SIMULATION DES DEBITS DE L'OUED BOUNAMOUSSA (ANNABA) PAR LES MODELES MARKOVIENS MULTICLASSES AU PAS DE TEMPS JOURNALIER

Par
Noureddine DECHEMI
Docteur, Chargé de Cours, ENP (*)
Abdelmalek BERMAD
Magister, Maître Assistant, ENP
Tarek MERABTENE
Magister, Maître Assistant, ENP

Résumé

La série historique des débits de l'oued Bounamoussa (Annaba), alimentant le barrage de la Cheffia utilisé à plusieurs fins (alimentation en eau potable, industrie, agriculture et écrêtement des crues), a été simulée par les modèles Markoviens multiclasses.

Les séries générées servent d'entrées au modèle de gestion.

La non homogénéité de la série historique, son découpage en classes, ainsi que l'effet saisonnier ont été traités.

Le modèle d'ordre 1 à 6 classes a donné les résultats les plus satisfaisants.

Mots clés : débits • Annaba • simulation • chaînes de Markov • multiclasses • ajustement.

1 INTRODUCTION

Les années de sécheresse qu'a récemment connues l'Algérie, ont eu pour effet la diminution des ressources hydriques du pays, et ont souligné la nécessité de prendre en compte les risques futurs de pénurie dans la gestion de l'eau des barrages.

Dans le but de contribuer à la résolution de ce problème, la modélisation des débits constitue pour les gestionnaires de la ressource en eau un outil d'aide à la décision non négligeable dans l'élaboration des plans d'exploitation.

L'objectif est donc de générer de longues séries synthétiques de débits, au pas de temps journalier, qui reproduisent le plus fidèlement possible les caractéristiques statistiques de la série historique.

Plusieurs modèles ont été proposés pour la simulation des séries chronologiques en hydrologie : modèles autorégressifs AR [9], modèles du bruit gaussien fractionnel [5], modèles autorégressifs et de moyennes mobiles ARMA [3] et [7], modèles de la ligne brisée [6], modèles de Markov-ARMA [4], modèles mixtes généraux [2].

Le choix d'utilisation de l'un de ces modèles dépend des facteurs suivants [Salas et Al] (1981) :

1- Jugement, expérience et préférence personnelle du modélisateur.
2- Le processus physique du modèle à étudier.
3- Les caractéristiques statistiques des séries chronologiques.

Le cours d'eau étudié est situé dans la région de Annaba dans le Nord-Est de l'Algérie, caractérisé par un climat méditerranéen. Son débit moyen annuel est évalué à 150 Hm^3, la superficie du bassin versant est de l'ordre de 575 Km^2 et la pluviométrie moyenne annuelle est de 800 mm.

(*) Ecole Nationale Polytechnique (Alger).

2 COLLECTE ET CRITIQUE DES DONNEES

Tout travail utilisant des données hydrométéorologiques doit faire l'objet au préalable d'une critique de ces dernières.

Les possibilités d'utilisation d'un modèle mathématique et les limites de sa validation sont imposées par la quantité et la qualité des données.

Pour le cas étudié, la période d'observation des débits recueillis auprès de l'Agence Nationale des Barrages (ANB) s'étale de 1978 à 1989 au pas de temps journalier.

Les tests statistiques appliqués à la série recueillie ont révélé des valeurs maximales journalières pour les débits qui apparaissent à première vue comme étant des valeurs erronées (42.1 Hm^3/j). Après vérification, il s'est avéré qu'une très forte crue a réellement eu lieu.

Le tracé des débits journaliers (Figure 1) montre que les deux dernières années de la série historique sont très sèches. Par conséquent un test d'homogénéité des données de la série est nécessaire pour voir si celles-ci appartiennent ou non à la même population.

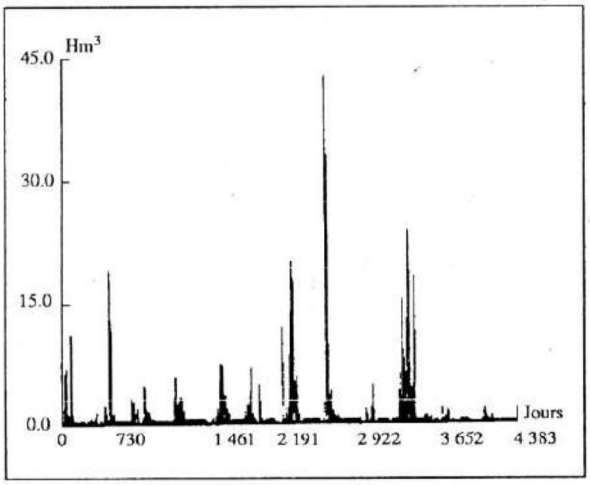


Figure 1 : Débits journaliers (barrage Cheffia).

Après subdivision de la période d'observation en deux échantillons respectivement de 120 mois (10 ans) et 24 mois (2 ans) on obtient les caractéristiques statistiques résumées dans le tableau ci-après :

Echantillon	1 (10 ans)	2 (2 ans)
Moyenne (Hm^3)	11.7	1.6
Ecart type (Hm^3)	19.6	2.1

Tableau 1 : Moyenne et écart type des deux échantillons étudiés.

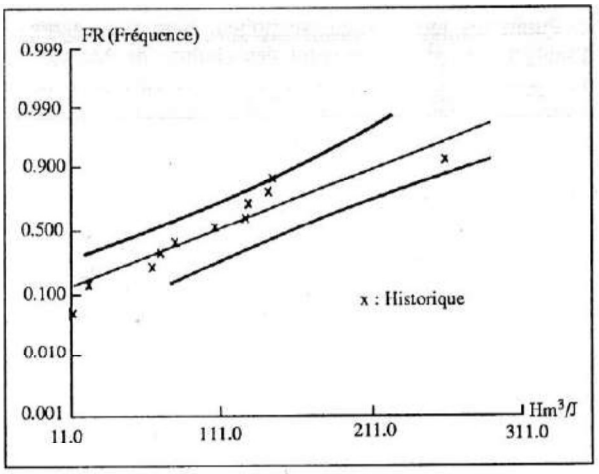


Figure 2 : Débits annuels (barrage Cheffia) 1978-1989.

Les tests de Student et de Fisher ont été appliqués respectivement pour vérifier l'homogénéité de la moyenne et de l'écart type des deux échantillons. Il s'est avéré que ces deux derniers paramètres n'appartiennent pas à la même population [1].

Par conséquent, on peut dire qu'on est en face de deux années exceptionnelles. Mais il nous est impossible de rejeter cette période du fait que le phénomène s'est réellement passé.

La loi d'ajustement la mieux adaptée à la distribution des débits annuels de l'oued Bounamoussa est la loi normale (Figure 2) alors que les débits maxima s'ajustent bien à la loi de Gumbel (Figure 3).

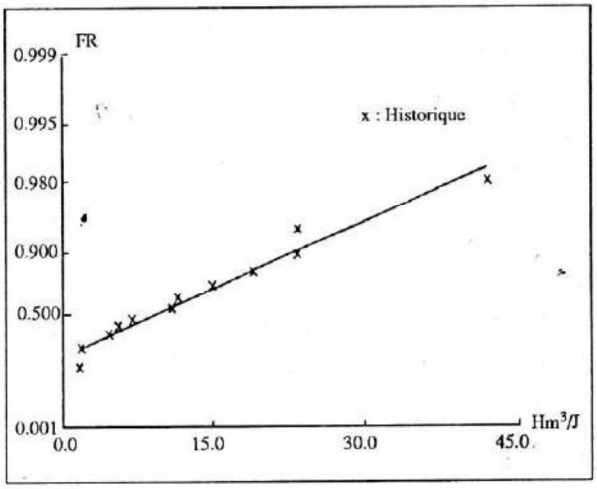


Figure 3 : Débits maxima journaliers (barrage Cheffia) 1978-1989.

3 MODELE DE SIMULATION

Le tracé des débits journaliers de la série historique de l'oued Bounamoussa met en évidence le caractère aléatoire de ces derniers (Figure 1).

d'analyse, on peut citer celui des chaînes de Markov, qui permet de générer des séries synthétiques de débits qui seront le paramètre d'entrée des outils d'aide à la décision.

Le modèle Markovien que l'on se propose d'étudier est un modèle multiclasse, qui, comme son nom l'indique, consiste à subdiviser la série historique en plusieurs classes.

Le découpage en classes peut se faire de différentes manières et ceci dans le but d'avoir une répartition homogène des données au niveau de celles-ci, afin de ne pas favoriser l'une d'elles par rapport à l'autre.

Ce découpage peut se faire aléatoirement, par le biais de la fonction de répartition de la série historique, ou bien en tenant compte du débit journalier moyen et de l'écart type.

Plus on augmente le nombre de classes, et plus on a des difficultés à choisir leurs seuils.

L'augmentation du nombre de classes permet le passage d'un modèle discret à un modèle continu, le problème est l'homogénéité du nombre de valeurs dans chaque classe.

En plus du problème du découpage en classes, il faut aussi tenir compte du phénomène saisonnier, car vu la disparité des saisons, il est indispensable de scinder l'année en saisons afin d'affiner l'étude et de ressortir les caractéristiques de chaque saison pour que le modèle mathématique soit le plus près possible du phénomène physique.

Le modèle de simulation élaboré est un modèle Markovien multiclasse, au pas de temps journalier, son principe est : disposant des probabilités conditionnelles cumulées, on effectue un tirage d'un nombre aléatoire (compris entre 0 et 1). Le résultat obtenu (qui est une probabilité) sera comparé aux seuils des fréquences conditionnelles (ou inconditionnelles) cumulées et indiquera la classe au jour j, connaissant la classe du jour i réalisée la veille. La classe initiale étant fixée arbitrairement, celle-ci n'a pas beaucoup d'importance étant donnée que la mémoire du phénomène est courte (ne dépassant pas sept jours).

Pour déterminer les valeurs simulées des débits d'une classe, on trace la fonction de répartition des débits historiques appartenant à cette classe, ensuite on fait un deuxième tirage d'un nombre aléatoire compris entre 0 et 1, le résultat obtenu sera projeté sur la fonction de répartition ce qui permettra de déterminer la valeur simulée du débit.

4 COMPARAISON ENTRE SERIES HISTORIQUE ET SIMULEE

Pour étudier la fiabilité du modèle, on a cherché d'accepter ou de rejeter les séries simulées ; sur cette base, on a fait la comparaison entre séries historique et simulée à différents niveaux :

a) moyennes et écarts types annuels,

b) ajustement des moyennes annuelles,

c) ajustement des maxima journaliers,

d) moyennes et écarts types mensuels interannuels.

5 RESULTATS ET INTERPRETATION

Le modèle Markovien multiclasse développé a été étudié de façon à voir l'influence de deux paramètres prépondérants dans la génération des débits :

- l'influence des saisons,
- l'influence du nombre de classes.

Afin d'analyser et de suivre le comportement des séries simulées, plusieurs tests ont été effectués sur le modèle de simulation et ce en changeant à chaque fois l'un de ces paramètres.

❍ *Influence des saisons*

Les différents tests ont porté sur une période de vingt années. On a constaté qu'en augmentant le nombre de saisons, les simulations obtenues approchaient les valeurs de la série historique. Ceci s'explique par le fait que le phénomène se trouve mieux cerné et proche de la réalité physique, le résultat n'en sera que meilleur.

❍ *Influence du nombre de classes*

Les tests effectués ont porté sur des modèles d'ordre 0 et 1 à 3, 4, 5 et 6 classes. La période de simulation est de vingt années et le nombre de saisons est de quatre. Les résultats obtenus sont les suivants :

✔ *Moyennes et écarts types annuels*

Pour pouvoir rejeter ou accepter les résultats d'une simulation, on compare les moyennes et les écarts types des séries simulées aux intervalles de confiance de ces deux paramètres de la série historique.

On remarque que toutes les moyennes interannuelles $\overline{X}$ des séries simulées sont comprises dans l'intervalle de confiance de la moyenne de l'historique.

Les écarts types S_x des séries simulées pour l'ordre 0 se trouvent à l'extérieur de l'intervalle de confiance de la série historique d'où l'hypothèse de rejeter toutes ces simulations.

Pour les modèles d'ordre 1, seul le modèle à 3 classes est à rejeter car la valeur de son écart type n'appartient pas elle aussi à l'intervalle de confiance de la série historique.

	$\bar{X}$	S_x	C_v(*)	
Historique	123.734	87.542	0.707	
Intervalle de confiance	[68.138, 179.330]	[62.014, 148.635]		
Ordre 0	128.531	39.555	0.308	*3 Classes*
Ordre 1	121.736	58.564	0.481	
Ordre 0	124.882	25.063	0.201	*4 Classes*
Ordre 1	122.166	63.307	0.518	
Ordre 0	130.881	26.553	0.203	*5 Classes*
Ordre 1	142.089	63.345	0.446	
Ordre 0	131.861	28.493	0.216	*6 Classes*
Ordre 1	151.746	77.342	0.510	

(*) Coefficient de variation.

Tableau 2 : Résultats des simulations pour différentes classes.

✔ *Ajustement des débits annuels*

Pour mieux illustrer ces résultats, on a ajusté les débits annuels de la série historique et des séries simulées (Figure 4). Les constatations suivantes peuvent être faites :

- Pour tous les modèles d'ordre 0, on remarque que les ajustements des débits annuels des séries simulées sont différents de celui de la série historique. Il en est de même pour le modèle à 3 classes d'ordre 1.
- Pour les modèles d'ordre 1 à 4 et 5 classes, les ajustements des séries simulées approchent légèrement l'ajustement de la série historique.

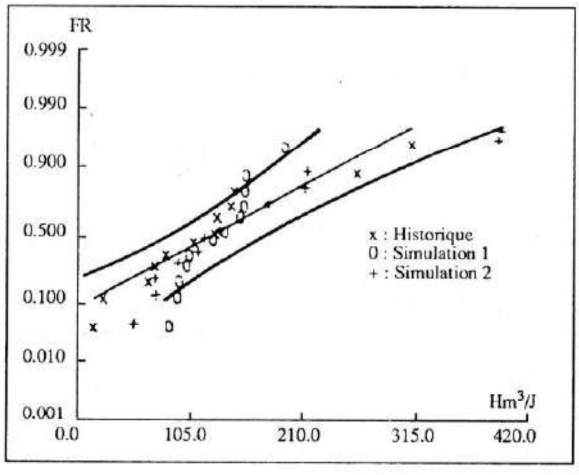


Figure 4 : Comparaison des débits annuels (barrage Cheffia) 1978-1989.

- Enfin, pour le modèle d'ordre 1 à 6 classes, la droite d'Henri de la série simulée évolue de la même manière que celle de la série historique.

✔ *Ajustement des débits maximums journaliers*

La loi de Gumbel se prête bien à l'ajustement des maxima journaliers des séries historiques et simulées. Les remarques faites pour l'ajustement des débits annuels restent valables dans ce cas aussi (Figure 5).

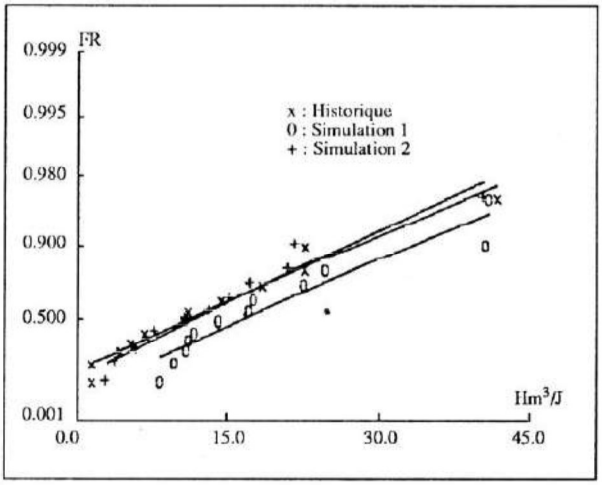


Figure 5 : Comparaison des débits maxima journaliers (barrage Cheffia) 1978-1989.

✔ *Moyennes mensuelles interannuelles*

Les tracés des moyennes mensuelles interannuelles (Figure 6) ont montré que les sorties des modèles d'ordre 0 pour différentes classes n'évoluent pas de la même façon que la série historique.

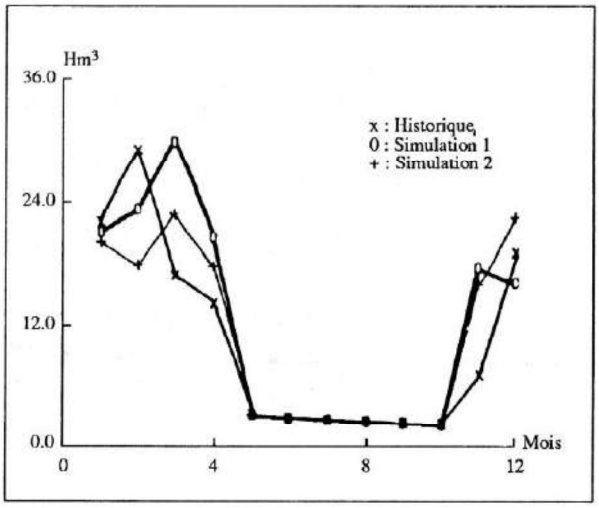


Figure 6 : Débits mensuels (barrage Cheffia) 1978-1989.

Seuls les résultats du modèle à 6 classes d'ordre 1 s'identifient bien à l'évolution de la série historique.

6 CONCLUSION

Les modèles Markoviens multiclasses ce sont avérés un très bon outil pour la simulation des débits de l'oued Bounamoussa qui se caractérisent par une évolution aléatoire.

L'effet saisonnier est indéniable étant donné la spécificité du climat de la région. En effet, le fait de scinder l'année en plusieurs saisons permet d'améliorer la simulation ; il en est de même pour le nombre de classes, le modèle à 6 classes d'ordre 1 présente les meilleurs résultats.

Le développement de tels modèles pour des régions assujetties à des sécheresses chroniques permettra une gestion rationnelle de la ressource en eau qui tend à devenir de plus en plus insuffisante ❹

BIBLIOGRAPHIE

[1] A. Bermad : "*Elaboration d'un modèle de gestion d'un barrage réservoir*". Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 1990.

[2] D.C Boes et J.D Salas : "*Nonstatinarity in the mean and the Hurst phenomenon*". Journal of water resources research, 14(1), pp. 135-143, 1978.

[3] R.F Carlson, A.J.A Mac Cormick et D.G Watts : "*Application of linear models to four annua streamflow series*". Journal of water resources research, 6(4), pp. 1070-1078, 1970.

[4] D.P Lettenmaier et S.J Burges : "*Operationa assesment of hydrologic models of long-term persistence*". Water resources research, 13(1), pp 113-124, 1977.

[5] N.C Matalas et J.R Wallis : "*Statistical properties of multivariate fractional noise precesses*". Water resources research, 7(6), pp. 1460-1468, 1971.

[6] J.M Mejia : "*On the generation of multivariate sequences exhibiting the Hurst phenomenon and some flood frequency analyses*". PhD dissertation Colorado State University, Fort Collins, Colorado 1971.

[7] P.E O'connel : "*A simple stochastic modelling of Hurst's law*". In mathematical models in hydrology, Warsaw symposium, (IAHS Publ. 100 1974) 1, pp. 169-187, 1971.

[8] J.D Salas et R.A Smith : "*Physical basis of stochastic models of annual flows*". Water resources research, 17(2), pp.428-430, 1981.

[9] H.A Thomas et M.B Fiering : "*Mathematical synthesis of streamflow sequences for the analyses of river basins by simulation*". In design of water resource systems (A Mass et Al., eds), pp. 459-493, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1962.

DANS UN PROCHAIN NUMERO

EVALUATION DES IMPEDANCES DYNAMIQUES DE FONDATIONS FILANTES PAR LA METHODE DES EQUATIONS INTEGRALES AUX FRONTIERES

Deuxième Partie : Etude Paramétrique.

Par :
M. Hadid
M.K Berrah