

Prédétermination des débits de crue par différentes méthodes. Cas du bassin versant d'El Kébir Ouest à Ain-Charchar (Nord-Est algérien)

Predetermination of floods by different methods. case of the El Kébir-West Watershed in Ain-Charchar (NorthEast Algeria)

Tarek Daifallah^{1*}, Azzedine Hani² & Mouldi Sayad³

¹Département de Géologie, Université Badji Mokhtar, BP 12, 23000, Annaba, Algérie.

²Laboratoire Ressource en Eau et Développement Durable, Université Badji Mokhtar, BP 12, 23000, Annaba, Algérie.

³Département d'Aménagement, Université Badji Mokhtar, BP 12, 23000, Annaba, Algérie.

Soumis le 11/07/2016

Révisé le 21/01/2017

Accepté le 29/01/2017

ملخص

من أجل دراسة المكافحة ضد الفيضانات، يجب أن تتوفر سلسلة معطيات طويلة عن التدفق، وهذا للأسف ليس دائما متوفر . بسبب عدم توفر سلسلة طويلة لقياسات التدفق بمحطة عين شرشار التي ترأب مساحة تقدر بـ 1130 كلم²، قمنا باستغلال قياسات للتدفق اليومي الأقصى لمدة 14 سنة، من 1985 إلى 1999، الدراسة الإحصائية أظهرت توافق هذه المعطيات مع قانون Gumbel، وتم استنتاج قيم التدفق القصوى المحتملة من خلال معادلة التكيف، 200 م³/الثانية من أجل مدة رجوع 10 سنوات و 300 م³/الثانية من أجل مدة رجوع 100 سنة. لتتحقق هدفنا الثاني، وهو القدرة على إعادة حساب معدلات التدفق القصوى من العلاقات التجريبية القائمة على قياسات هطول الأمطار، وبحثنا العلاقة بين الأمطار والسيول بتطبيق برنامج Hydrolab ونموذج GR 1، وقد أثبتت كلا الطريقتين أن هناك علاقة خطية بسيطة بين الظاهرتين مع معاملات الارتباط 0.82 و 0.69 على التوالي. أسفرت العلاقتين المطبقتين لتحديد التدفقات من الفيضانات (Sokolovsky و Turazza) على نتائج مشابهة لتلك التي تم قياسها في محطة القياس.

الكلمات المفتاحية: الأمطار الغزيرة - مخطط الفيضانات - التدفق - علاوة خطية - برنامج.

Résumé

Pour lutter contre les inondations, une longue série de mesure de débits est nécessaire, ce qui n'est pas le cas malheureusement dans la plupart du temps.

L'arrêt de la station hydrométrique d'Ain-Charchar contrôlant le bassin versant de l'oued El Kebir Ouest à Ain-Charchar sur une superficie de 1130 km² pose un sérieux problème de données. Pour combler ce handicap, nous avons utilisé les valeurs de débits maximums enregistrés pendant une période de 14 ans, de 1985 à 1999, qui s'ajustent bien à la loi de Gumbel. A partir de la droite d'ajustement, on a déterminé les valeurs des crues probables pour différentes périodes de retour ; 200 m³/s pour une période de retour de 10 ans et 300 m³/s pour T égale à 100 ans. Pour atteindre notre second objectif, qui est la possibilité de reconstituer les débits de crue par des formules empiriques basées sur les précipitations, on a vérifié la corrélation pluie-débit par le logiciel Hydrolab et le modèle GR 1. Les deux méthodes ont montré l'existence d'une relation linéaire simple avec des coefficients de corrélation respectivement de 0,82 et 0,69. Les deux formules utilisées pour la détermination des débits de crue (formule de Turazza et celle de Sokolovsky) ont abouti à des résultats identiques à celles mesurés au niveau de la station de jaugeage.

Mots clés : Pluies torrentielles ; Crues ; Corrélation pluie-débit ; Modèle ; Jaugeage.

Abstract

To combat flooding, a long series of flow measurement is necessary, which is not the case unfortunately in most of the time. The interruption of the hydrometric station of Ain Charchar controlling the watershed of Oued El Kebir West Ain-Charchar on an area of 1130 km² poses a serious data problem. To overcome this handicap, we used the values of maximum flows recorded over a period of 14 years, from 1985 to 1999, which fit well to the law of Gumbel. From the adjustment line, the probable flood values for different return periods were determined, 200 m³ / s for a return period of 10 years and 300 m³ / s for T equal to 100 years. To achieve our second objective, which is the possibility of reconstructing flood flows using empirical formulas based on precipitation, it has verified the correlation rain-flow rate by the Hydrolab software and the GR 1 model. The two methods have shown the existence of a simple linear relationship with correlation coefficients of 0.82 and 0.69, respectively. The two formulas for determining flood flows (formula of Turazza and that of Sokolovsky) have led to similar results to those measured in the gauging station.

Keywords: Torrential rains; Floods; Rain-flow correlation; Modeling; Gauging.

* Auteur correspondant : diaftarek@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Les inondations constituent un risque majeur sur le territoire national, mais également dans le monde entier. Au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde, elles font environ 20 000 victimes par an. Certaines résultent de phénomènes qui se renouvellent chaque année comme la mousson, d'autres sont le résultat de circonstances particulières (cyclones, typhons, orages violents). De nombreuses recherches sont consacrées à ce phénomène [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Les écoulements extrêmes à savoir les débits maximums sont loin d'être maîtrisés, alors que ses crues sont dommageables et dévastatrices et parfois meurtrières. A titre d'exemple l'inondation de Bab-El-Oued (Alger) du 9 novembre 2001 a fait presque 1000 morts et les dégâts matériels ont dépassé les quatre milliards de dinars algériens [8]. Pour lutter contre ces catastrophes naturelles les responsables ont toujours cherché à mettre en place des plans de prévention à travers les études des crues. Dans le cas de cette recherche sur le bassin versant d'El Kébir Ouest, l'objectif est de vérifier la possibilité de déterminer les débits de crue dans le cas de la présence ou de l'absence de station de jaugeage et la possibilité d'adapter des formules empiriques, utilisées sous d'autres lieux. Nous avons examiné le comportement des débits extrêmes en se basant sur une série de 14 ans de débits maximums enregistrés à la station d'Ain-Charchar (exutoire du bassin étudié), et reconstituer les débits de crue à partir de l'équation de l'ajustement à la loi statistique de Gumbel. Ensuite, on a vérifié la corrélation entre les débits moyens mesurés et les pluies moyennes journalières. La relation pluie-débit a été établie à l'aide du logiciel Hydrolab et selon le modèle GR1A. Enfin, nous avons reconstitué les débits de crue pour différentes périodes de retour dans le bassin versant à partir des précipitations observées, par le biais des formules empiriques de Turazza et de Sokolovski. L'objectif de cette étape est d'appréhender l'applicabilité de ces méthodes au bassin El Kébir Ouest en comparant les résultats de calcul à ceux estimés à partir des données de la station de jaugeage.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Situation géographique

Le bassin versant d'El Kébir Ouest à Ain-Charchar (nord-est algérien) couvre une superficie de 1130 km². Il fait partie du grand bassin du constantinois centre, désigné par le code 1103 selon le découpage de l'ABH (Agence de bassin hydrographique), situé entre les latitudes 36°30' et 37°00 Nord et les longitudes 7°et 7°30 Est (Fig. 1). Il est drainé par les deux affluents de l'oued El Kébir Ouest qui est l'oued El Hammam et l'oued Mechekel.

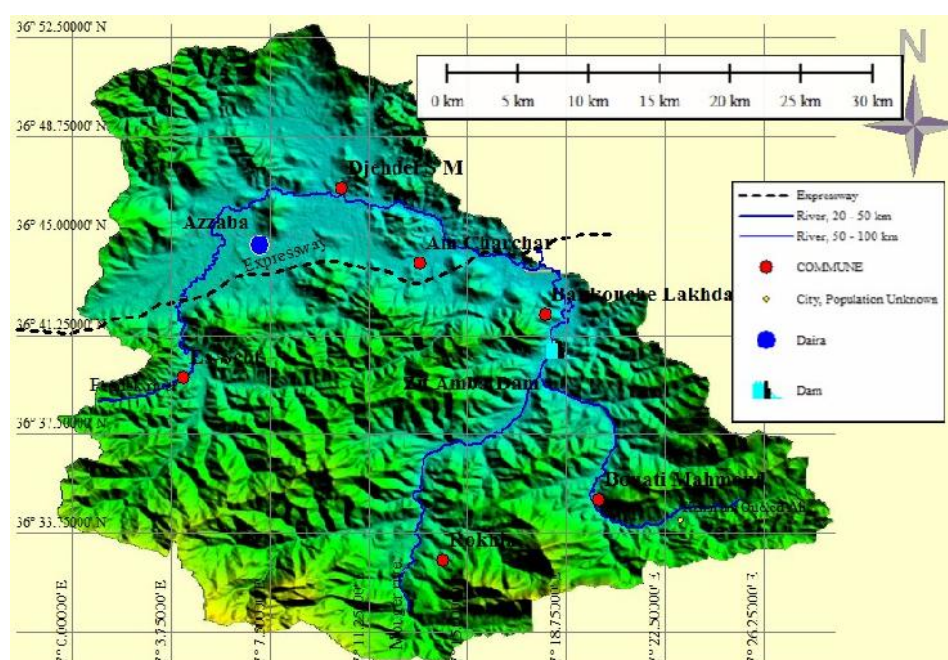


Figure 1. Situation géographique de la zone d'étude

2.2 Forme extrême de l'écoulement

Pour mieux cerner le problème d'écoulement extrême, il est nécessaire de descendre à une échelle plus fine dans l'analyse des valeurs extrêmes, notamment l'étude des crues qui peuvent être définies comme étant le plus fort débit observé dans l'année.

2.3 Prédétermination des crues

La prédétermination des crues a pour but de relever les crues fréquentielles les plus importantes afin de garantir un maximum de sécurité pour les ouvrages. Ces crues peuvent être déterminées par la loi de Gumbel qui s'adapte le mieux aux écoulements et apports extrêmes.

Dans le cas présent, nous possédons une série de mesures hydrométriques de 14 ans de débits moyens annuels et de débits maximums journaliers. Ces derniers sont ajustés à une loi statistique à l'aide du modèle Hydrolab [9], afin de ressortir les débits de crue les plus probables de différentes périodes de retour.

Puis, sur la même période d'enregistrement des données hydrométriques pluviométriques, un test de corrélation pluie-débit est effectué en utilisant deux méthodes : une approche statistique à l'aide du modèle Hydrolab et l'utilisation du modèle pluie-débit développé par Cemagref GR1 A. Ce modèle présente l'avantage d'avoir un faible nombre de paramètres à caler ce qui permet d'éviter les problèmes liés à la sur-paramétrisation et limite le manque de robustesse. De plus, ce modèle n'a besoin que des données continues de pluie et d'évapotranspiration potentielle pour fonctionner.

Le modèle du Génie Rural pour la Prévision (GRP) utilise le débit observé comme une entrée. Il fait donc une mise à jour directe à partir de ce débit, sans passer par une juxtaposition de deux étapes indépendantes de simulation puis de mise à jour. Lors des travaux d'évaluation sur plusieurs centaines de bassins, ce modèle s'est révélé plus robuste que d'autres approches [10].

La feuille "GR1A" permet de faire des simulations de débit au pas de temps annuel à l'aide du modèle GR1A (voir équation ci-dessous) [11, 12, 13].

$$Q_k = P_k \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{0.7P_k + 0.3P_{k-1}}{X.E_k} \right)^2 \right]^{0.5}} \right\}$$

Finalement, la prédétermination des débits des crues, à partir des données disponibles sur les hauteurs pluviométriques moyennes de différentes périodes d'occurrence, a été effectuée à l'aide des formules empiriques (les formules italiennes de Turazza à usage fréquent et celle de Sokolovski) faisant intervenir les précipitations. La formule de Sokolovski est d'usage très répandu chez les hydrologues du nord de l'Afrique. Celle-ci tient compte de tous les paramètres caractéristiques du bassin versant, du temps de montée de la crue ainsi que de la pluie fréquentielle génératrice de celle-ci [14].

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.2 Prédétermination des crues

Utilisation du logiciel Hydrolab

La représentation graphique des résultats d'ajustement à la loi de Gumbel des débits maximaux journaliers pour la période de 1985 à 1999 (Fig. 2), a permis de calculer les paramètres d'ajustement suivants :

la moyenne des débits maximums journaliers sur les quatorze (14) ans est de l'ordre de $105.08 \text{ m}^3/\text{s}$, le mode $\sigma = 72.65$, le gradex $\alpha = 56.19$ et l'équation de la droite d'ajustement est de la forme :

$$X = 72.65 + 56.19U$$

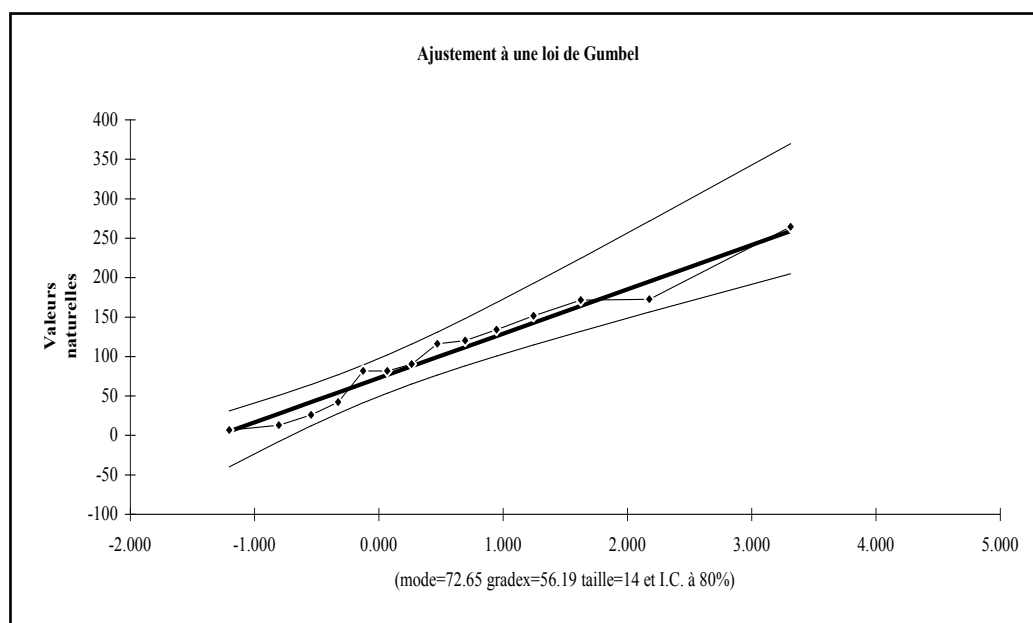


Figure 2. Ajustement à une loi de Gumbel des débits maximums journaliers à la station d'Ain Charchar (1985-1999).

A partir du graphe de la figure 2, les débits probables des crues pour différentes périodes de retour sont estimés et les résultats sont donnés dans le tableau 1.

Tableau 1. Crues maximums probables dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest (1985-1999).

Fréquence	Durée de retour (an)	Crue maximale probable (m ³ /s)
0.50	2	93.24
0.80	5	156.93
0.90	10	199.10
0.98	50	291.90
0.99	100	331.13

Plusieurs crues ont été enregistrées durant une période d'observation de 14 ans. Les plus importantes sont :

la crue du 22 décembre 1986 au 1 janvier 1987 ;

la crue du 23 au 26 décembre 1990 ;

la crue du 26 novembre au 1 décembre 1998.

Enfin, la période de récurrence de la crue de 25-12-1986 à la station d'Ain Charchar s'exprime comme suit :

$$Q = 264.6 \text{ m}^3/\text{s} ; U = 3.41 ; F = 0.9642 ; T = \frac{1}{1-F} \approx 28 \text{ an.}$$

Les crues de la saison humide sont les plus fréquentes et sont dues aux pluies torrentielles.

D'après l'hydrogramme de crue (Fig. 3), on constate l'amplitude des débits caractérisée par une allure impressionnante. Le débit journalier passe en l'espace de trois jours de 7.95 m³/s (le 22 décembre) pour atteindre le débit de pointe de 264.6 m³/s (le 25 décembre). La décrue s'est faite lentement par rapport à la montée.

L'apport de cette crue est calculé de la manière suivante :

Les sommes des débits pendant la période de crue $\sum Q_i = 938.42 \text{ m}^3/\text{s}$;

La moyenne est de : $Q_{\text{moy}} = \frac{\sum Q_i}{n}$ avec :

n : nombre de jour de la période de crue ;

d'où $Q_{\text{moy}} = 93.84 \text{ m}^3/\text{s}$

Volume total ruisselé = $938.42 * 86400 = 81.08 \text{ Hm}^3$.

La hauteur d'eau écoulé = $\frac{81.08 \text{ Hm}^3}{1130.26 \text{ Km}^2} = 0.072 \text{ m} = 72 \text{ mm}$.

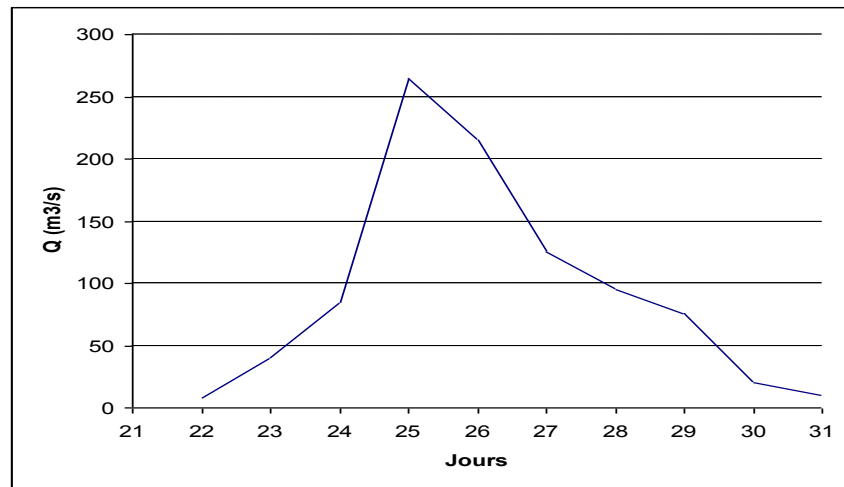


Figure 3. Hydrogramme de la crue de 25-12-1986 au bassin versant de l'Oued Kebir Ouest.

Corrélation pluie – débit

L'objectif de la corrélation et de la régression est d'étudier la dépendance des deux séries décrivant chacune un caractère quantitatif d'un certain nombre d'individus. La régression permet ainsi de :

- ◆ mettre en évidence graphiquement la liaison entre les deux séries ;
- ◆ optimiser l'estimation d'un caractère en fonction de l'autre ;
- ◆ mesurer l'intensité de la dépendance entre les deux caractères (coefficient de corrélation, R).

La relation pluie-débit se fait généralement suivant une loi normale. Le débit d'un cours d'eau (abondance hydrologique ou non) est fonction de la quantité de pluie précipitée sur le bassin. Dans le cas de cette recherche, nous avons utilisé la série précédente du débit moyen annuel de la période 1985-1999 à la station d'Ain Charchar et une série de pluie moyenne de la même période (moyenne arithmétique des pluies moyennes annuelles des quatre stations retenues pour cette étude). La régression simple entre les deux séries est effectuée à l'aide du logiciel Hydrolab (Fig. 4).

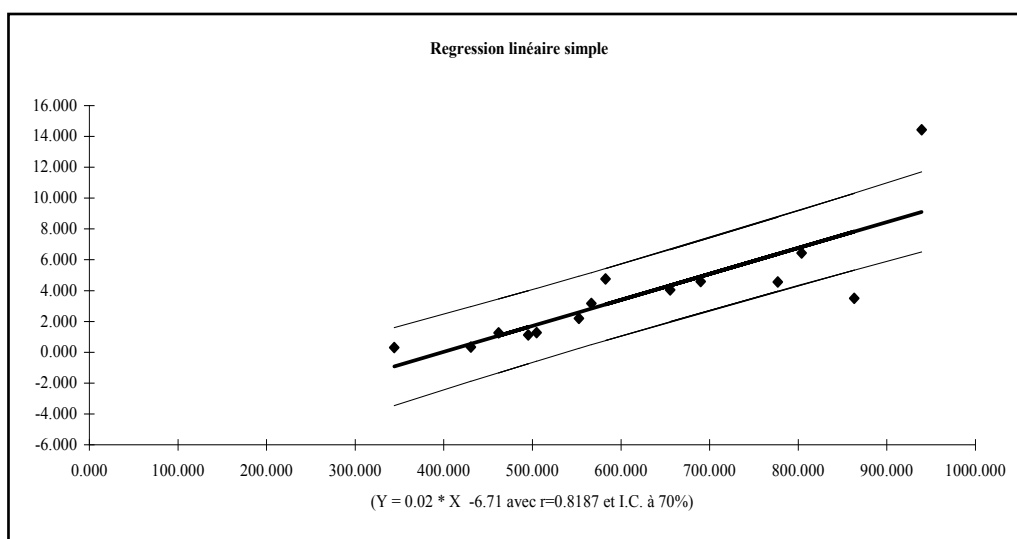


Figure 4. Corrélation pluie-débit à la station d'Ain Charchar (1985 à 1999).

L'équation de la droite de régression s'écrit comme suit : $Q = 0,017P - 6,715$. Le débit moyen est de $3,709 \text{ m}^3/\text{s}$ et l'écart type de 3,609. La précipitation moyenne est de 619,169 mm et l'écart type égal à 175,495. Le coefficient de corrélation $R = 0,82$ indique une corrélation significative entre les précipitations moyennes annuelles sur le bassin versant de l'oued Kebir Ouest et les débits moyens annuels à la station d'Ain Charchar. La variable réduite de Gauss est égale à 1,036 et le test de Student donne une valeur de 1,083.

Utilisation d'un modèle pluie-débit GR1 A

Les données d'entrée au modèle sont la superficie du bassin versant (1130 km^2), l'évapotranspiration potentielle prise égale à 904 mm, le coefficient de correction de l'ETP, $X = 0,11$ et les deux séries de pluie et débit observées à la même période (1985-1999). La pluie initiale est de 634,00 mm correspond à la pluie moyenne durant la période d'étude.

Pour l'année 1998, un décalage important est observé entre le débit observé, relativement faible et un très fort débit simulé par le programme (Fig. 5). Ceci peut être expliqué par les travaux de réalisation du barrage de Zit Emba en amont de la station.

Donc avant la mise en eau du barrage, le débit de l'oued est directement lié aux précipitations. Ces débits seront affectés par l'artificialisation du bassin en amont.

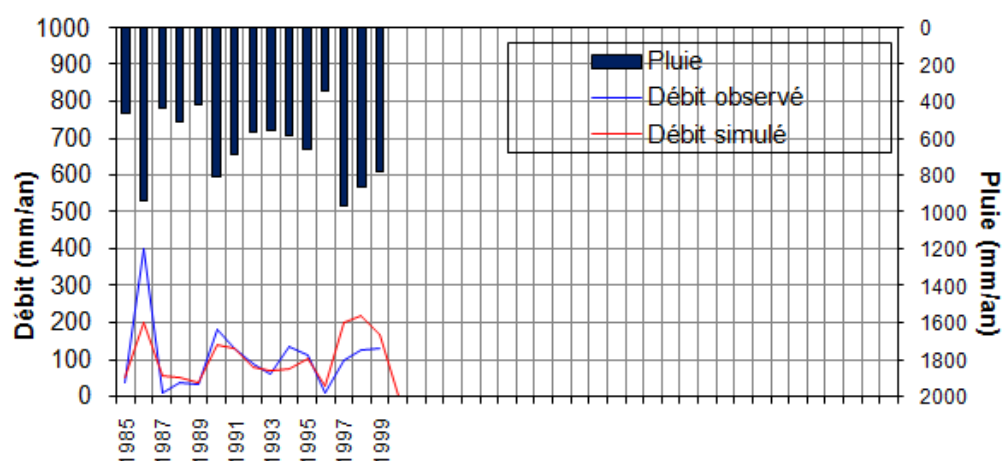


Figure 5. Relation pluie-débit observé débit simulé obtenue par le modèle GR1A.

Une corrélation linéaire est obtenue entre le débit observé et le débit simulé avec un coefficient de corrélation de 0,69 (Fig. 6). Le modèle est donc parfaitement adapté à la région d'étude.

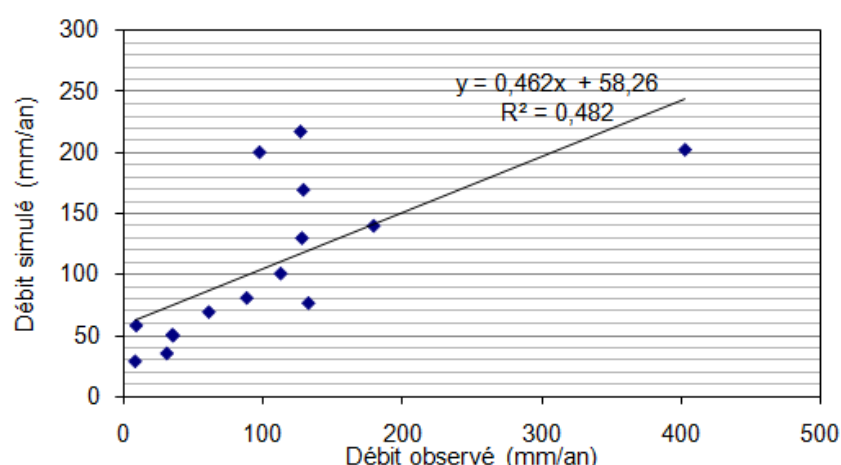


Figure 6. Relation entre débit observé et débit simulé par le modèle GR1 A(1985-1999).

Estimation des débits de crue à partir des précipitations maximales journalières**-Pluviométrie journalière maximale**

La station d'Azzaba a été choisie pour la série des pluies moyennes maximales. La série est ajustée à différentes lois de probabilité. La loi de GUMBEL s'est révélée la plus adéquate, d'où :

$$F_x = e^{-e^{-u}} \text{ avec } u = \frac{x-\bar{x}}{s}$$

Les paramètres de la loi de Gumbel sont représentés dans le tableau 2 et la figure 7.

Tableau 2. Résultats d'ajustement des pluies journalières maximales à une loi de Gumbel (1985-1999).

Paramètre	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation	Paramètre d'échelle	Le mode
Formule	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$	$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2}}{n - 1}$	$cv = \frac{s}{\bar{x}}$	$s = 0,78 \sigma$	$x_0 = \bar{x} - 0,577s$
Résultat	42,52	3,11	0,06	2,43	42,27

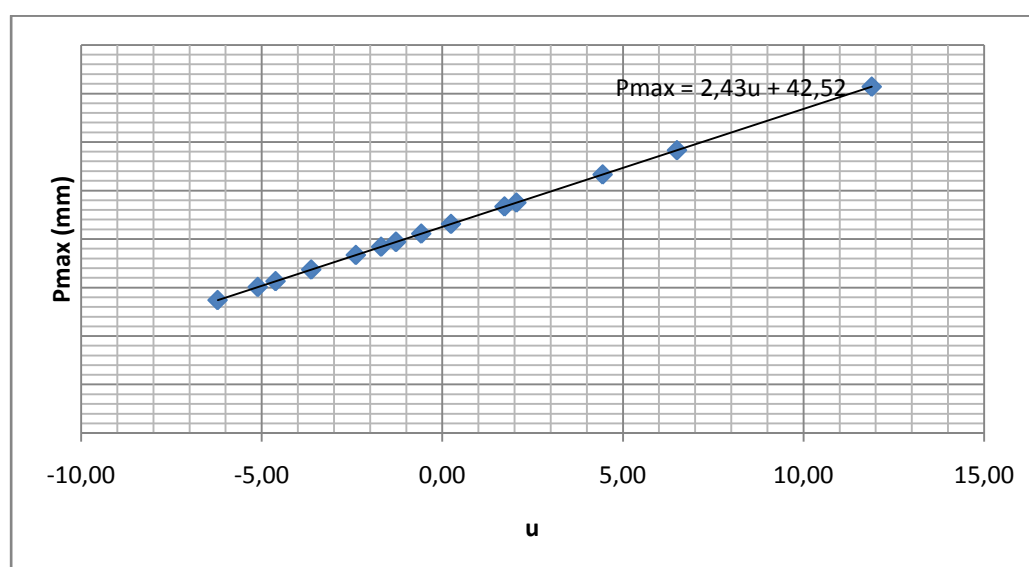


Figure 7. Ajustement à une loi de Gumbel des pluies journalières maximales (1985-1999).

A partir de l'équation d'ajustement $p_{jmax} = 2,43 u + 42,52$, on peut estimer les pluies journalières maximales pour les périodes de retour $T = 100, 50, 10, 5$ et deux ans (Tab. 3).

$$T = \frac{1}{1 - F}$$

Tableau 3. Pluies maximales pour différentes périodes de retour

T (an)	100	50	10	5	2
F	0,99	0,98	0,9	0,8	0,5
u	4,60	3,9	2,25	1,5	0,37
p_{jmax} (mm)	53,70	52,00	47,99	46,17	43,42

-Pluies de courte durée

Les pluies de courte durée pour différentes fréquences ont été déterminées à l'aide de la relation de MONTANA préconisée par l'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) [15]:

$$p_{tc} = p_{jmax} (t/24)^b$$

Avec : p_{tc} : Pluie de courte durée de fréquence égale à celle de p_{jmax} en mm

p_{jmax} : Pluie journalière maximale de fréquence voulue en mm

t = temps considéré en heures

b = coefficient climatique (pour notre région $b=0,38$)

Les résultats pour t égal au temps de concentration en heures, $t_c = 13,52$ heures [16] et pour les différents temps de retour sont reportés dans le tableau 4.

Tableau 4. Pluie de courte durée de fréquence égale à celle de p_{jmax} en mm

T (an)	100	50	10	5	2
p_{jmax} (mm)	53,70	52,00	47,99	46,17	43,42
P_{tc}	42,96	41,60	38,39	36,94	34,74

Débits maximums fréquentsiels

L'une des formules les plus utilisées est celle de TURAZZA, qui s'écrit de la manière suivante :

$$Q_{P\%} = (C \times I_{P\%} \times S) / 3,6$$

Avec : $Q_{P\%}$ = Débit maximum de fréquence (P%) en mm

$I_{P\%}$ = Intensité de la pluie de fréquence (P%) pour une durée égale au temps de concentration T_c ,

S = superficie du bassin versant,

C = Coefficient de ruissellement lié à la probabilité d'occurrence,

Le coefficient de ruissellement est fonction de la nature du sol et la pente moyenne du bassin versant (Tab. 5).

Dans notre cas, nous avons opté pour les valeurs suivantes pour le coefficient de ruissellement en suivant les intervalles de données par Casenave [17].

Tableau 5. Coefficient de ruissellement en fonction de la période de retour

Période de retour	100	50	10	5	2
C	0,32	0,30	0,22	0,18	0,12

Rappelons que :

$$I_{P\%} = P_{tc(P\%)} / T_c$$

Tableau 6. Intensité de pluies pour une durée égale à T_c pour les différentes périodes de retour.

T (an)	100	50	10	5	2
P_{tc}	42,96	41,60	38,39	36,94	34,74
$I_{P\%}$	3,18	3,08	2,84	2,73	2,57

Les résultats obtenus des débits maximums fréquentsiels sont représentés dans le tableau 7.

Tableau 7. Débits maximums pour différentes périodes de retour (Méthode de Turazza)

Période de retour	100	50	10	5	2
$Q_{P\%}$	319,15	289,73	196,08	154,34	96,77

La deuxième méthode utilisée est celle de SOKOLOVSKY :

$$Q_{max} = \frac{0,28 \times P_{tc(P\%)} \times C_e \times S}{t_m} \times f$$

f = coefficient de forme de crue, $f = \frac{12}{4+3\gamma}$ (), on prend $\gamma = 2,5$ d'où $f=1,04$

Tableau 8. f en fonction de γ

γ	2,0	2,5	3,0	4,0
f	1,2	1,04	0,95	0,75

C_e = Coefficient d ruissellement en fonction de la fréquence ;

t_m = durée de montée en heures ou $t_m = f(t_a)$ et t_a étant le temps de l'averse,

Pour des petits bassin, $t_m = t_a = t_c$, d'où les débits maximums fréquentiels du tableau 9.

Tableau 9. Débits maximums pour différentes périodes de retour (Méthode de Sokolovsky)

T	100	50	10	5	2
Q_{max} (m ³ /s)	341,39	309,92	209,75	165,09	103,52

Pour les deux méthodes utilisées les valeurs des débits des crues allant de 96 à 341 m³/s pour des périodes de retour allant de deux à 100 ans.

Ces débits calculés sont identiques aux débits de crue estimés à partir des mesures hydrométriques au niveau de la station d'Ain-Charchar enregistrés sur une période de 14 ans(Fig.8).

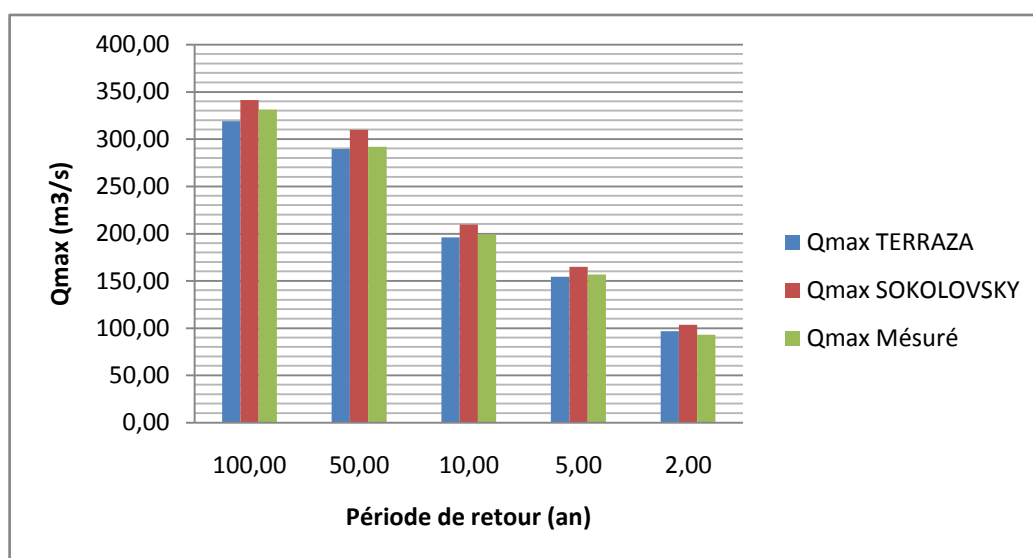


Figure 8. Résultats des débits de crue obtenus par différentes méthodes

4. CONCLUSION

Les inondations restent toujours des alias naturels immaitrisables par l'homme. Plusieurs aménagements hydrauliques peuvent réduire l'ampleur des crues, mais le moyen le plus efficace est de ramener la conscience de la population à un niveau qui leur permettra de s'intégrer dans une politique de prévention contre les inondations. Dans cette recherche, les débits des crues probables estimés à partir de la série de mesures disponibles pour différentes périodes de retour varient de 92 et 331 m³/s pour des périodes de retour allant de deux à 100 ans. Alors qu'un débit de 264.6 m³/s a pu générer une inondation importante en 1986, ce débit correspond à une période de retour d'environ 28 ans.

L'étude statistique à l'aide du logiciel Hydrolab montre une corrélation directement proportionnelle entre les précipitations et le débit du cours d'eau dans le bassin avec un coefficient $R = 0,82$. Le logiciel Hydrolab donne de bons résultats pour reconstituer des débits à partir des données pluviométriques.

Le modèle GR1A a montré une corrélation simple linéaire entre les débits moyens enregistrés à la station hydrométrique d'Ain-Charchar et les pluies moyennes sur le bassin versant pour la même période de mesure, avec un coefficient de corrélation de 0,69. En somme, les calculs par les méthodes de Turazza et de Sokolovski ont donné des valeurs pratiquement égales aux débits de crues mesurés, en optant pour des coefficients de ruissellement de 12% à 32% (terrain de perméabilité moyenne et de pente modérée).

REFERENCES

- [1] Besson L., 2005. Les risques naturels : de la connaissance pratique à la gestion administrative. Ed. Techni.Cités. 594 p.
- [2] Ramade F., 2006. Des catastrophes naturelles ? Ed. Dunod, France, 258 p.
- [3] Martin P., 2007. Ces risques que l'on dit naturels ?, Ed. Eyrolles, France, 506 p.
- [4] Toutain C., 2001. Prévenir les catastrophes naturelles ? Ed. Milan : les Essentiels. 64 p.
- [5] Veyret Y., Meschinot de Richemond N., Garry G., 2004. Risques naturels et aménagement en Europe. Ed. Armand Colin, 254 p.
- [6] Veyret-Mekdjian Y., 2001. Géographie des risques naturels. Ed. La Documentation Française. 64 p.
- [7] Dubois-Maury J., 2001. Les risques naturels : quelles réponses ? Problèmes politiques et sociaux, n° 863, Ed. La Documentation française, France, 88 p.
- [8] Boutoutaou D. & Zeggane H., 2014. Méthode de calcul des crues des oueds de l'Algérie, *revue scientifique et technique*, LJEE N°24 ET 25. 62-75.
- [9] Laborde J.P. 2000. Eléments d'hydrologie de surface. Ed. 2000. CNRS. Univ. Nice- Sofia Antipolis, France, 98 p.
- [10] Berthet L., 2006. Quelle donnée de précipitation pour un modèle global de prévision Pluie – Débit ?. Mémoire de Master. Université Pierre et Marie Curie, École des Mines de Paris et École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, France. 55 p.
- [11] Mouelhi S., 2003. Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier. Thèse de Doctorat, ENGREF, Cemagref Antony, France. 323 p.
- [12] Mouelhi S., Michel C., Perrin C. & Andreassian V., 2006. Linking stream flow to rainfall at the annual time step: the Manabe bucket model revisited, *Journal of Hydrology*, Vol.328, Issues 1–2, 283-296.
- [13] Perrin, C., Oudin, L., Andréassian, V., Rojas-Serna, C., Michel, C. & Mathevet, T., 2007. Impact of limited streamflow knowledge on the efficiency and the parameters of rainfall-runoff models, *Hydrological Sciences Journal*, Vol.52(1), 131-151.
- [14] Hafnaoui M.A., Hachemi A., Ben said M., Noui A., Fekraoui F., Madi M., Mghezzi A. & Djabri L., 2013. Vulnérabilité aux inondations dans les régions sahariennes - cas de Doucen, *Journal Algérien des Régions Arides*, N° Spécial 2013, 148-155.
- [15] Buján C.M., Véliz J. & Manzanares B., 2004. Hydrologie appliqué, procédures méthodologiques pour l'exécution d'études des retenues collinaires et petits barrages, Agence Nationale des Barrage Unité retenue collinaire, Algérie. Ed. Tecnica Hidraulica SA.103p.
- [16] Daifallah T., 2008. Ressources en eau et gestion intégrée dans le bassin versant de l'oued el Kebir ouest (nord-est algérien). Mémoire de magister, Université Badji Mokhtar d'Annaba. Algérie.191p.
- [17] Casenave A., Guiguen N., Simon J-M., 1982. Etude des crues décennales des petits bassins versants forestiers en Afrique tropicale, *Cahiers Orstom, Série hydrologie*, vol. 19 (4), 229-252.