

Contribution à la cartographie du milieu et des risques liés aux crues d'Oued El Maleh (Tunisie Orientale)

[Contribution to mapping the environment and the flood risk of Oued El Maleh (Eastern Tunisia)]

Rajouene Majdoub¹, Riadh Bouaziz², Youssef M'Sadak¹, Marwa Fourati¹, and Thouraya Lahmar¹

¹Département du Génie des Systèmes Horticoles et du Milieu Naturel,
Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, Sousse, Tunisia

²Laboratoire de Cartographie Géomorphologique des Milieux, des Environnements et des Dynamiques,
Université de Sfax, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Sfax, Sfax, Tunisia

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The elaboration of vulnerability maps remains a fundamental tool in the management and study of flood-related risks (floods and hydric erosion). This study aims to develop these maps through Geographic Information Systems (GIS), which can be used as basic documents for any action of developments in the watershed of Oued El Maleh in M'Saken region (eastern Tunisia). This region is characterized by the weakness of its topography and its slopes. Its rainfall, generally irregular and sometimes aggressive and torrential, can transform rivers which are often very little marked in nature, to real torrents with great erosive power, able to lead to flooding. This natural vulnerability is accentuated by the spreading of several urban areas in submersibles zones, in particular that of M'Saken, and by the development of the agricultural lands. In this context, the present study focused on the collection of digitized topographic maps, of Landsat images and others of Google Earth in order to create an integrated database in a Geographic Information System. The results are thematic maps which make it possible to define and analyze, by superposition of several layers of information, the natural environment; and to carry out a spatial analyzes required to characterize, map, and study the vulnerability.

KEYWORDS: Vulnerability, Floodings, GIS, Oued El Maleh, Eastern Tunisia.

RESUME : L'élaboration des cartes de vulnérabilité demeure un outil fondamental dans la gestion et l'étude des risques liés aux crues (inondations et érosion hydrique). Ce travail a pour objectif d'établir ces cartes, moyennant les Systèmes d'Information Géographique, pouvant servir comme documents de base pour toute action d'aménagement du sous bassin versant d'Oued El Maleh de la région de M'Saken (Tunisie orientale). Cette région semi-aride se caractérise par la faiblesse de sa topographie et de ses pentes. Sa pluviométrie est généralement irrégulière, mais parfois agressive et torrentielle, ce qui peut transformer les oueds à de véritables torrents à grand pouvoir érosif capable de provoquer des inondations. Cette vulnérabilité naturelle est accentuée, par l'étalement de plusieurs agglomérations dans des zones submersibles et par la mise en valeur des terres agricoles. Dans ce cadre, le présent travail a porté sur la collecte des cartes topographiques numérisées, des images satellitaires Landsat TM et d'autres de Google Earth, afin de créer une base de données intégrée dans un SIG. Les résultats obtenus sont sous forme des cartes thématiques qui permettent de définir et d'analyser, par superposition de plusieurs couches d'informations, le milieu naturel ; et de réaliser des analyses spatiales nécessaires, entre autres, pour caractériser, cartographier et classer la vulnérabilité aux inondations et à l'érosion hydrique.

MOTS-CLEFS : Vulnérabilité, Inondations, SIG, Oued El Maleh, Tunisie orientale.

1 INTRODUCTION

Les inondations constituent l'un des risques naturels les plus importants et affectent quasiment toutes les régions du monde ([1], [2], [3] et [4]). Le risque d'inondation peut être appréhendé comme un phénomène dynamique, limité dans le temps et dans l'espace, qui se traduit par la submersion, sous des eaux de crue, de tout ou d'une partie du territoire représentant la plaine inondable [5]. Les inondations sont les conséquences du croisement d'une vulnérabilité et d'un aléa [6]. En effet, la vulnérabilité d'un site, est sa tendance à être inondé. Cette vulnérabilité est accentuée par certains aspects favorisant, tels que la déforestation, l'occupation et la construction anarchiques dans les lits d'oueds, le manque de curage des oueds et l'activité parfois néfaste de l'être humain ([7] et [8]).

Par ailleurs, l'aléa est une conséquence des événements hydro-climatologiques. Il est estimé selon sa probabilité d'événement (période de retour), sa vitesse et son débit de crue. La gestion de ce phénomène représente un défi majeur [9]. La carte des phénomènes (inondations et érosion hydrique) est l'expression d'une analyse méticuleuse du terrain qui est menée, afin de désigner les témoins géomorphologiques des aléas et de spatialiser les sites critiques définis par l'intensité ou l'occurrence des phénomènes dangereux [10]. Pour afficher ces phénomènes, on doit être capable de les décrire et de considérer deux volets ; les risques naturels et la vulnérabilité, laquelle est reliée à l'activité humaine du fait de l'urbanisation [11]. Il devient de plus en plus impératif d'analyser la vulnérabilité et son évolution temporelle, car l'aggravation du risque devient prépondérante et accrue vis à vis de l'aléa.

L'Oued El Maleh est un oued important de la Tunisie orientale, situé dans l'amont du bassin versant côtier d'Oued Hamdoun. Du fait que cet Oued traverse essentiellement des zones de plus en plus urbanisées, l'événement de ces dernières années a attiré l'attention sur la question des risques liés aux crues de cet oued aux incidences lourdes, tant sur le plan humain que sur le plan économique. La gestion des risques liés à l'eau (inondations et érosion hydrique) nécessite une vision globale du territoire et ne plus cantonner uniquement dans une vision limitée au cours d'eau. En effet, c'est l'ensemble du sous bassin versant d'Oued El Maleh qui participe à la dynamique de l'eau. Dans ce contexte, ce travail présente la caractérisation du milieu naturel du sous bassin versant d'Oued El Maleh et la cartographie des aménagements de Conservation des Eaux et du Sol (CES) adoptés et des risques d'inondations et d'érosion.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est le sous bassin versant d'Oued El Maleh, situé entre 35°35' et 35°44' E et 10°26' et 10°38' N. S'étendant sur une superficie d'environ 165 km², ce sous bassin appartient administrativement à la délégation de M'Saken, gouvernorat de Sousse (figure 1). Oued El Maleh correspond au cours amont de l'Oued Hamdoun qui débouche dans la mer, à 12 km au Sud de Sousse. Il se caractérise par un lit majeur d'une largeur importante (de 100 à 150 m) avec des berges, en général, basses et mal exploitées. Le lit mineur de l'oued est mal défini et change de tracé à chaque crue.

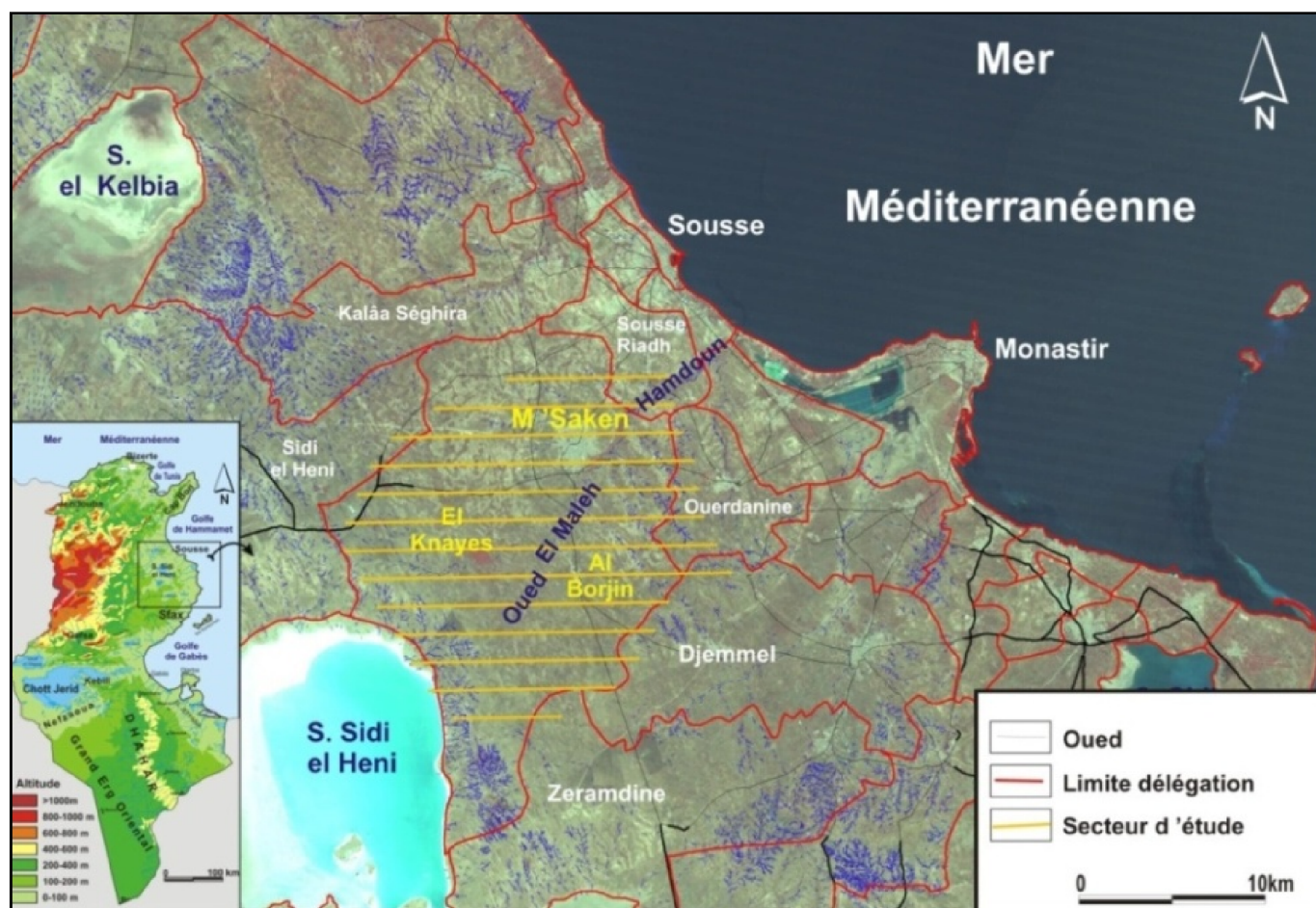


Fig. 1. Localisation du site d'étude

L'indice de compacité du sous bassin versant de l'Oued El Maleh est supérieur à 1,12 ($K_c = 1,27$). Il s'agit, donc, d'un bassin versant de forme allongée, peu dangereux de point de vue réponse hydrologique [12]. Le débit de crue a été estimé à 93,43 ; 155,04 ; et 184,86 m^3/s pour des périodes de retour de 10, 50 et 100 ans de façon respective. L'Oued El Maleh et ses affluents ont une capacité de transit suffisante pour évacuer une crue de 100 ans. La dénivelée spécifique du sous bassin versant est comprise entre 25 et 50 m (29,03 m) ; Il s'agit, donc, d'un relief assez faible [13]. L'indice de pente globale est égal à 2 m/km. Cette valeur (comprise entre 1 et 5 m/km) confirme la grande faiblesse du relief [14].

De point de vue climatique, la zone d'étude est soumise à un climat méditerranéen littoral de transition entre les étages bioclimatiques semi-aride et aride supérieur induisant une irrégularité et une faiblesse des précipitations, avec une température qui oscille entre 5°C et 35°C. La pluviométrie moyenne annuelle relevée est de 315 mm. Elle oscille entre 180 et 510 mm. Cette région a connue des événements pluviométriques extrêmes comme celle de l'année 1969 avec une pluviométrie de 759,7 mm. La valeur maximale d'évaporation a été enregistrée en été de l'année 2012 avec une valeur voisine de 210 mm, accentuant davantage la sécheresse.

2.2 METHODOLOGIE D'ETUDE

La méthodologie adoptée au cours de cette étude repose sur des données satellitaires, topographiques, géologiques, ainsi que sur des observations effectuées sur le terrain. Ces données sont ensuite intégrées et analysées dans un Système d'Information Géographique (SIG) pour la restitution et la cartographie des zones exposées aux inondations et à l'érosion hydrique (figure 2). Au cours de la réalisation de ce travail, un ensemble de logiciels de cartographie et de SIG (Erdas imagine 8.7, ArcView 3.2, Corel Draw, Easy Bing Maps Downloader et Microsoft Excel) a été manipulé. L'établissement des cartes se rapporte tant à l'étude du milieu naturel qu'à l'évaluation des risques d'inondations et d'érosion hydrique.

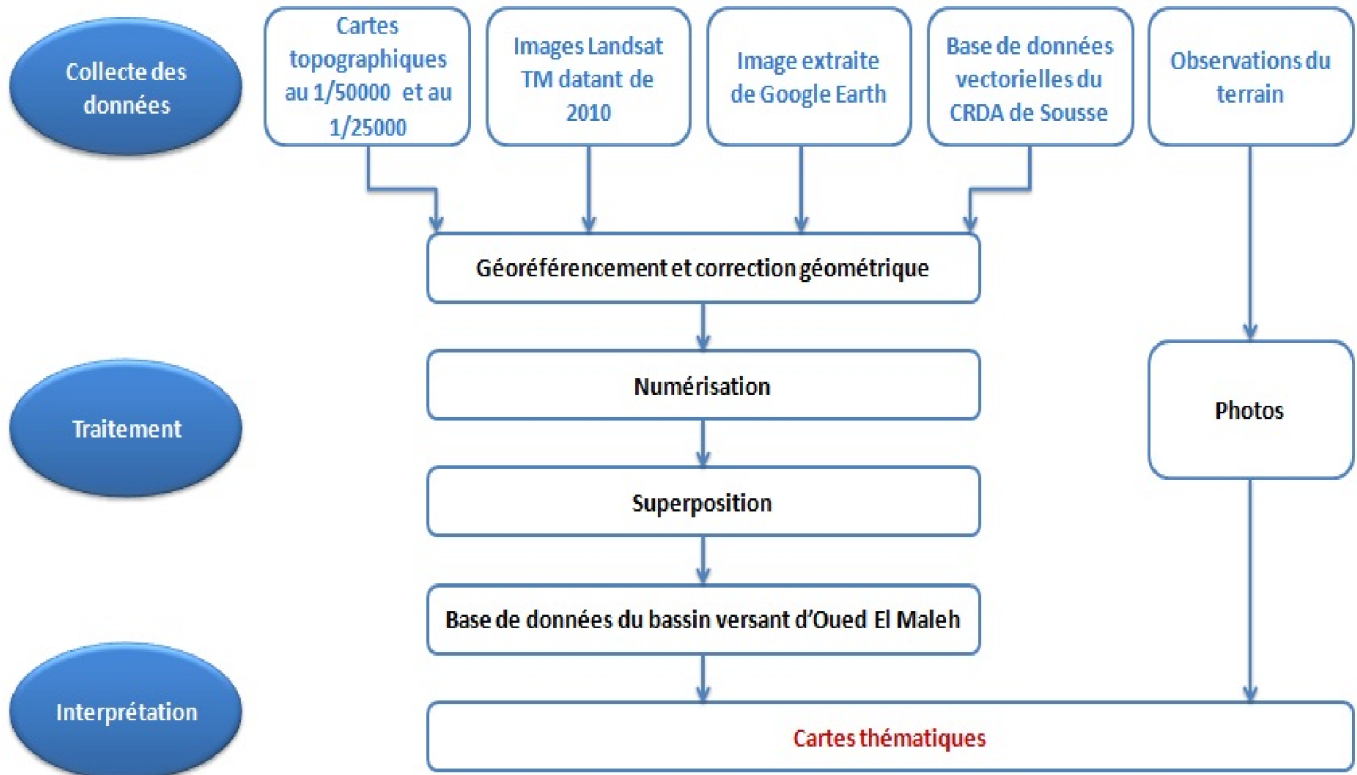


Fig. 2. Organigramme de la méthodologie d'étude suivie

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 ETUDE DU MILIEU NATUREL

Sur le plan topographique, la région d'étude se caractérise par un relief monotone et modeste. En effet, les altitudes prennent de l'importance dans les collines de Sidi El Heni avec 120 m d'altitude, puis, elles diminuent progressivement et parfois de manière insensible en direction de l'exutoire, à proximité de la ville de M'Saken pour atteindre les 20 à 30 m. Partout, les pentes sont faibles ne dépassant pas 3%.

Sur le plan lithostratigraphique, la zone d'étude (figure 3), montre que le sous bassin versant d'Oued El Maleh est dominé par des formations quaternaires tendres et propices à l'érosion. En effet, à l'exception des surfaces des collines qui sont souvent coiffées par des croûtes calcaires appartenant au Quaternaire inférieur à moyen, toute la région est dominée par des dépôts à faciès rougeâtre du Quaternaire supérieur. Les argiles à dominance limoneuse du Mio-pliocène, ne sont visibles que sur les talus de raccordement.

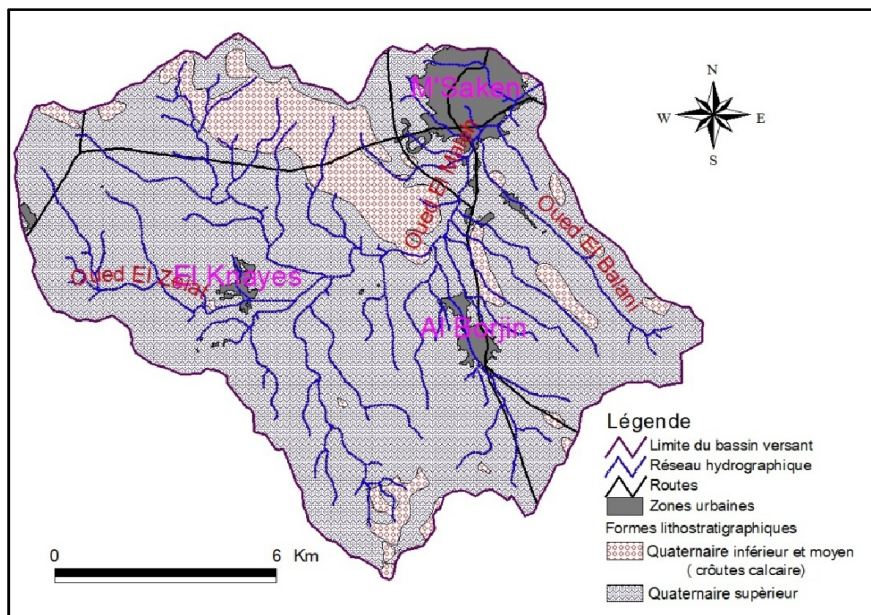


Fig. 3. Carte lithostratigraphique

Le traçage du réseau hydrographique (figure 4) montre que le cours d'eau principal prend sa naissance à partir de Gaarit El Knaiys qui est alimenté par Oued Zeiat, tout en assurant la collecte et le transport de l'eau et des sédiments vers l'exutoire, situé au Nord du sous bassin versant au niveau de l'intersection d'Oued El Maleh avec Oued El Balani. Le paysage du sous bassin versant étudié est généralement disséqué. Ceci est dû surtout à la ramification des cours d'eau et à la multiplicité de leurs affluents. Ces derniers sont de longueur 18,25 km et assurent des écoulements à fleur de sol et peu encaissés.

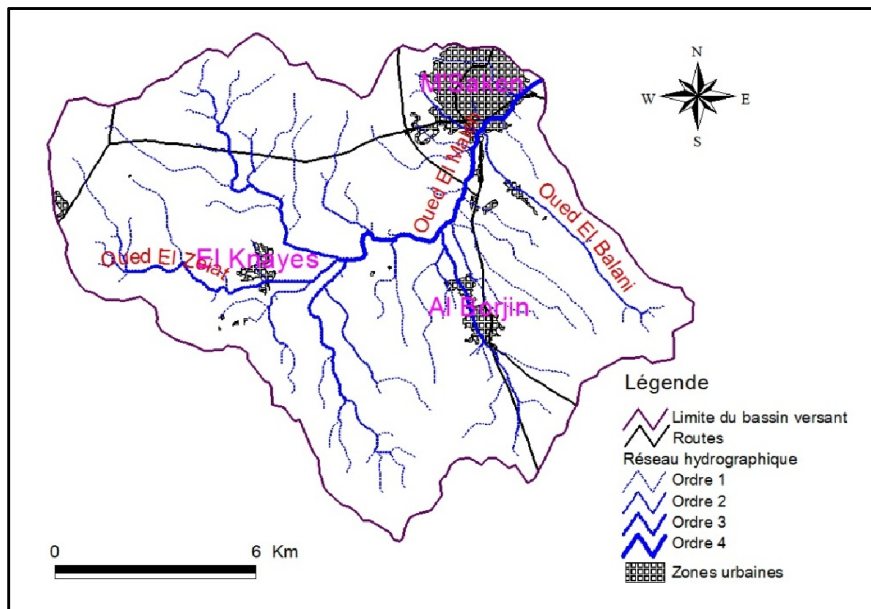


Fig. 4. Carte du réseau hydrographique

Concernant l'infrastructure routière, le sous bassin d'Oued El Maleh possède un réseau routier dense, d'une longueur totale estimée à 689,5 km dont 5 km d'autoroute, 15 km de routes régionales, 13,5 km de routes locales et 656 km de pistes rurales traversant les cours d'eau en certains endroits (figure 5). Ce réseau joue un rôle important dans l'imperméabilisation des sols et par conséquent dans l'augmentation des eaux de ruissellement. Ceci présente une vulnérabilité importante et augmente le risque d'inondations, surtout au niveau des intersections du réseau routier et du réseau hydrographique.

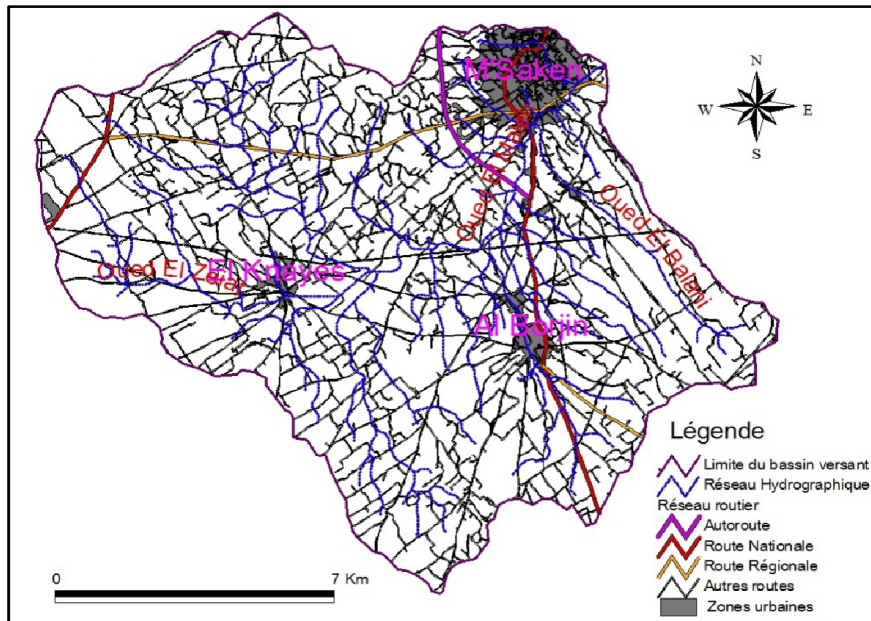


Fig. 5. Carte du réseau routier

Concernant le paysage agricole de la zone d'étude, l'analyse des cartes topographiques établies pour différentes dates (1955 et 1992) dévoile que l'occupation du sol dans le sous bassin versant d'Oued El Maleh est ancienne et elle s'est accentuée au cours des dernières décennies. En effet, l'exploitation des applications fournies par le logiciel Arc View a permis de détecter des zones qui étaient autrefois non exploitées et qui connaissent aujourd'hui une mise en valeur importante.

Pour établir une étude détaillée de la nouvelle répartition de l'occupation du sol, une carte a été dressée en se basant sur les données vectorielles issues du Commissariat Régional au Développement Agricole (CRDA) de Sousse (figure 6). Cette carte montre une extension intense des oliviers (42,61% de la surface occupée par les cultures). Elle révèle également une introduction du maraîchage (0,88%) dans la partie centrale du sous bassin versant, ainsi que, quelques espaces occupés par des vergers (2,12%) et des céréales (24,61%). Le reste de la superficie est occupé par les parcours (29,78%).

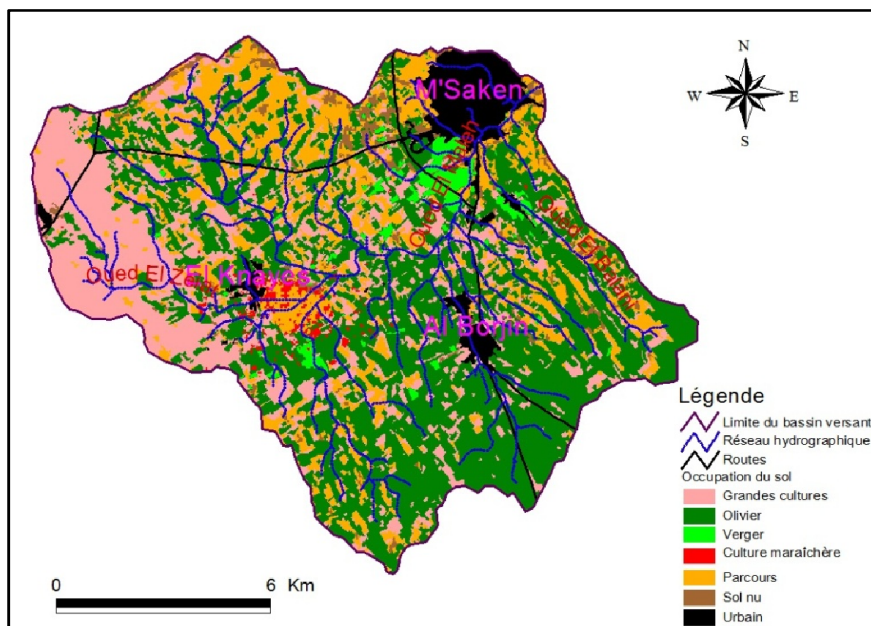


Fig. 6. Carte d'occupation du sol

L'examen des images satellitaires à différentes dates a révélé l'extension importante du bâti au détriment des zones agricoles et même sur les cours d'eau de l'Oued El Maleh (figure 7), d'où la modification du paysage. Les agglomérations construites dans le lit de l'Oued peuvent engendrer de graves problèmes d'inondations. Ainsi, les visites de terrain ont permis de détecter des perturbations et des modifications au niveau de la section d'écoulement dans certains tronçons, ce qui accentue l'effet des crues et perturbe l'écoulement des eaux de ruissellement.

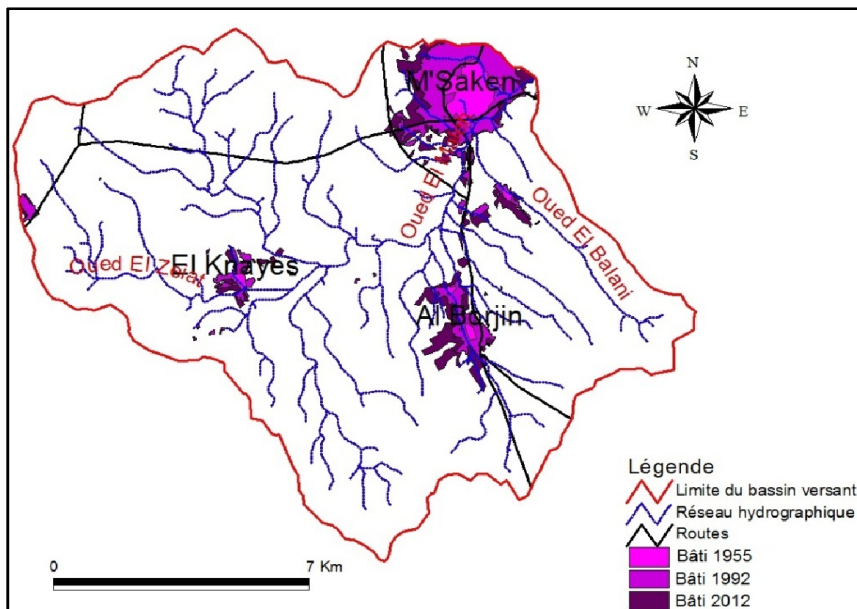


Fig. 7. Evolution du bâti

3.2 EVALUATION DES AMENAGEMENTS REALISES ET DES RISQUES ENCOURUS

L'intégration des images satellitaires de la zone d'étude dans un SIG a permis d'élaborer aussi la carte des aménagements anti-érosifs (figure 8). Cette carte dévoile que l'aménagement en système Meskat s'étale sur une grande surface du sous bassin d'étude. Il s'agit d'une technique traditionnelle de conservation des eaux et du sol spécifique de la région du Sahel Tunisien [15].

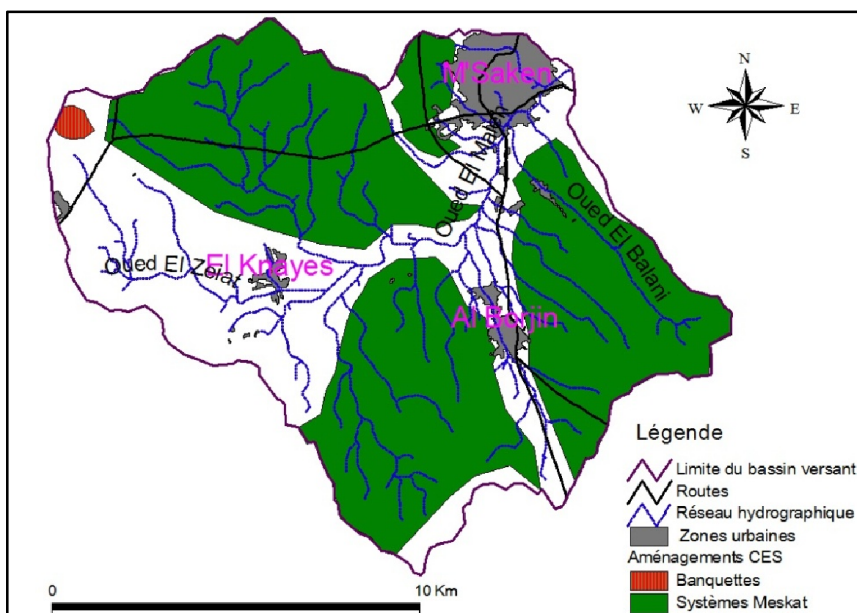


Fig. 8. Carte des aménagements CES du sous bassin d'Oued El Maleh

Concernant l'aménagement en banquettes, ces dernières sont très limitées et sont implantées seulement en amont du sous bassin versant. Ces ouvrages ont été aménagés dans le but de diminuer le risque d'érosion hydrique et d'intercepter les eaux de ruissellement [16].

L'élaboration d'une carte des risques d'inondations a pour objectif de planifier des ouvrages pour la protection de la population et de l'infrastructure, ainsi que la définition d'éventuelles mesures d'évacuation des excès d'eau. Ainsi, la superposition de la carte du réseau hydrographique (figure 4) et celle de l'extension du bâti (figure 7) a permis de cartographier les zones des risques d'inondations au niveau du sous bassin d'étude (figure 9). Cette carte montre que toutes les agglomérations sont exposées aux risques d'inondations. En fait, la zone la plus risquée est celle de M'Saken ville, car elle est située en aval d'Oued El Maleh et correspond à une zone urbaine, où le taux d'infiltration des eaux est très réduit. Il est nécessaire donc de planifier des mesures de protection en amont de cette ville pour la protection des personnes et des biens.

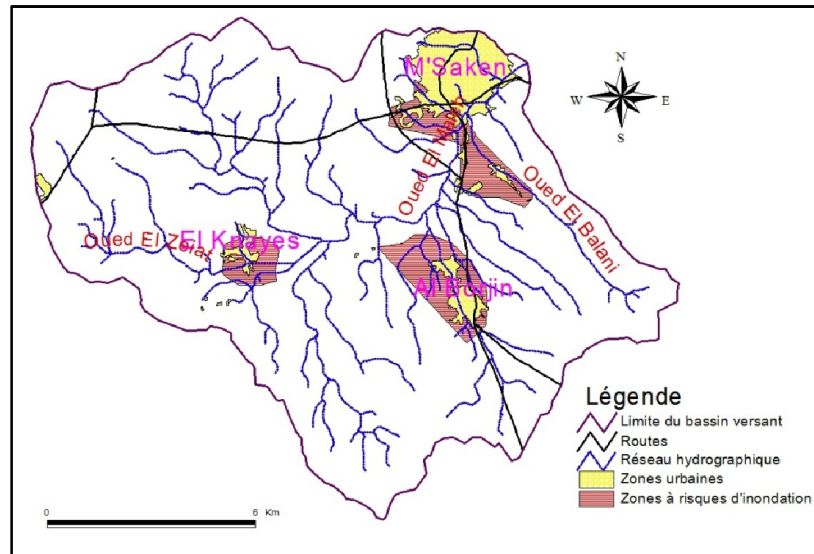


Fig. 9. Carte des risques d'inondations

La superposition de la carte d'occupation de sol (figure 6) et celle des aménagements CES existants (figure 8) a permis de prévoir une carte des risques d'érosion hydrique (figure 10).

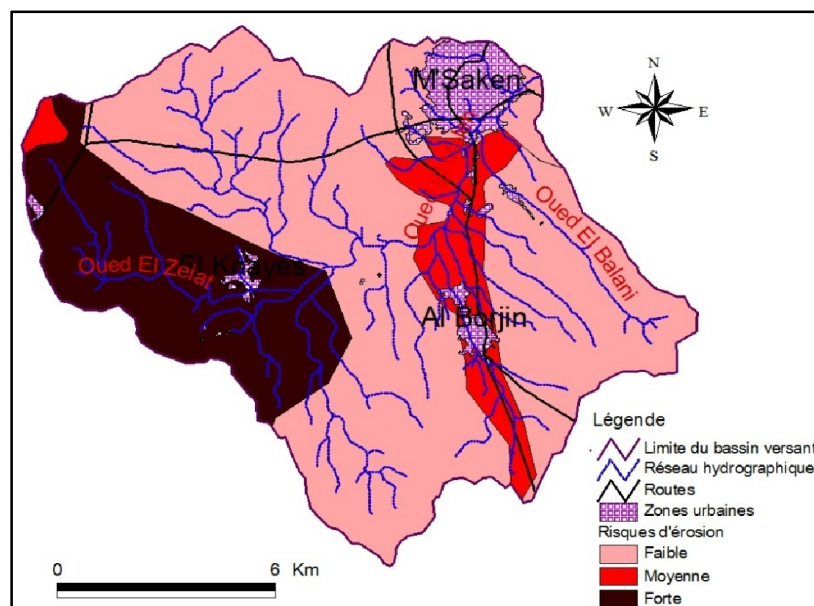


Fig. 10. Carte des risques d'érosion hydrique

Cette figure montre que la partie amont du sous bassin versant est favorable au déclenchement de l'érosion hydrique. Il est recommandé donc d'installer de nouvelles banquettes suivant les courbes de niveau dans les terrains non aménagés. En effet, ce type d'ouvrage s'adapte le mieux aux conditions lithologiques de la zone limitrophe à l'Oued Zeiat, où le risque d'érosion est fort. En outre, des éléments de banquettes et des cuvettes individuelles peuvent être installées dans la partie centrale du sous bassin versant d'El Knayes, afin de ralentir la vitesse de ruissellement et protéger le village d'El Knayes contre les inondations.

4 CONCLUSION

Suite à l'émergence de nouveaux enjeux de la planification et la multiplication des informations géographiques, les acteurs d'aménagements cherchent de nouveaux outils permettant une planification plus souple et modulaire, afin de mieux gérer leurs besoins. A ce propos, les Systèmes d'Information Géographique sont aujourd'hui des outils incontournables de la gestion urbaine et rurale qui peuvent être utilisés pour le développement des bases de données. Ainsi, la cartographie des risques liés aux crues (inondations et érosion hydrique) dans la zone d'étude (Sous bassin versant d'Oued El Maleh, Tunisie orientale) est une étape primordiale pour gérer et planifier cette problématique. En effet, les cartes élaborées pourraient constituer un document de base pour tout aménagement proposé facilitant la gestion des risques d'inondations et d'érosion.

Les résultats de l'investigation entreprise dévoilent essentiellement que les collines de l'agglomération de M'Saken sont favorables au déclenchement de l'érosion hydrique au niveau des cours d'eau et dans la partie amont du sous bassin versant considéré, malgré la déficience de la topographie et l'existence d'un important patrimoine de conservation des eaux et du sol, constitué notamment par le système Meskat. En effet, les zones repérées à risques d'érosion moyenne et faible sont riches en roches tendres et meubles (sable et argile). Elles sont traversées par plusieurs entailles fluviales à fleur de sol. L'analyse de la situation a permis aussi d'identifier des zones à risques d'inondations apparaissant au niveau des étalements urbains sur les cours d'eau.

REFERENCES

- [1] A. Yahiaoui, B. Touaïbia, C. Bouvier et N. Dechemi, "Modélisation du régime de crue en Débit-Durée-Fréquence du bassin de l'oued Mekerra dans l'ouest Algérien", *Revue des Sciences de l'eau*, vol. 24, no 2, pp. 103-115, 2011.
- [2] P. Givone, "Détermination des risques d'inondation, effets de l'aménagement de l'espace", *Revue Géophysique externe, climat et environnement*, vol. 337, pp. 209-241, 2005.
- [3] B. Merz, A.H. Thielen et M. Gocht, "Flood risk mapping at the local scale: Concepts and Challenges", in : S. Begum et al. (eds), *Flood Risk Management in Europe*, Vol. 25, pp 231-251, 2007.
- [4] H. de Moel, J. van Alphen and J.C.J.H. Aerts, "Flood maps in Europe, methods, availability and use", *Review of Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 9, pp 289-301, 2009.
- [5] R. Lambert et C. Prunet, "L'approche géographique de l'inondation. L'exemple de la Garonne à l'aval de Toulouse". In : *Les régions françaises face aux extrêmes hydrologiques. Gestion des excès et de la pénurie*, sous la direction de J.P. BRAVARD, Édité. SEDES, Paris, pp. 39-53, 2000.
- [6] B. Barroca, N. Pottier et E. Lefort, "Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'orge aval", *Actes des rencontres de Théo Quant, Septième Rencontre*, 12 pages, 2005.
- [7] N. Dhaher, "Production du sol urbain et vulnérabilité aux inondations : l'exemple de la cité Sidi Hcine Essijoumi en Tunisie", *Revue Confins*, vol. 12, 12 pages, 2011.
- [8] J. C. Thouret et R. D'Ercole, "Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales". In : Thouret J.C., *Croissance urbaine et risques naturels dans les pays en développement*, *Cahiers des Sciences Humaines*, vol. 32, no. 2, pp. 407-422, 1996.
- [9] L. Bahlouli, "Crues et inondations en Algérie", *Actes de l'Atelier scientifique et technique sur « L'outil spatial au service du développement »*, pp. 17-25, 2009.
- [10] E. Reynard, M. Lasri, G. Werren, K. Obda, M. Amyay et A. Taous, "Carte des phénomènes d'inondation des bassins de Fès et Beni Mellal", *Rapport rédigé dans le cadre du projet « Gestion du risque d'inondation dans deux bassins versants marocains : Fès et Beni Mellal »*, 39 pages, 2011.
- [11] M. Hadjab, B. Khalfallah et A. Redjem, "L'urbanisation d'une ville oasienne « boussaâda » face aux risques d'inondations et d'ensablement", *Analele Asociației Profesionale a Geografilor Din România*, vol. 3, no 3, pp. 43-53, 2012.
- [12] H. Bendjoudi et P. Hubert, "Le coefficient de compacité de Gravelius : analyse critique d'un indice de forme des bassins versants", *Journal des Sciences Hydrologiques*, vol. 47, no. 6, pp 921-930, 2002.
- [13] P. Dubreuil et J. Guiscafré, "La planification du réseau hydrométrique minimal", *Cahiers de l'ORSTOM, Série Hydrologie*, vol. 8, no. 2, pp. 3-37, 1971.

- [14] P. Dubreuil, "Contribution à l'étude d'implantation des bassins représentatifs des régions hydrologiques homogènes", Publication de l'ORSTOM, symposium of Budapest, 11 pages, 1965.
- [15] R. Majdoub, A. Ben Salem, S. Khlifi et Y. M'Sadak, "Aménagement antiérosifs traditionnel (Meskat) : exploitation des eaux de ruissellement et amélioration des caractéristiques du sol", *Actes du Congrès Scientifique Euro Méditerranéen d'Ingénierie Algeciras*, Espagne, pp. 159-165, 2011.
- [16] S. Nasri, J-M. Lamachère et J. Albergel, "Impact des banquettes sur le ruissellement d'un petit bassin versant", *Revue des Sciences de l'eau*, vol. 17, no. 2, pp. 265-289, 2004.