

Etude des crues dans le bassin du Cheliff . Application de la méthode du Gradex

Mohamed MEDDI^a, Faiza BELHADJ BOUCHAIB^b

^a Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique, BP n°29., Blida, 09000, Algérie

^b LERP, Centre Universitaire de Khemis Miliana, Route Théniet El Had, Khemis Miliana, 44225, Algérie

Résumé

En cette période de vulnérabilité accrue aux inondations, il existe une forte demande sociale pour prévenir et prévoir ces catastrophes naturelles qui posent de graves problèmes humains et économiques. Pour protéger la population contre les inondations provoquées par les crues, il faut pouvoir disposer d'outils de prévision opérationnels et fiables. Le modèle pluie débit utilise la connaissance de la pluviométrie. Il est applicable en tout point du réseau hydrographique. Différentes techniques et procédures d'estimation ont été proposées et utilisées dans diverses régions du monde. Parmi ces modèles hydrologiques, on a choisi un modèle probabiliste (Gradex) pour évaluer les risques de crues extrêmes et qui permet une extrapolation à différentes périodes de retours. Notre espace d'étude est le bassin versant du Cheliff, situé au Nord Ouest d'Algérie. L'examen des Gradex ponctuels des 22 sous bassins, d'amont en aval du Cheliff, a été appliqué aux échantillons des maximums annuels des pluies journalières ou horaires. Ils ont permis de calculer le paramètre (a) des distributions des lois Lognormale et/ou Gumbel aux diverses stations pluviométriques (a = pente ou Gradex). Ensuite, nous avons appliqué la méthode du Gradex, au pas de temps journalier ou horaire, à toutes les stations de jaugeage disponibles (relativement en faible nombre et avec de courtes durées d'observation). Le point pivot a été pris à T = 10 ans. Le passage du débit journalier Qj(T) au débit de pointe Qp(T) s'opère en considérant le ratio moyen Qp/Qj fourni par un échantillon restreint d'hydrogrammes. Cette méthode a donné des résultats fiables sur l'ensemble des sous bassins étudiés. Elle convient particulièrement bien lorsqu'il s'agit d'évaluer les crues extrêmes (période de retour 1000 à 10 000 ans) générées sur un bassin versant de taille modérée (inférieure à 15 000 km²)

Keys Words : Prévision, crue, modèle pluie-débit, Bassin versant du Cheliff, Nord Ouest d'Algérie

1. Introduction

Des études hydrologiques spécifiques sont nécessaires pour la détermination des débits de référence de crues. Grâce à un traitement exhaustif de l'information disponible sur le bassin versant, ces études peuvent mettre en évidence la spécificité du bassin versant. Les études statistiques relatives aux inondations permettent la détermination de l'action structurale ou l'utilisation de la terre contre des inondations.

Le modèle est "une représentation simplifiée, relativement abstraite, d'un processus, d'un système, en vue de le décrire, de l'expliquer ou de le prévoir". La modélisation hydrologique est donc une représentation, partielle ou totale, du cycle de l'eau. Dans ce travail, on se limite à l'étude des modèles pluie débit, qui représentent la transformation de la pluie en écoulement sur les surfaces continentales. Les applications de ces modèles sont multiples, et permettent de simuler l'impact

d'aménagements anthropiques sur l'hydrologie d'un bassin versant (construction d'un barrage, imperméabilisation d'une zone par construction), de gérer les alertes de crue sur les bassins versants ou encore de reconstituer des chroniques de débits sur des bassins sur lesquels on ne dispose que de chroniques de pluies [1].

Donc, il est important de définir des outils de gestion et d'aménagement du territoire rigoureux qui présupposent une appréhension scientifique non biaisée des phénomènes naturels. On définit généralement le concept du risque d'inondation par le croisement de deux composantes : le phénomène aléatoire des crues, lié à l'hydrologie de la rivière, et la vulnérabilité aux inondations, liée quant à elle à l'occupation du sol. Parmi ces outils, on propose dans ce travail d'exploiter les informations et ce, par l'utilisation de la méthode du Gradex développée par Electricité de France (EDF) pour le dimensionnement des évacuateurs de crue des barrages [9] qui est défini comme étant un invariant climatologique saisonnier et local dépendant de la situation géographique[4].

2. Présentation du secteur d'étude

L'étude porte sur vingt deux sous bassins versants du grand bassin du Cheliff (fig.1) présentant des

caractéristiques morphologiques, géologiques et pédologiques bien différenciés et s'étendant sur une superficie de **26 948 km²** (table 1).



Fig. 1 : Carte des sous bassins du Cheliff

Table 1

Code and watershed area (Source ANRH)

N°	Bassin versant	Code (ANRH)	Superficie (Km ²)
1	Oued Sousslem (Cheliff amont Boughzoul)	01 07	3006
2	Oued Ouassel Moyen (Cheliff amont Boughzoul)	01 10	1621
3	Daia Boughzoul (Cheliff amont Boughzoul)	01 12	2818
4	Oued Cheliff Ghrib (Haut Cheliff)	01 14	1378
5	Oued Cheliff Harbil (Haut Cheliff)	01 15	780
6	Oued Deurdeur (Haut Cheliff)	01 16	851
7	Oued Cheliff Harreza (Haut Cheliff)	01 17	754
8	Oued Ebda (Haut Cheliff)	01 18	660
9	Oued Rouina Zeddine (Haut Cheliff)	01 19	890
10	Oued Chéiff Tighzel (Haut Cheliff)	01 20	581
11	Oued Fodda (Moyen Cheliff)	01 21	1152
12	Oued Ras Ouahrane (Moyen Cheliff)	01 22	1435
13	Oued Sly (Moyen Cheliff)	01 23	1400
14	Oued Tiguiquest (Bas Cheliff)	01 25	1612
15	Oued Rhiou Tleta (Bas Cheliff)	01 26	786
16	Oued Djdouia (Bas Cheliff)	01 27	836
17	Oued Cheliff Tarhia (Bas Cheliff)	01 28	765
18	Oued Mina Amont (Mina)	01 29	1324
19	Oued Abd Amont (Mina)	01 32	1499
20	Oued Abd Aval (Mina)	01 33	1068
21	Oued Mina Haddad (Mina)	01 34	1240
22	Oued Cheliff Maritime (Mina)	01 36	492

3. Analyse des données

L'application de la méthode du Gradex exige le respect de ses critères. La durée moyenne des hydrogrammes de crues observées, étant de l'ordre de 24 heures, raison pour laquelle on a adopté cette durée comme pas de temps pour les épisodes de pluie et de crue, car on disposait de quelques dizaines d'années d'observations. La pluie sur les bassins est représentée par la moyenne de chaque station.

Les valeurs maximales annuelles de ruissellement (R) se calculeront donc suivant la formule suivante: $1m^3/s$ pendant h heures = $h \times 3600m^3 = (h \times 3,6)/S$ (en mm)

Avec :

- h : temps de base de l'hydrogramme de ruissellement en heure (soit 24 heures);
- S : surface du sous bassin versant en km²

En reportant les valeurs de R (lame d'eau ruisselée en mm) sur papier graphique Log normale et compte tenu de la taille et les pentes différentes des sous bassins versants étudiés et du régime méditerranéen des précipitations, on a fait l'hypothèse que la rétention moyenne atteint sa valeur limite pour la crue décennale [2]. La distribution de la lame d'eau correspondant du débit maximum annuel moyen en 24 heures fournit comme valeur décennale **26,70 mm** soit **84m³/s** après ajustement par la loi Lognormale.

Sachant que la distribution de la lame d'eau maximale annuelle en 24 heures est exprimée par :

$$\text{Log } P_{\text{max an}} = 0,62 U_{p\%} + 1,17 \text{ soit } P_{\text{max an}} = 10^{0,62 U_{p\%} + 1,17}$$

D'où on obtient une estimation de la pluie décennale de **171mm**, soit une rétention moyenne limite de **68,3mm** (soit $95 - 26,7 \approx 68,3\text{mm}$).

La courbe obtenue est extrapolée par une droite qui a comme pente le Gradex déjà calculé pour les précipitations et ce, d'après le principe de la méthode. De ce tracé, il en résulte :

$$\text{Log } R_{\text{max an}} = 0,62 U_{p\%} + 0,62 \text{ soit } R_{\text{max an}} = 10^{0,62 U_{p\%} + 0,62}$$

La distribution empirique de la lame d'eau équivalente (R en mm) au débit moyen journalier maximum annuel sur le même graphique fournit une estimation de la valeur décennale de 26,7 mm/24h.

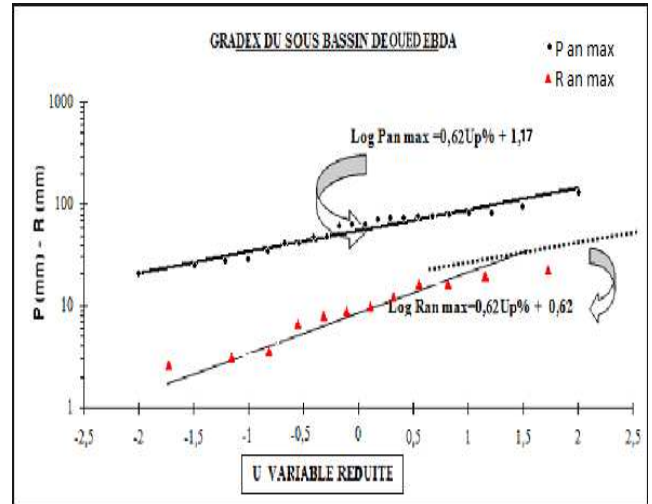


Fig. 2 : Application du Gradex au Sous Bassin de Oued Ebda

Sachant que la distribution de la lame d'eau maximale annuelle en 24 heures s'exprime par la relation :

$$\text{Log } R = 0,62 U_{p\%} + 0,62 \text{ soit } R = 10^{0,62 U_{p\%} + 0,62}$$

On obtient alors les volumes de crues rares suivantes:

- * Crue décennale **26,7 mm** soit **84m³/s**
- * Crue centennale **111,18mm** soit **347 m³/s**.
- * Crue millennale **302 mm** soit **943 m³/s**.

4. Calcul sur les hydrogrammes des crues observées.

a. **Le coefficient de forme moyenne** : ce coefficient a été calculé à partir d'une quinzaine d'hydrogramme de crues observées durant la période (1983 -1995) :

$$P = \text{débit de pointe (Q}_{\text{max}}) / \text{débit moyen en h heures (Q}_{\text{moy}})$$

b. **Caractéristiques des crues retenues** : Les crues retenues pour l'analyse apparaissent dans le tableau ci-dessous

Table 2

Caractéristiques des crues retenues

Année	Date	Q_{mov} (m ³ /s)	Q_{max} (m ³ /s)	$P = Q_{\text{mov}}/Q_{\text{max}}$
1984/85	10 Oct. – 11 Oct.	79,74	126	1,58
1986/87	05 Fev. – 07 Fev.	84,32	126	1,49
	12 Fev. – 13 Fev.	53,82	77,3	1,44
1988/89	14 Déc.- 15 Déc.	95,11	175	1,84
	20 Mars – 21 Mars	91,85	145	1,58
1991/92	25 Jan. – 26 Jan.	72,6	125	1,72
	27 Jan. – 28 Jan.	100,06	148	1,48
	09 Avr. – 10 Avr.	51,77	75	1,45
1994/95	07 Jan.	48,98	73,7	1,50
	09 Jan.	49,7	74	1,49

Le coefficient de forme P (rapport moyen entre le débit de pointe de crue et le débit moyen en 24 h) a été calculé à partir de 10 crues : **P = 1,5** valeur finalement retenue dans une hypothèse sécuritaire. En effet, la plus grande crue connue de décembre 1988 (175 m³/s) a un coefficient de forme de 1,84. (Fig. 3).

$$1,2 < P (\text{moy}) = 1,5 < 1,8$$

5. Application au débit moyen :

La distribution empirique du débit moyen maximum annuel en 24 heures a permis d'estimer le débit décennal soit 84 m³/s (R=26,7 mm). C'est le seuil à partir duquel on admet que la rétention moyenne du bassin atteint sa valeur limite estimée à 68,3 mm. On obtient alors G (Q) la loi de probabilité des lames d'eau écoulées correspondant au volume de crue en 24h, ayant même comportement asymptotique que la fonction de répartition des précipitations maximales annuelles (produit des distributions des précipitations maximales annuelles).

Sur le graphique du **Lognormale** (fig. n°3), on obtient les valeurs de la lame d'eau ruisselée en 24 heures pour la crue :

Crue décennale :

40 mm qui correspond à 125 m³/s en débit moyen en 24 h;

Crue centennale :

167 mm qui correspond à 521 m³/s en débit moyen en 24 h;

Crue millénaire :

453 mm qui correspond à 1 415 m³/s en débit moyen en 24 h.

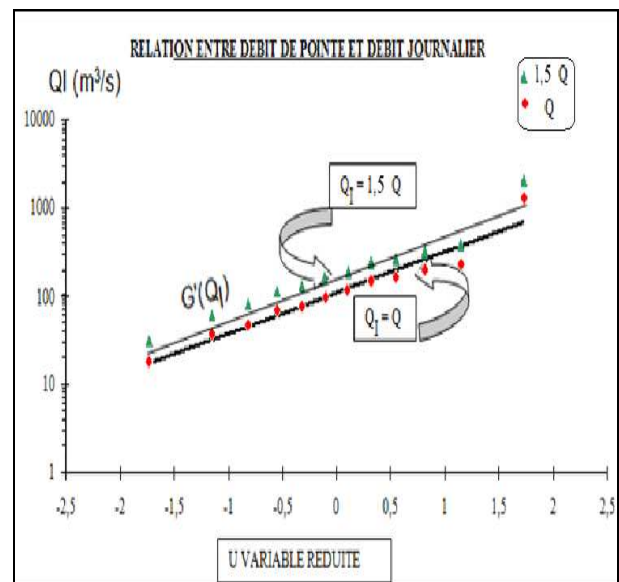


Fig. 3 : Présentation de la relation QI (débit instantané) et Qm (débit moyen journalier)

On obtient alors la fonction de répartition G' (QI) en appliquant le **rapport de forme P** à la fonction de répartition du débit moyen en 24 heures des crues extrêmes, d'où les débits instantanés Q₁ suivants :

	Estimation produit des distributions	D'après le Gradex des pluies
T =10	160 m ³ /s	125 m ³ /s
T =100	466 m ³ /s	521 m ³ /s
T =1000	1 010 m ³ /s	1 415 m ³ /s

Commentaire : On remarque que cette extrapolation s'accorde bien avec la distribution empirique du débit maximum annuel de crue (établie indépendamment), débits obtenus à partir de niveau d'eau et d'une courbe de tarage établie d'après la section hydraulique. En particulier la plus forte crue depuis presque dix ans a été observée sur cet oued le 14 décembre 1988, à la suite d'une averse à plusieurs centaines de mm. Elle a une durée de retour voisine 11 ans (Fig. 3). Le débit de pointe de la crue millénaire correspond à un débit spécifique de 5240 l/s/km².

6. Valeurs des Gradex pour le reste des s/bassins étudiés :

6.1. S/Bassin du Ghrib (code 01 14):

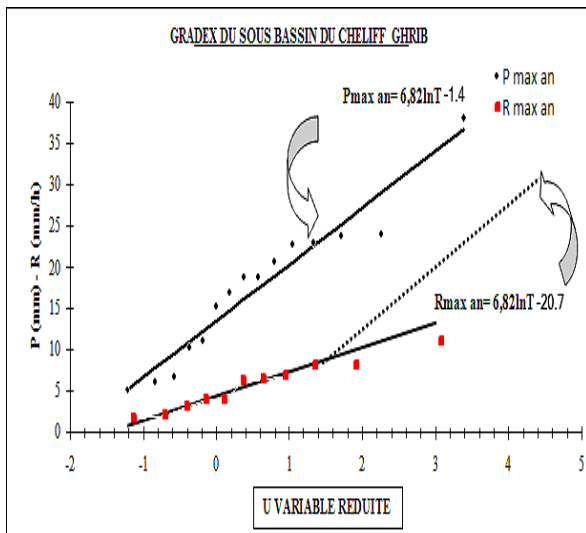


Fig. 4 : Application du Gradex au Sous Bassin de Ghrib

6.2. S/ Bassin de HARBIL (code 01 15):

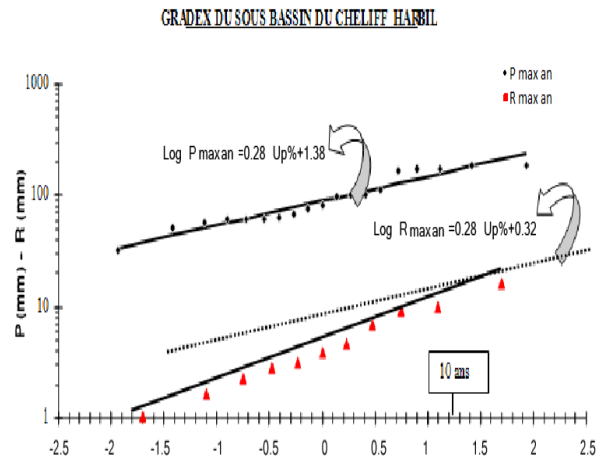


Fig. 5 : Application du Gradex au Sous Bassin de Cheliff Harbil

6.3. S/ Bassin de Harreza (code 01 17):

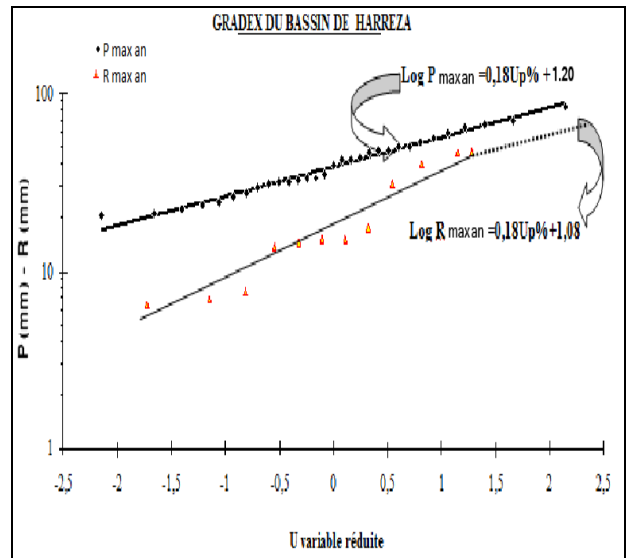


Fig. 6 : Application du Gradex au Sous Bassin de Harreza

6.4. S/ Bassin de Rouina Zeddine (code 01 19):

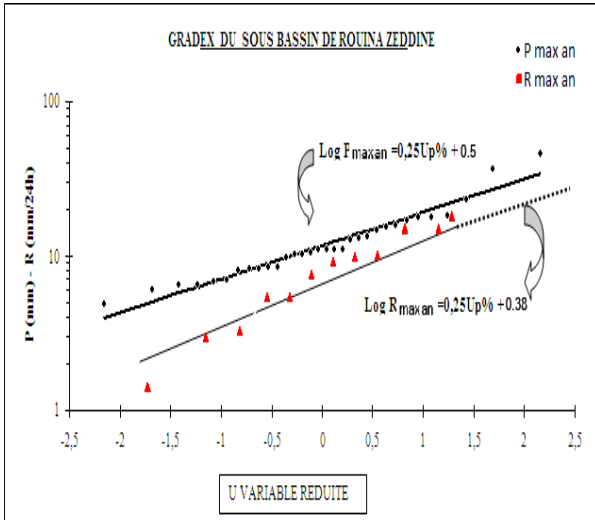


Fig. 7 : Application du Gradex au Sous Bassin de Rouina Zeddine

6.6. S/ Bassin de Djdiouia (code 01 27):

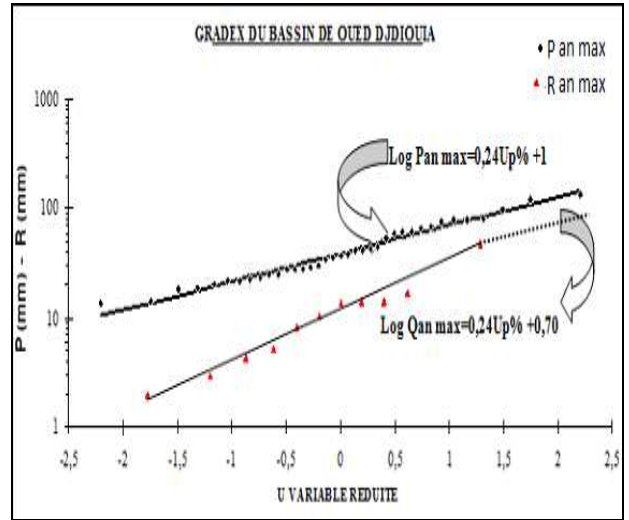


Fig. 9 : Application du Gradex au Sous Bassin de Oued Djdiouia

6.5. S/Bassin de OUED RHIU TLETA (code 01 26):

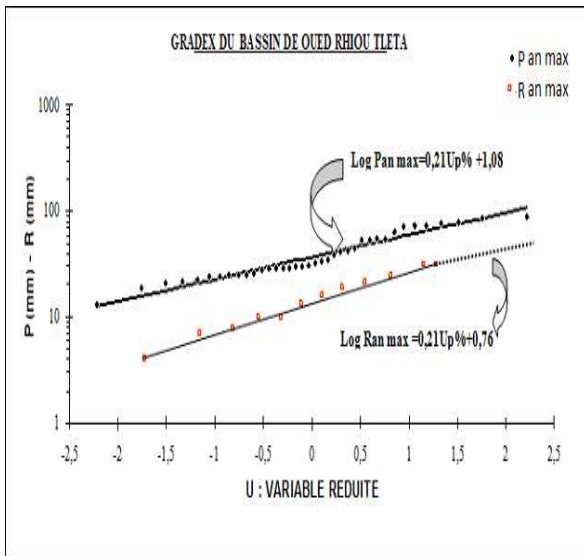


Fig. 8 : Application du Gradex au Sous Bassin de Rhiou Tleta

6.7. S/ Bassin de Tarhia (code 01 28):

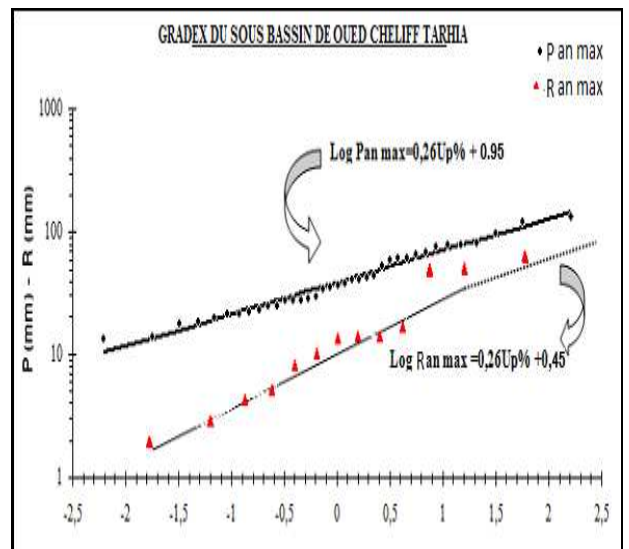


Fig. 10 : Application du Gradex au Sous Bassin de Oued Cheliff Tarhia

6.8. S/ Bassin de Oued Abd Aval (code 01 33):

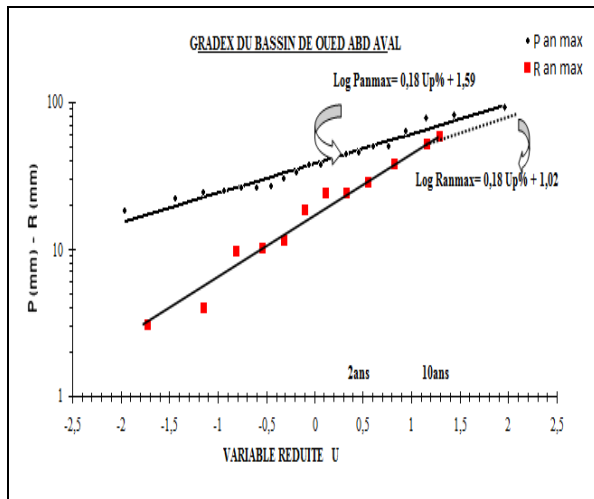


Fig. 11: Application du Gradex au Sous Bassin de Oued Abd Aval

7. Valeurs des coefficients de forme du reste des bassins étudiés

Table 3

Valeurs des coefficients de forme du reste des bassins étudiés

Code de la station	S/Bassin versant	P (coef. Forme)	$1,2 < P < 1,8$
011407	Ghrib	1,64	Vérifié
011501	Harbil	1,73	Vérifié
011702	Harreza	1,58	Vérifié
011901	Rouina Zeddine	1,78	Vérifié
012605	Oued Rhiou Tleta	1,80	vérifié
012702	Djdiouia	1,73	vérifié
012806	Tarhia	1,39	Vérifié
O13302	Oued Abd Aval	1,43	Vérifié

8. Résultats et interprétations

Les résultats obtenus, dans cette étude, montrent que :

- Les maximums annuels des pluies journalières ou horaires (selon les données), ont en majorité été modélisés par la loi Lognormale sauf un seul cas, qui s'est adapté à la loi de Gumbel (station de Ghrib 011407).

- Les données des sous bassins de Harbil, Ebda, Harreza, Rouina Zeddine, Tarhia et Oued Abd Aval ont pu vérifier la condition du Gradex qui est bien avoir un coefficient de forme P (rapport moyen entre le débit de pointe de crue et le débit moyen en 24 h) = $1,2 < P < 1,8$.

- Par contre, pour le reste des sous bassins le Gradex n'a pu être appliqué pour certains pour les raisons suivantes :

1. Influence des eaux régularisables des barrages construits sur les oueds (Deurdeur, Harreza, Oued Fodda, Oued Sly, Gargar et Boughzoul).

2. Absence de mesures pour les crues des oueds : Ababsa, Bakhada Barrage, Sidi Boudaoud, Colonel Bougara, Oued Tighzel et Oued Lilly.

C'est ainsi que l'étude des sous bassins versant du grand bassin du Cheliff a été réalisée avec succès par la méthode du Gradex, pour fournir une estimation des crues de probabilité donnée. La conception et le dimensionnement des ouvrages résultent d'un choix par le projeteur d'une probabilité des crues et de la prise en compte d'une revanche supplémentaire.

9. Conclusion et recommandation

L'objectif principal de ce travail a été de développer un modèle capable de rendre compte du régime des crues des sous bassins du grand bassin du Cheliff, ce type d'information est utile dans le cadre de la prévention des risques liés aux inondations (connaissance de l'aléa).

Le régime pluviométrique a connu un changement à partir des années soixante dix pour la région du Cheliff. Ainsi l'apparition d'un déficit pluviométrique à partir de 1970, et la persistance durant la décennie 80-90 [5]. Ce phénomène dure encore actuellement et génère un grave problème économique et social, compte tenu de la pression croissante qui s'exerce sur la ressource en eau (alimentation en eau potable, irrigation ...).

L'examen des Gradex ponctuels des 22 sous bassins d'amont en aval de la région d'étude, a été appliqué tout d'abord aux échantillons des maximums annuels des pluies journalières ou horaires qui ont permis de calculer le paramètre (a) des distributions de Lognormale ou Gumbel aux diverses stations pluviométriques (a = pente ou Gradex), ensuite on a appliqué la méthode du Gradex, au pas de temps journalier ou horaire, à toutes les stations de jaugeage disponibles (relativement en faible nombre et avec de faibles durées d'observation). Le point pivot a été pris à T = 10 ans. Le passage du débit moyen journalier $Q_m(T)$ au débit de pointe $Q_p(T)$ s'opère en considérant le ratio

moyen Q_p/Q_m fourni par un échantillon restreint d'hydrogrammes.

De ce fait, on a conclu que cette méthode donne des résultats fiables et elle convient particulièrement très bien lorsqu'il s'agit d'évaluer les crues extrêmes (période de retour 1000 à 10 000 ans) générées sur un bassin versant de taille modérée (inférieure à 15 000 km²), et lorsqu'une information en pluie et en débit est disponible.

Enfin, certaines recommandations doivent être rassemblées pour une bonne fiabilité de l'information et des données afin que l'application du Gradex donne des résultats acceptables. Parmi ces recommandations, on peut citer :

1. Il est souhaitable de connaître le régime des précipitations de courtes durées en particulier pour les petits bassins, mais les postes pluviographiques restent rares ou ne sont en place que depuis quelques années. Les incertitudes d'échantillonnage sont donc élevées et l'analyse des variations spatiales des précipitations devient difficile.

2. Pour les fichiers hydrométriques, il est presque toujours nécessaire, surtout en cas d'étude des crues, de reprendre le tarage des stations.

3. Doter les sous bassins versant d'équipement hydrométrique pour une bonne représentativité des données.

4. Avoir une bonne fiabilité de l'information pour éviter que les données rassemblées soient un mélange de fichiers à savoir les erreurs de copie ou de frappe ou des mélanges de stations où il n'y a pas de règles générales de contrôle.

Références

- [1] Lavabre, J., V. Andréassian, and O. Laroussinie, 2002. Les eaux et les forêts. La forêt : un outil de gestion des eaux? La Houille Blanche, n°3: 72-77.
- [2] CIGB 1994 « Les crues de projet des barrages : la méthode du Gradex » Bulletin du comité Français des grands barrages, n°02, nov. 1994, 18e congrès CIGB-ICOLD, 96p.
- [3] Commission Internationale des Grands Barrages - Bulletin 82 (1992) : Choix de la crue de projet - Méthodes actuelles.
- [4] Congrès International des Grands Barrages - Istamboul (1967) - Question 33 : Disposition temporaires et permanentes pour contrôler les apports et le niveau de la retenue des barrages.
- [5] Duband D., Garçon R. 1992 - Extrême Précipitation Values and their Frequencies - Can we Rely on our Estimates? - CIGB Grenade,.
- [6] ANRH, 2000 Données pluviométriques. Document interne. Alger.
- [7] Garros-Berthet H. 1994- Station-Year Approach: A Tool for the Estimation of Design Floods American Society of Civil Engineers, Journal of Water Resources Planning and Management,.
- [8] Groupe de travail du CFGB 1973 - Détermination des crues de projet - CIGB, 11° Congrès, Q41, R8, Madrid.
- [9] Guillot P - Pluies et débits extrêmes – La Météorologie, numéro spécial, juin 1980.
- [10] Guillot P, Duband D 1967- La méthode du Gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies - IASH, Publication n° 84.