

## LES INONDATIONS DANS LA VALLEE DU M'ZAB : GENESE ET PREDICTION

### FLOODS IN THE M' ZAB VALLEY (South Algeria) : GENESIS AND PREDICTION

**Abderraouf BENAOUDJ.** Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique. Blida - Algérie, MVRE, raw.raouf@gmail.com

**Bénina TOUAIBIA.** Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique. Blida - Algérie, MVRE. touaibiabenina@yahoo.fr

**Pierre HUBERT.** UMR Sisyphe, Université Pierre et Marie Curie Paris VI, France pjy.hubert@free.fr

**RESUME :** Les crues et les inondations qu'elles provoquent, constituent en Algérie, la cause récurrente de catastrophes meurtrières, celles de l'Oued Keriche (Alger) en Novembre 2001 de l'Oued M'Zab (Ghardaïa) en Octobre 2008 (Ghardaïa) en témoignent et restent gravées dans la mémoire des populations. La connaissance régionale des écoulements de surface est indispensable à l'étude des inondations. Or, la qualité des données observées, (non disponibles, discontinues, entachées d'erreurs de mesure ou de saisie, etc...) fait que la quantification des débits d'écoulement reste difficile à réaliser. Seul le recours à la modélisation hydrologique "pluie-débit" peut apporter une solution à cette problématique. L'objectif de l'étude est de développer des modèles "pluie-débit" efficaces pour l'estimation des crues de fréquences rares, en zone aride et, en absence de jaugeages. Le bassin versant de l'Oued M'Zab, sous climat saharien, région en pleine expansion, a fait l'objet de l'étude, vu sa vulnérabilité aux inondations, son importance du point de vue socio-économique, culturel et touristique. Le choix est porté sur l'utilisation de deux modèles qui ont montré leur robustesse et leur performance à l'échelle internationale: le modèle semi-distribué HEC-HMS, simple reposant sur un fonctionnement de type SCS, et le modèle global de l'IRD, purement déterministe. Le choix de ces deux modèles est justifié par plusieurs critères. L'application de ces deux modèles dans la région d'étude a porté sur la création, l'organisation et la génération des données d'entrée en utilisant un SIG puis l'évaluation des résultats. Les deux modèles donnent des résultats satisfaisants et proches et ont permis la construction de l'hydrogramme type de la crue. Le modèle HEC-HMS se montre plus facile à configurer et à mettre en œuvre. Néanmoins le débit obtenu par le modèle

IRD, a l'avantage d'être relié aux autres caractéristiques de la crue qui sont évaluées par ce même modèle. Ce travail s'est basé non seulement sur l'identification des facteurs topographiques, géomorphologiques, lithologiques, hydrographiques, climatiques et même anthropiques, responsables de la genèse des crues, mais aussi sur un historique des crues. La recherche de modèles "pluie-débit", adaptables aux spécificités climatiques et morphologiques de la région d'étude ont permis d'établir des relations reliant coefficients d'abattements - surfaces et coefficient de ruissellement – surfaces, basées sur les caractéristiques physiques du bassin. Aussi, le débit centennal obtenu par le modèle HEC-HMS est utilisé comme entrée au modèle HEC-RAS, modèle hydrodynamique unidimensionnel basé sur la résolution de l'équation d'énergie, afin de simuler les écoulements en période de crue. Ce modèle est appliqué sur un tronçon de l'Oued M'Zab. La modélisation hydrodynamique de ce tronçon a permis d'étudier le comportement de la ligne d'eau, d'estimer les vitesses moyennes et d'identifier les zones vulnérables aux inondations.

**Mots Clés :** Inondation ; Pluie-Débit ; Modélisation ; vallée du M'Zab

**ABSTRACT:** Floods and the inundations they cause, constitute in Algeria the recurring cause of fatal catastrophes, those of Wadi Koriche (Algiers) in November 2001 and of Wadi M'zab (Ghardaïa) on October 2008 testify of it and remain in the populations memory. The regional knowledge of surface flows is essential to study the floods. However, the quality of the observed data, (unavailable, discontinuous, spoiled by measurement, etc...) made the quantification of flows difficult to realize. Only rainfall-runoff hydrological modeling can bring a solution to this problem. The aim of this study is to develop effective rain-flow models to estimate rare frequency floods in arid region in absence of gauging. The Wadi M'Zab basin, under Saharan climate, which is an area in full expansion, has been the subject of this study, considering its vulnerability floods, its importance from the socioeconomics, cultural and touristic point of view. The choice concerned two models, which showed their robustness and their performance on an international basis: The semi-distributed model HEC-HMS, easy to apply, based on a functioning SCS type, and the global model of IRD, purely determinist. The choice of these two models is justified by several criteria. The application of these models in the study area related to creation, organization and generation of input data by using a GIS then the evaluation of the results. The two models give satisfactory results and allowed the construction of the typical flood hydrographs. The model HEC-HMS shows itself easier to configure and

implement. Nevertheless the flow obtained by the IRD model, has the advantage of being connected to the other flood characteristics which are evaluated by this same model. This work was based not only on the identification of the topographic, geomorphological, lithological, hydrographic, climatic and even anthropic flood factors, but also on a history of floods. The search for rainfall-runoff models, adaptable to climatic and morphological specificities of the study area made it possible to establish relations connecting abatement coefficients – surfaces and runoff coefficients– surfaces, based on the basin physical characteristics. Also, the 100 year flow obtained by model HEC-HMS is used like entry in HEC-RAS model, which is a 1-D hydrodynamic model based on the equation of energy resolution, in order to simulate the flows in flood periods. This model has been applied to a section of the Wadi M' Zab. The hydrodynamic modeling of this section made it possible to study the behavior of the stream water profile, to consider the mean velocities and to identify the zones vulnerable to floods.

**Keywords:** Floods - Inundations - Rainfall-runoff modeling – M'Zab Valley

## INTRODUCTION

La connaissance régionale des écoulements de surface nécessite la détermination des débits, qui devient difficile à quantifier en absence de jaugeages. La modélisation via la recherche d'une relation pluie débit semble donner des résultats satisfaisants. L'approche adoptée a consisté à identifier les facteurs topographiques, géomorphologiques, lithologiques, hydrographiques, climatiques et même humains, responsables de la genèse des crues; à identifier les crues à travers un historique; à rechercher des modèles "pluie-débit", adaptables aux spécificités climatiques et morphologiques de zone d'étude; à établir des modèles analytiques et descriptifs basés sur une approche statistique de corrélations simples sur les caractéristiques physiques du bassin et appliquer un modèle hydrodynamique unidimensionnel pour étudier le comportement de la ligne d'eau.

Le Bassin versant de l'Oued M'Zab, sous climat saharien, région en pleine expansion, a fait l'objet de l'étude, vu sa vulnérabilité aux inondations, son importance socio-économique tant culturel que touristique.

## PROBLEMATIQUE DES INONDATIONS EN ALGERIE

D'après le recensement effectué par les services de la protection civile, une commune sur trois est susceptible d'être inondée partiellement ou en

totalité. Ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus destructrices. Elles atteignent parfois l'ampleur d'une catastrophe nationale (DGPC, 2007). La figure 1 représente l'ampleur des inondations en Algérie.

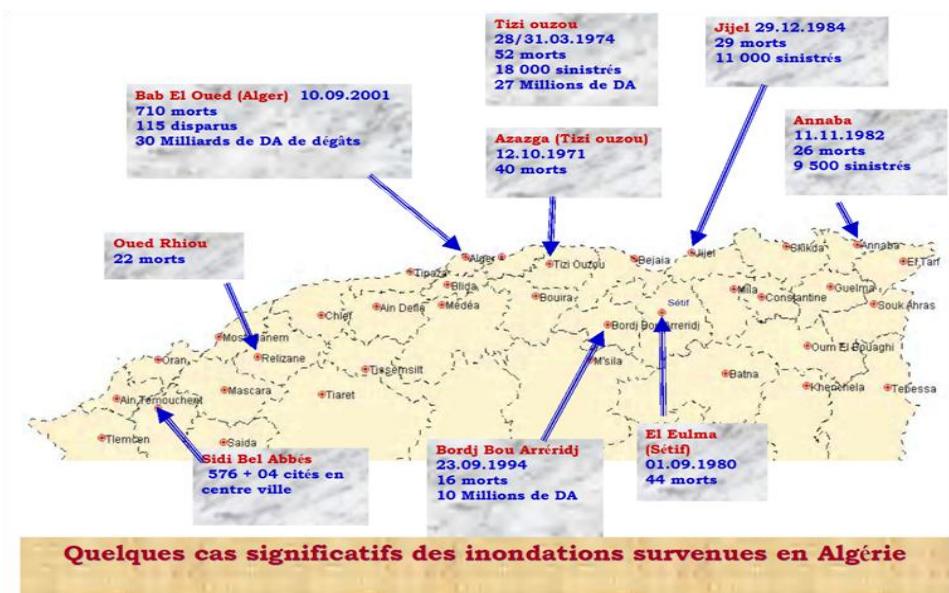


Fig. 1. Ampleur des inondations en Algérie

## PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Située au centre de la partie Nord du Sahara, à 632 km au Sud d'Alger, la wilaya de Ghardaia couvre une superficie totale de 86.560 km<sup>2</sup> (Medejerab, 2009), dans laquelle est implantée la vallée du Mzab, parcourue par l'Oued M'Zab. Ce dernier est composé de plusieurs affluents dont le principal est l'Oued El Abiodh (54 Km). Le bassin versant (Fig 2) draine une surface de 1573 km<sup>2</sup>, il culmine à 779 m et son exutoire est à 445m.

La vallée du M'ZAB englobe cinq cités bien peuplées: Ghardaïa, Mélika, Bounoura, Al-Atteuf et Beni-Isguen.

Du point de vue géologique, la zone d'étude se trouve au cœur de la Chebka (filet), région à dominance calcaire.

La végétation est très rare et ne se rencontre qu'en bordure des oueds (Bonnard et Gardel, 1996)

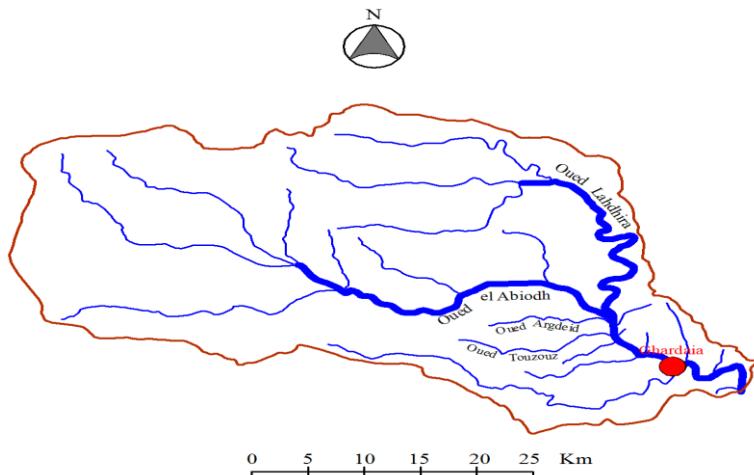


Fig. 2. Bassin versant de l'Oued M'Zab

Le bassin versant de l'oued M'ZAB est situé dans le domaine climatique désertique Hyper aride, ses caractéristiques morphométriques et hydrographiques sont résumées dans le tableau 1. Le bassin versant est équipée d'une station pluviométrique où seuls les totaux journaliers sont enregistrés. Le bassin versant n'est pas jaugée rendant les estimations des débits probables difficiles. La pluviométrie est très forte et repartie sur une courte période de l'année (Bousdira, 2007).

Tableau 1 : Caractéristiques morphologiques et hydrographiques

Caractéristiques	Symboles	unité	valeurs
Surface	S	km <sup>2</sup>	1573
Périmètre	P	km	181
Indice de compacité	K <sub>c</sub>	/	1,28
Altitude	Max	H <sub>max</sub>	779
	Min	H <sub>min</sub>	445
	Moy	H <sub>moy</sub>	650
	Médiane	H <sub>50%</sub>	658
Indice de pente	De Roche	I <sub>p</sub>	0,64
	Global	I <sub>g</sub>	2,84
Pente moyenne	I <sub>moy</sub>	m/km	4,99
Longueur du cours d'eau	L	km	125
Densité de drainage	D <sub>d</sub>	km/km <sup>2</sup>	0,21
Temps de concentration	t <sub>c</sub>	h	21

## INONDATIONS DANS LA VALLEE DU M'ZAB

Cette vallée présente une vulnérabilité très élevée aux risques d'inondations. En absence de jaugeage des débits, un inventaire des crues a permis de montrer qu'il se produit en moyenne de 2 crues par an, d'importance très contrastée en volume et en durée. Les crues importantes se produisent fréquemment de mars à mai et de septembre à décembre (Medjerab, 2009).

## PRECIPITATIONS

La station de Ghardaia sise au cœur de la vallée du M'Zab est prise comme station représentative du bassin versant, vu sa position dans la vallée et sa période d'observations allant de 1914 à 2009.

L'ajustement des précipitations maximales journalières à la loi de Weibull a permis de déterminer les quantiles de période de retour 10, 20, 50 et 100 ans.

En absence des données pluviographiques, la formule de Montanari est utilisée pour l'estimation des pluies de courte durée et l'établissement des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) comme le montre la figure 3.

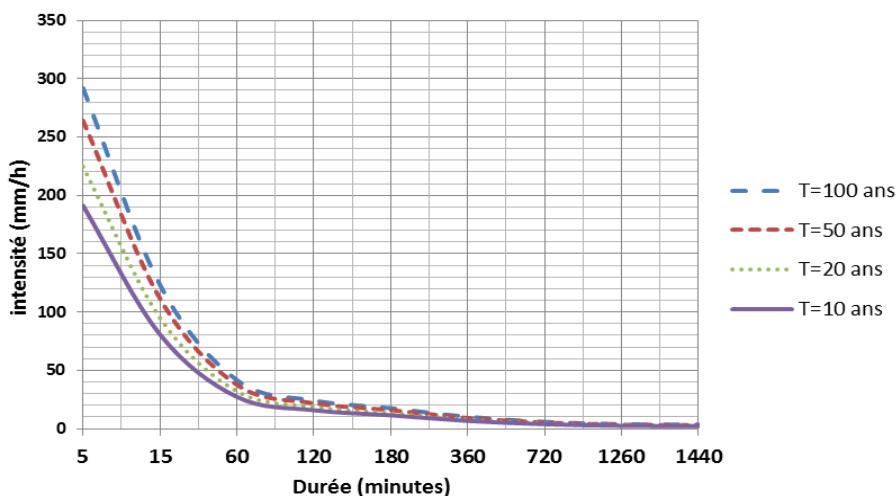


Fig. 3 Courbes IDF selon la formule de Montanari

Tenant compte de l'hétérogénéité spatiale des pluies maximales journalières et en absence d'enregistrements des pluies en différents points du bassin, un coefficient de réduction qu'est le coefficient d'abattement de la pluie observée à la seule station de référence en fonction de la superficie est appliqué.

## MODELISATION HYDROLOGIQUE

Un modèle « pluie-débit » est une représentation de la relation reliant les pluies enregistrées sur un bassin versant et le débit mesuré à l'exutoire de celui-ci. Un modèle « pluie-débit » est composé d'un modèle de production permettant de séparer la pluie nette de la pluie brute et d'un modèle de transfert qui permet de transférer cette pluie nette vers l'exutoire du bassin versant.

Il existe aujourd’hui un très grand nombre de modèles « pluie-débit », classés dans différentes catégories : déterministes ou stochastiques, globaux ou distribués, cinématiques ou dynamiques et enfin empiriques ou physiques (Clarke, 1973) et Ambroise (1998).

En Algérie, plusieurs tentatives de modélisations hydrologiques ont été faites au moyen de différents modèles. Les applications sur des bassins versants de différentes tailles et différents étages bioclimatiques ont donné des résultats très variés.

Suite à une étude bibliographique poussée, compte tenu de l’hyperaridité du climat, de l’absence de jaugeages, le choix s’est porté sur deux modèles hydrologiques pouvant être adaptés à la zone d’étude: HEC-HMS et ORSTOM (IRD).

### Le Modèle HEC-HMS

Le HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) est un modèle semi-distribué qui simule le comportement hydrologique d'un bassin versant suite à des événements pluvieux. Développé par Hydrologic Engineering Center (HEC), le programme HEC-HMS permet de traiter ou de simuler à la fois les précipitations, les pertes et les ruissellements directs, les écoulements de surface et souterrain (HEC-HMS, 2000).

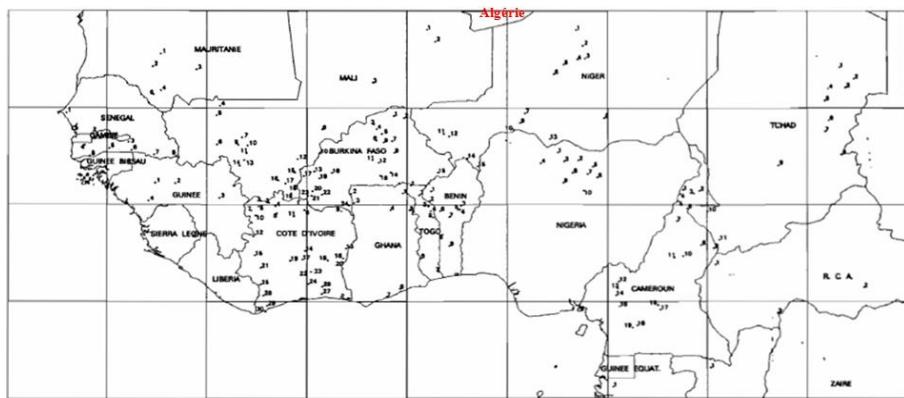
Le modèle HEC-HMS est un modèle complet, adapté théoriquement à n’importe quel type de climat et notamment à celui des zones arides et semi-arides. Les paramètres du modèle peuvent être déterminés sans calage pour les bassins versant non jaugés, tel bassin étudié.

Bien qu’il soit conçu au départ pour la modélisation des événements, les dernières versions du modèle permettent aussi de l’utiliser en processus continu (Fadil et al, 2011).

### Le Modèle ORSTOM (IRD)

Le Modèle ORSTOM permet de déterminer les caractéristiques de forme de la crue. Au volume de la crue, le diagramme de distribution moyen du bassin est appliqué, afin d’obtenir l’hydrogramme de crue résultant de

l'averse considérée. Le modèle de l'ORSTOM a été appliqué sur plusieurs bassins versants de la région sahélienne et subdésertique (Fig. 4) (CIEH et al, 1996) dont les conditions y intervenants sont relativement similaires à celles du bassin étudié. Il offre une représentation globale.



**Fig. 4.** Les sites d'application du Modèle ORSTOM (CIEH et al, 1996)

Il permet de déterminer toute les caractéristiques de la crue (débit de pointe, temps de base, temps de montée, volume de la crue,...etc.). La valeur de débit de pointe est reliée aux autres caractéristiques de la crue centennale évaluées par ce même modèle ;

Il n'a pas été encore testé sur le contexte Algérien. Cependant, l'une des difficultés de la modélisation hydrologique avec ces deux modèles est la préparation des données d'entrée.

## APPLICATION DES MODELES ET DISCUSSIONS

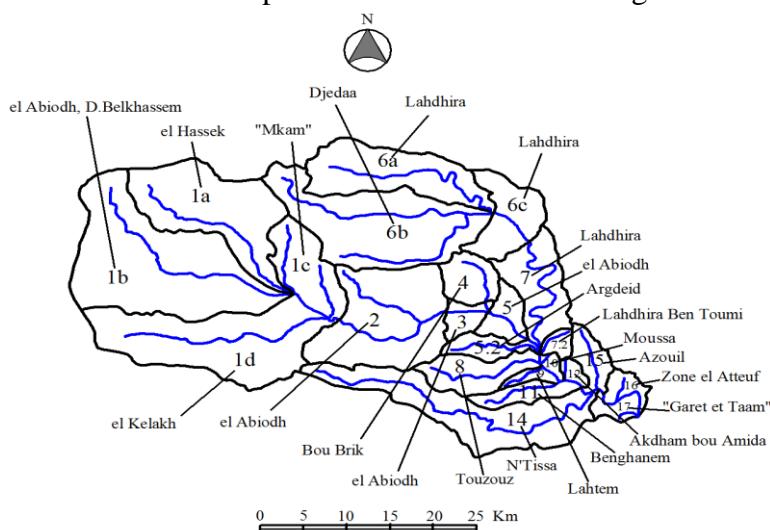
### Modélisation Pluie-Débit par le modèle HEC-HMS

La modélisation de la réponse d'un bassin versant soumis à un phénomène pluvieux sous est découpée en deux parties : la modélisation du bassin versant et celle des précipitations.

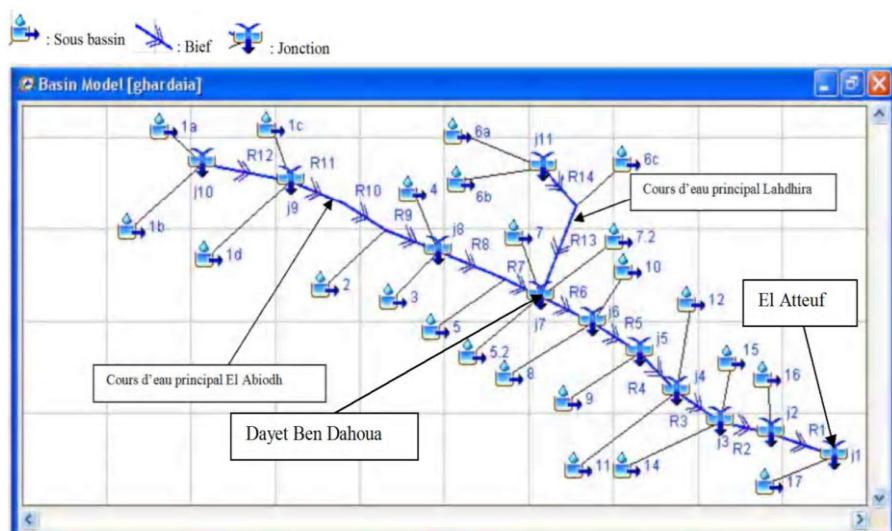
#### *Modélisation du bassin versant*

La modélisation d'un bassin versant consiste, en premier lieu, en un découpage de celui-ci en plusieurs sous-bassins versants élémentaires, ensuite, spécifier les méthodes utilisées pour le calcul des pertes (fonction de production) et de ruissellement (fonction de transfert).

A l'exutoire du bassin versant de l'oued M'zab, 23 sous-bassins élémentaires sont identifiés dont le découpage en sous bassins est illustré en figure 5 et leur schématisation par le modèle est donné en figure 6.



**Fig. 5.** Découpage du bassin versant en sous-bassins versants



**Fig. 6.** Schéma du modèle de bassin par HEC-HMS

Deux exutoires sont retenus, situés respectivement, en amont et à l'aval de la ville de Ghardaïa, il s'agit de Dayet Ben Dahoua et El Atteuf.

## Modélisation des pertes par le modèle SCS Curve Number (CN) (Fonction de production)

Le modèle SCS Curve Number (CN) estime l'excès de précipitations comme une fonction des précipitations cumulées, de la couverture et de l'humidité initiale du sol.

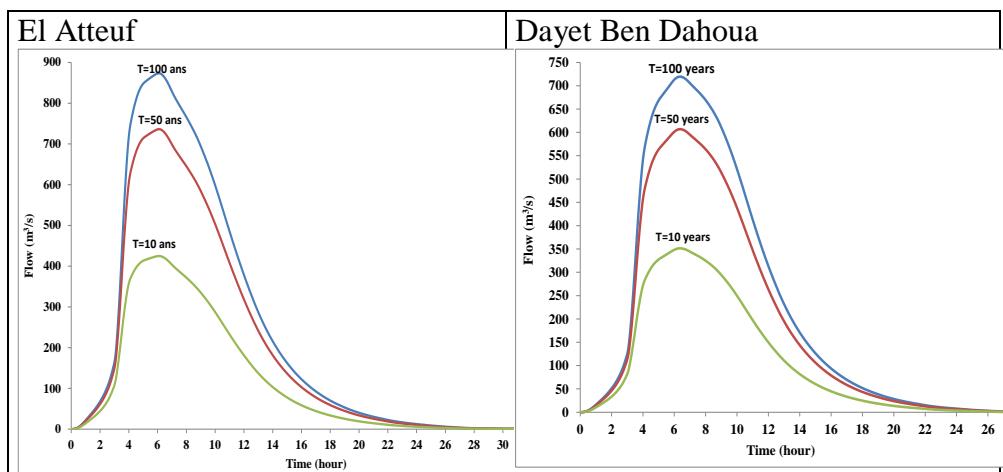
## Modélisation de ruissèlement par le modèle de Clark (Fonction de transfert)

La simulation avec HEC-HMS par le modèle de CLARK nécessite la détermination du temps de concentration et du coefficient de stockage des sous bassins versant.

## Modélisation des précipitations par la méthode pluie hypothétique basée sur la fréquence

Les hauteurs des précipitations en chaque pas de temps pour une probabilité choisie peuvent être déduites à partir des courbes HDF (Henine, 2004).

L'estimation des paramètres a permis de tracer les hydrogrammes de crues synthétiques aux sites retenus (Fig.7).



**Fig. 7.** Hydrogramme Synthétique de CLARCK

## Modélisation Pluie-Débit par le modèle de l'ORSTOM

L'approche adoptée, résolument déterministe, est celle d'un modèle global pluie-débit fondé sur la théorie de l'hydrogramme unitaire. Le bassin versant constitue une entité homogène, tant en ce qui concerne les apports pluviométriques que ses caractéristiques physiques. Les nombreuses études

hydrologiques effectuées en région sahélienne ont permis de dégager les principaux facteurs explicatifs des crues: la hauteur et la forme de l'averse génératrice, la superficie du bassin versant, l'infiltrabilité du sol et le relief (CIEH et al, 1996).

Dans la méthode, le débit de pointe est défini par la relation (1) (CIEH et al, 1996).

$$Q_{\max} = P_j \cdot K_a \cdot K_r \cdot S \cdot \alpha \cdot T_b^{-1} \quad (1)$$

Avec,

$P_j$ : hauteur de pluie journalière

$S$  : superficie du bassin

$K_a$  : coefficient d'abattement

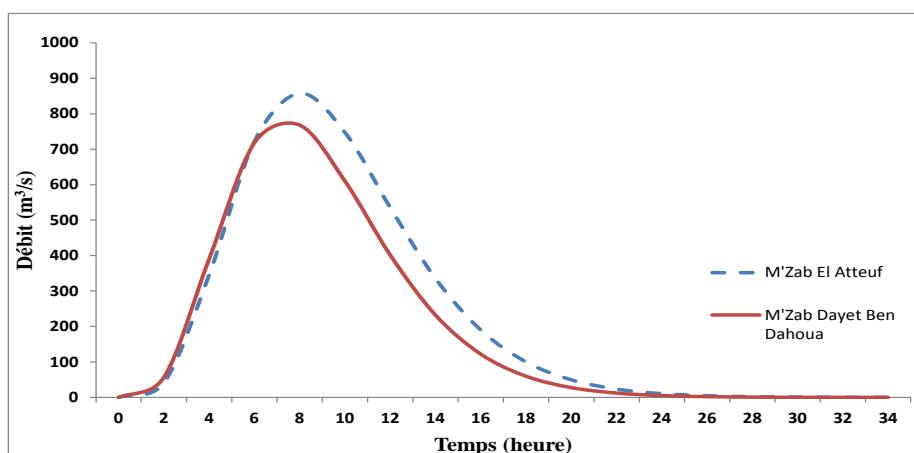
versant

$K_r$ : coefficient de ruissellement

$\alpha$  : coefficient de pointe

$T_b$ : temps de base

Le modèle ORSTOM s'applique à des bassins dont la superficie se situe entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 km<sup>2</sup>. Les hydrogrammes de crues, aux sites retenus, de période de retour 100 ans, sont donnés en figure 8.

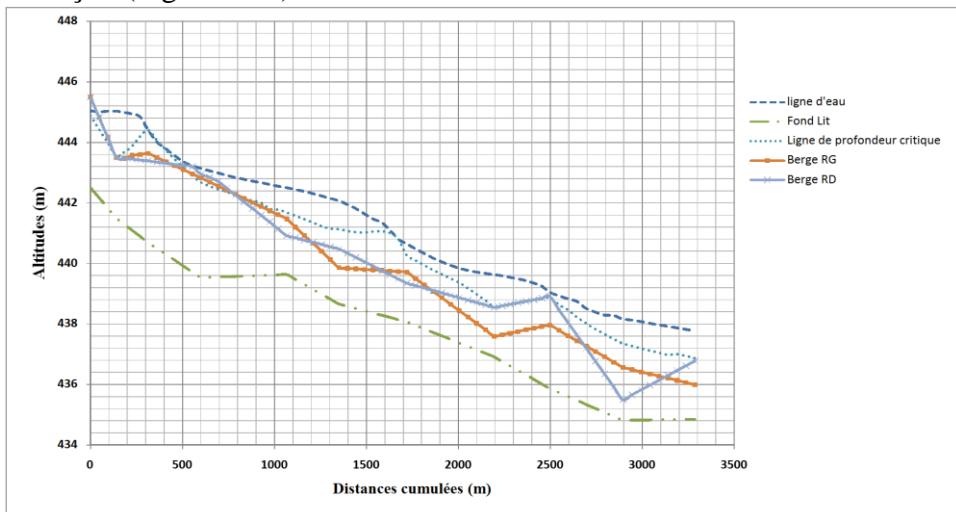


**Fig. 8.** Hydrogramme de crue pour une période de retour de 100 ans

### Modélisation hydrodynamique par HEC-RAS

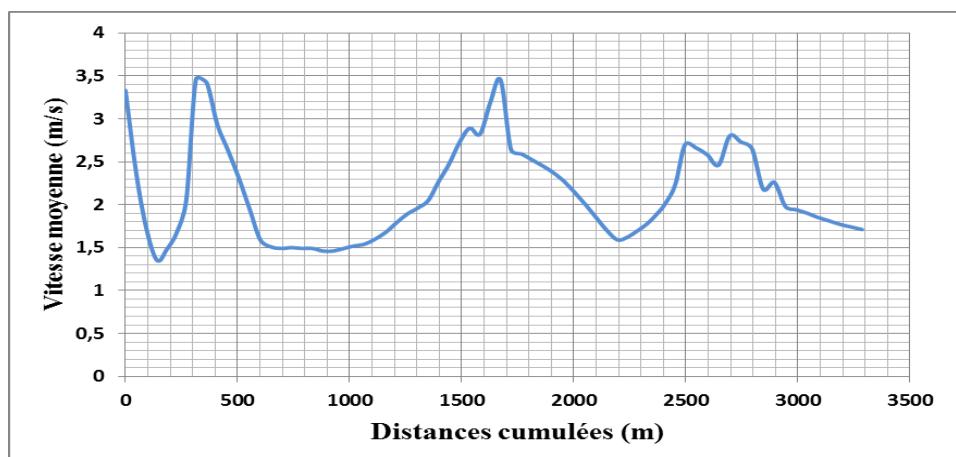
Le modèle HEC-RAS est testé sur un tronçon de 3286 m de l'Oued M'Zab, sis dans la zone Ahbas, à l'aval immédiat d'El Atteuf (exutoire du bassin).

La modélisation hydrodynamique de ce tronçon a permis d'estimer les lignes d'eau et les vitesses moyennes dans tous les points du profil en long de ce tronçon (Fig. 9 et 10).



**Fig. 9.** Profil en long de la ligne d'eau et de la ligne de profondeur critique

Au vu de la figure 9, les niveaux d'eau sont élevés. La surélévation du plan d'eau est due essentiellement à la diminution de la largeur du lit de l'oued et au flanc rocheux en rive qui constitue un étranglement. Les niveaux d'eau se situent au-dessus des niveaux critiques presque dans tous les points le long du tronçon. Le régime d'écoulement est alors fluvial.



**Fig. 10.** Variation de la vitesse moyenne en fonction des distances cumulées

Les vitesses moyennes observées sur la figure 10 sont relativement importantes. Deux points présentant des vitesses maximales sont observés, respectivement de 3,46 m/s (situé à une distance de 314m par rapport à l'extrémité amont) et de 3,45 m/s (situé à une distance de 1674 m par rapport à l'extrémité amont). La valeur minimale observée est égale à 1,46 m/s (située à une distance de 881 m par rapport à l'extrémité amont).

## CONCLUSION

L'objectif principal était de développer une méthodologie de modélisation en absence d'observations et de déterminer les hydrogrammes de crues probables. Pour atteindre l'objectif escompté, il était nécessaire de:

- faire une analyse des pluies dans la région d'étude. Celle-ci est limitée à un nombre de jours de pluie très réduit avec des intensités très fortes. Les pluies de courtes durées sont évaluées par la méthode de Montanari..

- faire une étude géomorphologique, lithologique, topographique, climatique et hydrographique du bassin versant du M'Zab pour caractériser l'écoulement dans le cours d'eau. Cette étude a montré que le bassin versant du M'Zab, de par ses caractéristiques, favorise la torrentialité de l'écoulement et la formation des crues

- Faire un historique des crues. Cet historique a montré que la région d'étude est très vulnérable face aux risques d'inondations, en moyenne de 2 crues par an, d'importance très contrastée se produisent.

- En s'appuyant sur la littérature quant aux différents modèles existants et adaptables à la zone d'étude, le choix est porté sur le modèle semi-distribué HEC-HMS, un modèle simple reposant sur un fonctionnement de type SCS, et le modèle globale de l'ORSTOM (IRD) qui est un modèle classique purement déterministe.

Les deux modèles ont donné des résultats satisfaisants, proches et ont permis d'identifier l'hydrogramme type de la crue. Cependant, le modèle HEC-HMS permet le calcul des débits des crues pour n'importe quelle période de retour tandis que le modèle ORSTOM estime les débits des crues que pour une seule période de retour de cent ans.

Pour résoudre ce problème, des modèles analytiques ont été développés dans cette étude pour l'estimation des débits des crues pour d'autres périodes de retour en cas d'utilisation du Modèle ORSTOM.

Des modèles analytiques qui donnent les caractéristiques de la crue en fonction de la superficie ont été établies pour tous les oueds à l'aide du modèle ORSTOM :

-Des modèles analytiques "Coefficients d'abattement – Surfaces" et "Coefficients de ruissèlement – Surfaces", basés sur les caractéristiques physiques du bassin ;

-Des modèles analytiques: "Caractéristiques de la crue (temps de base, débit de pointe, temps de montée et volume de crue) – Surfaces", basés sur une approche statistique de corrélations simples et sur les caractéristiques physiques du bassin ;

Les résultats obtenus par les deux modèles peuvent être améliorés par l'intégration des données plus précises et plus spatialisées notamment les précipitations et les caractéristiques physiques du bassin versant (pluie moyenne sur le bassin versant et pluies de courtes durées ont été évaluées par des formules empiriques à cause de la faible densité du réseau d'observations dans le bassin versant de l'Oued M'Zab).

Le débit centennal obtenu par le modèle HEC-HMS est utilisé comme donnée de base du modèle HEC-RAS, modèle hydrodynamique unidimensionnel, basé sur la résolution de l'équation d'énergie, afin de simuler les écoulements en période de crue. Ce modèle a été appliqué sur un tronçon de l'Oued M'Zab situé dans la zone Ahbas, à l'aval immédiat d'El Atteuf.

La modélisation hydrodynamique de ce tronçon a permis d'étudier le comportement de la ligne d'eau et d'estimer les vitesses moyennes dans tous les points du profil en long.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ambroise, B., 1998. Genèse des débits dans les petits bassins versants ruraux en milieu tempéré : Modélisation systémique et dynamique, Revue des sciences de l'eau, n°12/1, p. 123-153.
- Bonnard et Gardel (BG),, 1996. Etude hydrologique de l'Oued M'Zab. Editeur : R. Kerbachi, R. Joumard, M. Boughedaoui, T. Goger. 194pages.
- Bousdira, K., 2007. Contribution à la connaissance de la biodiversité du palmier dattier pour une meilleur gestion et une valorisation de la biomasse : caractérisation morphologique et biochimique des dattes des cultivars les plus connus de la région du M'Zab, classification et évaluation de la qualité. Mémoire de Magister. Université de Boumerdes Algérie.
- CIEH, ORSTOM, LCT-CEMAGREF-ENGREF., 1996. Crues et apports : Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage, n°54, 231p.

- Clarke, R.T., 1973. A review of some mathematical models used in hydrology with observations on their calibration and use, Journal of hydrology, vol.19, p.1-20.
- DGPC (Direction Générale De La Protection Civile) «Algérie », Bureau des risques naturels, 2007. Les inondations en Algérie, 21p, disponible sur le site de la Direction Générale de la Protection Civile,  
<http://www.protectioncivile.dz>
- HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modelling System)., 2000. Technical Reference Manual. USA
- Henine, H., 2004. Interfaçage entre un modèle hydrologique / modèle hydrodynamique au sein d'un système d'information intégré sous web incluent les SIG. Mémoire de Magister. ENP Algérie.
- Medejerab, A., 2009. Les inondations catastrophiques du mois d'octobre 2008 à Ghardaïa, Geographia Technica, Numéro spécial, p.311-316.

&&&&&