Geo-Eco-Trop., 2014, 38, 2 : 259-270

Risque d'inondation et vulnérabilité de la ville de Djeddah, Arabie saoudite

Flood Risk and Vulnerability of the City of Jeddah, Saudi Arabia

Mohamed DAOUDI (*)

Abstract : This study aims to map and characterize floodplain of the city of Jeddah to reduce their vulnerability and integrate them into prevention strategies and fight against flood risks. Due to the floods in 2009 and 2011, the city suffered heavy casualties and property damage that remain etched in the memories of people. The methodology is based on a spatial analysis of risk using multisource and multi-temporal data (optical satellite imagery, DEM, topographic maps, rainfall data and statistics available), to identify and categorize all the components of risk and understand the interactions between the different parameters. This allows, on the one hand, to grasp the severity of recent disasters and, on the other hand, to have a decision-making tool for an adequate management of the urban space.

Key-words: Naturals hazards, Flooding, Multisource data, Urban extension, Jeddah, Saudi Arabia.

Résumé : La présente étude a pour objectif de cartographier et de caractériser des zones inondables de la ville de Djeddah afin de réduire leur vulnérabilité et de les intégrer dans les stratégies de prévention et de lutte contre les risques d'inondation. En raison des inondations survenues en 2009 et 2011, la ville a subi de lourdes pertes en vies humaines et des dommages matériels qui restent gravés dans les mémoires des habitants. La méthodologie utilisée est basée sur une analyse spatiale du risque au moyen de données multisources et multidates (imagerie satellitaire optique, MNT, cartes topographiques, relevés pluviométriques et données statistiques disponibles), afin d'identifier et de catégoriser toutes les composantes du risque et de comprendre les interactions entre les différents paramètres. Cela permet, d'une part, d'appréhender la gravité des catastrophes récentes et, d'autre part, de disposer d'un outil d'aide à la décision pour une gestion adéquate de l'espace urbain.

Mots clés : Risques naturels, Inondation, Données multisources, Extension urbaine, Djeddah, Arabie saoudite.

INTRODUCTION

Les changements climatiques combinés avec l'augmentation rapide de la population et la croissance urbaine conduisent à une multiplication des risques de catastrophes naturelles. Ces dernières années, plusieurs régions du monde ont enregistré de graves problèmes d'inondations. C'est le cas de l'Arabie saoudite, pays caractérisé par des conditions climatiques arides, mais qui fait face, au cours des dernières années, à de graves inondations, notamment dans les centres urbains qui connaissent une forte extension. Parmi ces agglomérations, la ville de Djeddah, une métropole cosmopolite bordée par la mer Rouge, et deuxième plus grande ville de l'Arabie saoudite après la capitale Riyad en termes de population et de développement économique (AL SULAMI, 2010). Sa superficie a été multipliée par 10 entre 1972 et 2010. Elle est considérée comme la porte des Musulmans vers les deux lieux saints: La Mecque et Médine. En 2009 et 2011, la ville a connu des inondations (Figure 1) cause de décès et de graves dommages sur les plans social, psychologique, économique, sanitaire et environnemental (MOMANI & FADIL, 2010). Les routes, transformées en torrents, ont vu des dizaines de voitures emportées par les eaux.

Le présent travail illustre une analyse spatiale du risque d'inondation se basant sur des données multisources (satellitaires, MNT, cartographiques et statistiques) et vise à identifier les zones soumises aux inondations afin de déterminer la vulnérabilité de la zone de Djeddah, d'éviter l'extension urbaine dans les zones à risque et d'élaborer une gestion adéquate du milieu.

(*) Department of Geography & GIS, Faculty of Arts and Humanities, King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia. mdaoudi@kau.edu.sa mdaoudi65@gmail.com

Figure 1 : Zone d'étude

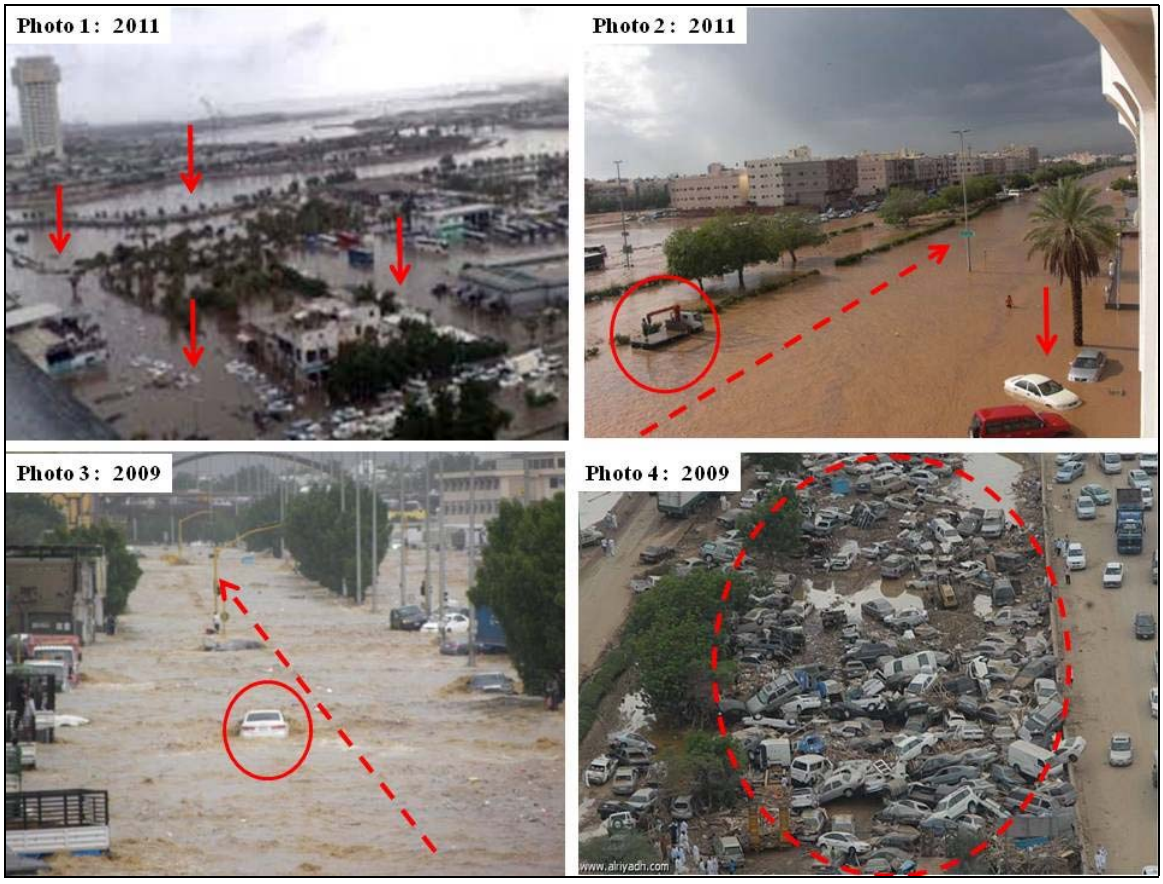
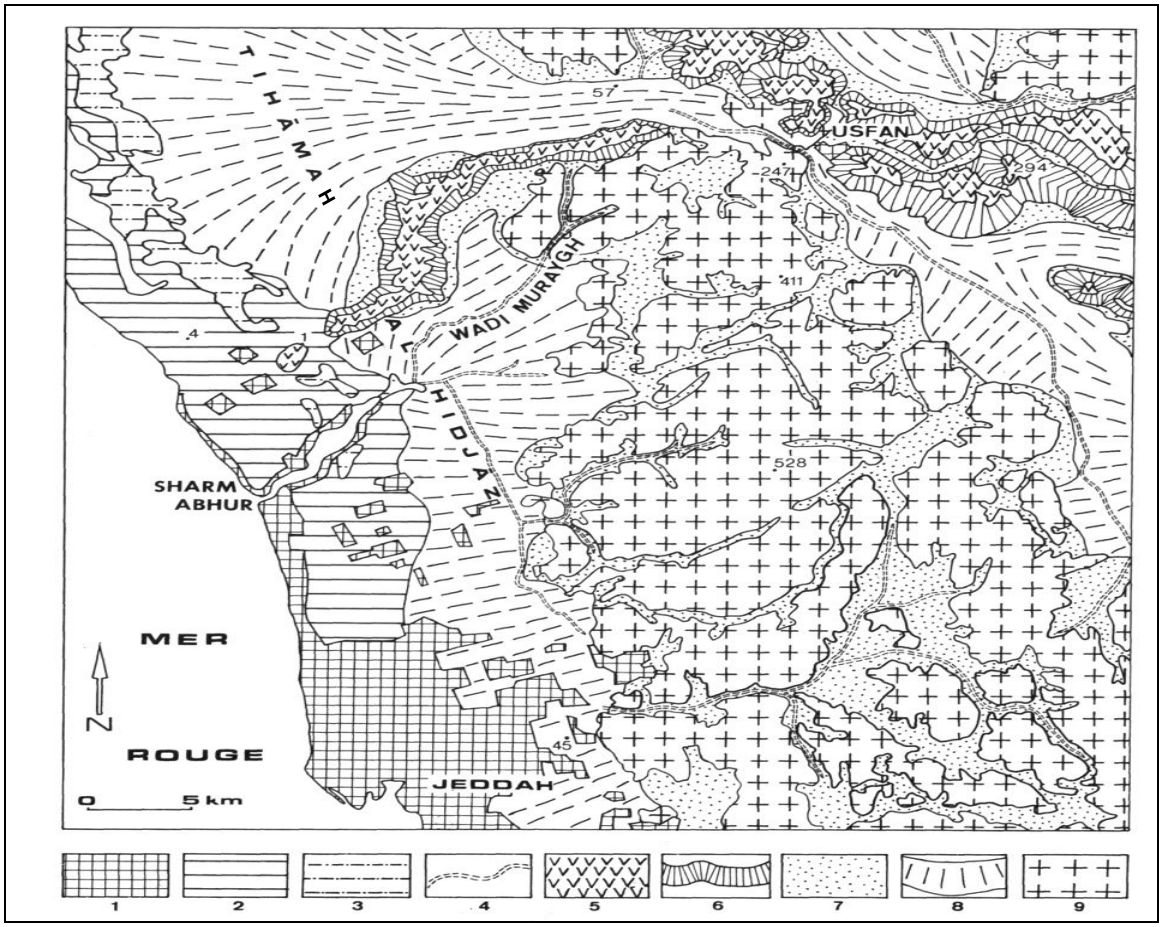


Figure 2: Inondations de 2009 et 2011 *Source : Internet*

ZONE D'ÉTUDE

Djeddah est une ville portuaire dynamique, située dans la région d'Alhijaz, sur la côte de la mer Rouge, développée sur la plaine littorale du Tihamah. Il s'agit du principal centre urbain de l'Ouest (Figure 2). Sa situation géographique sur les anciennes routes commerciales et son statut de port maritime et d'aéroport par lesquels transitent les pèlerins se rendant dans les deux villes saintes La Mecque et Médine en ont fait la ville la plus cosmopolite de toute l'Arabie saoudite. Alors que la population était estimée à près d'un million d'habitants à la fin des années 1970, elle est passée à 1,4 millions en 1986, pour dépasser les 3 millions en 2010 (EWEA, 2010). Elle s'élève aujourd'hui à près de 3.5 millions, avec un taux croissance de 3,5% d'après la municipalité de Djeddah, ce qui représente 14 % de la population de l'Arabie saoudite.



1 : Espaces bâtis **2** : Dalle récifale côtière fossile **3** : Sebkhas côtières **4** : Oueds **5** : Härrat (coulée basaltique) **6** : Versant d'érosion dans alluvions sous les harrâts **7** : Quaternaire alluvial continental **8** : idem en glacis de piémont **9** : Socle précambrien - Les cotes d'altitude sont en mètres.

Figure 3: Environnement géologique de la zone d'étude (d'après MONNIER & GUILCHER, 1993)

CADRE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

D'après Monnier et Guilcher (1993), le cadre morphologique se caractérise par la plaine littorale du Tihamah d'une largeur maximale de 40 km, située au pied des montagnes granitiques précambriennes très disséquées d'Alhijaz dont les sommets atteignent plusieurs centaines de mètres. La plaine est surmontée par une crête de basaltes faisant partie d'un ensemble de coulées dénommées *Harrats* (coulées de lave aujourd'hui en inversion de relief), issues de bouches situées à une centaine de kilomètres à l'intérieur, et remontant au Pléistocène ancien d'après leurs relations stratigraphiques (HACKER *et al.*, 1984 in MONNIER & GUILCHER, 1993). On note l'existence de phénomènes géomorphologiques liés aux variations eustatiques de la mer Rouge pendant le Pléistocène. La stabilité

(ou l'instabilité géologique) de la plaine côtière est liée aux séismes associés à la formation de la mer Rouge. La plupart des failles, des diaclases et des fissures prennent des directions parallèles et orthogonales par rapport à la mer Rouge. Hydrologiquement, il y a 24 bassins versants dans le contexte de la zone inondée. Seize bassins versant sont dirigés vers la ville de Djeddah vers l'ouest et le reste s'écoule dans la direction sud-ouest vers la grande vallée de l'oued Fatimah (AL SAUD, 2010).

La zone d'étude est composée de formations du Précambrien-Cambrien, recouvertes par une succession de roches sédimentaires du Crétacé-Tertiaire et par des coulées de lave basaltique du Tertiaire-Quaternaire et des alluvions quaternaires à récentes (Figure 3).

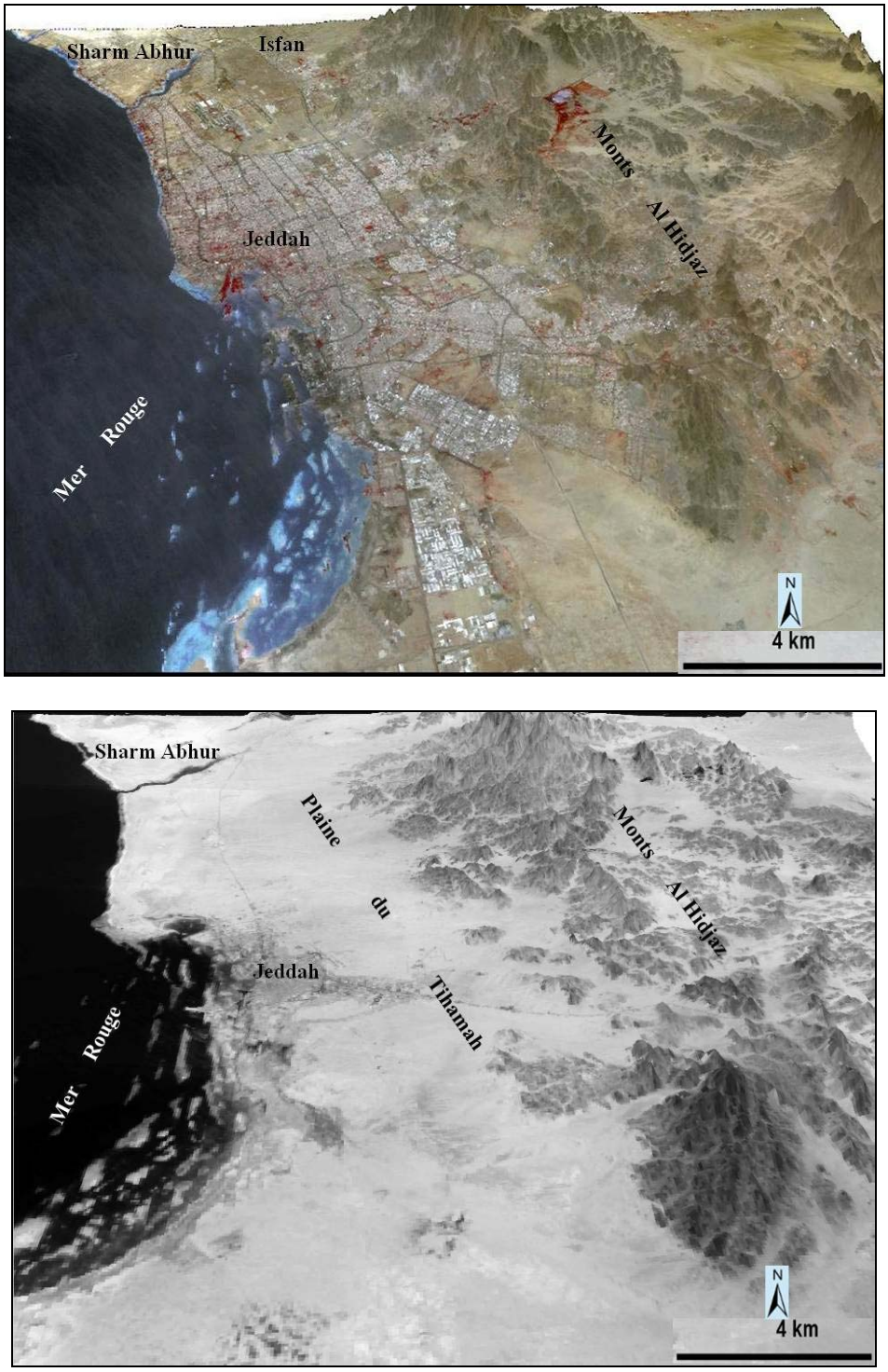


Figure 4: Drapage de l'image SPOT 2010 (en haut) et de la photo CORONA 1972 (en bas) sur le Modèle Numérique de Terrain

Des langues de lave volcanique sont associées aux linéaments et aux anciennes vallées. Ces formations de lave suivent les tracés des paléo-vallées et la direction du mouvement de l'eau. La présence de langues volcaniques et de sédiments du Quaternaire joue un rôle important dans la localisation de la population et des activités anthropiques suite à la présence de sources et de terres meubles et fertiles. Les deltas des oueds littoraux sont affectés par des activités agricoles le long de la plaine côtière de la mer Rouge. La figure 4 montre le contexte géomorphologique et topographique de la ville de Djeddah. Il s'agit d'un drapage de l'image Spot 2010 et de la photo satellite Corona de 1972 sur le MNT SRTM de la zone. Cette figure montre que la ville s'étend sur l'exutoire de plusieurs oueds qui malgré l'urbanisation reprennent leurs anciens cours lors des fortes et intenses précipitations. La situation de 1972 montre que la ville s'est développée sur toute la plaine littorale et au-delà, perturbant l'écoulement normal des eaux.

MATERIELS ET METHODES

La télédétection est un outil crucial pour la recherche des zones de submersion et pour l'évaluation de risques naturels. La présente étude s'appuie sur le traitement des données satellitaires multisources et multidates, complété par des documents cartographiques et des observations de terrain. Ces différentes données ont été intégrées dans le même système de projection cartographique avant de procéder à une série de traitements numériques : digitalisation, composition colorée, amélioration, classifications combinées utilisant la texture des images, fusion. La figure 5 montre les différentes étapes du traitement). Des données statistiques sur la pluviométrie ont également été utilisées.

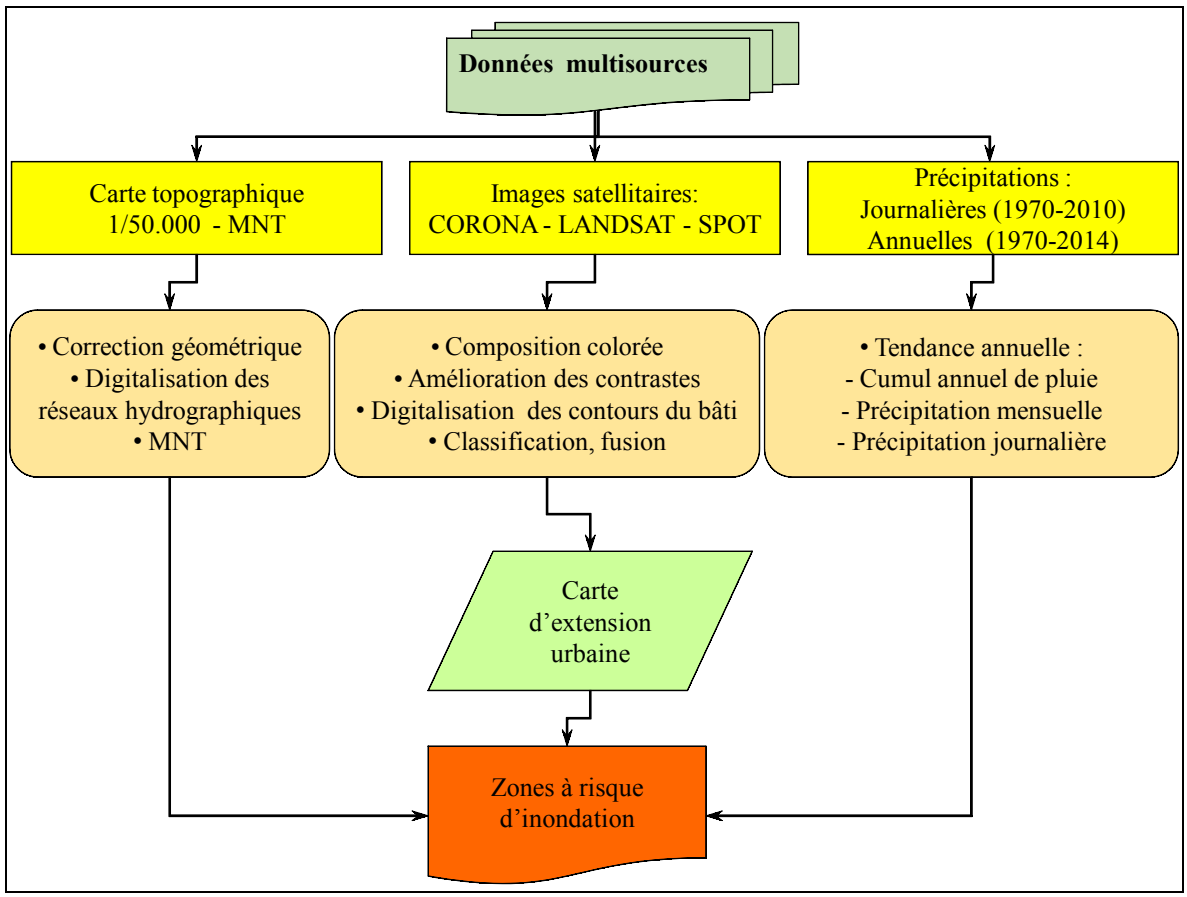


Figure 5: Méthodologie du travail

Notons toutefois que les données utilisées ne permettent pas un suivi immédiat des inondations catastrophiques survenues en 2009 et 2011. L'absence d'informations sur les données de l'intensité et la durée des précipitations ayant causé les inondations, ne permet pas de faire une analyse fine des

conditions pluviométriques. C'est pourquoi nous nous limiterons à une analyse descriptive générale sur la série de données pluviométriques couvrant la période 1970-2014 de la station de Jeddah. Au niveau des données de télédétection, nous n'avons pas trouvé d'images SPOT ni Landsat dans les 3 jours qui ont suivi les inondations, alors qu'au-delà de cette période les traces d'inondations ne sont plus visibles sur l'imagerie satellitaire, comme le montre la figure 6. Nous relevons ainsi que les phénomènes sont aussi violents qu'éphémères. La seule image en notre possession dont la date est proche de l'inondation du 27 janvier est une Landsat ETM+ acquise le 01 février 2011 (Figure 6). Les données à notre disposition permettent néanmoins le suivi et la cartographie des zones les plus vulnérables.

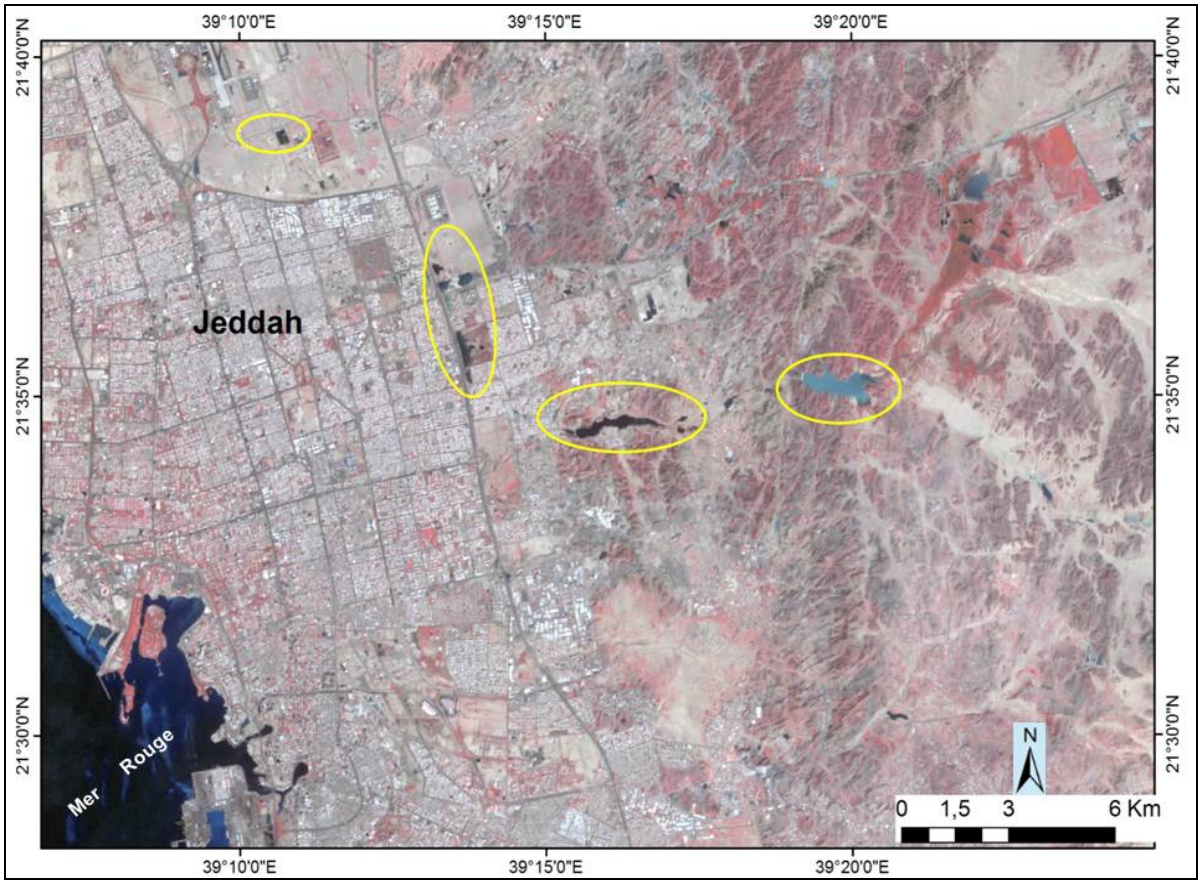


Figure 6: Extrait de l'image Landsat ETM+ du 1er fevrier 2011. On y distingue seulement quelques plans d'eau de faible importance (entourés en jaune)

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Il ressort des figures 7 et 8 que le régime pluviométrique de la zone de Jeddah est caractérisé par une grande variabilité interannuelle marquée par l'alternance entre des années humides (comme en 1996, année durant laquelle on a enregistré 284 mm) et des années complètement sèches comme 1986 (où aucune goutte de pluie n'a été signalée selon les données traitées). Quant à la saisonnalité des pluies, on constate que les précipitations sont hivernales (elles commencent au mois d'octobre et se terminent au mois d'avril, figure 8). Ce sont les caractéristiques typiques du climat des zones tempérées et méditerranéennes. Il ne s'agit donc pas du régime de mousson qui est généralement actif au mois de juillet et septembre. On peut dire aussi que c'est le mois de novembre qui enregistre le maximum de précipitations et pour lequel les services de protection civile doivent être plus vigilants pour prévoir des périodes de crues des oueds et des inondations. L'analyse des précipitations journalières (même si ces dernières ne couvrent pas toute la période) est intéressante. Elle montre que, les précipitations journalières tombées lors de l'inondation de 2009 (70 mm) « Flash flood ou crue éclair » sont les plus importantes en 24h depuis 1979. Cet événement extrême combiné à la croissance urbaine qu'a connu la ville dans cette période, explique la gravité et l'ampleur des catastrophes enregistrées. Les années 70

n'ont pas connu des inondations majeures, malgré de grandes quantités de précipitations tombant (1972, 1973, 1978 et 1979), cela est dû à l'absence de l'expansion urbaine dans cette période dans les zones à risque (lits des oueds). L'année 1996 a connu un cumul annuel exceptionnel, mais n'a pas fait de dégâts car les pluies sont tombées sur plusieurs jours (ALMATHLOUTHI, 2005).

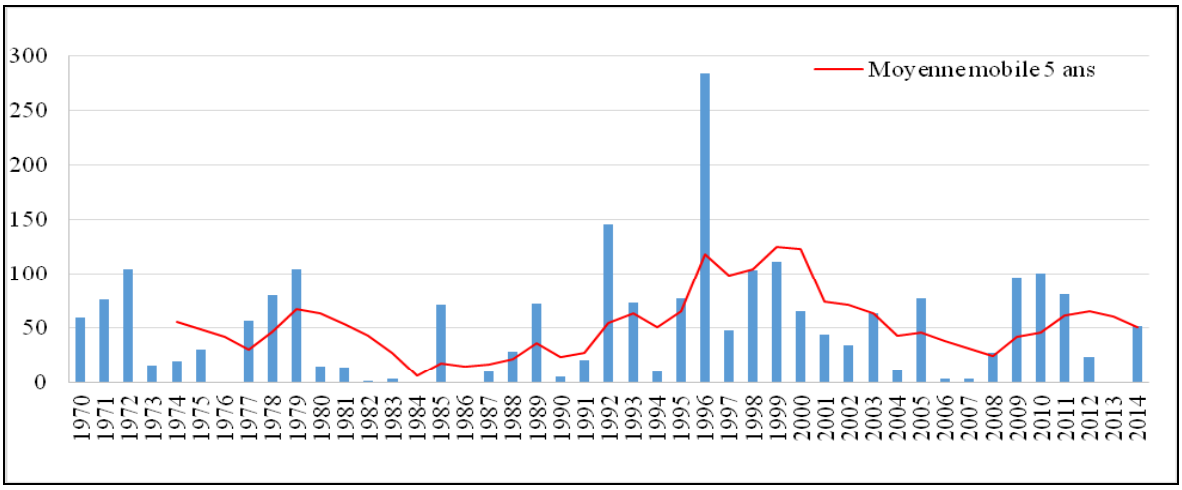


Figure 7: Cumul annuel des précipitations dans la station de Djeddah

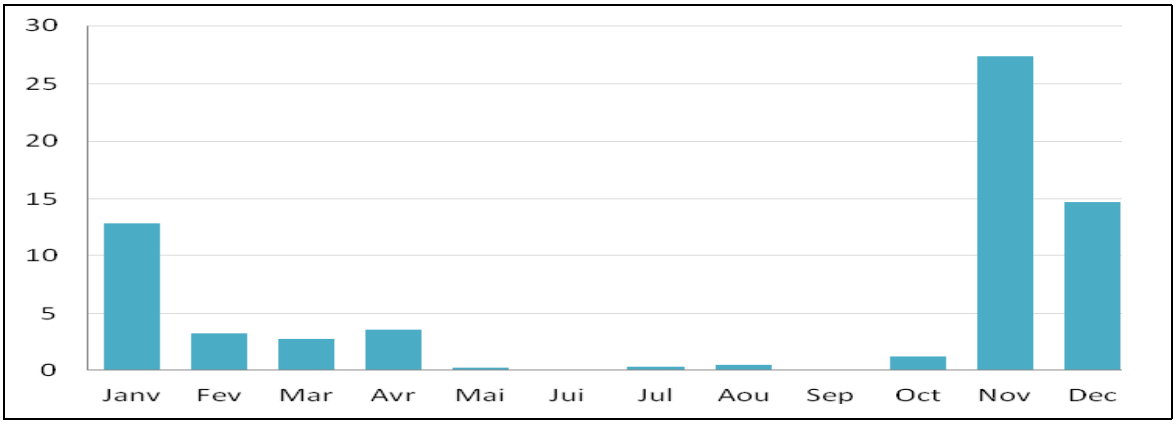


Figure 8: Précipitations mensuelles dans la station de Djeddah (1970-2010)

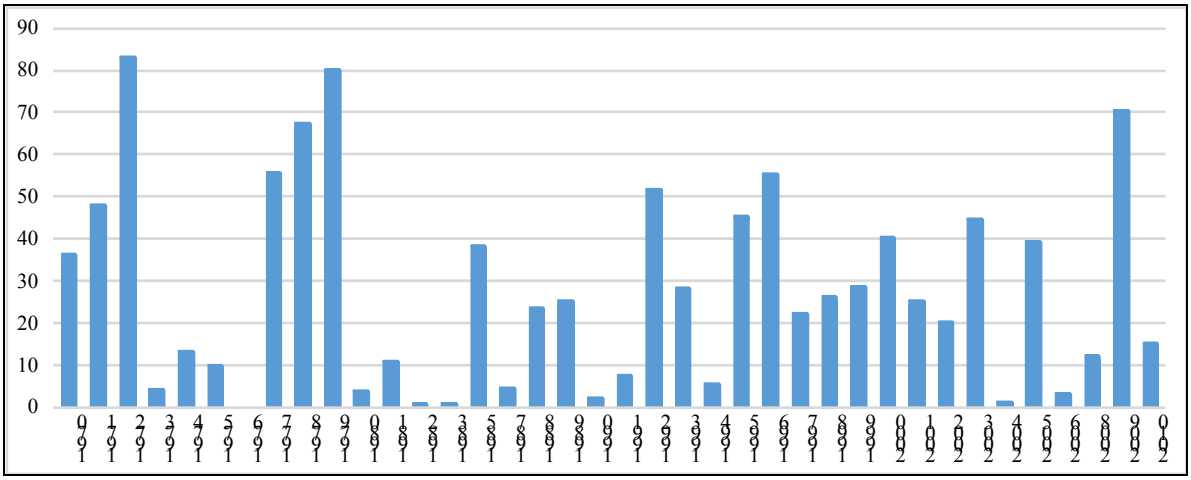


Figure 9: Précipitations journalières dans la station de Djeddah (1970-2010)

Il est clairement apparu que l'Arabie saoudite est située dans de nouvelles tendances climatiques, représentées principalement par des pluies torrentielles. Cela a été évidemment marqué par des événements de catastrophes naturelles fréquentes et plus spécialement des précipitations

intenses sur les différentes parties du territoire (EWEA, 2010). Les catastrophes enregistrées en 2009 et 2011 sont induites par des problèmes d'urbanisation. La ville de Djeddah ne possède pas un système véritablement efficace d'assainissement et d'évacuation des eaux, surtout la partie sud de la ville, les maisons sont localisées dans les lits des oueds et mal construites car ne respectant pas les normes techniques. Les événements pluviométriques significatifs enregistrés ces dernières années et dont on a beaucoup parlé dans les médias sont ceux du mois de janvier 2011 « 75.9 mm », décembre 2010 « 65,6 mm » et novembre 2009 « 70 mm » (Figure 9).

Nous soulignons que la pression anthropique a aggravé l'ampleur et l'étendue des inondations, en particulier le phénomène d'extension urbaine le long des cours d'eau dans leur cours inférieur « exemple : oued Assir, oued Al Asla » (Figure 13), où les constructions ont été fondées récemment sans tenir compte de toute évaluation de la vulnérabilité en dangers naturels. Il est recommandé d'appliquer des études similaires pour l'évaluation des risques d'inondation en Arabie saoudite en suivant la même méthode appliquée dans cette recherche.

Figure 10 : Extension urbaine le long des cours, inondation 2009
(image Ikonos, d'après AL SAUD, 2010).

Les constructions en zone littorale aboutissent à une destruction de l'environnement. La mer existe en tant qu'espace à soumettre à l'organisation des loisirs. La population n'a aucun sens du milieu littoral de sorte que c'est une politique d'éducation, visant à valoriser l'image du milieu et à en montrer la nature et l'intérêt qui pourrait contribuer efficacement à arrêter la destruction de la nature (MONNIER & GUILCHER, 1993). L'impact de l'urbanisation et la délimitation de son extension constitue l'une des préoccupations fondamentales de la gestion et de l'aménagement de l'espace. Le périmètre urbain est une donnée essentielle en analyse pour la détermination de la croissance périphérique des grandes villes et pour mettre en évidence le choix de la localisation de nouvelles constructions (TONYE *et al.*, 1999 *in* OULD SIDI CHEIKH *et al.*, 2007).

Depuis environ 1980, un impact accéléré de construction de bâtiments, de routes, installations portuaires et aires récréatives a affecté la zone urbaine de Djeddah. La superficie de la ville est passée de 6200 ha en 1966, à 9500 ha en 1972 et à 68500 ha en 1990 ; elle a atteint 100 000 ha en 2010 (Figure 12). La croissance de la ville se fait surtout vers le nord le long de la plaine du Tihamah ; l'expansion urbaine initialement anarchique est aujourd'hui planifiée. Les premières mesures à adopter seraient d'ordre législatif avec une réglementation des dispositifs privés et publics de l'utilisation de l'espace et des activités.

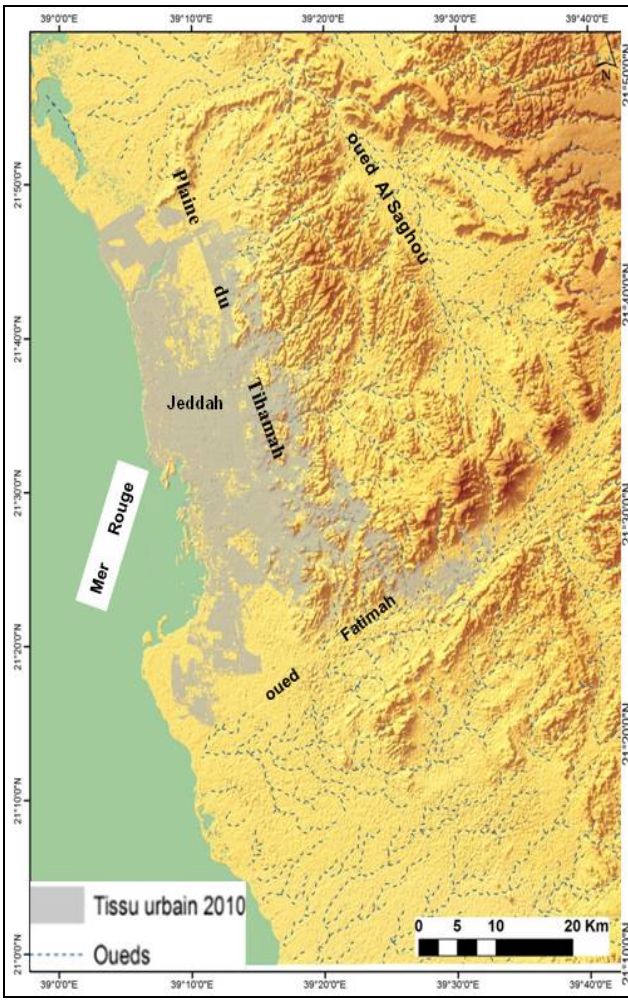


Figure 11: Tissu urbain 2010 le long des cours d'eau dans leur partie aval de la zone d'étude

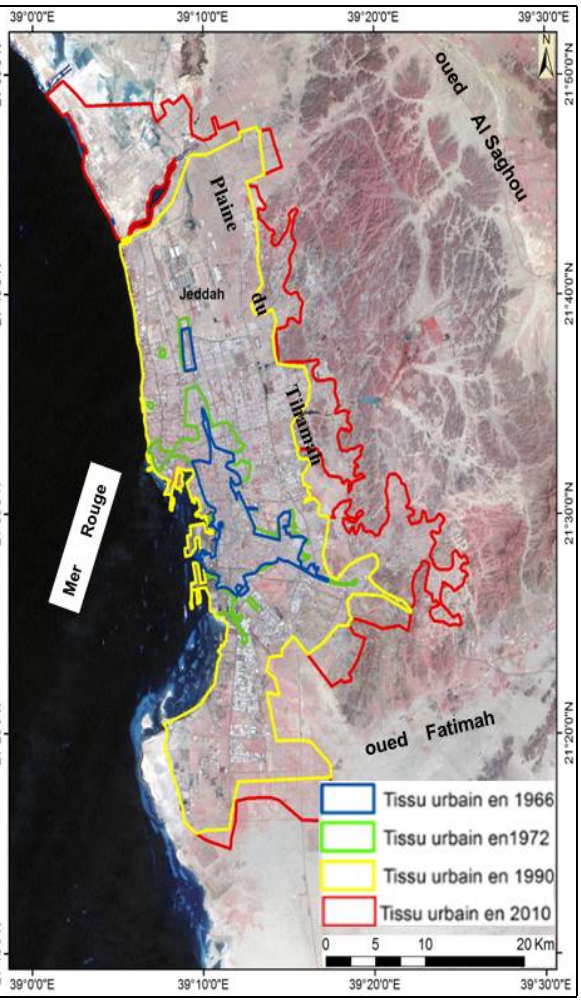


Figure 12: Extension urbaine de la ville de Djeddah entre 1966 et 2010 (fond d'image Landsat 2010)

La délimitation des zones à risques a été établie par une analyse spatiale. La carte a été réalisée en combinant les couches de zones d'extension urbaine, et du réseau hydrographique (Figure 13). L'approche d'identification des zones inondées à partir d'images satellitaires a été essentiellement appliquée suivant l'interprétation visuelle directe et une vérification sur le terrain. Par conséquent, une carte montrant les zones à risque avec différents niveaux de dommages a été produite. Pour cela, nous avons identifié trois zones de risques d'inondations : la première zone, représente le risque très élevé, désigne la bande de contact direct entre les oueds et le tissu urbain, la deuxième zone présente un risque élevé, qui regroupe les zones voisines de la première, au niveau de la troisième zone, le risque modéré, elle est localisée dans les secteurs limitrophes à la 2eme zone. La carte proposée est le résultat d'un travail de synthèse qu'il faudrait toutefois compléter et valider pour l'ajuster et prendre en compte d'autres facteurs de vulnérabilité. Cette recherche pourrait donc servir comme outil d'aide à la décision et constituer un document de réflexion pour un aménagement du territoire rigoureux de la ville de Jeddah. Le renforcement du cadre législatif est une nécessité à l'heure actuelle pour une gestion appropriée des risques naturels.

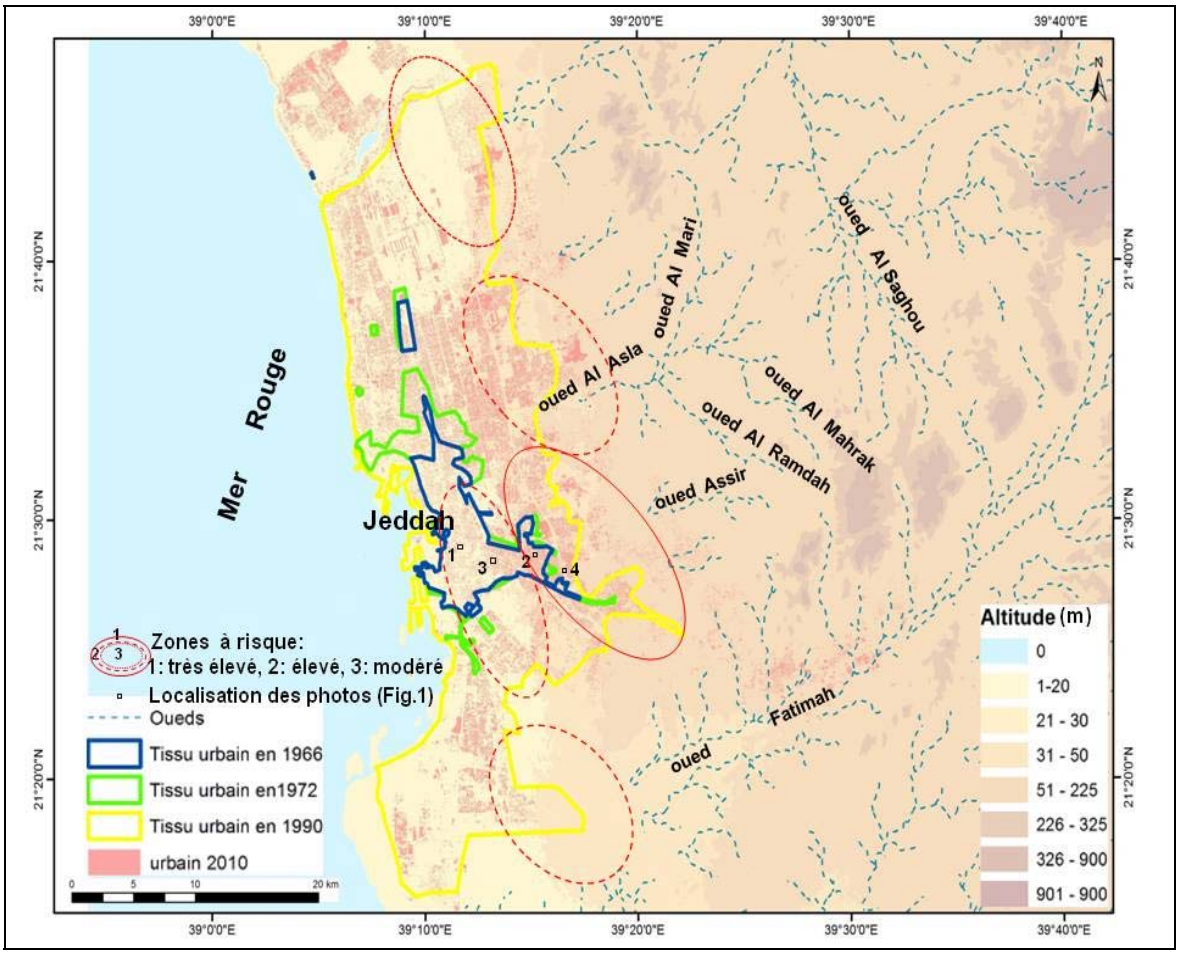


Figure 13: Zones à risque d'inondation

CONCLUSION

La présente étude spatiale du risque d'inondation a abouti à l'établissement d'un profil d'aléas bidimensionnel sur les plans naturel et sociétal. Elle a permis de produire plusieurs informations qui peuvent être valorisées et utilisées dans le cadre d'un système d'information géographique pour le suivi des risques naturels de la ville de Jeddah. La vulnérabilité du secteur d'étude face au risque d'inondation semble avoir fortement augmenté suite à l'extension anarchique du tissu urbain. Pour palier à un tel risque, des travaux d'aménagement et d'organisation de l'espace géographique se révèlent nécessaires. En ce qui concerne l'état sur les risques d'inondations à Djeddah, l'étude a montré qu'en combinant des données multisources et multidates, il est possible d'obtenir une bonne estimation de zones vulnérables au risque d'inondation, suivies et validées par une vérité de terrain.

REMERCIEMENTS

Mes vifs remerciements à Monsieur André Ozer, Professeur à l'Université de Liège, pour son appui et son soutien pour réalisation de ce travail présenté au Colloque Inaugural de l'Association Francophone de Géographie Physique tenu les 29-30 septembre 2014 au Département de Géographie, Université de Liège. Mes sincères remerciements aussi à mon collègue chercheur Abdoul Niang, Professeur assistant à l'Université d'Umm Al-Qura, Arabie saoudite, pour les traitements des données et la lecture de ce manuscrit. J'exprime aussi ma gratitude à mon collègue Abderrazak Belabes, Professeur associé à l'Université du Roi Abdulaziz, Jeddah, pour la deuxième lecture du texte.

REFERENCES

ALMATHLOUTHI, S., 2005. Fortes pluies dans la ville de Jeddah en Arabie saoudite, causes et conséquences. Revue de l'Association des géographes tunisiens, 17, 7-18 (en arabe).

AL SAUD, M., 2010. Assessment of Flood Hazard of Jeddah Area 2009, Saudi Arabia. *Journal of Water Resource and Protection,* 2, 839-847

AL SULAMI, M., 2010. La transformation socio-spatiale à Djeddah (Arabie saoudite). *Thèse de doctorat en Géographie*, Université Paris IV - Sorbonne, France, 563p.

EWEA, H.A., 2010. Hydrological Analysis of Flooding Wastewater Lake in Jeddah, Saudi Arabia. JKAU: Met*., Env. & Arid Land Agric. Sci.,*. 21, 125-144.

HACKER, P., HÖTZL, H., MOSER, H., RAUERT, W., RANNER, F.& ZÖTL, J.G., 1984. Region around Jeddah and its hinterland : geology, geomorphology and climate, *in* Jadd and Zötl J.G., Quaternary period in Saudi Arabia. *Vienne-New York, Springer,*. 2, 107-122.

MOMANI, N. & FADIL, A., 2010. Changing Public Policy Due to Saudi City of Jeddah Flood Disaster. *Journal of Social Sciences* 6, 424-428.

MONNIER, O. & GUILCHER, A., 1993. Le Sharm Abhur, ria récifale du Hedjaz, mer Rouge: géomorphologie et impact de l'urbanisation. *In: Annales de Géographie.* . 102, 569,. 1-16.

OULD SIDI CHEIKH, M. A., OZER, P. & OZER, A., 2007. Risques d'inondations dans la ville de Nouakchott (Mauritanie). *Géo-Eco-Trop,* 31: 19-42.