

Réservoirs passifs d'écrêtement de crue dans les petits bassins sans données hydrométriques

Claude MICHEL (1)

RÉSUMÉ

Le présent article concerne le dimensionnement des ouvrages d'écrêtement de crue sur les petits bassins non jaugés. Le dimensionnement concerne aussi bien le volume total à prévoir pour la retenue que le débit nominal de vidange. Ce dimensionnement est conçu sans intervention sur l'ouvrage, au cours de son fonctionnement. Une règle simple de dimensionnement est proposée sans passer par la détermination préalable d'un hydrogramme de projet.

Enfin une solution rustique est apportée au problème de l'effet de plusieurs réservoirs de crues à l'exutoire d'un bassin. La méthode proposée est particulièrement adaptée aux problèmes de dégrossissage du choix des investissements de lutte contre les crues.

MOTS-CLÉS : Ecrêtement de crue — Dimensionnement d'ouvrage — Petits bassins ruraux.

ABSTRACT

RETARDING RESERVOIRS IN SMALL UNGAUGED BASINS

This paper deals with the design of retarding reservoirs for ungauged basins. The design relates to both the volume of the reservoirs and the maximum discharge of the outlet works. The outlet works are assumed to remain unchanged during the floods. A very simple design procedure is recommended avoiding the selection of an inflow design flood.

A rough solution to the problem of estimating the effect of several reservoirs on the floods at the outlet of a basin is also provided. The proposed method is particularly suitable for giving a rough estimation of the direct costs of a flood protection programme.

KEY WORDS : Retarding reservoirs — Project design — Small rural basins.

1. INTRODUCTION

On s'intéresse dans le présent document à la conception d'ouvrages passifs d'écrêtement de crue, à disposer dans un petit bassin versant, avec l'objectif de limiter l'importance des crues à l'aval de ce bassin. Par « ouvrage passif », on entend un barrage équipé d'un dispositif d'évacuation des crues qui n'est pas manœuvré en cours de crue mais reste, tout au long de l'année, dans un état fixe. Dans ces conditions, le débit en aval d'une retenue d'écrêtement ne dépend que de l'état de remplissage de cette retenue. D'autre part on traite du cas courant où l'on ne dispose pas, sur le bassin concerné, de mesures de débit sur une longue durée, permettant une analyse statistique relativement précise des crues. Cette situation (ouvrage passif, absence de données) est très fréquente en aménagement rural où il s'agit de petits bassins versants généralement sans équipement de jaugeage, avec des crues relativement brèves et imprévues, et où il est économiquement impossible de disposer du personnel nécessaire à la surveillance et à la gestion d'ouvrages de régularisation.

(1) IGRF à la Division Hydrologie du CEMAGREF, BP 121, 92164 Antony et au CERGRENE, BP 105, 93194 Noisy-le-Grand.

Comment calculer des ouvrages d'écrêtement destinés à limiter les dégâts des crues à l'aval d'un bassin quand ceux-là sont jugés excessifs par les responsables locaux ?

Dans le paragraphe suivant, on va rappeler la méthode en cours actuellement et on analysera ses principaux défauts.

2. LA MÉTHODE UTILISANT LA CRUE DE PROJET

Une retenue opère un étalement d'une crue amont selon un processus simple dont la description est parfaitement rendue par l'équation différentielle suivante :

$$dv = (q(t) - r(h)) dt \quad (1)$$

où :

$v(t)$ = volume d'eau dans la retenue au temps t ;

$q(t)$ = hydrogramme amont ;

$r(h)$ = débit évacué ;

$h(t)$ = hauteur d'eau dans la retenue au temps t .

Si l'on dispose d'une crue de projet, on l'utilisera pour décrire $q(t)$ et l'intégration de l'équation différentielle donnera $r(t)$, l'hydrogramme à l'aval de la retenue, à condition d'avoir fixé au préalable un niveau $v(o)$, ce que l'on fait généralement en posant $v(o) = o$.

Du fait de l'absence de données hydrométriques, la crue de projet est forcément de forme simple dépendant de 2 ou 3 paramètres. Au Cemagref on conseille, pour la fréquence décennale, un hydrogramme de la forme :

$$q(t) = \frac{2 Q \left(\frac{t}{tm}\right)^4}{1 + \left(\frac{t}{tm}\right)^8} \quad (2)$$

où Q et tm sont donnés par des relations établies à la suite de synthèses sur les données de la banque ARHMA (Ministère de l'Agriculture, 1980).

$$Q = K S^{0.8} \left(\frac{P}{80}\right)^2 \quad (3)$$

$$\ln(tm) = -0,29 + 0,32 \ln(S) + 2,2 \sqrt{\frac{Pa}{P ta}} \quad (4)$$

dans ces relations on a :

K : coefficient régional ;

S : superficie du bassin versant (km^2) ;

P : pluie journalière décennale (mm) ;

Pa : pluie annuelle moyenne (mm) ;

ta : température annuelle moyenne corrigée de l'altitude ($^{\circ}C$).

Une telle procédure, testée sur une soixantaine de bassins jaugés, s'est révélée conduire à une sous-estimation du volume nécessaire pour une réduction donnée des crues. En moyenne, le volume calculé pour la retenue est de l'ordre de la moitié ou du tiers du volume réellement souhaitable.

Ce piètre résultat est une conséquence de l'impossibilité d'attribuer une période de retour à un événement tel qu'une crue de projet associé à un niveau initial de réserve. Une période de retour ne peut être attribuée qu'à une

variable scalaire et non à une fonction de temps. Or le résultat cherché s'exprime bien sous forme d'une probabilité de non-dépassement d'une certaine valeur pour le débit maximum à l'aval de la retenue.

Pour un traitement correct de ce problème, on est contraint d'effectuer l'analyse probabiliste en dernier lieu et donc de commencer par le traitement hydraulique des données. C'est exactement l'inverse de la démarche usuelle précédemment décrite. Au lieu d'établir les relations (3) et (4) par une analyse des données brutes, on va d'abord simuler le laminage de ces données brutes par un réservoir et on fera ensuite une analyse statistique sur l'atténuation du débit maximal de la fréquence choisie (décennale, en général). Bien évidemment cette analyse statistique va dépendre des paramètres descriptifs du laminage. Cependant, on peut, dans la grande majorité des cas, simplifier cette description et rendre ainsi la démarche aisément applicable.

3. NOUVELLE APPROCHE DU DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR

3.1. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE D'UNE RETENUE D'ÉCRÈTEMENT PASSIF

Comme on l'a dit plus haut, on s'intéresse au cas où le débit évacué à l'aval de la retenue ne dépend que du niveau des eaux derrière le barrage (h) : le débit aval r est une fonction de h . Mais le volume d'eau emmagasiné (v) est aussi une fonction de h . On peut donc relier directement r à v . Généralement, une fonction puissance est suffisante pour décrire cette relation (en tout cas d'une précision bien supérieure à l'incertitude d'origine hydrologique). On aura donc :

$$r = \left(\frac{v}{\beta} \right)^\alpha \quad (5)$$

Avec cette formulation, l'ensemble du dispositif d'écrêtement (retenue et ouvrage d'évacuation) se résume à la connaissance des 2 paramètres α et β , du moins en ce qui concerne la gamme normale de fonctionnement.

3.2. CAS PARTICULIER DU RÉSERVOIR LINÉAIRE

3.2.1. Mise en œuvre sur des données réelles

On dit que le réservoir est linéaire lorsque $\alpha = 1$. La relation entre le débit d'évacuation et le volume d'eau emmagasiné derrière le barrage s'écrit alors :

$$r = \frac{v}{b} \quad (6)$$

où b est un paramètre qui a la dimension d'un temps. Avec une telle relation, l'équation différentielle (1) peut se ramener à un simple calcul d'intégrale et ce dernier peut être résolu analytiquement quand l'hydrogramme amont est décrit par une fonction affine par morceaux, ce qui est le cas dans la pratique (banque ARHMA). On peut alors simuler le fonctionnement réel d'une retenue avec la chronique complète des débits d'un bassin jaugé. C'est ce qui a été fait pour une soixantaine de bassins répartis sur le territoire national, cet échantillon même qui a montré les insuffisances de la méthode traditionnelle de laminage de la crue de projet.

L'étude des plus fortes crues sur la chronique $q(t)$ conduit à la détermination de leur distribution, soit $Q(T)$, T étant la période de retour. La même procédure, sur la chronique des débits laminés, $r(t)$, conduit à la distribution $R(T)$, variable selon la valeur du paramètre b . L'analyse des résultats sur notre échantillon de bassins versants a montré que l'on pouvait passer assez simplement de $Q(T)$ à $R(T)$. En effet, si on appelle M le module du cours d'eau, on a approximativement :

$$\frac{Q(T) - R(T)}{R(T) - 2M} = \left(\frac{b}{d} \right)^{0.8} \quad (7)$$

Expression dans laquelle apparaît le paramètre "d" ayant la dimension d'un temps, et caractéristique du bassin versant en ce qui concerne l'écrêtabilité de ses crues. Dans ce qui suit on s'intéressera à $T = 10$ (crue décennale) et Q et R désigneront Q(10) et R(10).

3.2.2. Synthèse statistique des résultats

A chacun des bassins de notre échantillon représentatif correspond une valeur du paramètre d. Une analyse de corrélation multiple en fonction des données disponibles sur le bassin a permis d'établir la relation suivante :

$$\ln d = 12,5 - 0,7 \ln Q + 0,4 \ln M + 0,3 \ln S \quad (8)$$

L'écart type de l'erreur de cette relation est de 0,44. Les unités employées figurent ci-après :

d : durée caractéristique(s) ;

Q : débit instantané décennal ($m^3 \cdot s^{-1}$) ;

M : module ($m^3 \cdot s^{-1}$) ;

S : Superficie (km^2).

3.2.3. Détermination du volume de retenue nécessaire

Pour définir le volume de retenue nécessaire, il faut se donner au préalable un objectif, par exemple :

$$R = Q/k \quad (9)$$

avec $k > 1$, fixé et R et Q correspondant à la fréquence décennale ($T = 10$).

Soit V le volume de la retenue que l'on peut relier à R par la relation (6) soit :

$$R = \frac{V}{b} \quad (10)$$

Avec la relation (9) il vient :

$$V = b Q/k$$

En utilisant la relation (7) pour estimer b, il vient :

$$V = \frac{Qd}{k} \left(\frac{k-1}{1 - 2kM/Q} \right)^{1,25} \quad (11)$$

Expression dans laquelle d est estimé par la relation (8), Q par la relation (3) et le résultat V est en m^3 . On a donc résolu le problème pour un réservoir linéaire installé sur un bassin non jaugé.

3.3. GÉNÉRALISATION A UN RÉSERVOIR NON LINÉAIRE

La démarche décrite au paragraphe 3.2. peut être utilisée dans le cas général où α est différent de 1. La seule différence provient de la longueur des calculs car l'équation différentielle (1) n'a plus de solution analytique exacte. A l'aide de quelques bassins on peut faire la comparaison, pour un même objectif k (portant sur la réduction de la crue décennale Q), entre les volumes V à mettre en œuvre. On a constaté empiriquement que le rapport entre les volumes à mettre en œuvre était approximativement égal à :

$$0,57 \alpha + 0,43$$

On obtient ainsi la formule générale :

$$V = (0,57\alpha + 0,43) \frac{Qd}{k} \left(\frac{k-1}{1-2kM/Q} \right)^{1,25} \quad (12)$$

Rappelons que M est le module du cours d'eau ($m^3 s^{-1}$), Q le débit instantané décennal ($m^3 s^{-1}$) estimé par (3), une durée caractéristique du bassin (s) estimée par (8), α un nombre caractéristique de l'ouvrage tel que le débit évacué est proportionnel à la puissance α du volume d'eau retenu, k représente l'objectif désiré : diviser la crue naturelle décennale Q par k , V est le volume à mettre en place en m^3 .

3.4. EFFET D'UNE RETENUE DONNÉE SUR LES CRUES

C'est le problème inverse. La relation (12) définit implicitement le facteur k de réduction des crues que l'on cherche. Une résolution par approximations successives permet d'obtenir assez rapidement la solution. L'équation (12) définit donc une application :

$$k = f(S, M, Q, V, \alpha) \quad (13)$$

4. EFFET SUR LES CRUES DE PLUSIEURS RETENUES PLACÉES A L'INTÉRIEUR D'UN BASSIN VERSANT

Très souvent, il n'est pas possible de juguler les crues en plaçant un ouvrage unique à l'amont immédiat du point à protéger. Il faut alors exploiter les sites disponibles à l'intérieur du bassin versant relatif à ce point-cible.

D'un point de vue hydraulique, il semble qu'une analyse détaillée des délais de propagation soit nécessaire. En fait les durées et retards des crues sont liés à bien d'autres phénomènes que le seul transfert hydraulique. L'analyse détaillée de ce dernier serait une réponse partiellement illusoire au problème.

Compte tenu du contexte dans lequel nous nous sommes placés (petit bassin versant, milieu rural) on peut se contenter d'une règle simple de composition des crues issues de sous-bassins différents. Dans un petit bassin où la pluie décennale journalière est peu variable, la relation (3) montre que la crue décennale est proportionnelle à $S^{0,8}$. Autrement dit, les débits de crue relatifs à une partition du bassin en sous-bassins, sont additifs si on les élève au préalable à la puissance 1,25 : pour un bassin global de débit décennal Q composé de n sous-bassins de débits décennaux Q_i : on aura donc :

$$Q^{1,25} = \sum_{i=1}^n Q_i^{1,25} \quad (14)$$

Si l'un des sous-bassins (j) est muni d'une retenue d'écrêtement, on remplacera dans la relation précédente Q_j par le débit influencé Q'_j .

De même, dans l'expression (13) de la fonction f , Q est également à remplacer par Q' si le débit naturel est modifié.

5. EXEMPLE D'APPLICATION

Sur le plan de la figure 1, apparaît un bassin versant dont l'exutoire (le point 1) est à protéger contre les crues. Trois sites potentiels existent et sont situés aux points 2, 3 et 4. Une étude hydrologique a conduit à l'estimation suivante du module et de la crue décennale d'un bassin versant en fonction de sa superficie S :

$$\begin{aligned} M &= 0,01 S \\ Q &= 0,5 S^{0,8} \end{aligned}$$

Les unités sont km^2 et $m^3 s^{-1}$.

Les caractéristiques des trois sites et du bassin global figurent dans le tableau I.

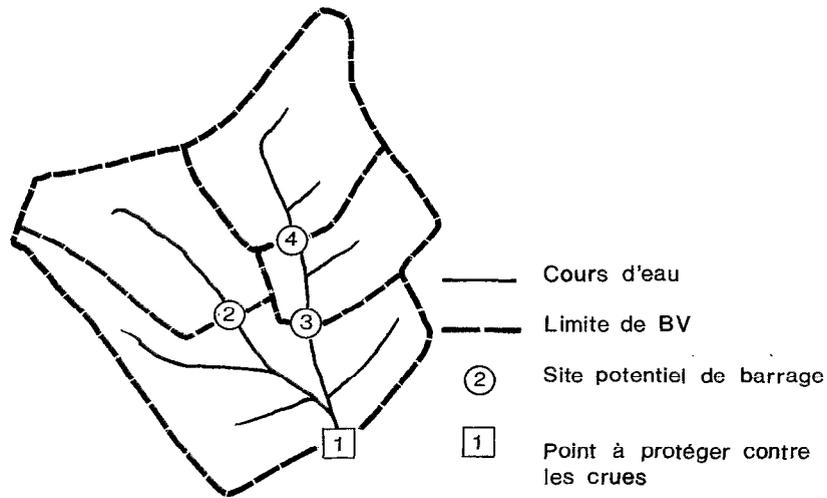


FIG. 1. — Schéma du bassin étudié

TABLEAU I
 Données relatives aux BV et aux ouvrages

| Variables | V | β | S | M | Q |
|-----------|--------------------|---------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Unités | 10^6 m^3 | | km^2 | $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ | $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ |
| Site 2 | 3.7 | 0.19 | 87 | 0.87 | 18 |
| Site 3 | 4.9 | 0.22 | 150 | 1.50 | 28 |
| Site 4 | 1.3 | 0.18 | 95 | 0.95 | 19 |
| Point 1 | | | 422 | 4.22 | 63 |

Les calculs s'effectuent comme suit :
 l'application (13) permet de calculer k_4 et donc :

$$R_4 = k_4 \quad Q_4 = 7,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Le débit influencé (Q'_3) en amont du point 3 est donné par l'équation (14) :

$$Q_3^{1,25} = R_4^{1,25} + \tilde{Q}_3^{1,25}$$

(\tilde{Q}_3 représente le débit décennal du bassin complémentaire situé en aval du point 4 : $12,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

Soit $Q'_3 = 17,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

$$R_3 = k_3 Q'_3 = 5,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

A l'aval du point 2 on a :

$$R_2 = k_2 Q_2 = 3,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

et donc le débit décennal influencé Q'_1 en amont du point 1 est donné par :

$$Q'_1{}^{1,25} = R_2{}^{1,25} + R_3{}^{1,25} + \tilde{Q}_1{}^{1,25}$$

(\tilde{Q}_1 représente le débit décennal du bassin complémentaire situé en aval des points 2 et 3).

Soit en définitive $Q'_1 = 36,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

L'utilisation des trois sites proposés conduit donc à réduire la crue décennale de 42 % (k global = 1,7).

6. CONCLUSION

La méthode proposée résulte d'un long travail d'analyse qui s'est étalé sur près de cinq années. Le résultat obtenu semble à la hauteur de l'effort consenti car il présente le double avantage d'être, d'une part d'une utilisation particulièrement simple, et d'autre part d'une précision supérieure à celle de la démarche traditionnelle. La plupart des travaux dans ce domaine s'étaient jusqu'ici reportés sur la simplification de la technique hydraulique de laminage d'une crue de projet, simplification justifiée par la précarité de cette dernière (HAGER et SINNICER, 1985, (HORN, 1987). Dans la présente étude c'est tout le processus qui est traité de façon globale et équilibrée. La méthode usuelle de laminage de la crue de projet présentait le défaut d'une erreur systématique dans le sens d'une sous-estimation importante des volumes nécessaires à mettre en œuvre pour atteindre un objectif donné. La présente méthode comporte donc le handicap psychologique d'avoir à dissiper les espoirs permis par l'utilisation des techniques admises jusqu'à présent, et cela en s'appuyant sur une démarche dérangement car elle inverse l'ordre habituel dans lequel interviennent hydrologues et hydrauliciens. On peut espérer qu'elle se répandra néanmoins du fait de sa simplicité d'emploi.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 13 janvier 1989

BIBLIOGRAPHIE

- Ministère de l'Agriculture, 1980. — Synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants — Fascicule 2 la méthode SOCOSE — Fascicule 3 la méthode CRUPEDIX.
- MICHEL (C.), LEGRAS (Y.), 1986. — Estimation de l'écrêtement réel des crues par une retenue à l'aval d'un petit bassin versant — SHF, XIX^e journées de l'Hydraulique, question n° V, rapport n° 13.
- MICHEL (C.), 1987. — Lutte contre les crues par implantation de réservoirs. *Informations techniques du CEMAGREF*, Cahier n° 68, feuillet n° 1.
- HAGER (W.H.), SINNICER (R.), 1985. — Flood storage in reservoirs. *Journal of Irrigation and drainage engineering*, vol. 111, n° 1, mars 1985.
- HORN (D.R.), 1987. — Graphic estimation of peak flow reduction in reservoirs. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 113, n° 11, november 1987.