

# **SIMULATION ET SPATIALISATION DU RISQUE D'INONDATION DANS UNE VALLEE ANTHROPISEE. LE CAS DE LA VALLEE DE L'OURIKA (HAUT ATLAS, MAROC)**

*Abdelhafid El Alaoui El Fels*

Doctorant, laboratoire de Géosciences et Environnement, Faculté des  
Sciences et Techniques, Marrakech, Maroc

*Mohamed El Mehdi Saidi*

Professeur, laboratoire de Géosciences et Environnement, Faculté des  
Sciences et Techniques, Marrakech, Maroc

---

## **Abstract**

This work is devoted to the simulation and spacialisation of natural flows at the Ourika Valley in Morocco. Subject to climatic and anthropogenic forcing, the valley's flood flows are, nowadays, extremely high compared to the average flow. Decadal and centennial floods simulation was undertaken using two software solutions. The floodplains mapping gives valuable information related to the magnitude of the overflow affecting fields, buildings and the road, leading to Marrakech, along the river banks. Knowing that the Ourika Valley is narrow, heavily populated with a unique road to Marrakech, this work reveals the amplitude of flooding risks in this area. That's why, regular human activities must be regulated and the risks must be managed by preventing and forecasting.

---

**Keywords:** Ourika River, High Atlas, Morocco, flood, simulation

---

## **Résumé**

Ce travail est consacré à la simulation et la spatialisation des écoulements naturels de la vallée de l'Ourika au Maroc. Soumise à un forçage climatique et anthropique, la vallée connaît des débits de crues extrêmement élevés par rapport à son module moyen. Et à l'aide de deux solutions logicielles, nous avons simulé l'étendue des crues décennale et centennale de l'oued. La cartographie de leurs zones inondables interpelle par l'ampleur des débordements fluviaux sur les rives de l'Ourika, notamment par l'inondabilité de champs cultivés, de certaines constructions et de la route qui relie la vallée à la ville de Marrakech. Cette route étant la

seule voie de désenclavement de cette vallée touristique. Ce travail dévoile donc le risque de submersion de zones d'activités anthropiques régulières et appelle à bien gérer ce risque par la prévention et la prévision.

---

**Mots clés:** Ourika, Haut Atlas, Maroc, inondation, simulation

### **Introduction**

L'inondation est un risque naturel de plus en plus récurrent à travers le monde et sous divers type de climat ; et l'actualité des dernières décennies a été marquée par de douloureux et redoutables événements de crues. A cet effet, l'élaboration de cartes d'inondation et de plans de prévention des risques revêt un intérêt capital pour les décideurs en matière d'aménagement du territoire et de gestion efficace des crises sur le terrain. La cartographie de ces zones inondables doit s'appuyer sur des données qualitatives et quantitatives fiables (carte MNT de bonne résolution, longue période et grand nombre d'événements de crues ...etc).

Au Maroc, le bassin versant de l'Ourika a connu des crues tristement célèbres par leurs effets destructifs et mortels. Soumise à un climat semi-aride à subhumide, et étant sous l'emprise de redoutables orages d'été, la vallée connaît souvent des pulsations brutales et violentes de son cours d'eau principal et de ses affluents. Les événements hydrologiques extrêmes du 2 novembre 1987, du 14 juillet 1989, du 17 août 1995 ou du 28 octobre 1999 par exemple ont attiré l'attention par leurs débits de pointe exceptionnels (respectivement 650, 823, 1030 et 762 m<sup>3</sup>/s). Ces crues de l'oued Ourika sont généralement nées à partir de pluies intenses et localisées dans l'espace. Le milieu physique du bassin versant offre un environnement propice au développement de fortes crues: le bassin est compact, les pentes sont fortes, les sols sont peu perméables, le réseau hydrographique est bien ramifié et le couvert végétal est assez clairsemé. Cette situation morphologique contribue à amplifier les débits de pointe observés à l'exutoire (Saidi et al, 2003).

A cet effet, ce travail a pour objectif principal la cartographie des zones inondables dans l'aval immédiat de la station hydrométrique d'Aghbalou, parsemé d'habitations et de champs cultivés ; ainsi que l'étude des probabilités de submersion de la route provinciale reliant Marrakech à la vallée touristique de l'Ourika. L'approche consistera en une simulation des débits extrêmes le long de la vallée et la spatialisation de la submersion en fonction de la fréquence de ces débits.

### **Le bassin versant de l'Ourika et problématique des inondations de l'oued**

Le bassin versant de l'Ourika à la station d'Aghbalou est un système hydrographique bien individualisé du Haut Atlas de Marrakech, compris

entre 31° et 31°20' Nord et entre 7°30' et 7°60' Ouest (Fig. 1). L'oued principal prend ses sources dans les hauts reliefs de la chaîne du Haut Atlas à des altitudes avoisinant 4000 m. Le climat du bassin versant de l'Ourika est d'abord caractérisé par sa grande variabilité spatiotemporelle. Les précipitations varient en hauteur, en intensité et dans leurs distributions géographiques. La pluviosité annuelle est en moyenne de 541 mm par an à la station d'Aghbalou. Cette pluviométrie augmente évidemment avec l'altitude ; et peut dépasser 700 mm par an en amont du bassin.

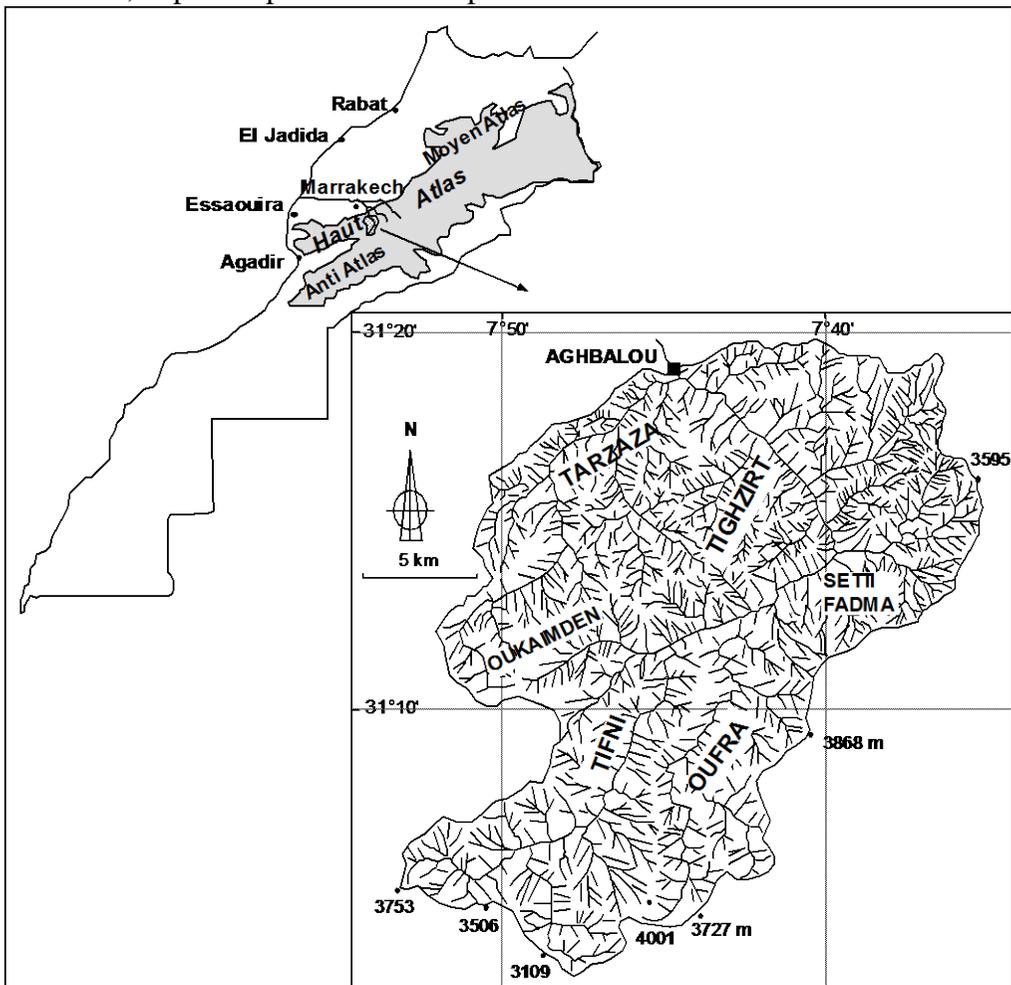


Figure 1 – Situation géographique et réseau hydrographique du bassin versant de l'Ourika à Aghbalou

Le bassin versant est assez compact, avec un indice de forme de 1,3 et un réseau hydrographique assez dense et bien ramifié. Les altitudes varient de 1070 m à l'exutoire d'Aghbalou au point culminant situé à 4001 m, et l'altitude moyenne est de l'ordre de 2500 m.

Les pentes des versants et des affluents sont relativement importantes : 1 à 30 degrés en générale, mais peuvent atteindre par endroits des maximums de 60 à 70°.

Sur le plan géologique, la lithologie du substratum est dominée par des formations très peu perméables, ce qui accentue le ruissellement et les risques de crues.

Les régimes pluviométriques et hydrologiques de l'Ourika sont caractérisés par des hautes eaux de printemps. Le maximum pluviométrique est généralement enregistré aux mois de mars et avril, alors que le pic hydrologique, plus individualisé, est enregistré au seul mois d'avril.

A l'échelle des écoulements extrêmes, beaucoup de personnes considèrent, dans le passé, les inondations comme des événements imprévisibles ou inévitables. Ces événements étaient, à cet effet, souvent vus comme une sorte de fatalité. Cependant l'empiètement sur les domaines hydrauliques publics et l'occupation progressive des rives et des plaines inondables ont peu à peu fait prendre conscience de ce risque hydrologique et la nécessité de l'étudier, le prévoir et lutter contre.

La maîtrise de l'inondation passe donc par la prise de conscience du danger, son évaluation et l'analyse de ses probabilités d'occurrence. La cartographie des zones inondables est également une étape incontournable dans la lutte contre ce risque naturel. La vallée de l'Ourika est justement un terrain favorable au développement de pulsations brutales et grandioses du cours d'eau principal (Aresmouk, 2001). Dans les annales des fortes crues marocaines, ce redoutable oued brille souvent par ses crues dévastatrices et meurtrières. Avec le bassin versant d'Issil (Saidi et al, 2013), c'est le pourvoyeur de l'essentiel des écoulements extrêmes en amont de la grande agglomération de Marrakech.

Le 2 novembre 1987, par exemple, une très forte crue s'est développée dans la vallée avec un débit de pointe de l'ordre de 650 m<sup>3</sup>/s et un temps de montée global de 14 heures (fig. 2). Une première montée lente a été enregistrée la veille à 20 heures jusqu'à 6 h le lendemain où le débit a été de l'ordre de 100 m<sup>3</sup>/s, puis a atteint 183 m<sup>3</sup>/s à 8 h. Il s'en est suivi une montée rapide et violente jusqu'à une pointe de 650 m<sup>3</sup>/s en deux heures seulement. Ce débit de pointe a représenté à peu près trois fois le débit moyen de la crue (Saidi et al, 2010).

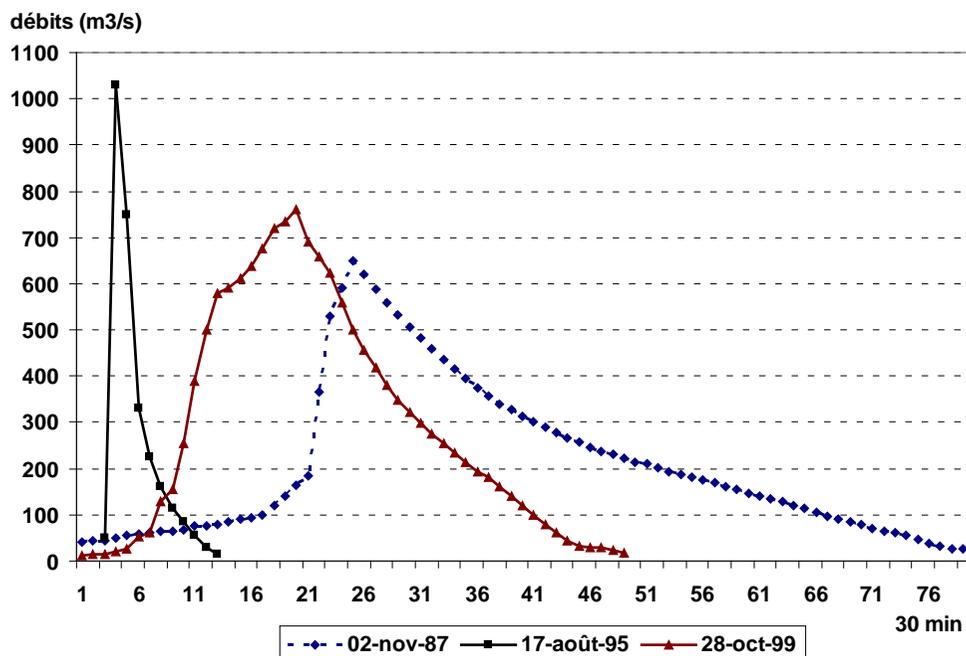


Figure 2 - Types d'hydrogrammes de crues de l'Ourika à Aghbalou - Types of Ourika's flood hydrographs

Le 17 août 1995, une crue exceptionnelle et tristement célèbre par ses dégâts humains et infrastructurels a impressionné l'opinion publique nationale et internationale par sa puissance et sa soudaineté. Cette crue n'a duré que 3 heures, avec un temps de montée d'à peine dix minutes. Le débit est passé à la station d'Aghbalou de 30 m<sup>3</sup>/s à 20 heures à une pointe de l'ordre de 1030 m<sup>3</sup>/s à 20h10 et les eaux mobilisées ont atteint un volume de 3,3 millions de mètres cubes pendant ces trois heures apocalyptiques (Saidi et al, 2003).

La crue du 28 octobre 1999 a été surtout caractérisée par l'énorme volume d'eau mobilisé. Pas moins de 26 millions de mètres cubes d'eau ont transité par l'exutoire du bassin et les débits ont atteint une pointe de 762 m<sup>3</sup>/s. Ces débits sont passés de 62 à 579 m<sup>3</sup>/s en trois heures seulement (de 11 h à 14 h), puis le pic de 762 m<sup>3</sup>/s a été atteint à 17 h 30. La crue a duré en totalité 23 heures et a surtout provoqué des dégâts matériels: 15 maisons détruites et des dizaines d'hectares de terres agricoles endommagées (Saidi et al, 2010).

### Le modèle hydrologique et méthodologie de simulation

Les données de base du modèle hydrologique sont composées de débits maxima instantanés annuels mesurés au niveau de la station hydrométrique d'Aghbalou (tableau 1). Ces données couvrent une période de 41 ans, de 1969-1970 à 2009-2010. Elles sont issues de jaugeages ponctuels

et des enregistrements du limnigraphe, et sont fournies par l'Agence de Bassin Hydraulique de Marrakech.

Année	Débit max (m <sup>3</sup> /s)						
1969/70	96,7	1980/81	8,1	1990/91	207,0	2000/01	26,4
1970/71	116,6	1981/82	91,3	1991/92	290,0	2001/02	150,0
1971/72	55,2	1982/83	24,4	1992/93	74,5	2002/03	110,0
1972/73	72,0	1983/84	37,4	1993/94	226,0	2003/04	37,0
1973/74	77,5	1984/85	40,1	1994/95	1030,0	2004/05	8,1
1974/75	23,4	1985/86	50,5	1995/96	165,2	2005/06	13,4
1975/76	101,0	1986/87	250,0	1996/97	65,0	2006/07	19,0
1976/77	52,6	1987/88	650,6	1997/98	168,9	2007/08	14,3
1977/78	95,5	1988/89	823,0	1998/99	61,3	2008/09	667,4
1978/79	49,4	1989/90	265,3	1999/00	762,0	2009/10	608,1
1979/80	350,0						

Tableau 1 : débits maxima instantanés annuels de l'Ourika à Aghbalou

L'étude s'articule autour de deux axes principaux :

- La prédétermination des débits extrêmes selon une loi de probabilité choisie parmi une diversité des lois (Meylan et al, 2008), dont les paramètres sont identifiés par la méthode de vraisemblance en minimisant les écarts entre les débits observés et les débits prédéterminés. Le choix de la loi la mieux adaptée pour l'ajustement de la distribution des débits se fera graphiquement puis se confirmera numériquement par des critères statistiques.

- La spatialisation de l'étendue de crues associées à des débits prédéterminés en utilisant l'outil informatique HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) développé par le centre de l'ingénierie hydrologique de l'armée américaine (US Army Corps of Engineers, 2010).

La modélisation d'un phénomène aléatoire consiste à choisir un modèle, connu pour refléter une image proche de la réalité et qui permet de mieux comprendre le mécanisme et le fonctionnement du phénomène. Ce modèle comportera des paramètres qu'il faudra identifier. Et d'une manière globale, cette identification se base sur l'échantillon aléatoire de notre population pour estimer les paramètres de la fonction de densité de probabilité caractérisant le modèle choisit.

Différentes techniques d'estimation paramétriques sont utilisées en hydrologie fréquentielle (Delyon, 2013), notamment la méthode des

moments pondérés et celle des moindres carrés (Meylan et al, 2008), mais celle qui a le plus de crédits auprès des chercheurs est la méthode de Maximum de vraisemblance. C'est une technique statistique développée en 1922 par le statisticien Ronald Aylmer. Elle permet d'estimer à partir d'un échantillon observé, les meilleurs paramètres d'une loi de probabilité, de façon que la vraisemblance obtenue soit maximisée.

La fonction de log-vraisemblance est définie comme suit :

$$\log L(\theta) = \sum_{i=1}^k \log f(x_i, \theta)$$

Un estimateur de  $\theta$  est une expression  $\hat{\theta}$ , dépendant des  $x_i$ , qui est un maximum pour L. Ainsi, il s'agit la plupart du temps de trouver  $\hat{\theta}$  tel que :

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_k}(\hat{\theta}) = 0$$

### **Spatialisation de l'étendue d'une crue**

Une simulation spatialisée des crues associées à des débits extrêmes joue un rôle primordial dans la cartographie des zones inondables (Bachir Alami et al. 2012). A cet effet, nous nous sommes outillés du logiciel HEC-RAS. C'est un outil de modélisation hydraulique des écoulements graduellement variés et à surface libre sous le modèle 1D de Saint-Venant (Hervouet, 2003).

Nous avons, dans un premier temps, procédé à la préparation d'une base de données qui a servi à l'établissement de la géométrie de l'oued Ourika. Celui-ci est représenté par un profil en long sur lequel sont repérées des sections d'écoulement de différentes dimensions. Cette base de données est extraite du modèle numérique de terrain (MNT de 30 mètres) de notre zone d'étude à l'aide de l'extension d'ArcGis HEC-Georas.

La suite de l'approche nous a conduit à exploiter les résultats de la géométrie dans le logiciel HEC-RAS pour intégrer les débits extrêmes prédéterminés, en plus de paramètres physiographiques, notamment la pente et la rugosité du lit. Ceci pour pouvoir calculer la distribution du débit le long du profil de l'oued, ce qui a permis de réaliser une simulation de l'extension hydrologique.

Les résultats des calculs réalisés avec le logiciel HEC-RAS sont transférés à l'outil du Système d'Information Géographique géoréférencé ArcGis, pour l'élaboration des cartes de l'étendue des crues et des zones inondables.

### **Résultats et Discussions**

Après avoir ajusté six lois mathématiques à notre distribution des débits maxima instantanés annuels, enregistrés au niveau de la station

d’Aghbalou, par la méthode de vraisemblance et identifié les paramètres de chaque loi, nous les avons représentées graphiquement pour les analyser et sélectionner les lois les mieux adaptées pour l’ajustement statistique de notre série.

L’ajustement des six lois est illustré par la figure 3. La loi log-normal paraît la mieux ajustée à notre distribution.

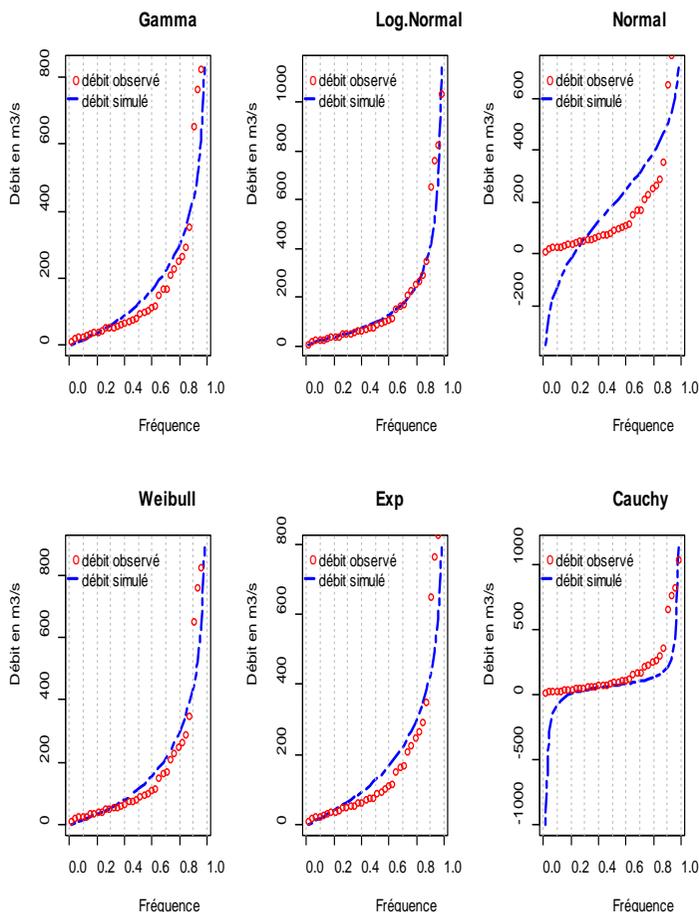


Figure 3 - Résultats d’ajustement de différentes lois aux crues de l’Ourika à Aghbalou

La méthode graphique est cependant insuffisante pour choisir les modèles adéquats à l’estimation. Ceci nous a obligés à faire intervenir les deux critères statistiques AIC (Akaike Information Criterion) (Akaike, 1973) et BIC (Bayesian Information Criterion) (Schwarz, 1978). Ces deux critères permettent de classer les lois selon une performance d’estimation. La loi qui obtient les plus faibles valeurs des deux critères est la plus performante pour la prédétermination des débits extrêmes.

Ces critères se définissent de la façon suivante :

$$AIC = -2*\log Lik+2*K$$

$$BIC = -2*\log Lik+K*\log(N)$$

Où

LogLik représente la log-vraisemblance des paramètres associés aux données,

K désigne le nombre de paramètres indépendants dans le modèle.

N est le nombre d'individus composant l'échantillon.

Les résultats de cette analyse comparative de l'ajustement des lois statistiques sont consignés sur le tableau suivant :

Loi	AIC	BIC
Log-normal	443.7	446.9
Normal	501.5	504.7
Exp	449.9	451.5
Weibull	450.8	453.9
Cauchy	467.2	470.4
Gamma	451.6	454.8

Tableau 2 : Résultats des critères AIC et BIC des estimations des crues de l'Ourika

Une comparaison numérique des critères AIC et BIC a permis de procéder au choix de la loi la plus appropriée. Le résultat obtenu est le même que celui de l'analyse graphique. La loi la mieux adaptée à la prédétermination des débits extrêmes du bassin versant de l'Ourika est la loi Log normal. Plusieurs études ont justement affirmé que le meilleur ajustement pour les régimes hydrologiques arides et semi arides est obtenu par la loi log normale (Dubreuil, 1974).

### **Prédétermination des débits et simulation de l'extension des crues**

L'approche de prédétermination des débits de crue s'est reposée sur l'outil de simulation et de modélisation fréquentielle précité. Il se base sur une démarche statistique qui a conduit à l'estimation des débits de pointes, leurs probabilités d'occurrence et leurs périodes de retour. (Tableau 3).

Périodes de retour (ans)	Fréquences au non dépassement	débits prédéterminés (m <sup>3</sup> /s)
100	0,99	1313
50	0,98	968
20	0,95	612
10	0,9	407
5	0,8	249
2	0,5	97

Tableau 3 : Estimation des débits de pointe de différentes périodes de retour de l'Ourika à Aghbalou

Pour un cours d'eau de 5 m<sup>3</sup>/s de débit moyen, la crue décennale s'élève à 407 m<sup>3</sup>/s et la pointe centennale atteint 1313 m<sup>3</sup>/s. Ce sont des pointes très élevées pour un bassin versant de 503 km<sup>2</sup> de surface et présentent un risque hydrologique de grande envergure.

La simulation de l'extension latérale de ces crues met en lumière des débordements importants du cours d'eau sur ses berges. Si la crue décennale peut déjà inonder quelques constructions et champs agricoles qui empiètent sur le domaine hydraulique public, la crue centennale peut atteindre plusieurs habitations et couper la route provinciale P 2017, qui est la seule voie routière reliant la vallée à la ville de Marrakech (fig. 4, 5, 6, et 7).

La modélisation des crues de l'Ourika a donc mis en lumière une spatialisation de plus en plus aggravée de la zone inondable avec des effets potentiellement dévastateurs sur les milieux anthropisés. L'attention doit donc être particulièrement attirée vers les points noirs inondables, notamment en matière de prévention et de sensibilisation.

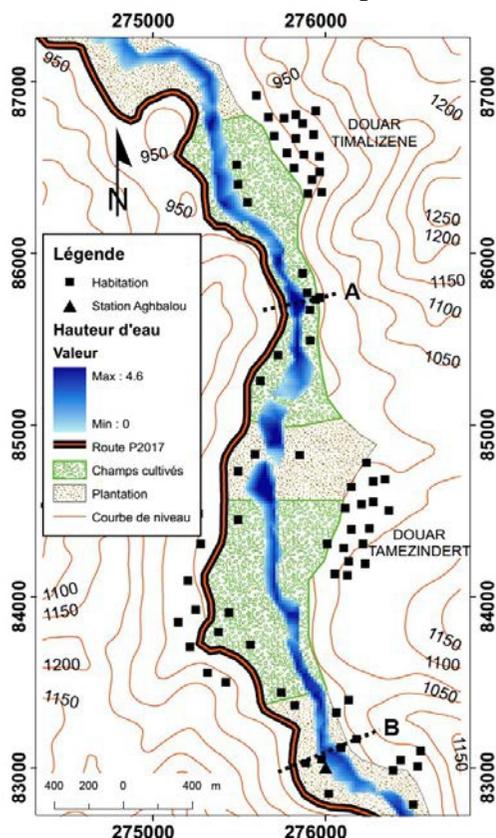


Figure 4 : Simulation et spatialisation de la crue décennale de l'Ourika en aval immédiat d'Aghbalou

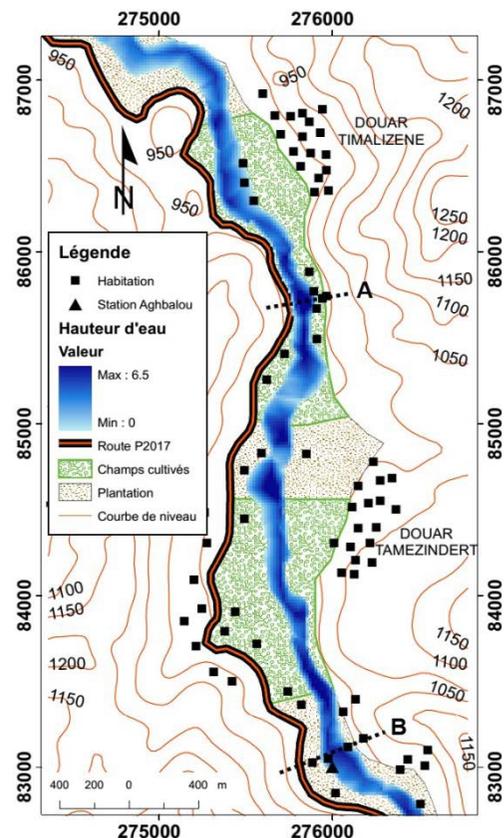


Figure 5 : Simulation et spatialisation de la crue centennale de l'Ourika en aval immédiat d'Aghbalou

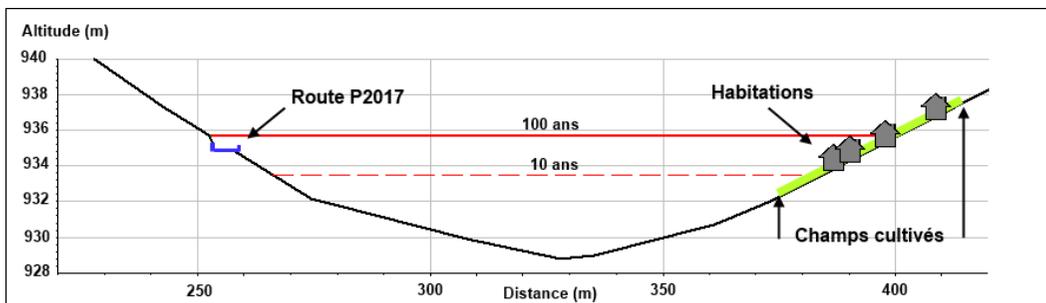


Figure 6 : Zones inondables par les crues décennale et centennale au niveau du profil A

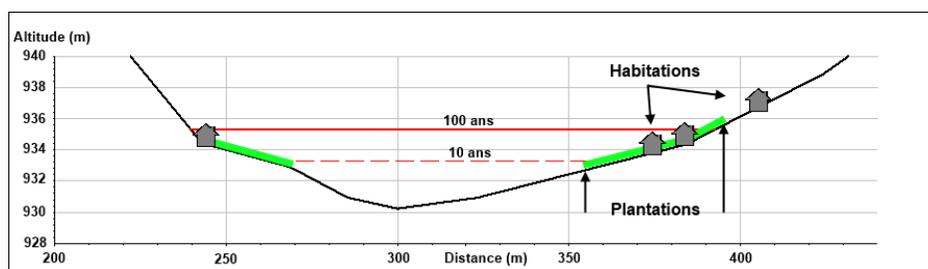


Figure 7 : Zones inondables par les crues décennale et centennale au niveau du profil B

### Evaluation des modèles de prédétermination

La performance de la qualité de la simulation est évaluée ici par des critères qui se basent sur les différences entre les débits extrêmes observés et simulés. Pour cela, nous avons utilisé la racine carrée de la moyenne de l'erreur au carré (RMSE) et le critère de Nash (Nash, 1970), qui sont inversement proportionnels.

La RMSE (Root Mean Square Error) mesure la magnitude moyenne des erreurs commises par la prévision. Dans la formule, les erreurs sont élevées au carré avant qu'elles ne soient moyennées : les RMSE donnent alors un poids relativement important aux différences élevées. Cela signifie que le RMSE est plus utile lorsque les grandes erreurs sont particulièrement indésirables (Randrianasolo, 2009).

Les RMSE relatifs aux prévisions de débit ont été calculés pour le bassin versant avec la formule :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Q_{obs} - Q_{calc})^2}{n}}$$

Où

- Qobs : Débit observé
- Qcalc : Débit simulé par le modèle

n : la taille de l'échantillon  
 Par ailleurs, le Nash est défini comme suit :

$$Nash = 1 - \frac{\sum (Q_{obs} - Q_{calc})^2}{\sum (Q_{obs} - Q_m)^2}$$

Qm est la moyenne des débits simulés par le modèle.

Les meilleures valeurs de RMSE et du Nash sont enregistrées par la loi Weibull et surtout la loi log-normal (figure 8), ce qui confirme les résultats obtenus graphiquement et avec les critères AIC et BIC

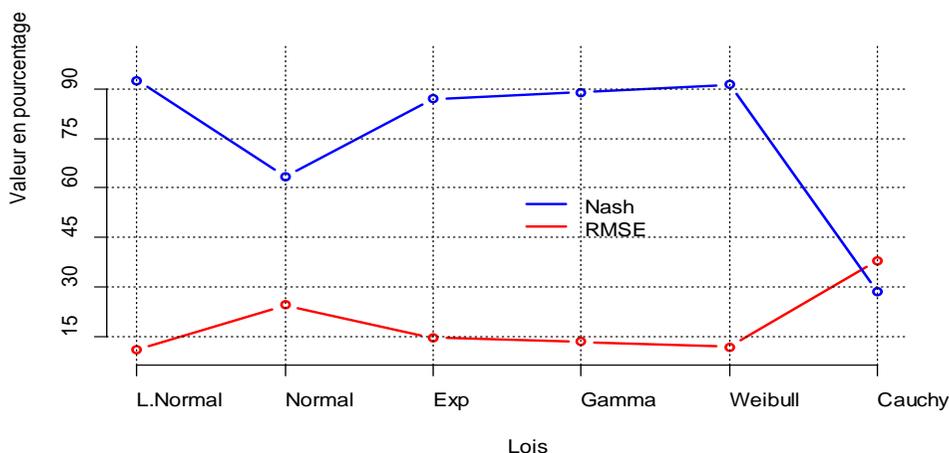


Figure 8 - Résultats des critères RMSE et Nash pour l'estimation des débits de crues de l'Ourika à Aghbalou

### Conclusion

La Simulation et la spatialisation du risque d'inondation dans la vallée de l'Ourika à l'aide d'un outil informatique dédié à cet effet a permis de constater qu'en aval immédiat de la station d'Aghbalou, deux points noirs présentent un risque de débordement de l'oued sur l'infrastructure routière ainsi que sur les activités agricoles et les habitations des riverains.

Ainsi, pour la crue décennale, estimée à 407 m<sup>3</sup>/s, l'étendue de la «tache d'eau» sur le profil transversal du cours d'eau a atteint les premières constructions anthropiques et les champs cultivés sur le lit majeur. La crue centennale est, bien évidemment, plus étendue. Sa pointe de 1313 m<sup>3</sup>/s générée par un bassin versant de seulement 503 km<sup>2</sup> témoigne de sa puissance et sa gravité. La simulation de son extension latérale interpelle surtout par la coupure potentielle de la seule voie de désenclavement de la vallée et l'inondation de grandes étendues occupées par des activités

humaines, notamment pour le commerce, l'agriculture vivrière ou commerciale ou tout simplement pour l'habitat.

Ces résultats sont obtenus à partir de mesures hydrométriques assez fiables et un modèle numérique du terrain d'une résolution de 30 m. Une résolution plus fine aurait affiné davantage ces résultats avec la possibilité d'extrapoler la simulation sur la plus longue distance possible du cours d'eau.

Par ailleurs, L'attention doit être attirée vers les coûts humains et économiques des dégâts de crues avec la nécessité d'élaborer des plans d'occupation des sols qui préservent les biens des citoyens et leur propre sécurité. Une législation ferme et respectée est requise en matière de la préservation du domaine public hydraulique pour parer aux préjudices récurrents des inondations de l'oued.

### **Références :**

Akaike, H., Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. 2nd International Symposium on Information Theory (Petrov and, B. N. and Csaki, F., eds.), Akademiai Kiado, 1973, 267-281.

Aresmouk M. E. H., Gestion de situations de crise en période de crues exceptionnelles au niveau de la Région Hydraulique du Tensift. Thèse d'ingénieur en chef, Ministère de l'Équipement, Rabat, 2001, 153 p.

Bachir Alami O., Rhinane H. & Mouchrif A., Apport des Systèmes d'Information Géographique (SIG) à la simulation de crues : cas de l'oued Bouskoura à Casablanca. Travaux de l'Institut Scientifique, Rabat, série Géologie & Géographie physique, n°23, 2012, p. 25-31.

Chausse P., La vraisemblance empirique et la méthode des moments généralisés: Survol de la littérature et extensions. Rapport de l'Université du Québec à Montréal, 2005, 30 p.

Delyon B., Estimation paramétrique ; Cours de Master 2 ; Université Rennes I, 2014, 117 p.

Dubreuil P., Introduction à l'analyse hydrologique, Ed. Masson-ORSTOM, Paris, 1974 216 p.

Hervouet J.M., Hydrodynamique des écoulements à surface libre : Modélisation numérique avec la méthode des éléments finis ; Editions Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 2003, 312 p.

Meylan P. Favre, A. C. et Musy A., Hydrologie fréquentielle. Une science prédictive. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2008, 184 p.

Nash, J.E. & Sutcliffe, J.V., River flow forecasting through conceptual models, Part 1, A discussion of principles. J. Hydrol., 10, 1970, 282-290.

Randrianasolo R. A., Evaluation de la qualité des prévisions pour l'alerte aux crues. Mémoire de master, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 2009, 50 p.

Saidi M.E, Daoudi L., Aresmouk M.E.H. et Blali A., Rôle du milieu physique dans l'amplification des crues en milieu montagnard, exemple de la crue du 17 août 1995 dans la vallée de l'Ourika (Haut-Atlas, Maroc). *Sécheresse*, Volume 14-2, Paris, 2003, 107-114.

Saidi M.E., Daoudi L., Aresmouk M.E.H, Fniguire F., Boukrim S., Les crues de l'oued Ourika (Haut Atlas, Maroc): Événements extrêmes en contexte montagnard semi-aride. *Comunicações Geológicas*, t. 97, Lisbonne, 2010, pp. 113-128.

Saidi Mohamed el Mehdi, Bouloumou Youssef, Ed-Daoudi Souad, Aresmouk Mohamed El Hassane, Les crues de l'oued Issil en amont de Marrakech (Maroc), un risque naturel récurrent. *European Scientific Journal*, edition vol.9, No.23, 2013, 189-208.

Schwarz, G., Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics*, volume 6, issue 2, 1978, 461-464.

US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC-RAS River Analysis System, user's manual, 2010, 790 p.