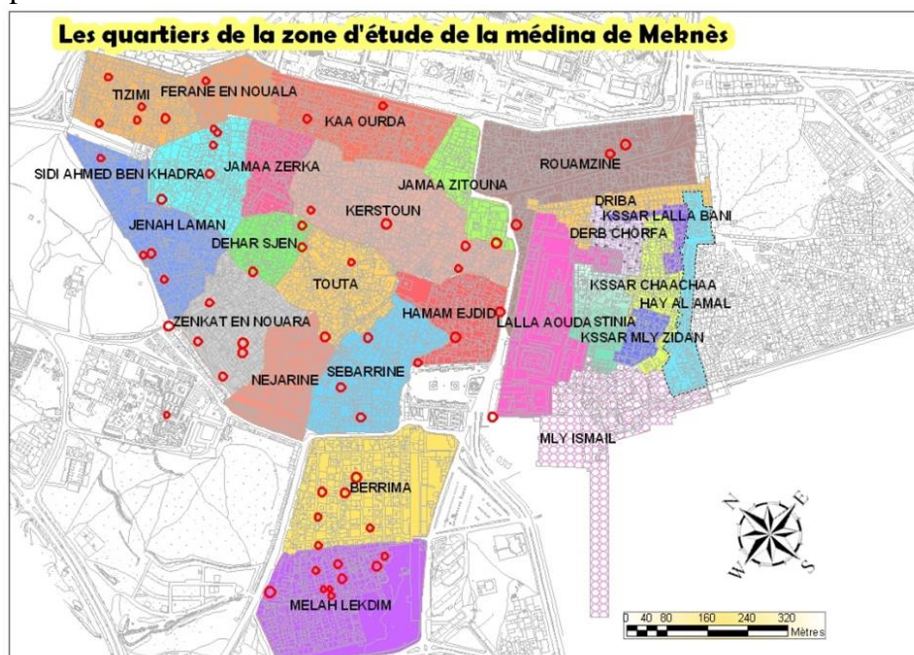
Le phénomène des constructions menaçant ruine continue à prendre une ampleur considérable dans la média de Meknès. Il a des origines, causes et manifestations multiples. Elles sont liées à divers facteurs d'ordre technique, et aussi à des erreurs humaines qui engendrent des difficultés complexes en matière d'équipement, la réalité montre que les infiltrations des eaux liées à l'absence de système de drainage et d'entretien, les fissurations des constructions, le non-respect des normes, la dégradation accélérée des bâtisses, sont autant de symptômes permettant de diagnostiquer le phénomène.

Les réponses à apporter pour affronter ce problème sont d'ordre technique, institutionnel, financier, juridique et social s'inscrivant dans une vision globale puis intégrée dans une base de donnée SIG et traiter par des analyses multicritères à fin de comprendre les causes et les tendances du phénomène.

1. Description de la zone d'étude

La richesse patrimoniale aussi bien urbanistique qu'architecturale de la ville de Meknès est liée au cumul des apports culturels des différentes dynasties qui se sont succédé sur son territoire. A proximité, de Volubilis, de Moulay Idriss Zerhoun, de Fès, la ville se trouve ainsi noyée dans un condensé de richesses patrimoniales et culturelles à forte teneur touristique et économique lucratif et rentable.

Si les Almoravides ont fondé son premier noyau, les Alaouites ont restauré ses monuments, élargi son enceinte et bâti plusieurs édifices, en donnant à Meknès le statut de capitale, elle devint ainsi la ville impériale par excellence. Ce qui a qualifié la cité médiévale et la ville impériale d'être inscrites sur la liste du Patrimoine Mondial de l'UNESCO depuis décembre 1996. Par sa situation privilégiée au cœur du grand Meknès, la médina occupe une position charnière dans la macro forme urbaine de la ville, car elle est au point de convergence de la ville coloniale au Nord-est et des nouvelles extensions urbaines des quartiers au Nord et Sud-ouest. Longeant la rive sud-ouest de l'oued Boufekrane, la médina de Meknès s'étend sur environ 100 ha (superficie hors cimetières) et jouxte la cité impériale qui couvre près de 275 ha.



Cartel. Les quartiers de la médina médiévale et de la cité impériale.

L'évolution de la population de la médina de Meknès est caractérisée par un phénomène particulier, qui a été observé entre les deux dernières périodes intercensitaires (1982-1994 et 1994-2004) : une dédensification ou un dépeuplement naturel, ainsi la population est passée de 79.711 habitants en 1982 à 47119 en 2004, ce qui a engendré une baisse de la densité de 460 Hab/Ha en 1982 à 272 Hab/Ha en 2004.

La diminution du nombre de la population de 1982 à 2004, a engendré une diminution de la taille moyenne des ménages, ainsi ce nombre est passé de 4,9 en 1982, à 4,6 en 1994 et à 4,2 en 2004; Ce chiffre reste au-dessous de la moyenne nationale qui est de 4,5.

2. METHODOLOGIE ET DONNEES: APPROCHE SIG

Le risque de CMR, très complexe, nécessite une acclimatation de méthode scientifique et un perfectionnement dans l'instauration du diagnostic. En tenant compte de la pluralité des données socio-spatiales, d'observation du territoire et de la diversité des variables.

La méthode de recherche adoptée pour identifier les différents facteurs en relations avec le risque des CMR repose sur une recherche bibliographique, des rencontres avec les acteurs, l'analyse de P.V administratives, études géotechniques, visites sur les lieux, enquêtes sociales, spatialisation et analyse multicritère des différentes couches.

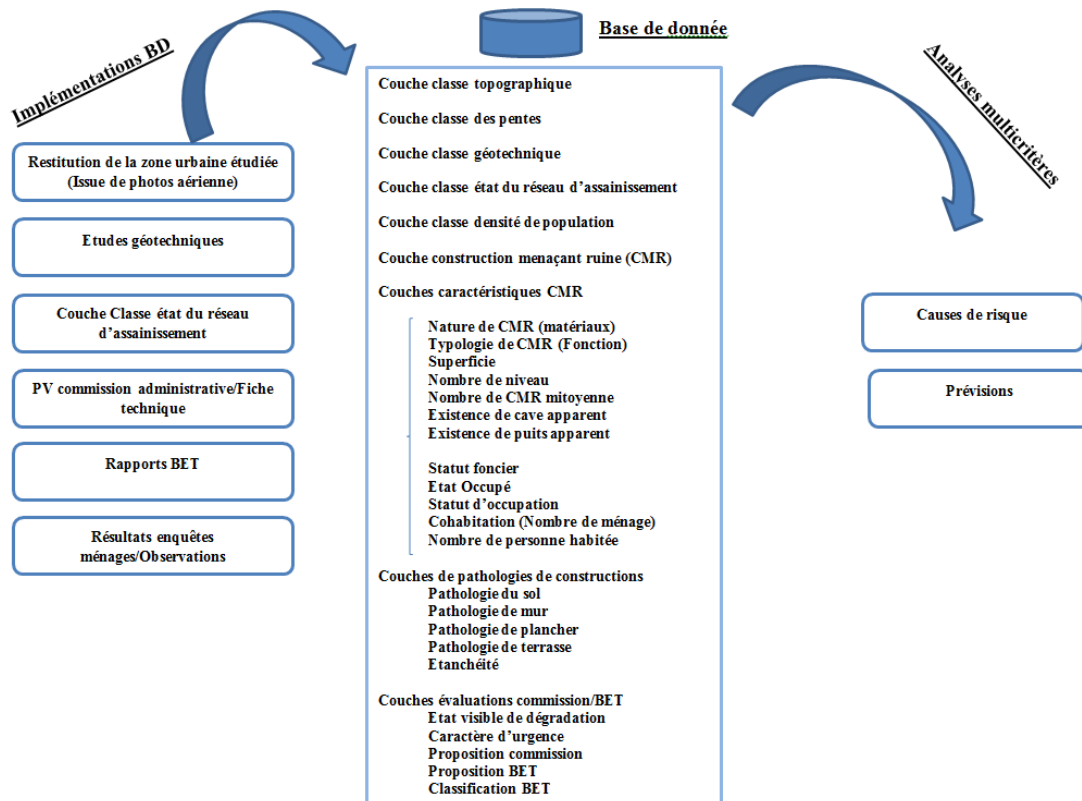
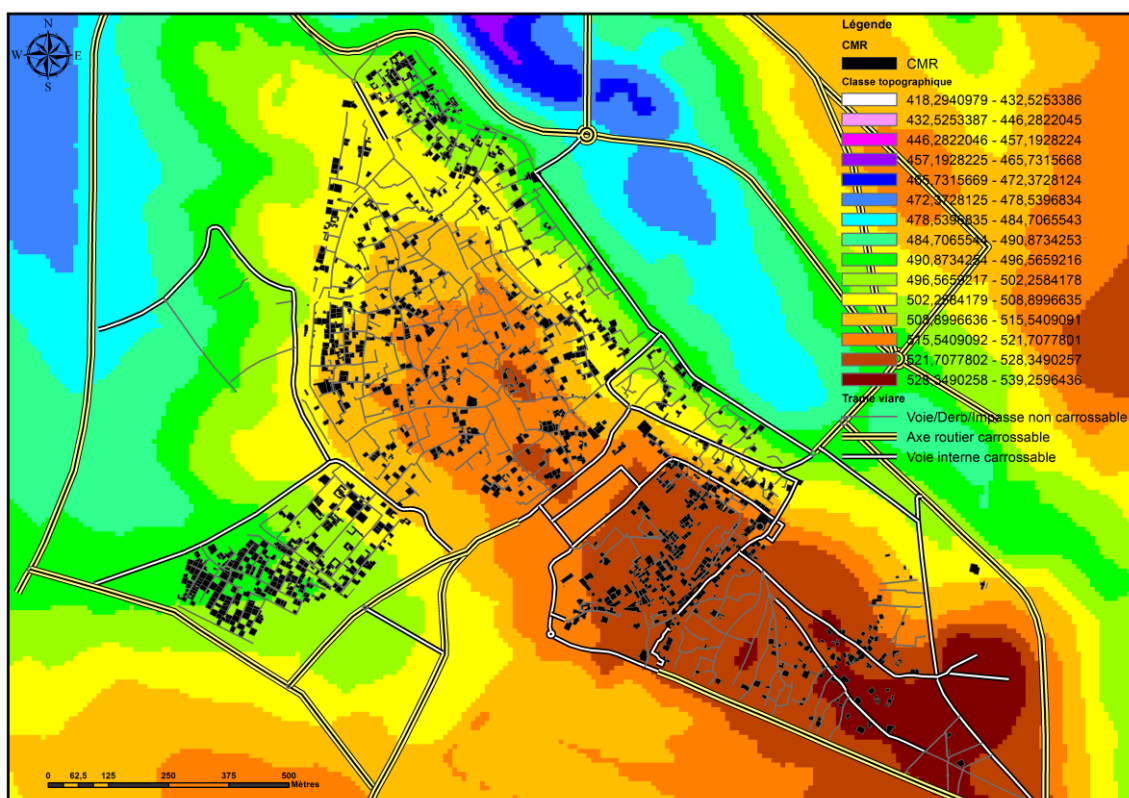


Figure 1. Schéma de la démarche méthodologique

3. RESULTATS ET DISCUSSION

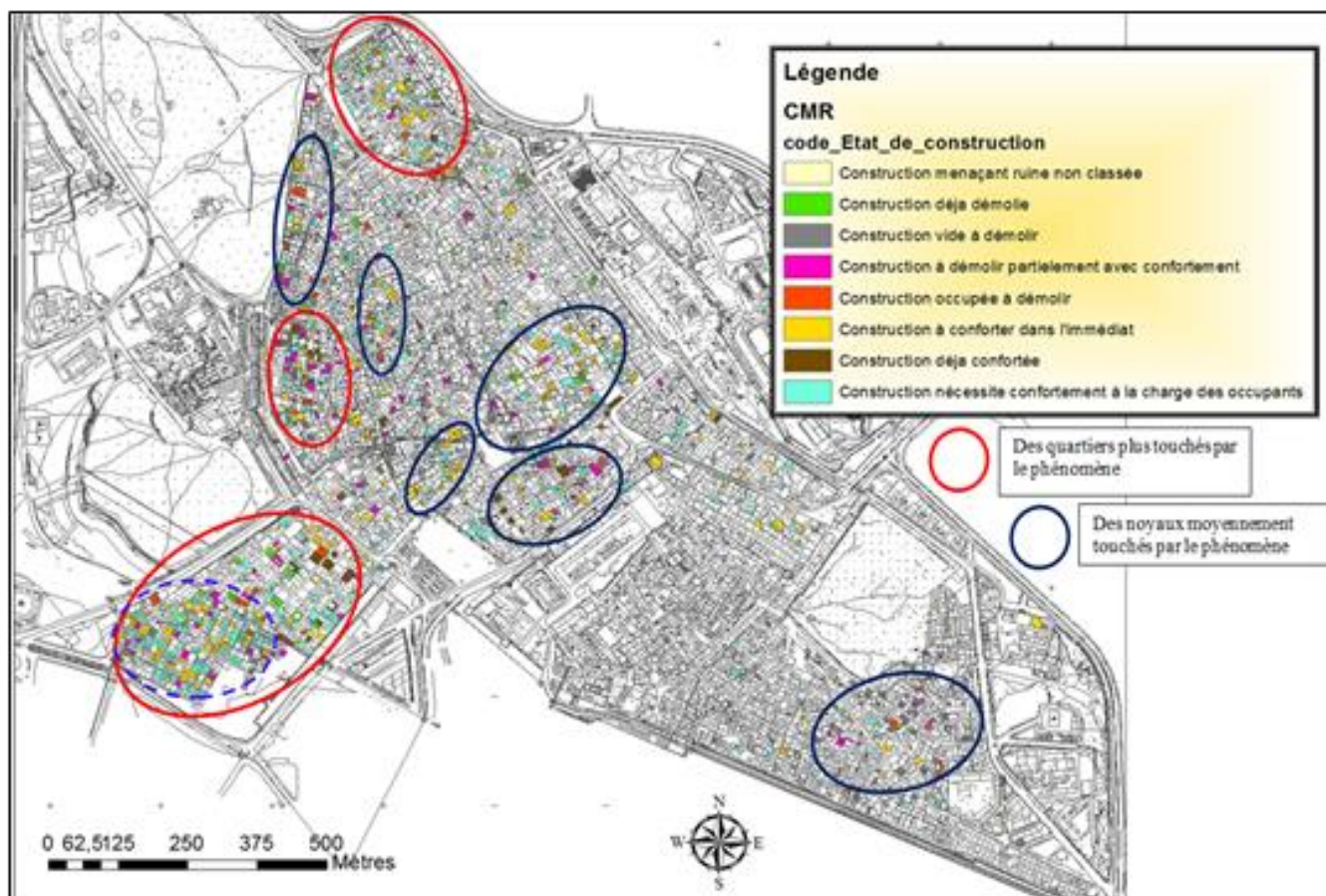
A l'aide d'un SIG, la spatialisation des constructions en dégradation dans la médina médiévale, montre que les CMR sont concentrées dans certaines zones que dans d'autres, sous forme de poches de deux catégories, celle de forte concentration (Encadrée en rouge) et celle de moyenne concentration (Encadrée en bleu foncé).



Carte 2. Croisement des couches Classe topographique et CMR

Dans cette démarche, on s'est appuyé sur des analyses multicritères basés sur des croisements de couches selon des paramètres explicatifs du phénomène, dans ce cas ci précis :

- Le paramètre concentration de CMR ;
- Le paramètre état du réseau d'assainissement ;
- Le paramètre altimétrique des poches de CMR qui détermine les sens des pentes et illustre le chemin de ruissellement et de stagnations des eaux;
- Les autres couches...



Carte 3. Croisement des couches Classe topographique et CMR

D'après ces croisements, on remarque que les zones qui connaissent de fortes concentrations en CMR sont des zones situées sur des basses altitudes par rapport à leur environnement immédiat, ce qui en fait des lieux de stagnation ou de ruissèlement des eaux; ceci est le cas des quartiers de l'ancien Mellah (et la partie basse de Berrima), de Tizimi et de Zenkat Ennaoura.

On rappelle aussi, que les rénovations tardives dans le réseau d'assainissement n'ont pas concerné les branchements intérieurs des maisons "véritables causes de fuites" et restent en grande parties méconnus, voire inaccessibles et même perdus ou inexistant, ceci explique bien la présence perpétuelle de l'humidité dans les maisons (dans les sols, les soubassements et dans les murs).

Selon les résultats de l'enquête sociale, les causes de risque CMR sont dues à plusieurs facteurs, à savoir: la vétusté, le non entretien, l'humidité/les infiltrations des eaux, l'existence des caves ou des cavités souterraines; pour certains quartiers, le réseau d'assainissement, le réseau d'eau potable défectueux, la mitoyenneté avec des maisons en ruines, la mitoyenneté avec des ateliers utilisant des machines émettant des vibrations (comme des machines de menuiserie).

Donc, on remarque ainsi que ces causes sont dues principalement à la vétusté, conjuguée au non entretien et à l'humidité/infiltrations des eaux qui représentent ainsi un facteur déterminant, dévastateur et destructeur pour tous types de constructions (maisons, monuments, remparts, etc.) de toute nature (traditionnelle, néo-traditionnelle ou nouvelle) et de toutes formes.

Ainsi, la vétusté est considérée comme principale cause du risque CMR dans l'ensemble des quartiers de la médina, en effet, 63,78 % des sondés pensent que c'est la

vétusté et le manque d'entretien qui sont causes principales du phénomène, alors que 15 % pensent que, l'humidité ajoutée à la vétusté est la réelle menace des CMR, 3,7 % des résidents n'ont pas eu d'avis sur les causes de risque, et moins de 1 % croient aux autres risques.

En conclusion, selon les résultats de l'enquête sociale, l'humidité et les infiltrations des eaux sont les principales causes de dégradation du cadre bâti de la médina de Meknès, ce qui confirme les résultats trouvés par croisements des couches SIG qui montrent les risques liés à l'eau comme véritables causes du phénomène des constructions menaçant ruine.

CONCLUSION

Cette étude a mis en évidence que parmi les principales causes de dégradation du cadre bâti et environnemental de la médina de Meknès on peut citer la défaillance du réseau d'assainissement couplé à la basse topographie de certaines zones.

Ainsi, les pathologies se manifestent sur le bâti par l'humidité, l'infiltration des eaux, les montées capillaires, etc. Conjugués au manque d'entretien et au vieillissement des matériaux, les conséquences sont immédiates. Les constructions se fissurent, se dégradent, menacent ruine puis s'effondrent, entraînant ainsi des pertes inestimables du patrimoine bâti de Meknès.

Références bibliographiques

- Agence Urbaine De Meknès, 2012, « Plan d'aménagement De La Medina De Meknès, Rapport Justificatif », Meknès.
- Agence Urbaine De Meknès, L'Inspection Régionale de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Politique de la Ville, La Commune Urbaine de Meknès Et La Commune Urbaine de Mechouar Stinia, 2012, « Projet de Réhabilitation De La Medina de Meknès, Programme 2012-2018 », "Elabore Dans Le Cadre De La Nouvelle Vision De La Politique De La Ville", Meknès.
- AJAKANE (R), « Caractérisation et diagnostic de la dégradation des matériaux de construction des monuments historiques : cas des remparts de la médina de Meknès, Maroc », 2006, Thèse de doctorat, Faculté Des Sciences De Meknès, Université Moulay Ismail, Meknès.
- BOURHZALI (M), AMYAY (M), GUENGOURA (M) : l'eau et les risques de dégradation du patrimoine de la médina de Meknès, in colloque : eau, ressources, risques et développement durable dans les pays de la méditerranée occidentale, 26-28 novembre 2013. FLSH, Saïs-Fès, 2013.
- BOURHZALI (M), 2010, « le phénomène des constructions menaçant ruine dans la médina de Meknès et une application SIG pour sa gestion, son contrôle et son suivi », mémoire de troisième cycle pour l'obtention d'un D.E.S.A.U, INAU Rabat.

ASSESSMENT OF THE SUSCEPTIBILITY OF TENSIFT WATERSHED TO SOILS EROSION AND IT VULNERABILITY TO CLIMATE CHANGE USING GIS AND REMOTE SENSING.

Modeste MELIHO¹, Abdellatif KHATTABI², Abdenbi ZINE EL ABIDINE²

¹Université Med V, Institut Scientifique Rabat - Maroc, *memos44@yahoo.fr*.

²Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé – Maroc, *ab_khattabi@yahoo.com; zineenfi@gmail.com*.

ABSTRACT: Natural ecosystems of the Tensift Watershed, located in the mid-western region of Morocco, around the Marrakech area, appear vulnerable to drought and perspectives of climate change. The approach based on the predictive cartography was used to test the susceptibility of the basin to water erosion and vulnerability to climate change was studied by the multifactorial spatial analysis method. The results of the susceptibility to erosion study revealed that 65% of the watershed is of high to very high sensitivity to erosion. Moderately susceptible units occupy 20% of the basin area whereas the very low-risk area represents only 15%. The results of vulnerability to climate change show that 98% of the total watershed area is currently vulnerable to highly vulnerable to climate change with only 2% accounting to low vulnerability. By projecting into the future, this vulnerability will be even greater towards 2070 in an optimistic scenario whereas in a pessimistic scenario, the results are even more disturbing. The adoption of a comprehensive strategy for the ecological management of natural ecosystems associated with adaptation actions to climate change perspectives will contribute to the sustainability of environmental services provided by natural resources of the Tensift watershed.

Keywords: Natural ecosystems, susceptibility to soil erosion, vulnerability to climate change, Tensift watershed, Morocco

RÉSUMÉ: Les écosystèmes naturels du bassin versant de Tensift, situé au centre Ouest du Maroc entourant la région de Marrakech, apparaissent vulnérables aux perspectives des changements climatiques. L'approche basée sur la cartographie prédictive a été utilisée pour l'étude de la susceptibilité du bassin à l'érosion hydrique. La vulnérabilité aux changements climatiques a été étudiée par la méthode d'analyse spatiale multifactorielle. Les résultats de l'étude de la susceptibilité à l'érosion révèle que 65% du bassin est d'une sensibilité à l'érosion élevée à très élevée. Les unités moyennement sensibles à l'érosion occupent 20% de la superficie du bassin alors que la classe des sols à risque très faible n'en représente que 15%. Les résultats de la vulnérabilité aux changements climatiques révèlent que 98% de la superficie totale du bassin est actuellement vulnérable à très vulnérable aux changements climatiques avec seulement 2% de vulnérabilité faible. En se projetant dans le futur, cette vulnérabilité est d'autant plus grande sur l'horizon 2070 selon un scénario optimiste. Dans un scénario pessimiste les résultats sont encore plus inquiétants. L'adoption d'une stratégie globale pour la gestion écologique des écosystèmes naturels associée à des actions d'adaptation aux perspectives du changement du climat permettent de contribuer à la durabilité des services environnementaux assurés par les ressources naturelles du bassin versant de Tensift.

Mots clés : Ecosystèmes naturels, susceptibilité à l'érosion, vulnérabilité aux changements climatiques, bassin versant de Tensift, Maroc.

INTRODUCTION

Climate change is well appreciated by the scientific community (IPCC, 2013). In the Mediterranean region, rising temperatures is consistent with the global situation. Morocco, due to its geographical position, is vulnerable to droughts. Over the last thirty years, Morocco has experienced more frequent and severe droughts with negative impacts on agriculture and thus the national economy (Mokssit and El Khatri, 2001). The Tensift watershed is located in the western center of Morocco surrounding the Marrakech region. It consists of the High Atlas Mountains, water production area and the semi-arid central plain of Haouz, transit zone and water consumption. Irrigation will consume more than 85% of available water resources.

The watershed of Tensift is subject to several constraints, among which include a particularly dramatic topography, land highly vulnerable to erosion, a harsh and brutal climate, plant cover often sparse and the increasing human impacts (Alifriqui et al., 1993). In this work, Tensift watershed's susceptibility to soil erosion was studied using the approach based on the predictive cartography (PAP/CAR, 1998) and its vulnerability to climate change was studied by the multifactorial spatial analysis method (GIZ, 2013).

1. MATERIALS AND METHODS

1.1. Presentation of the study area

The Tensift watershed is located in the Midwestern region of Morocco around the Marrakech area. (Figure 1).

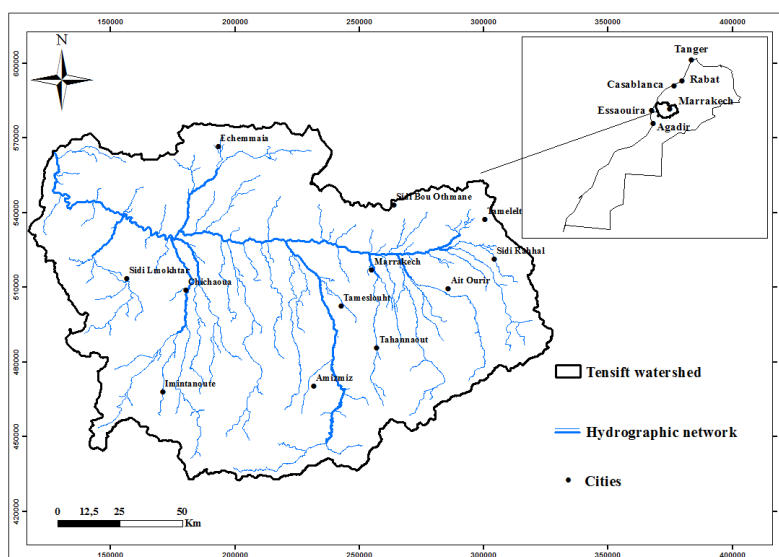


Figure 1. Location of the Ourika watershed

The basin covers an area of around 20,450 km², located between latitudes 32° 10' and 30° 50' North and longitudes 9° 25' and 7° 12' West. The basin is of diverse elevations, ranging from 0 m at its outlet to 4167 m at Toubkal. The climate regime of Oued Tensift watershed is characterized by high aridity whose intensity is mainly conditioned by the altitude and in a lesser extent by continentality (Riad, 2003). Furthermore, the seasonal contrast is very well marked, with rains that are often concentrated during fall and winter, and are generally irregular, intense and violent.

1.2. Methodology

Predictive mapping leads to the identification of homogeneous erosion status units, providing the framework for mapping the potential and the general trends of erosion. It consists mainly of processing data according to the methodology shown in Figure 2, explained as follows:

- Development of the slope map from a DEM and choice of slope classes. In parallel, there was the generation of the lithofacies map from the geological map;
- Obtaining the erodibility map by superimposing maps of slopes and lithofacies;
- Calculation of hydrological indices from the DEM and development of the flow aggressiveness map;
- Obtaining the erosion potential map by the superposition of erodibility and flow aggressiveness maps;
- Obtaining the susceptibility to water erosion map by the superposition of erosion potential and plant cover maps.

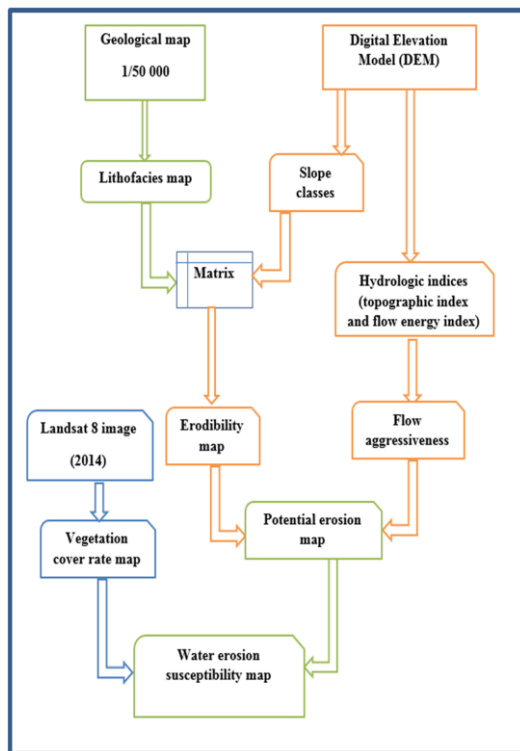


Figure 2. Methodology for mapping areas susceptible to water erosion (PAP/CAR, 1998).

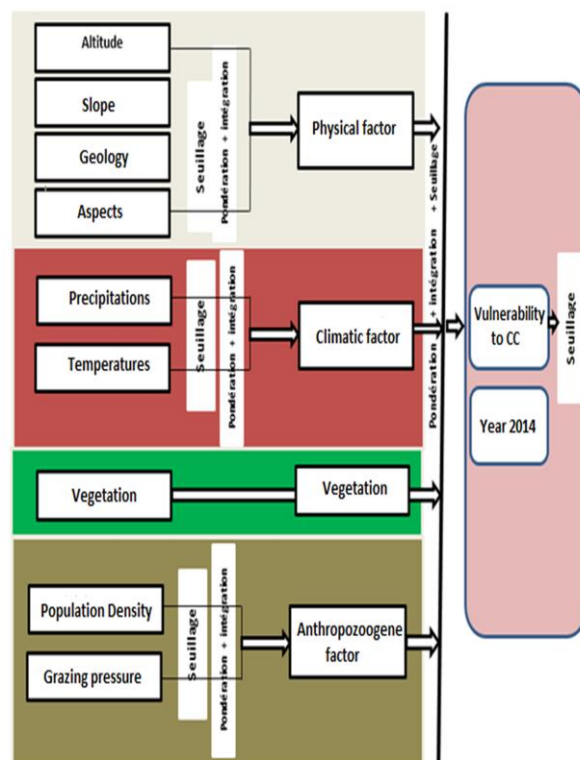


Figure 3. The multi-spatial modelling implementation flowchart for assessing vulnerability (GIZ, 2013).

Various factors were taken into account with regards to both data availability and their importance in assessing the vulnerability of forest ecosystems to climate change. Those considered were partly identified as determinants of change (physical factor, climate factor, plant cover, anthropo-zoogenic factor) at the end of the analysis of vegetation dynamics. These individual factors once identified were thresholded before aggregating for the vulnerability of forest and preforest ecosystems of the Tensift watershed.

The methodology for the study of climate change vulnerability was multifactorial spatial method (Figure 3) (GIZ, 2013). It follows 5 steps as follows:

- Choice of the factors that explain the vulnerability of a natural ecosystem;
- Thematic grouping of variables;
- Level 1 Analysis of the data by thresholding, weightings and integration to measure the vulnerability factor;
- Level 2 Analyses of data by thresholding, weightings and integration to measure the synthetic vulnerability;
- Application projections for 2070 horizon in two selected climate scenarios.

It has two levels of aggregation. The first, a level of affinity of the various individual factors for the vulnerability factor and a second for the synthetic vulnerability. Aggregation is done by weighting as follows: $V = \sum W_i * F_i$, where V is the vulnerability aggregation results at a given level, W_i is the weight given to the factor F_i for the integration. The mathematician Thomas Saaty developed this method in 1980. He, through his Hierarchical Analysis Process (AHP), offers a simple but effective way to solve the complex problems of integrating several decision criteria. The advantage of the method lies in its ability to structure a complex multi-criteria problem by process of binary comparisons.

2. RESULTS AND DISCUSSION

2.1. The susceptibility of the watershed's soils to erosion

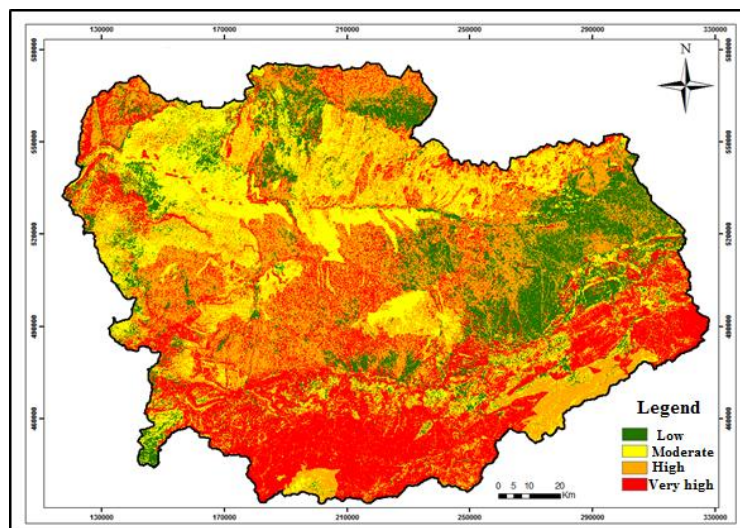


Figure 4. Soil erosion risk map of the Tensift watershed.

There was a near-dominance of high to very high susceptibility to soils erosion (Figure 4) under 65% of the study area. These soils mainly occupy areas under cropland and matorrals either covered by herbaceous plants or degraded and/or plowed on hillsides. Some units corresponded to a low to medium risk index. They occupied 20% of the study area and corresponded to outcrops on low moderate slopes and/or occupied by a dense plant cover, or where cultural practices are appropriate. By contrast, very low risk class soils were mainly located under arboriculture and dense oak, thuja and juniper forests.

2.2. Vulnerability to climate change

The results obtained by the weighting factor of change calculated for 2014 according to Saaty's scale showed that climate was the most important factor, followed by biophysical and anthropo-zoogenic factors, while plant cover was the least important factor (Table 1). The aggregation of these factors provided the current synthetic vulnerability to climate change map of the Tensift watershed (Figure 5).

Table 1. Weighting of vulnerability factors (2014)

Factors	Weight
Physical factors	0,27
Climatic factors	0,55
Anthropo-zoogenic factors	0,12
Plant cover	0,06

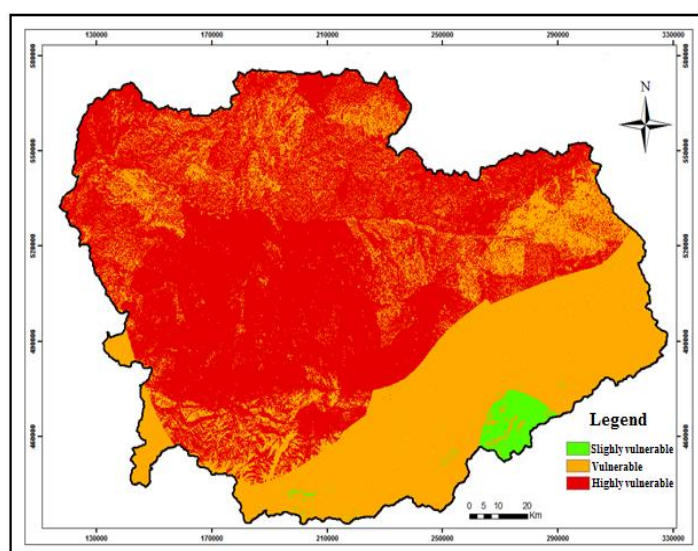


Figure 5. Synthetic vulnerability to climate change map of the Tensift watershed (2014).

The unsusceptible (zero vulnerability) class was nonexistent in the Tensift watershed whereas the low vulnerability class represented only 2% (Figure 5). This corresponded to a protected area in the Toubkal National Park. A high proportion (58%) of the watershed was highly vulnerable to climate change, while 40% of it was vulnerable. Additionally, 98% of the Tensift River Basin was vulnerable to very vulnerable.

Table 2. Summary of current and future synthetic vulnerability to climate change of the Tensift watershed.

Vulnerability Class	2014		2070 (RCP4.5)		2070 (RCP8.5)	
	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%
Non vulnerable	0	0	0	0	0	0
Slightly vulnerable	40910,21	2	20455,11	1	0	0
Vulnerable	818204,27	40	715928,73	35	470467,45	23
Highly vulnerable	1186396,19	58	1309126,83	64	1575043,22	77

To summarize (Table 2), the Tensift watershed is currently very vulnerable to climate change. This vulnerability is even greater projecting into the future, regardless of the scenario.

It is essential to clarify the limits of the method used to assess vulnerability to climate change. This methodological proposal of territorial vulnerability analysis tries to overcome the shortcomings of previous studies across the Tensift watershed, including the first time use of a multi hierarchical analysis. However, this type of method, which adopts a spatial, systemic and semi-quantitative vision

(Manche., 1997) presented some limitations that are should be considered in the retrospective amelioration of further studies. The hierarchical analysis process has at times been questioned, notably by Saaty, himself. Moreover, the validity and legitimacy of classifications made from matrices have been criticized (Dodd et al., 1995). In addition, the comparison in pairs of elements of the same level, if more than seven, may sometimes be complicated even for experts. This could be solved by making association targets at the same hierarchical level (Saaty, 1993), despite the loss of precision and induced significance.

It is possible to refine this study, considering each issue as a real system, in which multiple components each have their own vulnerability. Specific studies involving knowledge and highly specialized expertise in these areas are necessary in order to work at a high level of accuracy.

CONCLUSION

Natural ecosystems of the Tensift watershed have suffered, in the course of their history, from major changes over time and space, and under the influence of several factors including human and environmental constraints, thus making them more vulnerable to climate change.

The results of the susceptibility to erosion study revealed that 65% of the watershed is of high to very high sensitivity.

Assessment of vulnerability to climate change showed that 98% of the total catchment area is currently vulnerable to highly vulnerable to climate change with only 2% showing low vulnerability. By projecting into the future, this vulnerability is particularly significant in 2070 under an optimistic scenario. As for the pessimistic scenario, the results were even more worrisome, in the sense that high vulnerability represents 23% and very high 77% of the total area of the basin.

The adoption of a comprehensive strategy associated with adaptation actions to climate change perspectives is a necessity to preserve the land production and to enhance the ecosystems resilience.

References

- Alifriqui M., Michalet R., Peltier J.P. & Peyre C., 1993. Hétérogénéité des courants perturbés et répartition de la végétation sur les versants du Haut Atlas occidental marocain. Publication de l'Association Internationale de Climatologie, 5 : 203-211.
- Dodd F.J., Donegan H.A., Mc Master T.B.M., 1995. « Reassessment of consistency criteria in judgement matrices ». *The Statistician*, 44, no 1, p. 31-41.
- GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit), 2013. Guide méthodologique Approche spatiale multifactorielle d'analyse de la vulnérabilité des écosystèmes face au changement climatique : Cas de la subéaraie en Tunisie, 30p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) GIEC, 2013 : Changements climatiques en 2013, https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/docs/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf, 34.
- Manche Y., 1997. « Propositions pour la prise en compte de la vulnérabilité dans la cartographie des risques naturels prévisibles ». *Revue de géographie alpine*, n° 2, p. 49-62.
- Mokssit, A. and El Khatri, S. (2001). La secheresse, une caracteristique du climat macocain. In: *Proceedings of the International Conference on Drought in Morocco, Fes (Morocco), 12-14 novembre 2001.*
- PAP/CAR, 1998. Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes. PAP-8/PP/GL.1. Split, Centre d'activités régionales pour le Programme d'actions prioritaires (PAM/PNU), en collaboration avec la FAO. 1998. pp xii+72.
- Riad S., 2003. Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc. Thèse de doctorat, université des sciences et Technologies de Lille & Université Ibnou Zohr d'Agadir, 154p.
- Saaty T.L., 1993. « What is relative measurement? The ratio scale phantom ». *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 17, no 4-5, p. 1-12.
- Saaty T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority, Setting, Resource Allocation.* New York : McGraw-Hill I, 287 p.

SURFACE RUN-OFF SIMULATION WITH TWO METHODS USING HEC-HMS MODEL (CASE STUDY: BOUREGREG WATERSHED)

Siham ELARYF* & Hassan RAHALI

Mohammed V University, Faculty of Sciences, Laboratory of Physics, Rabat, Morocco.

(*Siham.elaryf@gmail.com)

ABSTRACT: Flooding due to precipitation is a major issue faced by hydrologists and its evaluation and prediction is of prime importance to void human causalities. In this study, surface run-off simulation of Bouregreg watershed has been done with Soil Conservation Service (SCS) and Initial & constant methods using HEC-HMS hydrological model. HEC-HMS model has been calibrated and validated for tree events (November 2005, October 2010 and November 2012). For choosing appropriate method, the model performance was evaluated using the Nash–Sutcliffe model efficiency (NS) index and the coefficient of determination (R^2). The comparison of simulated and observed hydrographs showed that results based on the Soil Conservation Service (SCS) method have a higher correlation ($R^2=0.95$, $NS=0.91$) than Initial & constant method ($R^2=0.76$, $NS = 0.56$). It can be concluded that simulation using the Soil Conservation Service (SCS) method is more precise than Initial & constant method for estimating the flow peak.

Keywords: Hydrologic modeling - rainfall-runoff simulation - HEC-HMS method- Soil Conservation Service (SCS) - Initial & constant methods - calibration - validation.

SIMULATION PLUIE -DEBIT PAR DEUX MÉTHODES SOUS LE MODELE HYDROLOGIQUE HEC-HMS (CAS D'ETUDE : BASSIN VERSANT DE BOUREGREG)

RESUMÉ: L'inondation due aux précipitations est un problème majeur confronté par les hydrologistes et son évaluation et sa prévision sont d'une importance capitale éviter les pertes en vies humaines. Dans cette étude, la simulation pluie-débit a été faite au niveau du bassin Bouregreg en utilisant deux méthodes sous la plateforme HEC-HMS. La première utilise le Service de Conservation du Sol (SCS) alors que la deuxième fais usage des pertes « Initiales & constantes ». Le modèle hydrologique HEC-HMS a été calibré et validé pour trois événements (novembre 2005, octobre 2010 et novembre 2012). Pour choisir la méthode appropriée, la performance du modèle a été évaluée en utilisant l'indice d'efficacité de Nash-Sutcliffe (NS) et le coefficient de détermination (R^2). La comparaison des hydrographes que la corrélation entre débits simulé et observé est plus importante pour la méthode (SCS) avec ($R^2=0.95$, $NS=0.91$) que méthode Initiale & constante ($R^2=0.76$, $NS = 0.56$). ceci permet de conclure que la méthode Service de Conservation de Sol (SCS) est la plus précise pour simuler les débits de crue.

Mots-clés : Modélisation hydrologique – Simulation pluie-débit – Modèle HEC-HMS - Méthode Service de Conservation de Sol (SCS) - Méthode Initiales & constantes - calibration - Validation.

INTRODUCTION

Morocco suffered from the effects of climate change in recent years and the impacts generated by these changes represent a critical hazard to existing hydraulic infrastructure as well as floodplains.

The rainfall-runoff relationship plays a key role in many aspects of watershed management, and especially in the design of flood protection measures (Wheater et al., 1993). Rainfall and basin parameters are the two main factors that affect the rainfall-runoff process. In arid regions, the rainfall is converted to runoff, causing flash floods because the upper parts of basins have a high rainfall intensity with short duration, steep topography, and bare soil (Sen, 2008).

In this study, surface run-off simulation was conducted with Initial & constant and Soil Conservation Service (SCS) methods using HEC-HMS hydrological model. HEC-HMs was calibrated and validated for both methods during tree events and their output flood hydrographs and peak flow estimation were examined and compared. Finally the most appropriate method was selected.

1. STUDY AREA

Bouregreg Watershed is located at the north-central of Morocco. The outlet of the study area is the SMBA dam situated at 24 km from Atlantic Ocean. The main river is Bouregreg River (125 km). The climate of the region is semiarid with average yearly precipitations of 450 mm and annual air temperature varying between 11°C for minimum temperatures and 22°C for maximum temperatures. The average volume inflow to SMBA dam is estimated at 600 Mm³/year. (A. Fadil, 2011)

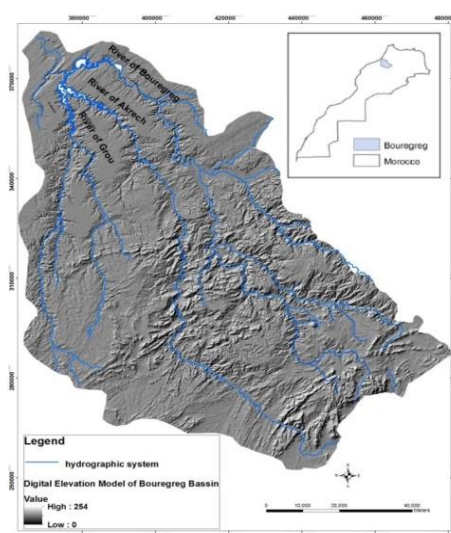


Fig 1. Map situation of Bouregreg watershed

2. METHODOLOGY

To simulate runoff production at river basin, HEC-HMS provides a variety of model components which are necessary to calculate rainfall losses, rainfall transformation into runoff and the base flow rate, respectively:

- The SCS (Soil Conservation Service) infiltration method and the initial & constant infiltration method are conceptual methods for estimating rainfall loss in pervious surfaces at specific time period in a watershed. Both methods are used to calculate the infiltration and the loss rate in runoff modeling.

a) In SCS-CN method, accumulated precipitation excess is estimated as function of

cumulative precipitation:

$$Pe = \frac{(P - Ia) 2}{(P - Ia) + S} \quad (1)$$

Where,

Pe = Accumulated precipitation excess at time t;

P = Accumulated rainfall depth at time t;

Ia = Initial abstraction and S = Potential maximum retention.

Ia and S are calculated from following equations:

$$Ia = 0.25 \quad (2)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (3)$$

b) Initial and constant loss rate include two parameters of constant rate and initial loss which show the physical characteristics of soil, land use and antecedent conditions of basin (F. Radmanesh, 2006). If the basin is in saturated conditions, (Ia) tends to zero. When the soil is dry, (Ia) will increase and show the maximum height of rainfall that cannot be changed into runoff. According to American standards, range of (Ia) in forest area is between 10 to 20 percent of rainfall and it varies between 0.1 to 0.2 inches in urban areas. Constant loss rate shows the final capacity of soil (S. Arekhi et al, 2011)

- The Transform method allows us to specify how to convert excess rainfall into direct runoff. In this study, SCS unit hydrograph is applied for estimating direct runoff. This method requires only one parameter as input: lag time (Tlag) between rainfall and runoff (Eq 2). The SCS Unit hydrograph developed a relationship between the time of concentration (Tc) and the lag time (Tlag). Lag time represents time duration between the centroid of rainfall mass and the peak flow of the resulting hydrograph (Snyder, 1938) as shown in Eq 2:

$$Tlag = 0.6Tc \quad (4)$$

3. RESULTAT

MODEL CALIBRATION

The model was run for Initial and constant and SCS methods during two events; November 2005 and November 2012. The objective of the model calibration is to match simulated runoff peaks and timing of hydrographs with the observed ones.

Table 1: Peak discharges simulation results of chosen events

Events	SCS method		initial & constant method	
	Simulated (m3/s)	Observed (m3/s)	Simulated (m3/s)	Observed (m3/s)
November 2005	43	49.8	49	49.8
November 2012	96.3	96.6	108.1	96.6

The peak discharge for November 2005 varied from 43m3/s to 49 m3/s with an observed value of 49.8 m3/s .Similarly the peak discharge for November 2010 was found to range from 96.3m3/s to 108.1 m3/s with an observed value of 96.6m3/s.

MODEL VALIDATION

The initial calculated parameters were then optimized using the optimization tool available in HEC-HMS model. With the help of these optimized parameters, the hydrograph flow was again simulated.

Model performance was evaluated using the Nash–Sutcliffe model efficiency (NS) index (Nash and Sutcliffe,1970; Miao et al.,2013), the coefficient of determination R² and the Root Mean Square Error (RMSE) (El Mehdi Saidi and El Alaoui El Fels, 2014).

Table 2: Statistical tests computed for Validation event

Events	Statistical tests	SCS method	initial & constant method
October 2010	R2	0.95	0.76
	NS	0.91	0.56

The comparison of observed and simulated hydrographs and the correlation between their discharge values showed that the SCS method had a higher correlation (R2=0.95, NS=0.91) than the initial & constant method (R2=0.76, NS = 0.56). This result confirms that the peak values of the simulated flow match well the measured peak flow values for SCS method.

CONCLUSION

Validation and performance evaluation highlighted a perfect match between the modeled and observed flow time series especially for SCS method. This good agreement between simulation results and field achieved within the event hydrologic modeling, allows to chose SCS method for estimating flood design hydrograph.

References:

- Arekhi Saleh, Rostamizad Ghobad and Rostami Noredin, 2011, Evaluation of HEC-HMS Methods in Surface Runoff Simulation (Case Study: Kan Watershed, Iran), *Advances in Environmental Biology*, 5(6): 1316-1321, 2011.
- El Alaoui El Fels Abdelhafid, El Mehdi Saidi Mohamed (2014), Simulation et spatialisation du risque d'inondation dans une vallee anthropisee, le cas de la vallee de l'ourika (haut atlas, maroc), *European Scientific Journal* June 2014 edition vol.10, No.17 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
- Fadil Abdelhamid, Hassan Rhinane, Abdelhadi Kaoukaya, Youness Kharchaf, Omar Alami Bachir, 2011, Hydrologic Modeling of the Bouregreg Watershed (Morocco) Using GIS and SWAT Model, *Journal of Geographic Information System*,
- Miao.J , D. Guo, J. Zhang, Q. Huang, G. Qin, X. Zhang (2013), Targeted mutagenesis in rice using CRISPR-Cas system *Cell Res*, 23 (2013), pp. 1233–1236
- Nash JE, Sutcliffe JV. (1970). River flow forecasting through conceptual models. Part I: a discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10: 282–290.
- Radmanesh. F, Por Hemat. J, Behnia. A, Khond. A, Ali Mohamad. B, 2006. Calibration and assessment of HEC-HMS model in Roodzard watershed, 17th international conference of river engineering, university of Shahid Chamran, Ahvaz.
- Sen. Z (2008). *Wadi hydrology*. New York; CRC Press.
- Snyder, F. F. (1938) Synthetic unit hydrographs, *Trans. Am. Geophys. Union*, 19, 447–454.
- Wheater et al., 1993, H., A.J. Jakeman, and K. Beven. 1993. Progress and direction in rainfall-runoff modeling. In: *modeling change in Environment System*. Chichester; Wiley.

STUDY OF THE CONTRIBUTION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN THE MANAGEMENT OF RISKS ARISING FROM THE TRANSPORT OF OIL BY PIPELINE IN ALGERIA

Abdelkrim SLIMANI¹, Pr. Lylia BAHMED¹, Djilali CHACHA², Ali DJEMMAM³

¹ Hadj Lakhdar University, Research Laboratory in Industrial Prevention, 5000, Batna. Algeria
Abdk.slimani13@gmail.com, bahmed_lylia@yahoo.fr

² Institut de maintenance et sécurité industrielle IMSI, Université Oran II
djilali82@yahoo.fr

³ Sonatrach, activité transport par canalisation (TRC).
a_djemmam@yahoo.fr

ABSTRACT: The transport of hydrocarbons by Pipeline is a technological and economic means, suitable for the needs of carrying large quantities of oil and gas over long distances, the fact of the matter is that the extent of these pipelines across the vast Algerian territory, characterized by influential environmental variation (geographical, geological, climatic, demographic and industrial) that constitute a direct and indirect source of cause and effect for major risks or vulnerabilities to undesirable contingencies, In this context, the study of the risks of hydrocarbons transportation by pipelines involves handling of large databases, representing an exploitable source of information by following a structured methodology that contributes and leads to the extraction of the necessary knowledge relating to risk management that assists to identify in a better way the decision making process.

In consideration that the likely risks and impacts incurred are eminently geographic, the use of a geographic information system (GIS) seems very interesting to explore for managing risks arising from the transport of Hydrocarbons by pipeline.

Keywords: Risk Management, Decision Support, transport of oil and gas by Pipeline, GIS.

ETUDE DE LA CONTRIBUTION DU SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE DANS LA GESTION DES RISQUES DÉCOULANT DU TRANSPORT DU PÉTROLE PAR PIPELINE EN ALGÉRIE

RESUME : Le transport par canalisation étant un moyen technologique et économique, approprié aux besoins d'évacuation de grandes quantités d'hydrocarbures sur longue distance, il n'en demeure pas moins que l'étendue de ces pipelines à travers le vaste territoire algérien, caractérisé par des variations environnementales influentes qu'elles soient, géographiques, géologiques, climatiques, démographiques et industrielles, constitue ainsi une source directe et indirecte de cause à effet de risques majeurs ou de vulnérabilité à des contingences non souhaitables. Dans ce contexte, l'étude des risques liés au transport des hydrocarbures par canalisations implique la manipulation de grandes bases de données, représentant une source d'information exploitable, qui concourt et conduit à l'extraction de la connaissance nécessaire et relative à la gestion des risques pour assister et cerner au mieux la prise de décision.

Compte tenu que les probables risques et impacts encourus sont éminemment d'ordre géographique, le recours à un système d'information géographique (SIG) semble très intéressant à explorer pour la gestion de risques générés par le transport des hydrocarbures par canalisation.

Mots-clés : gestion des risques, aide à la décision, le transport d'hydrocarbures par pipeline, SIG.

1. INTRODUCTION

The development of the transportation network in Algeria, since the construction of the first pipeline in 1959 was generated by the constantly growing transportation needs, thus requiring the continuous extension of new transmission capacity, resulting in a length 19 623 km (TRC , 2015). Due to its routing and its specificity, a pipeline is constantly exposed to different degrees of defaults and degradations that may make it dangerous and source of disaster (fire, explosion, leakage of pollutants (DAWOTOLA *et al* , 2009) impacting people, assets , the environment (the atmosphere, flora, fauna, ground water, ...) and the economy of the region and even the country crossed; the location of the risk and its control remains the primary concern of all the responsible in charge of safety and the environment to prevent and minimize occasional damage. Considering that the problem of decisions relating to risk factors and consequences evolve in a geographical area having a spatial connotation (MALCZEWSKI, 1999) then, the use of geographic information system in the risk management process is a good idea and plays an important role in controlling information related to pipelines with its ability to collect, store, view, overlay, query, and analyze geographic data and its systemic logic is the primary asset as an analytical and knowledge tool in the broad sense.

2. STUDY OF THE PROBLEMATIC OF RISK MANAGEMENT RELATED TO HYDROCARBON TRANSPORT BY PIPELINE

We can study the problematic of risk management through the relation of causalities and consequences between the risk factors that may lead to a loss of containment and the heavy consequences with the use of the bow tie analysis tool (Figure 01) that can show these causalities and consequences with a specific methodology to the study of these pipelines.

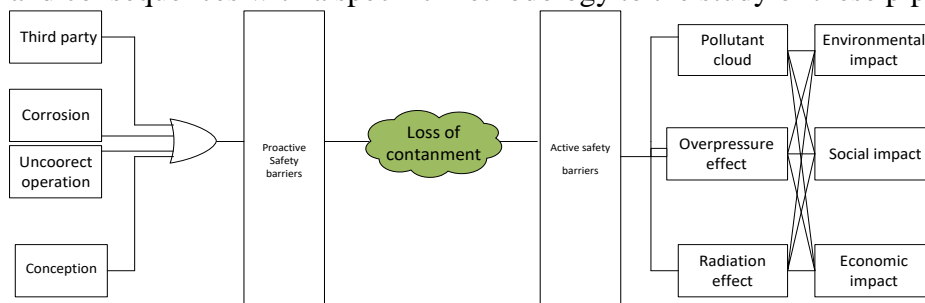


Figure 01: Causation and consequence represented by the bow tie tree

3. GIS CONTRIBUTION TO RISK MANAGEMENT OF OIL AND GAS PIPELINE TRANSPORTATION:

The traditional management of the pipeline network is essentially based on documents (maps, installation plan etc....), this revealed some problems in the management of risks (loss of time in searching for information, difficulty to control the causes and consequences, difficulty to prioritize emergencies, disruption of interventions). So, GISs present live maps which (CHELLE *et al* , 2013) identify the segments of the pipeline vulnerable to corrosion, the third party, the design defects... etc., with rapid access to the information of the pipeline network and the possibility to simultaneously overlay several layers of maps from different sources (satellite imagery, scanned plans, digitized plans) and make simple maps that allow the user of the pipeline to have a complete, broader and transparent vision of data on a single support in order to link the information in a better way that would allow to plan inspections, optimize interventions, improve cost efficiency, in safer working conditions.

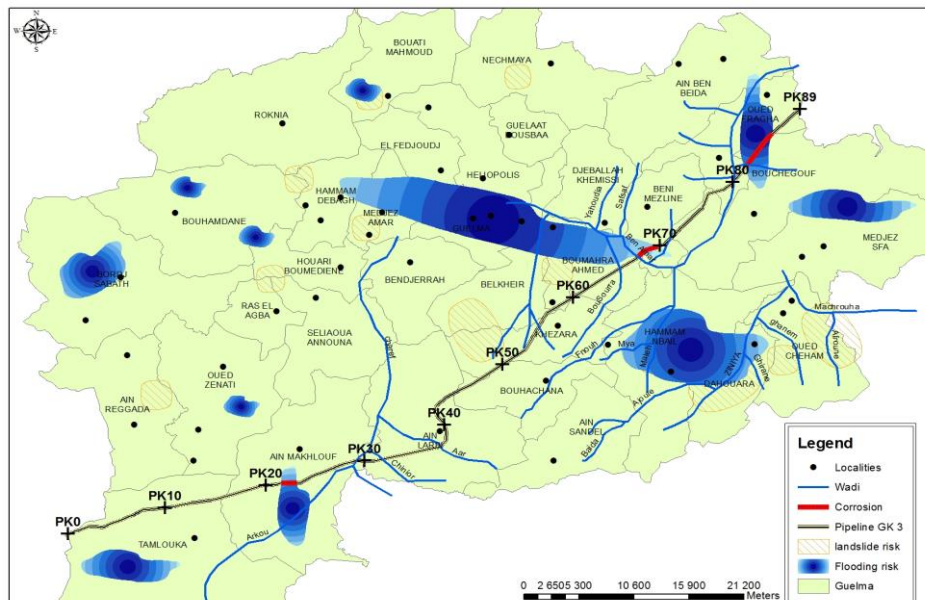
3.1. PREVENTING THE CAUSES OF THE EMERGENCE OF RISKS

GIS can provide valuable input as to the identification and analysis of those causes initiating more risk to the pipeline as for corrosion and third parties that represent 65% of accidents.

3.1.1. PREVENTING CORROSION PREVENTION

The analysis of the information related to critical areas where the pipeline is laying, allow identifying harmful agents that affect it, and provide an integral vision on all problems which can provide the right decision to take in order to initiate mitigation actions on accelerating external corrosion in order to control the resulting hazards (LARA, 2009).

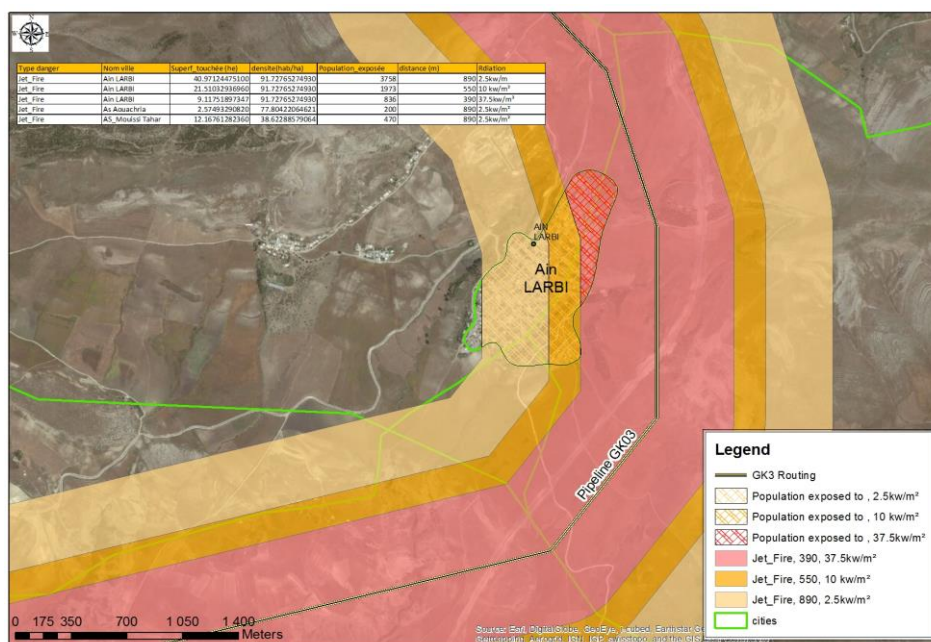
In this research, the pipeline crossing of wetlands involved in the possibility of external corrosion requires monitoring of the strongly affected segments by this situation and GIS has the opportunity and the ability to cross different geographic layers (layer of wetland area with the layers of the route of the pipeline). This will determine the critical segments that require the reinforcement of the protective equipment and the establishment of an optimized maintenance plan based on monitoring, control and intervention (Map 01).



Map 01: contribution of GIS in corrosion management

3.1.2. PREVENTING THIRD PARTIES DAMAGE

GIS is considered as the appropriate tool for managing damages caused by third parties because it can control the construction and the activities conducted around the pipeline. In this case study, the passage of the pipeline by 05 rural municipalities characterized by high population density, agricultural and pastoral activities around the pipeline, often accompanied by ignorance and/or lack of supervision of the owner and the authorities, leading to the increased risk caused by a third party. Yet with new techniques that facilitate the acquisition of satellite images that can be used by the GIS, allow to visualize and control any activity around the pipeline and assist in the implementation of an awareness plan for farmers and residents of areas near the pipeline, a better prevention of this risk is being addressed. GIS will be of great use to town, as it provides rapid and reliable identification of areas where development projects will be constructed without affecting the GK3 pipeline; in (map 02),

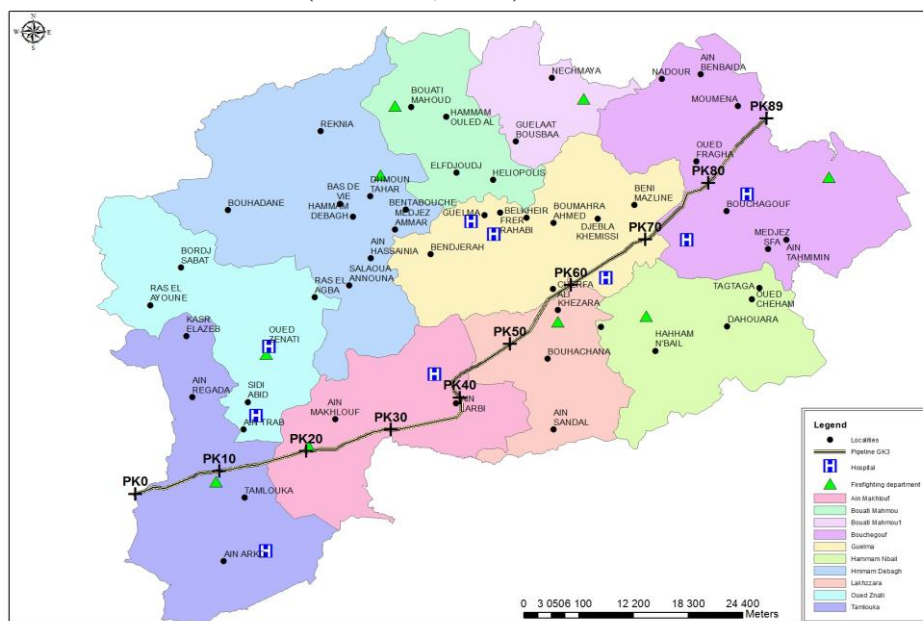


Map 02: Contribution of GIS for urban management around the pipeline

3.2. MANAGEMENT OF EMERGENCY PLANNING

3.2.1. THE USE OF GIS IN EMERGENCY MANAGEMENT

GIS allows extracting information to determine the best approaches to anticipate and manage the risks relating to the passage of the pipeline through the crossing of different layers with vulnerable sections of pipeline by relating information on roads, residents, rescue teams, authorities and health institutions (LEONID, 2007).



Map 03: Contribution of GIS for incident management on emergencies.

According to information made available on mapping, response plans could include the best information about the location of pipelines, accessibility, and plans to target sensitive areas and facilitating the operation to master the dangerous situation (GOODCHILD, 2006). (Map 03) shows the contribution of GIS in the visualization of the route of the pipeline GK3 with the location of areas of intervention that can be targeted in case of risk occurrence.

3.2.2. MANAGEMENT OF INTERVENTIONS IN TIMES OF CRISIS

The methods of evacuations and interventions in times of crisis related to the risks arising from the loss of containment of hydrocarbons transported by pipelines can be designed and programmed based on the database that are already prepared to identify and consider the basic scenarios and thus provide all the logistics and possible response methods by choosing the shortest paths, the closest areas to intervene in the accident or incident in order to save time and minimize the maximum human and material damage in terms of protection and evacuation to the most secure places and the nearest sanitary places. In the case study, we have simulated a containment loss event of the GK3 pipeline with the use of ArcGIS Network Analyst function, which helps to define the shortest path for the locations of firefighters departments as well as the closest medical centers locations to the disaster so as to intervene in order to reduce response times, (Map 04), which undoubtedly save lives, protect assets and minimize the environmental damage.



Map 04: Contribution of GIS for rapid response management in emergency times

4. DISCUSSION OF RESULTS

This present work helps to provide policymakers with a tool to aid decision making with spatial reference that incorporates one at a time the methods of segmentations of pipelines, the functionality of the GIS, risk assessment models and decision-making based on decision making maps which result from the crossing of informations of different layers of dynamic maps.

It is true that the final decision results from the participation of other actors who initiate other processes such as political strategies, which is to be formalized but the application of this methodology allows to identify the best solutions which constitute a valuable aid in decision making. In the practical side, this study presents a case of application on gas transportation problems over long distances by ensuring the safety of people, the assets and the environment along the route, the studied approach of which can identify potential actions to finally aggregate the preferences of decision-makers based on the use of graphic visualization of the potential of this system that will provide the decision maker a richer and easier information,

namely the consistency of results obtained by this approach thus increasing the degree of decision-confidence and the effectiveness of this methodology to classify and focus actions on the sections deemed most dangerous in order to control and process them.

CONCLUSION

The contribution of GIS for the management of risks in the transportation of oil and gas by pipeline is very important because it is an excellent tool for decision support that provides a broad platform for information and scenario, thus optimizing the management of risks in the transportation of oil and gas by pipeline.

GIS allows line operators to manage quickly and accurately the different segments of the pipeline with hotspots for the security of people, assets and the environment.

The use of GIS to develop synergies between the actors involved in risk management and management of the intervention, to reorganize the various plans to be implemented, takes best advantage from the sharing of resources.

REFERENCES:

- CHELLE C., ERCEVILLE H. (2013). *L'information géographique pour mieux manager, coordonner, décider, gérer, communiquer*. Esri France.
- DAWOTOLA A. W., VAN GELDER P.H.A.J.M, VRIJLING J.K.(2009) .*Risk Assessment of Petroleum Pipelines using a combined Analytical Hierarchy Process - Fault Tree Analysis (AHP-FTA)* . Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Stevinweg 1, 2628CN Delft .
- GOODCHILD M.F. (2006), *GIS and disasters: planning for catastrophe*, University of California, Santa Barbara1.
- LARA F. (2009).*GIS as tool to assess pipeline integrity, Transportadora de Gas del Sur*.24th world gas conference, Argentina.
- LEONID V. ALEKSANDAR LJ. MILOSAVLJEVIC, ALEKSANDAR S. STANIMIROVIC, (2007). *GIS as a Tool in Emergency Management Process Leonid*. Proceedings of the World Congress on Engineering, London, U.K.
- MALCZEWSKI J., (1999) .*GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons, New York.
- TRC.(2015). *Le code réseau de transport par canalisation*, <http://www.sonatrach.com/transport-par-canalisations>.

Validation d'un modèle numérique de terrain pour la modélisation hydrologique local sur Saïdia

Abdellatif Grari¹, Mimoun Chhourak², Farid Boushaba², Hanae Bouhaba³

¹ Department of Geology,
University Mohamed Premier, faculty of sciences,
Oujda, Morocco

² Department of Mechanic and Applied Mathematics,
University Mohamed Premier, National School of Applied Sciences,
Oujda, Morocco

³ Department of Geology,
University Mohamed Premier, faculty of sciences,
Oujda, Morocco

1 INTRODUCTION

Ce travail va permettre de fournir un Modèle numérique du terrain (MNT), utile pour la mise en œuvre de méthodes d'estimation des débits et des de crues à l'échelle locale de la ville de Saïdia. La prévision du risque d'inondation fait de plus en plus appel à l'utilisation de Modèles Numériques de Terrain. Il est maintenant possible de caractériser morphométriquement et sur de grandes étendues géographiques, les bassins versant pour des fines applications telles que la modélisation des crues et la modélisation des phénomènes d'inondations (Patro et al. 2009, Pramanik et al. 2010).

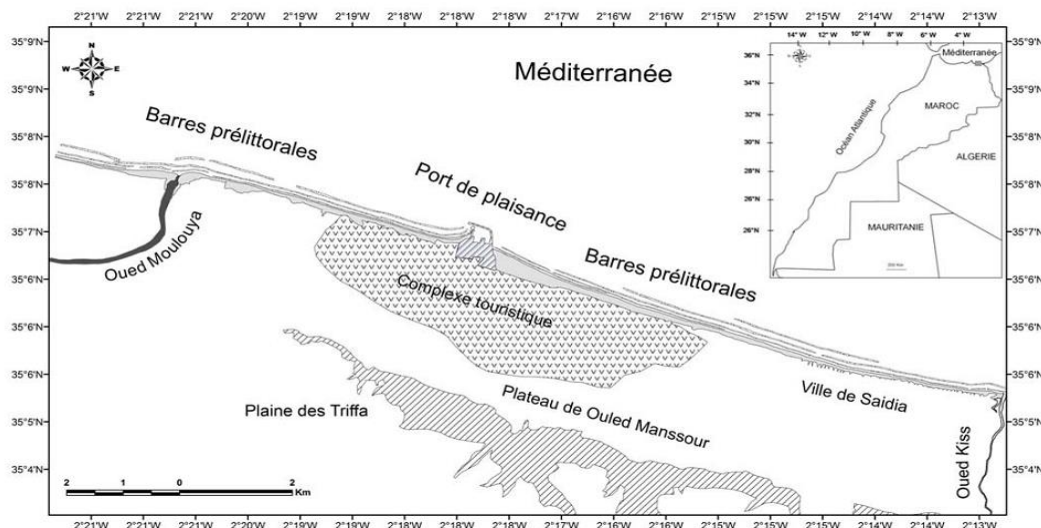
Le (MNA) utilisé est issu de la mission SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), le choix de ce type de (MNA), plus en plus utilisé dans les études hydrologiques (Bhang et Schwartz 2008), peut améliorer largement la précision d'un modèle de calcul des hydrogrammes de crue (Durga Rao et al.2009), comme il peut être utilisé dans la détermination des zones vulnérables à l'inondation (Demirkesen et al. 2007).Le (MNT) résultant, va permettre l'extraction des différentes caractéristiques morphométriques (telles que les pentes, les surfaces, les altitudes maximales et minimales, les longueurs de thalweg, etc.).La qualité du MNT a été validée en comparant ces caractéristiques obtenues automatiquement à celles réalisés manuellement par l'AHBM, sur des cartes topographiques à l'échelle du 1/50 000, et en comparant Les résultats de la simulation de deux modèles d'infiltration en se basant sur le dit MNT.

2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.

2.1 SITUATION ET CADRE GÉNÉRALE

Les plateaux d'Ouled Mansor, situées au sud de Saïdia, sont des falaises mortes, de 100m d'altitude, se constituent d'une alternance de dépôts de grès et d'argiles néogènes

(Le miocène). Il s'agit d'un vrai horst qui marque la limite nord de la plaine de Triffa et la limite sud de la dépression des Charba (plaine de Saïdia). Ces falaises rajeunies par une érosion ravinant très active, constitue le flanc nord de ce horst ; elle s'étend entre Ras El Ma l'ouest et l'oued Kiss à l'est. Cette falaise correspond à une flexure qui relève des calcarénites du Quaternaire fossilisé sous le Quaternaire récente la plaine



Cadre générale des plateaux de Ouled Mansour [Mouzouri et al, 2011]

La problématique des inondations de la ville de Saïdia est due en majeure partie aux débits générés par des petits oueds qui découpent la falaise des Ouled Mansour. (D'après l'Agence du Bassin Hydraulique de la Moulouya, ABHM). En effet, les bassins versants qui dominent la ville du côté Sud, présentent de très fortes pentes et génèrent des débits et volumes qui provoquent fréquemment des inondations.

Les ravins qui découpent ces falaises ne montrent pas d'exutoires francs vers la mer et débouchent dans la plaine côtière de Saïdia avec des débits de l'ordre de 6.84 m³/s, valeur enregistrée par l'Agence du Bassin Hydraulique de la Moulouya, ABHM [Mounia MOUZOURI et al. 2011]. Des ouvrages de protection contre les risques hydrologiques sont édifiés le long de cette plaine comme le canal de drainage des eaux pluviales longeant le piedmont des Ouled Mansour. Ce canal est construit en 2008, et se compose de deux fossés longitudinaux, pour la collecte des eaux de la partie Est du plateau des Ouled Mansour, un fossé transversal pour l'évacuation des eaux acheminées par ces deux fossés, vers la mer Méditerranée et un fossé longitudinal pour la collecte des eaux de la partie Ouest et les évacuer vers Oued Moulouya.

Les principaux oueds qui franchissent les falaises de Ouled Mansour, sont d'Est en Ouest: Oued Ben Arbia; Oued Abdellah; Oued Bel Arbi; Oued Sebbak et Oued Chbak. Ces oueds ne montrent pas d'exutoires francs vers la mer et débouchent dans la vaste plaine côtière de Saïdia, très plate et de faible altitude par rapport à la mer (AHBM, 2012).

Oued	Oued BenArbia	Oued Abdellah	Oued Bel Arbi	Oued Sebbak	Oued Chbak
Débit m ³ /s	5.2	16.3	12.8	7.9	20.3

3 OUTILS ET METHODES

CONSTRUCTION DU MNT LOCAL :

Les données SRTM ont été extraites du site <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/> (consulté le 14 décembre 2015). Nous avons extrait le MNA à la maille de 90 m correspondant à une zone allant de 35° à 36° en latitude et de 2,1° à 3° en longitude. Sur cette zone, SRTM donne les altitudes aux nœuds d'un maillage curviligne de 3 s d'arc. La précision sur les altitudes est de l'ordre de 16 m dans 90% des cas (Jordan et al. 1996, Slater et al. 2001). Les MNT ont été construits, corrigés et validés en utilisant les fonctionnalités du logiciel ESRI® ArcGISTM v.9.3 et des extensions SpatialAnalystTM et ArcHydroTM v.1.3 Tools qui fonctionnent sous ArcGISTM.

Les points d'altitude issus de SRTM ont été projetés dans le système UTM (MERCATOR). Nous avons ensuite construit un MNT à la maille de 90 m en utilisant l'interpolation cubique du logiciel ArcGIS. (figure).

PARAMETRES PHYSIQUES :

Les paramètres physiques sont étroitement liées à la forme et la topographie de chaque sous bassin versant. Ces paramètres sont obtenus en combinant les données du MNT avec l'information spatiale des sous-bassins versants sur la base des analyses statistiques des outils de SIG, les méthodes d'estimation détaillées pour chaque paramètre sont (Ji Shen et Qiuwen Zhang, 2014):

- **SUPERFICIES DES SOUS BASSIN :** être calculés sur la base du nombre et de la résolution de pixels à l'intérieur de leur contours, la formule de calcul est la suivante:

$$S_i = \text{cellsize}^2 \cdot n_i$$

Où S_i est la superficie du sous bassin cellsize est la résolution des pixels du MNT (30 m) dans notre cas n_i est le nombre de pixels du MNT contenue dans le sous bassin i .

- **LARGEUR DES SOUS BASSIN :** Pour chaque sous bassin et afin d'évaluer la valeur de la largeur, sa forme géométrique est simplifiée à un rectangle avec la même Superficies. La largeur du sous bassin, pourrait être alors exprimée comme suit:

$$W = \frac{S_i}{l_{\max}} \text{ Et } l_{\max} = \max(D_{p, \text{pout}})$$

l_{\max} : est la longueur d'écoulement maximal dans un sous bassin.

$D_{p, \text{pout}}$: est la distance entre un point arbitraire p du sous bassin et son exutoire pout.

Si les coordonnées de p et pout sont respectivement (p_x, p_y) et $(\text{pout}_x, \text{pout}_y)$, l'expression de

$D_{p, \text{pout}}$ devient :

$$D_{p,pout} = \sqrt{(p_x - pout_x)^2 + (p_y - pout_y)^2}$$

- **PENTE DU SOUS BASSIN :** c'est la valeur moyenne des pentes de chaque pixel du MNT La méthode proposé par (Ji Shen et QiuwenZhang, 2014) pour calculer la pente d'un pixel est la méthode des huit directions (D8).

Si E_k est l'élévation d'un pixel K du MNT, et $E_{k1}, E_{k2}, E_{k3}, E_{k4}, E_{k5}, E_{k6}, E_{k7}, E_{k8}$ sont celle des huit pixels qui lui sont adjacent. La pente du pixel K sera donnée par l'expression suivante :

$$pente = \sqrt{(dz/dx)^2 + (dz/dy)^2} \times 100$$

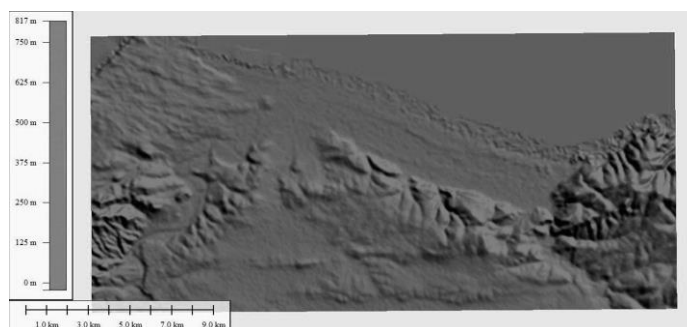
Avec :

$$\frac{dz}{dx} = \frac{(E_{k3} + 2.E_{k5} + E_{k8}) - (E_{k1} + 2.E_{k4} + E_{k6})}{8.cellsize} \quad \text{Et} \quad \frac{dz}{dy} = \frac{(E_{k6} + 2.E_{k7} + E_{k8}) - (E_{k1} + 2.E_{k2} + E_{k3})}{8.cellsize}$$

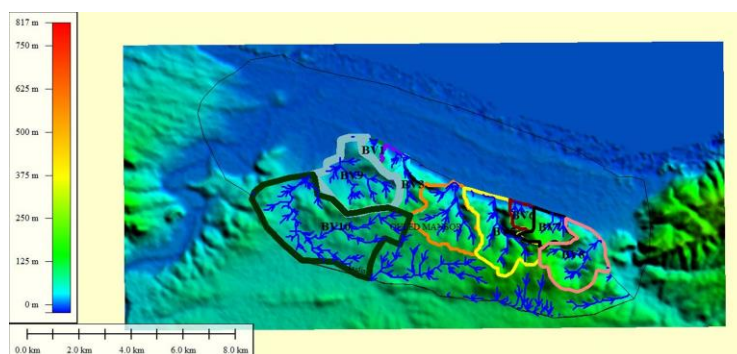
4 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS :

4.1 CARACTERISTIQUE PHYSIQUE DES BASSINS VERSANTS :

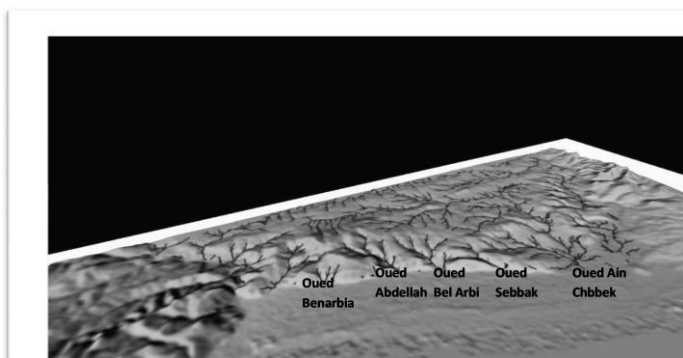
- **CONSTRUCTION DU MNT :** En utilisant l'interpolation cubique du logiciel ArcGIS sur le MNA 90 m projeté dans le système UTM(MERCHICH).



- **CONSTRUCTION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE :** En suite on utilise la méthode des huit directions (O'Callaghan et Mark 1984, Jensen et al.1988) pour définir les écoulements dans le MNT La comparaison entre le réseau hydrographique numérique et celui qui est tracé par l'agence du bassin reflète une grande ressemblance, on distingue alors visiblement les cinq oueds objet de notre simulation numérique.

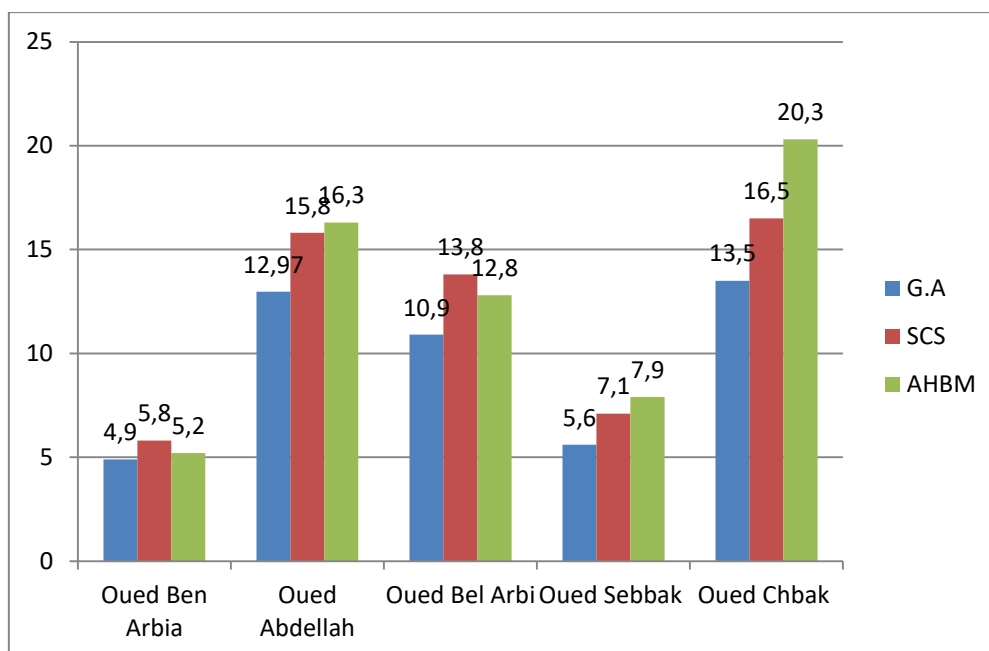


Délimitation des bassins versants



MNT après correction et validation

4.2 SIMULATION NUMERIQUE :



Resultants de la simulation numérique

5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS :

L'analyse des résultats de notre simulation est compatible avec celle d'ABHM , ce MNT peut être recommandé pour les études hydrologiques sur Saadia

REFERENCES

- [1] K. Srivastava and K. Kaur, "Stability of Impulsive Differential Equation with any Time Delay," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 2, no. 3, pp. 280–286, 2013.
- [2] O. V. ADEOLUWA, O. S. ABODERIN, and O. D. OMODARA, "An Appraisal of Educational Technology Usage in Secondary Schools in Ondo State (Nigeria),"

- International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 2, no. 3, pp. 265–271, 2013.
- [3] Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design, 2nd Ed.* Wiley India Pvt. Limited, 2007.
- [4] C. Tichi, *Electronic Hearth: Creating an American Television Culture*, Oxford University Press, 1991.
- [5] A. R. Jennings, *Financial Accounting*, Cengage Learning EMEA, 2001.
- [6] Mettam, G. R., and Adams, L. B., *How to prepare an electronic version of your article*, In: B. S. Jones, and R. Z. Smith (Eds.), *Introduction to the electronic age*, New York: E-Publishing Inc, pp. 281-304, 1994.
- [7] O'Neil, J. M., and Egan, J., *Men's and women's gender role journeys: A metaphor for healing, transition, and transformation*, In: B. R. Wainrib (Ed.), *Gender issues across the life cycle*, New York, NY: Springer, pp. 107-123, 1992.
- [8] Smith, Joe, *One of Volvo's core values*, 1999. [Online] Available: <http://www.volvo.com/environment/index.htm> (July 7, 1999)

CARTOGRAPHIER L'ALEA DES MOUVEMENTS DE TERRAIN PAR LA METHODE DRASTIC, CAS DES ZONES SITUEES DANS LA PERIPHERIE DE LA CUVETTE DU BARRAGE DE BENI HAROUN. GRAREM GOUGA, EST D'ALGERIE

Kenza SLIMANI, Hadjer SMADI et Hassina BOUZIDA.

Université Hadj Lakhdar, laboratoire de l'aménagement de territoire et gestion des risques majeur, Batna, Algérie. *kenzakan99@gmail.com*

RESUME : La région de Grarem Gouga est située à l'Ouest du sous bassin versant Rhumel-Smendou et à l'Est de la wilaya de Mila. C'est l'une des villes algériennes les plus exposées aux risques des mouvements de terrain, cette dernière est plus active et constitue une menace sur les agglomérations localisées généralement sur la périphérie du barrage de Beni Haroun où les terrains sont très sensibles et instables. A fin de mieux cerner la spatialisation de ce phénomène, une méthode de cartographie inespérée de la méthode DRASTIC en hydrogéologie a été appliquée. Cette méthode nous a permis de déterminer les niveaux d'aléa dans la zone d'étude, elle est basée essentiellement sur des paramètres favorisant le phénomène des mouvements de terrain ; à savoir : la lithologie, la pente et le degré de saturation. Pour mieux gérer le risque des mouvements de terrain et leurs impacts sur les agglomérations, nous pouvons proposer des solutions et des procédures, pour but de prévenir et diminuer les dégâts causés par les mouvements de terrain dans cette région.

Mots-clés : Mouvements de terrain – bassin versant – DRASTIC – aléa – spatialisation – Grarem gouga – cartographie – Gestion de risque.

MAPPING LANDSLIDES HAZARD BY DRASTIC METHOD, CASE OF ZONES SITUATED IN THE PERIPHERY OF BENI HAROUN DAM BASIN. GRAREM GOUGA, EAST OF ALGERIA

ABSTRACT: The region of Grarem Gouga located on the Oust part of Rhumel-Smendou watershed and exactly in the East part of Mila, it's one of the most Algerians cities exposed to landslide risks, this last it's more active and constitutes a threat on the agglomerations which existed generally on the periphery of the dam of Beni Haroun where the lands are too sensitive and unstable. For better understanding the spatialization of this phenomenon, we have a method of cartography; the method was inspired from DRASTIC which is usually applied in Hydrogeology. This method allowed us to determine the levels of hazard in the study zone, it is basically based on parameters promoting the phenomenon of landslide; namely: lithology , slope and degree of saturation. For better manage this risk of landslides and their impact on the agglomerations, we can suggest a solutions and procedures, for object to prevent and decrease the damages caused by landslides in the region.

Key words: Landslides – watershed – DRASTIC- hazard – spatialization – Grarem gouga – cartography – risk management.

INTRODUCTION

Parmi les risques naturels les plus répandus à travers tout le globe terrestre (mouvement de terrain, inondation, séisme, volcan, etc.), ces risques, aujourd'hui menacent d'une façon fréquente l'existence humaine surtout dans les pays en voie de développement et provoque des dégâts matériels importants, ce qui handicape toutes les opérations de développement.

L'Algérie est l'un des pays, qui est confronté aux effets néfastes de certaines de ces catastrophes, surtout celles dû à la dynamique des versants, telle que les mouvements de terrain. Ces derniers sont recensés, à cause de leur fréquence dans le temps et dans l'espace. L'instabilité des zones situées autour de la cuvette du barrage de Beni Haroun (Wilaya de Mila), met les populations locales toujours vulnérables au risque des mouvements de terrain, cette instabilité s'explique par la conjugaison de plusieurs paramètres ; géologique, topographiques et hydrologiques, etc., et à travers ce travail on va essayer de déterminer le niveau d'aléa des mouvements de terrain et aussi de connaître n'est ce que le barrage de Beni Haroun affecte les terrains voisins.

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le bassin versant de Rhumel-semendou couvre une superficie de 1088 km² entre les altitudes 1295 et 589 m, il est situé dans la partie Nord du grand bassin versant kébir Rhumel (figure 1). Il représente sur une zone inter médiane entre le domaine tellien à très forte influence méditerranéenne au Nord et le domaine des hautes plaines à forte influence continentale au Sud. Il est limité par : Le bassin d'oued Kebir Martime au Nord, d'oued Rhumel –Seguen- .Boumerzoug au Sud, du bassin versant d'oued Kébir Amont Endja à l'ouest et la Seybouse à l'Est.

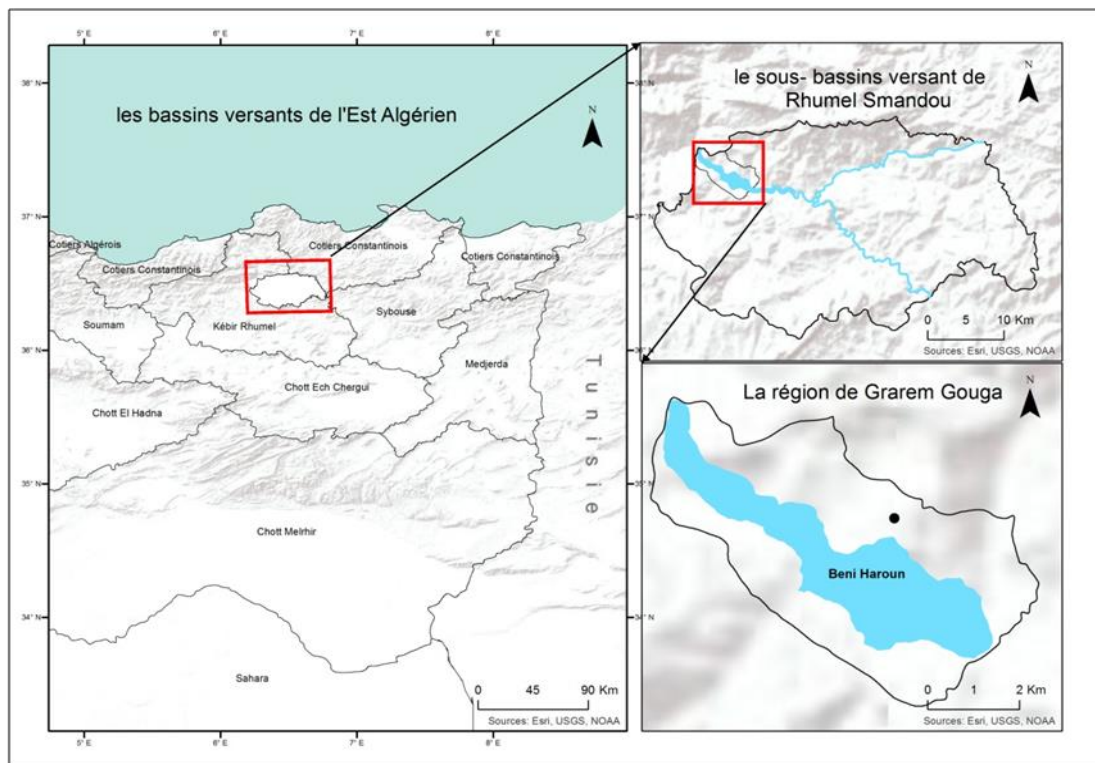


Figure 1. La situation géographique de la zone d'étude.

Les caractéristiques morphométriques et physiques et leur articulation dans l'espace influent sur la réaction hydrologique des bassins versants. En effet le sous-bassin versant d'oued

Rhumel-Semendou possède une forme plus ou moins allongée dans la direction Est-Ouest, avec un relief modéré à fort, alors que notre bassin se caractérise par un milieu hétérogène. Ce dernier associe tous les caractères et les aptitudes d'un écoulement brutal et la dynamique érosive qui décolle des caractéristiques morphométriques.

Le sous-bassin Versant Rhmel- Semendou est drainé par plusieurs affluents ; Oued Semendou, Koton et Oued Begratts, la confluence de ces différents affluents donnent la naissance du talweg principale Oued Rhumel d'une longueur de 55 km. A coté de la lithologie le sous-bassin versant Rhumel-Smendou est dominée par des formations lithologiques imperméables ; Argiles, Marnes a tous les parties nord, est, ouest et sud. Ce sous-bassin caractérise aussi par une occupation agricole qui se manifeste en grande ampleur, et d'autres occupations telles que : (Parcours, Maquis, Alfa, Halophytes et les Foret) . Pour le régime pluviométrique du sous-bassin les précipitations moyennes annuelles ont été estimés de 596.4 mm avec une température moyenne de 16.8 c° ; ce qui mit le sous bassin dans un climat généralement sub-humide et à partir de Rhumel-Smendou ; nous avons sélectionné la région de Grarem Gouga comme une étude de cas où on va appliquer notre méthode. Cette région Située autour de la cuvette du barrage de Beni Haroun et représente le chef-lieu de Daïra, elle est limité au Nord par la commune de Hammala, à l'Est Beni Hmidane, au sud la commune de Boudjeriou Messaoud et Mila, à l'Ouest Sidi Meroune et chigara. Dans le cadre régional ; Grarem gouga se situe à quelque kilomètres au Nord de méditerranée, elle est distancée de Constantine de 43 km et de Mila de 10 km. Au niveau des habitants Grarem gouga représente 78,9 % de population totale de Daïra.

2. MATERIEL ET METHODES

dans le contexte de l'aléa mouvements de terrain nous avons proposé une méthode qui inspiré de la méthode « DRASTIC », utilisé pour cartographier la vulnérabilité des nappes aquifères cette méthode a été mise au point par l'EPA (Environmental Protection Agency) aux Etats-Unis en 1985 et Aller et Al en 1987, elle est utilisée pour cartographier et d'estimer la vulnérabilité de pollution des eaux souterraines. Notre travail a été inspirée par la méthode DRASTIC, à partir de cette méthode on peut baser sur trois paramètres ; la lithologie, la pente et le degré de saturation. Pour cela nous avons appuyé sur la carte géologique et topographique en même échelle de 1/50 000. A d'autre part nous avons utilisé les programmes MapInfo 8.0 et Surefer 9.0 et Arcgis 10.2.2.

Après la délimitation de la zone d'étude ; Chaque paramètre on le donne son poids, à partir de son importance (tableau 1.) ; la lithologie [5], la pente [3], le degré de saturation [2]. Puis nous discrétisation les cartes en mailles carrées de 1 km selon l'échelle de la carte (figure 2,3 et 4), et on attribue la cote existant pour chaque paramètre dans les carrés.

Les paramètres					
La lithologie (5)		La pente (3)		Le degré de saturation (2)	
Type de sol	poids	Valeurs en %	poids	Valeurs en %	poids
Argiles et marne alluvion	10	20 - 30%	10	100%	10
		20 - 16 %	8	50%	8
	5	8 -16%	6	30%	6
		< 8%	4		

Tableau 1. Poids attribués aux trois paramètres selon la méthode DRASTIC.

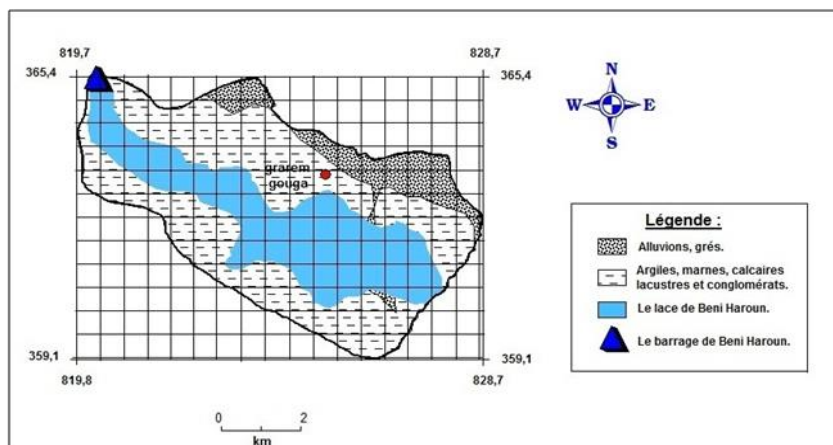


Figure 2. Carte d'indice lithologique.

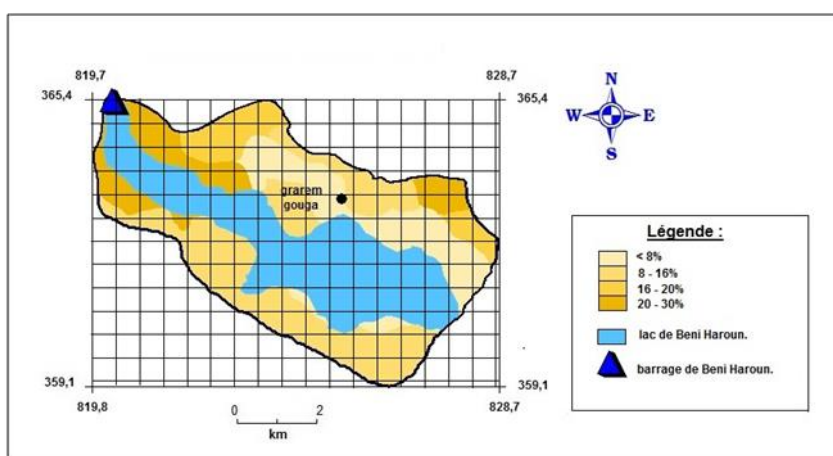


Figure 3. Carte d'indice des pentes

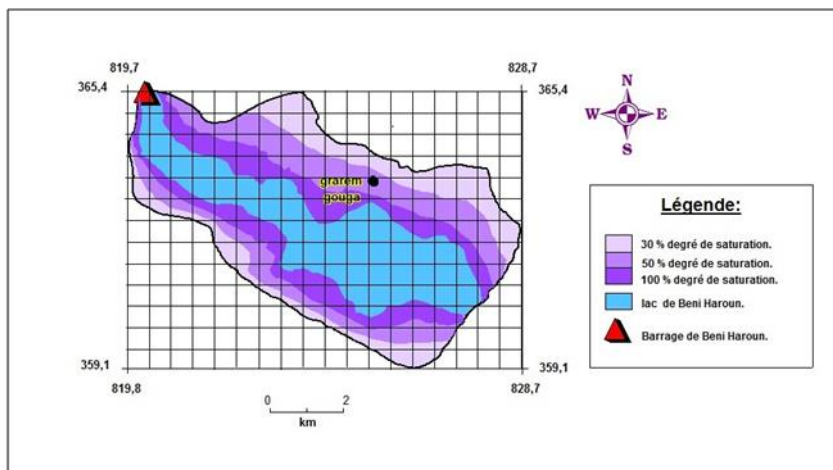


Figure 4. Carte d'indice de degré de saturation.

Pour calculer l'indice de chaque paramètre on utilise la relation suivante :

$I = \text{le poids} \times \text{la cote.}$

Une fois les différentes carrées définies et leurs notes attribuées, la méthode nous aide à déterminer (I_m) qui permet de caractériser le degré d'aléa, donc identifie au niveau de chaque maille la valeur de l'indice de l'aléa, ces étapes nous permettons de créer une base de données qui on va l'exporter vers le programme de Surfer 9.0 pour extraire finalement le modèle de

l'aléa. D'autant plus l'indice (I_m) calculé n'est élevé, l'aléa est d'autant plus important. Cet indice est calculé de la manière suivante: $I_m = I_{th} + I_p + I_{ds}$ D'où :

I_m : indice de mouvement de terrain.

I_{th} : l'indice lithologique pour un seul carré.

I_p : l'indice de pente pour un seul carré.

I_{ds} : l'indice de degré de saturation pour un seul carré.

Pour la suite on définit trois classes en fonction des intervalles de l'indice I_m .

3. RESULTATS ET DISCUSSION

D'après la carte d'aléa (figure 5) on distingue que :

Les valeurs d' I_m entre [70-80] représentent la zone à aléa faible.

Les valeurs d' I_m entre [80-90] représentent la zone à aléa moyen.

Les valeurs d' I_m entre [90-100] représentent la zone à aléa fort.

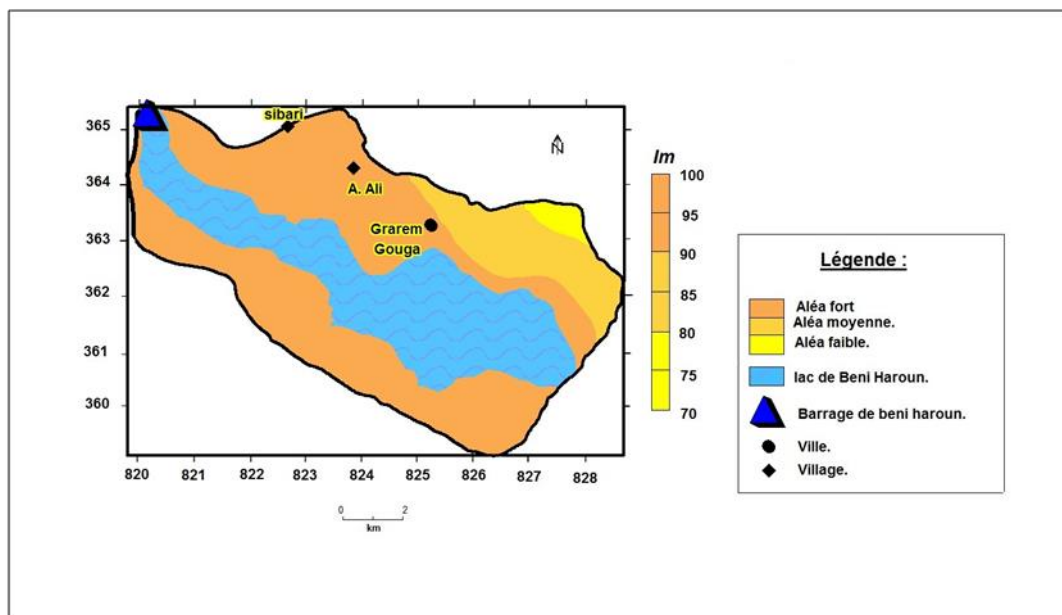


Figure 5. Carte d'aléa mouvement de terrain de la région de Grarem Gouga.

À partir de la carte d'aléa nous avons remarqué que les zones ont aléa fort, sont les plus dominantes et localisées généralement autour de la cuvette du barrage de Beni Haroun où nous trouvons les conditions principales (la pente, la lithologie et le degré de saturation) qui déclenchent les mouvements de terrain. La méthode de cartographie qui nous avons adapté montre que les zones les plus soumises aux mouvements de terrain sont surtout à proximité du barrage de Beni Haroun.

CONCLUSION

aujourd'hui la stabilité des terrains vulnérable aux mouvements de terrain dans les régions au barrage de Beni Haroun, ne peut être garantie que par une bonne gestion de risque, qui dépend essentiellement de la connaissance du risque, et sa surveillance et les réglementations régissant l'usage du sol, etc. A cet égard, nous pouvons proposer un ensemble des solutions à partir de la cartographie vers à l'aménagement (le drainage, le reboisement, etc.) et même avec des procédures (l'empêchement d'extension, l'assurance, etc.). Pour à venir, il est

indispensable de renforcer la politique nationale et régionale de gestion des risques naturels, par l'intervention de toutes les parties (l'état, les collectivités territoriales, partenaires économiques et sociaux professionnels, bureaux d'études, universités, associations et citoyens) en créant une chaîne organisée pour la maîtrise des risques naturels sur plan spatial et temporel.

Références bibliographiques

- Agence National des Barrages et Transfère (ANBT). (2006). *Étude de la protection du bassin versant du barrage Beni-Haroun-phase IV- mesures de protection anti-érosive*.130 p.
- ALLER L and Al. (1987). *DRASTIC a standardized system for evolution of groundwater pollution, potential using hydrogeology setting*. Rapport EPA, NWWA, Ochio, USA. 20 p.
- ATHMANIA D., BENAÏSSA A. et BOUASSIDA M. (2009). *Propriétés minéralogiques des argiles gonflantes de la wilaya de Mila*. Colloque International- (UNSATlemcen09) Tlemcen. 10 p.
- BELDJOUDI H. (2011). *Etude de la sismicité de Nord Algérien*. Thèse Doctorat. Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen-.
- Département de l'Environnement Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques. (2008). *étude pour la réalisation d'une cartographie et d'un système d'information géographique sur les risques majeurs au Maroc*.57 p.
- L.C.P.C -Laboratoire Central des Ponts et Chaussées- Collection Environnement, Les risques majeurs. (2000) *caractérisation et cartographie de l'aléa des mouvements de terrain*. France.
- MARMI R., KACIMI M et BOULARAK M. (2009). *Les mouvements de terrain dans la région de Mila (Algérie nord-orientale) ; impact sur les infrastructures*. Revista de geomorfologie – vol. 10, 2008, pp. 51-56.
- MEBARKI A. (1982). *Le bassin du Kebir-Rhumel (Algérie) Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau*, 608 p.
- RONTE C. (2003). *Étude et analyse critique des méthodes d'évaluation des risques naturels par l'exploitation des SIG*. - Panthéon- Sorbonne. Université Paris 1.35 p.

CARTHOGRAPHIE DES ZONES A RISQUE DES INCENDIES DES FORETS A L'AIDE DU SIG ET LA TELEDETECTION DANS L'ARRIERE PAYS DU PORT TANGER MED

Abderrahim MAKTITE*, Ali FALEH* et El Houcine LAKHOAJA*

(*) Département de Géographie, Faculté des lettres Saïss Fès, Maroc, maktiteabderrahim@gmail.com

RESUME : Les milieux naturels marocains ont subi au cours des dernières décennies des dégradations importantes liées en premier lieu au développement des populations et à la pression qu'elles ont exercée sur les ressources naturelles. L'un des aspects de cette dégradation réside dans les incendies des forêts qui se sont accélérée d'une façon alarmante. La zone d'étude appartient au domaine forestier de la DPEFLCD de Tanger qui s'étale sur une superficie de 42.000ha. Cette dernière est connue par sa sensibilité au feu à cause notamment de la nature du couvert végétal, des conditions climatiques (vent chergui fort et fréquent) et de la forte densité de la population.

Le présent travail a pour objectif hiérarchiser la zone d'étude en parcelle selon le degré de risque en feu à l'aide de la méthode DAGORNE Y. DUCHE en 1994.

Pour atteindre cet objectif, l'application du SIG et la TELEDETECTION est nécessaire pour élaborer une carte de risque d'incendie dans l'arrière pays du port Tanger méditerranée.

Mots-clés : incendie, SIG, Télédétection, Port Tanger Med

Mapping areas at risk of forest fires using the gis and remote sensing in the hinterland of the port Tangier Med

SUMMARY: Moroccan natural environments have undergone in recent decades considerable degradation related primarily to the development of populations and the pressure they have exerted on natural resources.

One aspect of this degradation lies in fire drills that are accelerated to an alarming way. The study area belongs to the forest area of Tangier DPEFLCD which spreads over an area of 42.000ha.

The latter is known for its sensitivity to heat especially because of the nature of the vegetation cover, weather conditions (chergui frequent and strong wind) and high population density.

This work aims to prioritize the parcel study area according to the fire risk level using the method DAGORNE Y.DUCHE

To achieve this goal, the application of GIS and REMOTE SENSING is needed to develop a fire risk map in the hinterland of Tangier Mediterranean port.

Keywords: fire, SIG, remote sensing, Tangier Med port.

INTRODUCTION

L'analyse de la situation des incendies de forêts au Maroc fait ressortir qu'au cours des 50 dernières années (1960-2009), près de 12912 incendies ont endommagé 149292 ha de forêts, soit une moyenne de 2986ha par an, avec un maximum en 1983 (11289 ha) et un minimum en 2002 (593 ha). Cette superficie moyenne annuelle représente 0,05% de la surface totale boisée du pays (HCEFLCD 2009).

Le nombre d'incendies et les superficies incendiées en forêts marocaines sont jugés relativement élevés, eu égard au taux de boisement très faible du pays (8%), à l'aridité du climat et aux contraintes rendant extrêmement difficile la reconstitution des espaces boisés (reboisement régénération) (HCEFLCD 2009).

La zone d'étude se situe en amont de l'axe du port Méditerranée et oued Ksar Sghir (Fig.1). Elle appartient à la péninsule de Tanger, située au Nord-ouest du Maroc. Elle couvre une superficie de 193 km² et comporte trois bassins (bassin oued R'mel, bassin oued Ksar Sghir et bassin oued Ghlala), limitée au nord par la mer Méditerranée, à l'est par la ville de Tétouan, à l'ouest par la ville de Tanger et au sud par la ville de l'Arache.

Sur le plan Administratif, la zone d'étude dépend de la région de Tanger-Tetouan, Province de Tanger, Cercle Al Anjra.

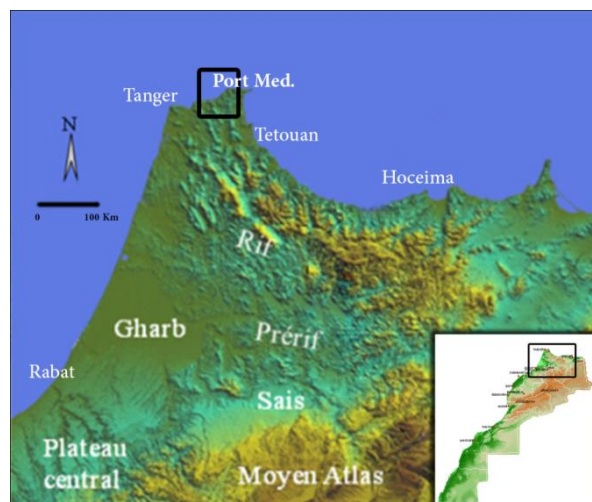


Fig. 1 : Croquis de Situation

APPROCHE METHODOLOGIQUE:

L'évaluation des risques d'incendies de forêt a fait l'objet de plusieurs documents de recherche et plusieurs indices de feu des risques ont été établis.

L'indice qui nous intéresse dans ce travail est conçu par DAGORNE Y. DUCHE pour les forêts de la Méditerranée.

L'indice du modèle est donné par la formule suivante:

$$IR = 5IC + 2IH + IM \text{ d'où:}$$

IR: Indice de risque de feu. **IC:** Indice de combustibilité.

IH: Indice d'occupation humaine. **IM:** indice Topomorphologique.

Indice Topomorphologique (IM):

La pente a une influence considérable sur la vitesse de propagation du feu; le rayonnement utile à la propagation du feu est important. En effet, pour une montée de feu, les forces de poussée exercées verticalement à un angle par la direction de propagation du feu, plus fermé que la pente est raide. Donc on peut observer le flux de gaz chauds du feu vers la végétation encore imbrulée (M.S.GUETTOUCHE & al 2011)

Trois paramètres morphologiques impliqués dans le modèle topomorphologique: la pente, l'exposition et l'altitude. La combinaison de ces trois paramètres est exprimée par l'équation suivante:

$$\mathbf{IM} = 3\mathbf{p} + (\mathbf{m}+\mathbf{e})$$

p: la pente. **m**: la topomorphologie. **e**: l'exposition.

Indice de combustibilité (IC):

Pour estimer la combustibilité, on adopte le modèle développé par (MARIEL (1995)) dont L'indice de combustibilité est sous forme:

$$\mathbf{IC} = 39 + 0,23\mathbf{BV} (\mathbf{E1}+\mathbf{E2}-7,18)$$

BV: le biovolume de la végétation.

E1: les notes de combustibilité pour les ligneux hauts.

E2: les notes de combustibilité pour les ligneux bas ou les herbacées.

L'indice d'occupation humaine (IH):

Pour évaluer l'effet de l'influence humaine sur les risques d'incendie de forêts, on adopte le modèle suivant:

$$\mathbf{IH} = \mathbf{IV} + 2\mathbf{ID} \quad \text{D'où:}$$

IH : l'indice d'occupation humaine. **IV** : l'indice de voisinage.

Résultats et discussions:

L'indice de risque de feu, premier objectif de cette étude est conçu comme un modèle attribuant à chaque paramètre un coefficient de pondération en fonction de son influence sur la propagation du feu.

Carte de l'indice topomorphologique:

L'élaboration de la carte de l'indice topomorphologique comme montre la figure2 est faite par la superposition des trois cartes réalisées selon la formule d'indice topomorphologique.

La répartition des classes d'indice topomorphologique sur la carte montre une dominante des classes (peu favorable) et (moyennement favorable) qui se trouvent par tous dans la zone, pour la classe (favorable), elle est sur quelques terrains dans le sud-ouest, le nord-ouest et le nord-est. Suspendant les terrains très favorable aux incendies sont rares.

Les données de la carte de l'indice topomorphologique (fig 2) montre que 61% de la surface à des conditions peu favorable à l'accentuation de feu, suivi par les conditions moyennement favorable avec 30%, par contre les zones favorable et très favorable, elles présentent seulement 7% et 1% (respectivement).

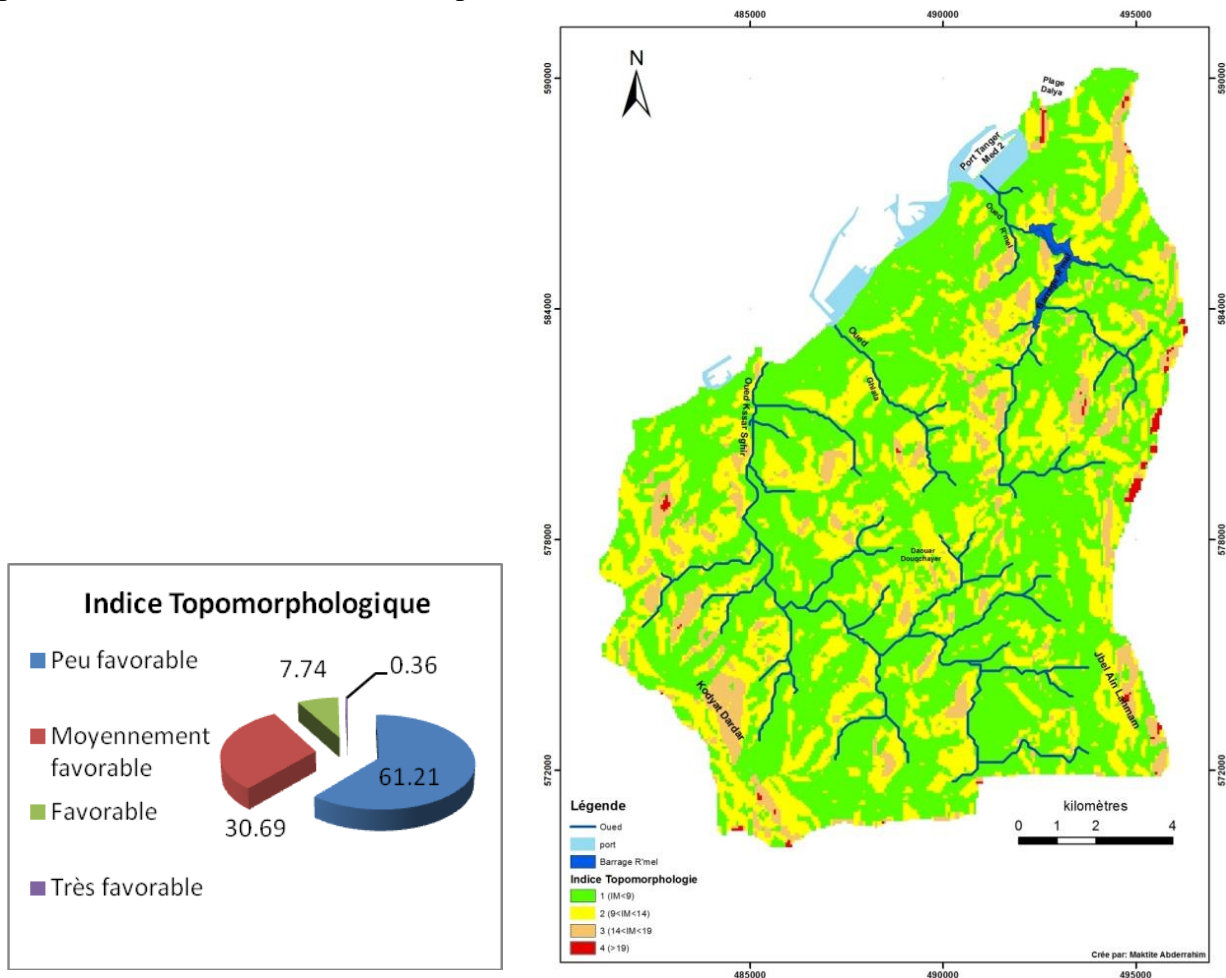


Figure 2: Carte d'indice topomorphologique.

L'indice de combustibilité:

La carte de combustibilité a été réalisée à partir de la carte NDVI du plan d'Aménagement des eaux et forêts de Tanger (2004). La densité de couvert végétale présenté par la structure et la combustibilité (BV: la biomasse des couverts végétales), en plus son inflammabilité (le pourcentage de teneur en eau) sont deux facteurs importants à l'extension des incendies des forêts. Ces deux facteurs sont calculés à partir de la base donnée de la carte

de végétation en suivant la formule de l'indice de combustibilité présenté à la méthodologie; la combustibilité a été déterminée à partir des images satellitaires et les notes d'intensité calorique des espèces (E1 et E2) ont été extraites de celle établies par la (CEMAGREF).

La carte d'indice de combustibilité a été classée en 4 classes selon la résistance en feu; La répartition des différents types d'occupation des sols (Figure:3) répond à l'influence conjuguée d'une multitude de paramètres écologiques (le climat, le type de sols, l'altitude, l'exposition des versants, la pente, etc.) et des actions anthropiques (prélèvements de bois, etc..).

Le traitement de la base de donnée a permis la réalisation du tableau, dans lequel figure les pourcentages des superficies des différentes classes d'indice de combustibilité.

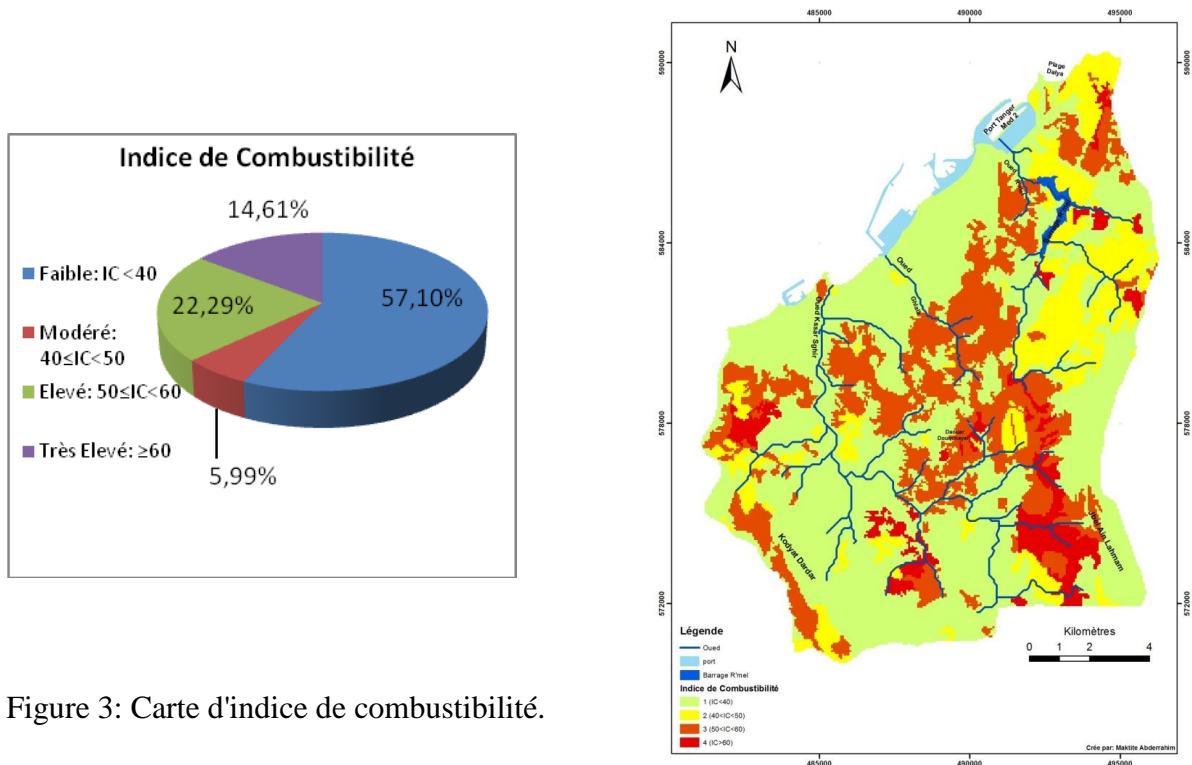


Figure 3: Carte d'indice de combustibilité.

Les résultats élaborés de la carte montrent que 57% des terrains ont de faible risque à feu avec une superficie de 110,6 km² suivi par les zones à risque élevé avec 22%, par contre les terrains à risque modéré et très élevé présentent seulement 14% et 6% (respectivement).

L'indice d'occupation humaine:

Pour évaluer l'effet humain sur les risques d'incendie, on a digitalisée les différents routes, chemins et les zones d'habitats à partir de Google earth avec une zone d'influence de 100 m autour de chaque élément et en fin, on a codé ces derniers de 1 à 4 selon l'éloignement des forêts.

carte de l'indice de risque de feu:

Trois couches sont intervenues à la réalisation de l'indice de risque de feu, tels que l'indice topomorphologique, l'indice de combustibilité et l'indice humaine selon la formule suivante: $IR = 5IC + 2IH + IM$.

Le tableau montre que les zones à risque très fort et moyenne sont les plus dominantes avec un pourcentage de 49% et 42% (respectivement). Pour les autres risques faible et fort, ils sont très faibles par rapport aux autres classes.

Classes d'IR	Signification	Superficiés	Pourcentage	CODE
$IR < 6$	Risque Faible	1,43	1%	1
$6 \leq IR < 9$	Risque Moyenne	80,53	42%	2
$9 \leq IR < 12$	Risque Fort	17,3	9%	3
$IR \geq 12$	Risque Très Fort	94,42	49%	4
		193,68	100%	

Tableau 1: Classes d'indice de risque de feu.

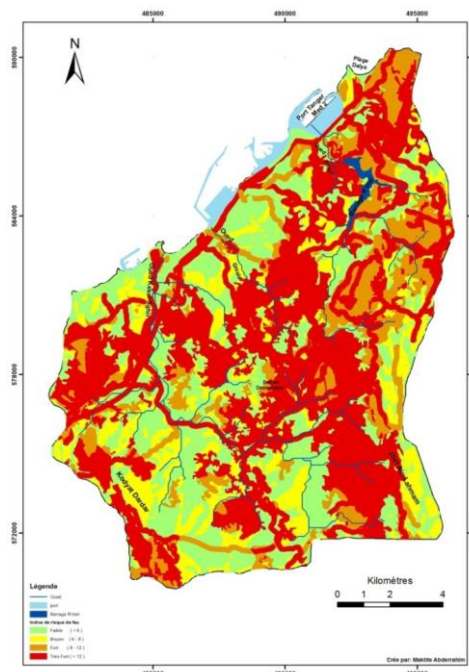


Figure 4: Carte d'indice de risque de feu.

CONCLUSION

Les incendies des forêts sont dus non seulement à certains effets naturels, mais aussi aux différentes interventions de l'homme, en fonction de l'ampleur et de l'action des groupements humains sur ce milieu, notamment à la série de groupements localisées au bord de différentes routes.

La carte du risque de feu fourni par cette méthode est défini comme la somme de plusieurs paramètres, elle ne permettra pas de lutter contre le feu, mais elle reste un moyen pour informer sur les zones vulnérables aux incendies, à fin d'intervenir sur le milieu avec une gestion durable.

BIBLIOGRAPHIE:

- CEMAGREF,(1989): Guide technique du forestier méditerranéen Français, protection des forêts contre les incendies, volume III, France, Fiches 5 et 8.
- HCEFLCD, (2009): Rapport annuel sur les incendies de forêts, Division de la protection des forêts, Rabat, Maroc, 20pp.
- MARIEL, A. (1995): Cartographie du niveau de risque d'incendie: exemple du massif des Maures, CEMAGREF, article.
- M. S. GUETTOUCHE & al: Modélisation du risque d'incendie de forêts et Validation par Approche Géomatique. Application sur la Forêt du Sahal Algérois, (Algérie), Article, Congrès International GéoTunis. 29 Novembre – 3Décembre 2010.

Modélisation de l'érosion hydrique via les SIG et l'équation universelle des pertes en sol au niveau de la basse vallée de la Mejerda (Nord-Est de la Tunisie)

Adel Klai^{1,2}, Mohamed Chedly RABIA²

1. Université de Carthage, faculté des sciences de Bizerte

2. Université de la Manouba-Tunis, Unité de Recherche Géomatique des Géosystèmes UR11ES41, Campus universitaire B.P.95 2010 Manouba Tunisie,

Email : adelklaidel@gmail.com; rabiamch@gmail.com

Résumé : L'érosion hydrique est l'un des principaux agents qui cause la dégradation du patrimoine agro-pédologique, l'ensablement des ports, l'envasement des retenus du barrage... Ce phénomène est très répandu dans la basse vallée de la Mejerda situé au Nord Est de la Tunisie qui s'étend sur une superficie de 1222.64Km².

Le but de la présente étude est la quantification de l'érosion hydrique dans cette zone. La méthodologie adoptée s'appuie sur l'établissement de documents cartographiques permettant de bien appréhender les zones à risques et d'urgence d'intervention afin d'estimer les paramètres de l'équation universelle de perte en sols (USLE) à savoir le facteur climatique ou agressivité des pluies, le facteur lithologique ou érodibilité des sols, le facteur topographique indiquant l'inclinaison de la pente et la longueur de pente, le facteur cultural déterminé à partir de l'occupation du sol et le facteur des aménagements anti-érosifs. Pour mieux présenter les résultats, on a subdivisée notre carte en quatre classes de risques à l'érosion suivant le taux des pertes en terre tout en tenant compte de la valeur de tolérance des pertes en terre au niveau de la basse vallée de la Medjerda.

La 1^{ère} classe, représente 44.68% de la superficie totale, montre un niveau de risque négligeable (moins de 2 t/ha/an), la 2^{ème} et la 3^{ème} classe montrent un risque faible à moyen et occupent 5.04% de la surface totale, le reste 62171.69 ha soit 50.25% montre une perte en terre supérieure à 12 t/ha/an c'est-à-dire un risque d'érosion fort.

Mots clés : Basse vallée de la Mejerda, équation universelle des pertes en sols (USLE), érosion hydrique.

Abstract: Water erosion is one of the main agents causing degradation agro-pedological heritage, silting of ports, silting of the dam retained ... This phenomenon is widespread in the lower valley of the Mejerda located in the north east of Tunisia, which extends over an area of 1222.64Km².

The purpose of this study is the quantification of water erosion in the study area. The methodology is based on the establishment of cartographic documents to fully understand risk areas and emergency intervention in order to estimate the parameters of the universal soil loss equation (USLE), namely the factor climate or aggressiveness of the rains, the lithological factor or soil erodibility, topographic factor indicating the inclination of the slope and slope length, cropping factor determined from land use and factor in erosion control works. To better present the results, we divided our map into four risk classes to erosion following the soil loss rates taking into account the tolerance value of soil loss in the lower valley Mejerda.

The first class, represents 44.68% of the total area, shows a negligible level of risk (less than 2 t / ha / year), the second and third class show a low to medium risk and occupies 5.04% of the total area, the rest 62171.69 ha or 50.25% shows a soil loss above 12 t / ha / year that is to say a high risk of erosion.

Key words: The lower valley of the Mejerda, Universal Soil Loss Equation (USLE), water erosion

Introduction

La dégradation des sols touche plus de 2 milliards d'hectares des terres à l'échelle mondiale (Boufaroua., 2001). En Tunisie, ce processus est très ressenti puisqu'il touche environ 50 % des terres agricoles, soit 3 millions d'hectares (Boufaroua., 2001). Le territoire tunisien perd chaque année entre 36 et 40 millions de m³ de terre par le phénomène de ruissellement (Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire, 1995).

Le nord oriental de la Tunisie n'échappe pas à ce problème par exemple pendant les dernières crues de janvier et février 2003, la quantité d'envasement due à l'érosion est estimée à 20000 tonnes dans le bassin versant d'Oued Mejerda (DGRE, 2003). Elle est donc la source principale des matières en suspension. Un transfert excessif de ces matières vers les zones littorales peut avoir des effets indésirables tels que l'aggradation côtière accompagnée d'une diminution de la bathymétrie et participe fortement au problème d'ensablement des ports. L'accumulation des sédiments réduit la profondeur disponible pour la navigation et accroît les risques d'inondation. En effet, un sol érodé devient un sol inculte et se voit définitivement perdu. Ce phénomène représente donc une vraie menace pour l'économie de notre pays qui trouve ses principales ressources dans l'agriculture. Le delta de la Medjerda a fait l'objet de plusieurs études sectorielles et/ou localisées mais les analyses de certains phénomènes, (érosion, sédimentation...), de la zone d'étude sont en majorité basées sur une approche classique. Aujourd'hui, l'extension des méthodes d'analyses intégrées comme les systèmes d'informations géographiques (SIG), et les avantages de la télédétection aérospatiale, nous permettent d'approfondir les études en accédant à une information multi-scalaire et multi-temporelle et de faire un modèle facilement gérable et mise à jour. Dans la présente étude une quantification de l'érosion hydrique au niveau de la basse vallée de la Mejerda va être réalisée avec l'équation universelle des pertes en sols (USLE).

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

La Mejerda est un oued dont la source est située en Algérie près de Souk Ahras, dans le Constantinois, et dont le lit est principalement sur le territoire de la Tunisie. Il se caractérise par un écoulement permanent sur l'ensemble de son cours, ce qui lui donne le profil d'un fleuve. La basse vallée de la Mejerda occupe le nord oriental de la Tunisie. Globalement, elle présente deux formes topographiques bien distinctes. Une plaine d'altitude moyenne autour de 50 mètres entourée de Jebels d'altitude modeste d'environ 300 mètres. La pente moyenne de la basse vallée est de l'ordre de 7.2 % et ne commence à s'accroître que dans la partie amont du delta. La pente devient forte aussi au niveau des Jebels limitant le presque bassin versant du delta de Mejerda. La moyenne annuelle des précipitations dans la basse vallée de la Mejerda est de l'ordre de 470mm. (saamali 2011).

Le régime thermique du Nord Est de la Tunisie est très différent de celui du reste du pays. Les valeurs thermiques des différentes stations du delta de Mejerda montrent que la température moyenne entre 1990 et 2005 est comprise entre 11°C et 11,5°C en janvier, 26°C et 27°C en août, les moyennes maximales n'étant supérieures à 30°C qu'aux mois de juillet et d'août (INM, 2006). L'écart de température entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid ne dépasse pas 22 °C. La région est en effet, sous l'influence directe de la mer, ce qui a tendance à régulariser le climat de la frange côtière (EL GAROUANI A., 1995).

D'après la carte bioclimatique de la Tunisie réalisée par GOUNOT M. et LE HOUEROU H.N. en 1955, (modifiée en 1985) la basse vallée de la Mejerda appartient à un étage semi-aride supérieur à hivers doux qui couvre 80 % du delta, le reste est caractérisé par un étage subhumide à hivers chauds.

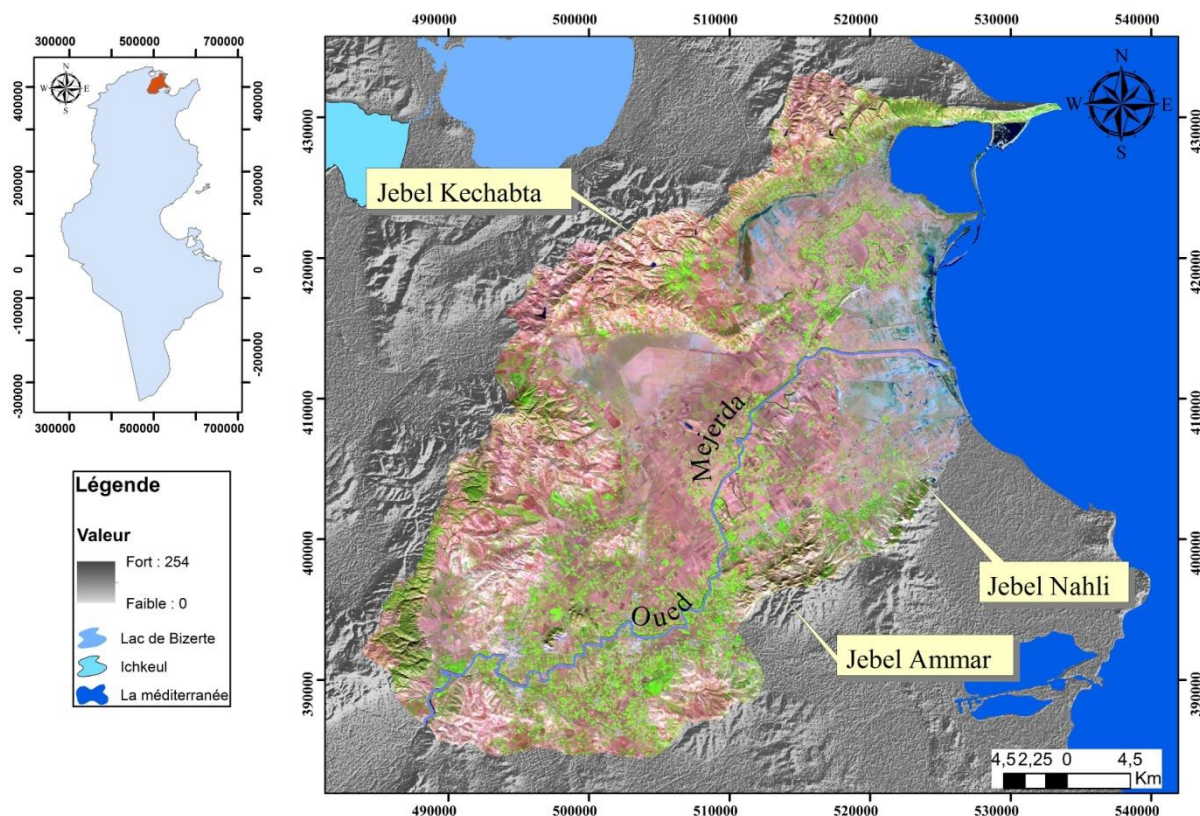


Fig.1. Localisation de la zone d'étude

2. MATERIEL ET METHODES

L'approche utilisée pour la quantification de l'érosion hydrique dans la basse vallée de la Mejerda est une approche déterministe où nous avons appliqué l'équation universelle des pertes en sols (USLE) avec :

$$A = R * K * LS * C * P$$

A : Perte en sols (t/ha/an) ;

R : Agressivité de pluie ;

LS : Le facteur topographique (L : longueur de la pente, S : L'inclinaison de la pente) ;

C : Le facteur de l'occupation de sol ;

P : Les aménagements antiérosifs existants.

Les données ont été stockées, traité, analysé et présenté sous Arc gis 10.2.2 :

- La carte d'agressivité de pluie a été élaborée suite à une interpolation des valeurs des pluies moyennes annuelles au niveau de chaque station pluviométrique ;
- La carte d'érodibilité de sols a été réalisée à partir de la carte pédologique de la Tunisie au 1/500000 où nous avons attribué un poids à chaque type de sols ;
- La carte du facteur topographique LS a été dérivée à partir du modèle numérique de terrain ;
- La carte du facteur d'occupation du sol a été réalisée à partir des images satellites où nous avons attribué à chaque polygone un poids ;
- La carte des aménagements antiérosifs existants a été élaborée en attribuant à chaque type d'aménagement un poids tout en tenant compte de la valeur de la pente sur laquelle elle est installée.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Après l'application de l'équation universelle des pertes en sols (Weishmeire et Smith 1971) nous avons obtenu la carte des pertes en sols de la basse vallée de la Mejerda. Nous avons constaté que 41.7% de la superficie totale de la zone d'étude sont caractérisés par une perte en sols négligeable qui ne dépasse pas les deux tonnes par hectare chaque année (2 t/ha/an). En effet, la deuxième classe, caractérisée par une perte en sols encadré entre 2 et 4 (t/ha/an), occupe 32.73% de la surface totale. En revanche, plus que 22% de la surface totale ont une perte en sol entre 4 et 12 (t/ha/an) le reste est marqué par une forte érosion qui dépasse les 12 t/ha/an pour atteindre au niveau des sommets plus que 110 t/ha/an (fig. 2).

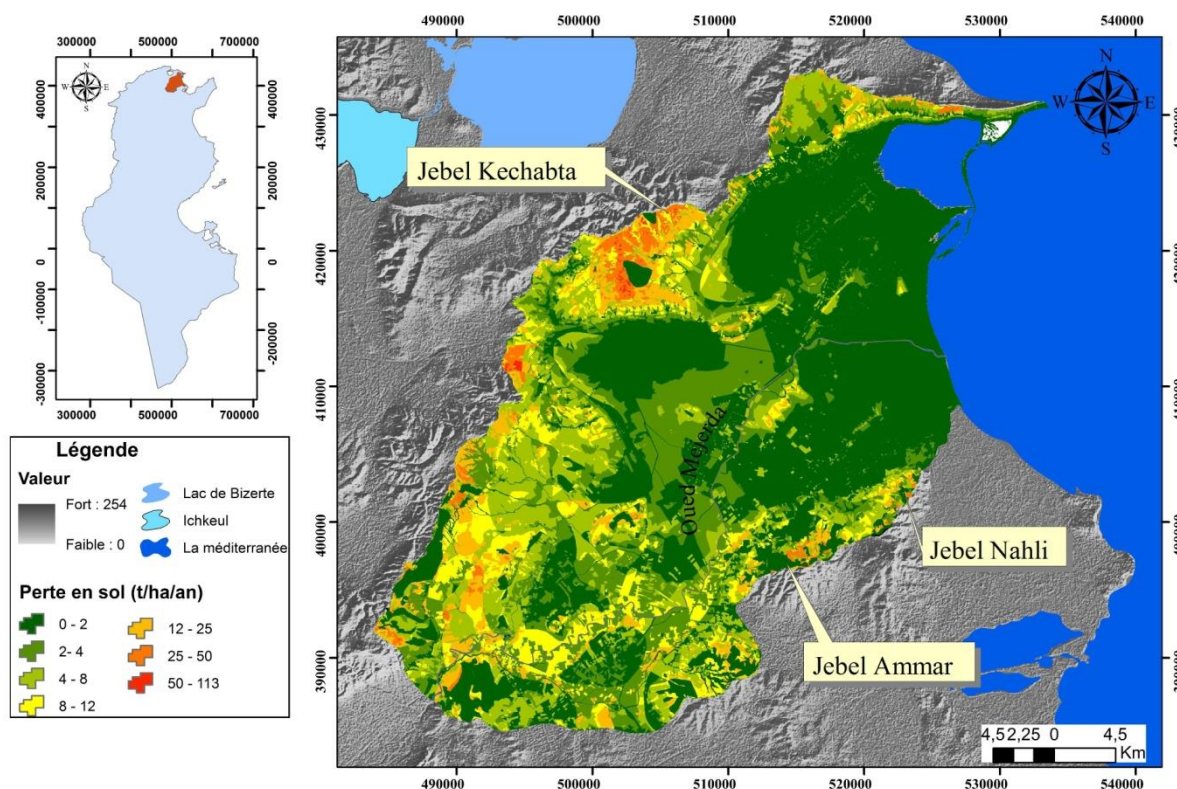


Fig.2 .Cartes des pertes en sols au niveau de la basse vallée de la Mejerda

Après une reclassification de la carte des pertes en sols au niveau de la basse vallée de la Mejerda, nous avons élaboré la carte de risque potentiel. En effet, à partir de cette dernière et en tenant compte du taux de tolérance qui est égale à 12 t/ha/an nous avons pu élaborer la carte de priorité d'intervention qui va faciliter la tâche aux décideurs non spécialistes où ils vont installer exactement les aménagements antiérosifs pour lutter contre le phénomène de l'érosion hydrique (fig.3).

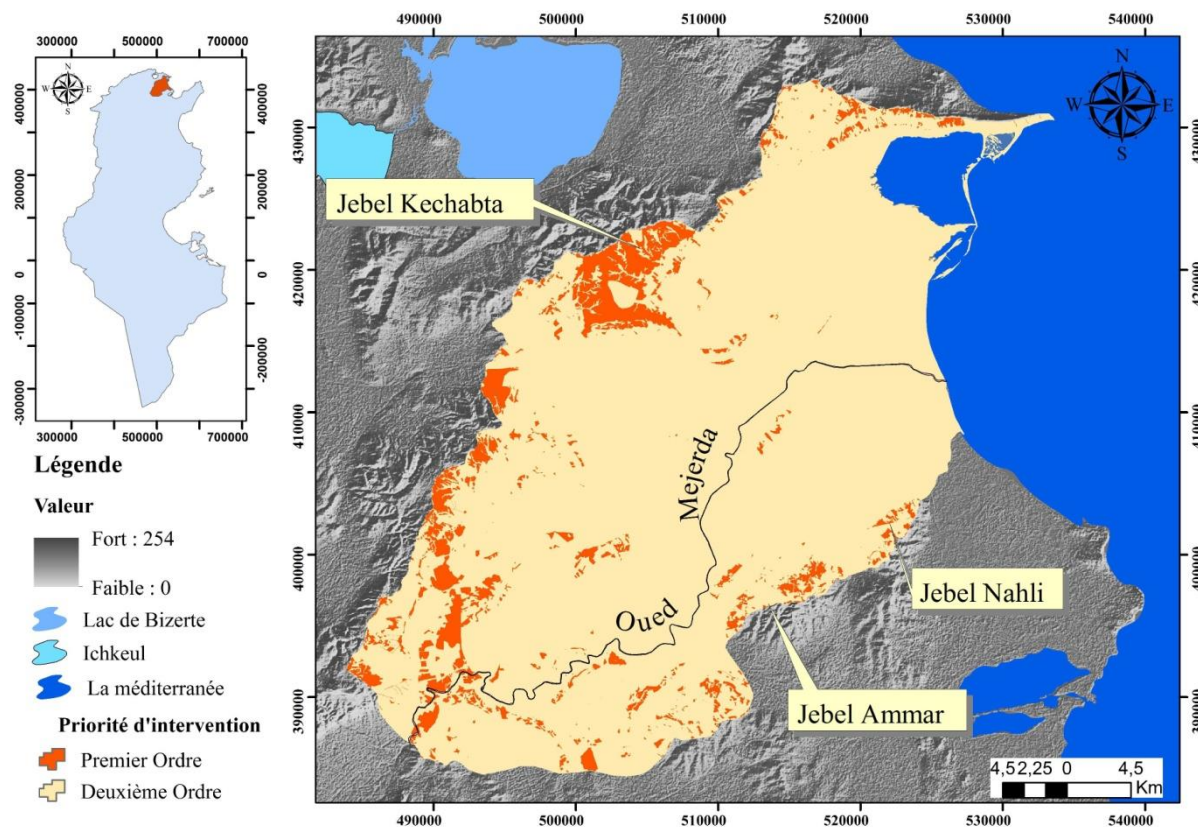


Fig.3. Carte de priorité d'intervention au niveau de la basse vallée de la Mejerda

CONCLUSION

L'examen de la carte de risque d'érosion, montre que les taux les plus élevés de perte en sol caractérise surtout les zones ayant des fortes pentes, avec des valeurs supérieures à 24°, des sols sensibles à l'érosion (sols peu évolués d'apports, sols bruns calcaires et unités complexes) ayant un facteur d'érodibilité K variant de 0,055 à 0,073 t.ha.h/ha.MJ.mm. Dans l'ensemble, l'érosion concerne la moitié du secteur d'étude qui est caractérisée par de forts taux de risque d'érosion, le reste étant soumis à une érosion faible à moyenne. Dans les plaines d'Utique et de Garaât El Mabtouha, c'est la classe faible de risque d'érosion qui prédomine (de 0 à 2 t/ha/an). Tandis que la classe de forte risque d'érosion (plus de 12 t/ha/an) n'occupe que les zones non aménagés et de forte pente.

Références bibliographiques

- Arnold, J.G., Williams. J.R., Srinivasan, R. & King K.W. (1996): The Soil and Water Assessment Tool (SWAT). User's Manual. Temple, TX.
- Boufaroua, M. (2001): Soil and water conservation in Tunisia, 9th International Conference on The Conservation and Management of Lakes, Japon, 9p.
- Browning, G. M., Parish, C.L. & Glass, J. (1947): A method for determining the use and limitations of rotation and conservation practices in the control of soil erosion in Iowa. J. American Soc. Argon. 39 (1) : 65 – 73.
- Fistikoglu, O., Harmancioglu, N. B. (2002) : Integration of GIS with USLE in assessment of soil erosion Water Resources Management, 16 (2002), pp. 447–467.

- Lafren, J. M., Lane, L. J. & Foster, G. R. (1991): WEPP: a new generation of erosion prediction technology. *Journal of Soil and Water Conservation*. 46(1): 34-38.
- Renard, K.G., Weesies, G.A., Foster, G.R., McCool, D.K. & Yooder, D.C. (1997): Predicting Soil Erosion by Water. A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agricultural Handbook N° 703*; U. S. Dept. Of Agriculture; ARSWashington D.C., 404p.
- Samaali, H. (2011) : Etude de l'évolution de l'occupation et de l'utilisation du sol dans le delta de Mejerda par télédétection et systèmes d'informations géographiques. Thèse doctorat en géographie, option cartographie, Université de Tunis Faculté des Sciences Humaines et Sociales, 376 p.
- Sharpley, A.N. & Williams, J.R. (1990): EPIC – Erosion Productivity Impact Calculator : Model Documentation. U. S. Department of Agriculture, Technical Bulletin, N° 1768. 235p.
- Smith, D.D. (1941): Interpretation of soil conservation data for field use, *Agricultural Engineering*, 22: 173 – 175.
- Smith, D. & Whitt, D. (1947): Estimating Soil Losses from Field Ares of Claypan Soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, 12 , 485-490.
- Mussgrave, G. W. (1947): The quantitative evaluation of factors in water erosion, a first approximation. *J. Soil and Water Conserv.*, 2(3), 133 – 138.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1958): Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Transaction of Americain Geophysics Union*, N° 39, pp. 285-291.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1978): Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook No. 537*, 58p. Wischmeier, W.H., Johnson, C.B. & Cross, B.V. (1971): A soil erodibility Nomograph for farmland and construction sites; *J. of Soil and Water Conservation* 26,5:189-192.