

# UTILISATION DES COURANTS SECONDAIRES POUR LA PROTECTION DES OUVRAGES DE REGULARISATION ET DES BERGES DES RIVIERES CONTRE L'EROSION

**Chinkarouk L\*., Hassane M\*\*., Benhafid M.S\*\***

\* *Département des Ouvrages Hydraulique, Université Nationale de l'Aménagement Hydraulique de Ressources Naturelles, 33028 RIVNE, UKRAINE, rue Soborna, 11. Tel: (0362) 221-086, fax: 197, E-mail: [mail@USUWM.RV.UA](mailto:mail@USUWM.RV.UA)*

\*\* *Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique- B.P. 31- Blida, Algérie.  
Tel : +213.(0)25.39.94.47, Fax : +213.(0)25.39.94.46, E-mail : [hassanemed@yahoo.fr](mailto:hassanemed@yahoo.fr), [mohbenha](mailto:mohbenha)*

## RESUME

On peut observer in-situ que les pieds des berges des rivières, des épis, des piles des ponts et prises d'eau sont exposés à des affouillements importants, après passage des crues. L'une des causes principales provoquant la formation des fosses d'affouillement est l'action des courants transversaux appelés courants secondaires. Cette question a été étudiée par un grand nombre de chercheurs, à savoir: LOSIEVSKI, POTAPOV, LELIAVSKI, ROSOVSKI etc.

Les constructions actuelles de protection contre les effets néfastes des courants secondaires aux pieds des ouvrages de régularisation sont supposées insuffisantes. Donc il s'est avéré nécessaire d'élaborer de nouvelles constructions en utilisant des éléments constructifs supplémentaires qui assurent le procédé actif de la protection des ouvrages ou des berges contre l'affouillement.

Dans la présente communication, nous avons examiné les questions suivantes:

- Le phénomène physique de la formation de la fosse d'affouillement, sous l'effet du mécanisme des courants secondaires, étudié et observé au laboratoire et in-situ;

- La proposition d'une nouvelle technique de protection destinée aux nouveaux épis d'appels existants, situés près des ponts, de prises d'eau de rivières et de barrages-déversoirs réalisés sur des tronçons de rivière de montagne;

- La possibilité d'utiliser, dans le nouveau schéma de protection, les différents types d'épérons submersibles existants;

Nous avons proposé des recommandations quant au calcul se rapportant au dispositif de protection. Ces recommandations sont établies sur la base des traitements et analyses des résultats des études empiriques de champs de vitesses instantanées près du fond. Car elles sont déterminantes quant à l'estimation de la capacité d'affouillement;

Le schéma de protection et les recommandations proposés sont utilisés sur les rivières de montagne Carpates et peuvent être utilisés pour les conditions analogues Maghrebiennes.

**Mots clés:** courants secondaires, régularisation, protection, affouillement, épis d'appelles, épérons submersibles, vitesses instantanées.

## INTRODUCTION

Les cours d'eau des régions montagneuses souffrent particulièrement du passage des crues qui sont la cause de la destruction des berges et des pieds des ouvrages de régularisation et de protection édifiés à travers la rivière ou sur ses berges. Les crues provoquent un mouvement quantitatif et qualitatif des particules solides du lit de la rivière. Ce mouvement est la conséquence des phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation des particules solides. Dans le présent article, nous nous n'intéressons qu'au premier phénomène. Il existe deux grandes classes d'érosions fluviales : naturelle et artificielle. La première est la plus importante. Elle se produit généralement aux pieds des talus des berges concaves, le long des méandres où se forme une fosse d'affouillement sous l'action des courants hélicoïdaux sur le sol . Ces courants, prenant naissance dans les concavités des berges, détruisent leurs pieds en entraînant leur glissement total ou partiel. Ceci conduit à la déformation des profils en travers des cours d'eau. Les courants dirigés perpendiculairement à l'axe de la rivière peuvent créer des phénomènes complètement négligés par l'étude des vitesses moyennes de l'écoulement. Les récentes études sur les courants hélicoïdaux ont été menées par le professeur ROZOVSKI, I.L.[1]. Il proposa une méthode de calcul des courants secondaires.

Nous différencions deux points de vue relatifs au problème de la protection contre l'érosion [2]:

- la protection à l'aide des dispositifs absolument immobiles qui suppriment tout risque d'érosion. Elle n'est adaptée, pour des raisons techniques, que sur des distances relativement réduites;

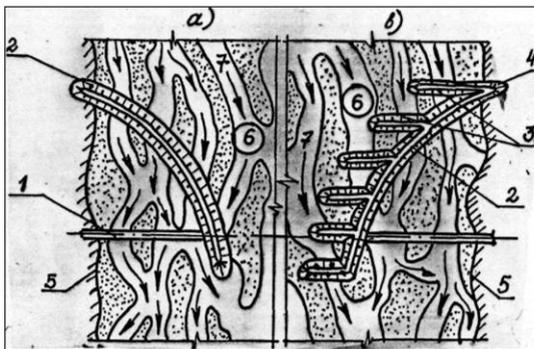
- la protection à l'aide d'ouvrages de protection localisés qui tiennent compte de l'état final du lit de la rivière au terme de la phase d'érosion. Cette attitude exige au préalable une bonne connaissance des phénomènes hydrauliques.

La multiplicité des mesures artificielles pratiquées comme moyen de protection contre l'érosion est basée sur deux procédés: le procédé actif et le procédé passif.

Le rôle des ouvrages constituant le procédé actif est de changer la structure intérieure défavorable du courant hélicoïdal en une structure inverse favorisant l'accumulation des particules solides devant ou entre les ouvrages de protection. Ceux qui n'ont pas l'aptitude de faire ce changement appartiennent au procédé passif. Lorsque les deux procédés sont utilisés en même temps, la protection est appelée combinée.

### 1. PRINCIPE DU PROCEDE DE PROTECTION

L'une des causes essentielles de la formation des fosses d'affouillement est la présence des courants hélicoïdaux dans l'écoulement. Les épis d'appels (digues d'orientation) utilisés seuls comme moyen de protection contre l'érosion sont avérés insuffisants. Donc il est nécessaire de prévoir de les compléter par des éléments constitutifs, afin d'obtenir le procédé actif. Ces éléments sont disposés dans les endroits où les affouillements possèdent de grandes dimensions. Les épis d'appels sont généralement réalisés en amont des ouvrages à protéger contre l'érosion. Ils convergent l'écoulement vers les orifices des ponts, des prises d'eau et des barrages-déversoirs (Fig. 1).



- 1- remblai du pont;
- 2- épi d'appel;
- 3- ouvrages de déviation;
- 4- encastrement latéral;
- 5- les berges de la rivière;
- 6- le lit de la rivière;
- 7- direction de l'écoulement.

**Fig. 1** Les ouvrages de régularisation au niveau d'un pont

- a) digue d'obstruction (épi d'appel) du lit de rivière;
- b) digue d'obstruction avec des ouvrages transversaux de déviation.

La forme la plus optimale de l'épi, en plan, est l'ellipse dont le rapport des demi-axes est égal à 2,0.

Dans le présent article nous donnons des recommandations et un schéma de calcul relatifs à la projection de la protection contre l'érosion locale des pieds des épis d'appels. Ceci est fait sur la base des résultats d'essais de recherches

menés au laboratoire sur un modèle réduit d'un prototype en exploitation sur les rivières alluviales des régions montagneuses des Carpates en UKRAINE.

## 2. LES RESULTATS D'ETUDE AU LABORATOIRE

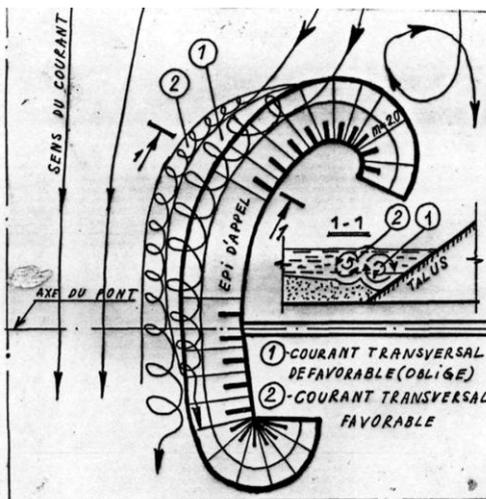
### 2.1 L'installation

Les essais sont effectués dans un canal en béton d'une longueur de 13,0 m, d'une largeur de 3,0 m et des murs latéraux d'une hauteur de 0,75 m. Au milieu du canal une boîte magasin de dimensions (6,0x3,1x0,2) m est installée sous forme d'un lit d'approfondissement.

La boîte est remplie de sable de  $d_{50\%} = 1,4$  mm avec un coefficient d'uniformité de 1,37.

Le modèle physique est fait d'un épi d'appel et de trois éperons enracinés dans son talus et disposés l'un après l'autre. Le tout est fixé sur le lit de la boîte-magasin. L'échelle de projection est prise 1:50. Nous signalons que les essais au laboratoire sont réalisés sans distorsion de l'échelle géométrique: similitude de FROUDE respectée. Les valeurs du nombre de FROUDE sont obtenues dans l'intervalle 0,04...0,50; celles de REYNOLDS de 5000 à 55600 pour des profondeurs d'eau prises entre 3,0 cm et 10,0 cm.

### 2.2- LES RESULTATS EXPERIMENTAUX

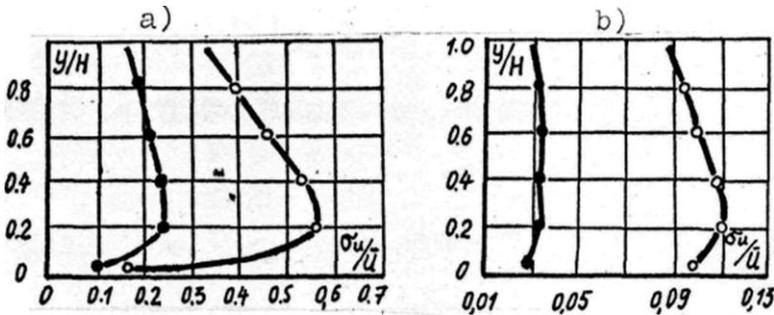


**Fig. 2** L'image de l'écoulement de fond au pied de l'épi.

Dans un premier temps, nous avons étudié les champs de vitesses et l'image de l'écoulement le long et au voisinage de l'épi d'appel sans présence d'éperons. Nous avons observé au pied du talus de l'épi d'appel l'apparition de courants hélicoïdaux qui sont à l'origine de la formation de deux tourbillons disposés horizontalement (Fig.№ 2). Le premier se produit immédiatement près du pied de l'ouvrage. Il est de structure intérieure défavorable et érode le pied du talus de l'épi d'appel. Le deuxième tourbillon provoqué par l'interaction du

premier tourbillon et du courant de transit a une structure intérieure favorable. Il limite l'effet d'affouillement du premier tourbillon.

Dans un deuxième temps, les essais sont faits sur un épi d'appel complété de trois éperons submersibles. Le nombre des essais menés est déterminé à l'aide de la théorie mathématique de planification des expériences [3]. L'efficacité du dispositif de protection d'un épi d'appel contre l'érosion proposée dans [3] est confirmée par les résultats de l'étude cinématique de l'écoulement au voisinage du pied du talus de l'épi d'appel. Le régime d'écoulement obtenu dans nos essais est turbulent. Nous savons que l'une des caractéristiques essentielles de ce régime est présentée par l'intensité de turbulence estimée par:  $(\sigma_u/\bar{u})$ , où  $\sigma_u$  - écart type (quadratique) de la composante longitudinale de la vitesse de l'écoulement de fond;  $\bar{u}$  - vitesse moyenne locale.



**Fig. 3** Répartition de l'intensité de turbulence en profondeur du courant le long du pied du talus de l'épi d'appel

a) dans le site au début de l'épi;

b) dans la fosse à profondeur maximale:

● avec éperons, ○ sans éperons.

Le traitement des résultats de nos essais nous a conduit à tracer le graphe de la relation  $y/H = f(\sigma_u/\bar{u})$  avec "y" variant de 0 à H (Fig. 3).

Les mesures sont prélevées au début de l'épi et à l'endroit où la fosse a la profondeur maximale, dans les deux cas étudiés. Il ressort de la Figure 3 que l'intensité de la turbulence est maximale au début de l'épi dépourvu d'éperons et à l'origine du développement du courant hélicoïdal de structure intérieure défavorable. Nous observons une diminution brusque et nette de l'intensité de la turbulence lorsque l'épi est complété d'éperons submersibles. Ce qui explique l'efficacité de procédé de protection contre l'érosion.

### 3. PROCEDE ACTIF DE PROTECTION

#### 3.1 L'éperon

Nous recommandons de réaliser des'épis d'appels avec trois éperons submersibles et de compléter ceux qui existent dépourvus de ces éléments

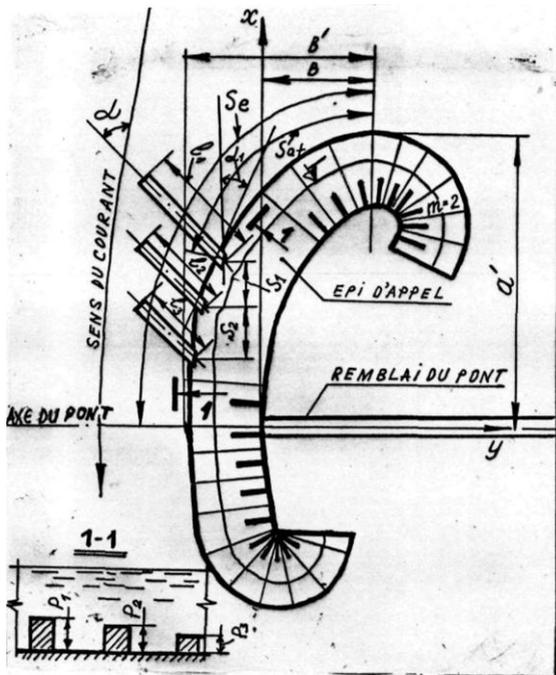


Fig. 4: Schéma du procédé actif de protection.

constitutifs, pour protéger les pieds des talus contre l'érosion locale (Fig.4). Les éperons sont enracinés dans le talus de l'épi, Ils sont disposés parallèlement et orientés vers l'amont.

D'après les matériaux de construction disponibles, les éperons peuvent être réalisés en gabions, en blocs de béton posés sur des semelles sous forme de matelas servant de tapis de parafouille ou en blocs de béton armé sans semelles.

Les principales dimensions, les types et les fixations des éperons sont déterminés en utilisant les relations empiriques contenant les valeurs maximales des vitesses instantanées près du

fond du lit et celles des débits spécifiques. Ces deux paramètres sont indispensables pour trouver la capacité d'affouillement du courant de la rivière.

Les éperons sont prévus avec différentes hauteurs et longueurs et sont édifiés dans la zone d'affouillement de profondeur maximale qui est localisée au pied du talus de l'épi à une distance de son sommet supérieur:  $S_{af} = (0,48...0,52) S_e$  avec  $S_e$  - longueur de la partie elliptique supérieure de l'épi.

C'est à la distance " $S_{af}$ " qu'il est recommandé de disposer le premier éperon que nous appelons éperon principal. Les deux autres sont réalisés parallèlement au premier éperon, le long de l'épi, avec des écarts équidistants de:  $S_1 = S_2 = (0,11...0,13) S_e$  avec  $S_1, S_2$ - distances respectives entre le premier et le deuxième éperon et le deuxième et le troisième prises aux points de raccordement avec le talus de l'épi d'appel.

La disposition en plan de l'éperon principal est déterminée par l'angle formé à sa tête par son axe avec le sens de l'écoulement. En pratique nous

proposons de prendre la valeur de cet angle entre 55° et 65°. Nous supposons la forme de la fosse d'affouillement conique, nous déterminons la longueur de l'éperon principal:

$$l_1 = 2h_f \sqrt{m_1^2 + 1} + a_0, \tag{1}$$

où :

$m_1$  - coefficient de la pente du talus de la fosse d'affouillement au pied de l'épi;

$h_f$  - profondeur de la fosse d'affouillement;  $a_0$  - longueur de réserve de l'éperon prise entre 2m et 3m; Sachant que géométriquement:

$$hf = haf - H \tag{2}$$

avec :

$haf$  - profondeur d'eau dans la fosse d'affouillement;

$H$  - tirant d'eau maximum dans la rivière pendant la crue.

Nous recommandons l'emploi de la relation empirique élaborée par le professeur ANDREEV, O.V, pour estimer d'abord la valeur de

$$h_{af} = H + \frac{2,8U^2 \sin \alpha_1 - 30d}{\sqrt{m_1^2 + 1}} \tag{3}$$

avec :

$U$  - vitesse moyenne locale de l'écoulement près de l'épi;

$\alpha_1$  - angle d'inclinaison formé par la tangente à la face du talus au point de contact avec le

courant et sa direction par rapport à la disposition de l'ouvrage dans le plan;

$d$  - diamètre des particules solides du fond du lit près de l'épi.

Ensuite nous calculons " $hf$ " par la relation ( 2 ) et " $l_1$ " par la relation (1) Connaissant la valeur de " $l_1$ " nous déterminons les longueurs du deuxième et troisième éperons par les égalités:  $l_2 = 0,70 l_1$  et  $l_3 = 0,60 l_1$ .

La hauteur de l'éperon principal à l'endroit du point de raccordement est calculée par la relation suivante:

$$P_1 = ( 0,15 \dots 0,30 ) H. \tag{4}$$

Une fois la valeur de " $P_1$  " trouvée, nous déterminons les hauteurs du deuxième et troisième ai éperons respectivement par les égalités suivantes:

$$P_2 = 0,70 P_1 \text{ et } P_3 = 0,35 P_1. \tag{5}$$

Il est recommandé de caler les côtes des crêtes à la tête des éperons au niveau d'étiage moyen. Ainsi les crêtes se projettent avec une pente descendante du point de raccordement à la tête de l'éperon.

### 3.2 LA SEMELLE

La semelle est faite avec les mêmes matériaux de construction utilisés pour la réalisation des éperons. La projection consiste à déterminer les dimensions, le type et la fixation de la semelle est présentée dans [5].

Les recommandations sur les différents matériaux de construction comme moyen de revêtement et sur les différents procédés assurant la stabilité de la fixation au pied du talus de l'épi d'appel ainsi que leurs méthodes de réalisation sont largement illustrés et expliqués dans [4,5]. Néanmoins, nous jugeons nécessaire de prévoir une fixation au pied de l'épi d'appel au-dessous du troisième éperon sous forme de matelas édifié en béton armé avec une longueur de 10 m, une largeur de 2 à 3 m et une épaisseur de 0,20 m.

### CONCLUSION

Nous recommandons d'utiliser en pratique la méthode de calcul exposée et le procédé actif décrit dans le présent article comme moyen de protection contre l'érosion locale, en amont des ponts, des prises d'eau et des barrages-déversoirs réalisés dans les rivières alluviales des régions montagneuses.

Ce procédé peut trouver un large domaine d'application en Algérie. Les ouvrages se réalisent avec les différents matériaux de construction énumérés dans le texte.

Les notes de calcul sont établies sur la base des résultats de l'étude cinématique de l'écoulement près du fond du lit de la rivière.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. РОЗОВСКИЙ, И.Л.- Движение воды на повороте открытого русла. Издательство академии Украинской ССР, Киев, 1957.- 188с.
2. FILLIAT, G. - La pratique des sols et fondations. Ed. Moniteur\*, Paris, 1981. pp. 1392.
3. ШИНКАРУК, Л.А.- Применение метода планирования эксперимента при выборе компоновки регуляционных сооружений у мостовых переходов. Сборник докладов по гидротехнике, № 5, Ленинград, 1984. с. 267...274.
4. QUESNEL, B. - Traité d'hydraulique fluviale appliquée. Cours d'eau non-navigables, tome 1, 3<sup>e</sup> édition. Ed. Eyrolles, Paris, 1980. pp. 325.
5. Рекомендации по проектированию регуляционных сооружений на реках Карпат. Киев, 1991.-149с