

Cartographie des zones à risque d'inondation dans la région Tanger-Tétouan: Cas du bassin versant de Martil (Nord du Maroc)

[Mapping of flooding risk areas in the Tangier-Tetouan region: Case of Martil Watershed (Northern Morocco)]

Mounir Karrouchi¹, Mohammed Ouazzani Touhami¹, Mostafa Oujidi², and Mimoun Chourak³

¹Department of Geology,
University Abdelmalek Essaadi, faculty of sciences,
Tétouan, Morocco

²Department of Geology,
University Mohamed Premier, faculty of sciences,
Oujda, Morocco

³Department of Mechanic and Applied Mathematics,
University Mohamed Premier, National School of Applied Sciences,
Oujda, Morocco

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In the Mediterranean region, the magnitude of floods and their frequencies imposes their consideration by forest managers and local decision makers. In this context, the identification of areas expected to be affected by floods is a fundamental information to improve the management of this risk.

The methodology developed in this paper allows presenting a tool to assess flooding risk across the river basin. It is based on the idea that the risk of flooding is the resultant of the random factor (frequency of natural phenomena) and the vulnerability factor (sensitivity of land use).

The purpose of this article is to make a flood risk map of the Martil plain, which includes the two urban areas Tetouan and Martil. The realization of this map requires a hydrological study to calculate the maximum capacity of the region and a hydraulic study to determine the speed and height of the centennial flood of Oued Martil using the Iber 2.0.3 software. The results will be presented as thematic maps, using the Arcgis 9.3 software, which enable to managers and local authorities to propose mitigation measures in areas expected to be affected by the floods and to act more efficiently in case of flooding.

Thus, the study showed the prevalence of high flood hazard while the vulnerability is more moderate; indeed, it is increasingly felt with the growth known in the region in terms of urban planning and infrastructure.

KEYWORDS: Hazard, flood mapping, hydraulic modeling, vulnerability, Morocco, risk management.

RESUME: Dans la région méditerranéenne, l'ampleur des inondations ainsi que leurs fréquences imposent une prise en considération par les aménagistes et les décideurs locaux. Dans ce cadre, la détermination des zones susceptibles d'être affectées par les inondations est primordiale pour une meilleure gestion de ce risque.

La méthodologie mise en place dans cet article permet de disposer d'un outil d'évaluation du risque d'inondation à l'échelle du bassin versant. Elle repose sur l'idée que le risque d'inondation est la résultante du facteur aléa (fréquence du phénomène naturel) et du facteur vulnérabilité (sensibilité de l'occupation du sol).

Le but du présent article est de réaliser une carte de risque aux inondations de la plaine de Martil qui regroupe les deux périmètres urbains Tétouan et Martil. La réalisation de cette carte passe par une étude hydrologique afin de calculer le débit maximum de la région et une étude hydraulique pour déterminer la vitesse et la hauteur des crues centennales de l'Oued Martil à l'aide du logiciel Iber 2.0.3. Les résultats seront présentés sous forme de cartes thématiques à l'aide du logiciel Arcgis 9.3 afin de permettre aux aménagistes et aux autorités locales de proposer des mesures d'atténuation dans les zones susceptibles d'être affectées par les inondations et d'agir plus efficacement en cas de crue.

Ainsi, l'étude a montré la prédominance de l'aléa inondation élevé alors que la vulnérabilité est plus modérée ; en effet, elle est de plus en plus ressentie avec l'expansion que connaît la région en matière d'urbanisme et d'infrastructures.

MOTS-CLEFS: Aléa, inondation, cartographie, modélisation hydraulique, vulnérabilité, Maroc, gestion du risque.

1 INTRODUCTION

Les inondations constituent un risque majeur du monde contemporain. Elles figurent au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde en occasionnant environ 20 000 victimes par an [1]. À l'instar du reste du monde, la région méditerranéenne a connu de multiples inondations qui deviennent une menace de plus en plus redoutable. Les précipitations y dépassent souvent 200 millimètres en 24 heures, et parfois en moins de six heures [2].

Le Maroc a connu au début du 21^e siècle des inondations majeures qui ont causé des dégâts humains et matériels importants dans plusieurs régions du pays. Les inondations catastrophiques de la vallée de l'Ourika en 1995, de la plaine de Martil en 2000, la région de Mohammadia, de Berrechid et Settat en 2002, de la région de Tanger en 2008, de la plaine du Gharb en 2009, de la région de Taza en 2010 et de la région de Khénifra en 2011, en témoignent.

Le bassin versant de Martil (nord du Maroc) est fortement exposé au risque d'inondation. En effet, les intempéries enregistrées dans cette région montrent à quel point la protection contre les inondations est devenue un enjeu majeur. Elle constitue, par conséquent, un défi capital de la gestion des ressources hydriques. En effet, la forte irrégularité des régimes hydrologiques du bassin de Martil, la nature des terrains de couverture (sols), souvent imperméables, et la disparité entre un relief montagneux en amont et une vaste plaine alluviale en aval expliquent la génération d'un ruissellement important ainsi que des crues torrentielles et violentes. Ces facteurs peuvent engendrer des inondations qui ont causé des pertes en vies humaines et de dommages matériels et environnementaux importants [3].

De plus, les changements climatiques augmentent la susceptibilité du bassin versant de Martil à être affecté par des inondations menaçant le développement économique, les infrastructures et les écosystèmes naturels de la région. En effet, ces changements affient l'augmentation de la fréquence des inondations dans les zones côtières méditerranéennes, l'élévation du niveau de la mer et le prolongement de la période de sécheresse. [4] affient que l'urbanisation galopante couplée à l'évolution du climat pourrait entraîner un triplement du nombre de personnes exposées à des inondations côtières dans le monde d'ici 2070.

Le développement de l'agriculture se fait le plus souvent dans la plaine, en raison de la présence d'eau, de meilleures terres, ainsi que d'une topographie favorable aux constructions et aux cultures.

Ce risque d'inondation est également lié à des facteurs anthropiques, notamment l'intensification des activités industrielles et l'urbanisation croissante qu'a connue la province de Tétouan. Ces activités socio-économiques ont favorisé les travaux de construction et la mise en place de nombreux ouvrages le long de l'oued Martil, conduisant ainsi à des modifications dans la distribution des sédiments et à une dégradation de l'environnement naturel de ces zones.

L'objectif principal de ce travail est cartographier les zones inondables de la plaine de Martil située dans la partie aval du bassin de Martil à partir d'une modélisation des crues. Il s'agit alors d'évaluer le risque d'inondation afin de fournir les informations nécessaires aux acteurs locaux pour asseoir une stratégie et se prémunir contre les effets néfastes des inondations.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin versant de l'oued Martil appartient au domaine rifain. Il est limité au Nord par les chaînes donnant sur le détroit de Gibraltar, à l'Ouest par les plaines du Gharb, au sud par le haut Rif et à l'Est par la mer méditerranéenne, Il se localise géographiquement entre les deux parallèles 35.2° et 35.8°N, et les deux méridiens 5.6° et 5.8°W (Fig. 1).

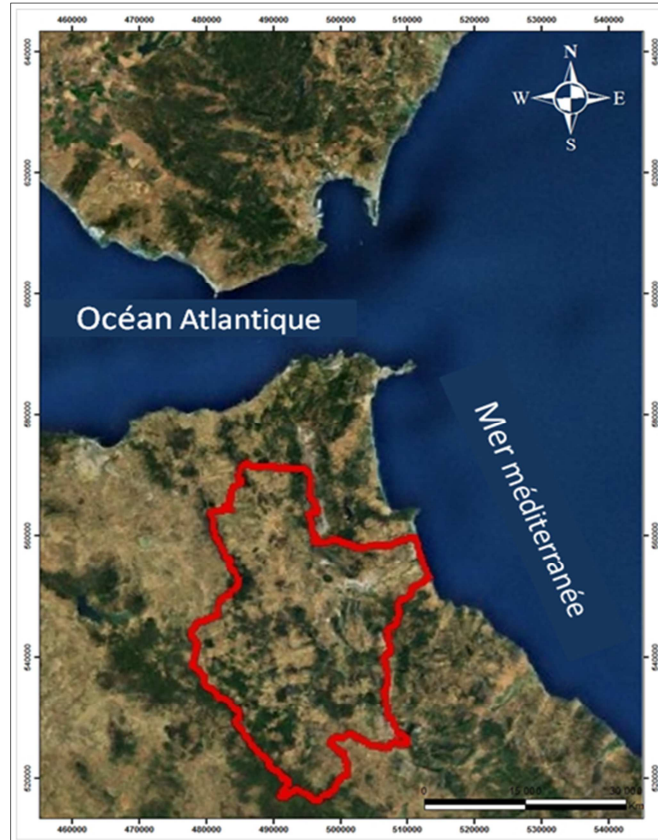


Fig. 1. Situation géographique du bassin de Martil (d'après Google earth modifié)

Le bassin de Martil est l'un des bassins méditerranéens qui se caractérise par une surface relativement grande et une morphologie variée. sa surface est de 1126 km² correspondant à un périmètre de 183 km. Le bassin, en fonction des stations existantes, est subdivisé en 8 importants sous bassins versant.

Les altitudes et les pentes du bassin de Martil sont très variables du fait de la position entre la chaîne du Rif et la mer méditerranéenne. En effet, les altitudes varient entre 0 m sur les côtes et la plaine à 1782 m à l'extrême Sud du sous bassin de Kebir et l'altitude moyenne est de l'ordre de 424 m (Fig.2).

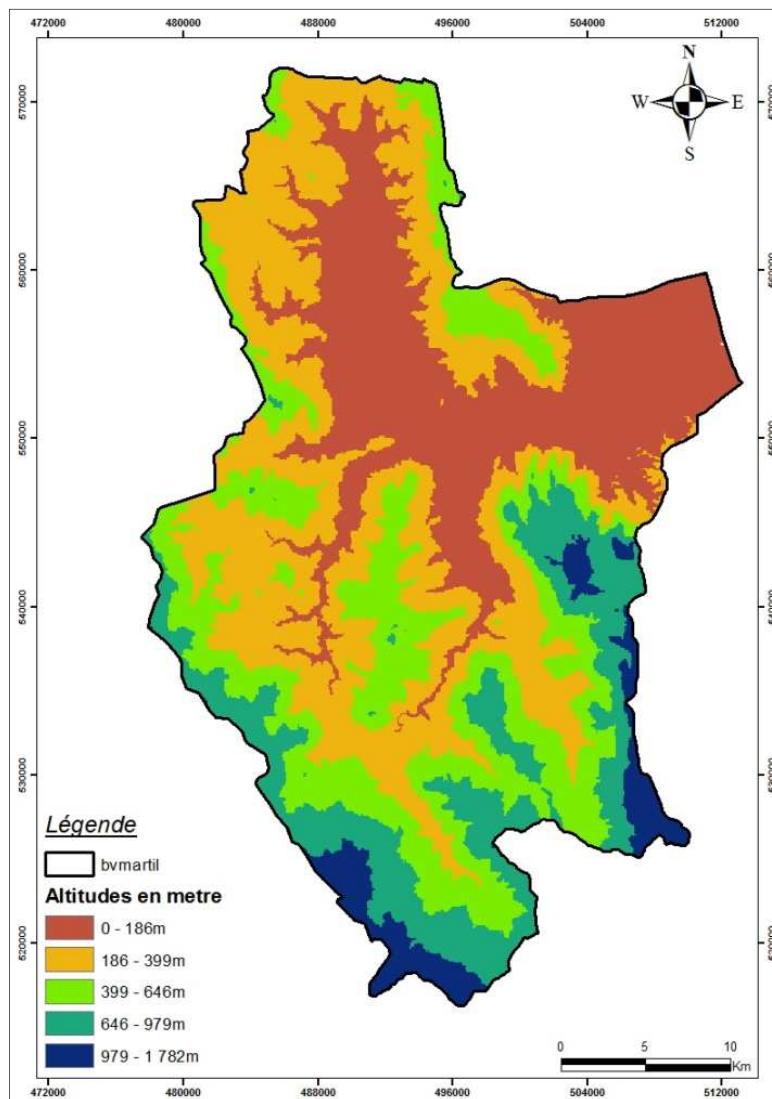


Fig. 2. Carte altimétrique du bassin versant de Martil

Le gradient entre la plaine et les montagnes est d'environ 35 m/km. Tandis que les pentes varient entre 0 et 59° avec un indice de forme de KG = 1,53 et un réseau hydrographique assez dense et bien ramifié (Fig.3).

Le climat de la zone d'étude se caractérise par deux saisons très différenciées : la première humide et fraîche, s'étend d'octobre à avril ; la seconde subhumide et chaude, commence en Mai et se prolonge jusqu'à la fin de septembre [5], Les précipitations varient en hauteur, en intensité et dans leurs distributions géographiques. La pluviosité annuelle est en moyenne de 679 mm par an. Cette pluviométrie augmente évidemment avec l'altitude ; et peut dépasser 780 mm par an en amont du bassin à la station Kalaya [3].

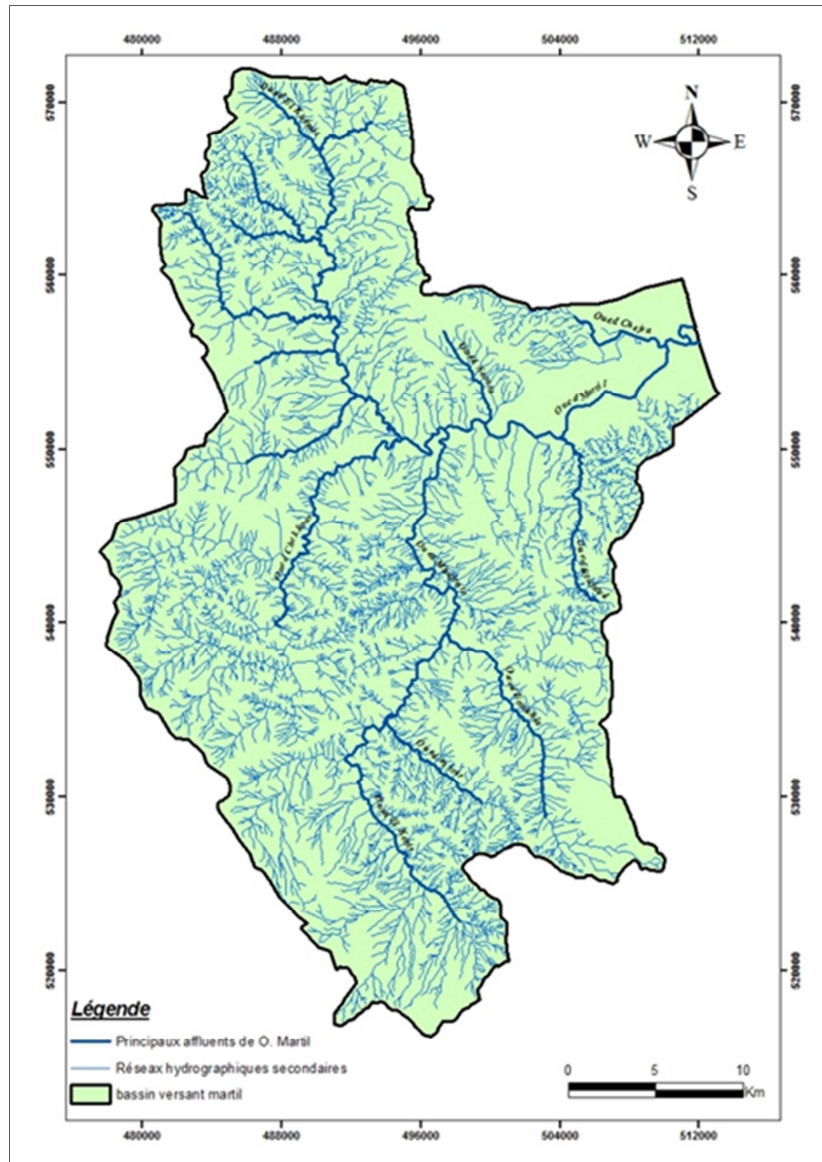


Fig. 3. Carte du Réseau hydrographique Du Bassin versant de Martil

Sur le plan géologique, les caractères litho-stratigraphiques généraux de la chaîne rifaine y sont bien représentés. C'est ce que nous indique le chevauchement de plusieurs nappes de charriage (flyschs) formant la ligne de crête au-dessus de l'unité marneuse de Tanger. Le bassin versant de Martil, objet de cette étude, est composé de deux zones :

- la zone amont formée par les terrains paléozoïques situés à l'extrémité Est du bassin versant et dont les crêtes n'excèdent pas les 400 mètres d'altitude. Cette zone intègre également les collines des flyschs situées à l'extrémité Ouest du bassin versant et qui correspondent aux basses montagnes de l'unité de Tanger dont le matériel imperméable est de nature marneuse ou marno-schisteuse.
- la zone aval du bassin correspond à la plaine de l'oued Martil ; c'est une zone inondable. La variété lithologique du bassin versant de Martil a permis le développement d'une mosaïque pédologique assez importante formée par des sols peu évolués hydromorphes et des lithosols (Fig.4) [6].

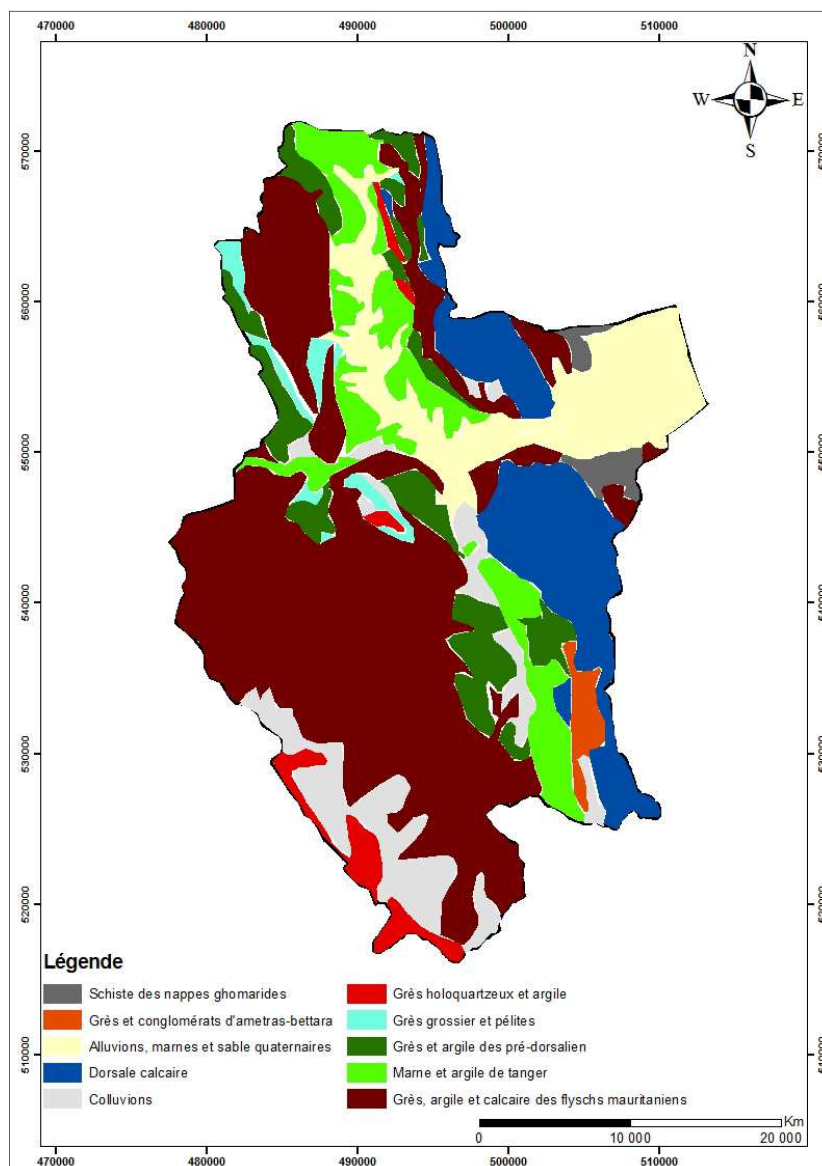


Fig. 4. Carte géologique Du Bassin versant de Martil

Du point de vue hydrogéologique le bassin versant de Martil fait partie des bassins méditerranéens constituant la zone axiale de la chaîne du Rif. Il est drainé par l'oued Martil et ses affluents. Les affluents supérieurs se développent dans les massifs de la Dorsale Calcaire qui assurent une régularisation très partielle des eaux recueillies, ce qui n'empêche que l'oued Martil présente un régime torrentiel très prononcé. Les chutes sont importantes du fait de la proximité des montagnes par rapport à la mer. L'oued Martil, qui traverse la plaine de Martil en passant aux alentours de la ville de Tétouan, naît de la confluence des oueds Mhajrat, Khemis et Chekkoûr. Sa longueur totale est de l'ordre de 70 km, cependant à travers la plaine littorale de Martil, elle ne dépasse guère les 9 km. Né dans le massif de Beni-Lait, l'oued Martil se subdivise en un tronçon supérieur à pente raide qui traverse à son tour la dorsale calcaire et, un autre (à partir de Benkarich) à pente faible qui longe la ville de Tétouan pour arriver à la ville de Martil et se jeter finalement dans la mer méditerranéenne.

La station de pont de Torreta contrôle le débit du cours d'eau sur le quel débouchent les différents principaux affluents ; oued Chekour, oued Mhajrate, oued Kebir, oued Nakhla et oued el Khmis ; sur les quels existent respectivement les stations suivantes Amzal, Ben Karrich, Chibich et barrage Nakhla. Les débits annuels moyens de l'oued Martil sont compris entre 2.75 m³/s et 47.3m³/s. Le débit moyen annuel est de 19.2 m³/s.

Les débits maximaux s'enregistrent généralement entre le mois d'octobre et le mois d'avril et peuvent atteindre jusqu'à 2900 m³/s. Ainsi les fortes crues montrent des temps de baisses de 15 à 20 heures et des temps de montée de 5 à 6 heures

(Fig.5). Les débits d'étiages de l'oued Martil sont soutenus par les sources de la Dorsale Calcaire. La majorité de ces sources sorte des massifs calcaires blancs et se situent à des altitudes entre 140 et 1090m.

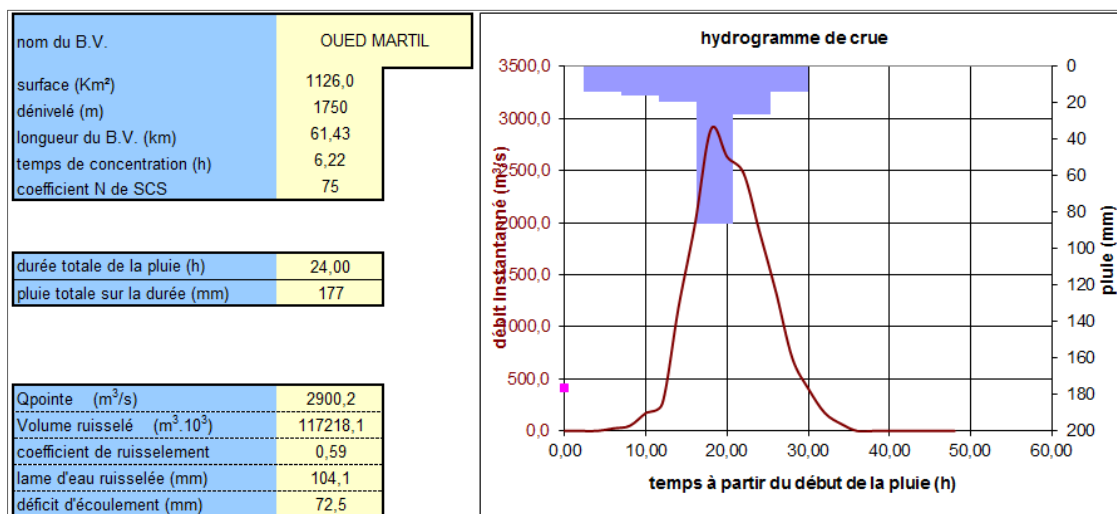


Fig. 5. Hydrogramme de crue du bassin versant Martil calculé par la méthode SCS

2.2 CADRE METHODOLOGIQUE

Le concept de risque est en soi assez complexe et il peut s'exprimer en termes semi-quantitatif (classification) ou quantitatif (monétaire). Il ne peut toutefois se définir qu'en considérant simultanément, et sur un même espace, les épisodes de crue et une utilisation sociale de cet espace qui souffre (ou tire profit) d'un surplus d'eau. Cela a amené les théoriciens de la cyndinique (science de l'étude du risque) à définir le risque comme résultant de deux facteurs réputés indépendants que sont l'aléa et la vulnérabilité. Cette approche est à peu près admise par tous aujourd'hui [7] [8]. À noter que cette décomposition du risque est une première modélisation conceptuelle de l'objet étudié, qui comporte donc sa part de simplification [9].

L'évaluation du risque d'inondation dans la plaine de Martil se base sur une approche semi-quantitative dans laquelle les objets à protéger sont classés selon le degré de protection dont ils ont besoin. Cette méthode a pour but d'établir les priorités d'intervention dans les zones en déficit de protection. Les objectifs de protection sont définis en fonction de la catégorie des objets et de la période de retour du phénomène.

Dans la littérature, une autre approche très répandue s'inspire de la science économique et vise à quantifier le risque en termes monétaires (monétisation) en vue de mesurer l'opportunité des mesures d'atténuation. On parle d'une analyse coût-bénéfice qui est une méthode générique d'évaluation de politiques publiques, mettant en balance les coûts et bénéfices qu'elles impliquent [10].

2.2.1 FACTEUR ALÉA

L'aléa représente la crue en tant que phénomène physique, naturel et non maîtrisable, indépendamment de ses effets potentiels sur les activités humaines et l'environnement. L'aléa dépend du comportement hydrologique du bassin versant et du fonctionnement hydraulique du réseau hydrographique.

L'aléa se représente par une carte qui permet d'identifier les zones où les inondations sont susceptibles de se produire, de façon plus ou moins étendue et fréquente [11]. Il repose sur la combinaison des deux notions suivantes : la récurrence d'une inondation et la submersion.

La récurrence d'une inondation est liée à une période de retour de débits de crues, ce qui implique des calculs fréquentiels sur une série historique de débits ou sur une série synthétique reconstituée à partir de mesures de précipitations via un modèle hydrologique intégré. Ainsi, trois catégories de récurrence ont été distinguées sur la base de la période de retour, à savoir : une récurrence faible pour les inondations dont la période de retour se situe entre 50 et 100 ans,

une récurrence moyenne pour les inondations dont la période de retour se situe entre 25 et 50 ans, et une récurrence élevée pour les inondations dont la période de retour est inférieure à 25 ans (Fig.6) [12].

En se basant sur l'analyse historique des crues de la région d'étude, la plaine de Martil connaît souvent des pulsations brutales et violentes de son cours d'eau principal et de ses affluents. Les événements hydrologiques extrêmes du décembre 1998 avec un débit de pointe qui a atteint 1927 m³/s. L'inondation du 26 décembre 2000, où le débit de pointe arrive à 2674 m³/s, a causé des pertes humaines importantes : 8 morts et 2 disparus (d'après les autorités locales). Tandis que l'inondation du 17 janvier 2006, à cause des dommages matériels énormes évalués à 83 Million de Dirhams, et la submersion de 2400 ha [3]. La submersion d'une inondation est caractérisée principalement par son étendue et sa profondeur dans la plaine de débordement. De ce fait, on distingue trois catégories de submersion en fonction de leur profondeur : la submersion faible, dont la profondeur est inférieure à 0,3 mètre, la submersion moyenne, dont la profondeur se situe entre 0,3 et 1,3 mètre, et la submersion élevée, dont la profondeur dépasse 1,3 mètre (Fig.6) [12].

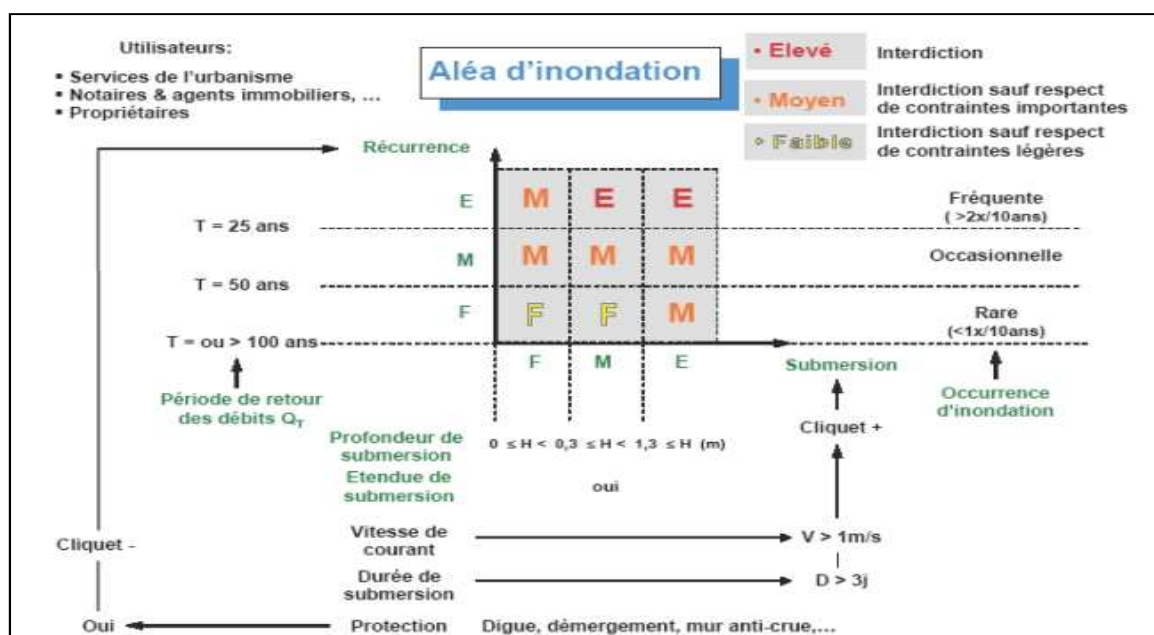


Fig. 6. Schéma de détermination de l'aléa inondation [12]

Une inondation, au sens d'aléa, est un phénomène naturel très complexe dont l'analyse nécessite des outils performants et élaborés comme les modèles hydrodynamiques par exemple dans le cadre de la gestion des inondations, la modélisation hydrodynamique est devenue un outil courant [13]. Elle vise à prédire numériquement l'évolution spatio-temporelle des caractéristiques hydrauliques d'une rivière au cours d'une crue (débit, courants, hauteur d'eau, surfaces inondées, etc.). C'est un outil offrant un grand intérêt pédagogique (création de cartes d'inondations pour sensibiliser la population), et/ou prospectif (outil d'aide à la décision : protection et prévention [14].

Au niveau du périmètre urbain de la zone d'étude, les débordements de l'oued Martil ont été cartographiés, en utilisant un modèle numérique de terrain qui représente la topographie. La modélisation 2D des écoulements a été réalisée par le logiciel **Iber 2.0.3** (open source).

La carte d'aléa obtenue représente l'ensemble des surfaces inondables pour la crue de récurrence centennale, hiérarchisées selon les hauteurs d'eau. Enfin, selon la combinaison des valeurs de récurrence et de submersion, les valeurs de l'aléa inondation sont définies (faibles, moyens, élevés). À titre d'exemple, dans le cas d'inondations fréquentes à forte profondeur de submersion, on obtiendra un aléa élevé et vice versa.

2.2.2 FACTEUR VULNÉRABILITÉ

La vulnérabilité est la deuxième composante du risque, Cette notion a fait jaillir un débat scientifique ardu. Certains chercheurs l'abordent à partir des conséquences potentielles pour les vies humaines et les biens (dommages directs);

d'autres l'appréhendent en fonction des facteurs favorables aux endommagements ou influant sur la capacité de réponse des sociétés à une situation catastrophique [15].

On distingue deux approches, analytique et systématique, pour évaluer la vulnérabilité. Les approches analytiques déterminent les causes directes et indirectes d'une catastrophe. Tandis que les approches systémiques sont basées sur la modélisation explicative ou prédictive d'un système complexe [16] [17].

D'après [18] [19], la vulnérabilité exprime le degré de dommage d'un enjeu soumis à un aléa d'intensité et d'occurrence donné. Ces dommages peuvent être de plusieurs natures [20]:

- pertes en vies humaines et effets sur la santé des personnes;
- dégâts matériels directs;
- impacts liés aux difficultés de fonctionnement, d'échange, et de communication (qualifiés d'impacts indirects).

Dans notre cas, on se base sur les critères ci-dessous pour déterminer les classes de vulnérabilité [12] :

- Vulnérabilité faible : forêt naturelle, matorral, reboisement, terrain dénudé et dunes de sable;
- Vulnérabilité moyenne : terrain de culture;
- Vulnérabilité élevée : agglomération, habitations, infrastructures économiques et de transport.

La carte de vulnérabilité a été élaborée à partir de la carte d'occupation du sol. Cette dernière est réalisée par l'interprétation des images satellites et les cartes topographiques 1/50000, et sur une étude de terrain.

2.2.3 RISQUE D'INONDATION

Le risque d'inondation est calculé par la combinaison de l'aléa inondation et la vulnérabilité. Le schéma (Fig.7) montre le degré du risque en fonction de l'aléa et la vulnérabilité.

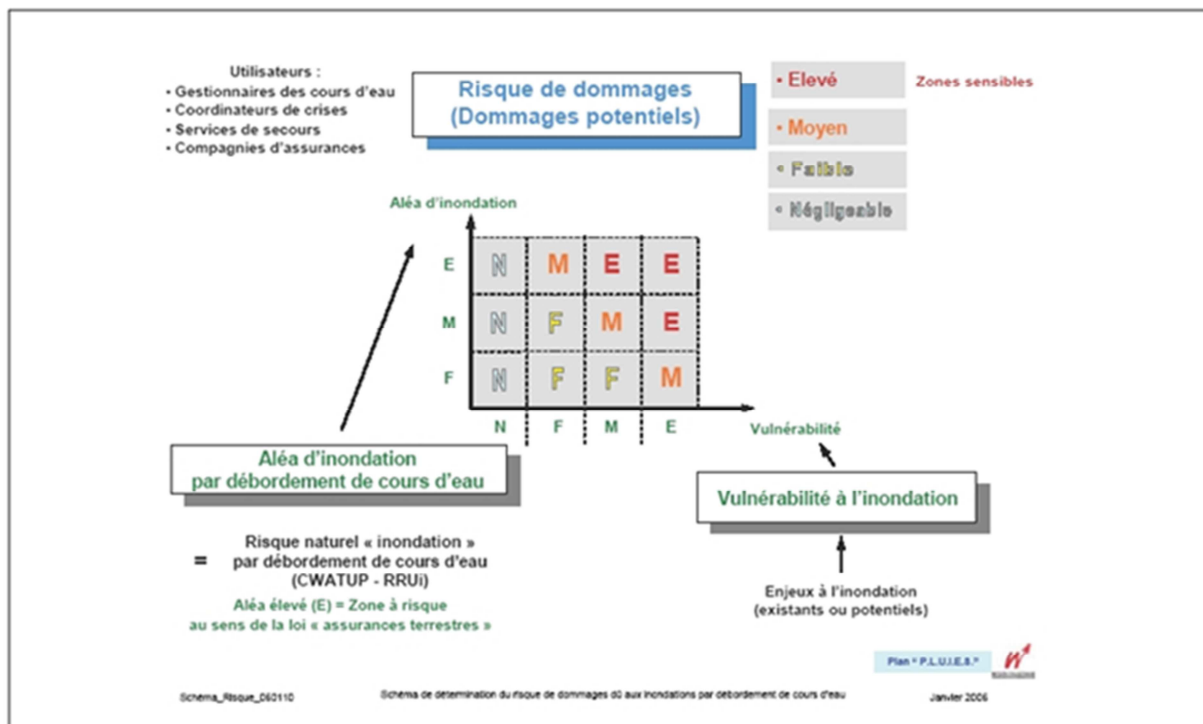


Fig. 7. Schéma de détermination du risque de dommages dû aux inondations par débordement de cours d'eau. [12]

L'organigramme (Fig.8) montre les différentes étapes pour élaborer la carte du risque d'inondation de la plaine de Martil.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

La carte du risque d'inondation est obtenue par l'application de l'organigramme ci-dessus ; Les résultats sont présentés en terme de trois cartes : carte de l'aléa, carte de vulnérabilité et carte de risque.

3.1 CARTE DE L'ALEA

La carte de l'aléa d'inondation représente les zones où il existe un potentiel de submersion, même aux endroits où aucune inondation n'est historiquement connue. L'intérêt de cette carte consiste à évaluer l'ampleur des inondations à l'échelle du périmètre urbain des deux villes Tétouan et Martil, et de déterminer d'une manière générale les zones vulnérables aux inondations étant donné le manque d'observations à long terme (Fig.9).

Les résultats de la modélisation (Fig.9) montre que :

- Pour un Aléa faible avec une profondeur inférieure à 0,3 m, la superficie susceptible d'être inondé est de l'ordre 1535,2 ha soit 11,76 % de la zone d'étude.
- Pour un Aléa moyen avec une profondeur entre (0,3 m - 1,3m), la superficie susceptible d'être inondé est de l'ordre 3581,12 ha soit 27,44 % de la zone d'étude.
- Pour un Aléa fort avec une profondeur supérieur à 1,3 m, la superficie susceptible d'être inondé est de l'ordre 7930,02 ha soit 60,78 % de la zone d'étude.

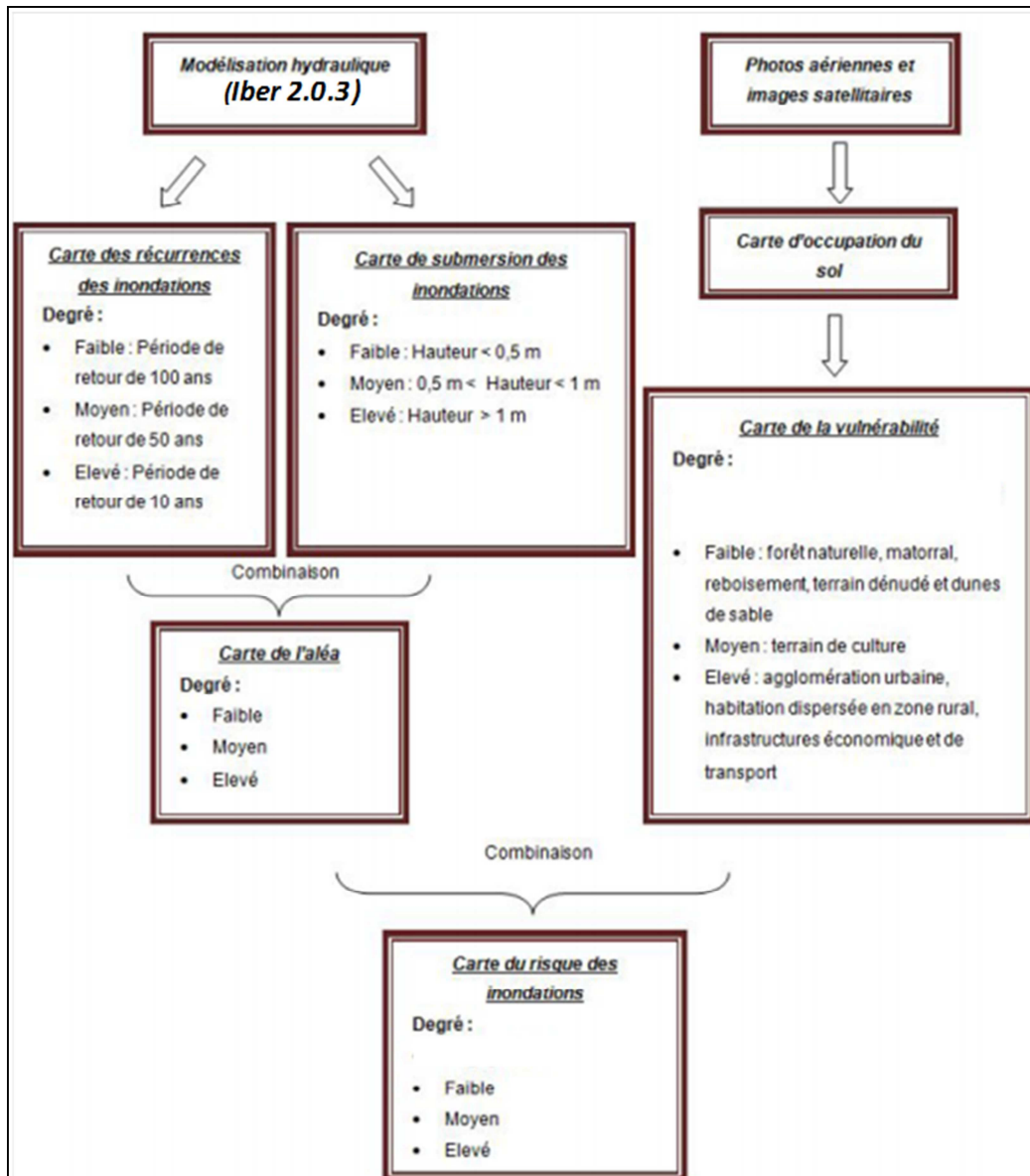


Fig. 8. Organigramme pour élaborer la carte de risque des inondations

A travers ces résultats on constate que la superficie concernée par les inondations est importante. Les zones les plus touchées se situent en grande partie dans la plaine à côté des rives de l’oued Martil et dans l’exutoire du bassin versant Martil.

Ce résultat s’explique par la topographie relativement plate de la plaine, en plus de l’importance des apports d’eaux continentales de l’oued Martil, donnant naissance à de large étendue d’épandage des eaux en périodes de crues (Fig.9).

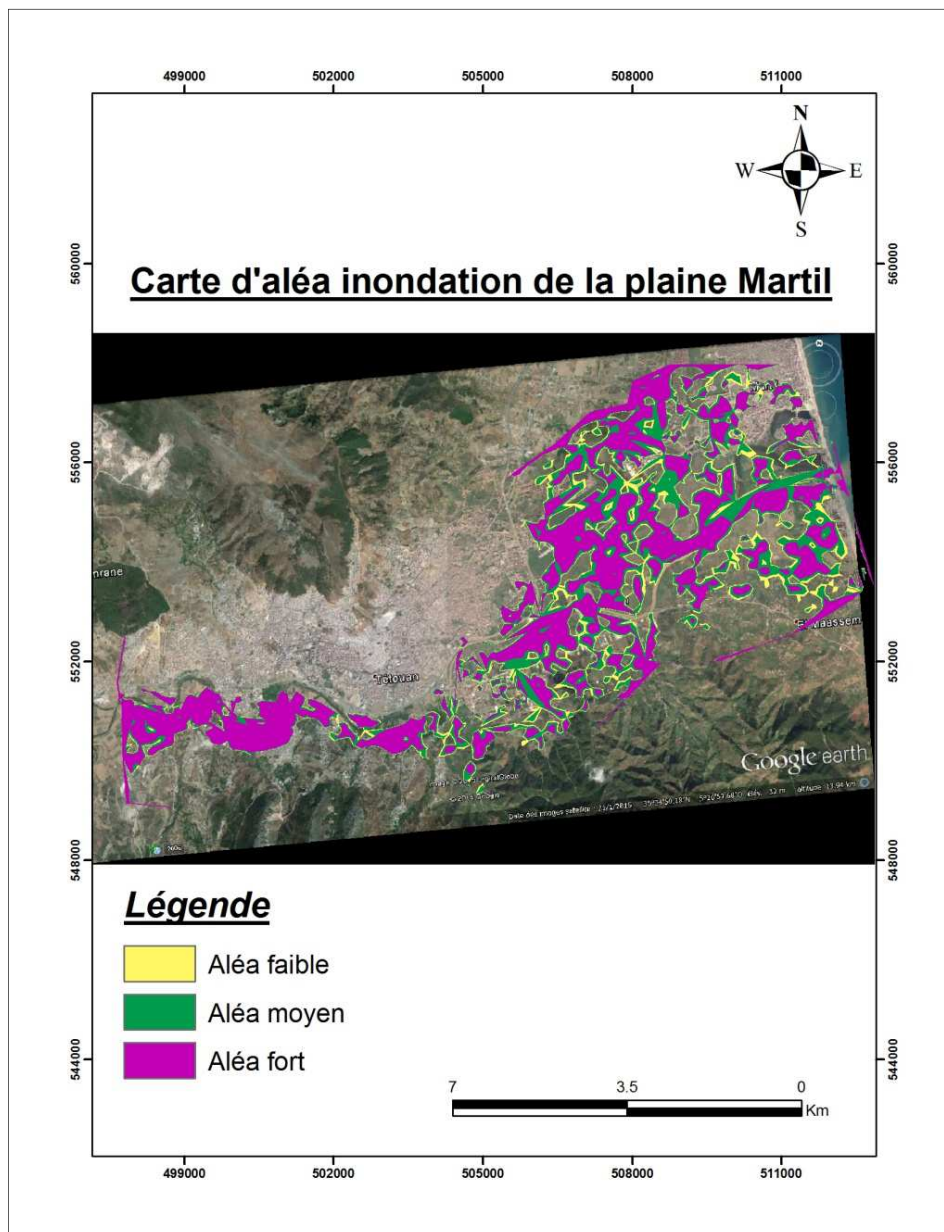


Fig. 9. Carte d'Aléa inondation de la plaine Martil

3.2 CARTE DE LA VULNERABILITE

Le périmètre urbain des deux villes Tétouan et Martil est occupé par 1123 ha de forêt, et de 133 ha des zones marécageux, Les terrains agricoles constituent les principales occupations du sol avec une surface cartographiée de 4651,35 ha constituée essentiellement de la monoculture céréalière, de quelques cultures maraîchères de fourragères, et légumineuses. Aussi les zones urbanisées occupe 3075 ha de la zone étudié, de nombreuses agglomérations et infrastructures de la ville Tétouan et Martil se sont développées à proximité ou sur le lit majeur d'oued Martil et sur des cours d'eau de oued samsa et oued chejra amplifiant les conséquences des inondations (Fig.10).

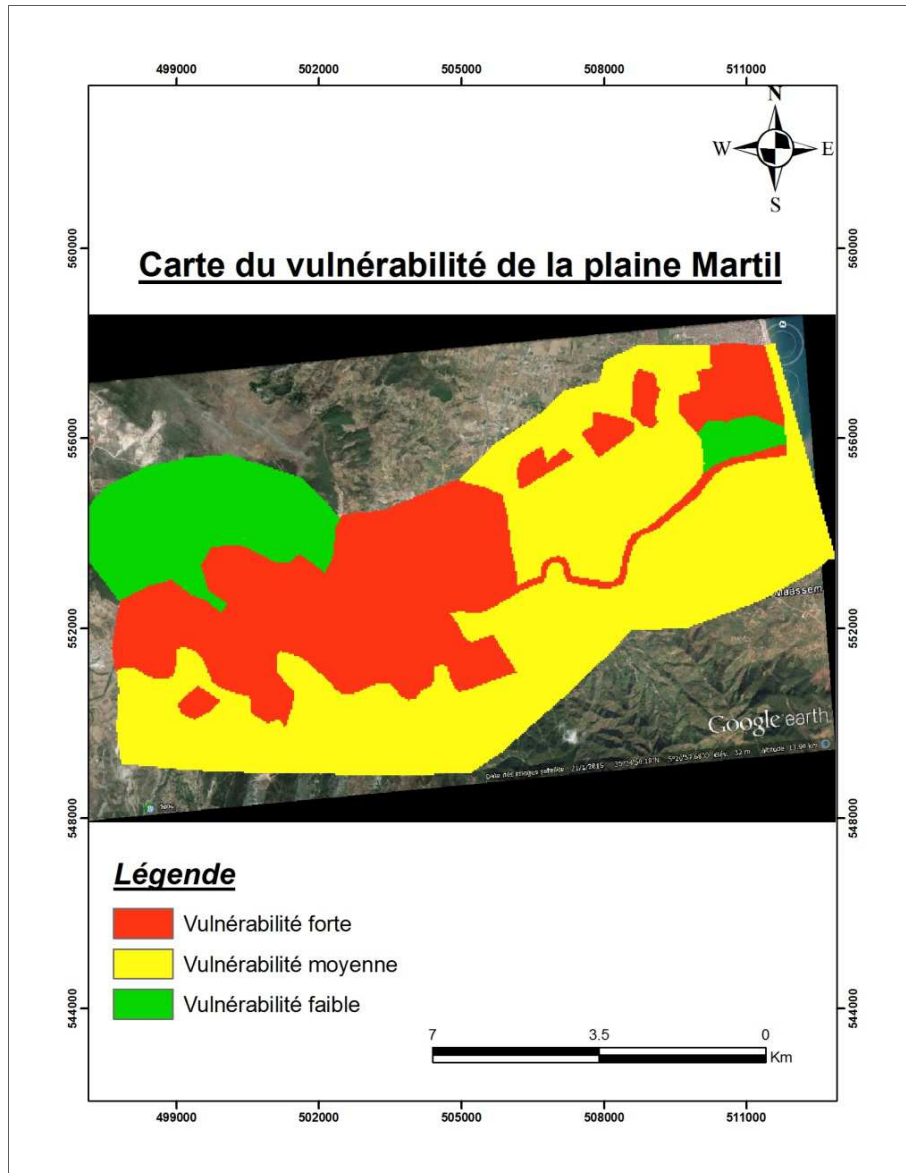


Fig. 10. Carte de vulnérabilité inondation de la plaine Martil

Cependant la vulnérabilité aux inondations est de plus en plus ressentie avec une urbanisation galopante qui n’a cessé de croître sur l’ensemble des deux villes. Le risque d’inondation est souvent oublié par les populations et les pouvoirs publics, Les aménagements ont contribué à augmenter les enjeux de manière considérable. Si l’aléa n’est pas une notion quantifiable, les enjeux eux le sont.

Le facteur vulnérabilité a été réparti dans le périmètre urbain comme suite :

- Vulnérabilité faible sur une superficie de 1256 ha, soit 14 % de la superficie totale du périmètre urbain.
- Vulnérabilité moyenne sur une superficie de 4651,35 ha, soit 51,8 % de la superficie totale du périmètre urbain.
- Vulnérabilité Forte sur une superficie de 3075,22 ha, soit 34,2 % de la superficie totale du périmètre urbain.

3.3 CARTE DU RISQUE DE DOMMAGES DUS AUX INONDATIONS

La carte du risque à l’inondation présente trois zones dont le risque varie de faible au fort. Les quartiers les plus vulnérables, sont les quartiers qui se situent sur le trajet d’oued Martil, à partir de la carte de risque de la zone d’étude (Fig.11), nous avons déterminé, les zones à risque des deux villes Tétouan et Martil comme suite :

a. Les zones à risque fort

- L'usine salam gaz avec une hauteur d'eau maximale de (2 -3 m).
- Quartier Taboula et Touibla avec une hauteur d'eau maximale de (2 -4 m).
- Quartier Korat sbaa avec une hauteur d'eau maximale de (1 -2 m).
- La nouvelle gare routière et les infrastructures voisines avec une hauteur d'eau maximale de (1-1.5 m).
- La Faculté des sciences el Mhannech avec une hauteur d'eau maximale de (1 -2.5 m).
- Le quartier Coelma avec une hauteur d'eau maximale de (1 -2 m).
- Le quartier Diza qui situé à l'embouchure de oued Martil avec une hauteur d'eau maximale de (1-2 m).
- Lotissement al Wad et Lotissement Rbahi avec une hauteur d'eau maximale de (1-1,25m).

b. Les zones à risque moyen

- La route secondaire 608 avec une hauteur d'eau maximale de (0.5-1m).
- Lotissement Alaoui et Inara avec une hauteur d'eau maximale de (0.5-1 m).

b. Les zones à risque faible

- La plaine agricole de Martil avec une hauteur d'eau maximale de (0.1-0.5 m).
- L'aéroport de Tétouan avec une hauteur d'eau maximale de (0.1-0.5 m).

En générale, la forte urbanisation de ces zones et l'incompétence de réseau d'assainissement et l'existence des constructions et des dépôts solides dans les lits de ces cours d'eau et dans les bassins de rétention et le Colmatage des ouvrages de restitution et aussi la condamnation de la connexion des bassins de rétention au réseau d'assainissement, sont les facteurs majeurs de l'inondation et ça se voit dans les quartiers qui se situent dans les rives de l'oued Martil.

Dans ce contexte, la gestion du risque d'inondation doit, en conséquence, être conjointement établie en prenant en considération l'aléa et la vulnérabilité. Elle doit répondre à deux objectifs principaux, à savoir : la limitation de l'implantation des bâtiments et des personnes dans les zones fortement exposées et la protection de l'existant, De même, dans la gestion du risque d'inondation, il est possible de distinguer deux aspects complémentaires qui se différencient par le niveau d'urgence des moyens à mettre en œuvre. D'une part, la prévention et le retour d'expérience qui interviennent hors contexte de crise et d'autre part, la prévision et la gestion de crise qui interviennent en situation de crue.

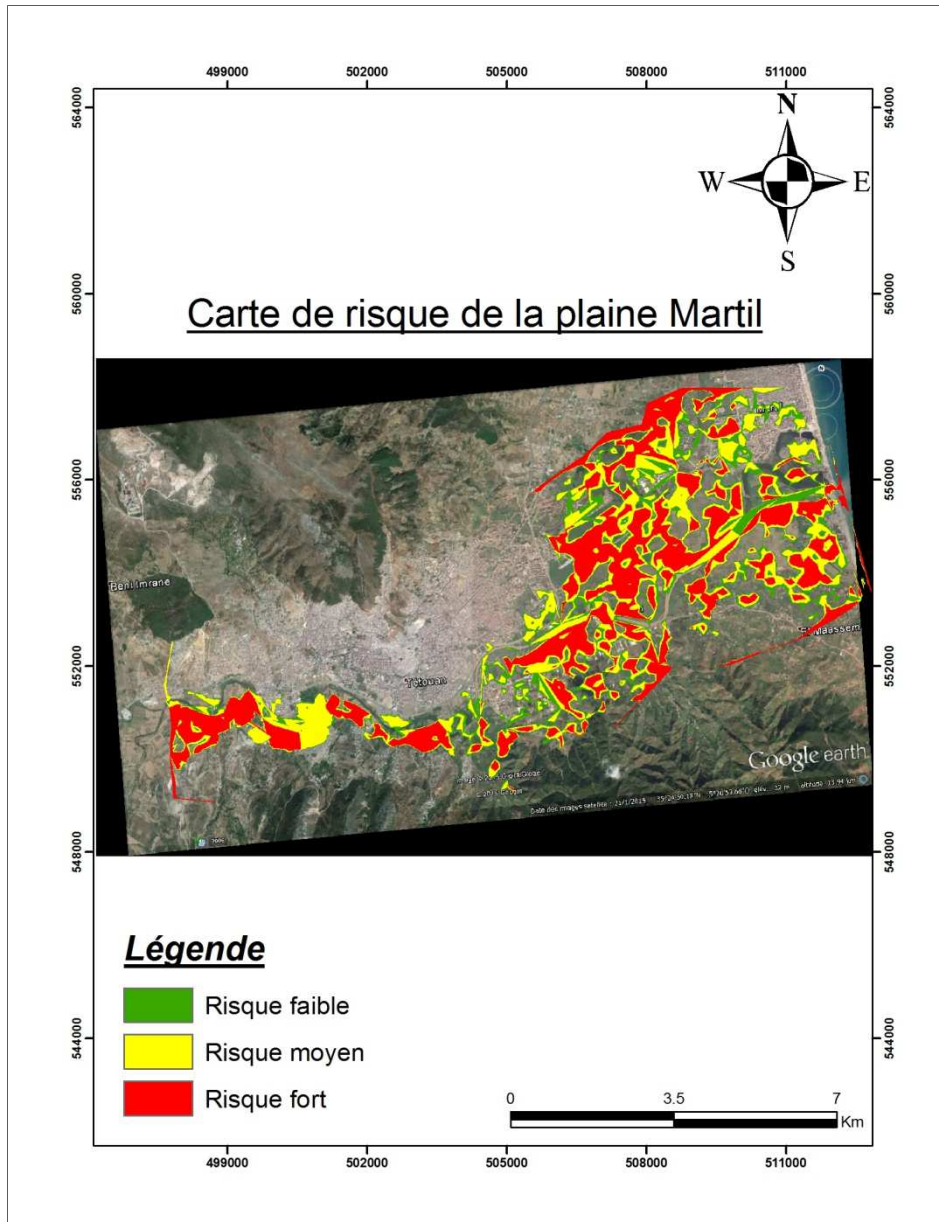


Fig. 11. Carte de risque inondation de la plaine Martil

Afin de remédier à cette situation, l'amélioration de la prévision et de la prévention des inondations demeure une démarche incontournable. Une meilleure information des populations exposées et la diminution de la vulnérabilité des biens situés dans les zones inondables sont à privilégier. Cependant, si l'État et les communes ont des responsabilités dans ce domaine, chaque citoyen doit aussi contribuer à se protéger efficacement et diminuer sa propre vulnérabilité. De plus, la protection contre les inondations constitue un axe majeur. Il s'agit de généraliser les systèmes d'annonce des crues de manière à répondre aux besoins grandissants en matière de prévisions hydrométéorologiques et de prévention des situations de risques, d'apporter des corrections à des situations héritées du passé ayant permis l'implantation dans des zones à haut risque et d'intégrer le risque d'inondation dans les plans d'aménagement.

4 CONCLUSION

Le contexte naturel de la région participe bien dans la genèse des crues en zones amont et des inondations en zones aval. La géomorphologie, qui caractérise la région est très favorable à la genèse des inondations. Il s'agit des zones surélevées avec un relief fort en amont et d'une zone plane en aval imperméabilisée par l'envahissement urbain. Cette géomorphologie offre

tous ingrédients pour la genèse des inondations surtout dans un climat très contrasté caractérisé par des pluies torrentielles d'intensité importante.

L'étude Hydrologique du bassin versant Martil, montre que ce bassin se caractérise par un régime hydraulique torrentiel marqué par de temps de concentration remarquable. De telles vitesses de concentration des eaux pluviales constituent un véritable risque face aux citoyens des zones situées au front de l'exutoire du bassin versant.

Les facteurs anthropiques constituent des facteurs aggravants et ont un rôle fondamental dans la formation et l'augmentation des débits des cours d'eau. De nombreuses agglomérations et infrastructures des deux villes Tétouan et Martil se sont développées à proximité ou sur le lit mineur et majeur de l'oued Martil, modifiant son équilibre hydrologique. Une telle modification est marquée par: la diminution des champs naturels d'extension des crues, l'imperméabilisation des sols et la diminution du temps de concentration. Ceci rend les citoyens face à un véritable risque.

L'inondation est un risque prévisible dans son intensité, mais il est difficile de connaître le moment où il se manifestera. Les remèdes apportés par l'agence du bassin hydraulique loukkous, dans la zone d'étude sont assez satisfaisants à court terme, mais s'avèrent non conformes au développement croissant de l'urbanisation d'où la mise à jour de la cartographie des zones inondables s'avère indispensable. Par ailleurs, les infrastructures mises en place nécessitent une surveillance et un entretien continu.

Dans la présente étude, nous avons pu mettre au point une méthodologie permettant d'aboutir à une connaissance objective du risque d'inondation. Ceci va aider à faire des choix d'aménagement pertinents pour respecter la diversité des enjeux présents le long d'un cours d'eau et favoriser un aménagement du territoire prenant mieux en compte le risque d'inondation.

Enfin, nous avons conclu que les zones situés sur les rives de l'oued Martil sont les zones les plus vulnérables face aux aléas d'inondations par crues torrentielles issues du bassin versant de Martil. Cette vulnérabilité à l'inondation est liée essentiellement à la topographie et à l'incompétence de réseau d'assainissement.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements à l'agence du bassin hydraulique loukkous de nous avoir facilité certains donnés.

REFERENCES

- [1] SIMONA N. et L.CEDRIC (2007). Gestion durable des zones inondables dans le Delta du Danube (Roumanie). Dans : *1res Journées Scientifiques Inter-Réseaux de l'AUF, Gestion Intégrée des Eaux et des Sols. Ressources, Aménagements et Risques en Milieux Ruraux et Urbains*, 6- 9 novembre 2007, Hanoi, Vietnam, 10 p.
- [2] DUCROCQ V. (2006). Crues rapides dans le midi de la France. *Pour la Sci.*, 51, 82-85.
- [3] ABHL. (2006). Les ressources en eau au niveau de la zone d'action de l'Agence du Bassin hydraulique du Loukkous Tétouan : Etat des lieux, perspectives de leur développement et leur sauvegarde. Novembre 2006.
- [4] NICHOLLS R.J., S. HANSON, C. HERWEIJER, NPATMORE, S. HALLEGATTE, J. CORFEE-MORLOT, J. CHATEAU et R. MUIR-WOOD (2008). Ranking port cities with high exposure and vulnerability to climate extremes: Exposure estimates. OECD Environ. Working Papers, 1, *OECD Publishing*, 62 p.
- [5] KARROUK M.S. (1990). Aperçu sur les mécanismes climatiques rifains. Le Rif, l'espace et l'homme. *Rev. Fac. Lettres, Tétouan*, 4, 11-36.
- [6] EL GHARBAOUI A. (1981). *La terre et l'homme dans la péninsule tangitaine. Étude de l'homme et le milieu naturel dans le Rif occidental*. Trav. Inst. Sci. Rabat, 15, 439 p.
- [7] GENDREAU N. et O.GILARD (1997). Structural and non-structural measures implementation: choice's arguments provided by Inondabilité method, Ribamod Concerted Action. Dans : *Proceedings of the First Workshop, European Commission*, EUR 18019 EN, 241-250.
- [8] MOLIN-VALDES H. (1994). Th international decade for natural disaster reduction and the link with agenda 21. *Ecodecision*, 12, 42-45.
- [9] GILARD O. et P. GIVONE (1997). Flood risk management: New concepts and methods for objective negotiations Dans : *Destructive Water: Water Caused Natural Disasters, their Abatement and Control*. Proceedings of the Conference held at Anaheim, California, June 1996. IAHS Publ N° 239, pp. 145, 155.

- [10] GRELOT F., J.S. BAILLY, C. BLANC, K. ERDLLENBRUCH, P. MERIAUX, N. SAINT GEOURS et R.TOURMENT (2008). Sensibilité d'une analyse coût-bénéfice : Enseignements pour l'évaluation des projets d'atténuation des inondations. *Ingénieries EAT*, Hors Série Spécial Inondations, France, 95-108.
- [11] CHASTAN B., O.GILARD, P. GIVONE et G.OBERLIN (1995). La prise en compte du risque d'inondation, *Ingénieries-EAT*, 2, 13-20.
- [12] Le plan "P.L.U.I.E.S." est une initiative du Gouvernement de la Région wallonne Conception et réalisation ir F. Lambot (DGRNE), ir P. Dewil (DGVH) Crédit photographique : MET, MRW, FUSAGx, D.Soltner.
- [13] HORRITT M.S. et P.D. BATES (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flod inundation. *J. Hydrol.*, 268, 87-99.
- [14] KREIS N. (2004). *Modélisation des crues des rivières de moyenne montagne pour la gestion intégrée du risque inondation : Application à la vallée de Thr (Haut-Rhin)*. Thèse de Doctorat, spécialité Science de l'eau, ENGREF, CEVH/ENGEES, France, 268 p.
- [15] D'ERCOLE R. (1994). Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse *Rev. Geogr. Alp.*, 4, 87-96.
- [16] BARROCA B. et G. HUBERT (2008). *Urbaniser les zones inondables, est-ce concevable?* Développement durable et territoires, Dossier 11 : Catastrophes et Territoires, 17 p.
- [17] LEONE F. (2007). L'évaluation des vulnérabilités : diversité des approches chez les géographes français. Dans : *Colloque CNFG « Évolution de la Recherche sur le Risque en Géographie »*, Nanterre, France.
- [18] ANCEY C. (2005). *Une introduction à la dynamique des avalanches et des écoulements torrentiels*. Cours, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 103 p.
- [19] HOSTACHE R. (2006). *Analyse d'images satellitaires d'inondations pour la caractérisation tridimensionnelle de l'aléa et l'aide à la modélisation hydraulique*. Thèse de Doctorat, spécialité Sciences de l'eau, UMR Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale, Cemagref/ENGREF/CIRAD, Montpellier, France, 197 p.
- [20] TORTEROTOT J.P. (1993). *Le coût des dommages dus aux inondations : Estimation et analyse des incertitudes* Thèse de Doctorat, spécialité Sciences et Techniques de l'Environnement, École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, 284 p.