

Utilisation des systèmes d'information géographique et des modèles hydrologiques pour l'extraction des caractéristiques physiques du bassin versant d'Assaka (Guelmim, sud du Maroc)

[The use of geographic information system for the extraction of physical characteristics of assaka watershed: sub-basins of sayed and oum laachar wadis (southern Morocco)]

Nezha El Mahmoudi¹, Mohammed El Wartiti¹, Samira Astite Wissem², Souad Kemmou¹, and Samira EL Bahi³

¹Laboratoire de géologie appliqué, Faculté des sciences, Université Mohammed V, Agdal Rabat, Maroc

²Laboratoire de Recherche et d'études en Aménagement,
Faculté des sciences de la terre,
Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Alger, Algérie

³Centre de recherche Forestière, Agdal, Rabat, Maroc

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 order to establish a flood hazard and flood risk maps of Guelmim city (south of Morocco), physical characteristics evaluation of the Assaka watershed proves primordial; mainly the Sayed and Oum Laachar wadis sub-watersheds. In the end of 2014, the Assaka basin with its main affluents Sayed and Oum Laachar wadis were subject to floods causing huge human and material damages. The methodological approach is based on the use of Geographic Information System ArcGIS and spatial hydrological models, HEC-GeoDozer and HEC-GeoHMS, for the treatment of a field digital model (Modèle Numérique de Terrain : MNT) to extract the physical characteristics of both sub-watersheds. The data obtained will provide an important basis for the elaboration of a hydrological model; an easy tool for decision-makers for the management of the Sayed and Oum Laachar wadis and the prevention against their flooding.

The final result of the GIS processing is a spatial hydrologic database containing a very dense hydrographic network of the two basins and a variable slope, strong at the edge of the basin and lower in the plain of Guelmim, which favors the rainwater accumulation and the wadis overflow during floods.

KEYWORDS: risk, floods, hydrological models, watershed, Guelmim.

RESUME: Dans une perspective d'établir une carte de l'aléa inondation et une autre préventive de risque à l'inondation de la ville de Guelmim (située au sud de Maroc), une évaluation des caractéristiques physiques du bassin versant d'Assaka ; principalement sous bassins versant de oued Sayed et oued Oum Laâchar ; s'avère primordiale. Durant la fin de l'année 2014, Le bassin d'Assaka avec ses principaux affluents oued Sayed et oued Oum Laâchar a été sujette à des inondations causant des dégâts humains et matériels non négligeables. L'approche méthodologique est basée sur l'utilisation du Système d'Informations Géographiques ArcGis et des modèles hydrologiques spatialisés HEC-GeoDozer et HEC-GeoHMS pour le traitement d'un Modèle Numérique de Terrain MNT afin d'extraire les caractéristiques physiques des deux sous bassins versants. Les données obtenues constitueront une base importante pour l'élaboration d'un modèle hydrologique ; outil facile pour les décideurs des politiques publiques pour l'aménagement des oueds Sayed et Oum laâchar et la prévention contre leur inondation dans cette région hostile climatiquement.

Le résultat final du traitement du SIG est une base de données hydrologique spatiale, contenant un réseau hydrographique très dense des deux sous bassins et une pente variable ; forte en bordure du bassin et faible dans la plaine de Guelmim, ce qui favorise l'accumulation des eaux de pluies et le débordement des oueds lors des crues.

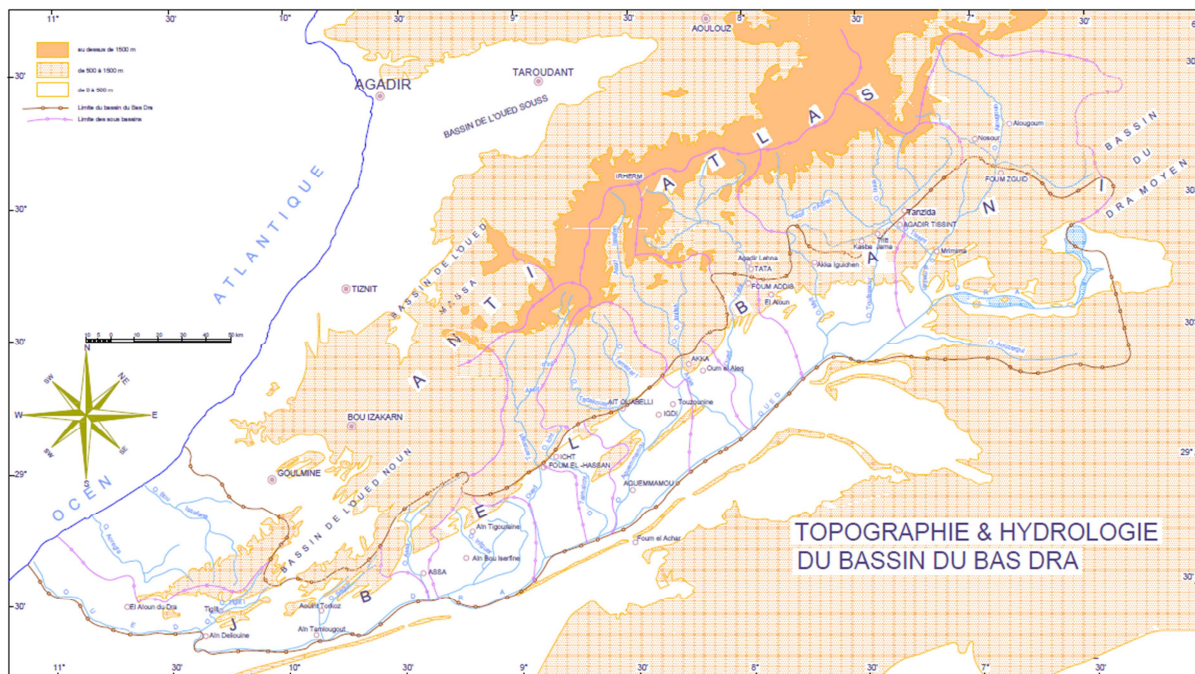
MOTS-CLEFS: risque, inondation, modèles hydrologiques, bassin versant, Guelmim.

1 INTRODUCTION

Certains impacts inattendus du changement climatique commencent à devenir apparents à l'échelle régionale partout dans le monde. Ainsi par exemple, au cours de ces deux derniers siècles, le nombre des inondations prenant la forme de crues dévastatrices augmente plus vite que celui des autres catastrophes [1]. Le développement rapide modifie les écosystèmes locaux, accroissant les risques d'inondation. Le manque de systèmes de drainage adéquats, les constructions sauvages qui empiètent sur les cours d'eau, la réduction des espaces verts et l'insuffisance de la planification ont rendu de nombreuses villes vulnérables aux crues soudaines [2]. Le Maroc n'est pas à l'abri de ces considérations. En effet, les sécheresses récurrentes y règnent depuis plusieurs années, en particulier dans les confins sahariens méridionaux ponctuées de temps à autre par des orages brusques et destructeurs provoquant des crues dévastatrices, ce qui a suscité très tôt une prise de conscience du danger que représentent les perturbations du climat. Le Maroc a enregistré pas moins de 35 épisodes d'inondations entre 1951 et 2015. Les crues soudaines sont capables de transformer les lits secs des «Oueds» en torrents violents et destructeurs [3]. Pour faire face à cette situation, des programmes d'adaptation ont été mis en œuvre, notamment dans les secteurs les plus vulnérables. Cependant les mesures prises restent insuffisantes dans certaines régions du pays, tel est le cas de la région de Guelmim qui, en dépit des efforts consentis par les différents acteurs du pouvoir public (Agence de Bassin Hydraulique de Souss Massa Draa ABHSM, Ministère de l'environnement, les collectivités locales) en matière d'aménagement et de prévention de risque naturel, a été sujette à des inondations sans précédents en novembre 2014.

2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

2.1 GÉOMORPHOLOGIE ET GÉOLOGIE :



La plaine de Guelmim (Latitude : 28.97 0'0" nord et Longitude : -10.71° 0'0" ouest), couvrant une superficie de 10240 Km², fait partie de la chaîne de l'Anti-Atlas occidental et plus précisément du grand bassin hydraulique du Bas Draa.

De point de vue morphologique, elle se présente sous forme d'un synclinorium, dont le centre est représenté par le Jbel Tayert, et dont les bordures sont constituées au Nord-Est par les plateaux d'Akhssas, au Nord-Ouest par les premières chaînes du môle d'Ifni, au Sud par le Jbel Taïssa, se continuant vers l'Ouest et le Sud-Est par les zones synclinales ouvertes vers Tan-Tan et le Bani [4],[5]. La plaine de Guelmim est subdivisée en plusieurs dépressions ou Feijas dont les plus importantes sont:

- la grande «Feija interne» de Guelmim-Bouizakerne qui suit la retombée sud des calcaires primaires de l'Anti-Atlas ; elle va en s'élargissant d'Est en Ouest, jusqu'à atteindre 7 à 10 Km dans la vallée de l'oued Oum Al Achar, entre le massif d'Aït Ba Amrane et le Jbel Tayert ; son altitude varie de 600 m au nord à 200 m au sud ; au centre, la vallée de l'oued Seyyad-Querguennoun, constituée de massifs précambriens et géorgiens, forme une «Feija externe» large de 5 Km en moyenne ;
- au Sud-ouest, le flanc nord du Jbel Guir-Taïssa, où apparaissent des gouttières étroites et parallèles entre les crêtes quartzitiques de la partie supérieure de l'Acadien et celles de l'Ordovicien des Aït Lahcen, atteignent 350 à 550 m d'altitude. [6],[7].

Sur le plan géologique, la succession stratigraphique des formations de la région de Guelmim est relativement connue grâce aux plusieurs forages [5], aux études géophysiques dans la plaine [8], et à travers les affleurements de surface décrits par plusieurs auteurs. Les formations géologiques rencontrées s'étendent depuis le Précambrien jusqu'au Quaternaire. Tous les terrains constituant les hauteurs sont d'âge Précambrien ou cambro-silurien, ils sont constitués de dolomie, calcaire, marne et schiste ; alors que la plaine est en général constitué par des dépôts de couverture plio-quaternaire surmontant les schistes acadiens du substratum.

2.2 CLIMAT ET HYDROLOGIE DE SURFACE

Ce qui est trait au climat, La région Guelmim est caractérisée par un climat désertique aride à semi-aride. La température moyenne annuelle est de 19 °C. Les totaux pluviométriques annuels généralement arrivent jusqu'à 145 mm [9], mais avec une irrégularité aléatoire très importante, entre 15 mm et 300 mm. La répartition des précipitations dans l'année montre deux saisons, sèche d'Avril à Septembre et humide de Novembre à Mars. La plupart des précipitations tombe en Décembre, avec une moyenne de 26mm. Le mois le plus sec est Juin avec environ 1mm. Les précipitations varient fortement d'une année à l'autre, alternant plusieurs années de sécheresse et des années à fortes précipitations à l'origine d'inondations importantes mobilisant d'énormes charges solides et de grandes quantités de sédiments limoneux en suspension (figure 2). Ces inondations ne se produisent que lorsque les dépressions cycloniques atteignent cette région du sud [10]

Le bassin de Guelmim est constitué de 3 bassins versants : le bassin versant d'oued Bouissafen, le bassin versant de l'oued Aoréora et le bassin versant d'oued Assaka.

Le bassin d'Assaka s'étend sur 6500 à 7000 km² et se développe sur le versant sud de l'Anti-Atlas qui jouxte le domaine saharien. Le réseau hydrographique est composé par 4 sous-bassins versants des oueds principaux suivants :

- Oum Laâchar prend naissance au nord de l'Anti-Atlas et a une longueur de 62 km, son bassin versant est d'une superficie de 930 km². Ses principaux affluents sont situés dans les plaines.
- Oued Seyad coule à partir du versant sud de l'Anti-Atlas Il reçoit de nombreux affluents à sa rive droite. Les plus importants sont : Kelmt, Tanzirt, Taouimarht, Ifrane, Ben Rhezrou et Oum Achar. La direction de son écoulement est Est-Ouest sur toute sa longueur, la superficie de son bassin versant est 3175 km² avec une longueur de 147 km. Les barrages mis en œuvre pour la dérivation des eaux de crue de ces oued sont Ait Ahmed, Ait Messaoud, Ait M'Hand, Umm Aghanim et Ouaroun,
- Oued Querguennoun draine la zone sud de l'Anti-Atlas, son bassin est d'une superficie de 2240 km² avec une longueur de 143 km.
- Oued Assaka se décharge dans l'Atlantique, alimenté par la confluence de trois Oueds: Oum Achar El Sayed et Querguennoun, drainant une superficie de 6500 km²[11] [12], traverse l'extrémité sud du Massif Ifni dans une étroite incisée gorge rocheuse d'environ 21 km avant de sortir dans l'océan Atlantique à Fom Assaka

Notre étude est focalisée sur les deux sous bassins des oueds Oum laâchar et Oued sayed. Ces deux oueds par leur débordement ont causé des dégâts humains et matériels importants lors des inondations de novembre 2014.

2.3 HISTORIQUE DES INONDATIONS À GUELMIM

Durant ces 45 dernières années, les inondations importantes ayant affecté la région de Guelmim sont celles des années 1968, 1985, 2010 et 2014. Ces inondations ont causé des dommages considérables. Par exemple les pluies diluviennes qui se sont produites entre le 20 et le 30 novembre 2014 ont été marquées par des intensités exceptionnelles. Plusieurs records (journaliers ou mensuels) ont été battus. Sur l'axe Guelmim-Sidi Ifni, entre le 20 et le 30 novembre, au total 10 jours de pluie ont été enregistrés. Au 28 novembre, le record des précipitations journalières a été battu avec 39 mm de pluie à Guelmim. Le maximum des précipitations cumulées est 224 mm de pluie [3]. Ce qui a engendré des crues catastrophiques et exceptionnelle des cours d'eau, particulièrement l'oued Sayyed débit et l'oued Oum Laâchar. Durant la période 28 au 30 novembre 2014, le débit instantané maximal a atteint $916\text{m}^3/\text{s}$ (29-11-2014) pour d'oued Sayed, et $980\text{m}^3/\text{s}$ (28-11-2014) pour l'oued Oum Laâchar. Le bilan humain de ces inondations a été lourd, La ville de Guelmim et ses environs a été la plus touchée avec 32 décès. Les dégâts matériels sont importants (ponts détruits, routes détruites, pertes de bétail, des maisons effondrées partiellement ou totalement).

3 MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le comportement hydrologique global d'un bassin versant notamment, son régime des écoulements en période de crue dépend, en plus des conditions climatologiques, de ses propriétés géométriques. Pour cette raison, nous décrivons dans cet article, les caractéristiques physiques du bassin d'Assaka pour en comprendre le fonctionnement hydrologique sous un climat hostile présaharien.

La méthodologie suivie pour déterminer les paramètres physiques du bassin avec un maximum de précision consiste à l'utilisation du Système d'information géographique (SIG) ArcGis version 13 et des modèles hydrologiques spatialisés, HEC-GeoDozer version 1.0 et HEC-GeoHMS version 10.0, élaborés par US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. Ces deux modèles sont utilisés pour le traitement d'un MNT de 30 m de la région de Guelmim et l'extraction du réseau hydrographique et des bassins versants situés dans la zone d'étude. Les différentes étapes suivies dans l'élaboration de ce travail sont:

1. Collecte et géo référencement des données sous le SIG ArcGis : Une collecte des données a été faite pour les besoins de cette étude (cartes topographiques de Sidi Ifni et Guelmim au 1/100.000, un MNT SRTM de 30m de résolution, et un fichier numérique des grands bassins versants du Maroc), ces données ont été rassemblées et géoréférencées sous ArcGis.
2. Traitement du MNT à l'aide du modèle hydrologique HEC-GeoDozer sous ArcGis [13] : cette étape consiste à la correction hydrologique du MNT de la zone d'étude afin d'être utilisé sous HEC-GeoHMS, car ce dernier exige le traitement d'un MNT net et complet (corrigé hydrologiquement).
3. Traitement du MNT et extraction des caractéristiques physiques des bassins versants et du réseau hydrographique à l'aide du modèle hydrologique HEC-GeoHMS sous ArcGis [14] : Elle consiste au traitement du MNT pour l'extraction du réseau hydrographique et des bassins versants de la zone d'étude. Le résultat final de traitement du SIG est une base de données hydrologique spatiale, contenant le réseau hydrographique et les bassins versants ainsi que leurs caractéristiques physiques.

4 RESULTATS ET DISCUSSION DES DOCUMENTS SCIENTIFIQUES REALISES

L'outil hydrologique géospatial HEC-GeoDozera permis de produire un MNT hydrologiquement correct (Figures 3 et 4) en identifiant et comblant les vides (zones à données manquantes).

Après la correction du MNT, une série de traitement de données de terrain a été effectuée par le modèle hydrologique Hec GeoHMS sous le SIG Arc GIS pour la délimitation du bassin versant d'Assaka) ses sous bassins principalement les sous bassins d'Oued Sayed et Oum laâchar (figures 5) et la description du réseau de hydrographique (figure6) . Ces étapes sont suivies par le calcul et l'extraction des caractéristiques topographiques (altitude, pente) (figure 7et 8). Ces deux paramètres sont des facteurs importants pour comprendre le fonctionnement hydrologique du bassin. En effet, ils influencent les vitesses d'écoulement et l'allure de l'hydrogramme de crue, additionnées à l'effet de la rugosité du profil pédologique.

Le bassin versant d'Assaka comporte un relief plus accidenté dans sa partie nord-est. L'altitude varie entre 0 m à 200 m à l'ouest (côte atlantique) à plus de 1200 m dans les zones montagneuses (figures 4et 8). Les dépressions et les larges vallées à fond plat sont situées entre 200m et 400 m d'altitude. La carte des pentes (figure 7) montre des valeurs comprises entre 0 et plus de 60° et sont rangées en 5 classes. La pente du bassin diminue du nord-est vers le sud-ouest. Les pentes faibles et

douces à modérées (<20%) recouvrent de vastes surfaces. L'analyse morphométrique montre que les vallées larges et les dépressions situées à des altitudes entre 250m et 300m, les zones tabulaires (pente faible) (figures 4 et 8) sont susceptibles à des inondations qui les gagnent facilement. En effet, les pentes raides des reliefs montagneux à couverts végétaux discontinus ainsi que celles des collines et des monts éparses de la plaine de Guelmim favorisent, surtout en épisodes pluvieux ponctuels de fortes intensités, des écoulements violents de crue transportant les charges solides ces vallées et dépressions qui constituent des milieux de dépôt.

L'automatisation de l'extraction du réseau hydrographique à partir du MNA, remontant aux années 80 [15], représente actuellement une application fondamentale pour toutes analyses d'aide à la décision. Dans le cadre de cette étude, nous avons donc, retenu la limite automatique des sous bassins versants extraite ainsi que leurs réseaux hydrographiques à partir du MNT (figure 5 et 6). La densité de ramification du réseau hydrographique est importante surtout dans les versants du massif de Bani au niveau du sous bassin versant d'oued Sayed. Elle reflète l'importance, la violence et la durée des crues [7]. en cas des orages ou des précipitations homogènes. La partie nord de ce sous- bassin, en particulier à la hauteur de Timoulay Bouisakrne, le réseau hydrographique est moins concentré. Quant au sous-bassin versant d'oued Oum Laâchar, le réseau hydrographique est moins ramifié. En effet, les terrains constituant ce bassin sont de nature perméable, dominés par des roches karstifiées à grande porosité composées de calcaires et de dolomies, ce qui favorise l'infiltration aux dépens de ruissèlements.



Figure 1 : Photos montrant le centre de la ville de Guelmim inondé (novembre 2014)

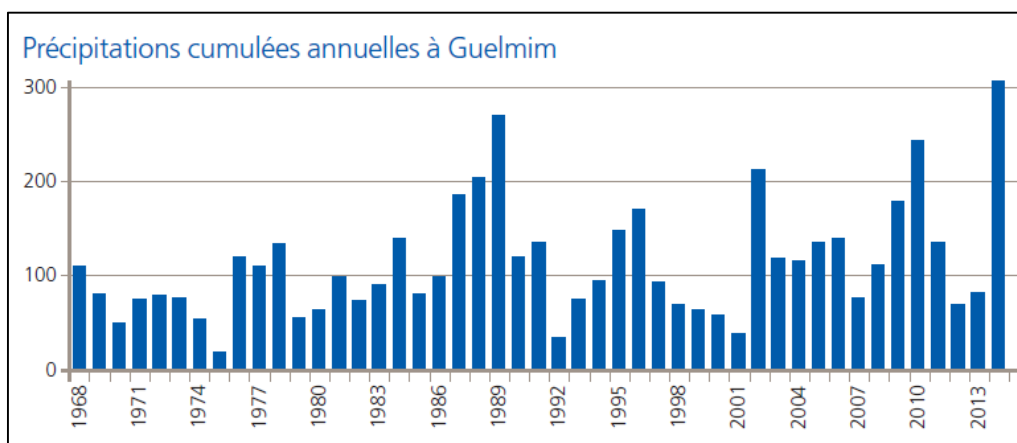


Fig.2 : Les précipitations cumulées annuelles historiques à Guelmim sur les 45 dernières années (Zurich et Targa Aid, 2015)

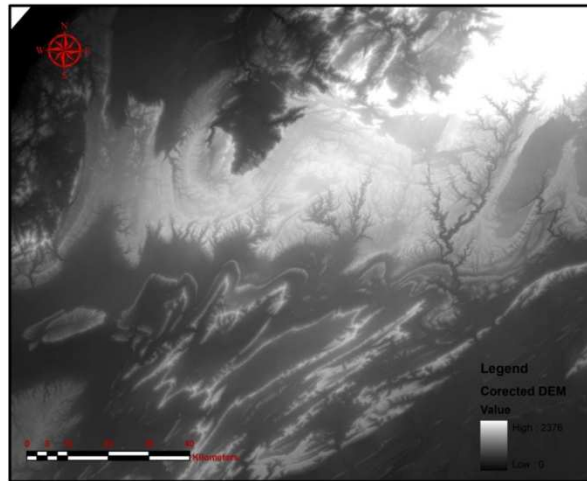


Fig.3 : MNT hydrologiquement corrigé de la région d'étude

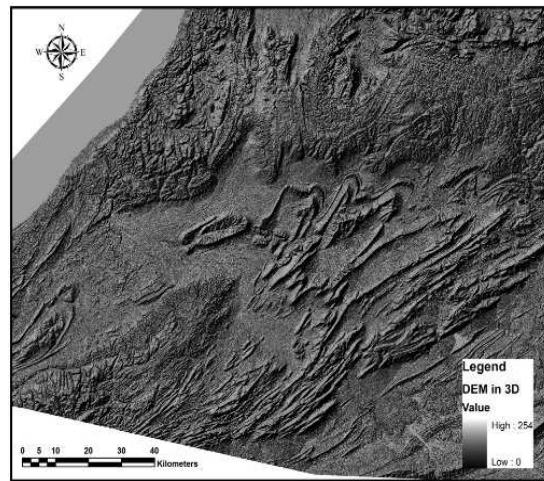


Fig.4 : MNT en vue 3D de la région d'étude

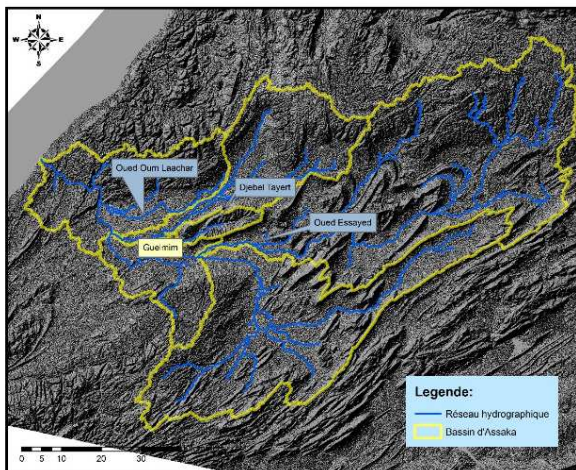


Fig. 5. : Délimitation des Sous bassins du bassin versant d'Assaka

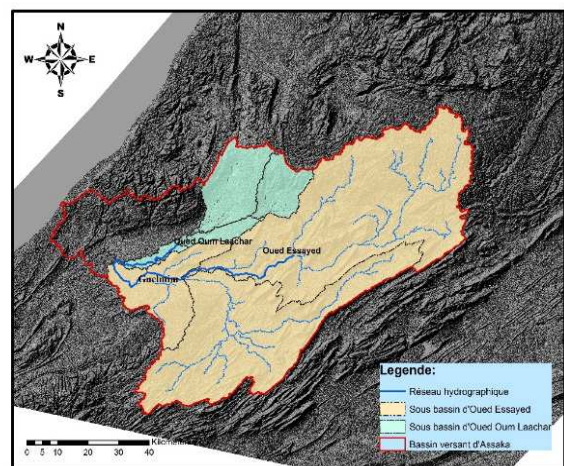


Fig. 6 : Définition du réseau hydrographique

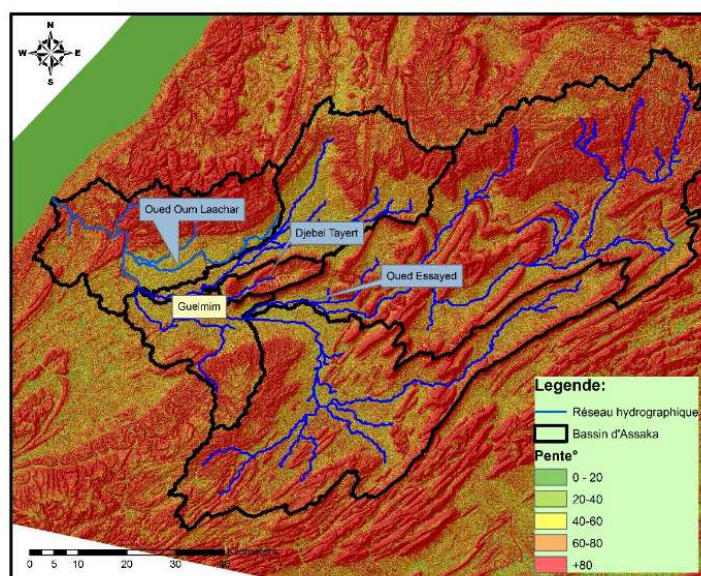


Fig.7: Carte des pentes exprimées en en degrés dans le bassin d'Assaka Sous

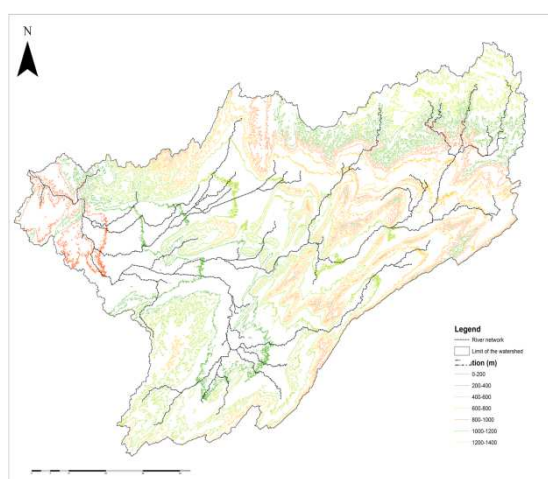


Fig.8 : Carte des altitudes élaborée à partir de Model digital du terrain de la zone d'étude

5 CONCLUSION

L'extraction des caractéristiques physiques d'un bassin versant est désormais possible à l'aide du traitement du MNT par Arc Gis et des modèles hydrologiques tels que le HEC-GeoDOzer et le HEC GeoHMS. La valeur ajoutée de ces modèles élaborés, est la délimitation des deux sous bassins Oum laâchar et Oued Sayed et Le calcul les paramètres topographiques des deux sous bassins et leurs réseaux hydrographiques ainsi que le sens de l'écoulement des eaux.

Cette méthode d'extraction des caractéristiques physiques du bassin donne des résultats bien répartis spatialement, facile à utiliser et simple dans leur mise à jour et applicable à divers types de prévention de risque dans ces milieux physiques présahariens.

Ces données peuvent être aussi utilisées dans la cartographie des zones jugées vulnérables à risques d'inondation de la ville de Guelmim et l'estimation des paramètres hydrologiques à prendre en considération directe selon l'axe désertique reliant Guelmim - Tata - Zagora.

REFERENCES

- [1] GREENFACTS, *Facts on Climate Change A summary of the 2007 Assessment Report of the IPCC*. 6 p. 2007
- [2] BEN SARI, *Prévision et prévention des catastrophes naturelles et environnementales- Le cas du Maroc.. Sciences de la Terre, Edition UNISCO*.234 p. 2004
- [3] ZURICH ET TARGA AIDE,, *Risk Nexus. Morocco floods of 2014: what we can learn from Guelmim and Sidi Ifni*. 30 p. Corporate Publishing Zurich Insurance Group. 2015
- [4] GENTIL LOUIS. *La géologie du Maroc et la genèse de ses grandes chaines*. In: *Annales de Géographie*, t. 21, n°116. pp. 130-158. doi : 10.3406/geo.1912.7192. 1912 http://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1912_num_21_116_7192
- [5] NAIMI A. *Etude hydrogéologique de la plaine Seyad –Noun, Province de Guelmim*. Mémoire de fin d'étude. 196 P. Univ. Mohammed V – Ecole Mohammadia des Ingénieurs. 1983
- [6] CHOUBERT G. . *Congrès géologique international n°10 XIX session. Algérie-livret guide de l'excursion A36, Anti-Atlas occidental*1952
- [7] DIJON R.. *Reconnaisances hydrogéologiques et ressources en eau du bassin des Oueds Seyyad Ouerg Noun. Maroc Sud occidental. Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc n°197*.154p. 1969
- [8] GEOATLAS.. *Etude par sismique réflexion haute résolution de la plaine de Guelmim*. 70 p. 1997
- [9] ABHSMO,., *Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intègre des ressources en eau du bassin hydraulique de Guelmim.. Rapport interne, 56 p*. 2010
- [10] WEISROCK A., WENGLER L., MATHIEU J., OUAMMOU A., FONTUGNE M., MERCIER N., REYSS J.L., VALLADAS H. AND GUERY P. *Upper pleistocene comparative osl, u/th and 14cdatings of sedimentary sequences and correlative morphodynamical implications in the south-western Anti-Atlas (oued Noun, 29oN, Morocco)*. *Quaternaire*, 17, (1), p. 45-59. 2006
- [11] WENGLER L., WEISROCK A., BROCHIER J.E., BRUGAL J.P., FONTUGNE M., MAGNIN F., MATHIEU J., MERCIER N., OUAMMOU A., REYSS J.L., SÉNÉGAS F., VALLADAS H., WAHL L. : *Enregistrement fluviatile et paléoenvironnements au Pléistocène supérieur sur la bordure méridionale atlantique de l'Anti-Atlas (Oued Assaka, S-O marocain)*. *Quaternaire*, vol. 13, n°3-4, *Événements rapides, instabilités, changements culturels au Quaternaire*. pp. 179-192. doi : 10.3406/quate.2002.1710. 2002 http://www.persee.fr/doc/quate_1142-2904_2002_num_13_3_1710
- [12] NACER N.. *Utilisation des systèmes d'information géographique en hydrogéologie en vue de l'élaboration d'un outil de gestion des ressources en eau du bassin de Guelmim*. Mémoire de 3eme cycle pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie rural. IAV Rabat.180p.2006
- [13] HEC-GEODOZER. *HEC-Geo Dozer user's manual version 1.0. US Army Corps of Engineers, Institute forwater resources, hydrologic Engineering center, USA*.71 p, 2009
- [14] HEC-GEO HMS,.,HEC-Geo HMS,., *Geospatial hydrologique modeling extension user's manual,version 10.1. US Army Corps of Engineers, Institute for water resources, hydrologic Engineering center, USA*. 192 p2013
- [15] LEPAPE, S. *Analyse et quantification du réseau hydrographique*. Ecole supérieure des géomètres et topographes, 66p. . 1998
- [16] WATER.GOV.MA.les basins hydraulique du Maroc.
Disponible en ligne : http://www.water.gov.ma/userfiles/file/16_Guelmim-déf.pdf