

**PREVISION DES CRUES DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED
MAKERRA (SIDI BEL ABBES) APPLICATION DE LA METHODE
DU MUSKINGUM**

**FORECAST OF BELIEVED IN THE AREA CATCHMENT OF THE
WADI MAKERRA (SIDI BEL ABBÉS) APPLICATION OF THE
METHOD OF MUSKINGUM**

Sadeuk Ben Abbas A¹ & Meddi M¹.

Centre universitaire de Khemis Miliana. sbkad2002@yahoo.fr

Résumé : Le bassin versant de la Makerra, fait partie du grand bassin de la Macta. Il est situé au Nord-Ouest d'Algérie et est soumis à des crues éclairs particulièrement dangereuses. Face à la récurrence de ces événements catastrophiques, la compréhension et l'identification des processus hydrologiques mis en jeu lors du passage de la normale à l'extrême, constitue un axe stratégique de prévention contre les inondations. Des indicateurs de fonctionnement du bassin ont été recherchés par modélisation du débit spatialisé sur différentes crues observées au niveau des trois stations implantées le long de l'oued Makerra. Parmi les modèles hydrologiques, le modèle empirique (Muskingum) a été choisi pour l'étude de la propagation des crues et l'estimation des débits extrêmes. Les épisodes de crues observées au niveau des stations de Sidi Ali Benyoub et de Sidi Bel Abbès se caractérisent par la gravité des dégâts occasionnés. La ville de Sidi Bel Abbès construite dans le lit majeur de la Makerra ainsi que les communes situées dans la plaine sont les plus exposées à ces crues soudaines.

Mots clés : ressources en eaux, prévision, crue, inondation, Makerra, Sidi Bel Abbés.

Abstract: The catchment area of Makerra, fact part of the large basin of Macta, located at the North-West of Algeria, is subjected to particularly dangerous risings flashes. Facing the recurrence of these catastrophic

events, the comprehension and the identification of the hydrological processes brought into play at the time of the passage of the normal at the extreme, constitute a strategic axis of prevention against the floods. Indicators of operation of the basin were sought by modelling of the flow spatialized on various risings observed on the level of the three stations established along the Makerra wadi. Among the hydrological models one chose an empirical model (Muskingum) for the study of the propagation of risings and the estimate of the extreme flows. The episodes of risings observed on the level of the stations of Sidi Ali Benyoub and Sidi Bel Abbès are characterized by the gravity of the caused damage. The town of Sidi Bel Abbes, built in the major bed of Makerra as well as the communes located in the plain is exposed to these sudden risings.

Key words: water resources, forecast, rising, flood, Makerra, Sidi Bel Abbès.

INTRODUCTION

La conception, la construction, la gestion des ouvrages hydrauliques et la prévention des inondations nécessitent une connaissance des écoulements aux sites où se posent les problèmes de conception et de gestion. Le premier dommage causé par les crues de la Makerra a été enregistré en 1902, 1904 et 1909 (crue annuelle) avec un débit de $448\text{m}^3/\text{s}$.

La crue enregistrée au niveau de la région d'étude, durant l'année 1994, a provoqué des dégâts considérables qui on été évalués à 40 milliards de centimes. Elle peut être considérée comme exceptionnelle ($530\text{ m}^3/\text{s}$), et peut être qualifiée comme crue éclair au vu de la rapidité de montée des eaux tant sur le bassin versant que dans les cours d'eau aval (augmentation du niveau d'eau dans le lit).

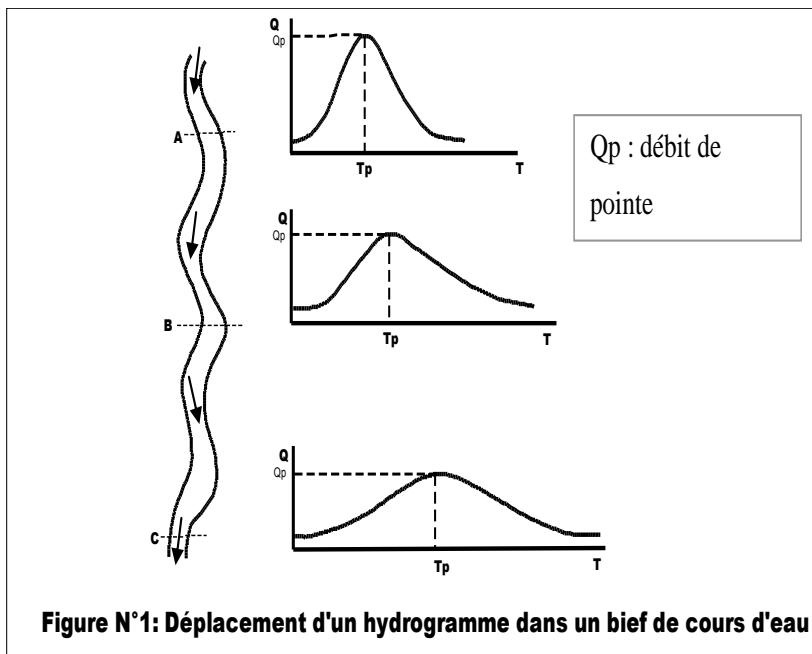
L'estimation adéquate de ces crues est primordiale en raison des risques importants associés à une connaissance insuffisante de ces évènements.

L'expression d'acheminement ou de la propagation des crues représente la procédure qui permet de déterminer l'hydrogramme à la sortie d'un réservoir ou d'un bief d'un cours d'eau, lorsque l'hydrogramme est connu à l'entrée.

SCHÉMA D'ACHEMINEMENT D'UNE CRUE :

La figure 1 illustre le passage d'une crue dont la courbe représentative est un hydrogramme d'un bief de cours d'eau. Nous constatons qu'il y a un décalage dans le temps à cause du déplacement du point « A » au point « B » et une atténuation du débit de pointe causé par l'effet de stockage dans le lit du cours d'eau (Javelle,1994).

L'acheminement de crue dans un cours d'eau est défini comme le procédé de calcul qui tient compte des effets du stockage d'eau dans un bief de cours d'eau sur le déplacement d'un hydrogramme de crue. Pendant la période de crue, le débit d'entrée dans une section amont est supérieur au débit de sortie dans une section aval. Pendant la période de décrue, la situation est renversée, le prisme est incliné vers l'amont (fig. 2).



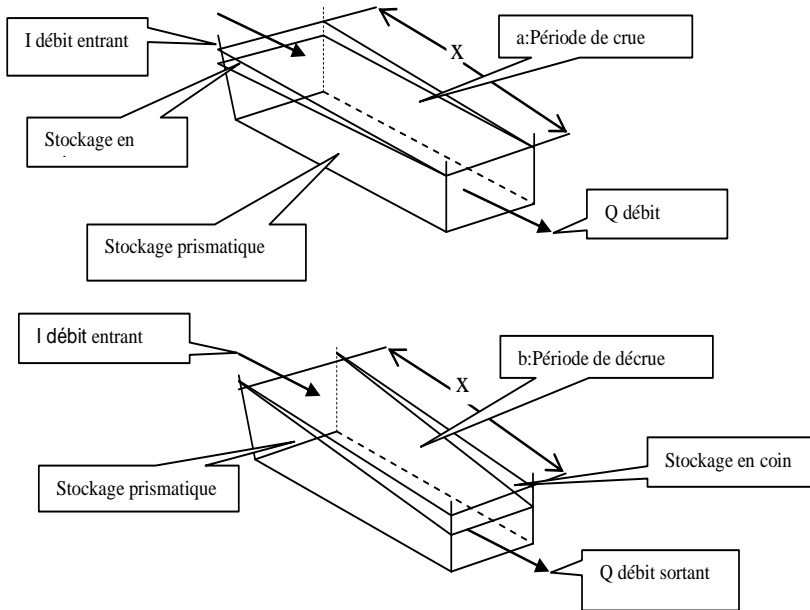


Fig. 2 : Période de crue (a) et de décrue (b) dans un tronçon de lit de rivière (Liamar, 1993)

LE MODÈLE DE MUSKINGUM

Énoncé

La méthode de Muskingum a été développée à l'origine par le Corps des Ingénieurs de l'U.S. Army et par Mc Carthy (in Roche P. A. 1990) dans ses projets de contrôle des crues de la rivière Muskingum dans le bassin de l'Ohio en 1934-1935. Cette méthode s'inscrit dans la catégorie des méthodes de calcul des crues dites à coefficients. Elles sont caractérisées par des procédés qui approchent par des simples relations, les fonctions complexes qui existent entre le volume d'eau contenu dans une portion de canal et les facteurs hydrauliques tels que le débit d'entrée et de sortie, la hauteur d'eau et la pente (Roche P.A. 1990). Elle est basée uniquement sur l'utilisation de l'équation de continuité globale présentée sous la forme de différence finie:

$$\frac{dS}{dt} = I - Q \quad (1)$$

$$\frac{I_1+I_2}{2} - \frac{Q_1+Q_2}{2} = \frac{S_2-S_1}{\Delta T} \quad (2)$$

Où : I : le débit d'entrée à l'amont ;
 Q : le débit de sortie à l'aval ;
 S : le stockage dans le bief ;
 Δt : le pas de temps;

Les indices 1 et 2 représentent le début et la fin de Δt respectivement.

L'équation de continuité seule ne suffit pas pour trouver une relation puisqu'il y a deux inconnues : le stockage S et le débit sortant Q. Une deuxième équation est fournie par une relation empirique de stockage, dont la forme générale est :

$$S = X.S_I + (1 - X).S_Q \quad (3)$$

Où : S_I=stockage relatif au débit amont,
 S_Q= stockage relatif au débit aval
 X=Facteur de pondération et ou un paramètre de forme de la ligne d'eau.

Les hypothèses de base pour solutionner les équations citées précédemment sont :

$$m/d=1 \text{ et } K = b/a$$

En combinant les équations (2) et (3), on obtient :

$$S = K.Q + K.X (I - Q)$$

Avec K= temps de propagation de l'onde dans le canal.

Solution et détermination des coefficients

La méthode de Muskingum est une fonction d'acheminement d'application très aisée, tant pour la détermination des paramètres **K** et **X** que pour l'acheminement d'un hydrogramme. Rappelons les deux équations de base:

- L'équation de continuité:
$$\frac{dS}{dt} = I - Q$$

- La relation de Muskingum:
$$S = K.Q + K.X (I - Q)$$

Où:
$$S = K.[X.I + (1 - X).Q]$$

Le stockage **S** et le débit sortant **Q** (acheminé) sont les inconnues de ce système à deux équations. On va tout d'abord exprimer la variation de stockage **S** entre deux instants **t=1** et **t=2**:

Au temps **t=1**:

$$S_1 = K.[X.I_1 + (1 - X).Q_1] \quad (4)$$

Au temps **t=2**:

$$S_2 = K.[X.I_2 + (1 - X).Q_2] \quad (5)$$

Soit une variation de stock:

$$S_2 - S_1 = K.[X.I_2 + (1 - X).Q_2] - K.[X.I_1 + (1 - X).Q_1] \quad (6)$$

On introduit alors cette équation (6) dans l'expression 2, ce qui donne:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{K.[X.I_2 + (1 - X).Q_2]}{\Delta t} - \frac{K.[X.I_1 + (1 - X).Q_1]}{\Delta t} \quad (7)$$

En réorganisant l'expression (7), nous obtenons ::

Avec:
$$Q_2 = C_0 \cdot I_2 + C_1 \cdot I_1 + C_2 \cdot Q_1$$

$$Q_2 = \frac{K.X - 0.5\Delta t}{K - K.X + 0.5\Delta t} \cdot I_2 + \frac{K.X + 0.5\Delta t}{K - K.X + 0.5\Delta t} I_1 + \frac{K - K.X - 0.5\Delta t}{K - K.X + 0.5\Delta t}$$

$$C_0 = \frac{K.X - 0.5\Delta t}{K - K.X + 0.5\Delta t}, \quad C_1 = \frac{K.X + 0.5\Delta t}{K - K.X + 0.5\Delta t}, \quad C_2 = \frac{K - K.X - 0.5\Delta t}{K - K.X + 0.5\Delta t}$$

Il est recommandé de vérifier que : $X \leq \frac{0.5\Delta t}{K} \leq 1 - X$ avec $X \leq 0.5$

Si l'on connaît des hydrogrammes mesurés à l'entrée et à la sortie du bief concerné, il existe une approche par les moindres carrés pour déterminer **K** et **X**. La procédure est décrite ci-dessous : $S = K.Q + K.X(I - Q)$

$$\frac{S}{Q} = K + K.X \cdot \left(\frac{I}{Q} - 1 \right) \Rightarrow Y = a + bZ, Y = S/Q \text{ et } Z = \left(\frac{I}{Q} - 1 \right)$$

Avec : $K = a$ et $X = b/a$

Il est important de remarquer que les coefficients C_0, C_1, C_2 , doivent être plus grands que zéro sinon, le débit sortant Q prend des valeurs négatives. Il faut vérifier en outre sans peine la relation suivante: $C_0 + C_1 + C_2 = 1$. Et, de plus, si l'on souhaite que K donne une idée du transfert de la crue, il faut encore que $K > \Delta t$, soit : $(\Delta t / K) < 1$.

On commence tout d'abord par la saisie des données disponibles des observations relatives à la station amont et aval avec un pas de temps suffisamment court (Tableaux 1 et 2).

Les observations disponibles sont celles de la station de Ras El Ma, Sidi Ali Benyoub et de Sidi Bel Abbès (Fig. 3). Une opération des exécutions peut être lancée dans le programme dont l'organigramme est en figure 3.

Remarque : le programme fait également le calcul de l'erreur de modélisation à l'aide de la formule : $ERRM = \sum_{i=1}^N (Q_i - Q_i^m)^2$

N : Nombre d'observations; Q_i : Débit estimé pour le pas de temps i; Q_i^m : Débit mesuré pour le pas de temps i

Résultat

Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux 1, 2 et 3.

Tableau 1. Résultats obtenus entre les stations de Sidi Ali Benyoub et de Sidi Bel Abbès

T	I	Q	Q2	T	I	Q	Q2
0	0,12	0,25	0,25	12	16,30	0,21	0,23
1	0,23	0,25	0,25	13	12,40	3,85	2,40
2	0,58	0,25	0,25	14	10,50	35,40	35,40
3	1,27	0,25	0,36	15	9,98	35,40	36,90
4	106,00	0,25	0,36	16	8,30	17,90	17,89
5	95,40	0,25	0,32	17	6,16	9,75	9,74
6	61,10	0,25	0,30	18	5,30	7,27	7,27
7	43,90	0,24	0,28	19	4,60	6,58	6,58
8	34,00	0,24	0,27	20	3,90	6,16	6,16
9	26,00	0,22	0,25	21	3,34	5,95	5,95
10	21,00	0,20	0,22	22	2,96	5,63	5,63
11	19,60	0,19	0,21	23	2,60	5,32	5,31

◆DATE:08/09/96 ◆STATION (I):110201◆ STATION (Q):110301

◆ (I) : Hydrogramme d'entrée (m³/s), ◆ (Q) : Hydrogramme de Sortie mesuré (m³/s), ◆ (Q₂) : Hydrogramme de Sortie Estimé (m³/s), (Pas de Temps h: 1

Tableau 2. Résultats obtenus entre les stations de Ras Elma et de Sidi Ali Benyoub

T	I	Q	Q ₂	T	I	Q	Q ₂
0	0,177	0,120	0,233	12	5,000	16,300	16,649
1	3,270	0,230	1,068	13	3,600	12,400	12,692
2	28,800	0,580	-0,156	14	3,050	10,500	10,744
3	36,000	1,270	-0,097	15	2,500	9,980	10,246
4	32,400	106,000	108,399	16	2,500	8,300	8,506
5	26,600	95,400	97,714	17	2,500	6,160	6,279
6	23,100	61,100	62,261	18	2,190	5,300	5,386
7	18,000	43,900	44,709	19	1,520	4,600	4,696
8	15,000	34,000	34,490	20	1,160	3,900	3,982
9	10,000	26,000	26,494	21	0,740	3,340	3,419
10	8,000	21,000	21,406	22	0,380	2,960	3,045
11	6,500	19,600	20,010	23	0,205	2,600	2,677

(Date : 08/09/96 : Station (I):110101 : Station (Q):110201 ; (I) : Hydrogramme d'entrée (m³/s) ; (Q) : Hydrogramme de Sortie mesuré m³/s ; (Q₂) : Hydrogramme de Sortie Estimé (m³/s) ; (Pas de Temps (h) : 1

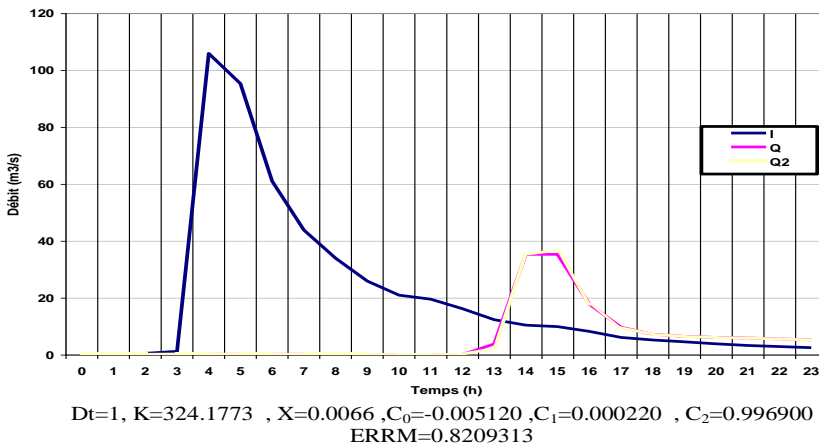


Fig. 4. Hydrogrammes d'entrée et de sortie (08/09/1996:st: Sidi Ali Benyoub et Sidi Bel Abbès)

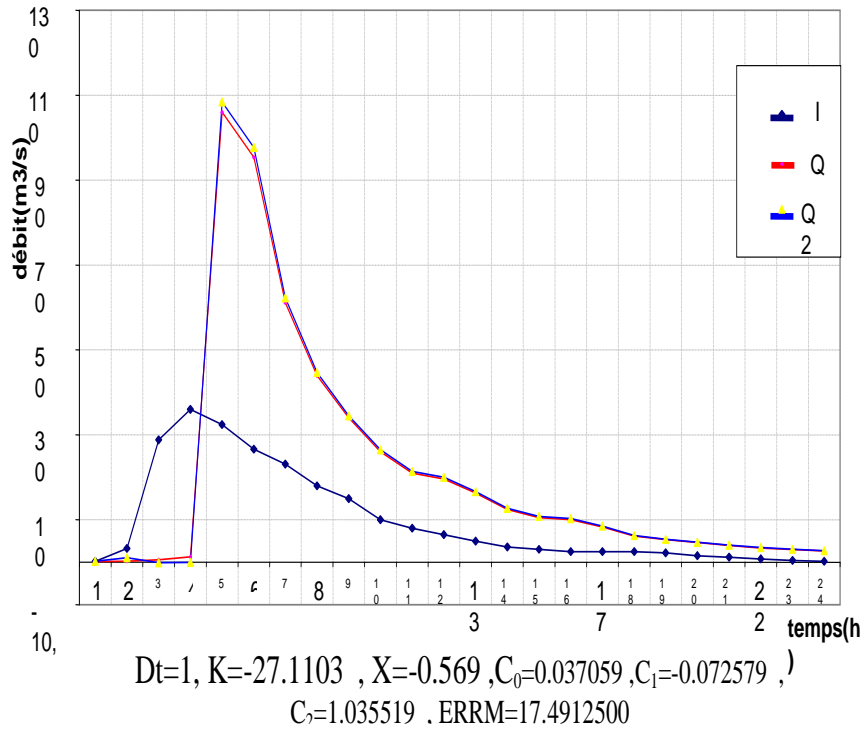


Fig. 5 : Hydrogramme d'entrée et de sortie (08/09/1996 : St : Ras Elma et Sidi Ali Benyoub)

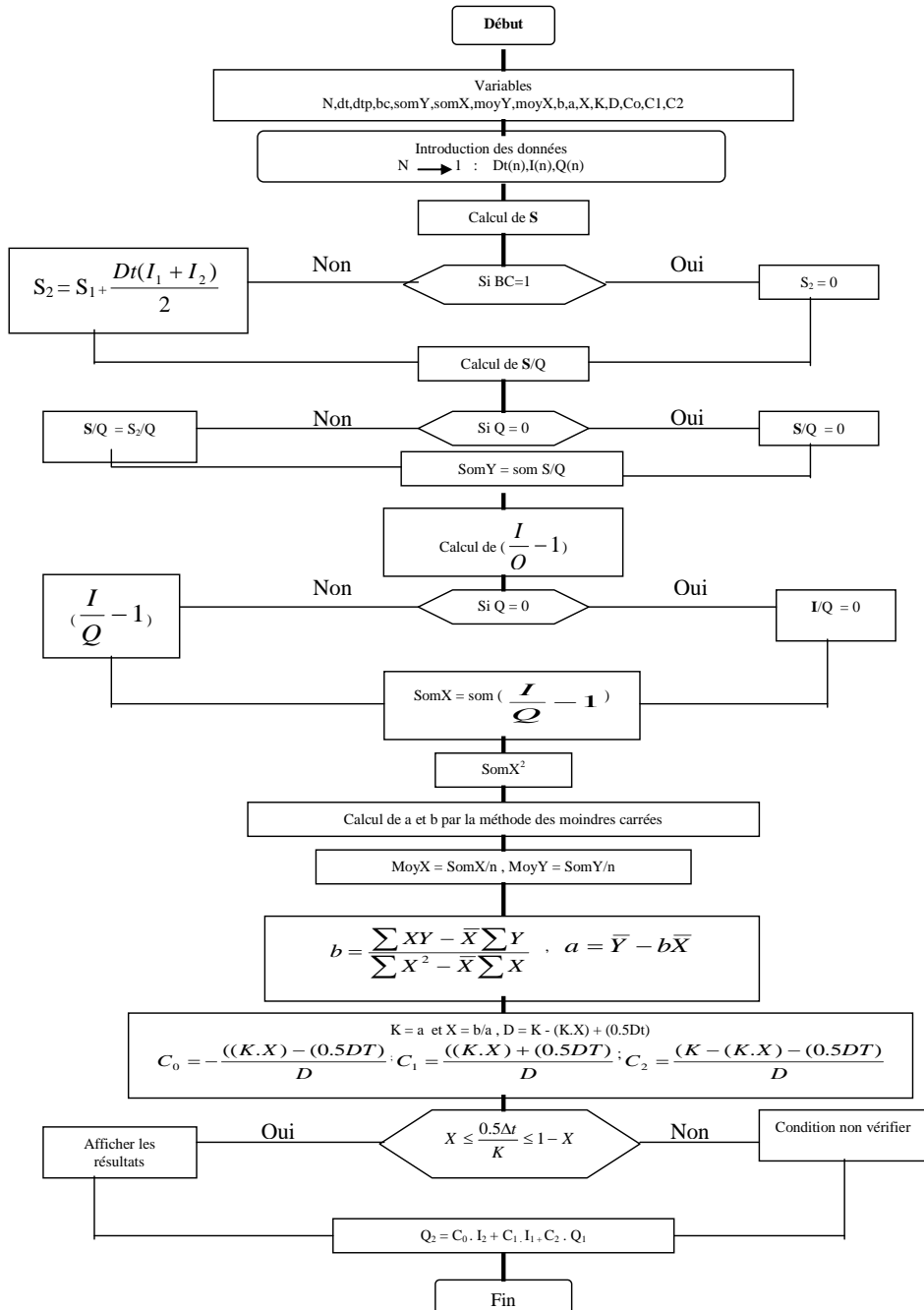
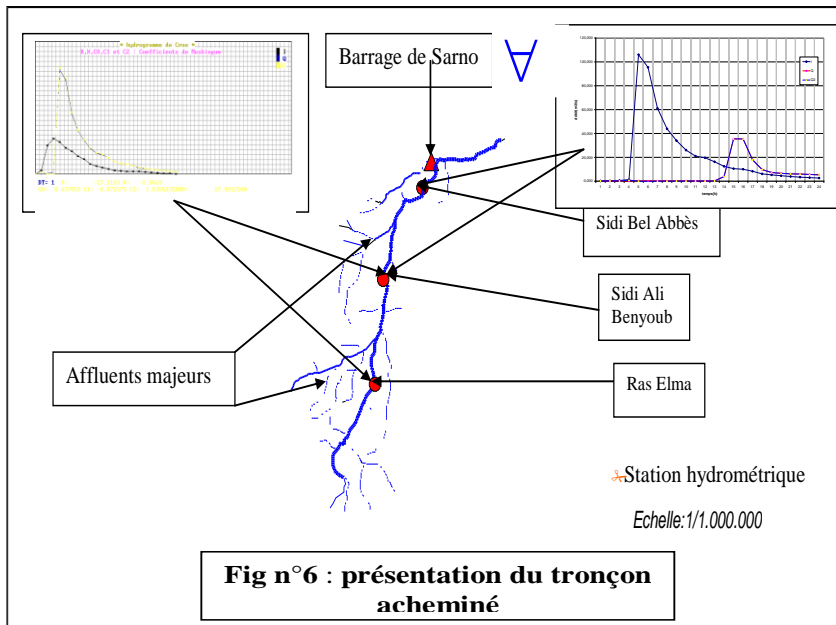


Fig. 3. Organigramme d'application de la méthode de Muskingum (Ben Abbas, 2006)



Les résultats de la crue du 08/09/1996 entre la station de Sidi Ali Benyoub et celle de Sidi Bel Abbès considérés acceptables du faite que le coefficient (X) présente une valeur de 0.0066 qui est proche de "0", donnant une atténuation presque maximale (figure 4 et tableau 4). Par contre, les résultats des autres crues sélectionnées montrent la non convenance de la méthode (figure 5 et tableau 2).

Tableau 3 : Coefficients de Muskingum pour quelques crues

Paramètres	Date	Δt	X	K	C0	C1	C2	ERR
Ras Elma et Sidi Ali Benyoub	08/09/96	1h	-0.569	-27.110	0.037	-0.072	1.035	17.49
	27/09au 02/10/94	1h	-0.007	-388.192	0.006	-0.008	1.002	3.87
Sidi Ali Benyoub et Sidi Bel Abbès	08/09/96	1h	0.0066	324.177	-0.005	0.0002	0.996	0.820
		2h	-0.0387	-64.201	0.022	-0.053	1.030	486.62

INTERPRÉTATION DES RESULTATS

Le réglage des tronçons de propagation s'effectue par des essais successifs, en recalculant un grand nombre d'hydrogrammes de crues observées par le passé et en cherchant à définir pour chaque tronçon Δx , les valeurs K et X . Ces coefficients peuvent être ou non variables en fonction du débit Q (Roche, P.A.1990). Nous remarquons que la totalité des résultats obtenus par la méthode de Muskingum ne sont pas fiables, surtout ceux représentés par les deux stations de Ras Elma et de Sidi Ali Benyoub où les conditions d'application de la méthode ne sont pas vérifiées. Notons que parmi toutes les chroniques d'hydrogrammes des trois stations, il existe un seul hydrogramme qui représente des résultats fiables. Il s'agit de celui enregistré le 08/09/96 entre les stations de Sidi Ali Benyoub et de Sidi Bel Abbès.

Pour mieux cerner le problème et afin de pouvoir calculer l'hydrogramme à la station de sortie, il faut employer le schéma présenté sur la figure 7 où A, B (station "entrée") et C, D (station "sortie"). Il convient de calculer d'abord les hydrogrammes au niveau des apports intermédiaires aux points E_1 à partir de A, E_2 à partir de B, et E_3 en additionnant $E_1 + E_2$ puis en C à partir de E_3 . L'apport intermédiaire P entre C et D ne peut être pris en compte que par la création d'un affluent fictif P entre deux points intermédiaires F_1, F_2 ou par la majoration du débit au point C, la majoration intervenant avant le calcul du tronçon CD. La qualité de réglage d'un tronçon peut dépendre de la façon dont sont estimés les apports intermédiaires s'ils ne sont pas négligeables (Roche, 1990).

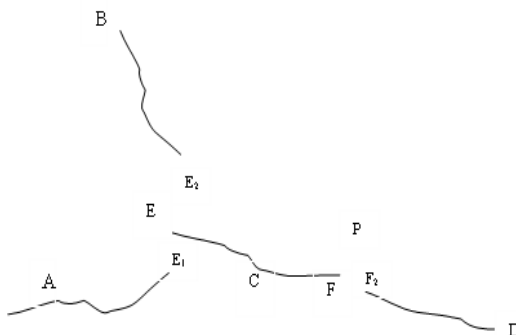


Fig 7 : croquis d'un cours d'eau

CONCLUSION

L'impossibilité d'ajuster le tronçon de propagation en utilisant cette plage de valeurs signifie que la méthode de Muskingum ne s'applique pas dans notre cas, du fait que les termes d'inertie ne peuvent pas être négligés. En effet, l'emploi de la méthode est limité aux crues lentes et aux cours d'eau tel que les termes d'inertie sont petits par rapport aux termes de frottement (Roche PA, 1990). De plus, l'existence des affluents majeurs rend l'application de la méthode très délicate. D'autre part, les valeurs des coefficients de Muskingum, tel que X, montrent que les hydrogrammes de sortie présentent des débits de pointe plus importants que ceux de l'entrée, ce qui signifie que les apports intermédiaires ne sont pas pris en considération.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ben Abbes S, Meddi M., 2006 : *Prévision des crues dans le bassin versant de l'oued Makerra (région de Sidi Bel Abbes)*, Mémoire de Magistère. Centre universitaire de Khemis Miliana
- Javelle P, 1994 : *Acheminement ou propagation des ondes des crues*. DEA, *Mécanique des Milieux Géophysiques et Environnement*, Université J. Fourier, Grenoble (France) and Université Laval, Québec (Canada). 183-217p.1994.
- Liamar J, 1993 : *Hydrologie générale .Principe et application (chapitre 9)*; 2^{ème} Edition : Cactan Morin. Pp 390-397.
- Laborde, J.P. 2003 : *Elément d'hydrologie de surface*. U.M.R. 5651 "Espace" du C.N.R.S. France. 204p.
- Roche, P.A. 1990 : *Guide de prévision des crues*. Société Hydrotechnique de France-Graine . 429p. 1990.